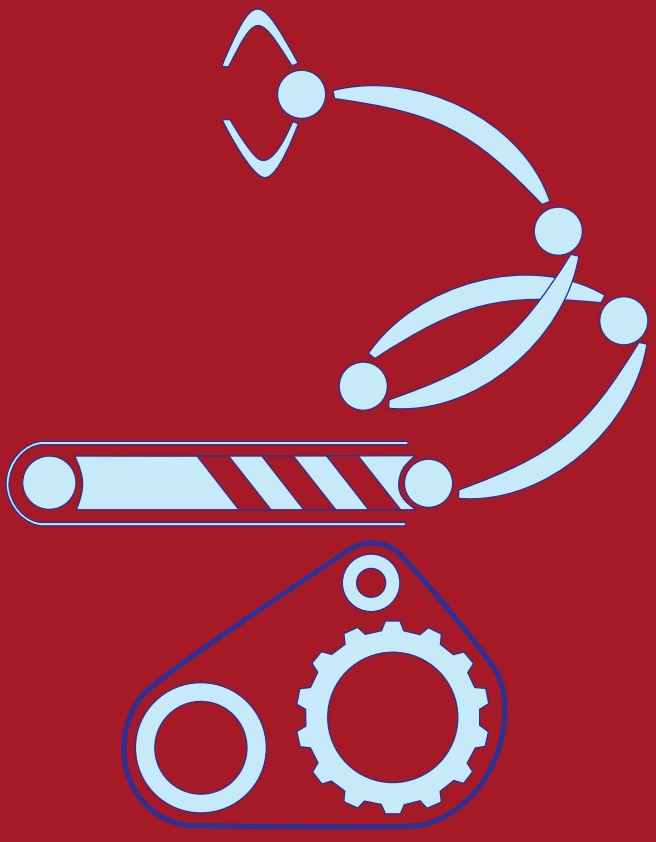
TECHNICAL
UNIVERSITY OF GABROVO

UNITECH 2018 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE



SELECTED PAPERS

TECHNICAL UNIVERSITY OF GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

UNITECH 2018 GABROVO

SELECTED PAPERS

16 - 17 NOVEMBER 2018
GABROVO

ISSN: 2603-378X

ORGANIZING COMMITTEE

Chairman: Assoc. Prof. Iliya Zhelezarov, Ph.D.
Vice-Rector in charge of Research and Development

Members: Prof. Jordan Maximov, D.Sc.
Prof. Anatoliy Aleksandrov, Ph.D.
Prof. Stoyan Kapralov, D.Sc.

Technical Assistant:
Petya Peneva, MA

PROGRAM COMMITTEE

Chairman: Prof. Raycho Ilarionov, D.Sc.
Technical University of Gabrovo, Bulgaria

Members:

Acad. Chavdar Rumenin, Bulgaria
Acad. Dragoljub Mirjanić, Rep. Srpska, B&H
Acad. Peter Kralchevski, Bulgaria
Acad. Tomislav Pavlović, Rep. Srpska
Corr. Mem. Dimitar Dimitrov, Bulgaria
Corr. Mem. Prof. Tony Spassov, Bulgaria
Prof. D.H.C. D.Sc. Yuriyi Kuznetsov, Ukraine
Prof. D.H.C. Nikolay Ganev, Ph.D., Czech Republic
Prof. Lothar Otto, Germany
Prof. Emil Kolev, Ph.D., Germany
Prof. Dr. phil. Ludwig Hilmer, Germany
Prof. Elena Kovalenko, Pd.D., Ukraine
Prof. D.Sc. Iurii Iaremchuk, Ukraine
Prof. Mihail Prokofiev, Ph.D., Ukraine
Prof. D.Sc. Igor Sazonov, Belarus
Prof. D.Sc. Rumen Daskalov, Bulgaria
Prof. D.Sc. Vasil Kavardjikov, Bulgaria

TECHNICAL UNIVERSITY OF GABROVO
INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
UNITECH'18

S E L E C T E D P A P E R S

Address: 5300, Gabrovo, 4 "H. Dimitar" str.
University Publishing House "V. Aprilov" – Gabrovo

© TECHNICAL UNIVERSITY OF GABROVO, 2019
© UNIVERSITY PUBLISHING HOUSE "V. APRILOV" – GABROVO, 2019

ISSN 1313-230X

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ГАБРОВО

МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ

УНИТЕХ 2018 ГАБРОВО

ИЗБРАНИ ДОКЛАДИ

16 – 17 НОЕМВРИ 2018
ГАБРОВО

ISSN: 2603-378X

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

Председател: Доц. Илия Железаров
Зам.-ректор НИР

Членове: Проф. дтн Йордан Максимов
Проф. Анатолий Александров
Проф. дмн Стоян Капралов

Технически организатор:
Петя Пенева

ПРОГРАМЕН КОМИТЕТ

Председател: Проф. дтн Райчо Иларионов
Технически университет – Габрово, България

Членове:

Акад. Чавдар Руменин, България
Акад. Драголюб Мирянич, Република Сръбска, Босна и Херцеговина
Акад. Петър Кралчевски, България
Акад. Томислав Павлович, Република Сръбска
Чл. Кор. Димитър Димитров, България
Чл. Кор. Тони Спасов, България
Проф. дн. Юрий Кузнецов, ДХК, Украйна
Проф. Николай Ганев, ДХК, Република Чехия
Проф. Лутер Отто, Германия
Проф. Емил Колев, Германия
Проф. Лудвиг Хилмер, Германия
Проф. Елена Коваленко., Украйна
Проф. дн Юрий Ярменчук, Украйна
Проф. Михаил Прокофиев, Украйна
Проф. дн Игор Сазонов, Беларус
Проф. дмн Румен Даскалов, България
Проф. дн Васил Каварджиков, България

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ГАБРОВО
МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ
УНИТЕХ'18

И З Б Р А Н И Д О К Л А Д И

Адрес: 5300, Габрово, ул. „Хаджи Димитър" 4
Университетско издателство "Васил Априлов" – Габрово

Издател: Технически университет – Габрово, 2019
Университетско издателство "Васил Априлов" – Габрово, 2019

ISSN 1313-230X

THEMATIC SESSIONS

- **Electrical Engineering**
- **Electronics and Sensors Technics**
- **Communication Engineering and Technologies**
- **Computer Systems**
- **Computer Technologies**
- **Automation**
- **Design of Machines and Instruments**
- **Hydraulics, Pneumatics and Heat Engineering**
- **Mathematics and Informatics**
- **Mechatronics, Metrology and Quality Management**
- **Educational Technologies**
- **Chemistry and Ecology**
- **Physics**

C O N T E N S

ELECTRICAL ENGINEERING

INCREASE GENERATION EFFICIENCY OF HYDROGEN BY THE MEANS OF ULTRASOUND FIELD AND THE MECHATRONIC CONTROL SYSTEM OF THE OPERATION MODE 24

Oleksandr Luhovskyi, Igor Nochnichenko, Dmytro Kostiuk, Andrii Zilinskyi, Valentin Mironchuk

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

SOILING INFLUENCE ON THE SHORT-CIRCUIT CURRENT OF SOLAR MODULE MOUNTED AT THE OPTIMAL ANGLE 31

Ivana S. Radonjić[1], Tomislav M. Pavlović[1], Dragoljub Lj. Mirjanić[2], Miodrag K. Radović[1], Galina Sazhko[3]

[1] University of Nis, Faculty of Sciences and Mathematics, Department of Physics, Višegradska 33,18 000 Nis, Republic of Serbia

[2] Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Bana Lazarevića 1, 78 000 Banja Luka, Republic of Srpska

[3] Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Department of Informatics and Computer Technologies, Universitetskaya str. 16, Kharkov, Ukraine

ASSESSMENT AND FORECASTING OF THE RELIABILITY OF THE ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL SITES IN LOW-LOAD MODE 35

Panchev R.K. [1], Iliev I.H.[2], Georgiev G.A.[3], Chikov V.Ch.[o]

[1]Technical University Varna

[2]UMG St.Ivan Rilski

[3]Burgas Free University

[o]Technical University Varna

STUDY ON INFLUENCE OF THE QUALITY OF THE ELECTRICAL ENERGY ON THE RELIABILITY OF THE ELECTRICAL EQUIPMENT AND SYSTEMS 40

Panchev R.K. [1], Iliev I.H.[2], Georgiev G.A.[3], Chikov V.Ch.[o]

[1]Technical University Varna

[2]UMG St.Ivan Rilski

[3]Burgas Free University

[o]Technical University Varna

CONCERNING THE EXTENSION OF THE DEFINITION AREA OF THE ELECTRIC POWER CATEGORY "ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY" AND ITS RELATION TO THE RELIABILITY OF THE ELECTRIC POWER SUPPLY 45

Iliev I.H.[o], Panchev R.K.[1], Proykov M.A.[2], Kirov R.M.[3]

[o]UMG St.Ivan Rilski

[1]Technical university Varna

[2]University "Prof. D-r Asen Zlatarov" – Burgas

[3]Technical university Varna

COMPENSATION OF REACTIVE POWER IN ENTERPRISES WITH A HIGHLY UNEVEN LOADING SCHEDULE 51

Kiril Dzhustrov[1], Ivan Stoilov[1]

[1]University of Mining and Geology is "St. Ivan Rilski"

INVESTIGATION THE PHASE TRANSITIONS OF DOPED BARIUM STRONTIUM TITANATE CERAMICS OBTAINED BY DOUBLE SYNTHESIS 57
Ivaylo Lazarov
Technical University of Gabrovo

STUDY OF ELECTRIC AND COLOR CHARACTERISTICS OF LED LUMINAIRE WITH ADJUSTABLE COLOR TEMPERATURE 61
Plamen Tsankov, Milko Yovchev, Plamen Danailov
Technical University of Gabrovo

PROSPECTS FOR RENEWABLE ENERGY IN UKRAINE 67
Hovorov Pylyp Paramonovich, Dr. Sc., Hovorov Vladlen Pylypovich, Kindinova Anastasiya Kostyantynivna
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

SOLAR ENERGY IN UKRAINE 74
Hovorov Pylyp Paramonovich, Dr. Sc., Hovorov Vladlen Pylypovich, Kindinova Anastasiya Kostyantynivna
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

PARAMETERS OF CURRENT HARMONIC COMPONENTS IN THE INDUSTRY 81
Krasimir Marinov Ivanov[1], Georgi Tsonev Velev[1], Panayot Ivanov Yankov[1], Evtim Ruichov Kartselin[2], Nikolay Stoyanov Minekov[2]
[1] Technical University of Gabrovo, Bulgaria
[2] University of Mining and Geology "St. Ivan Rislki", Sofia

POSSIBILITIES FOR DIAGNOSIS OF ASYNCHRONOUS MOTORS WITH THE USE OF PROFILE MATRIX OF STATOR CURRENT 87
Yulian Yordanov, Valentin Gyurov
Technical University of Varna, Department of Electric Power Supply and Electrical Equipment

INFLUENCE OF INDUSTRIAL LUMINARIES ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY PARAMETERS 93
Tsvyatko Kolev Varbov[1], Krasimir Marinov Ivanov[1], Panayot Yankov Ivanov[1] Mihai Cruceru[2]
[1]Technical University of Gabrovo, Bulgaria
[2]University'Constantin Brâncuşi' of Târgu-Jiu, Romania

RESEARCH AND ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY IN PASSENGER SHIPS 99
Iliyan Donev[1], Ginka Ivanova[2], Valentin Gyurov[3], Rumen Kirov[4]
[1]Technical University of Varna, Department of Shipbuilding and Marine Engineering
[2,3,4]Technical University of Varna, Department of Electric Power Supply and Equipment

CONTROL SYSTEM FOR LABORATORY DC ELECTRICAL DRIVE WITH PULSE-WIDTH REGULATION 104
Vasil Dimitrov[1], Petko Kostadinov[1], Martin Zlatkov[1]
[1]Todor Kableshkov University of Transport – Sofia

STATIC CHARACTERISTICS OF REGULATED INDUCTION ELECTRIC DRIVE TAKING INTO ACCOUNT THE STEEL LOSSES 109
Dimitar Spirov
University of Food Technologies – Plovdiv

ELECTRONICS AND SENSORS TECHNICS

MATHEMATICAL MODELING AND CONTROLLER IMPLEMENTATION OF A SEPIC CONVERTER 114
Nikolay Hinov, Hristiyan Kanchev, Sabcho Sabev
Technical University of Sofia, Faculty of Electronic Engineering and Technologies, Department of Power Electronics

MODELLING OF BIDIRECTIONAL DC/DC CONVERTER 120
Gergana Vacheva[1], Nikolay Hinov[1], Hristiyan Kanchev[1], Bogdan Gilev[2]
[1]Department of Power Electronics, Faculty of Electronic Engineering and Technologies Technical University of Sofia
[2]Department of Mathematical Analysis and Numerical Methods, Technical University of Sofia

OPTIMIZING HEAT SINK THERMAL RESISTANCE IN A THERMOELECTRIC PUMP 124
Ivaylo Belovski[1], Anatoliy Alaksandrov[2]
[1] Prof. D-r Asen Zlatarov University
[2] Technical University of Gabrovo

INVESTIGATION OF MULTIPHASE CURRENT SOURCES FOR CHARGING STATIONS 128
Stoyan Vuchev[1], Dimitar Arnaudov[1]
[1]Technical University of Sofia, Bulgaria

IOT ENERGY METER APPLICABLE IN SMART BUILDINGS 133
Aleksandar Žorić[1], Nikola Žorić[1], Muhamed Bejtović[1]
[1]Faculty of technical sciences – University of Priština

IMPLEMENTATION OF NODE.JS TECHNOLOGY IN A CONCEPT BASED ON IOT 139
Bejtovic Muhamed[1], Aleksandar Žorić[1]
[1]Faculty of technical sciences – University of Priština

MATHEMATICAL MODELLING OF BUCK ZVS DC-DC CONVERTER 144
Nikolay Hinov[1]
[1]Technical University of Sofia, Faculty of Electronicg Engineering and Technologies, Power Electronics department

MODEL-BASED DESIGN OF A PARALLEL OPERATING CURRENT SOURCE INVERTER 149
Dimitar Arnaudov[1]
[1]Technical University of Sofia, Bulgaria

LABVIEW APPROACH IN MODELING DC-DC CONVERTERS 154
Nikolay Hinov[1], Zoran Zlatev[1]
[1]Department of Power Electronics, Faculty of Electronic Engineering and Technologies Technical University of Sofia

MULTISIM-BASED MODEL FOR UNIMORPH PIEZOELECTRIC ENERGY HARVESTERS 158
Constantinos Tramantzas
Technological Educational Institute of Eastern Macedonia and Thrace (TEI EMT)

LLC RESONANT INVERTER FOR TRANSFORMATION OF ENERGY RECEIVED BY PHOTOVOLTAIC SOURCE..... 163
Dimitar Spirov
University of Food Technologies – Plovdiv

ONLINE WEB - BASED PERSONALIZED WEATHER STATION 168
Aleksandar Žorić[1], Siniša Ilić[1], Đurđe Perišić[2]
[1]Faculty of technical sciences – University of Priština, Republic of Serbia
[2]Faculty of Information Technology, Slobomir P University, Slobomir, BiH

PSPICE MODELING OF SMPS WITH IC VIPER100A 173
Dobroslav Dankov [1], Prodan Prodanov [1]
[1]Technical University of Gabrovo, Department of Electronics

COMPARATIVE ANALYSIS FOR DETECTION OF SMOKE IN THE BLUE AND INFRARED LIGHT SPECTRUM 179
Milen Kirov, Velimira Todorova
Technical University of Gabrovo

COMMUNICATION ENGINEERING AND TECHNOLOGIES

FREQUENCY RESPONSE EXAMINATION OF CONE CIRCULAR ACOUSTIC TRANSDUCER 184
Georgi Markov[1]
[1] Technical University of Varna, 1 Studentska Str, Varna, 9000, Bulgaria

METHODOLOGY FOR SYNTHESIS OF PERFECT PHASE MANIPULATED SIGNALS WITH LENGTH N=3MOD4 188
Plamen Yanakiev, Tsvetoslav Tsankov
Konstantin Preslavsky University of Shumen

COMPUTER LABORATORY FOR AUTOMATED SYNTHESIS OF PHASE MANIPULATED SIGNALS 194
Plamen Yanakiev, Tsvetoslav Tsankov
Konstantin Preslavsky University of Shumen

METHODOLOGY FOR SYNTHESIS OF COMPLEMENTARY BINARY PHASE MANIPULATED SIGNALS WITH LENGTH N=1MOD4 199
Plamen Yanakiev, Tsvetoslav Tsankov
Konstantin Preslavsky University of Shumen

MODIFICATIONS OF BINARY PHASE MANIPULATED SIGNALS WITH LENGTH N=1MOD4 MISMATCHED FILTERS FOR THEIR PROCESSING 205
Borislav Bedzhev, Plamen Yanakiev
Konstantin Preslavsky University of Shumen

APPROACH FOR MIMO WIRELESS CHANNEL MODELLING AND SYSTEM CHARACTERIZATION 211
Michail Malamatoudis
Technological Educational Institute of Eastern Macedonia and Thrace, Greece

COMPUTER MODELLING AND ANALYSIS OF DISPERSION COMPENSATION SCHEMES IN OPTICAL COMMUNICATION LINES 216
Krasen Angelov [1], Stanimir Sadinov [2], Panagiotis Kogias [3]
[1, 2] Technical University of Gabrovo, Bulgaria
[3] Technological Educational Institute of Eastern Macedonia and Thrace, Greece

CHALLENGES IN THE DIGITALIZATION OF WORKS OF CHURCH ART IN TEMPLE ARCHITECTURE 221
Andreyana Doykin [1], Krasen Angelov [2]
[1] St. Cyril and St. Methodius University of Veliko Tarnovo, Bulgaria
[2] Technical University of Gabrovo, Bulgaria

ENERGETIC INDUCED INTERFERENCES AT FM BROADCAST SERVICES 226
Kliment Angelov
Technical University of Sofia

EFFECT OF THE ROTATION ON THE VWM ALGORITHM 231
Bojan Prlinčević[1], Zoran Milivojević[2]
[1] Higher Technical Professional School, Zvecan, Serbia
[2] College of Applied Technical Sciences, Nis, Serbia

APPLICATION OF INDUSTRIAL NETWORKS IN SMART GRID 237
Grigor Mihaylov, Ivaylo Stoyanov, Teodor Iliev, Elena Ivanova
University of Telecommunications and Posts, University of Ruse "Angel Kanchev"

APPLICATION OF NEW MODULATION SCHEMES IN 5G MOBILE NETWORKS 241
Grigor Mihaylov, Teodor Iliev, Ivaylo Stoyanov, Elena Ivanova
University of Telecommunications and Posts, University of Ruse "Angel Kanchev"

BLIND WATERMARKING SCHEME IN CHROMINANCE CHANNEL BASED ON SVD AND BIT-PLANE DECOMPOSITIONS 246
Zoran Veličković[1], Zoran Milivojević[1], Marko Veličković[1]
[1]College of Applied Technical Sciences, Niš, Serbia

INFLUENCE OF THE RAIN NOISE TO INTELLIGIBILITY IN SERBIAN LANGUAGE 252
Dijana Kostić[1], Zoran Milivojević[1], Zoran Veličković[1],
College of Applied Technical Sciences of Nis, Serbia

COMPUTER SYSTEMS

OBJECT RECOGNITION WITH KINECT SENSOR 259
Tsvetomira Georgieva, Hristo Lalev
Konstantin Preslavski University of Shumen

AN APPROACH FOR LAPTOP COMPUTERS EVALUATION USING MULTIPLE-CRITERIA DECISION ANALYSIS 263
Dragisa Stanujkic, Milena Jevtic, Branislav Ivanov
Technical Faculty in Bor, University of Belgrade, Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor, Serbia

SYSTEM APPROACH TO LOCAL INFRASTRUCTURE FOR INTERNET OF FOOD (IOF) 268
Krassimir Iliev Kolev[1], Atanas Nikolov Kostadinov[2]
[1]University of Food Technologies – Plovdiv
[2]Technical University – Sofia, Plovdiv branch

COMPUTER SYSTEM BASED ON LORAWAN FOR FOOD TRACEABILITY 273
Krassimir Iliev Kolev[1], Atanas Nikolov Kostadinov[2]
[1]University of Food Technologies – Plovdiv
[2]Technical University – Sofia, Plovdiv branch

FABRIC CUTTING OPTIMIZATION APPLICATION 279
Özgür Altunsöğüt[1], Erdem Uçar[1]
[1]Trakya University

PREDICTING THE AMOUNT OF WASTAGE OF FINISHED GOODS IN TEXTILE DYEING FACTORIES 284
Özgür Altunsöğüt[1], Erdem Uçar[1] and Yılmaz Kılıçaslan[2]
[1]Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Trakya University, 22180 Edirne, Turkey
[2]Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Adnan Menderes University, 09100 Aydın, Turkey

USING LSTM NEURAL NETWORKS FOR FAKE ONLINE USER REVIEW DETECTION 289
Özlem Uçar[1], Kenan Taşağal[2]
[1]Trakya Üniversitesi Engineering Faculty, Edirne Turkey
[2]Trakya Üniversitesi Engineering Faculty, Edirne Turkey

COMPUTER TECHNOLOGIES

SMART-CONTRACT OF ETHEREUM BLOCKCHAIN 294
Veneta Panayotova Aleksieva, Anton Plamenov Huliyan
Technical University of Varna

ANOMALIES BASED BOTNET DETECTION SYSTEM 300
Yulia Aleksandrova Aleksieva, Hristo Georgiev Valchanov
Technical University of Varna

AN APPROACH TO BUILDING A DIGITAL UNIVERSITY DOCUMENT REPOSITORY 305
Emil Hadzhikolev, Stanka Hadzhikoleva, Nedelcho Andonov
Plovdiv University "Paisii Hilendarski"

SYSTEM FOR LABORATORY EXERCISES USING VIRTUAL MACHINES 311
Delyan Genkov
Technical University of Gabrovo

ASPECTS OF THE SELECTION OF A WEB-BASED CONTENT MANAGEMENT SYSTEM 317
Petar Halachev
University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia, Bulgaria

OPTIMAL PATH IN GRAPH WHEN USING DIFFERENT TOPOLOGIES TO OBSERVATION OBJECTS IN A SECURITY ZONE 323
Iliyan Boychev
Technical University of Varna

COMPLEXITY OF DECOMPOSITION ALGORITHM 328
Matyo Dinev, Valentina Kukenska, Petar Minev
Technical University of Gabrovo

PROCESS MODELING IN THE OPERATING SYSTEMS 333
Valentina Kukenska, Petar Minev, Matyo Dinev
Technical University of Gabrovo

ANALYZES AND RESEARCH WITH CLOUD TECHNOLOGIES OF THE WEATHER CONDITIONS FOR A SPECIFIC ARABLE LAND 337
Elitsa Bakalova
University of Veliko Tarnovo 'St. Cyril and St. Methodius'

AN APPROACH FOR AUTOMATIC RECORDING AND VISUALIZATION OF DATA FROM UTONOMOUS SYSTEMS 341
Delyan Genkov
Technical University of Gabrovo

WEB SERVICE INTEGRATED MATLAB PARALLEL COMPUTING 345
Dejan Vujičić, Željko Jovanović, Dijana Stojić, Uroš Pešović, Marina Milošević, Siniša Randić
University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences in Čačak, Serbia

AUTOMATION

STATE ESTIMATION OF A SUMMER TOBOGGAN USING THE EXTENDED KALMAN FILTER 351
Christoph Menz, Silvio Bachmann
Schmalkalden University of Applied Sciences

SYNCHRONIZING OF GENERATORS AND SIMPLE APPLICATION TO HOSPITAL 355
Ozgur MERCANLI [1], Hilmi KUSCU [2]
[1]Trakya University, Mechanical Engineering Department, Edirne, TURKEY
[2]Trakya University, Mechanical Engineering Department, Edirne, TURKEY

PID CONTROLLER WITH NOISE FILTER DESIGN BASED ON PSO OPTIMIZATION ALGORITHM–SISO SYSTEM WITH INTEGRATOR CASE 360
Aleksandar D. Micić[1], Jordan N. Radosavljević[1],
[1]Faculty of Technical Sciences, University of Priština, K. Mitrovica, Serbia

CONTROL OF A MANIPULATOR WITH 3 DEGREES OF FREEDOM WITH RASPBERRY PI AND CODESYS 364
Stanimir Yordanov, Veselin Mitev , Teodor Kovachev
Technical University of Gabrovo

SYSTEM FOR AUTOMATIC REPORTING A LABOUR PRODUCTIVITY IN REAL TIME 372
S. Yordanov, S. Ivanov, G. Mihalev
Technical University of Gabrovo

DESIGN OF MACHINES AND INSTRUMENTS

PRACTICAL APPLICATIONS OF THE CAD/CAM SYSTEMS IN THE MACHINE TOOLS 379
Madlena Zhilevska[1], Marin Zhilevski[2]
[1]Technical College of Lovech
[2]Technical University of Sofia

ANALYSIS OF FUNCTIONAL TESTS OF POINT CHISEL AND FLAT CHISEL FOR ROTARY HAMMER 384
Milko Dochev[1], Cvetan Naidenov[2]
[1] Technical College - Lovech
[2] Sparky - Eltos EAD – Lovech

DEVELOPMENT OF 3-D PRECAUTIONS FOR THE PRODUCTION OF RESPONSIBLE STRUCTURAL ELEMENTS 389
Salenko A.F. [1], Orel V.N. [1], Shchetinin V.T. [1], Titarenko A.N. [1], Gabuzyan G.V.[1] Samusenko A.N.[2]
[1]Kremenchug National University named M.Ostrogradsky, Kremenchug, Ukraine
[2]State Design Bureau "Yuzhnoe"named M.K. Yangel, Dnipro, Ukraine

FEATURES WHEN ALLOYED OF IRON MATRIX IN POWDER METALLURGY 395
Ivan Vinev
Technical University of Gabrovo

COMPUTER SIMULATION OF DIFFERENT TYPES OF BIODEGRADABLE PLASTICS 401
Emil Velev
University of Plovdiv Paisii Hilendarski

HYDRAULICS, PNEUMATICS AND HEAT ENGINEERING

DISTRIBUTION OF PRESSURE IN AN OPERATING GAP OF PULSE SEAL 406
Kuznetsov E. G., Nahornyi V. V.
Ukraine, Sumy, Sumy State University, Faculty of Electronic and Information Technologies

THE INLET FLUID TEMPERATURE INFLUENCE ON THE MULTI-MODE HYDRAULIC DRIVE OPERATING 411
Oleksandr Gubarev, Konstantin Belikov, Oksana Hanpantsurova, Alyona Muraschenko
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

FORECASTING WORKING CAPACITY OF POLYAMID AIR PIPE IN PNEUMATIC SYSTEMS 416
Nikolay Stefanov
Technical University of Gabrovo

MATHEMATICS AND INFORMATICS

COMPLEX HOMOGENEOUS DIFFERENTIAL EQUATION OF FIRST AND SECOND ORDER THROUGH ITERATIONS 423
Jelena Vujaković, Nataša Kontrec, Stefan Panić
University of Priština, Faculty of Sciences and Mathematics
Lole Ribara 29, Kosovska Mitrovica, Serbia

GREEDY-GENETIC ALGORITHM HYBRID SOLUTION OF 1D STOCK CUTTING PROBLEM 429
Todor Balabanov, Ivan Blagoev, Zornitsa Atanassov
Institute of Information and Communication Technologies
Bulgarian Academy of Sciences

DEVELOPMENT OF SOFTWARE APPLICATIONS AND PROBLEMS IN THEIR EVALUATION 435
Petar Halachev
University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia, Bulgaria

THE SECOND MEAN VALUE THEOREM FOR COMPLEX LINE INTEGRAL 442
Jelena Vujaković, Stefan Panić, Nataša Kontrec
University of Priština, Faculty of Sciences and Mathematics
Lole Ribara 29, Kosovska Mitrovica, Serbia

MLP WITH STOCHASTIC MANIPULATED HIDDEN LAYER 446
Todor Balabanov, Rumen Ketipov, Zornitsa Atanassova
Institute of Information and Communication Technologies
Bulgarian Academy of Sciences

MECHATRONICS, METROLOGY ANG QUALITY MANAGEMENT

OPTIMIZE THE ELASTICITY OF 100% ACRYLIC YARN WORKED ON PSK-225 SPINNING MACHINE 452
Borislav Tzonev Stoyanov[1], Krasimir Iliev Drumev[1], Dobrin Nenchev Genov[1]
[1]Technical university of Gabrovo, department "IDTE"

RELIABLE IMPLEMENTATION OF SERIAL PSEUDORANDOM/ NATURAL CODE CONVERTER 456
Goran Miljković, Dragan Denić, Milan Simić, Aleksandar Jocić
University of Niš, Faculty of Electronic Engineering
Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Serbia

PECULIARITIES OF METROLOGY IN MILLIMETER RANGE COMMUNICATION SYSTEMS 460
Aleksey Yanenko [1], Mikhail Prokofiev[1], Sergey Peregudov[1], Valentina Ovod[2]
[1]Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
[2] Kyiv electromechanical college

EDUCATIONAL TECHNOLOGIES

COMPARATIVE ANALYSIS OF IT SUBJECTS' TEACHING QUALITY IN HIGH SCHOOLS 465
Nebojša Stanković, Marija Blagojević, Miloš Papić
University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences, Čačak, Serbia

SEMANTIC APPROACH TO SCRIPT CONCORDANCE TEST 469
Maja Radović[1], Milorad Tošić[2], Danijela Milošević[1], Marjan Milošević[1], Marina Milošević[1]
[1]Faculty of Technical Sciences Cacak, University of Kragujevac, Serbia
[2]Faculty of Electronic Engineering, University of Nis, Serbia

RESEARCH AND TEACHING OF INDUCTIVELY COUPLED CIRCUITS WITH MODELLING IN VIRTUAL ENVIRONMENT 474
Velislava Raydovska, Velichko Manev, Dilyana Kashokova
University of Plovdiv Paisii Hilendarski Faculty of Physics and Technology

LABORATORY SETUP FOR MEASUREMENTS BASIC PUMP SYSTEM CHARACTERISTICS 480
Milos Bozic[1], Marko Sucurovic[2], Marko Rosic[3], Vojislav Vujicic[4], Miroslav Bjekic[3]
[1]Department of Mechatronics, University of Kragujevac,
Faculty of Technical Sciences in Cacak
[2]Department of Industrial Engineering, University of Kragujevac,
Faculty of Technical Sciences in Cacak
[3]Department of Power Engineering, University of Kragujevac,
Faculty of Technical Sciences in Cacak
[4]Department of Mechanical Engineering, University of Kragujevac,
Faculty of Technical Sciences in Cacak

NEW TRENDS IN SOFTWARE TESTING COURSE IN HIGHER EDUCATION 484
Olga Ristić, Marjan Milošević, Maja Radović, Sandra Milunović-Koprivica, Milan Vesković
Faculty of Technical Science in Čačak, University of Kragujevac, Serbia

TEACHING FOR AUTOMATION DESIGN OF DIGITAL CIRCUITS 490
Petar Borisov Minev, Valentina Stoyanova Kukenska, Matyo Stefanov Dinev
Technical University of Gabrovo

EXPERIMENTATION OF THE METHODICS FOR INITIAL MONITORING AND EVALUATION OF PROJECTS, FUNDED BY EUROPEAN COMISSION 495
Maria Ivanova
Faculty of Management, Technical University of Sofia

FROM FOAMED SUSPENSIONS TO FUNCTIONAL POROUS MATERIALS 501
N. Denkov, S. Tcholakova, I. Lesov
Faculty of Chemistry & Pharmacy, Sofia University

CHEMISTRY AND ECOLOGY

PRACTICAL APPLICATION OF UV-LED IN ENVIRONMENTAL PROTECTION 507
Beletskaya Evgeniya[1], Garmash Bogdan[1], Hovorova Katerina[2], Diumin Eduard[2] Govorov Pilip[2]
[1]Ukrainian State University of Railway Transport
[2]O.M.Beketov National University of urban Economy in Kharkiv

WATER QUALITY DETERMINATION OF THE LAKES MOGAN AND CERNEK (TURKEY) BY USING MACROINVERTEBRATES ACCORDANCE WITH WATER FRAMEWORK DIRECTIVE 510
Naime ARSLAN[1*], Deniz MERCAN[1]
[1]Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Eskişehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey

CHIRONOMIDAE POTAMOFAUNA OF EMET, ORHANELI AND MUSTAFA KEMAL PAŞA STREAMS, CATCHMENT AREA OF LAKE ULUABAT 519
Sevgi ULUKÜTÜK[1], Naime ARSLAN[2]
[1]AKU, TUAM, Campus of ANS Gazlıgöl Road, 03200 Afyonkarahisar, Turkey
[2]Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Eskişehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey

AUGMENTATION OF MICROBIAL FUEL CELL PERFORMANCE USING MODIFIED AIR CATHODES 526
Blagovesta Midyurova[1], Aleksandar Dimitrov[2]
[1] Prof. D-r Asen Zlatarov University

RADIO-ENVIRONMENTAL MONITORING OF DRINKING WATER AND BOTTOM SLUDGE IN THE AREA OF KOZLODUY NPP 530
Pencho Stoychev
Technical University of Gabrovo

STUDY OF THE STATE OF THE WATER SOURCES IN GABROVO REGION 536
Pencho Stoychev
Technical University of Gabrovo

MONITORING OF EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES IN THE MANUFACTURE OF SANITARY CERAMICS 542
Dragomir Vassilev, Radostina Boyanova
Technical University of Gabrovo

BUILDING OF WASTE COMPOSTING EQUIPMENT IN THE SEVLIEVO MUNICIPALITY 549
Dragomir Vassilev, Steliyana Stoyanova
Technical University of Gabrovo

PHYSICS

THE EFFECT OF PRESSURE ON EXCITED STATE BINDING ENERGY, EXPECTATION VALUE OF THE ELECTRON-IMPURITY AND IMPURITY SELF-POLARIZATION IN A GAAS-$GA_{1-X}AL_XAS$ SPHERICAL QUANTUM DOT 556
Ali Ihsan MESE
Department of Physics, Trakya University, Edirne 22030, Turkey

THE EFFECT OF BINDING ENERGY A DONOR IMPURITY IN A GAAS/ALAS TETRAGONAL QUANTUM DOT UNDER APPLIED SPATIAL ELECTRIC FIELD 560
O.Akankan
Departmanof Physics, Trakya University, Edirne 22030, Turkey

THE EFFECT OF POLARIZATION A DONOR IMPURITY IN A GAAS/ALAS TETRAGONAL QUANTUM DOT UNDER APPLIED SPATIAL ELECTRIC FIELD 563
O. Akankan
Departmanof Physics, Trakya University, Edirne 22030, Turkey

LOCAL STRUCTURE OF LIQUID ZIRCONIUM: MOLECULAR DYNAMICS STUDY 566
Sedat SENGUL, Unal DOMEKELI
Faculty of Science, Trakya University, Edirne, Turkey

MOLECULAR DYNAMIC SIMULATION OF GLASS FORMATION AND CRYSTALLIZATION IN BINARY METALLIC ALLOYS DURING COOLING PROCESS 570
Sedat SENGUL and Unal DOMEKELI
Dept. of Physics, Faculty of Science, Trakya University, Edirne, 22030, Turkey

MOLECULAR DYNAMIC SIMULATION STUDY OF MELTING POINT OF L12-CU_3AU ALLOY 575
Murat CELTEK[1] and Unal DOMEKELI[2]
[1]Faculty of Education, Trakya University, Edirne, Turkey
[2]Faculty of Science, Trakya University, Edirne, Turkey

THE STUDY OF MOLECULAR DYNAMICS SIMULATIONS OF MELTING BEHAVIOR OF BCC TANTALUM NANOCLUSTERS 580
Murat CELTEK[1], Unal DOMEKELI[2]
[1]Faculty of Education, Trakya University, Edirne, Turkey
[2]Faculty of Science, Trakya University, Edirne, Turkey

THE EFFECT OF THE COOLING RATE ON THE SOLIDIFICATION OF THE LIQUID PD NANOPARTICLE 584
Unal DOMEKELI[1], Sedat SENGUL[1], Murat CELTEK[2]
[1] Department of Physics, Faculty of Science, University of Trakya, 22030, Edirne, TURKEY
[2] Faculty of Education, University of Trakya, 22030, Edirne, TURKEY

SIZE DEPENDENT MELTING BEHAVIOR OF RH NANOPARTICLES BY MOLECULAR DYNAMICS SIMULATION 588
Unal DOMEKELI[1], Murat CELTEK[2], Sedat SENGUL[1]
[1] Department of Physics, Faculty of Science, University of Trakya, 22030, Edirne, TURKEY
[2] Faculty of Education, University of Trakya, 22030, Edirne, TURKEY

THERMO-PHYSICAL MAGNITUDES INFLUENCING THE LASER MARKING OF STEEL PRODUCTS 592
Nikolay Angelov
Technical University of Gabrovo

INFLUENCE OF FREQUENCY OF LASER MARKING ON PRODUCTS OF STEEL X10CRNITI18-10 595
Nikolay Angelov
Technical University of Gabrovo

НАПРАВЛЕНИЕ 1

ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

SESSION 1

ELECTRICAL ENGINEERING

INCREASE GENERATION EFFICIENCY OF HYDROGEN BY THE MEANS OF ULTRASOUND FIELD AND THE MECHATRONIC CONTROL SYSTEM OF THE OPERATION MODE

Oleksandr Luhovskyi, Igor Nochnichenko, Dmytro Kostiuk, Andrii Zilinskyi, Valentin Mironchuk

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

Abstract

In the study methods of increase of an overall performance of an electrolyzer for hydrogen-oxygen mix obtaining are considered and their influence on system efficiency are investigated. Based on the results of the analysis of existing studies of hydrogen generators, it was established their low efficiency and the original design of the hydrogen generator was proposed. Experimental setup to test the efficiency of the device and determine its performance was designed. There were carried calculations of increasing the efficiency of a gas generation with the presence of an ultrasonic field.

Analysis of the experimental and theoretical results of the study made it possible to determine the rational frequency and amplitude of the ultrasonic field. The results of the experimental data confirmed the increase in the efficiency of the device for gas producing. Directions for improving the performance of the cell by applying an ultrasonic field and pulse width modulation for maintaining rational operating modes have been determined, as a result of which it is possible to increase the productivity of the hydrogen-oxygen mixture up to 40%.

Keywords: hydrogen, ultrasonic field, electrolysis, energy efficiency, efficiency

INTRODUCTION

Nowadays hydrogen is one of the alternative fuels. Hydrogen energy is very promising, devoid of environmental problems, typical for the use of hydrocarbon fuels. The technology of producing hydrogen by electrolysis of water is known, which is rational for the case of low productivity. The electrolyzer, as a technological equipment, has become widely used in hydrogen energy [1, 2]. Electrolysis of water differs from other methods of producing hydrogen by the simplicity of the technological scheme, the availability of water as a raw material, the ease of maintenance and the reliability of technological equipment.

Hydrogen energy is absolutely environmentally safe because when hydrogen is burned only water is formed.

The variety of ways to produce hydrogen is one of the advantages of hydrogen energy, as it increases energy security and reduces dependence on certain types of raw materials [1-3].

The following methods for producing hydrogen are known:

- steam conversion of methane and natural gas;
- gasification of coal;
- electrolysis of water;
- pyrolysis;
- partial oxidation;
- biotechnology;
- chemical reactions.

At the moment, the most common way of obtaining hydrogen for motor vehicles is the electrolytic decomposition of water (electrolysis, hydrolysis). However, this method has a low efficiency.

EXPOSITION

Electrolytic hydrogen is the most affordable and, at the same time, the most expensive in the energy sector. In industrial and pilot plants,

the efficiency of the cell is ~ 70-80% at a current density of less than 1 A/cm^2, including for electrolysis under pressure. In hydrogen generators, which are used in cars, the efficiency on average is 30-60%.

However, the simplicity of the device and the technological design make this method promising. In the modern world, the transition to renewable energy sources is becoming ever more urgent, as one of the main goals of introducing hydrogen energy is to reduce greenhouse gas emissions and the introduction of an embargo on oil and gas production in the future. Such renewable sources can be wind energy or solar energy, which allows realizing the technology of water electrolysis.

In the first approximation, the mass of isolated hydrogen during electrolysis can be calculated according to the Faraday law [3]:

$$m = k * q, \qquad (1)$$

where m is the mass of the precipitated substance, k is the electrochemical equivalent of the substance, and q is the charge.

As a result of the thermodynamic calculation of the hydrolysis of water, we obtain the consumption of electricity for the production of 1 m3 of hydrogen – 2,37 kWh. While molecular-kinetic calculation yields 2,07 kW-h. According to Faraday's law, this figure is 1,96 kWh. In practice, in some US patents, for example, Stanley A. Meyer [4], this figure is much smaller. However, in industrial production, the figure of 5,2 kWh was fixed on all electrolyzers without exception. for 1m3 of hydrogen. The best indicator, fixed by the American manufacturers of electrolyzers, is 4,25 kWh.

Electrolysis of water is one of the most famous and well-studied methods of producing hydrogen. It ensures the production of a pure product (99,6 – 99,9% H_2) in one technological stage. The economy of the process mainly depends on the cost of electricity.

The operating principle of the cell is shown in the diagram (Fig. 1). A so-called "dry" electrolyzer is presented in which the current is supplied to the side plates-the anode and the cathode.

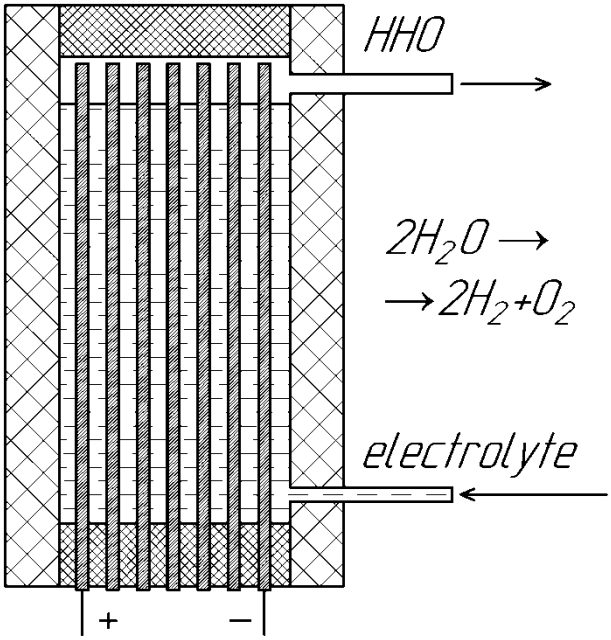


Fig. 1. *The scheme of the device and the operating principle of the electrolyzer*

The cell contains an electrolyte-filled container in which the metal plates forming the cells are located. The voltage of the power supply is divided by the total number of cells. By means of electrical pulses, water molecules (H_2O) break up into two molecules of hydrogen and one molecule of oxygen.

There are following ways to increase the energy efficiency of hydrogen production by electrolysis:

- intensification of processes due to the application of vibrations of the electrolyte;
- use of pulse-width modulation;
- adjustment of rational operating modes (maintenance of temperature regimes, electrolyte concentration, reactor design parameters) and other methods [1-7].

The efficiency of hydrogen or hydrogen oxygen mixture (HHO) generation by increasing the level of technical equipment and the development of methods for producing hydrogen is constantly increasing (Fig. 2). As can be seen, the most effective method of producing hydrogen is the use of an ultrasonic field and a mechatronic control system.

Pulse width modulation (PWM) is the process of controlling the latitude (duration) of high-frequency pulses according to the law given by the low-frequency signal. In electronics, this can be used to control the average voltage value by changing the

duration of the closed state of the electronic (electromechanical) key, for example, in the circuit of the key voltage regulator.

Due to the use of PWM, it is possible to control the value of the current passing through the electrolyzer. Also, the impulse supply of power to the electrodes can be useful from the point of view of increasing the efficiency of operation, since when the gas is released on the plate its effective contact area with the electrolyte decreases and it takes some time for the bubbles to detach from the plate.

A feature of PWM is a small loss of energy on an electronic switch. It is mainly located or in the off state when its resistance is maximum, or in the saturation mode with a minimum resistance, that is, either the current or the voltage drop on it are close to zero.

kinetics of electrode processes. Under the influence of ultrasound, the processes occurring in the electrolyte itself are also intensified.

The equation of longitudinal oscillations of a piezoelectric composite converter in general form can be written as [9]:

$$S\frac{\partial^2 U}{dt^2} = C^2\frac{\partial}{\partial x}\left(S\frac{\partial U}{\partial x}\right), \qquad (2)$$

where U is the longitudinal displacement, C is the speed of sound, and S is the cross-sectional area.

The HHO bubbles released during the electrolysis at the cathode are obtained in an ultrasonic field by an accelerating shock as a result of the reflection of the sound wave from

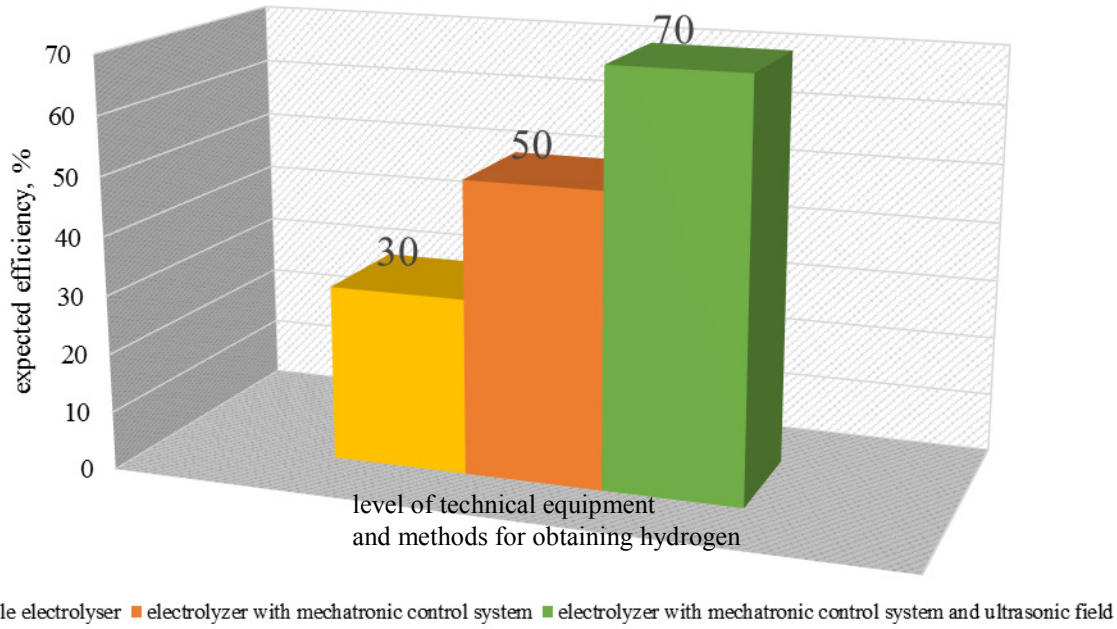


Fig.2. *Methods for increasing the energy efficiency of hydrogen generation*

PWM also fits well with digital technology

The ultrasonic field excited in the electrolyte has a strong mixing effect at the molecular level, qualitatively different from the usual mechanical mixing, significantly reduces the ion concentration gradient in the near-cathode layer, thereby affecting the polarization of the electrodes, and substantially increases the limiting diffusion current during electrolysis.

The ultrasonic field in the process of electrolysis has a significant effect on the

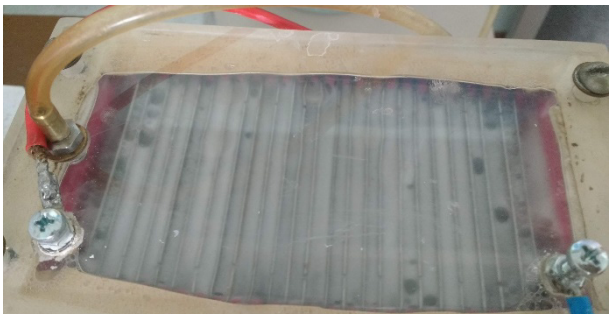


Fig. 3. *Visualization of the electrolyzer operation. Gas emission is observed on all plates*

the "solution-gas" interface. This accelerates the motion of gas bubbles along the surface of the cathode Fig. 3.

Acceleration increases with increasing intensity of the ultrasonic field. Gas bubbles move in the electrolyte along the cathode surface, as a result of which the electrolyte layer in the cathode space is continuously renewed.

The effect of ultrasound increases with increasing cathode current density, which increases the depletion of the near-cathode layer and increases the number of hydrogen bubbles [2].

An experimental prototype of a HHO generator has been created, the scheme of which is presented in Fig.4. A measurement system and a methodology for conducting research were developed.

The circuit includes an electrolyzer with the ability to supply voltage to the plates both directly from the power supply unit (PS) and through the pulse width modulation (PWM) module. The pulse frequency of the module is 100 Hz, the duty cycle is 50%.

316 stainless steel.

A half-wave ultrasonic piezoelectric radiator located in the bottom of the cell body was excited by an ultrasonic frequency generator (USG) with an intensity exceeding the threshold for the onset of cavitation. During the research, the frequency of the ultrasonic generator was set at 28, 30 and 32 kHz. Accordingly, the resonance dimensions of the piezoelectric radiator were also corrected. The obtained results of experimental studies made it possible to determine the dependence of the hydrogen-oxygen mixture consumption on temperature for different ultrasound frequencies (Fig.5).

The obtained results show that the frequency of ultrasonic oscillations affects the intensity of the hydrogen-oxygen mixture evolution.

Three modes of operation of the cell were considered: direct current, pulsed current and ultrasonic field.

In the study of the operation of the cell, the discharge of gas was measured, the temperature of the electrolyte and the current

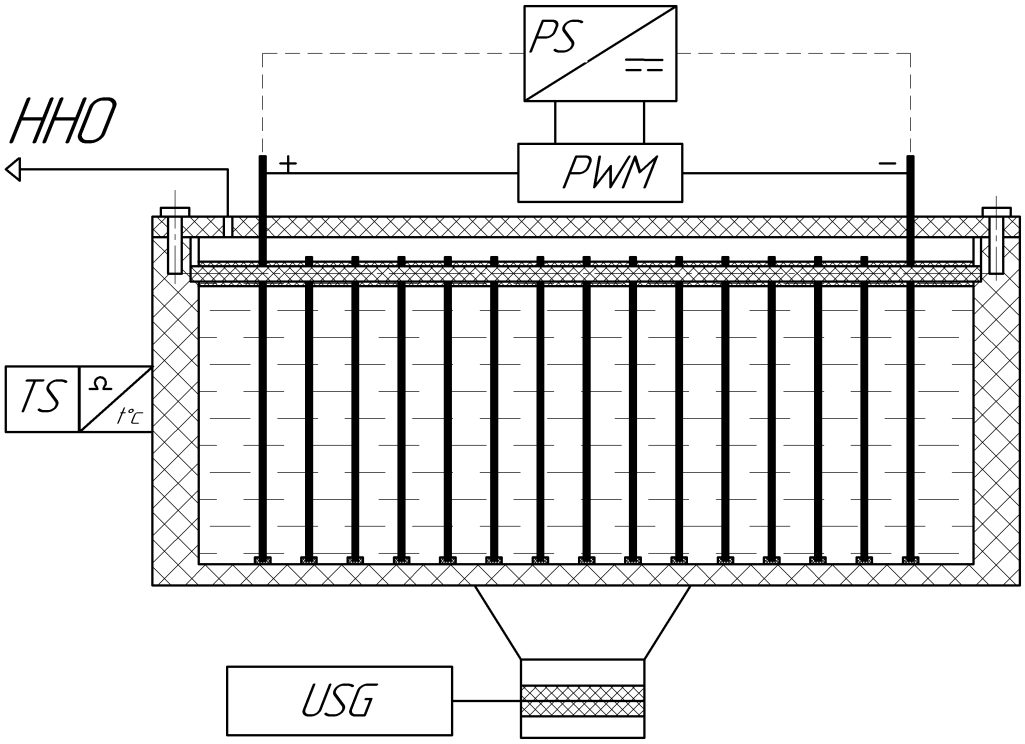


Fig. 4. *Connection diagram of the test cell under investigation: PS - power supply unit, PWM - pulse width modulator, TS - temperature sensor, USG - ultrasonic generator*

The amplitude of pulses - 60 V. Number of plates - 25 pcs. The dimensions of the plates are 60x75x1mm. The plates are made of AISI

passing through the electrolyzer were recorded.

To verify the efficiency of the cell in these

modes, the experimental setup Fig.6 was assembled.

The discharge of the gas was recorded using a rotameter and a volumetric method. The control of the electrical parameters of the PWM and the ultrasonic frequency generator was performed with an oscilloscope. The dependences obtained as a result of the experiment are presented in Fig. 7. Three modes of operation of the cell were compared: with DC power, pulse power supply (PWM), and ultrasonic field imaging with pulse power (Ultrasonic).

As can be seen from the graphs, the intensity of the electrolyser's operation is affected by the current passing through the electrolyzer and the temperature of the electrolyte. The analysis showed that the effect of the temperature of the electrolyte on the amount of gas released is practically linear.

It has been experimentally established that when the cell temperature rises above 55-60°C, instability of the technological process occurs.

The cell works most effectively at a temperature of 50-55 ° C, that is, the efficiency depends directly on the temperature conditions. To prolong the time of stable operation of the cell, it is necessary to cool the electrolyte (Fig. 7).

Comparison of the dependencies obtained in different modes of operation shows that the application of pulse modulation of the supply voltage (PWM) leads to an increase in the amount of released gas by 10-15% (Fig.7.).

Maximum efficiency is achieved by switching on an ultrasonic radiator (Ultrasonic). At the same time, an increase in the discharge of the released gas to 40% was observed (Fig. 7).

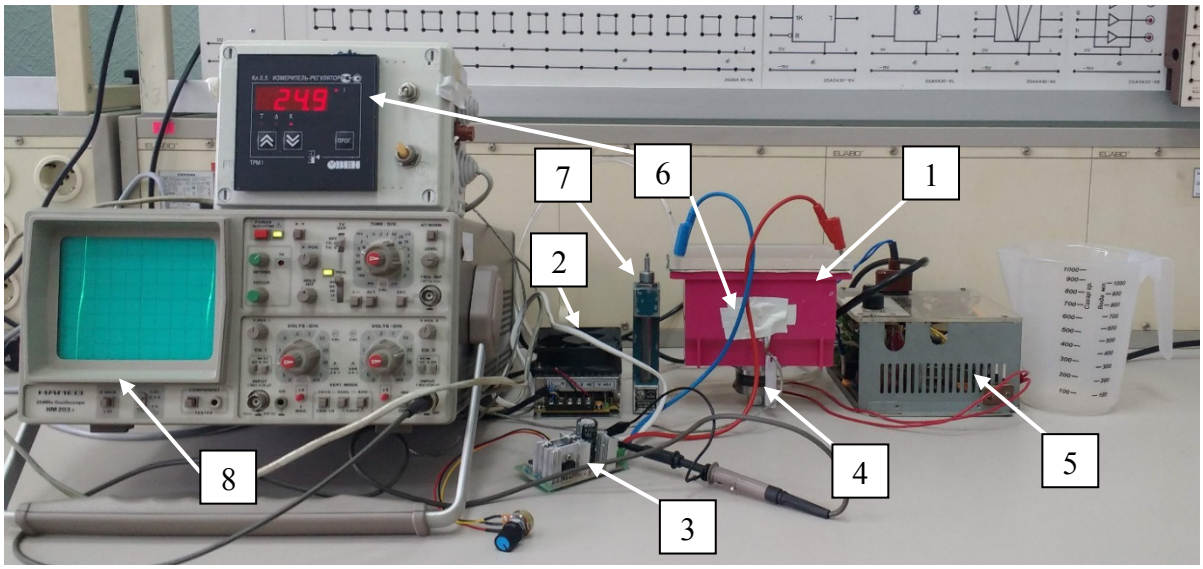


Fig. 6. *Stand for testing the cell: 1 - electrolyzer, 2 - power unit, 3 - pulse width modulator, 4 - ultrasonic radiator, 5 - ultrasonic generator, 6 - temperature measurement module, 7 - rotameter, 8 - oscilloscope*

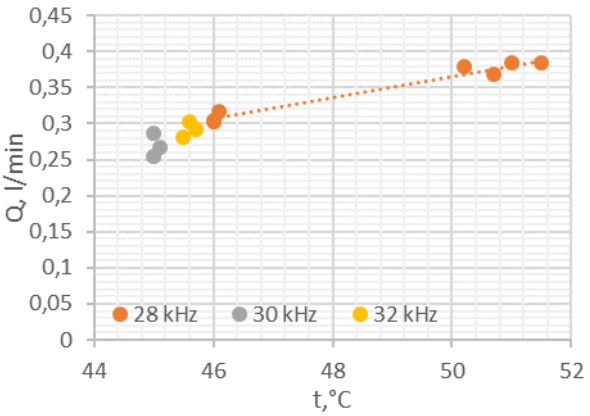


Fig. 5. *Dependence of hydrogen-oxygen mixture consumption on temperature for different ultrasound frequencies*

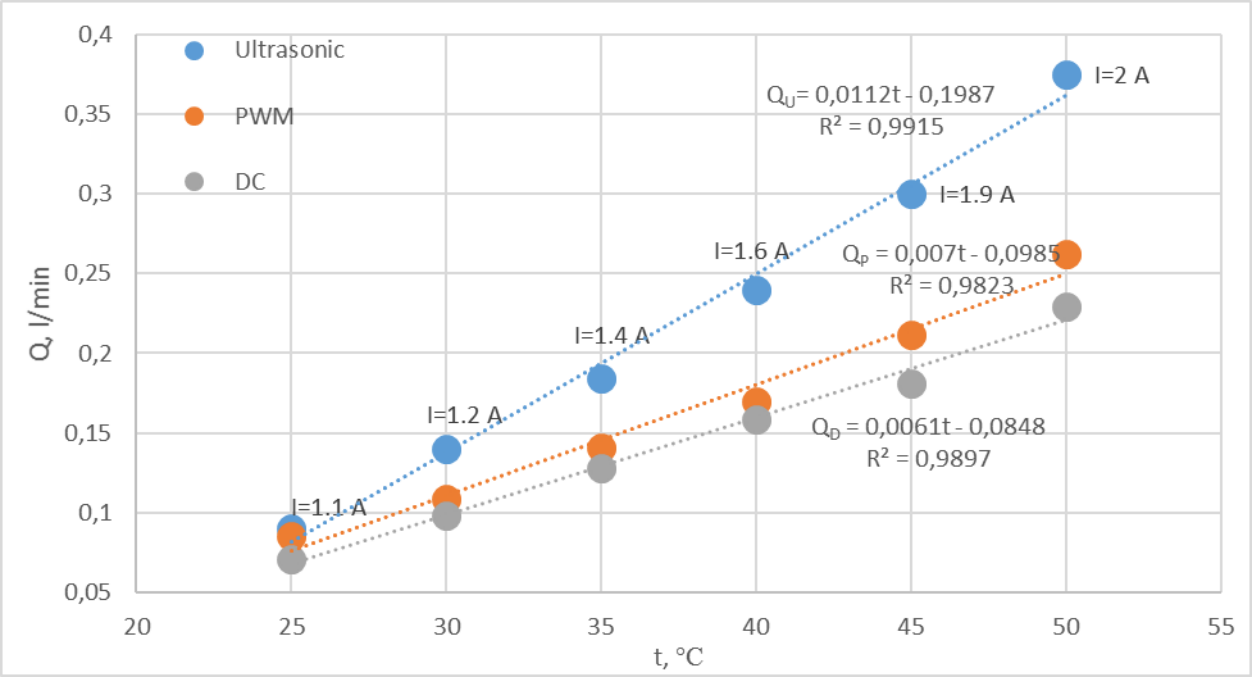


Fig. 7. *Dependence of the flow of the hydrogen-oxygen mixture on the temperature of the electrolyte at different current strength (electrolyte-distilled water and soda Na_2CO_3 1:10)*

The current flowing through the electrolyzer changed with increasing temperature of the electrolyte and was practically independent of the mode of operation of the apparatus.

To reduce power consumption, a pulse generator with an electronic control unit is used. It should also be noted that cavitation caused by ultrasound cleared the plates from the formed deposits and coagulated the sediment on the bottom of the electrolyzer.

CONCLUSION

Thus, the proposed modernized circuit supports rational operating conditions of the cell, and the use of an ultrasonic field has increased the energy efficiency of the electrolysis process as a whole.

It should be noted that one of the main factors affecting the processes of electrolysis is the temperature conditions of operation (the temperature of the electrolyte), which necessitates the rigging of the system by the unit for maintaining a rational temperature (heat exchanger).

In the future, it is planned to create an autonomous electrolyzer with control from a computer and with a solar panel as an alternative power source.

REFERENCE

[1] Vodorod v energetike : ucheb. posobie / R. V. Radchenko, A. S. Mokrushin, V. V. Tyul'pa. — Ekaterinburg : Izd-vo Ural. un-ta, 2014. — 229, [3] s.

[2]Elektrolizer. Vidy i tipy. Primenenie [Elektronniy resurs] // ELEKTROSAM.RU. – 2018. – Rezhim dostupu do resursu: https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/elektrolizer/.

[3] Korzh V.N. Obrabotka metallov vodorodno-kislorodnym plamenem: monografiya/ V.N. Korzh, Yu.S Popil'. //- K. : Ekotekhnologiya, 2010.

[4] Stanley Meyer's water fuel cell [Elektronniy resurs] // From Wikipedia, the free encyclopedia. – 2018. – Rezhim dostupu do resursu:https://en.wikipedia.org/wiki/Stanley_Meyer%27s_water_fuel_cell.

[5] Yakimenko L.M., Modylevskaya I.D., Tkachek Z.A. Elektroliz vody izdatel'stvo Khimiya. Moskva. 1970. -264s.

[6] Shpil'rayn E.E., Malyshenko S.P., Kuleshov G.G. Vvedenie v vodorodnuyu energetiku., M.: Energoatomizdat, 1984. – 264. s.

[7] Nochnichenko I.V. Perspektivy primeneniya hho-elektrolizera v mashinostroitel'nom komplekse - I.V. Nochnichenko, V.M. Nochnichenko, C.S. Antonov - Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Gidro- i pnevmoprivody mashin - sovremennye dostizheniya i primenenie», g. Vinnitsa 2016. -209-211 s.

[8] Nochnichenko I. V. Perspektivy primeneniya hho-elektrolizera dlya generatsii gaza Brauna v kachestve primesi k zhidkogo topliva v avtomobil'nom transporte KhKhII Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Gidroaeromekhanika v inzhenernoy praktike», m. Cherkasi 2017. -30-31 s.
[9] Lugovskoi A.F. Ul'trazvukovaya kavitatsiya v sovremennykh tekhnologiyakh / A. F. Lugovskoi, N. V. Chukhraev. – K.: VPTs «Kiïv. un-t», 2007. – 244 s.

SOILING INFLUENCE ON THE SHORT-CIRCUIT CURRENT OF SOLAR MODULE MOUNTED AT THE OPTIMAL ANGLE

Ivana S. Radonjić[1], Tomislav M. Pavlović[1], Dragoljub Lj. Mirjanić[2], Miodrag K. Radović[1], Galina Sazhko[3]

[1] University of Nis, Faculty of Sciences and Mathematics, Department of Physics, Višegradska 33, 18 000 Nis, Republic of Serbia

[2] Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Bana Lazarevića 1, 78 000 Banja Luka, Republic of Srpska

[3] Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Department of Informatics and Computer Technologies, Universitetskaya str. 16, Kharkov, Ukraine

Abstract

Short-circuit current is one of the basic parameters of solar modules. Due to solar modules soiling their short-circuit current decreases considerably. In this paper, the results of the experimental investigation of the influence of the soiling on the surface of the solar module mounted at an optimal angle of 32^o for the Nis area with different quantities of soil (mud) on its short-circuit current are given. The paper emphasizes that the short-circuit current of the solar module due to the application of 1 g of soil decreased by 3.997%, due to the application of 2 g of soil by 9.674%, as compared to the clean solar module, and due to the application of 3 g of soil by 15.453%, as compared to the clean solar module. It can be concluded that the short-circuit current of the solar module decreases due to the increased amount of soil.

Keywords: soil, short-circuit current, solar module, optimal angle.

INTRODUCTION

Considering a rapid economic and technological development, life standard has been improving, requiring more and more electricity. Due to the limited reserves of fossil fuels, intensive research in the field of renewable energy sources is further stimulated. A suitable solution for increasing energy security is the use of renewable energy sources, including the photovoltaic conversion system for solar radiation (PV systems). One of the most significant problems when using solar modules is the soiling of their surface, which leads to a decrease in their efficiency [1, 2].

SOILING

Soiling is the term used to describe the deposition of dust on solar modules that reduces the amount of solar radiation that gets to solar cells. Soiling of solar modules is particularly problematic in dry areas and in periods when there is not enough precipitation to clean them. Different factors influence solar module soiling such as relative air humidity, wind speed, tilt angle of solar module, amount of precipitation, etc. [1-8].

SHORT CIRCUIT CURRENT (I_{SC})

The basic parameters of the solar modules are: short-circuit current (I_{sc}), open-circuit voltage (U_{oc}), maximum power (P_{mpp}), fill factor (FF) and efficiency (η) [1, 9].

Short-circuit current (I_{sc}) is a current flowing through an external current circuit when the electrodes of the solar modules are short-circuited. It represents the maximum current of the solar module at zero voltage and is proportional to the intensity of the incident solar radiation. The short-circuit current depends on the surface of the solar module. With the rise in the temperature of the solar module, which in practice is always associated with increasing the intensity of the incident solar radiation, the short-circuit current increases.

The short-circuit current of the solar module linearly depends on the intensity of the solar

radiation. As the temperature of the solar module increases, the short-circuit current grows slightly.

Dust deposited on solar modules significantly reduces the short-circuit current. The short-circuit current is proportional to the intensity of the solar radiation, so that due to the deposition of dust on the solar modules, the value of the intensity of the solar radiation that reaches them decreases, and therefore the short-circuit current decreases as well [5, 10-16].

EXPERIMENTAL SETUP

The experiment was conducted at the Laboratory for Solar Energy at the Faculty of Sciences and Mathematics in Nis, Serbia, on two same Isofoton (Spain) ISF-60/12 solar modules, made of monocrystalline silicon.

Fig. 1. *Monocrystalline silicon solar modules ISF-60/12 on the roof of the Faculty of Sciences and Mathematics in Nis, used in the experiment*

Solar modules were mounted next to each other on the roof of the Faculty building, were set at an optimal angle for the Nis area of 32^o and were facing south. Table 1 gives the technical characteristics of ISF-60/12 solar modules [1].

Tab. 1. *Technical characteristics of ISF-60/12 solar module*

Dimensions (size)	776 x 662 x 39.5 mm
Weight	6.5 kg
Cell type	Si monocrystalline
Power of the module	60 Wp
Module efficiency	11%
Maximum power current	3.47 A
Maximum power voltage	17.3 V
Open circuit voltage	21.6
NOCT (800 W/m^2, 20^{o}C, AM 1.5, 1m/s)	47^{o}C
Maximum system voltage	760 V

RESULTS

On 03.08.2017 the influence of different masses of soil on the short-circuit current of the solar modules, set at an angle of 32^o in relation to the horizontal plane, was examined.

On the day of measurement, August 3, 2017 first both solar modules were cleaned to remove all dirt from them. During the measurement, the right solar module was clean all the time and was not soiled. The left module was uniformly soiled by the dispersion of a certain amount of water containing 1 g of soil, followed by the first measurement at 12:20. The surface of each solar module was S=0,514 m^2 so that the soil concentration on the soiled solar module before the first measurement was 1.945 g/m^2. After the first measurement was completed, the left module was additionally uniformly soiled by the dispersion of a certain amount of water containing 1 g of soil, so that the soil concentration on the soiled solar module was 3.891 g/m^2 before the second measurement, and at 12:30 a second measurement was performed. After the second measurement, the left module was additionally uniformly soiled by the dispersion of a certain amount of water containing 1 g of soil, so that the soil concentration on the soiled solar module was 5.837 g/m^2 before the third measurement, and at 12:40 the third measurement was performed.

The dependence of I_{sc} on the surface soiling of the optimally set solar module with different masses of the soil is given in Figure 2.

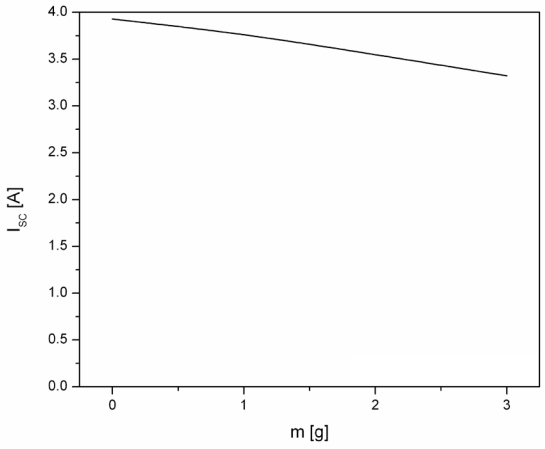


Fig. 2. *Dependence of I_{sc} on the surface soiling of the optimally set solar module with different masses of soil*

Fig. 2 shows that in an optimally set solar module the values of I_{sc} are reduced from 3.93 A for a clean module, to 3.32 A for the module soiled with 3 g of soil.

Comparative display of the I_{sc} for clean (1) and soiled (2) optimally set solar module depending on the time during the day, is given in Figure 3.

In this paper, the results of the experimental investigation of the influence of soil particles on solar module energy efficiency are given.

The experiment was conducted on two same solar modules made of monocrystalline silicon mounted next to each other at an optimal angle (32^o) on the roof of the Faculty of Sciences and Mathematics in Nis, Serbia.

The short-circuit current of the solar module due to the application of 1 g of soil decreased by 3.997%, as compared to the clean solar module, due to the application of 2 g of soil by 9.674%, as compared to the clean solar module, and due to the application of 3 g of soil by 15.453%, as compared to the clean solar module.

On the basis of the above stated, it can be concluded that due to the increase in the mass of the applied soil, the short-circuit current of the solar module is increasingly decreasing.

REFERENCE

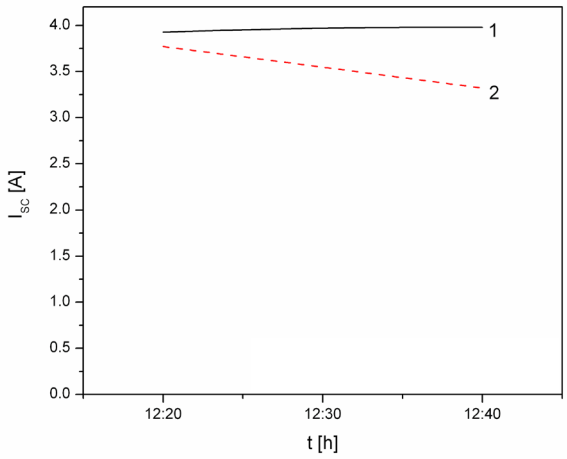


Fig. 3. *Comparative display of the I_{sc} for clean (1) and soiled (2) optimally set solar module depending on the time during the day*

Figure 3 shows that at the optimally set solar modules, the value of I_{sc} ranges from 3.93 A to 3.98 A for a clean module, and from 3.77 A to 3.32 A for the module soiled with different masses of soil [1].

CONCLUSION

[1] I. S. Radonjić Mitić, *Investigation of energy efficiency of PV solar modules depending on their soiling in real climate conditions in Nis*, Doctoral dissertation, Department of Physics, Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš, Niš, 2018.

[2] S. You et al., *On the temporal modelling of solar photovoltaic soiling: Energy and economic impacts in seven cities*, Applied Energy, 228 (2018), 1136-1146.

[3] I. S. Radonjić et al., *Investigation of the impact of atmospheric pollutants on solar module energy efficiency*, Thermal Science, Volume 21, No. 5, 2017, pp. 2021-2030, http://thermalscience.vinca.rs/pdfs/papers-2016/TSCI160408176R.pdf

[4] I. S. Radonjić et al., *Investigation of solar module energy efficiency depending on their surface soiling degree*, Proceedings of Scientific Conference UNITECH 2016, 18-19 November 2016, Gabrovo, Volume I, pp. 147-151.

[5] I. S. Radonjić, T. M. Pavlović, *Investigation of the energy efficiency of horizontally mounted solar module soiled with $CaCO_3$*, Facta Universitatis: Series Physics, Chemistry and Technology, Volume 15, No. 2, 2017, pp. 57-69.

[6] H. M. Ali et al., *Effect of Dust Deposition on the Performance of Photovoltaic Modules in Taxila, Pakistan*, Thermal Science, 21 (2017), 2, pp. 915-923.

[7] F. M. Zaihidee et al., *Dust as an unalterable deteriorative factor affecting PV panel's efficiency: Why and how*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 65 (2016) 1267-1278.

[8] A. Sayyah, M. N. Horenstein, M. K. Mazumder, *Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels*, Solar Energy 107 (2014) 576-604.

[9] S. Djordjevic et al., 2014. *Detectable faults on recently installed solar modules in Western Australia*, Renewable Energy, 67, pp. 215-221.

[10] T. M. Pavlović et al., *SOLAR ENERGY in Serbia, Greece and the Republic of Srpska*, Monographs Vol. XXVI, Department of Natural-mathematical and Technical Sciences Vol. 26, Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, 694 p., Banja Luka, 2015., ISBN:978-99938-21-70-0.

[11] K. Jäger et al., *Solar Energy-Fundamentals, Technology and Systems*, Delft University of Technology, 2014.
[12] A. Ndiaye et al., *Impact of dust on the photovoltaic (PV) modules characteristics after an exposition year in Sahelian environment: The case of Senegal*, International Journal of Physical Sciences, Vol. 8 (21), 9 June 2013, pp. 1166-1173.
[13] W. AL Saluos, *Dust Effect on Photovoltaic Electric Systems*, International Journal of Emerging Engineering Research and Technology, Volume 3, Issue 10, October 2015, pp. 4-9.
[14] E. Klugmann-Radziemska, *Degradation of electrical performance of a crystalline photovoltaic module due to dust deposition in northern Poland*, Renewable Energy 78 (2015) 418-426.
[15] B. Ghosh, A. K. Ghosh, *Effect of Dust on Solar PV Modules Efficiency*, Science and Culture, Volume 80, September-October 2014, 290-297.
[16] J. Tanesab et al., *The contribution of dust to performance degradation of PV modules in a temperate climate zone*, Solar Energy 120 (2015), 147-157.

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА НА ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ НА ПРОМИШЛЕНИ ОБЕКТИ В РЕЖИМ НА ПОНИЖЕНО НАТОВАРВАНЕ

Панчев Р.К., Илиев И.Х., Георгиев Г.А., Чиков В.Ч.
Технически Университет – Варна
МГУ Св. Иван Рилски
Бургаски свободен университет
Технически Университет – Варна

ASSESSMENT AND FORECASTING OF THE RELIABILITY OF THE ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL SITES IN LOW-LOAD MODE

Panchev R.K., Iliev I.H., Georgiev G.A., Chikov V.Ch.
Technical University Varna
UMG St.Ivan Rilski
Burgas Free University
Technical University Varna

Abstract
An assessment has been made of the reliability of the electric power supply systems of various industrial sites operating in a low-load mode. Factors influencing the forecasting of the reliability of the electric power supply are defined. An assessment of quantitative reliability has been made using the state of the art. Based on this assessment, methods for increasing the reliability of the electric power supply systems of industrial sites operating under reduced load are marked.
Keywords: reliability, state of the art.

ВЪВЕДЕНИЕ

Надеждността е свойство на обектите или техническото устройство да изпълнява дадени функции, като запазва във времето експлоатационните им показатели в граници, съответстващи на нормативните изисквания за експлоатация, ремонт, съхранение и транспортиране.

От нивото на надеждност на електроснабдяването зависят промишлеността, комунално — битовият сектор, икономиката и т.н. Тази зависимост е толкова силна, че нарушаването на надеждността води до огромни материални загуби съизмерими със загубите от природни и национални бедствия. Например при аварията в Чернобилската атомна електроцентрала през 1986г материалните щети са оценени за стотици милиарди долари, а човешките жертви са неоценими. Най-големият ядрен инцидент в съвременната история след експлозиите в атомната електроцентрала Чернобил е аварията във Фукушима. Тя се определя като “крупна авария”, при която са отчетени загуби от 7.5 млрд. евро. Аварията в Ню Йорк през ноември 1965г е довела до загуби около 100 милиона долара в резултат на 10 часово прекъсване на електрозахранването на града и цялостно спиране на транспортната, производствената, социалната и културната дейности на 30 милионното население. Още по - фрапиращи са последиците от аварията на 13 юли 1977г., когато прекъсване на електрозахранването в Ню Йорк води до изцяло парализиране на живота за около 25 часа. За-

губите са оценени на 1 милиард долара.

През последните години проблемът с надеждността на електроснабдяването рязко се изостри. Основните причини за това са:

- *Драстично усложняване на електроснабдителните системи (ЕСС), включващи милиони потребители, хиляди съоръжения, елементи и възли; Наличие на екстремални условия на експлоатация за много от елементите на ЕСС (претоварване, прегряване, повишени вибрации, шум, радиация, замърсеност и др.);*
- *Повишени изисквания към качеството на работа на ЕСС (енергийна ефективност, качество на електрическата енергия, компенсация на реактивните товари и др.);*
- *Голямата стойност на загубите от прекъсване на електроснабдяването;*
- *Въвеждането на висока степен на автоматизация на процесите с използване на интелигентни системи за управление с което се игнорира човешкия фактор за контрол на работата на ЕСС и нейните елементи.*

В табл. 1. са представени основните показатели на надеждността, съответните изрази за определянето им и техните димнсии.

Силно влияние върху надеждността оказват устройствата за управление, автоматизация и защита, като АВР (автоматично включване на резерва), АПВ (автоматично повторно включване), АЧР (автоматично честотно разтоварване), АРН (автоматично регулиране на напрежението) на силовите трансформатори, устройства за обратно връщане на електрическа енергия, релейни защити и други. Съществено влияние върху надеждността оказват и показателите за качество на електрическата енергия. Например пониженото напрежение води до ограничаване пропускателната способност на мрежите и от там до понижаване на надеждността.

Табл.1 Основни показатели на надеждност

№	Означение и димнсия	Формула за изчисление	Съставни параметри, обяснения, забележки
1	Честота на отказите ω $[г^{-1}]$	$\omega = \frac{N_{отк}}{N_0 t}$ $N_0 = N_и + N_{отк}$	$N_{отк}$ - брой на отказалите образци за време t; N_0 - първоначален брой образци $N_и$ – брой на изправните образци
2	Интензивност иа отказите $\lambda[г^{-1}]$	$\lambda(t) = \frac{N_{отк}}{N_{иср} t}$ $N_{иср} = \frac{1}{2}(N_{и_н} + N_{и_к})$	$N_{иср}$ –среден брой на изправните образци в интервал от t $N_{и_н}$ и $N_{и_к}$- брой на изправните образци в началото и в края на интервал t
3	Функция на надеждността $R(t)[o.e.]$	$R(t) = \frac{N_и}{N_0} = \frac{N_0 - N_{отк}}{N_0}$ $= 1 - \frac{N_{отк}}{N_0}$ $R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\omega t} \rightarrow (\omega = \lambda)$ $R(t) \approx 1 - \lambda t \approx 1 - \omega t$	Потокът на отказите е стационарен, ординарен и без последействие $\omega = \lambda = const$
4	Вероятност за отказ $Q(t)[o.e.]$	$Q(t) = 1 - R(t)$ $= 1 - e^{-\lambda t} = e^{-\omega t}$ $Q(t) \approx \lambda t \approx \omega t$	$\omega = \lambda = const$
5	Вероятност за n отказа в интервал от време t (закон на Поасон, закон за редките събития) $P(n, \lambda t) = P(n, \omega t)$	$P(n, \lambda t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t}$ $P(n, \omega t) = \frac{(\omega t)^n}{n!} e^{-\omega t}$	За t = 1г. $P(n, \lambda) = \frac{\lambda^n}{n!} e^{-\lambda t}$ $= \frac{\omega^n}{n!} e^{-\omega t}$ За t = 1г. и n = 0 $P(n = 0, \lambda) = e^{-\lambda t}$ $= e^{-\omega t} = R(t)$
6	Средно време за безотказна работа $t_{рср}$ $[h]$	$t_{рср} = M(t_p) = \int_0^\infty R(t)dt$ $= \int_0^\infty tQ'(t)dt = \frac{8760}{\lambda}$	Експериментално се определя със статистически данни за времето на безотказна работа ti на i - тия образец $t_{рср} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{рi}}{N_0}$,
7	Средно време за възстановяване $t_{вср}$	$t_{вср} = \int_0^\infty tdU(t)$ $t_{вср} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{вi}}{N_0}$,	U(t) - вероятност за възстановяване за време t t_{Bi} - вероятност за възстановяване на i - тия образец
8	Коефициент на готовност $k_г$ $[o.e.]$	$k_г = \frac{t_{рср}}{t_{рср} + t_{вср}}$	$k_Г$ - представлява вероятността за работоспособност на разгледания елемент
9	Коефициент но принудителен престой $k_П$ [о. е.]	$k_П = \frac{t_{вср}}{t_{рср} + t_{вср}} = 1 - k_г$ $k_П \approx \frac{\lambda t_{вср}}{8760} \approx \frac{\omega t_{вср}}{8760}$	$k_П$ - представлява вероятността за авария на разглеждания елемент
10	Вероятност за работоспособност p $[o.e]$	$p = k_г = \frac{t_{рср}}{t_{рср} + t_{вср}}$ $= 1 - \frac{\lambda t_{вср}}{8760}$	Вероятността за работоспособност съвпада с коефициента на готовност
11	Вероятност за авария (коефициент на неготовност) q $[o.e]$	$q = 1 - p = 1 - k_г = k_П$ $= \frac{\lambda t_{вср}}{8760}$, $p + q = 1$	Вероятността за авария съвпада с коефициента на принудителен престой
12	Честота на плановите ремонти μ $[г^{-1}]$	$\mu = \frac{1}{t_{мр}}$	$t_{мр}$ - продължителност на междуремонтния период
13	Коефициент на плановия престой k_p $[o.e.]$	$k_p = \frac{\mu t_п}{8760} \leq 1$	$t_п$ - продължителност на плановия ремонт

Съществуват редица методически указания и нормативни документи от отраслов и

от общ характер за обезпечаване на необходимата надеждност още на ниво проектиране.

Градските разпределителни мрежи се изграждат за потребители I — III категория, като за I категория се препоръчват двулъчеви схеми с двустранно захранване и АВР на страна 0,4 kV; двутрансформаторни подстанции 20/0,4 (10/0,4) kV при взаимно резервиране на захранващите линии 20 (10) kV. Системите за АПВ се изграждат за еднократно, двукратно и многократно задействане като ефективността при второто включване да е до 15%, а при третото 1,5 ÷ 3%. На шините на п/ст АПВ трябва да осигури до 70% от аварийните ситуации за запазване на захранването, а при въздушни линии в 60 ÷ 90% от случаите на аварийно изключване, при които трябва да се възстанови захранването.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Върху електрическите уредби в процеса на експлоатация оказват влияние различни вредни въздействия от субективен и обективен характер. Към субективните въздействия се отнасят неправилните действия на обслужващия персонал. Всяка електрическа уредба, даже и напълно автоматизирана, изисква периодично провеждане на техническо обслужване и ремонт, т.е. подлага се на въздействието на хората. Известно е, че 15-20% от отказите на апаратурата са по вина на обслужващия персонал. Така например до отказ на електрическите уредби може да доведат неправилното регулиране, нарушаването на правилата за включване и изключване, нарушаването на периодичността, методите и обема на профилактичните мероприятия и т.н. От субективните фактори най-голямо влияние оказват ниската квалификация, слабата дисциплина, небрежността, лошата организация на работата и др.

Обективните фактори се разделят на външни и вътрешни. Външните водят до отказ по независещи от обзавеждането причини, докато вътрешните водят до откази по зависещи от обзавеждането причини. Класификацията на обективните експлоатационни фактори е показана на фиг. 1.[1]

***Фиг. 1**. Основни обективни фактори, влияещи на експлоатационната надеждност на електрическите уредби*

В съответствие с маркираните на фиг.1 обективни фактори е проведен мащабен изследователски процес с отчитане основно влиянието на вътрешните фактори върху надеждността на електроснабдяването на различните промишлени обекти.

Изследването е проведено за дълъг период от време (1993 ÷ 2015г.), като се характеризира с голяма динамика в поведението на промишлените обекти-технологични и структурни промени, промени в предметната дейност, редуциране на обслужващия производствен персонал, снижаване на електропотреблението, декапитализация на активите и др. Промишлените предприятия, 167 на брой, работят в режим на понижено натоварване и имат най - различни енергетични характеристики - средногодишен пълен товар Scpr [MVA]; консумирана за година електроенергия Wr (10^3 MWh/г]; средногодишен активен товар Pcpr [MW] и средногодишен cosφ (tgφ) - $cos\varphi_{cpr}$ ($tg\varphi_{cpr}$). Групирани са в 9 отрасъла със съответните бройки, както следва:

- *Машиностроене (М) -18 бр.;*
- *Химическа и добивна промишленост (ХДП) – 17 бр.;*
- *СМК, строителни материали, пътно строителство (С) – 16бр.;*
- *Електротехническа промишленост (Е) – 17 бр.;*
- *Хартиена, текстилна, шивашка и обувна промишленост (ХТШО) – 19 бр.;*
- *Обработка и производство на метал, дърво и пластмаса (МДП) – 14 бр.;*

- *Хранително-вкусова промишленост (ХВП) – 37 бр.;*
- *Градски електрически транспорт (ГЕТ) – 12 бр;*
- *КБС – 17 бр.*

В таблица 2 са представени експериментално определените стойности за интензивността на отказите λ(t) и функцията на надеждността R(t) за отделни елементи от електроснабдителните системи на 9-те изследвани отрасъла.

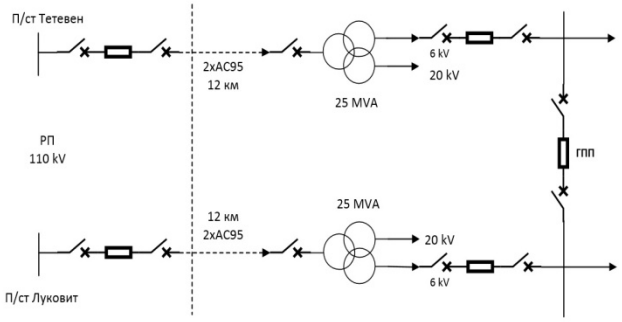
Табл.2 Стойности за λ(t) и R(t) за отделни елементи на ЕСС по отрасли

Елемент и от ЕСС	ОТРАСЛИ								
	М	ХДП	С	Е	ХТШО	МДП	ХВП	ГЕТ	КБС
Силови траснформатори	λ(t)=0,0042	0,0041	0,0041	0,0039	0,0038	0,0037	0,0039	0,0045	0,0041
	R(t)=0,947	0,944	0,942	0,936	0,938	0,933	0,934	0,949	0,941
Прекъсвачи (110, 20 kV)	0,0147	0,0132	0,0135	0,0131	0,0128	0,0124	0,0127	0,0139	0,0131
	0,931	0,927	0,931	0,921	0,923	0,931	0,924	0,930	0,936
Разединители (110, 20 kV)	0,00021	0,00016	0,00019	0,00018	0,00016	0,00025	0,00011	0,00017	0,00017
	0,966	0,975	0,961	0,973	0,935	0,975	0,979	0,972	0,981
Късосъединители (110, 20 kV)	0,0289	0,0136	0,0139	0,0132	0,0346	0,0321	0,0337	0,01267	-
	0,875	0,899	0,891	0,913	0,866	0,901	0,904	0,912	0,913
Отделители (110, 20 kV)	0,0183	0,0184	0,0171	0,0165	0,0162	0,0163	0,0162	0,0189	0,0164
	0,917	0,916	0,917	0,915	0,913	0,911	0,901	0,922	0,917
Шинни системи 110kV	0,009	0,011	0,015	0,013	0,011	0,012	0,011	0,008	0,011
	0,906	0,913	0,911	0,918	0,931	0,913	0,899	0,911	0,901

По-долу са показани изчислените стойности за някои показатели на надеждността за един от анализираните обекти – ЕСС на ф. Титан - Златна Панега Цимент“ - АД, гр. Златна Панега.

Във фирмата, по сух способ от варовик и мергел се произвежда портланд цимент при консумация около 150 kWh за тон. Електроснабдяването се осъществява чрез районна подстанция „Златна Панега“, захранвана от два въздушни електропровода 110 kV от подстанция Луковит и подстанция Тетевен. ЕСС на фирмата се реализира с помощта на два СТ по 25MVA 110/20/6 kV, като връзката на СН 6 kV се осъществява посредством 3 входа (5 секции) на заводската разпределителна подстанция от двата СТ чрез единична шинна система

Работният процес е непрекъснат, заводът работи на три смени и е изграден от пет основни цеха: цех „Кариера“; цех „Суровинни мелници и пещи“; цех „Циментови мелници“; цех „Опаковка спомагателни цехове. Опростеният вид на ЕСС на фирмата е представен на фиг. 2.



Фиг. 2. *ЕСС на фирмата*

Основните потребители влошаващи качеството на електроснабдяването, респективно надеждността са АД и СД, задвижващи трошачки, суровинни мелници, пещи, циментови мелници, помпи, вентилатори, компресори, транспортните ленти за мергел, варовик, сурово брашно, клинкер, цимент и други, като мнозинството от тях са високоволтови двигатели (6 kV) с мощност в границите 50÷1200kW. За управлението им и регулиране на оборотите се използват честотни преобразуватели на фирмите SIEMENS и ALSTOM.

Електроснабдяването на фирмата ще се прекъсне при осъществяване на следните събития:

- *Едновременна повреда на двете линии на въздушния електропровод или в техните разединители и прекъсвачи (основно захранване от п/ст Тетевен);*
- *Съвпадение на ремонта на едната линия с повреда в другата линия или в нейната комутационна апаратура;*
- *Съвпадение на плановия ремонт на едната линия на въздушния електропровод с повреда в трансформатора или неговата комутационна апаратура, захранван от другата линия;*
- *Едновременна повреда в двата трансформатора и тяхната комутационна апаратура.*

Вероятността $k_{\Pi\Sigma}$ да се случи едно от тези събития и да се прекъсне електроснабдя-

ването на предприятието се определя с помощта на израза [2,4]:

$$k_{\Pi\Sigma} = k''_{\Pi Л} + 2f k_{РЛ}(2k_{ПР} + k_{П\,ПР} + k_{ПЛ}) + \\ +2k_{РЛ}\left(k_{П\,ТПР} + k_{П\,ТР} + 2k_{П\,Р_В} + k_{П\,ПР_В}\right) + \\ +\left(k_{П\,ТПР} + k_{П\,ТР} + 2k_{П\,Р_В} + k_{П\,ПР_В}\right)^2 = \\ = 0{,}237.10^{-3} \quad (1)$$

където: $k''_{\Pi Л}$ - коефициент на принудителен престой при едновременна повреда на двете линии на въздушния електропровод от п/ст Тетевен; $k_{РЛ}$ – коефициент на планов ремонт (престой) на една въздушна линия; $k_{ПР}, k_{П\,ПР}, k_{ПЛ}$ – коефициент на принудителен престой за разединител в ТП на 110 kV, прекъсвач в ТП на 110 kV и единичен въздушен електропровод (една тройка) 110 kV; $k_{П\,ТПР}, k_{П\,ТР}, k_{П\,Р_В}$- коефициент на принудителен престой за товаропрекъсвача 110 kV в ГПП, понижаващия трансформатор 110/6 kV, разединителя на 6 kV в ГПП и прекъсвача на 6 kV в ГПП.

Горният израз за $k_{\Pi\Sigma}$ отчита факта, че броят на отказите с едновременен престой на двете линии е 10 до 30 % от общия брой на отказите (f = 0,3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата работа е направен опит за оценка на надеждността на електроснабдяването в отрасловата структура на страната. Използван е принципът на еквивалентното преобразуване, който дава възможност от една страна диференцирано да се определят показателите на надеждността и от друга страна те да се представят в глобален аспект като обобщаващи характеристики. Резултатите от проведените дългогодишни изследвания могат да се използват при избора на стратегии за експлоатацията на електроснабдителните системи и съоръжения, като процеса на вземане на решения е с подобрено качество в резултат на допълнително представена информация.

Анализът на свойствата на ЕСС в изследваните обекти показва, че съществуват реални възможности за подобряване надеждността на електроснабдяването на отрасловата структура на страната. Усилване на елементите и повишаване на пропускателната способност на съоръженията не се препоръчва, т.к. голяма част от промишлените обекти работят в режим на понижено натоварване и съществува запас от неусвоен капацитет от ресурсна мощност. Ефективен метод за повишаване надеждността на електрическите уредби в конкретния случай е т.н. структурно резервиране [2,3]. То може да се прилага в глобален аспект – отнесено към ЕСС като цяло или диференцирано – приложено към отделни блокове и елементи на ЕСС. За отделни промишлени обекти се препоръчва постоянно резервиране, т.е. системите за резервиране са включени непрекъснато през целия период на работа на промишленото предприятие. За повечето от промишлените обекти се препоръчва т.н. „резервиране със заместване“, при което резервните елементи се включват в работа само при отказ на основните съоръжения. Възможно е в отделни случаи приложението на т.н. „пълзящо резервиране“, при което отделни последователно съединени еднотипни елементи от ЕСС поемат функциите на авариралите елементи.

REFERENCE

[1] Tsanew T.V., Technical operation of electrical systems, Siela, S., 1988, ISBN 954-649-181-0.

[2] Fokin U.A., Tufanov V.A., Assessment of reliability of power supply systems, M. Energoizdat, 1981.

[3] Billinton R., R. Allan, Reliability evaluation of power systems, Plenum press, 1987, ISBN 0-273-08485-2.

[4] Voropai N., Styczysnki Z., Shushpanov I., Suslov K.,"Mathematical model and topological method for reliability calculation of distribution networks", PowerTech (POWERTECH) 2013 IEEE Grenoble, pp. 1-4, 2013.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ ВЪРХУ НАДЕЖДНОСТТА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ СЪОРЪЖЕНИЯ И СИСТЕМИ

Панчев Р.К., Георгиев Г.А., Киров Р.М., Панчев Х.И.
Технически университет – Варна
Бургаски свободен университет
Технически университет – Варна
Технически университет – Варна

STUDY ON INFLUENCE OF THE QUALITY OF THE ELECTRICAL ENERGY ON THE RELIABILITY OF THE ELECTRICAL EQUIPMENT AND SYSTEMS

Panchev R.K., Georgiev G.A., Kirov R.M., Panchev H.I.
Technical university Varna
Burgas Free University
Technical university Varna
Technical university Varna

Abstract

As a result of many years of research on real industrial sites, a probabilistic - statistical methodology estimating the influence of the quality of the electric energy on the reliability and operational resource of the power equipment and systems has been synthesized. Specific results are provided that allow the residual resource of different power elements from the electric power supply systems to be estimated. Methodological guidelines for the application of diagnostic methods for the analysis of the state of electric power supply systems are formulated.

Keywords: reliability, probabilistic - statistical methodology

ВЪВЕДЕНИЕ

Допълнителните загуби на активна мощност при несиметрични и несинусоидални режими (НИР) предизвикват допълнително нагряване на изолацията, с което съществено се намалява живота на електрообзавеждането. За оценка на това явление се използва т.н. кратност на снижение на живота на елементите ψ, определен от израз [1]:

$$\psi = e^{K_и}[o.e.] \qquad (1)$$

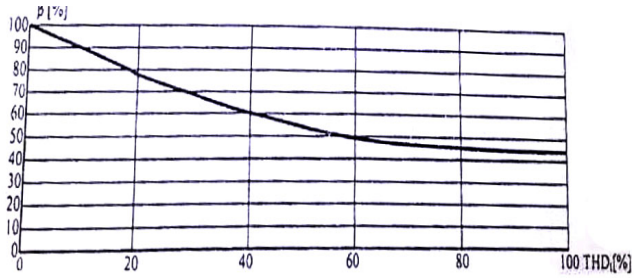
където: $K_и$ - коефицент на деформация (изкривяване) отчитащ несиметрията и несинусоидалността при работата на електротехническите съоражения.

За СТ е известно, че загубите на ЕЕ в тях е в границите (7÷14)% [3,4,5] от цялото количество на трансферирана през тях ЕЕ, като по-големите стойности се отнасят за силно изразени НИР. Във връзка с повишената вероятност за претоварване на СТ от висши хармоници (в.х.) и несиметрия на токовете, Европейският комитет по нормиране на показателите на ЕЕ (CENELEC) препоръчва избора на мощността на СТ да става с известен коефицент на запаса Кз, отчитащ нелинейния характер на товара по формулата [5,6]:

$$K_з = \sqrt{1 + 0{,}23\left(\frac{I_1}{\sqrt{\sum_{\upsilon=1}^{\infty} I_\upsilon^2}}\right)^2 . \sum_{\upsilon=2}^{40} \upsilon^{1.75} . \left(\frac{I_\upsilon}{I_1}\right)^2} . 100\% \qquad (2)$$

където: υ – номер на хармоника; I_1 и I_υ – основен и υ-и хармоник на тока.

На фиг. 1 е показана примерна зависимост на коефициента на допустимо натоварване β: $\beta = f$ (THD) за СТ 10/0,4kV[2,4]. От фигурата се вижда, че колкото е по-голяма степента на нелинейност на товара, толкова е по-малко допустимото натоварване на СТ. Изследванията на различни автори показват [5,6], че с продължаване на експлоатацията на СТ над нормативно определения срок (15 - 25 г), значително се увеличават загубите по празен ход (ΔРо) и к.с. (ΔРк), като тази зависимост е пропорционална на $\sqrt{\upsilon}$. Физически това се обеснява с увеличение от 2 до 4 пъти за υ=3 до υ=13 хармоник съпротивлението на к.с. на СТ вследствие повърхностния ефект и ефекта на близост.



Фиг. 1. *Зависимост $\beta = f$ (THD) за СТ*

Загубите на празен ход ΔP_0 рязко се увеличават и вследствие на многократното пренамагнитване на магнитната сърцевина, което при наличие на в.х. е по-интензивно. В резултат на това се отделя топлина от намагнитващите намотки, която се отлага в магнитопровода и с течение на времето това води до структурни промени, т.е. предизвиква се ускорено стареене, съпроводено с влошаване на магнитните свойства на СТ. На второ място ΔP_0 се увеличават от механични вибрации при нормални режими, електродинамичните усилия при к.с. и др. механични въздействия. Тези процеси се засилват след ремонт на СТ.

Максималният допустим живот на СТ, определен в границите (25-30г), зависи най-вече от топлинното износване на изолацията на намотките. В резултат на нейното стареене рязко се увеличава ΔP_K, като съществено влияние оказва натоварването, работа при ННР, систематичните претоварвания на СТ, качеството на маслото, ефективността на системата за охлаждане, конструктивните особености на СТ и др. Самите СТ поради несиметричната конструкция на магнитопровода, също са източник на в.х. и несиметрия на намагнитващия ток I_μ.

$$I_\mu = \frac{I_{\mu_A} + I_{\mu_B} + I_{\mu_C}}{3} \qquad (3)$$

Крайните токове I_{μ_A}и I_{μ_C} се различават от средния I_{μ_B}като съотношението е $I_{\mu_A} = I_{\mu_C} \approx (1{,}3 \div 1{,}35) I_{\mu_B}$

За КБ допълнителните разходи от повишените загуби на мощност при наличие на в.х. $\Delta P_{вх}$ се определят, като се държи сметка и на топлинния режим на КБ, като най-напред се определя $\Delta P_{вх}$ по формулите [10].

$$\Delta P_{вх} = Q_{КБ}.tg\delta.e^{\gamma(\tau-\tau_0)};$$
$$\tau = \tau_{ср} + (\frac{\Delta P_{вх}}{F})^{0,8} + \rho.\Delta P_{вх} \qquad (4)$$

където: $Q_{КБ}$[kVar] - мошност на КБ, τ,$\tau_{ср}$,τ_0- температури на диелектрика, околната среда и начална температура, ρ - топлинно съпротивление на КБ, F - околна повърхност на КБ, γ - общ коефициент на претоварване на КБ, зависещ от коефициента на претоварване по ток (γ_I) и по напрежение (γ_U), определени от изразите [9,10].

$$\gamma = \gamma_I.\gamma_U;$$
$$\gamma_I = 1 + \sum_{i=1}^{n} (\upsilon^2 - 1).(I_\upsilon/I_1)^2; \qquad (5)$$
$$\gamma_U = 1 + \sum_{i=1}^{n} (\upsilon^2 1).(U_\upsilon/U_1)^2$$

Допълнителните разходи от повишените загуби на мощност при наличие на в.х. $У_{е\Delta Pвх}$ имат вероятностен характер и могат да се определят от израза:

$$У_{е\Delta Pвх} = \sum_{P_i=0}^{1} У(t_i)p_i \qquad (6)$$

където : $У(t_i)$ - допълнителни разходи в момента t_i, без отчитане на вероятностния им характер; p_i - вероятност за осъществяване на съответния топлинен режим на КБ, определен като обща вероятност от съвместното съчетаване на параметрите ***F***, ***ρ***, ***tgδ*** и ***γ***:

$$p_i = p(F).p(\gamma).p(tg\delta).p(\rho) \qquad (7)$$

При включване на КБ в мрежа с в.х. на напрежението, общият ток, консумиран от КБ се увеличава, т.к. реактивното съпротивление на КБ при високите честоти се намалява. Най-често значително претоварване и съществено намаляване надеждността и

живота на КБ се получава при настъпване на токов резонанс при определена честота, като общият ток на КБ може да надхвърли два пъти тока на първия хармоник, а напрежението на шините на ЦП да падне до около 60% от номиналното. Следователно при несинусоидално напрежение на мрежата, КБ увеличават собственото си потребление на реактивна мощност, в резултат на което те дават по-малко повишение на cosφ, отколкото при синусоидално напрежение. Намаляването на компенсиращата способност на КБ може да се оцени с помощта на изразите [10]:

$$К_P = sin\delta\ ;\ К_{P_\upsilon} = \frac{\lambda}{\psi} sin\delta\ ;$$
$$\lambda = \sum_{\nu=1}^{\infty} \upsilon(\upsilon_\upsilon/\upsilon_1)^2\ \ ; \qquad (8)$$
$$\psi = \sqrt{\sum_{\nu=1}^{\infty} \upsilon^2 (U_\upsilon/U_1)^2}$$

където $К_P$, $К_{P_\upsilon}$- фактори на мощността при липса и наличие на в.х. в мрежата.

От последният израз следва, че $К_{P_\upsilon} < К_P$, т.к. $\psi > \lambda$.

За самите КБ, в.х. са доста опасни, т.к. се увеличават топлинните загуби в тоководещите им елементи вследствие увеличаване на дисперсионната съставяща на тока, а също така и в диелектрика в резултат на съставящи на напрежението с високи честоти, което много често води до тяхното аварирване и излизане от строя.

Освен при СТ и КБ, поцеси на стареене на изолацията и намаляване на живота им се наблюдава при електрическите машини (ЕМ), кабелите, проводниците и въздушните линии, като причина за това са необратимите физико - химически процеси, протичащи под въздействието на електрическото поле на в.х, а също и в резултат на повишеното нагряване на тоководещите части на електрическото обзавеждане. Животът на изолацията в електрическите съоръжения при синусоидални t_c и несинусоидални $t_{нс}$ режими може да се определи от изразите [10]:

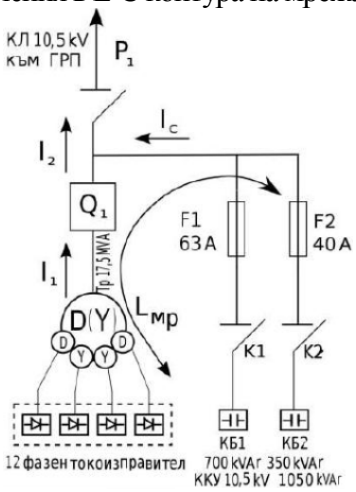
$$t_c = t_0 . 2^{\frac{\tau_м - \tau_c}{\theta}}\ ;\ t_{НС} = t_0 . 2^{\frac{\tau_м - \tau_{нс}}{\theta}} \qquad (9)$$

където: t_0 - живот на изолацията при максимална нормирана температура $\tau_м, \tau_c$ и $\tau_{нс}$ - температура на изолацията при продължителен режим на работа на електрообзавеждането при синусоидалио и несинусоидално напрежение, θ- температурна константа, при която живота на изолацията се съкращава два пъти.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Проведено е изследване за установяване влиянието на показателите на качество на електрическата енергия върху надеждността и експлоатационния ресурс на силови елементи от ЕСС на редица промишлени обекти.

Влиянието на изправителите за влошаване на ПКЕЕ, ЕМС и надеждността на електроснабдяването е показателно за ЕСС на ф. Полимери АД. За цех „Електролиза“, захранван по време на експлоатацията на съоръжението до 2013г. от седем СТ с единична мощност 17,5MVA, съществува отношение 85/17,5=4,86 на мощността на основното захранване ($S_{H_{TP.}} = 85MVA$) към мощността на един електролизер. Електролизният процес се съпровожда със сложни явления, като на границата електрод-разтвор, която играе ролята на кондензатор с активно капацитивна проводимост, се генерират в.х. на тока. При 12 фазни науправляеми изправители, електролизмът на честотната характеристика се намира между 5 и 13 хармоник на тока и за да се избегне резонанс на напрежението, респективно подобряване на надеждността на съоръженията, е необходимо да се намали мощността на захранващите изправители [10]. Компенсацията на реактивните товари (КРТ) се осъществява с помощта на кондензаторни батерии (КБ) на 10,5 kV (фиг.2). В.х. на напрежението изменят в значителна степен линейния характер на честотните характеристики и е възможно възникване на резонансни явления в L-C контура на мрежата и КБ.



Фиг. 2. *КРТ в ЕСС на фирмата*

Вероятността от такива явления се засилва и поради факта, че много често аварират диодни групи от изправителите и практически те постоянно работят в силно несиметричен режим, съпроводен от генериране на анормални хармоници на тока. Вследствие на това надеждността на комутационно-защитната апаратура, СТ, кабелите на СН, на самите КБ и останалите силови елементи, рязко се намалява. Дванадесет годишни изследвания в период 1998 ÷ 2010г. показват, че интензивността на отказите $\lambda(t)$ за различните силови елементи в този период се намалява в границите (38÷74)% от регламентираните от нормите стойности, като причина за това основно са влошените ПКЕЕ при експлоатацията на съоръженията. През различни етапи на този период, при едни и същи мощности, вследствие ускорени процеси на стареене на изолацията, се наблюдават чести аварии. Извършена е подмяна на близо 9км кабели на 10 kV с нови, ремонтирани и подменени са 4 цехови СТ с мощност 1000 kVA, 3 прекъсвача и 8 разединителя на 10 и 6 kV, голямо количество КБ на 0,4 и 10 kV с прилежащата комутационна апаратура и др.

За ф. Ле Ко Ко основен консуматор е 100 тонна, 25MW електродъгова пещ (ЕДП). В периода на топене процесът е в силна степен несиметричен и несинусоидален, като са регистрирани както четни, така и нечетни в.х. на тока и напрежението, оценени чрез коефициентите на хармоника K_{υ_I} и K_{υ_U}[7]. За филтриране на в.х. се използват силови резонансни филтри (СРФ), настроени за работа при пълна мощност – периода на разтапяне на шихтата. Тъй като ДСП работи в режим на понижено натоварване, за който честотния състав на в.х. се изменя в широки граници се наблюдава доста неефективна работа на СРФ. Токовата и напреженовата несиметрия (ε_I и ε_U) породени от съставящите с обратна последователност, а също и допълнителните активни загуби породени от пулсиращата и деформационната мощности, като процент от конвенционалните загуби (ΔP_N и ΔP_D), се изменят в доста широки граници (табл. 1).

Табл.1. Изменение на ПКЕЕ за ЕДП-100

K_{ν_U}%	K_{ν_I}%	ε_U%	ε_I%	THD_U%	THD_I%	ΔP_N %	ΔP_D %
K_{ν_2} = 5,67 K_{ν_3} = 7,42 K_{ν_5} = 4,62	K_{I_2} = 15,31 K_{I_3} = 40,8 K_{I_5} = 13,1	1,7÷5,2	2,4÷37,2	0,58÷17,42	3,54÷76,9	5÷28 от ΔP_k	10÷35 от ΔP_k

Генерирането на в.х., силно изразената несиметрия на тока и напрежението, респективно пулсиращата и деформационната мощности, натоварват допълнително редица съоръжения в ЕСС на фирмата и създават условия за възникване на аварийни стуации. Увеличените загуби на мощност предизвикват повишаване на нагряване на изолацията, което води до ускорени физико-химически процеси и рязко съкращаване живота на изолацията на кабелните линии. Само за периода 1994-2001г. вследствие на прегряване и запалване на групово положени кабели по кабелните трасета, се е наложило подмяната на над 14км кабели на СН, което създава аномалии в производствения процес и големи икономически загуби. Повишена аварийност е регистрирана и при комутационно защитните елементи на СН (разединители, прекъсвачи, токови и напреженови трансформатори и др.).

Аналогични процеси и явления, свързани с понижаване на надеждността на ЕСС вследствие влошаване на ПКЕЕ са наблюдавани в други големи промишлени обекти [8,11,12,13]. Събраният статистически материал дава възможност да се приложат диагностични методи за оценка на нивото на амортизация и остатъчния ресурс на редица електроенергийни съоръжения и ЕСС като цяло. Тъй като тази задача е многопараметрична и изисква комплексно изследване на различни влияещи фактори върху изходни параметри е удачно да се използва инструментариума на Теорията на планиране на експеримента. В основата на този метод стои възможността за едновременно изменение на много фактори и определяне на въздействието им върху съответните изходни параметри. Методът позволява оптимално управление на експеримента с минимален обем средства и постигане на оптимални режими на електропотребление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работата е направен опит да се оцени влиянието на ПКЕЕ върху надеждността на електрическите съоръжения и ЕСС. Анализирана е съвместната работа на редица силови елементи като СТ, КБ, кабелни линии и др. в условията на несиметрично и несинусоидално натоварване. Представени са конкретни резултати, даващи възможност да се установи механизма за въздействие и причините за влошаване на надеждната работа на силовите елементи в ЕСС. Предложен е подход за комплексна оценка, базиран на Теорията на планиране на експеримента, чрез който най-точно и адекватно да се определи влиянието на различни фактори върху надеждността на електроснабдяването.

REFERENCE

[1] Шидловский А.К., В.Г. Кузнецов, Понижение качества энергии в электрических сетях, Киев. Наукова думка, 1985.

[2] Илиян Илиев, Въвеждане на интелигентни измервателни системи в България - фактор за подобряване качеството на електрическата енергия, стр.222-228, сборник Енергиен форум НТСЕБ 18-20 юни 2014г.

[3] Илиян Илиев, Икономическа целесъобразност от въвеждането на интелигентни измервателни системи в България като фактор за подобряване качеството на електрическата енергия, стр.229-235, сборник Енергиен форум НТСЕБ 18-20 юни 2014г.

[4] Костинский С.С., Результати статической обработки ΔP_0 и $\Delta P_к$ в разпределительных СТ, длительно неходящихся в эксплоатации, Известия вузов Электромеханика, 2009, спецвыпуск.

[5] Шишкин С.А., Оптимизация эксплоатационных параметров СТ 10/0,4 кВ с помощью нисковольтних фильтрокомпенсирующих конденсаторных установок, ПЭ, 2005, №5

[6] Киров Р.М. Постигане на електроенергийна ефективност чрез подобряване качеството на електрическата енергия, Енергиен форум, №9, 10, 2012, ISSN 1313-2962.

[7] Румен Киров, Валентин Гюров, Илиян Илиев, Николай Найденов, Относно практически възможности за постигане на електроенергийна ефективност и електромагнитна съвместимост при експлоатация на електрически пещи, стр.106-109, Международна научна конференция Унитех 2014, 21-22 ноември ТУ-Габрово.

[8] Румен Киров, Валентин Гюров, Илиян Илиев, Николай Найденов, Свилен Рачев, Характеристики на електропотреблението в циментовата промишленост, стр.135-138, Международна научна конференция Унитех 2014, 21-22 ноември ТУ-Габрово.

[9] Румен Киров, Илиян Илиев, Изследване и оптимизация компенсацията на реактивните товари при нелинейно натоварване.стр.59-63,Списание Енергиен форум, брой 15/16, юни 2015г.

[10] Илиев И.Х., Изследване, анализ и количествена оценка на реалния принос за влошаване накчеството на електрическата енергия от страна на инсудтриалните потребители и комунално-битовия сектор, Дисертация, Габрово, 2015г.

[11] Valentin Gyurov, Rumen Kirov, Ilian Iliev, Rosen Vasilev, Proposal for Defining of Some Optimal Parameters in Power Supply Systems of Industrial Branches in the Republic of Bulgaria, eletroenergetika symposium September 12-14, str. 498, Stara lesna, Slovakia.

[12] Valentin Gyurov, Rumen Kirov, Ilian Iliev, Georgi Georgiev, Study on Possibilities for Improvement of Energy Efficiency of Power Transformers in electric Distribution Networks, eletroenergetika symposium September 12-14, str. 263, Stara lesna, Slovakia.

[13] Пройков М.А., Илиев И.Х., Гюров В.Н., Киров Р.М., Изследване и анализ на някои енергетични характеристики и показатели на качеството на електрическата енергия в ЕСС на „Каолин“ АД – гр. Сеново, стр.205 сборник Енергиен форум НТСЕБ 26-29 юни 2018г.

ОТНОСНО РАЗШИРЯВАНЕ НА ДЕФИНИЦИОННАТА ОБЛАСТ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА КАТЕГОРИЯ „ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ“ И РЕЛАТИВНАТА Й ВРЪЗКА С НАДЕЖДНОСТТА НА ЕЛЕКТРОСНАБДЯВАНЕТО

Илиев И.Х., Панчев Р.К., Пройков М.А., Киров Р.М.
МГУ Св. Иван Рилски
Технически университет – Варна
Университет "Проф. д-р Асен Златаров" – Бургас
Технически университет – Варна

CONCERNING THE EXTENSION OF THE DEFINITION AREA OF THE ELECTRIC POWER CATEGORY “ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY” AND ITS RELATION TO THE RELIABILITY OF THE ELECTRIC POWER SUPPLY

Iliev I.H., Panchev R.K., Proykov M.A., Kirov R.M.
UMG St.Ivan Rilski
Technical university Varna
University "Prof. D-r Asen Zlatarov" – Burgas
Technical university Varna

Abstract
A complex approach to electromagnetic compatibility (EMC) examination is scientifically grounded, apart from conductive interference, the influence of electromagnetic fields on EMC is also analyzed. In this order, a correlation link between the EMC and the reliability of the electric power supply has been established by applying probabilistic - statistical methods. This allows for a more complete and comprehensive definition of the EMC definition area and the establishment of interdependencies between different impact factors and baseline parameters in the ESS.

Keywords: electromagnetic compatibility, reliability, probabilistic - statistical methods

ВЪВЕДЕНИЕ

Електромагнитната съвместимост (ЕМС) е способността на крайния потребител на електрическа енергия (ЕЕ) да работи нормално в заобикалящата го електромагнитна среда и да не внася електромагнитни смущения, недопустими за останалите консуматори. Необходимите електрически процеси за осигуряване на технологичните функции на консуматора, могат да доведат до влошаване на свойствата на мрежата и/или качеството на електрическата енергия (КЕЕ). В първия случай се намалява, пропускателната способност и надеждността на мрежата, а във втория се влошава електроенергийната ефективност (ЕЕЕФ). По такъв начин проблемът за управлението на КЕЕ представлява част от по – общия проблем за осигуряване на ЕМС [1,2].

Възникването на влошена ЕМС се дължи не само на съществуващото разнообразие на режими, явления и процеси, свързани с експлоатацията П/ст ВН и СН (установени, преходни, комутационни, аварийни и др. режими), но така също и на действието на естествени (природни) смущаващи фактори - слънчеви изригвания, аномалии в магнитното поле на Земята, мълнии, статично електричество и др. Следователно, при изследване на негативното влияние на раз-

личните източници на електромагнитни смущения, трябва да се подхожда всеобхватно и комплексно, като се разглеждат не само техническите и технологични страни на това явление, но се анализират и оценяват проблемите свързани с медицинските, екологичните и общочовешките фактори.

ЕМС като техническа категория с изключително важни за надеждността на електроенергетиката функции, се проявява и съществува чрез две материални субстанции – от една страна това е изградената като инфраструктура електроенергийна система, съставена от функциониращи съоръжения, елементи, електрически апарати и машини, а от друга страна – това е продуктът на тази система, а именно създаденото, трансферирано и потребено електричество под формата на електромагнитни полета и тяхното търговско проявление – електрическа енергия.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Електроенергетиката на СН, ВН и СВН се характеризира с възможности за създаване на високи интензивности на електрическото поле Е с f = 50Hz (до 25kV/м. и по – високи), а също и високи интензивности на магнитното поле Н (до 1000А/м. и по - високи). Източниците на електромагнитни въздействия в подстанциите са [7,8,9,10]:

- *преходни процеси на СН и ВН, при комутация на прекъсвачи и разединители;*
- *преходни процеси на СН и ВН, при к.с. на промишлена честота;*
- *преходни процеси в заземителни устройства от токове на к.с. и мълнии;*
- *преходни процеси при комутации на индуктивности на СН и НН;*
- *преходни процеси в мрежи с различно напрежение при удари от мълнии върху обекти или в близост до него;*
- *електрически и магнитни полета на промишлена честота, създадени от силовото обзавеждане на различни подстанции;*
- *разряди на статично електричество;*
- *смущения от преходните съпротивления в контактните съединения;*
- *пиезоелектрически смущения;*
- *дрейф на параметрите на елементите;*
- *разсъгл*асуване във време*ната за комутация на логически устройства и др*.

При комутация на прекъсвачи и разединители ВН, възниква преходен процес, съпроводен от серия от импулси с повторно запалване на ел. дъга, като при разединителите тези повторни запалвания могат да достигнат до няколко хиляди. Затихващите колебателни импулси на тока или напрежението се разпространяват по шинните системи на РУ и създават електрически и магнитни полета. Времетраенето на този процес е от няколко наносекунди, за прекъсвачи в П/ст с елегазови КРУ, до няколко стотин наносекунди, за прекъсвачи в П/ст с ОРУ. При разединителите тези времена са от няколко милисекунди до няколко секунди. [3, 4, 5, 7].

Силовото оборудване в П/ст ВН (трансформатори, реактори, кондензаторни батерии, шини, заземителни инсталации, кабели и др.), създават около себе си електрически и магнитни полета с промишлена честота, а също и хармонични съставящи. В резултат на влиянието на електрическото и магнитното поле на честота 50Hz и на нискочестотните хармоници, вследствие на проникване на смущения може да се достигне до разстройване на работата на системите за автоматично управление на електротехническите обекти, системите за контрол и мониторинг и на терминалните микропроцесорни устройства. [7, 9, 13]. Близкото разположение на реакторните помещения и помещенията с компенсаторите на реактивна мощност до устройствата за управление, което е често явление за П/ст на ВН и СН е типичен пример за електромагнитна несъвместимост и съществен показател за намаляването на надеждността на ЕСС.

При к.с. токът на промишлената честота през заземителните устройства, може да достигне (50 ÷ 60)кА и повече, при времетраене няколко десетки от секундата. Този ток може да предизвика в отделни точки на

заземителните устройства опасно повишение на потенциала (по отношение на автоматизираните системи за управление). По този начин в кабелите и проводниците на вторичната комутация (измервателни вериги, вериги за управление, сигнализация и мониторинг към терминални устройства и релейни защити и др.), могат да възникнат пренапрежения и токове, протичащи по заземените метални обвивки и жила, като е възможно да настъпят повреди в изолацията на тези кабели, "взрив" в кабелите, прегаряне на контактните съединения и др. [5,6,7,9].

Във връзка с анализираните по-горе съображения в табл.1 са представени в синтезиран вид хигиенни норми за въздействието на електромагнитни полета на промишлена честота, възприети в различни страни [7].

В табл.2 са представени стойности за електромагнитни смущения, генерирани от различни съоръжения и някои допълнителни характеристики: За ВЕЛ на ВН, минаващи близо до населено място, се регламентират следните допустими интензивности на полето, непосредствено под линиите, при неограничено време за пребиваване [7,9,12]:

- *20 kV/м - за труднодостъпни местности (планини, водоеми и др.)*
- *15kV/м – за ненаселени местности;*
- *10kV/м – за пресичане на пътища;*
- *5kV/м – за населени места.*

Таблица 1. Хигиенни норми за въздействието на електрически и магнитни полета на промишлена честота (E и H)

Страна	Въздействие	Пределно - допустими стойности за ЕП 50Hz	Пределно - допустими стойности за МП 50Hz
Международни INIRC/IRPA	Производство, за работен ден	10kV/m	0,5МТл (400A/m)
	Кратковременно	30kV/m	5МТл (4kA/m)
	Локално	-	25МТл (20kA/m)
	За население, за денонощие	5kV/m	0,1МТл (80A/m)
	До 2 часа в денонощие	10kV/m	1МТл (800A/m)
Международни CENELEC	Производство	20,7kV/m	3976A/m
	Непроизводство	7kV/m	320A/m
ФРГ	Производство	$E_{пд(ср)}$ = 20kV/m	$H_{пд(ср)}$ = 4kA/m
	За населението	$E_{пд(ср)}$ =30kV/m	$H_{пд(max)}$ = 6kA/m
Великобритания (NRPB)	Производство	$E_{пд(max)}$ =30kV/m	$H_{пд(max)}$ = 1,5kA/m
	Денонощно	2,6kV/m	138A/m
	Случайно	12kV/m	600A/m
Япония	Техн. стандарт за ВЛ 275kV	E_{max} = 7kV/m	-
Р. България	Производство	$E_{пд(max)}$ = 5kV/m; (5÷10)kV/m, T≤180min; (10÷15)kV/m, T≤90min; (15÷20)kV/m, T≤10min, (20÷25)kV/m, T≤5min; $E_{пд(max)}$ = 25kV/m	-
Полша	Производство	$E_{пд(max)}$ = 15kV/m	-
	За населението	$E_{пд(max)}$ = 10kV/m (1÷10)kV/m, краткотрайно	
Нов Южен Уелс	ВЛ 500kV, на границата на сервитута	E_{max} = 2kV/m	-
Австралия	Общи изисквания за съоръжения ВЛ	-	-
Чехия	Производство и за населението	$E_{пд(max)}$ = 15kV/m; 10kV/m при пресичане на път I и II клас; 15kV/m – постоянно пребиваване	-
САЩ (AGGIH)	Производствено	E_{max} = 25kV/m	
САЩ Флорида	Под ВЛ 500kV	E_{max} =10kV/m	
	ВЛ 230kV	E_{max} =8kV/m	
	На гр. сервитут	E_{max} = 2kV/m	
САЩ С. Дакота	На гр. сервитут	E_{max} = 8kV/m	
САЩ Орегон	В сервитута	E_{max} = 9kV/m	
САЩ Монтана	Пресичане на ВЛ с магистрала	E_{max} = 7kV/m	
	На гр. сервитут	E_{max} = 1kV/m	
САЩ Ню Джърси	На гр. сервитут	E_{max} = 3kV/m	
САЩ Ню Йорк	В сервитута	E_{max} = 11,8kV/m	
	Частни пътища	E_{max} = 11kV/m	
	Общ. пътища	E_{max} = 7kV/m	
	На гр. сервитут	E_{max} = 1,6kV/m	
Виктория Изключит. условия	ВЛ 500kV: В сервитута На гран. на сервитута		-
	ВЛ 220kV: В сервитута На гр. сервитута		
Виктория Обичайни условия	ВЛ 220kV: В сервитута На гран. на сервитута	E_{max} = 5kV/m E_{max} = 2kV/m	
	ВЛ 500kV: В сервитута На гран. на сервитута	Emax = 2,5kV/m E_{max} = 1kV/m	
Русия	Производство	Епд(max)=50/(T(ч)+2)kV/m; За E=(5÷20)kV/m, Епд(max)= 25kV/m, T≤10мин E=(20÷25)kV/m	$H_{пд}$=(0,8÷6,4)kA/m (непрек. и прек.); $H_{пд}$=(3,4÷8)kA/m (прекъснат с разл, t, τ)
	За населението	(5÷10)kV/m, в т.ч.; 0,5kV/m - в сградата; 1kV/m - около сградата; 5kV/m – нас. място, в нежил. район, 10kV/m – прес. с магистрала I-IVкл; 15kV/m – ненаселена местност 0kV/m – труднодост. местност	-

Таблица 2. Електромагнитни изисквания за „E“ и „H“		
Наименование	E [V/m]	H [A/m]
ОРУ ВН (400, 500, 750kV)	$10^3 \div 5.10^4$	10 ÷ 100
Въздушна линия ВН	$10^2 \div 10^4$	0,1 ÷ 40
Въздушна линия СН	$10 \div 5.10^2$	0,1 ÷ 2
Шинни системи 6kV	10^3	40 ÷ 100
ЗРУ СН (6, 10, 20kV)	-	100 ÷ 400
Жилищни помещения	1 ÷ 100	0,01 ÷ 0,5
Битови електроприбори	5 ÷ 500	0,1 ÷ 300
Праг на индивидуална чувствителност	$10^4 \div 2.10^4$	$3.10^3 \div 3.10^4$
Нарушаване на ритъма на сърдечния мускул	5.10^7	10^6
Електрическа якост на въздушни междини	$5.10^5 \div 3.10^6$	-
Безопасни интензивности E и H по условие за невъзбуждане на клетките на организма	2.10^4	4.10^3
Нормативни изисквания за E и H по данни на СОЗ и IRPA	5.10^3	80
Немски норми (DIN VDE)	7.10^3	320

Влошаването на ЕМС и нарушаване на надеждността на електроснабдяването може да настъпи и при въздействие на различни природни явления.

При удар на мълния на територията на П/ст ВН, могат да се формулират следните механизми за предаване на смущения на елементите на П/ст (здания, гръмозащитни въжета, заземления на тоководещи части на откритите П/ст и др.) [7]:

- *нискочестотен механизъм, свързан с повишения потенциал на заземителната система, респективно с амплитудата на тока на мълнията.*
- *високочестотен механизъм, зависещ от пространственото разположения на елементите на П/ст и директно свързан със стръмността на тока на мълнията.*

Въздействието на електромагнитното поле на мълниите се проявява в най - силна степен върху разпределителната мрежа на СН и НН, като в резултат на индуктираните от мълнията пренапрежения много често се получават пробиви в изолацията на кабели и проводници. И тук, както при директно попадение на мълния върху ВЕЛ, индуктираните пренапрежения се проявяват като бягащи импулси на тока и напрежението по дължината на разглежданата линия.

Много често амплитудата на бягащия импулс надхвърля пробивното напрежение на изолацията на кабелните линии СН и НН, което е основната причина за аварирането им. При удар на мълния върху мълниеприемник, разположен в близост до кабелни канали или кабелни скари, може да се получи пробив на изолацията на кабелите към земя. При нарушаване на изолацията на кабелите, импулсът на възникналото пренапрежение, се разпространява в мрежата на вторичната комутация (оперативните вериги) и предизвиква повреди на отделни елементи и устройства.

Върху показателите и характеристиките на ЕМС оказват негативно влияние още следните фактори:

- *Статичното електричество, породено от триене на различни материали;*
- *Радиочестотните полета от радио и навигационни станции;*
- *Електромагнитни излъчвания в мрежи НН на постоянен и променлив ток;*
- *Електромагнитни смущения от магнитно поле на Земята* и др.

Нормативните изисквания за КЕЕ имат силна релативна връзка с ЕМС, което се потвърждава и в стандарта EN БДС 50160, регламентират нива на показателите на КЕЕ (ПКЕЕ). В него са представени и допълнителни показатели за случайни прекъсвания,

свързани с надеждността на електроснабдяването. Това показва, че още на ниво нормиране и стандартизиране законодателят е маркирал тясна взаимна връзка между ЕМС и характеристиките на надеждността, заложени в този норматив.

- средна продължителност на прекъсванията на електроснабдяването SAIDI (System Average Interruption Duration Index), [min]. Определя се като отношение на сумарната продължителност на прекъсванията на засегнатите потребители N за периода:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{m} t_i n_i}{N_0}, [min] \quad (1)$$

където: n_i – броя на потребителите, засегнати при i –тото прекъсване; t_i – времетраене на i-тото прекъсване; m – брой на прекъсванията; N_0 – общ брой на засегнатите потребители.

- средна продължителност на едно прекъсване CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index), [min]. Определя се, като отношение на сумарната продължителност на прекъсванията към общия брой прекъсвания за период (год.);

$$CAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{m} t_i n_i}{\sum_{i=1}^{m} n_i}, [min] \quad (2)$$

- средна честота на прекъсване на електроснабдяването SAIFI (System Average Interruption Frequency Index). Определя се, като отношение на общия брой прекъсвания на засегнатите потребители към общия брой на потребителите в ЕСС за периода (N):

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{m} n_i}{N}, [бр.год.] \quad (3)$$

където: N – общия брой на потребителите в ЕСС.

- средна честота на прекъсванията на електроснабдяването на потребител CAIFI (Customer Average Interruption Frequency Index). Определя се, като отношение на общия брой прекъсвания към общия брой на прекъснатите потребители в ЕСС N', който може и да не отчита колко пъти в годината даден потребител е имал прекъсване на електрозахранването.

$$CAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{m} n_i}{N_0}, [бр.год.] \quad (4)$$

Съществуват и редица други стандарти, потвърждаващи релативната връзка между КЕЕ и ЕМС, като например 555 (CELENEC) и EN 60555 (МЕК). Република България, като пълноправен член на Европейския съюз (ЕС) е възприела и утвърдила стандартите от група EN, които са свързани и взаимно се допълват със стандартите от група IEC. Използват се също стандартите и препоръчителните практики на ANSI (САЩ), YTS (Япония), CNS (Китай), IEEE и др., които нямат задължителен характер, а само препоръчителен. Типични стандарти за ЕМС с конкретни указания за ограничение и допустими стойности за ПКЕЕ са следните:

- *БДС EN 50160:2010 „Характеристики на напрежението на електрическата енергия, доставена от обществените разпределителни електрически системи“, които се отнасят за точката на присъединяване на потребителите (точката за търговско измерване на консумираната ЕЕ от абонатите);*
- *БДС EN 61000 (2,3,4,5 и 6) „Електромагнитна съвместимост“, „Методи за изпитване и измерване“.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направеният по-горе анализ показва, че ЕМС трябва да се разглежда в пряка връзка не само с ПКЕЕ, но и с допълнителните показатели и характеристики, свързани и зависещи от качеството на ЕЕ, като например „надеждност и устойчивост на ЕСС“; „ЕЕЕФ“; „специфичен разход на ЕЕ“; „загуба на мощност и ЕЕ“; „структурни и схемотехнически особености на ЕСС“ и др.

Следователно ЕМС, от гледна точна на теорията на вероятностите и математическата статистика, представлява „параметър на оптимизация“ (ПО), „целева функция“ (ЦФ) или „функция на отклика“ (ФО) в многофакторното пространство с влияещи съществени фактори, някои или всички от изброените по-горе параметри. Тази функция естествено подлежи на оптимизация по определен критерии или група критерии, което по принцип би следвало да осигури възможност да се дефинират оптимални области на изменение на изходния параметър (ПО или ЦФ) и на влияещите съществени фактори (СФ) върху ПО. Математическият апарат, който е целесъобразно да се използва за реализирането на такъв подход е „Теорията на планиране на експеримента“ (ТПЕ), която дава възможност не само да се прогнозират и устойчиво да се определят математически модели, но и да се извърши оптимизация на изследваните параметри в многофакторното пространство. В това е и същността на т.н. комплексен многофакторен подход, даващ възможност количествено да се оцени връзката между съществените фактори и изходните параметри в изследователския процес.

REFERENCE

[1] Tsanev T., Tsvetkova S., Quality of electrical energy, Avangard prima, 2011г.

[2] BNS EN 50160:2006, Characteristics of the voltage of the electrical energy supplied to the public distribution electric systems.

[3] Aleksandrova A., Electric devices, TU-Sofia, ISBN 945-438-236-4, Sofia, 1999.

[4] Lichev A., Electrical apparatus and electrotechnics, „Tehnica”, Sofia, 1980

[5] Valchev M., Georgiev M., Todorova A., Dustabanov G., Toshev P., High Voltage Technique, „Tehnica”, Sofia, 1980.

[6] Burgsdorf V.V., Jacobs A.I., Electrical installation grounding devices, M.Energoatomizdat, 1987.

[7] Dyakov A.F., et al., Electromagnetic Compatibility in the Power Industry and Electrical Engineering, M., Mir „Energoatomizdat” ISBN 5-283-02589-6, 2003.

[8] Karmashev VS, Electromagnetic Compatibility of Technical Means, Handbook, M., 2001.

[9] Ovsyannikov AG, Electromagnetic Compatibility in Electrical Engineering, Novosibirsk, NSTU, 2002.

[10] Brinmann K. EMV bioligischer System. Bd. 6Untersuchgen der magnetischen Flussdichten in Wohnungen und Industrie and deren biologischen Bewertung - Berlin Offenbach, 1999.

[11] Mirillon F., Resrosio N., Cuinshon L., Adam Ph., Lisik H., Calculation of the electromagnetic field emitted by an EHV substation, CIGRE, 1994.

[12] Armanini D., Conti R., Mantini A., Nicolini P., Measurements of power-frequency magnetic fields around different industrial and household sources, CIGRE, 1990.

[13] Wiggins C.M., Thomas D.E., Nickel F.S., Wright S.E., Transient Electromagnetic Interference in Substations, IEEE Winter Meeting New York, 1994.

КОМПЕНСИРАНЕ НА РЕАКТИВНИТЕ МОЩНОСТИ В ПРЕДПРИЯТИЯ СЪС СИЛНО НЕРАВНОМЕРЕН ТОВАРОВ ГРАФИК

Кирил Джустров[1], Иван Стоилов[1]
[1]Минно Геоложки Университет "Св. Ив. Рилски"

COMPENSATION OF REACTIVE POWER IN ENTERPRISES WITH A HIGHLY UNEVEN LOADING SCHEDULE

Kiril Dzhustrov[1], Ivan Stoilov[1]
[1] University of Mining and Geology is "St. Ivan Rilski"

Abstract

The problems of compensating the reactive loads in enterprises with highly uneven load schedule are discussed. A methodology is proposed which is based on experimental studies and gives a possibility to analyse mutli-variant solutions. It has been successfully applied when choosing a variant for optimum compensation in a mining enterprise with uneven loading schedule.

Keywords: compensating the reactive loads

ВЪВЕДЕНИЕ

Минно-обогатителният комбинат „Асарел –Медет" АД има две точки на търговско мерене на електроенергията на страна 110 kV – площадка „Асарел" и площадка „Медет". На площадка „Асарел" е съсредоточен основния електрически товар на предприятието, налице са голям брой мощни синхронни електродвигатели и проблемите с управлението на реактивните товари там са решени [1]. След закриването на рудника и обогатителната фабрика на площадка „Медет" подстанцията 110/6 kV захранва помпени станции, взривна фабрика и няколко цеха с незначителен товар. Независимо от факта, че в две от помпените станция задвижването на помпите е със синхронни електродвигатели, предприятието плаща за консумирана надлимитна реактивна енергия. Поради цикличния режем на работа на помпите и на консуматорите във взривната фабрика товаровия график на подстанцията е много неравномерен, което затруднява компенсацията на реактивната мощност. Подобни проблеми имат редица промишлени предприятия [2, 3]. За решаването им е приложена методика, включваща експериментални изследвания и анализ на резултатите.

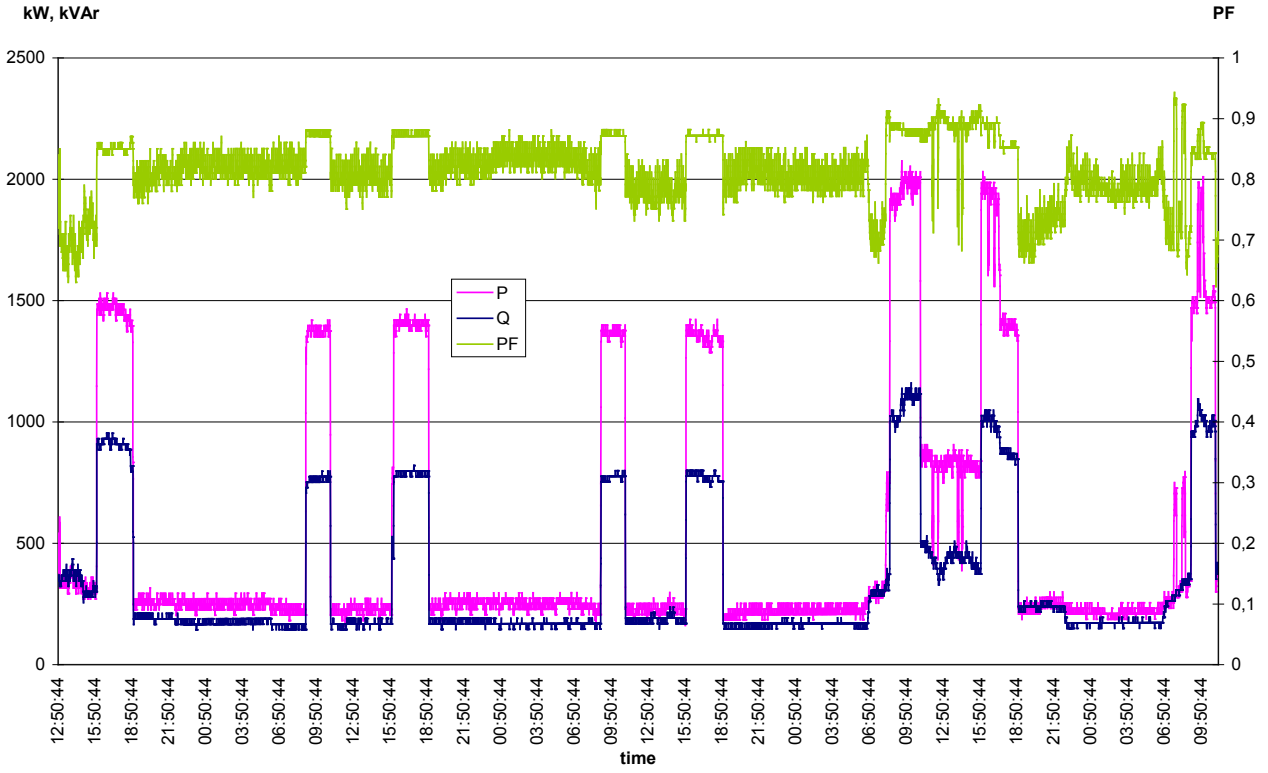
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

В продължение на 4 денонощия бяха заснети товарови графици на страна 110 kV на подстанцията ЦРП „Медет" 110/6 kV. Периодът бе подбран така, че да обхване работно и празнично денонощие. Записваха се моментните стойности на активната, реактивната енергия и cosφ през период от 30 секунди с два мрежови анализатори FLUKE.

Първичните данни от мрежовите анализатори са прехвърлени на персонален компютър и са обработени с приложни-програмни продукти. Визуализирани са изследваните параметри и пълните записи за целия период на измерване. Подбрано е характерно работно и празнично денонощие и на тази база са обработени получените данни. Изчислени и графично са построени за всяко денонощие необходимата реактивна мощност за постигане на нормената стойност на cosφ=0,9.

Този подход дава възможност да се определи недостига или излишъка на реактивна мощност за всеки момент от време за характерно работно и празнично денонощие.

На фиг. 1 е показано изменението на активната, реактивната мощност и фактора на мощността, заснети в продължение на 4 дни в ЦРП „Медет“.

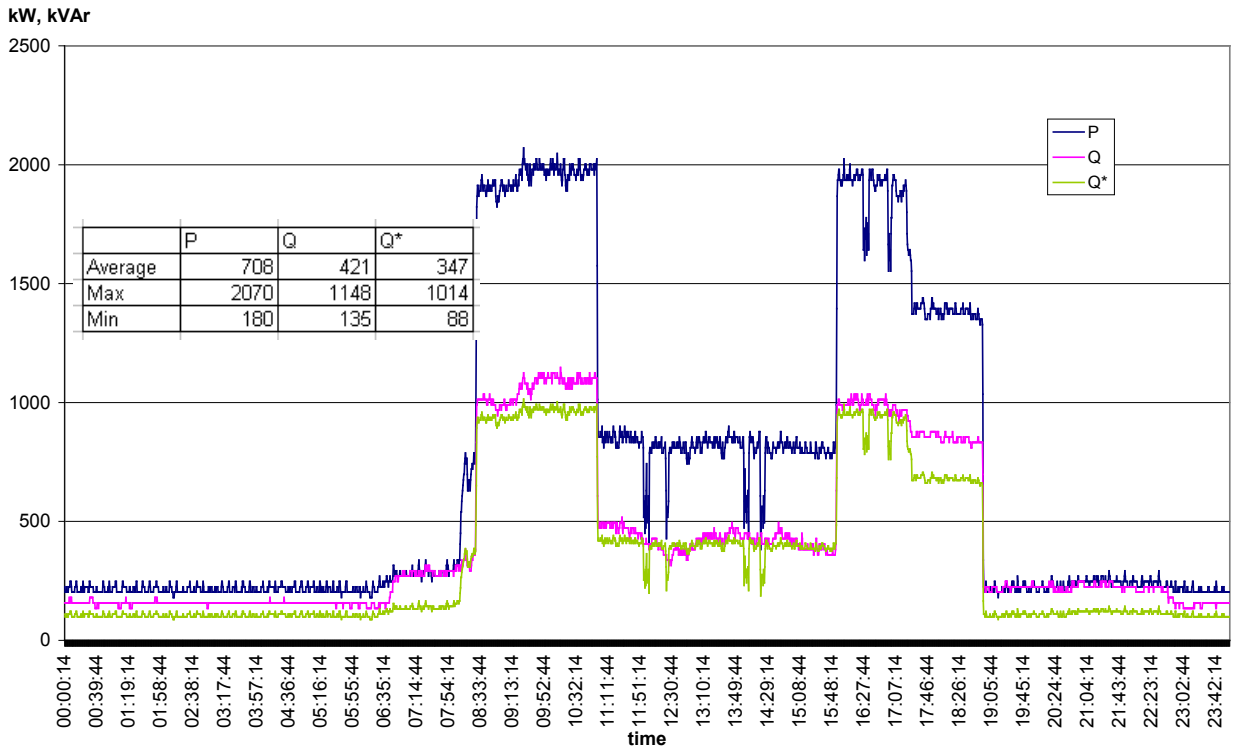


***Фиг. 1**. ЦРП Медет - изменение на активната и реактивна мощности и факторът на мощността (16.05 - 20.05.2014 г.).*

За целия период на измерване по времето когато помпите не работят се откроява една сравнително постоянна по големина активна (около 250 kW) мощност и около 150 kVAr реактивна мощност. При включване на два помпени агрегата, задвижвани от асинхронни електродвигатели с мощност 630 kW, активната мощност достига до около 1400-1500 kW. При съвместна работа на два помпени агрегата и консуматорите от взривната фабрика, активната мощност достига до около 2000 kW. Преобладаващият фактор на мощността е около 0,80-0,82, а при включването на асинхронните двигатели на помпите, достига 0,87. По високи стойности на cosφ (cosφ=0,9) се достигат само при работа на взривната фабрика, и то при положение, че не работят помпите, задвижвани с асинхронни двигатели. Тук е безспорна нуждата от компенсиране на реактивните товари.

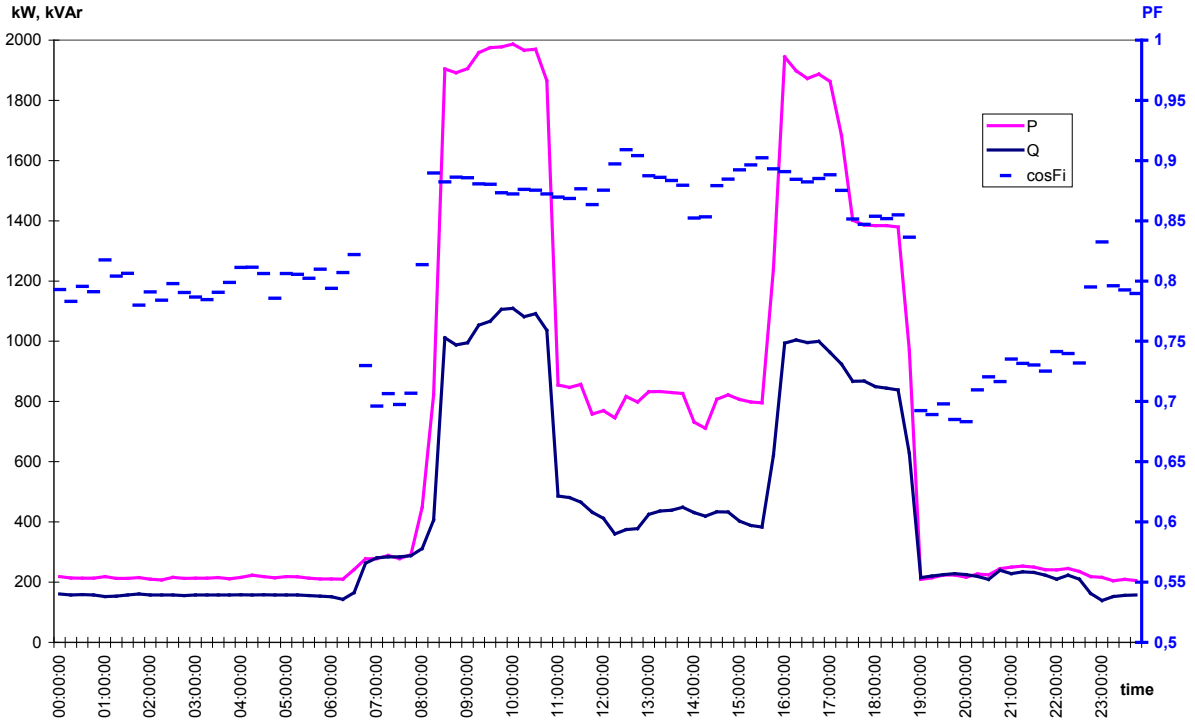
От цитираните записи са подбрани характерни работни и празнични денонощия, които да служат за анализ на товарите и определяне на оптимални решения за компенсиране на реактивните товари.

На фиг. 2 са показани товарови графици на активна и реактивна мощност заснети за характерно работно денонощие. С малки изключения потребяваната реактивна енергия е над лимитираната стойност.



***Фиг. 2**. ЦРП Медет, изменение на активната и реактивна мощности - 19.05.2014 г. (понеделник)*

За всеки един момент е изчислена лимитираната стойност на консумираната реактивна мощност (cosφ=0,9), като нейната крива е представена с Q*. За разглежданите периоди (работно и празнично денонощие), средната стойност на Q* е около 350 MVAr.

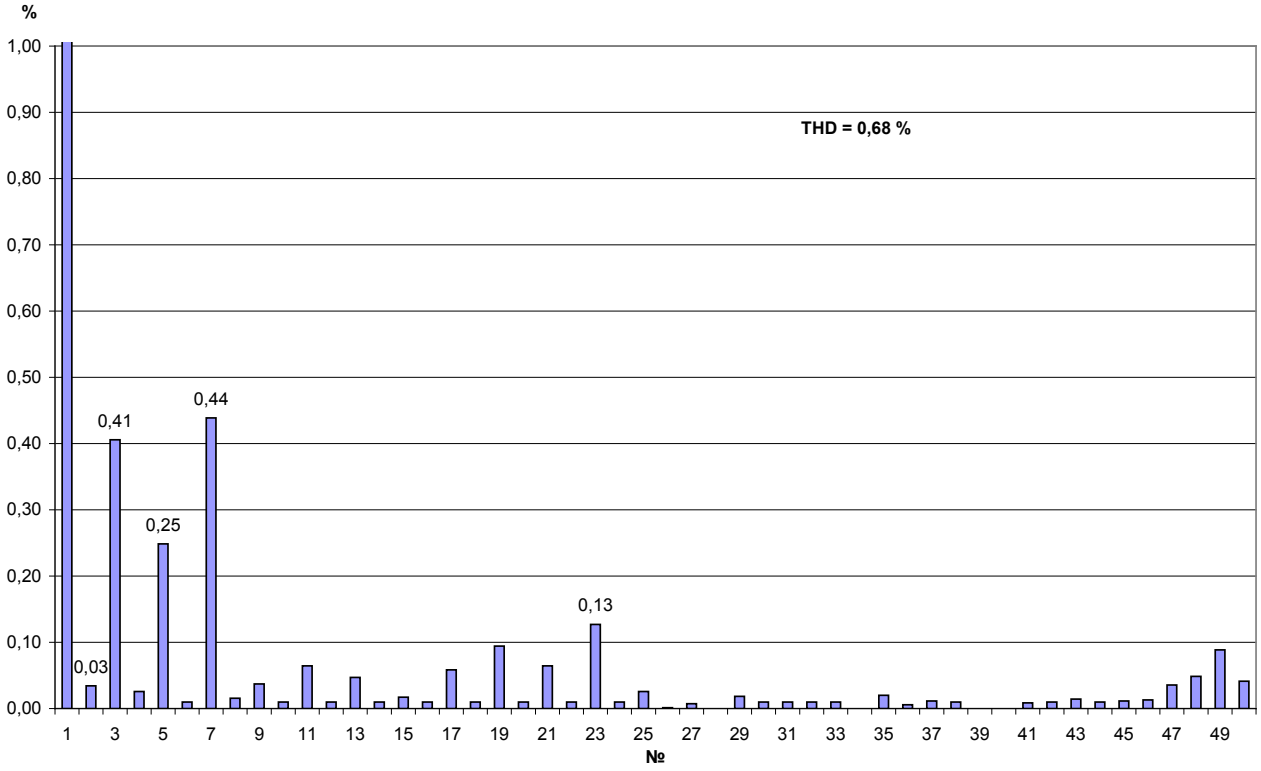


***Фиг. 3**. Изменение на активната и реактивна мощности за 15-минутен интервал - 19.05.2014 г.*

Товарите са циклично повторяеми в отделните дни, като в дните преди взривни работи се включва допълнителен товар от взривната фабрика. При неработещи помпи и взривна фабрика се черпят около 40-60 kVAr над лимитираната реактивна мощност, а при включване на помпите – около 100-120 kVAr. Максимално регистрираното отклонение от лимитираната стойност е 240 kVAr. Минималната регистрирана стойност на Q е 135 kVAr.

На фиг. 3 е дадено изменението на усреднените стойности за 15-минутен интервал на cosφ, активната и реактивната мощност за работно денонощие. От фигурата се вижда големият диапазон на изменение на стойностите на cosφ.

Регистрирани са няколко стойности на cosφ под 0,7, а има и една стойност над 0,9. Динамично изменящият се товар води до съответна динамика в стойностите на cosφ. Този факт определя и решението за компенсиране на реактивните товари в п-я „Медет“. Очевидно ефективна компенсация може да бъде постигната чрез динамична безконтактна компенсация. Решението с превключване на секции на кондензаторни батерии води до чести комутации.



Фиг. 4. *ЦРП Медет - спектър на висшите хармоници*

Чрез мрежовите анализатори FLUKE са измерени нивата на висшите хармоници на страна 110 kV в подстанция „Медет”. На фиг. 4 е показано разпределението на хармоничните съставки. Забелязва се наличие на хармонични съставки в почти пълния спектър, но с много ниски индивидуални коефициенти. Най-високи стойности на коефициентите на несинусоидалност имат 7-ми хармоник – 0,44%, 3-ти хармоник – 0,41% и 5-ти хармоник – 0,25%.

Общият коефициент на несинусоидалност (THD) в напрежението на страна 110 kV в п-я „Медет” е 0,68%, който е по-нисък от допустимите 2,0% за мрежите високо напрежение. Резултатите от тези експериментални изследвания показват, че в подстанцията могат да се инсталират кондензаторни батерии без специална защита от висши хармоници.

АНАЛИЗ НА ВЪЗМОЖНИТЕ ТЕХНИЧЕСКИ РЕШЕНИЯ

Товаровият график на подстанция „Медет“ е със силно променлив характер, особено изразен при работа на взривната фа-

брика. Анализирани бяха няколко варианта за компенсиране на реактивните товари:

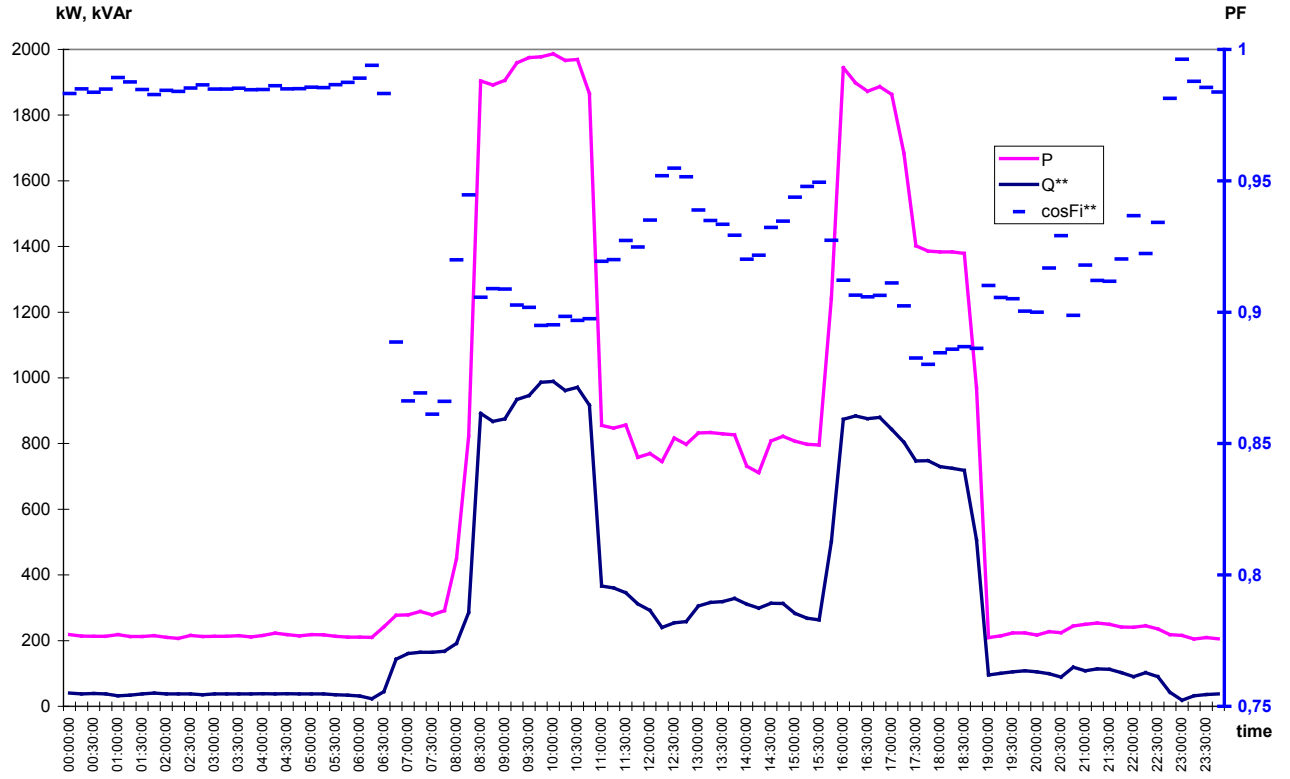
а) – статична кондензаторна батерия с мощност 100 kVAr, свързана на страна 0,4 kV и включване на батерия 200 kVAr едновременно със асинхронните двигатели на помпите

б) – статично свързана кондензаторна батерия с мощност 120 kVAr.

в) – управлявана от регулатор кондензаторна батерия 300 kVAr на страна 6 kV

г) – динамично компенсиране на страна 0,4 kV с мощност на компенсиращото устройство 300 kVAr;

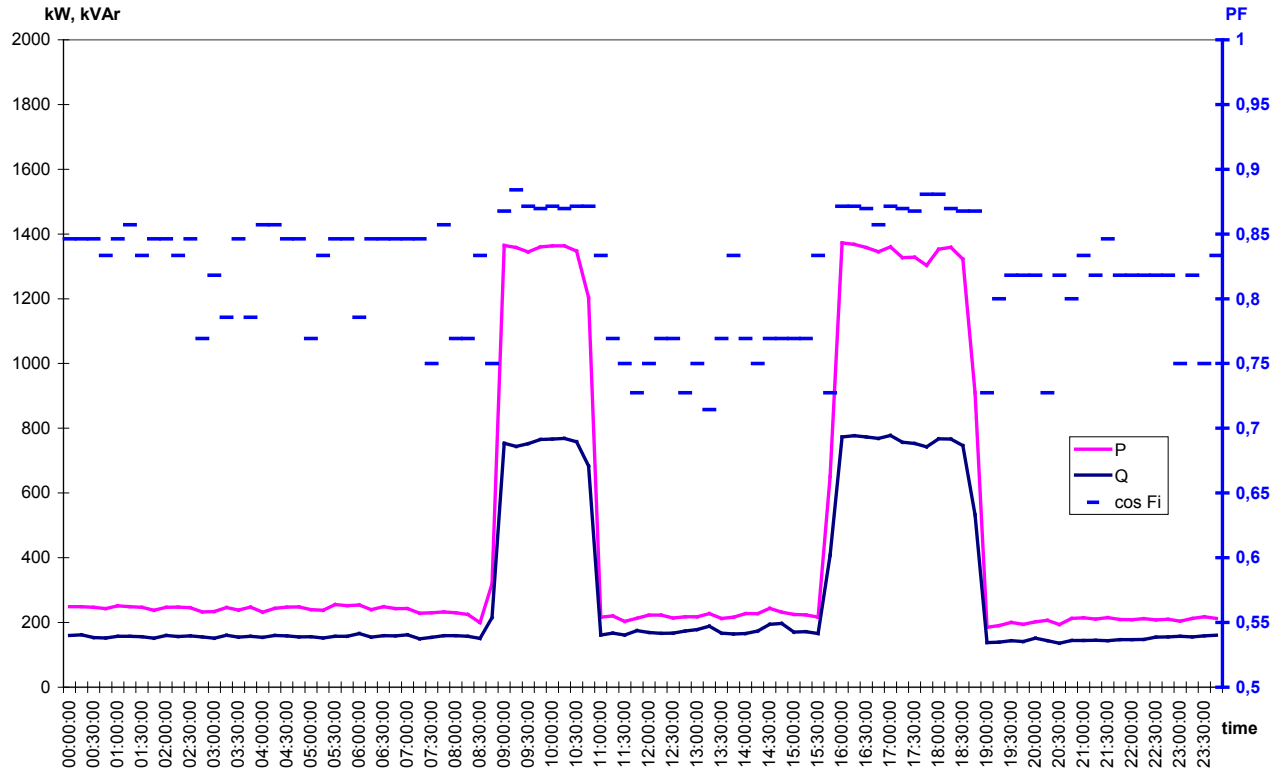
В резултат на анализа на предложените варианти и позиции а) и б) отпаднаха, тъй като при съпоставка с дневния товаров график се оказа, че в определени времеви интервали в денонощието не се реализира необходимата компенсация. На фиг. 5 (делник) и фиг. 6 (празник) е илюстриран варианта при постоянно включена кондензаторна мощност от 120 kVAr. Стойностите на cosφ, активната и реактивната мощност са осреднени на 15-минутен интервал. От фигурите се вижда, че няма връщане на капацитивна енергия в системата (но съществува вероятност от връщане). От данните на фиг. 5 може да се отчете, че в 16 времеви интервала от 15 минути стойностите на cosφ са под нормативната.



Фиг. 5. *Изменение на активната и реактивна мощности за 15-минутен интервал и включена батерия 120kVAr - 19.5.2014г.*

Това означава, че около 4 часа в работно денонощие подстанцията ще консумира реактивна енергия над лимитираната. За конкретния ден 19.05.2014 г. е определена надлимитната реактивна енергия за всеки от 16–те 15 минутни интервала, която възлиза на 112 kVArh.

От фиг. 6 се вижда, че в празнично денонощие не са регистрирани стойности на cosφ под нормативните.



Фиг. 6. *Изменение на активната и реактивна мощности за 15-минутен интервал и включена батерия 120kVAr - 18.5.2014г.*

За компенсация на реактивните товари в ЦРП“ Медет” бяха предложени два варианта – в) и г).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От техническа гледна точка оптималното решение е прилагането на динамична компенсация – вариант г). Динамичната компенсация се осъществява с съвременни полупроводникови устройства, които генерират с голямо бързодействие необходимата капацитивна или индуктивна енергия [4]. По този начин се поддържа стойността на cosφ в зададените стойности и се изключва възможността за връщане на капацитивна енергия в системата.

По икономически съображения дружеството избра варианта в) и в ЦРП „Медет” се инсталира кондензаторна уредба на фирма ABB на страна 6 kV, с мощност 330 kVAr, управлявана от контролер [5]. Решението се оказа удачно и след въвеждането в експлоатация през 2016 г., паричните санкции към дружеството за консумиране на надлимитна реактивна електроенергия отпаднаха. Вложената техника е на най-високо световно ниво, а конкретната реализация осъществява ефективна компенсация на реактивната мощност.

REFERENCE

[1] Stoilov Iv, K. Dzhustrov, OPTIMUM COMPENSATION OF THE REACTIVE LOADS IN ENTERPRISES WITH SYNCHRONOUS ELECTRICMOTORS. Energy Forum, Varna, 2018.

[2] Kirov R., I. Iliev, Elektroenergiina efektivnost. ENA OOD, Varna, 2017.

[3] Kirov R., I. Iliev, Izsledvane i optimizacia kompensaciata na reaktivnite tovari pri nelineino natovarvane, Energy Forum, Varna, 2015.

[4] PQC - STATCON, Brochure - ABB, Instantaneous and stepless compensation for dynamic reactive power and unbalanced loads

[5] ABBACUS - Metal Enclosed Capacitor Bank, Brochure - ABB

ИЗСЛЕДВАНЕ ФАЗОВИТЕ ПРЕХОДИ НА ЛЕГИРАНА БАРИЕВО-СТРОНЦИЕВА КЕРАМИКА, ПОЛУЧЕНА ПРИ ДВУКТРАТЕН СИНТЕЗ

Ивайло Лазаров
Технически университет - Габрово

INVESTIGATION THE PHASE TRANSITIONS OF DOPED BARIUM STRONTIUM TITANATE CERAMICS OBTAINED BY DOUBLE SYNTHESIS

Ivaylo Lazarov
Technical University of Gabrovo

Abstract

In this work are investigated the solid solutions of doped barium strontium ceramics obtained by double synthesis. The temperature dependencies of the relative permittivity have been obtained. The highest values for the dielectric permittivity have been obtained for barium strontium titanate ceramics doped with 1mol% bismuth trioxide and 1mol% boric acid. For doped with bismuth trioxide barium strontium titanate the values of the dielectric permittivity increasing with increase the amount of bismuth trioxide.

Keywords: *barium strontium titanate, doped additives, dielectric permitivity.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Известно е, че бариево – стронциевият титанат намира широко приложение за изработване на многослойни кондензатори [1], термистори [2], филтри [3], фазорегулатори [4] и др., поради високите стойности на относителната диелектрична проницаемост, ниски диелектрични загуби, нелинейна зависимост на относителната диелектрична проницаемост от интензитета на електрическото поле, добра термостабилност. Температурната зависимост на относителната диелектрична проницаемост може да се контролира чрез изменение на съотношението на бариевите и стронциевите йони. Увеличаването на стронциевите йони, които заместват бариевите, понижава стойностите на относителната диелектрична проницаемост и измества фазовият преход към температури, близки до стайната. Друг начин за изменение на свойствата на бариево-стронциевият титанат е добавянето към него на различни легиращи добавки.

Относителната диелектрична проницаемост на легиран с Bi бариево – стронциев титанат, намалява с увеличаване на количеството Bi, а температурата на Кюри се измества към стайната [5]. При легиране на твърд разтвор на бариево-стронциев титанат с малки количества стъкла се подобряват диелектричните му свойства и се понижава температурата на синтез [6]. В работа [7] е изследвано влиянието на различни количества NiO върху диелектричните свойства на твърд разтвор на $(Ba_{0.6}Sr_{0.4})TiO_3$. Установено е, че при ниски честоти стойностите на относителната диелектрична проницаемост и tgδ намаляват значително в сравнение с нелегиран материал.

Цел на настоящата работа е да се изследват фазовите преходи на легирани твърди разтвори на бариево-стронциева керамика, получена при двукратен синтез.

ИЗСЛЕДВАНИ СЪСТАВИ

За реализиране на поставената задача са получени и изследвани три състава от твърд разтвор на бариево-стронциев титанат, получени чрез двукратен синтез. Като

изходни компоненти за получаване на изследваните материали са използвани бариев карбонат $BaCO_3$, стронциев карбонат $SrCO_3$, титанов диоксид TiO_2, борна киселина H_3BO_3 и дибисмутов триоксид Bi_2O_3. Първият от изследваните състави е легиран съвместно с 1mol% борна киселина H_3BO_3 и 1mol% бисмутов триоксид Bi_2O_3 твърд разтвор на бариево-стронциев титанат. Другите два изследвани състава са легирани с $0.05mol\%Bi_2O_3$ и $0.1mol\%Bi_2O_3$ твърди разтвори на бариево-стронциев титанат.

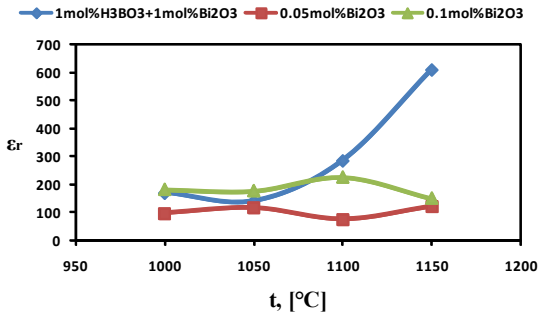
Изследваните образци са получени по стандартна керамична технология. Необходимите количества от изходни оксиди се хомогенизират и раздробяват в планетарна мелница за 4 часа в 3% воден разтвор на поливинилов алкохол. Получените след изсушаване прахове се пресуват с формата на дискове с диаметър 50 mm. Извършва се предсинтероване при температура 1100°C, след което се раздробяват и смилат отново. След изсушаване и гранулиране на получените прахове, чрез пресуване се оформят образци под формата на дискове с дебелина 1÷3mm и диаметър 11mm. Получените материали са спечени при температури 1000°C, 1050°C, 1100°C и 1150°C във въздушна среда за 2h.

За получаване на електрически контакт е използвана сребърна паста, спечена при 900°C за 1h.

ЕКСПЕРЕМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

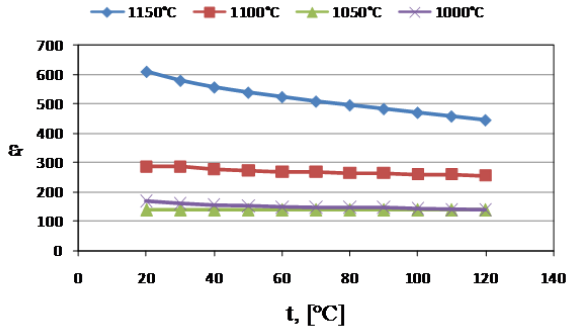
Зависимостите на относителната диелектрична проницаемост (ε_r) от температурата на спичане за изследваните материали са показани на фиг.1. При високи температури на спичане са получени най – високи стойности за относителната диелектрична проницаемост за материали от легиран съвместно с $1mol\%H_3BO_3$ и $1mol\%Bi_2O_3$ твърд разтвор на бариево – стронциев титанат. При ниски температури на спичане са получени приблизително еднакви стойности за ε_r за материали, легирани съвместно с $1mol\%H_3BO_3$ и $1mol\%Bi_2O_3$ и $0.1mol\%Bi_2O_3$.

За легираните с $1mol\%Bi_2O_3$ материали са получени по-високи стойности за ε_r в сравнение с легираните с $0.05mol\%Bi_2O_3$, при температура на спичане 1100°C



***Фиг. 1**. Зависимости на относителната диелектрична проницаемост от температурата на синтез за изследваните материали , получени при двукратен синтез*

На фиг. 2. са показани температурните зависимости на относителната диелектрична проницаемост за материали, легирани съвместно с 1mol% борна киселина H_3BO_3 и 1mol% бисмутов триоксид Bi_2O_3 ($Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$+1 mol%H_3BO_3 + 1 mol% Bi_2O_3).

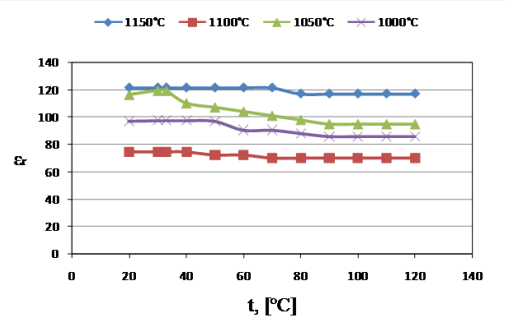


***Фиг. 2**. Температурни зависимости на относителната диелектрична проницаемост за материали от $Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$ +1 mol%H_3BO_3 + 1 mol% Bi_2O_3, получени при двукратен синтез*

Най-високи стойности за относителната диелектрична проницаемост са получени за материали, спечени при температура 1150°C. За тези материали се наблюдава понижаване на относителната диелектрична проницаемост с увеличаване на температурата. Стойностите за относителната диелектрична проницаемост за материали, спечени при температури 1000°C и 1050°C са близки. За тези материали не се наблюдава изменение в температурната зависимост на относителната диелектрична проницаемост в температурния интервал (60÷120)°C. При всичките температури на спичане не са налични ясно изразени максимуми в температурните зависимости на относителната диелектрична проницаемост.

Получените температурни зависимости на ε_r за материали от легиран с 0.05mol%Bi_2O_3 твърд разтвор на бариево-стронциев титанат ($Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$+0.05mol% Bi_2O_3) са показани на фиг. 3.

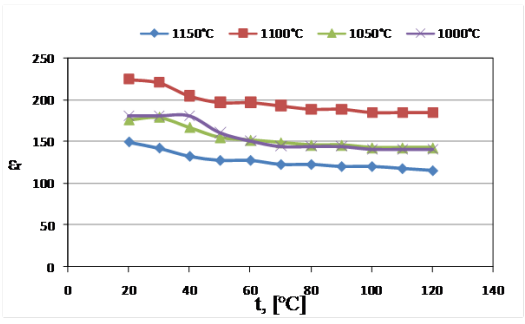
И при тези материали са получени най-високи стойности за относителната диелектрична проницаемост при температура на спичане 1150°C. Слабо изразен максимум в температурната зависимост на относителната диелектрична проницаемост се наблюдава за материали, спечени при 1050°C, при температури близки до стайната.



***Фиг. 3**. Температурни зависимости на относителната диелектрична проницаемост за материали от $Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$ + 0.05mol% Bi_2O_3, получени при двукратен синтез*

В температурния интервал (90÷120)°C не се наблюдава изменение на относителната диелектрична проницаемост при четирите температури на спичане. Стойностите за ε_r са по-ниски в сравнение с тези на материали $Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$ +1 mol%H_3BO_3 + 1 mol% Bi_2O_3.

Получените температурни зависимости за относителната диелектрична проницаемост за материали от легиран с 0,1mol% Bi_2O_3 твърд разтвор на бариево-стронциев титанат са показани на фиг. 4.



***Фиг. 4**. Температурни зависимости на относителната диелектрична проницаемост за материали от $Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$+ 0.1mol% Bi_2O_3, получени при двукратен синтез*

Най-високи стойности за относителната диелектрична проницаемост са получени за материали, спечени при температура 1100°C. За материали, спечени при температура 1050°C е наличен слабо изразен максимум в температурната зависимост на относителната диелектрична проницаемост при температура близка до стайната. Най-ниски са стойностите за ε_r за материали, спечени при температура 1150°C. Това показва, че при легирането на твърд разтвор на бариево – стонциев титанат с 0.1mol%Bi_2O_3 се понижава температурата на спичане.

Получените стойности за относителната диелектрична проницаемост за материали от легиран с 0.1mol%Bi_2O_3 бариево – стронциев титанат са по-високи и при четирите температури на спичане. Това показва, че с увеличаване на количеството бисмутов триоксид се повишават стойностите на относителната диелектрична проницаемост.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получени и изследвани са сегнетокерамични материали от легиран с 1 mol%H_3BO_3 + 1 mol% Bi_2O_3, 0.05mol% Bi_2O_3 и 0.1mol% Bi_2O_3 твърд разтвор на бариево – стронциев титанат, получени чрез двукратен синтез. Материалите са спечени при четири температури – 1000°C, 1050°C, 1100°C и 1150°C. Най – високи стойности за относителната диелектрична проницаемост са получени за материали от твърд разтвор на бариево – стронциев титанат, легиран съвместно с 1 mol% H_3BO_3 и 1 mol% Bi_2O_3. При легиране с Bi_2O_3, стойностите за относителната диелектрична проницаемост намаляват. С увеличаването на количеството Bi_2O_3 се увеличават стойностите за относителната диелектрична проницаемост и се понижава температурата на спичане. За тези материали, спечени при температура 1050°C са налични максимуми в температурната зависимост на относителната диелектрична проницаемост.

REFERENCE

[1] Azough F, Al R, Freer F. A transmission electron microscope study of commercial X7R-type multilayer ceramic capacitors. Journal European Ceramic Society 1998;18:751-758.

[2] Bomlai P, Milne S. Properties of barium strontium titanate PTCR ceramics sintered of different powder beds. Journal Material Scienece 2007;42:6803-6808.
[3] Buslov OY, Kang CY. Dielectric resonators loaded by ferroelectric varactors for tunable Ka Band filters. Integrates Ferrelecytrics, Vol.81, 2006, pp.171-179.
[4] Tagantsev AK, Sherman VO, Astafiev KF, Venhatesh J, Setter N. Ferroelectric materials for microwave tunable appcations, Journal Electroceramics, 11, 2003, p.5-66.
[5] Attar AS, Sichani ES, Scharafi S. Structural and dielectric properties of Bi – doped barium strontium nanopowders synthesized by sol-gel method. Journal of Materials Research and Technology 2017; 6 (2):108-115.
[6] Priya Rani BR, Sebastian MT. The effect of glass addition on the dielectric properties of barium strontium titanate. Journal Material Science 2008; 19:39-44.
[7] Banerjee M, Mukherjee S, Maitra S. Synthesis and characterization of nickel oxide doped barium strontium titanate ceramics, Cerâmica 2012; 58:99-104

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ И ЦВЕТОВИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА LED ОСВЕТИТЕЛ С РЕГУЛИРУЕМА ЦВЕТНА ТЕМПЕРАТУРА

Пламен Цанков, Милко Йовчев, Пламен Данаилов
Технически университет - Габрово

STUDY OF ELECTRIC AND COLOR CHARACTERISTICS OF LED LUMINAIRE WITH ADJUSTABLE COLOR TEMPERATURE

Plamen Tsankov, Milko Yovchev, Plamen Danailov
Technical University of Gabrovo

Abstract

Study of electric and color characteristics of the LED luminaire with adjustable color temperature are presented. Electrical parameters current, active, reactive and apparent power, power factor and harmonic distortion of current, and also color characteristics - color temperature, color rendering index and dominant wave length of a LED luminaire are measured. The results are analysed and presented in tabular and graphical form.

Keywords: LED luminaire, measuring, color temperature, total harmonic distortion of current, color rendering index.

ВЪВЕДЕНИЕ

Светодиодните (LED) осветители заместват конвенционалните осветители с луминесцентни, метал-халогенни и нажежаеми лампи за вътрешно приложение, поради редица свои предимства: дълъг експлоатационен срок – до 100 000 часа, висок светлинен добив – (100÷160) lm/W, сравнително добър индекс на цветопредаване – R_a = 80÷90 и възможност за димиране на светлинния поток Φ. Обезпечаването на нормалната работа на LED източниците на светлина при захранване с номинално мрежово напрежение 230 V AC с честота f = 50 Hz се извършва от специализирани драйвери. Използването на обикновени драйвери без специални филтри в тях води до несинусоидалност – един от показателите за качество на електрическата енергия, чрез генериране на висши хармоници на тока.

Общото хармонично изкривяване на тока *THDi* се определя със следното уравнение:

$$THD_i = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} I_n^2} \Big/ I_1 .100, \%, \qquad (1)$$

където I_1 е токът на основния (първи) хармоник, I_n – сумата от хармоничните съставящи на тока [1].

Регулирането на цветната температура T_c при светодиодите от технологията син LED и луминофор може да се постигне с нанасяне на луминофор от различен химичен състав и плътност на покритие над всеки LED. Цветната температура не носи информация за спектралния състав на излъчването [2,3]. Той се оценява с общия индекс на цветопредаване R_a, който се изчислява като средноаритметично от частните индекси R_i, дефинирани по уравнение (2):

$$R_i = 100 - 4.6\ \Delta E_{ai}, \qquad (2)$$

където ΔE_{ai} са цветови разлики, получени при осветяване на цветни еталони с изследван и стандартен източник на светлина [4,5].

ИЗЛОЖЕНИЕ

В настоящата разработка се извършва изследване на електрическите и цветовите характеристики на LED осветител с ново техническо решение за регулиране на све-

тлинния поток и цветната температура. Изследва се LED плафон за вътрешно осветление с нововъведената функционалност, техническите характеристики на който са посочени в Табл. 1.

Табл. 1. *Технически данни на LED плафона*

Активна мощност P, [W]	Светлинен поток Φ, [lm]	Корелирана цветна температура T_c, [K]	Степен на защита IP
100	5900	2700 ÷ 6500	20

Управлението на LED плафона (Фиг. 1) се извършва дистанционно. Осигурени са 9 степени (нива) на регулиране на светлинния поток и 7 степени на регулиране на цветната температура в интервала (2700÷6500) K. Предвидена е функционална възможност за последователно активиране на три фиксирани стойности на цветната температура – 2700 K (топло-бяла), 4500 K (неутрално-бяла) и 6500 K (студено-бяла светлина).

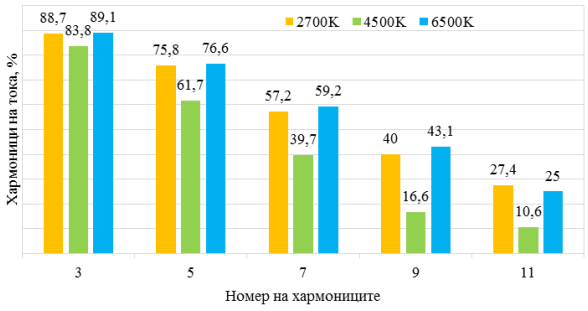
Фиг. 1*. Външен вид на изследвания LED плафон*

Табл. 2. *Резултати от измервания на електрически параметри на LED плафон с регулиране на светлинния поток и цветната температура T_c*

Ниво на димиране	T_c, [K]	I, [A]	P, [W]	Q, [var]	S, [VA]	cos φ	PF-cap	THDi, %	I_2	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}
									Максимално допустима стойност, %					
									2	30.PF	10	7	5	3
1 – Φ_{min}	2700	0.04	3.6	4	10.1	0.68	0.37	154	4.4	34.4	52.2	53.4	52.1	44.6
	4500	0.05	4.9	4	13	0.78	0.37	186.6	4.1	61.8	65.4	61.3	54.7	54.6
	6500	0.04	3.8	8	9.8	0.69	0.37	155.1	4.4	52.2	55.2	50	50.7	44.7
2	2700	0.08	7.4	4.1	19.8	0.87	0.38	208	3.7	76.6	75.2	75	69.8	59
	4500	0.18	19.2	5.5	43.1	0.96	0.45	185.1	2.5	87.3	82.1	76.3	65.4	52.7
	6500	0.08	7.1	3.9	19	0.88	0.38	201.8	3.8	74.2	76.6	72	67.5	64.7
3	2700	0.15	14.9	4.8	35.5	0.95	0.44	197.8	1.4	89.4	83.7	78	68.1	63
	4500	0.24	29.1	7.2	58.4	0.96	0.49	165.1	1.3	88.9	79.4	68.5	53.9	39.8
	6500	0.14	14.5	4.6	34.7	0.95	0.42	199.8	2.1	87.2	84.2	80.4	71.8	62.5
4	2700	0.19	20	5.7	45.8	0.96	0.45	184.3	2	87.3	85.1	77.5	64.1	55.5
	4500	0.28	33.3	8.8	66.4	0.96	0.52	153.1	1.2	87.6	77.2	63	41.3	30.6
	6500	0.18	19.9	5.4	43.8	0.96	0.46	184.3	1.5	88.9	84.2	79	71.3	51.7
5	2700	0.22	24.6	6.8	53.6	0.96	0.47	176.1	1.2	88.5	82.9	72.2	61.4	48.4
	4500	0.3	38.1	10.9	70.7	0.96	0.53	143.5	0.9	87.5	72.5	56.9	39.2	22.7
	6500	0.23	24.1	6.5	51.4	0.95	0.48	178.9	1.2	90	83	73.2	59.6	47.3
6	2700	0.24	28.8	7.1	58.8	0.96	0.49	168.6	1.6	88.9	80.6	68.8	55.1	10.4
	4500	0.32	44	11.7	77.1	0.96	0.56	135.7	1	87	71.1	50.4	28.8	18.6
	6500	0.24	27.9	7	57.8	0.97	0.48	170.1	1.5	89.6	81.9	69.5	56.8	45.6
7	2700	0.26	31.2	8	62.1	0.96	0.5	161.6	0.9	88	78.5	64.9	48.7	33.4
	4500	0.35	49.3	13.7	84.3	0.96	0.59	127.1	0.7	86.8	67	46.7	24.3	15.3
	6500	0.26	30.6	7.8	62.5	0.97	0.5	162.1	1.7	89.9	80.3	64.7	55	35
8	2700	0.27	34.7	8.8	65.8	0.96	0.52	150.6	0.7	88.7	77.4	63.2	45.5	31.8
	4500	0.37	54.4	15.1	90.3	0.96	0.61	121.9	0.9	84.7	64.1	41	20.9	12.2
	6500	0.28	35	9	68.2	0.97	0.52	152	1	89.2	77	60.8	46.2	33.5
9 – Φ_{max}	2700	0.29	37.2	10.1	70.4	0.96	0.54	146.4	0.5	88.7	75.8	57.2	40	27.4
	4500	0.38	57	16.2	91.3	0.96	0.62	115.7	0.6	83.8	61.7	39.7	16.6	10.6
	6500	0.3	37	9.4	70.6	0.95	0.53	148.1	1.2	89.1	76.6	59.2	43.1	25

С помощта на електроенергиен анализатор MPR 63 се извършва изследване на изменението на електрическия ток *I*, активната *P*, реактивна *Q* и пълна *S* мощност, cos

φ, фактора на мощността *PF* (с капацитивен характер *PF-cap*), общото хармонично изкривяване на тока *THDi* и отделни хармонични съставящи на тока, представени като % от основния хармоник при 9-те нива на регулиране на светлинния поток за всяка от трите фиксирани цветни температури. Ниво 1 съответства на минимален светлинен поток ($Ф_{min}$), а ниво 9 на максимален светлинен поток ($Ф_{max}$) на осветителя. Резултатите от измерванията са представени в Табл. 2. Установява се, че стойностите на хармоничните съставящи на тока не отговарят на допустимите, посочени в стандарта, с изключение на подчертаните стойности за втори хармоник I_2. Измерванията се извършват при общо хармонично изкривяване на напрежението в мрежата *THDu* = 1%.

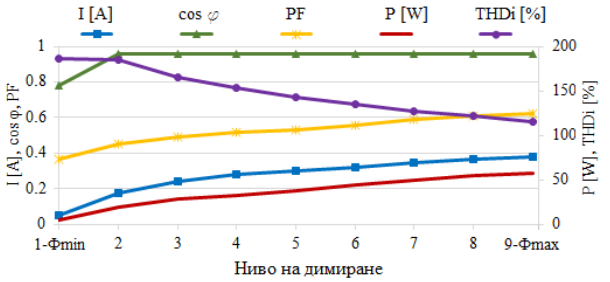


***Фиг. 2**. Измерени висши хармоници на тока*

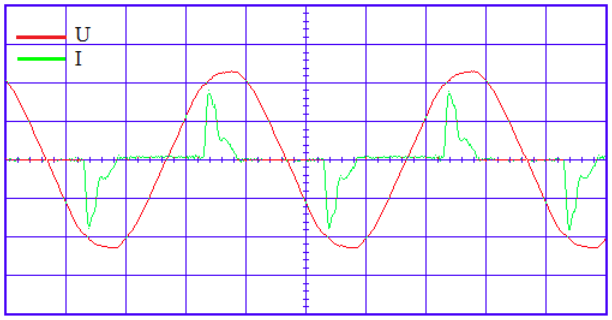
На Фиг. 3 е показано изменението на тока *I*, *cos φ*, фактора на мощност *PF*, активната мощност *P* и общото хармонично изкривяване по ток *THDi* при различните степени на регулиране на светлинния поток на LED осветителя при зададена цветна температура T_c = 4500 K.

Резултатите от Табл. 2 и Фиг. 3 показват, че с увеличаване на светлинния поток от $Ф_{min}$ към $Ф_{max}$ (последователно от ниво 1 до ниво 9), токът, активната мощност и факторът на мощността се увеличават, докато *THDi* намалява почти линейно, а *cos φ* остава приблизително постоянен за трите фиксирани цветни температури.

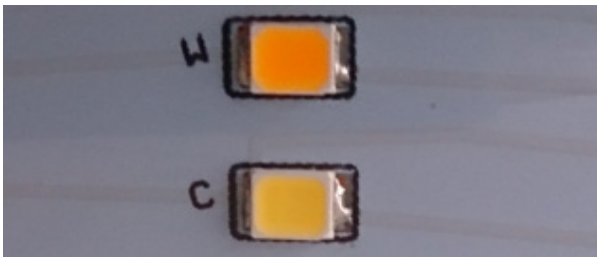
На Фиг. 4 са показани формата на напрежението *U* и тока *I* при работа на LED плафона с максимален светлинен поток (димиране при ниво 9).



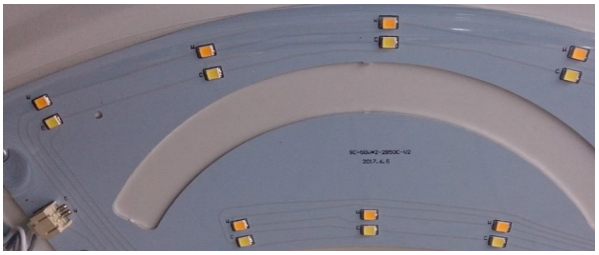
***Фиг. 3**. Изменение на електрическите параметри I, cos φ, PF, P и THDi на изследвания LED плафон*



***Фиг. 4**. Форма на напрежението и тока на LED плафона*



***Фиг. 5**. LED източници от групи „W“ и „C“ в осветителя*



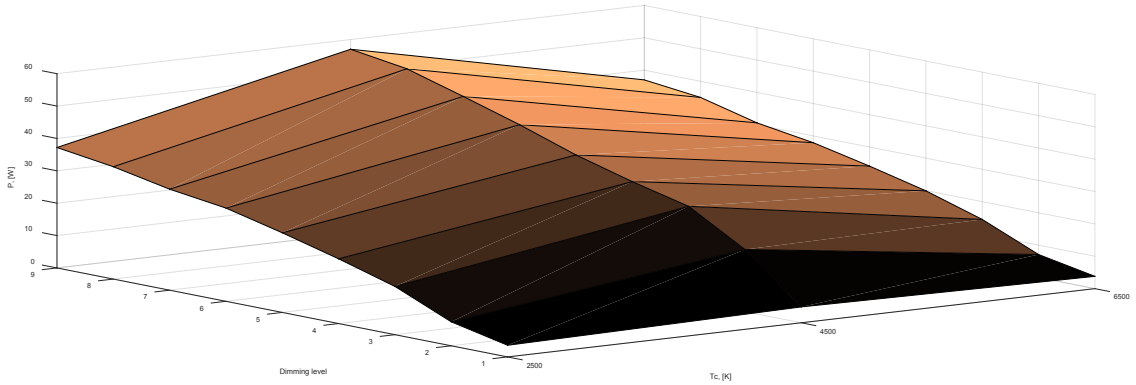
***Фиг. 6**. Разположение на част от LED източниците от групи „W“ и „C“ върху платка в осветителя*

Регулирането на цветната температура на LED осветителя е в диапазона от 2700 K до 6500 K. То се осъществява посредством 200 броя LED източници, разпределени в две групи (Фиг. 5 и 6): едната група излъчва топло-бяла светлина (T_c = 2700 K) и е обозначена като „W“ – Warm White, а другата група излъчва студено-бяла светлина

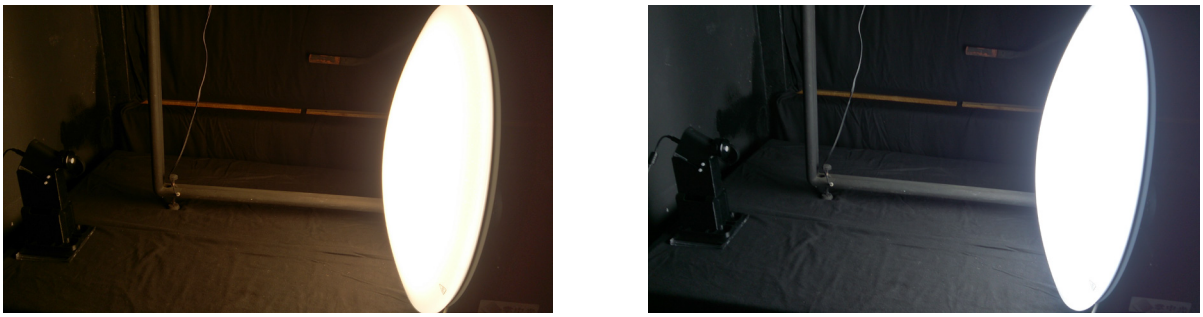
(T_c = 6500 K) и е обозначена като „C“ – Cool White.

Изменението на цветната температура в пълния диапазон – от 2700 K до 6500 K, се осъществява чрез индивидуално регулиране на интензивността на светлинния поток на двете групи LED източници. Плавното изменение на T_c е възможно единствено при по-високите нива на димиране (нива 7÷9), съответстващи на по-висок светлинен поток.

Установява се от резултатите в Табл. 2, че при зададена степен на регулиране на светлинния поток, електрическите параметри на LED осветителя се различават за трите фиксирани цветни температури (2700 K, 4500 K и 6500 K). Максимални стойности на I, P, Q, S и PF се отчитат при T_c = 4500 K – неутрално бяла светлина. Това се обяснява с възможността отделните две групи LED източници да работят с различно ниво на димиране (различна мощност) в зависимост от желаната цветна температура в диапазона. На Фиг. 7 е показана графична визуализация на изменение на активната мощност P на LED осветителя от различните нива на димиране и различните (фиксирани три) задавани цветни температури.



***Фиг. 7**. Изменение на активната мощност P на LED осветителя от различните нива на димиране и различните T_c*



***а)** Измерване при T_c = 2700 K* ***б)** Измерване при T_c = 6500 K*

***Фиг. 8.** Постановка на измерване на цветови характеристики на LED плафон*

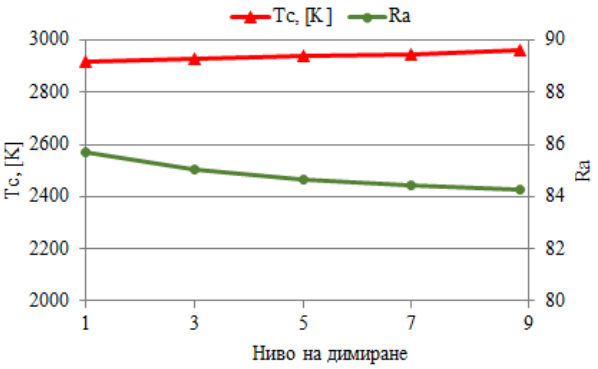
В специализирано тъмно помещение в лаборатория „Осветителна техника“ при Технически университет - Габрово се извършва измерване и сравняване на цветовите характеристики на изследвания LED осветител - Фиг. 8. Измерванията се осъществяват с автоматизиран гониофотометър Rainbow Light с прикрепен към него спектрофотометър с датчик със CCD матрица [6]. Посредством измервателния уред, свързан през USB порт към компютърна конфигурация със специализиран софтуерен продукт Candela Distribution, се извършва изчисляване на цветовите показатели: корелирана цветна температура T_c, общ индекс на цветопредаване R_a и доминантна (пикова) дължина на вълната λ_p. Резултатите от изменението на посочените цветови показатели за трите фиксирани режима на цветната температура (2700 K, 4500 K и 6500 K) при

различните нива на димиране на светлинния поток на LED осветителя са представени в Табл. 3.

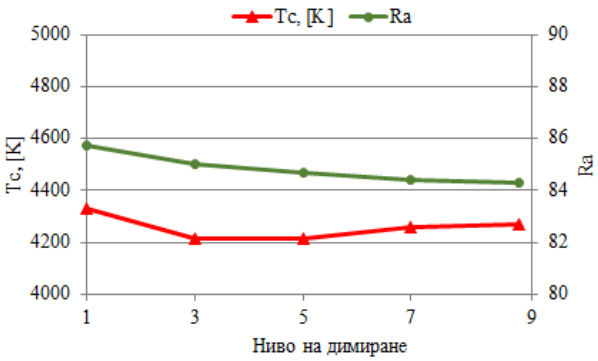
На Фиг. 9÷11 е показано в графичен вид изменението на цветната температура T_c и на общия индекс на цветопредаване R_a при регулиране на светлинния поток на изследвания LED осветител за трите фиксирани режима на цветната температура.

Табл. 3. *Изменение на цветовите характеристики на изследвания LED плафон при различни нива на димиране*

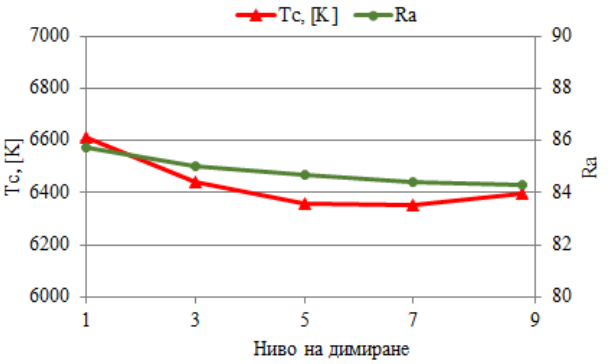
Цветови параметри		Ниво на димиране				
		1	3	5	7	9
Режим 2700K	T_c, [K]	2920	2930	2940	2945	2960
	R_a	85.71	85.03	84.66	84.42	84.27
	λ_p, [nm]	463.53	472.36	477.80	478.76	480.06
Режим 4500K	T_c, [K]	4328	4213	4215	4260	4271
	R_a	89.50	87.78	87.33	87.27	87.21
	λ_p, [nm]	481.64	482.62	482.61	482.52	482.40
Режим 6500K	T_c, [K]	6611	6443	6360	6350	6398
	R_a	87.57	86.79	86.24	86.01	85.95
	λ_p, [nm]	482.35	482.70	482.70	482.70	482.54



Фиг. 9*. Изменение на T_c и R_a при димиране на LED осветителя със зададен режим 2700 K*



Фиг. 10*. Изменение на T_c и R_a при димиране на LED осветителя със зададен режим 4500 K*



Фиг. 11. *Изменение на T_c и R_a при димиране на LED осветителя със зададен режим 6500 K*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследваното в настоящия доклад ново техническо решение за реализация на LED осветител с възможност за регулиране на цветната температура и светлинния поток чрез комбинирано управление на две групи светодиоди с T_c = 2700 K и T_c = 6500 K успешно осигурява бяла светлина с висок индекс на цвеопредаване R_a = 84.3÷89.5 с цветна температура, изменяща се в диапазона T_c = 2920÷6611 K. При светене на LED осветителя с неутрално бяла светлина с T_c = 4500 K, което се постига чрез еднакво ниво на димиране на двете групи светодиоди, се получава най-висок индекс на цветопредаване R_a = 87.2÷89.5 – Табл. 3.

При нива на димиране от 9 към 1 (намаляване на светлинния поток) на LED осветителя - Фиг. 9, 10 и 11:

- индексът на цветопредаване R_a незначително се увеличава за всички разглеждани режими на работа с различна цветна температура – с 1.5÷2.3 единици;
- цветната температура за режим с T_c = 2700 K намалява незначително, докато за режимите с T_c = 4500 K и T_c = 6500 K се увеличава – Табл. 3 и Фиг. 9÷11;
- активната електрическа мощност P намалява до 8.6% от максималната при режим T_c = 2700 K и до 10.3% при режим T_c = 6500 K – Табл. 2, което показва, че може да се намали консумацията на активна мощност с почти 90%, ако не е необходим целият светлинен поток на осветителя;
- увеличават се емисиите на висши хармоници на тока, което води до повишаване на общото хармонично изкривяване *THDi* и

намаляване на фактора на мощността *PF* – Табл. 2 и Фиг. 3.

Измерените нива на висшите хармоници на тока на LED осветителя надвишават граничните стойности, съгласно актуалния БДС EN 61000-3-2, за всички режими на работа – Табл. 2 и Фиг. 2.

Изследването на изменението на активната мощност *P* на LED осветителя за различните нива на димиране и режимите с различна цветна температура (Табл. 2 и Фиг. 7) показва, че *P* не е еднаква за режимите с различна T_c при едно и също ниво на димиране. Най-висока мощност има при режим с неутрално бяла светлина с T_c = 4500 K – максимална стойност от 57 W, която е значително по-ниска от посочената в техническите данни на LED плафона – 100 W. За режимите на работа с T_c = 2700 K и T_c = 6500 K максималната мощност е по-ниска – 37 W. Тези разлики в мощността се дължат на заложените в драйвера пропорции на преразпределение на мощността между двете групи диоди с цел получаване на желаната цветна температура. Разликата в мощността при режимите на работа с различни T_c води и до различни светлинни потоци при едно и също ниво на димиране, което би могло да бъде нежелан ефект.

В заключение от направените измервания и анализи, се установява, че техническото решение за реализация на LED осветител с възможност за регулиране на цветната температура и светлинния поток чрез комбинирано управление на две групи светодиоди с T_c = 2700 K и T_c = 6500 K успешно постига много добри цветови характеристики – висок индекс на цветопредаване в широк диапазон на изменение на цветната температура.

По отношение на електрическите характеристики могат да се направят препоръки за усъвършенстване режима на преразпределение на мощността от драйвера с цел постигане на еднаква мощност и светлинен поток за различните цветни температури, както и филтриране на висшите хармоници на тока.

Усложнената конструкция и специализиран драйвер на изследваното ново техническо решение за LED осветител водят и до сравнително висока за българския пазар цена от 219 лева с ДДС за осветител за вътрешно осветление с обявена мощност от 100 W.

Направените в настоящия доклад изводи и препоръки могат да послужат за усъвършенстване и оптимизиране на светлотехническата и електротехническата част на LED осветителите, използващи това техническо решение за регулиране на цветната температура и димиране на светлинния поток.

REFERENCE

[1] BDS EN 61000-3-2:2014 - Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase).

[2] Handjieva-Florian, B., K. Velinov. Peculiarities at Color Measurement of LED Light Sources. VII Balkan conference on lighting “Balkan Light 2018”, Sofia, 04-06 June 2018, pp. 38-39. ISBN 978-954-353-347-3.

[3] www.en.wikipedia.org/wiki/Color_temperature

[4] Aleksandrov, N. Fundamental Colors Theory. Sofia, East-West, 2012, pp. 93-98. ISBN 978-954-619-152-110-4.

[5] Tsankov, P., S. Platikanov. Handbook for Laboratory Exercises on Lighting and Installation Equipment. Vasil Aprilov, Gabrovo, 2013, pp. 47-57. ISBN 978-954-683-506-2.

[6] Rainbow Light-Candela Distribution – User Guide.

PROSPECTS FOR RENEWABLE ENERGY IN UKRAINE

Professor Hovorov Pylyp Paramonovich, Dr.Sc.
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

Hovorov Vladlen Pylypovich, reseacher worker *O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv*

Kindinova Anastasiya Kostyantynivna, master *O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv*

Abstract

Considered the state and evaluated the prospects for renewable energy in Ukraine. Proposed new technical solutions to improve the energy efficiency of solar energy.

Keywords: renewable energy, energy efficiency, solar energy.

INTRODUCTION

"Energy is the queen of the world, and the entropy is its shadow. Everything on Earth arises and develops through energy, everything collapses and dies with increasing entropy. Energy is the source and measure of the motion of matter and the action of forces, entropy is a measure of their gradual extinction." [1]

Today, mankind has realized that it is time for all the non-renewable chemical (coal, oil, gas), and also nuclear energy sources to be exhausted and we will have to live in a state of dynamic equilibrium, content with continuously renewable sources of energy (RES): solar energy, wind energy, the energy of water movement in rivers, seas and oceans, the thermal energy of the Earth's interior, the energy of plants, etc. By this time, humanity has come very close to, and even entered into it, in parallel with the consumption of organic fuels, today successfully using RES.

EXPOSITION

Modern Ukraine is characterized by a shortage of fuel and energy resources due to a shortage of its own organic fuel resources forced to more than half buy them abroad (Poland, Russia, Turkmenistan, Uzbekistan) in the amount of 60 million tons. (1 kg = 7000 kcal / kg) for a total of $ 7 billion.

Table 1. *General characteristics of fuel resources produced in Ukraine per year*

Own resources	*Required*
Coal - 76,2 million tons (95%)	*~ 100 million tons*
Gas - 18 - 20 billion m^3 / year (3%)	*80 - 100 billion m^3 (10 times more)*
Oil - 4,4 million tons (2%) + condensate	*40 million tons (10 times more)*
Uranium ore (^{235}U) - for 150 years	*enough for 150 years*

The basis of electric power industry in Ukraine is:

1) 21 thermal power plants (TPP) with a total capacity of 29 240 MW

2) 5 nuclear power plants (NPP) with a total capacity of 12,818 MW

3) 4 hydroelectric power stations (HPP) with a total capacity of 3,309 MW

Total capacity of power plants 45 367 MW

Annually in Ukraine, (166 ÷ 200) billion kWh of electric power is generated, that is, about 4000 kW·h per 1 person in year. In the US, this figure is ~ 12 500 per 1 person per

year, that is 3 times more. This requires the emergence of new, including renewable, sources of energy.

The transition of Ukraine RES may be dictated by the following reasons:

a) population growth and increase in energy consumption per person. In Ukraine, this is 3700 kW·h/ person·year, in the USA 12 600 kW·h/ person·year;

b) increase in harmful emission (sulfuroxide, CO^2, nitrogen oxide, etc.) - a sharp deterioration in the environment, ozone holes and climate change (greenhouse effect);

c) depletion of fossil fuels.

The scientific forecast showed that the global crisis can be overcome if we switch to alternative energy while reducing energy consumption.

The potential of Ukraine in RES is:

1) Solar energy - 4,95 million tons (6,2%)

2) Wind power - 24,6 million tons (31,4%)

3) Bioenergy (biogas) - 21,2 million tons of fuel (27,1%)

4) Small hydropower - 2,24 million tons (2,9%)

5) Methane mine deposits, as well as artificial combustible synthetic gases - 13,2 million tons (16,7%)

6) Geothermal heat, oils, alcohols, solid municipal waste - 12 million tons (15,7%)

Total ~ 78,2 million tons (100%)

As can be seen from table 1, renewable energy sources in Ukraine exceed quantitatively non-renewable sources, but the main problem arises how to convert them into the required type of energy (electric, thermal and others). The calculations show that in Ukraine for all types the share of unconventional energy is 723 · 1012 kW hours per year! This speaks in favor of wider use of RES.

Almost all developed countries follow this path. According to IEC [2], the installed capacity of power plants using unconventional and renewable energy sources is 33 million kW, which is 1.04% of the total installed capacity of all power plants in the world (3,180 million kW). In the US, the share of such power plants is 2,32%, in Brazil - 3%, Denmark - 7,7%, Germany - 2,8%, Italy - 1,2%, Spain - 1%, Japan - 0,4% and The Philippines - 17% of the total installed capacity.

Energy conservation issues are also intensified. For example, former President of the United States Bill Clinton is proud that during his reign in the United States, the environmental and energy program "Million solar roofs" was proclaimed. According to the program, photovoltaic and thermal collectors were installed on the roofs of one million municipal and private houses to use solar energy (heating water and generating electricity). Similar programs were taken by Germany, Denmark, Sweden, Austria, the Netherlands, Japan and other countries. There was also a wide application of heat pumps. In general, up to 20% of the energy of the sun can be used for people's needs (hot water, heating, drying agricultural products, desalination, etc.).

Another example from the field of bioenergetics. When there was a delegation from Austria in Kharkov, it demonstrated success in bioenergy˜ obtaining biogas from Sudanese grass in methane tanks. In one of the farms in the country, Sudan grass is grown on 35 hectares, and the biomass is processed into methane from it. As a result, 500 000 m^3 of biogas is used in mini-electric power plants to produce 1 000 000 kW·h / year of electricity.

In Ukraine, a high yield yields Jerusalem artichoke, and in combination with agricultural waste in the amount of 350-400 million tons per year, in methane thanks can be obtained:

a) gas-115 billion m3

b) motor and food alcohols - 14 million tons

c) charcoal (coke) - 40 million tons

d) oil products - 10.5 million tons

At modern prices is $ 21.3 billion, that is, you can still earn money. In addition, the accompanying effect will be the improvement of the ecological situation in the region.

Frederic Joliot-Curie also said that "It is not so much atomic energy as mass synthesis (photosynthesis) of molecules analogous to chlorophyll that will make a genuine revolution in the world's energy industry". It is known that due to natural photosynthesis there is life on

Earth, there is a concentration of energy and entropy. This gives mankind 80 billion tons of organic substances per year, which is ten times greater than all the organic fuel produced during this time.

Prospects for the development and practical use of renewable energy are associated with two global problems: environmental and energy. These problems are complex, associated with a number of factors: scientific and technical, legal, organizational and economic. Determining the development of appropriate approaches and concepts.

The analysis shows that the fuel and energy balance has significantly changed on the planet: the specific weight of oil is 44%, natural gas 18%, coal 35%. According to experts, all of the organic fuel at the level of its use in 2005 will last for about 150 years. It is expected that up to 2050 90% of all known world oil and gas reserves will be spent. The approximate forecast is as follows: for oil reserves 30 years, gas 25 years, coal 700 years, transuranium 150 years. Environmental damage caused by the use of non-renewable organic energy carriers (coal, oil, fuel oil) and nuclear fuel, their rapid depletion require widespread introduction of generation of heat and electricity based on unconventional clean energy sources, primarily renewable ones.

Renewable energy sources (RES) are those reserves that will be replenished in a natural way, first of all, due to the flow of energy of solar radiation to the surface of the Earth. In the foreseeable future, they (solar energy itself and its derivatives: wind energy, plant biomass, flow waters, etc.) are practically inexhaustible. Therefore, the whole world energy industry is developing in the direction of their use. Countries such as Germany, the USA, Spain, Sweden, Denmark and Japan plan to increase the share of renewable energy in the general energy balance to 20-50% in the first half of the 21st century (see Table 2).

Table 2. The development of thermal and electrical energy from RES in the EU countries

Type of renewable energy sources	*Energy production*				*Total capital expenditures in 1997 - 2010, billion $*	*Reduction of CO^2 emissions up to 2010, mln t / year*
	1995 year		*2010 year*			
	mln. t. n. e.	*%*	*mln. t. n. e.*	*%*		
Wind power	*0,35*	*0,5*	*6,9*		*34,56*	*72*
Hydropower engineering	*26,4*	*35,5*	*30,55*	*16,8*	*17,16*	*48*
Photovoltaic power engineering	*0,002*	*0,003*	*0,26*	*0,1*	*10,8*	*3*
Biomass	*44,8*	*60,2*	*135*	*74,2*	*100,8*	*255*
Geothermal power engineering	*2,5*	*3,4*	*5,2*	*2,9*	*6*	*5*
Solar thermal collectors	*0,26*	*0,4*	*4*	*2,2*	*28,8*	*19*
Total	*74,3*	*100*	*182*	*100*	*198,12*	*40*

The European Community plans to double the part of the energy generated by renewable sources (wind, solar, biomass, hydropower, etc.) until 2010, from 6% to 12% in the total energy supply. Such figures are also a necessary condition for Ukraine to join the EU. The development of renewable energy in Germany is impressive, where only 30 000 people are employed in solar energy, and the annual turnover of funds is 2 billion euros. A similar situation exists in Denmark, Spain, Sweden, Finland, and Austria.

At present, despite the existing economic difficulties of the transition period, Ukraine has

ranked first among the CIS countries in terms of the level of development of RES. There are all grounds for optimistic forecasts of its further development (Table 3).

Table 3. *Contribution of various renewable energy sources to energy production in Ukraine* **(2001)**

Large hydropower engineering	*78,8%*	*Wind power*	*0,2%*
Bioenergetics	*17,79%*	*Geothermal power engineering*	*0,07%*
Small hydropower engineering	*3,1%*	*Solar thermal collectors*	*0,04%*
Total 100%			

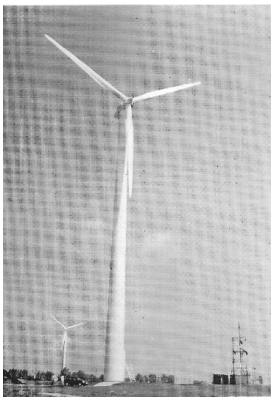


Fig. 1. *Belgian wind turbines T-600 at Novoazovskaya wind farm (Ukraine)*

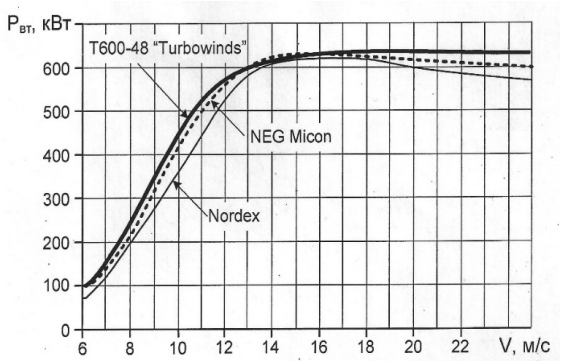


Fig. 2. *Power characteristics of various wind turbines*

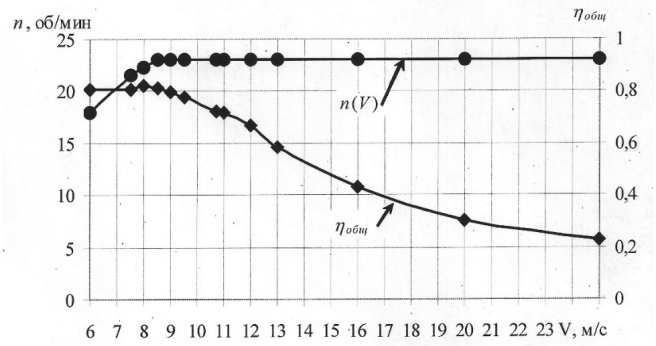


Fig. 3. *Dependence of rotation speed and efficiency wind turbines T600-48 "Turbowinds" from the wind speed*

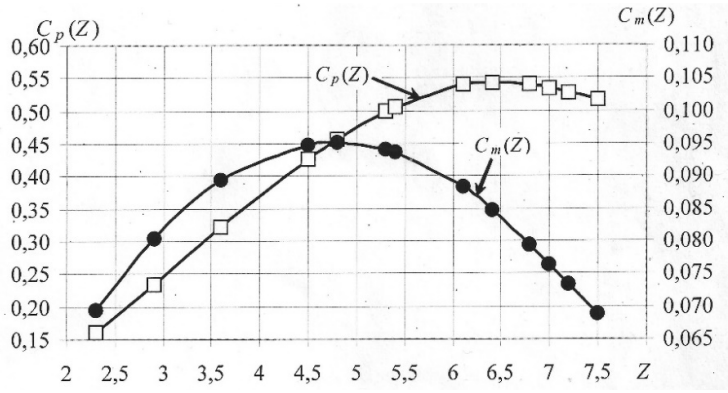


Fig. 4. *Dimensionless characteristics of the wind turbine T600-48*

CONCLUSION

Photovoltaic installations are finding increasing practical application as an electric power source for small and medium-sized consumers requiring autonomous power supply. In some cases, they are connected to electrical networks.

The efficiency of photoconverters made of polycrystalline, amorphous and monocrystalline silicon is already 20%. In Germany, a 5-megawatt FES is operated, which is included in a single state electricity generation system. In Fig. 7 and 8 show the structure of the solar panel and a typical current-voltage characteristic. Fig. 9 show Schematic diagram of an aerostatic photoelectronic (photovoltaic) installation.

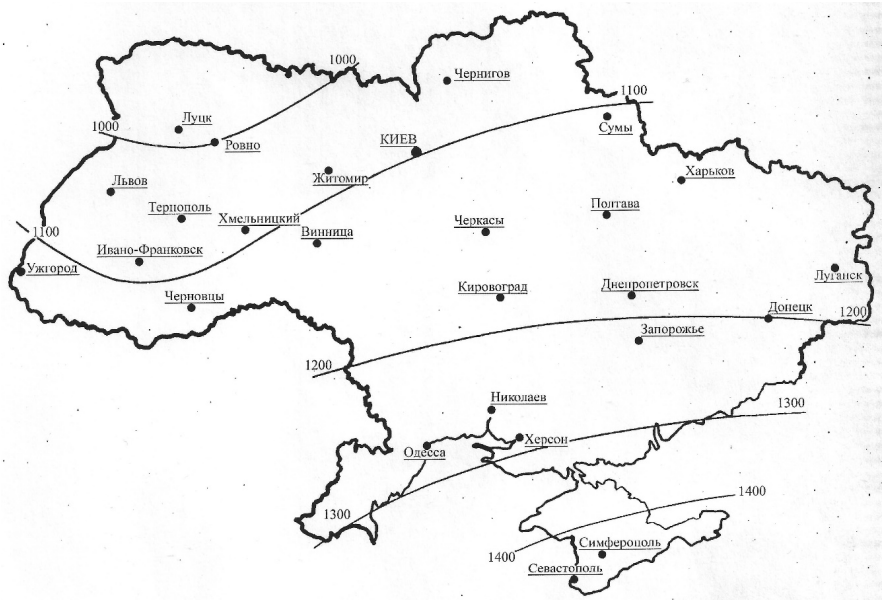


Fig. 5. *Total solar radiation (kW h / m2),*
coming to the terrestrial surface of the territory of Ukraine:
Chernihiv region - 1080; Sumy region - 1110; Volyn region - 980;
Kiev region - 1110; Khmelnitsky region - 1030; Poltava region - 1140;
Donetsk region - 1180; Transcarpathian region - 1160; Odessa region - 1280;
Kherson region - 1280; Crimea - 1450

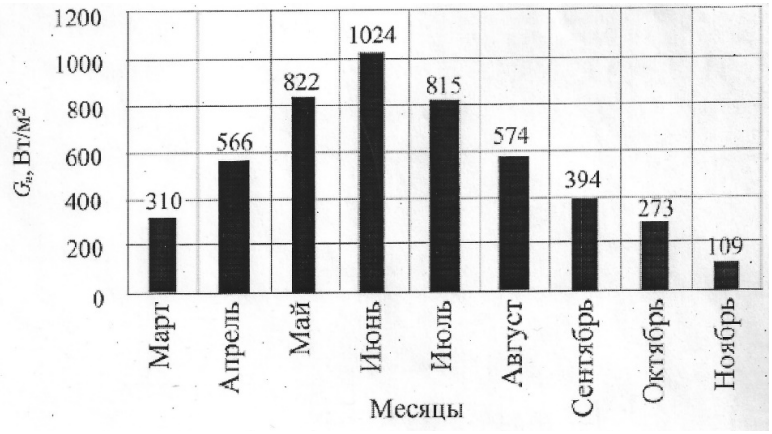


Fig. 6. *Diagram of solar radiation intake in the spring-autumn period (Crimea, Ukraine)*

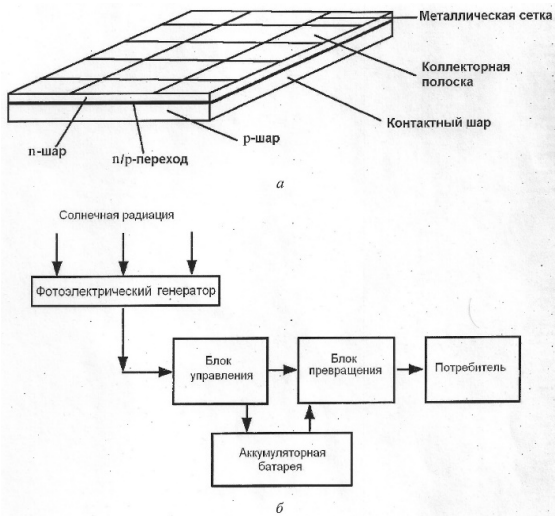


Fig. 7. *Diagram of a silicon photomodule (a) and a block diagram of control (b)*

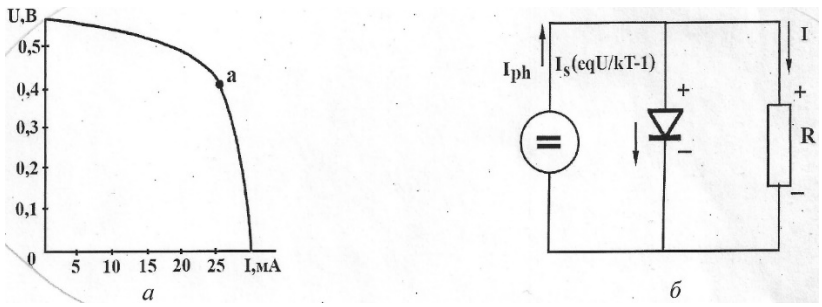


Fig. 8. *A typical I-V characteristic (a) and a calculated current-voltage characteristic (b) solar cell*

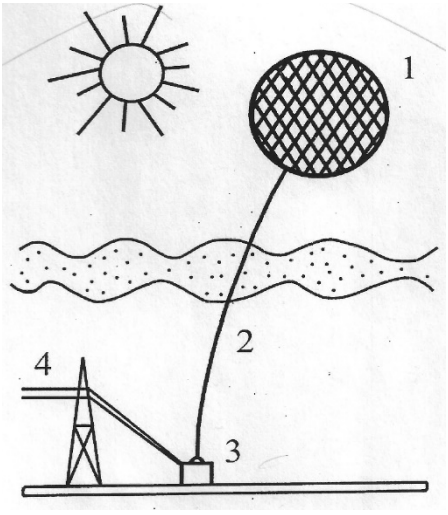


Fig. 9. *Schematic diagram of an aerostatic photoelectronic installation:*
1 - shell with a photoelectric layer; 2 - electric cable; 3 - transformer; 4 - power line

NOTES

[1] - Auerbach F. The Queen of the World and its shadow. Energy and entropy.

[2] - International Electrotechnical Commission.

REFERENCE

[1] Krivtsov V.S., Oleynikov A.M., Yakovlev A.I., Inexhaustible energy. Book 1. Wind power generators. Kharkov: KNAU, 2003. 400 p.
[2] Yakovlev A.I., Fedorenko G.M., From fuel cells in space to powerful sources of thermal and electrical energy on Earth. K., Energy News, №12, 2001. p. 57-63.

SOLAR ENERGY IN UKRAINE

Hovorov Pylyp Paramonovich
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

Hovorov Vladlen Pylypovich
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

Kindinova Anastasiya Kostyantynivna
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv.

Annotation

An assessment of the state of the solar energy of Ukraine and its prospects is given. The problems of solar energy are considered and solutions are given.

Keywords: solar energy, prospects of solar energy, problems of solar energy.

INTRODUCTION

The geography of Ukraine opens up a great potential for the development of market solar energy.

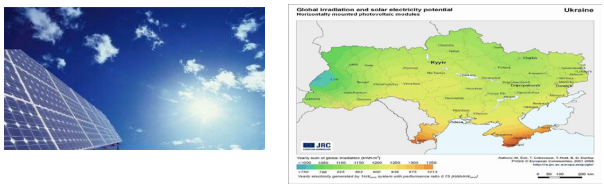


Fig. 1. *The possibilities of solar energy in Ukraine*

The possibility of using sunlight increases in the direction from the northwest (1070 kW / m^2) to the southeast (1440 kW / m^2) with the highest potential remains the Crimean peninsula. The period of effective use of solar collectors in the southern regions of Ukraine is 7 months (from April to October), in the northern regions - 5 months (from May to September). Although, in general, photovoltaic equipment can work effectively throughout the year, but with slightly worse characteristics. For example, solar collectors for heating water are already widely used in southern Ukraine, and during the year.

According to the National Agency for Energy Conservation and Energy (ANME) [1], the potential of solar energy in Ukraine is much higher than in Germany, and it is technically possible that the share of solar energy will reach 10% of Ukraine's energy balance by 2030, despite the fact that equipment for producing solar energy is still quite expensive. A strong tendency to reduce the cost of its production, which is observed in the modern world, is that demand has increased, and progress has played a significant role, which means cheaper structures and increasing their efficiency. According to the EBRD, Ukraine may become a leader in the near future including a green economy in Europe, especially with regard to market solar energy, which is one of the most promising renewable energy markets. Currently, Ukraine already operates the largest solar power station in Europe, and it is planned that the solar energy market in Ukraine will grow annually by 90% by 2020.

EXPOSITION

The rapid development of the renewable energy market in Ukraine in recent years contributes to the fact that a certain number of small and medium-sized players in the solar energy market began their activities in Ukraine. Taking into account the existence of many problems that must be overcome, the huge potential of solar photovoltaic projects with a capacity of 1-10 MW and actively contribute to the growth of the market, the introduction of equal conditions for all stakeholders,

transparency in the energy sector and the creation of a more stable investment climate.

At the end of 2016, the structure of Ukraine's generating capacity was as follows (in percent, indicated in brackets by the installed capacity at power plants): CHP and CHP - 57.5% (25472 MW) NPP - 29.6% (13107 MW) HPP and SRP (pumped storage power plants) - 12.4% (5500 MW). Solar ES - 0.3% (MW 130) windmills ES - 0.2% (86 MW).

However, the factory coefficient of Ukrainian thermal power plants is much lower than that of nuclear power. The actual electricity production in Ukraine in 2010 in the framework of the United Energy System. TPP TPP and 45.7% (87.01 TWh) nuclear power plants 44.6% (84.9 TWh) hydroelectric power station and PSP (power plants with pumping) 5.1% (9.6 TWh).

Fig. 2. *The structure of the installed capacities in Ukraine*

Table 2. The energy potential of Ukrain

Installed mo generality power plant ECO Ukraina, MW generation type			
Year	*2009*	*2010*	*Growth,%*
CHP generating company	*27257*	*27347*	*0,3*
NPP	*13835*	*13835*	*0*
TPP and other thermal power plants	*6368,3*	*6426,9*	*0,9*
HPP	*4552*	*4596,9*	*1*
GAES	*861,5*	*861,5*	*0*
Wind power plant (WPP)	*83,9*	*86,2*	*2,7*
Solar power (SES)	*0*	*8,1*	*100*

The market for renewable energy in Ukraine looks quite promising, especially with the adoption of a tariff tariff that stimulates the development of solar energy. This indicator is one of the highest in Europe. It was introduced in Ukraine in 2009 as an incentive for the use of alternative energy sources and should function until 2030. During this time, the state should power companies to connect alternative energy to the network. The rate is pegged to the euro in order to protect foreign investors from fluctuations in local currency. The green tariff is regulated monthly by the National Commission for Regulation of Ukraine (NERC). In October 2011, the tariff for the production of solar energy amounted to 0.465 Euro / kWh. Since the adoption of the law in May 2011, Ukraine has been granted only 45 such exceptions.

One of the government's priorities in the field of electric power is a market transformation to eliminate the wholesale market of interaction between producers and distributors, which made it possible to directly conclude transactions for the supply of electricity to consumers. However, the final result of the reform in the wholesale electricity market may be unattractive for companies willing to operate at "green tariffs", since only the wholesale market provides the state with the only mechanism for buying alternative energy based on tariff. To ensure the implementation of the project tariff, the law establishes that the obligation of the state to buy a green tariff for alternative energy will be distributed after the implementation of the reform in life. However, if the wholesale energy of the market is eradicated, it is unclear how the green rate will be implemented. In general, it was assumed that the "green" tariff will become the main instrument for implementing a targeted program to improve economic efficiency and renewable energy and energy development in 2010-2015.

Another problem is the so-called "local components". According to the law, from January 1, 2012, the share of raw materials, installations and equipment, works and services of Ukrainian origin in the cost of construction of a corresponding power plant operating from alternative energy sources must be at least 15%. On January 1, 2013, in order to receive a "green tariff" for electricity generated using sunlight, we must use Ukrainian raw materials stocks with the solar modules in at least 30% of the production cost of components And at least 50% starting January 1 2014 However, the exact procedure for determining the Ukrainian

component is still being developed by the National Electricity Regulatory Commission of Ukraine (NERC).

The new tax code, which was adopted in December 2010, aims to create favorable conditions for the boom of "green" energy. It implies exemption from income tax on profits from electricity generated from renewable sources until 2020. According to Article 158 of the Tax Code, 50% of the profits from energy-saving operations and the implementation of projects on energy-saving projects included in the State Agency for Energy Efficiency and Energy (NAER) will be exempt from income tax. However, this procedure did not come into force, as the list includes only two companies NAEP: OJSC Semiconductor Plant (a subsidiary of Activ Solar) and Kvazar JSC (Kiev). Producers will have to invest funds obtained as a result of such benefits, targeted programs, which are quite difficult to control. In addition, in July 2010, the Parliament adopted the Law "On Land for Power Plants and the Legal Regime for Special Zones of Energy Facilities", according to which the rent for renewable energy sources was reduced by 70%.

Since the import of equipment for the production of solar energy is the most expedient and less expensive for the construction of plants operating on solar energy, it still creates problems with the discovery of investors. In accordance with the new Tax Code, which was introduced in 2011, other benefits applicable to the development of renewable energy sources include duty-import and exemption from value added tax, provided that the relevant products are not produced in Ukraine. However, the importer's import must go through a process of approval at the Ministry of Economic Development and Trade, which, at the suggestion of the central executive authorities, must write a draft decision, which will be adopted by the Cabinet of Ministers of Ukraine on the introduction of appropriate amendments to the list of equipment that should be exempted from import duties and VAT, and the inclusion of this particular list of equipment and properly send the decision to the Cabinet of Ministers of Ukraine, which will take such a special decision ix.

Electricity network: relevant legislation regarding the electricity network: relevant legislation regarding the electricity network: the relevant legislation concerning the connection systems for the production of solar energy to the network is not in place. An issue that should be resolved at the closest

the future relates to the development of a general procedure for compensation. The costs incurred by the investor in the construction or modernization of those parts of the electrical network, which will be transferred to network operators. The period of 20-25 years, during which it is proposed to reimburse the costs of installation, is not justified. NERC should develop and adopt a unified procedure for connecting solar power plants to the grid and allow costs to be incurred for the approval of investment programs of local operators. In addition, the lack of practical experience in technical documentation for the preparation of systems for connecting PV to the network (photovoltaics) is also an obstacle.

Poor project design: having a well-prepared, low-income project: having a well-trained, low-income project: having well-prepared projects is a priority condition that precedes market development; But another problem in Ukraine with respect to renewable energy sources is the lack of a "western" approach to project preparation. According to the experience of the EBRD, about 30% of local project developers are unprepared projects or cannot provide adequate funding. In addition, there is a lack of knowledge about such parameters as cash flow, net present value, payback period and overall project management. Many applications are based on unreasonable, non-commercial technologies.

Infrastructure: we are talking about investment and the development of a new sector. Speaking of investment and development of the new sector, it is worth mentioning the financial infrastructure that is used to facilitate this process. Until now, Ukrainian banks have been reluctant to support projects on the basis of financing schemes for projects that they usually use to work with the corporate sector by offering simple loans

against collateral. Consequently, the specific time it takes for banks and project managers to reach agreements in this market. Currently, the Bank is helping to finance such projects, although at least 30% of the project cost. It must be funded from other sources, which is also a particular problem for local developers.

Another problem that may be investors is the lack of public awareness and interest in the prospects for the use of renewable energy sources. proof of this is the fact that 90% of solar modules produced in Ukraine are exported to European countries, but again the reason for this. This is mainly due to the significant absence (until recently) of the solar energy market.

In addition, investors do not believe that the Ukrainian government or the National Electricity Regulatory Commission (NERC), which is the regulator of the local market, clearly understand how the green tariff will function as a system in bilateral agreements and on the balancing market that Ukraine promised before the end of 2014.

Despite laws that provide financial incentives and company holidays, Ukraine sees high potential, a developing market with extremely high investment attractiveness from the point of view of a "green" tariff for solar energy, which forces investors to take risks and find solutions to the difficulties mentioned. Although this segment of alternative energy was stored at the initial stage of development in Ukraine, the country saw a favorable situation for the expansion of the solar energy sector. Without a doubt, the Ukrainian market of solar energy is slowly but surely growing, and very soon there will be positive growth trends.

Active Solar, an international group of companies, having successfully completed the commissioning of a pilot project with a capacity of 7.5 megawatts in the village of Rodnikovoye (Crimea, Simferopol District), Activ Solar announced the completion of the construction of a photoelectric (PV) power plant at 80 Okhotnikov megawatt (MW) (Crimea, Ukraine).

The station is one of the largest on the European continent. This is the largest ground installation ever built in Central and Eastern Europe and the fourth largest in the world among 50 large photovoltaic power plants! The project is divided into four a queue of 20 MW, the first of which was connected to the network in July 2011, and the last, fourth, completed in October 2011. The solar-powered station consists of approximately 360,000 units installed on an area of 160 acres, which is approximately 207 football fields. The station, according to preliminary estimates, will produce 100,000 megawatt-hours of electricity per year to meet the demand for green energy in 20,000 households and to reduce carbon dioxide emissions by 80,000 tons per year.

In November 2011, Activ Solar announced the completion of the third stage of the Perovo solar power station. The third phase, built just a few weeks after the launch of the second, adds an additional 20 megawatts (MW) to the project, with a total capacity of 60 MW today. The 1, 2, and 378,500 megawatt-hours of electricity per year, enough to meet the electricity needs of about 16,500 households, and reduce carbon dioxide emissions by 63,000 tons per year. The ground-based solar installation of all three queues consists of more than 264,000 mono-and multi-crystalline photovoltaic modules 80 and inverter central stations. Construction Perovo continues.

The successful completion and commissioning of the first stage of the solar power station in the southern part of Vinnytsia region in September 2011, Rentehno reported. The rated peak power of the installed equipment is estimated at 250 kW; The PV panels used in the project were manufactured by a company that is among the top five manufacturers in the world. In Europe, inverters were manufactured for solar power plants at the nodes of the merger and cables. The Rentehno company itself developed a technical solution for the station, implemented a selection and organized the supply of equipment. All technical inspection of the installation and commissioning works on the project was carried out by Renestno LLC. The equipment was supplied in cooperation with the Israeli company Sunelectra. Stations of introduction of solar energy in the southern part of Vinnytsia region are divided into several stages. The power of 250 kW of the first phase was implemented and put into operation in

September 2011.

In October, the second stage was installed 321.5 kW; The last part should be put into operation during 2012. Three more PV plants will be built in Vinnytsia region by Rentehno. Current status - development of project documentation. The total capacity of the first 2 projects is 2.6 MW. The construction of the third PV plant will begin in the near future. The expected result is 2 MW.

The company also announced plans to implement a project for the construction of a power station on a solar power capacity of 9 MW in Kherson Square. Current status - project development. The company will be responsible for the design, procurement and construction. Preparation of technical documentation for the project was started in September 2011. The project is divided into several stages, as a result of the commissioning of the first one, 1 MW will be received, and this event is scheduled for the end of March 2012. The plant will be commissioned until the end of 2012.

Another PV project of Rentehno is the installation of 15 MW solar photovoltaic power plants in the Odessa region. The current status is a preliminary feasibility study. The company is responsible for the preparation of project documentation, participation in installation and commissioning. The installation of PV installations will be completed during 2012. The company intends to produce about 11 MW at facilities in Skadovsk and Genichesky district as a design, procurement and construction contractor. Rentehno plans to build several of its own solar power plants, which will be built together with Ukrainian and international investors by the end of 2012. Currently, the company is developing a portfolio of orders for the Crimean land, Kherson, Nikolaev and Vinnytsia regions.

The organization of production of solar modules in Ukraine with an annual capacity of 25 MW is currently in a preliminary feasibility study. These facilities will be created to meet the growing demand for solar modules in Ukraine, taking into account the entry into force on January 1, 2013 of the requirements for a 30 percent share of materials and components of local origin in solar modules.

As evidenced by the results of the inspection, in recent years, Ukraine has been quite intensively increasing the volumes of electrical energy generated at the base (PES) (Fig. 3). Most of the PES is connected to the distribution network. This is due, on the one hand, technical features, and on the other, financial factors. Connecting photovoltaic power plants to distribution networks leads to the fact that these networks acquire the properties of an electrical system with all the advantages and disadvantages. In this case, the distribution electrical networks with sources of distributed generation acquire the properties of local electrical systems (LES).

It should be noted that the development of PES, is uneven within Ukraine. This is due to two reasons - the uneven distribution of the intensity of solar radiation in Ukraine and the uneven distribution of investments in solar energy. So, according to the National Commission implementing state regulation in the fields of energy and utilities (NCREU or NKREKU), at the beginning of 2017 almost a quarter of the power of FES is connected to the networks of Vinnitsaoblenergo (Fig. 3.)

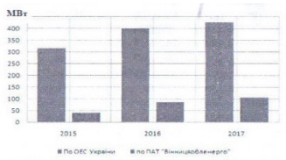


Fig 3. *Increase in installed capacity of PES in recent years (MW): in the United Energy System of Ukraine and PJSC "Vinnitsaoblenergo".*

In 2018, the most powerful solar power station in Europe with a total capacity of 50 MW was commissioned near Zaporozhye. In general, in Ukraine as of May 2018, more than 100 PES of various capacities and accessories were connected to distribution electric networks.

Under these conditions, it is obvious that the distribution of PES across regional networks is also uneven. This leads to the appearance of LES with significant power PES. The percentage of load covered by PES reaches 20% in some areas. Taking into account the peculiarities of such energy sources, the question arises of taking into account their impact on the reliability of electricity supply, in particular the balance sheet, and ensuring the efficiency of power transmission and quality.

The optimal level of reliability of LES corresponds to the minimum value of the reduced cost of reservation BΣ fig. 4.

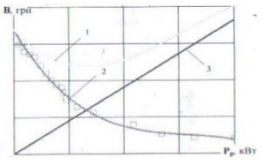


Fig. 4. *Graphical representation of the interrelation of named and relative (probabilistic) indicators of balance reliability in LES 1 - total reserve losses, 2 - dependence of energy supply company for under-utilized electricity, 3 - expenses for maintaining tank capacity.*

The defined reserve capacity corresponds to the minimum reduced cost of the power supply company to ensure the reserve capacity. In fig. 5 shows a fragment of the scheme of Yampolsky RES with PES. In fig. 6 shows how to improve the quality of energy in networks with PES. In fig. 7 shows various ways to improve the balance reliability of PES.

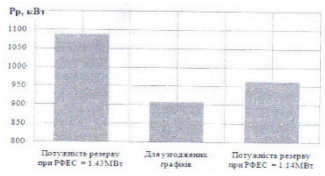


Fig. 5. *Power scheme PES Yampolsky SEM*

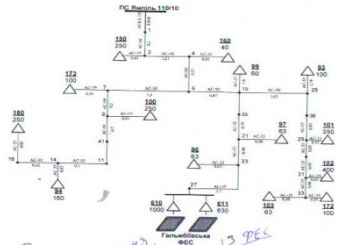


Fig. 6. *Different ways to improve the quality of power LES*

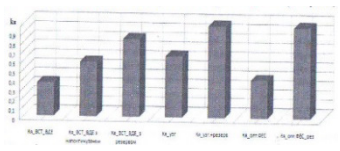


Fig. 7. *Change of reserve capacity for various means of increasing the balance sheet reliability of LES*

A feature of LES based on PES is a high level of distortion in networks.

In fig. 8 shows the results of harmonic components in the voltage on the EU tires, which use controllers operating according to different control laws.

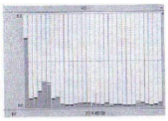


Fig. 8. *Spectrum of harmonic components in voltage on PES tires*

A less harmonic distortion of the sine wave voltage occurs when using a PI controller, realizes the conversion to the abc coordinate system will give the most harmonic distortion at the output of the inverter.

The block diagram of the integration in the ASC with the generation of PES power is shown in fig. 9.

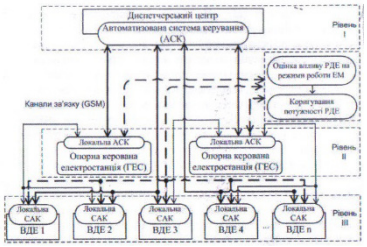


Fig. 9. - *Block diagram of the ASC generated by the power of PES*

Thus, the intensive introduction of photovoltaic stations (PES) into the electric power system of Ukraine indicates the unsuitability of distribution electric networks in photovoltaic stations, with unstable generation and the lack of a sufficient level of network automation.

Placing PES close to consumers should potentially lead to unloading of electrical networks, improving the quality and reliability of electricity supply. However, the instability of the PES generation, which is due to the natural features of their installation site, the overestimated power of the connected source leads to a decrease in the efficiency of the electrical network and a decrease in the quality of power supply services for the end user. This is especially true for PES, whose share in the balance of the United Electric System of Ukraine is large.

Thus, the presence of energy sources in distribution electrical networks allows characterizing them as a local electrical system (LES), the reliable and economical operation of which not only determines the level of electricity supply services, but also the stable operation of the electric power system (EPS). At the same time, it is important to coordinate load schedules and generation of LES in such a way that by balancing the power in LES to minimize their impact on the main centers of power EPS. Especially when, at the points of connection of LES to the EPS, it is necessary to maintain the specified schedule of consumption (generation) of electricity. Under such conditions, minimization of deviations from the centralized given schedule of the cumulative generation of PES can ensure the stability of the LES, both in the minimum load mode and in the maximum load mode.

CONCLUSIONS

Since the share of photovoltaic power plants in Ukraine is significant, and generating them is unstable due to dependence on weather conditions, it is relevant to take into account their influence on the modes of local electrical systems. Under such conditions, it is necessary to ensure the optimal use of PES in electrical networks so that the interests of companies in the generation and distribution of electricity are simultaneously agreed and the quality of electricity supply to consumers is ensured. In addition, analysis of the operating conditions of electrical networks with renewable energy sources, noted the impact of instability of generating renewable energy sources on electricity losses in electrical networks, and the quality of electricity in them, as well as the reliability of electricity supply to consumers.

This makes it technically necessary and economically feasible to represent PES as an element of an EPS and to take into account all their internal and external relations, that is, to provide them with system properties.

NOTES:

[1] - National Agency for Energy Conservation and Energy (ANME).

REFERENCES:

[1] Energy resources that flow. Kiev: Ukrainian encyclopedic knowledge 2003. 472 p.
[2] The basis of the parametric energy dependence of the national economy for the period up to 2020. K .: Viewing. In-electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2011. 275 p.
[3] Lezhnyuk P.D. Optimization of Price Application for Electric Station in Conditions of Energy Market, P.D. Lezhnyuk, V.V. Kulyk, V.V. Teptya Nauka i Studia, Przemysl, 2014. 57-65 p.

ПАРАМЕТРИ НА ТОКОВИ ХАРМОНИЧНИ В ИНДУСТРИАЛНА ФИРМА

Красимир Маринов Иванов[1], Георги Цонев Велев[1], Панайот Янков Иванов[1], Евтим Руйчов Кърцелин[2], Николай Стоянов Минеков[2]
[1]Технически университет – Габрово
[2]Минно-геоложки университет„Св. Иван Рилски“, София

PARAMETERS OF CURRENT HARMONIC COMPONENTS IN THE INDUSTRIAL COMPANY

Krasimir Marinov Ivanov[1], Georgi Tsonev Velev[1], Panayot Ivanov Yankov[1], Evtim Ruichov Kartselin[2], Nikolay Stoyanov Minekov[2]
[1] Technical University of Gabrovo, Bulgaria
[2] University of Mining and Geology “St. Ivan Rislki”, Sofia

Abstract
The paper describes the problems that non-linear loads cause in the electrical power systems. In that relation, there are specified the respective electromagnetic compatibility parameters associated with harmonic currents flowing into the grid. Results are provided in regard with performed measurement of harmonic currents and the calculated values of the total harmonic distortion coefficients of current on the bus-bars of power transformers and power boards, supplying various loads. Proper recommendations are made to replace the power-supplying cables with new ones, having one and the same cross-section for the phase and the neutral conductors, on the basis of the measurements carried out.

Keywords: electromagnetic compatibility, harmonic distortion, current curve, electric motors, frequency inverters.

ВЪВЕДЕНИЕ

В индустрията и в бита непрекъснато нараства броят на консуматорите с нелинейна волт-амперна характеристика – вентилни преобразуватели, статични източници на реактивна мощност, електродъгови пещи, газоразрядни светлинни източници, зарядни устройства за батерии, електронни баласти и светодиодни светлинни източници и други. В групата на вентилните преобразуватели се включват – токоизправителите, инверторите, преобразувателите на честота, честотните регулатори на асинхронните двигатели и регулаторите на напрежение. Всички тези потребители консумират несинусоидален ток и в резултат на това се получават изкривявания в синусоидите на напрежението и тока.

Целта на доклада е да се представят проблемите свързани с нелинейните товари в електрическите уредби ниско напрежение и да се направи анализ на осъществени измервания в индустриална фирма на токови фазни хармонични и тези в нулевия проводник.

ПРОБЛЕМИ, СВЪРЗАНИ С НЕЛИНЕЙНИТЕ ТОВАРИ

Хармониците на тока причиняват спадове на напрежение в съпротивленията на електрическите вериги, които се наслагват върху синусоидата на захранващото напрежение и деформират синусоидалната му форма. Това води до влошаване качеството на електрическата енергия подавана към потребителите, което може да доведе до проблеми при експлоатацията им [1, 2].

В трифазна, четирипроводна система, нулевите проводници могат да бъдат засегнати силно от нелинейните товари, свързани към еднофазни вериги с напрежение 230 V. При нормални условия и симетричен линеен товар основната 50 Hz хармонична от фазовите токове се нулира в нулевия

проводник. В четирипроводна мрежа с еднофазни нелинейни товари, нечетните хармоници, кратни на третия хармоник: трети, девети, петнадесети и т.н. - не се нулират, а се сумират в нулевия проводник. При системи с много еднофазни нелинейни товари токът в нулевия проводник всъщност може да надвиши фазовия ток. Резултатът е прекомерно прегряване. В нулевия проводник няма прекъсвачи за ограничаване на тока. По-големият ток в нулевия проводник също така може да причини допълнителен спад на напрежение.

Нулевите шини и проводници са оразмерени така, че да провеждат пълната стойност на номиналния фазов ток. Те могат да бъдат претоварени, вследствие на протичащата през нулевите проводници допълнителна сума от токови хармонични, кратни на три [3]. В уредбите ниско напрежение, предназначени да провеждат 50 Hz токове, могат да се появят резонанси вследствие на генерираните висши хармонични. Когато това се случи, в тези уредби се явяват вибриции със съответните хармонични честоти. Широко разпространените термомагнитни прекъсвачи използват биметален изключващ механизъм, който реагира на топлинния ефект на тока в електрическата верига. Те са проектирани така, че да реагират на действителната ефективна стойност на несинусоидалния ток и се задействат, когато механизмът за изключване стане твърде горещ. Този тип прекъсвач има добри шансове да предпази оборудването от претоварване, причинено от хармонични токове. Електронният прекъсвач реагира на върховите стойности на формата на вълната на тока. В резултат на това, той не винаги изключва правилно при наличието на хармонични токове. Обикновено върховата стойност на хармоничния ток е по-висока от номиналния и този тип прекъсвач може да изключи преждевременно при по-малък ток. Ако обаче върховата стойност е по-ниска от номиналния, прекъсвачът може да не успее да изключи, когато трябва. Налице е нарастващо използване на задвижвания с променлива честота (честотни инвертори), които захранват електрически асинхронни двигатели. Напреженията и токовете от честотните инвертори, които захранват даден електрически двигател, са богати на хармонични съставящи [4]. Хистерезисът и загубите от вихрови токове са част от загубите, които се произвеждат в магнитопровода поради променливото магнитно поле. Хистерезисните загуби са пропорционални на честотата, а загубите от вихрови токове се изменят с квадрата на честотата. Поради това висшите хармонични в напрежението създават допълнителни загуби в магнитопровода на електрическите двигатели, които на свой ред водят до увеличаване на работната температура на магнитопровода и намотките в него. Прилагането на несинусоидално напрежение към електрическите двигатели води до протичане на хармоничен ток в намотките им [5, 6]. Прилагането на несинусоидално възбуждащо напрежение към трансформаторите увеличава загубите в магнитопровода. По-сериозният ефект от хармоничните токове, които протичат през трансформаторите, се дължи на увеличаването на загубите от вихрови токове. Това са циркулиращи токове в проводниците, индуцирани от действието на преминаващото остатъчно магнитно поле през проводниците. Концентрациите на вихрови токове са по-високи в краищата на намотките на трансформатора, поради ефекта на натрупване на остатъчните магнитни полета в краищата на бобината. Проблемът е, че загубите от вихрови токове се увеличават с квадрата на тока в проводника и квадрата на неговата честота. Увеличаването на загубите в трансформатора от вихрови токове, дължащо се на хармоници, има значителен ефект върху работната му температура. Трансформаторите, които се нужни за захранване на нелинейни товари, трябва да бъдат преоразмерени въз основа на процентите на хармоничните компоненти в тока на товара и загубите от вихрови токове в намотките. Протичането на синусоидален ток с честота 50 Hz в даден кабел води до активни загуби, а висшите хармонични в тока водят до допълнителни загуби в проводника. Също така, активното съпротивление на кабела се увеличава с честотата, дължаща се на повърхностния ефект, поради протичането на променлив ток по външната периферия на проводника. Колкото по-висока е честотата на тока, толкова по-голяма е

тази тенденция. Ето защо е важно сумата на основната и висшите хармонични на тока, които могат да протичат в проводника, да се използват за оразмеряване на кабела.

ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ

Известно е, че теорията на електромагнитната съвместимост (EMC) се занимава с генерирането, разпространението и приемането на електромагнитна енергия и появата на съпътстващи ефекти при тези процеси. Целта на EMC е правилната работа в същата електромагнитна среда на различно по вид оборудване и избягването на всякакъв интерферентен ефект.

В практиката често се използва спектралната форма на представяне на несинусоидалните сигнали. В този случай се използват амплитудно-честотните спектри на кривите на напрежението и тока. Хармоничният състав на кривата на тока се нормира за хармоници от 2-ри до 40-ти включително според коефициента на ν-ти хармоник:

$$K_{I(\nu)} = \frac{I_\nu}{I_1}.100\% \qquad (1)$$

и според коефициента на изкривяване на синусоидалната форма на кривата на тока:

$$K_I = \frac{\sqrt{\sum_{2}^{40} I_\nu^2}}{I_1}.100\% \qquad (2)$$

Таблица 1 *Стойности на емисиите ток за симетрично трифазно оборудване*

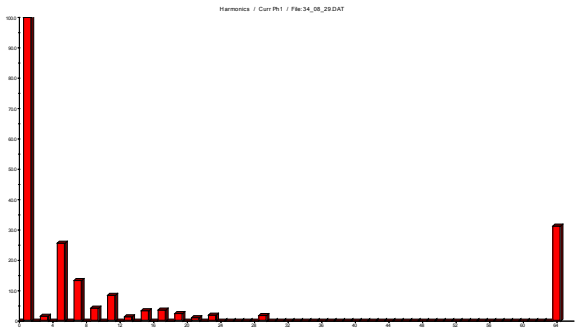
Мин. ст-т на R_{sce}	Допустима ст-т на коеф. на харм. изкривявания по ток		Допустима ст-т на n-тия хармоник в проценти от основния I_n/I_1, %			
	THD	PWHD	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}
66	16	25	14	11	10	8
120	18	29	16	12	11	8
175	25	33	20	14	12	8
250	35	39	30	18	13	8
350	48	46	40	25	15	10
450	58	51	50	35	20	15
600	70	57	60	40	25	18

Стандартът IEC 61000-3-4 [7] определя граничните стойности за хармонични съставящи на тока в нисковолтови електроразпределителни системи за оборудване с номинален ток, по-голям от 16 A на фаза. Коефициентът *Rsce=Ssc/Sn* представлява отношение на мощността на късо съединение към номиналната мощност. В IEC 61000-3-4 е въведено и понятието частично измерено хармонично изкривяване (*PWHD*):

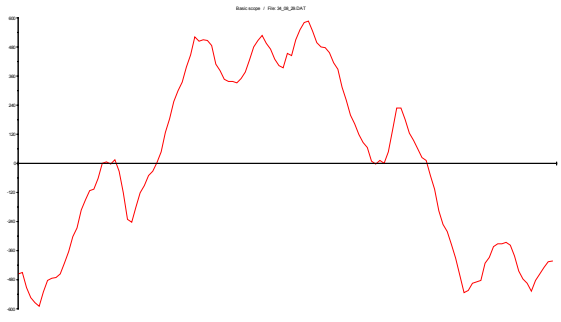
$$PWHD = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n\left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2} \qquad (3)$$

РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗМЕРВАНИЯТА

Честотните управления на двигатели водят до увеличаване на хармоничните изкривявания в електрическите мрежи [4, 5, 6]. Тези изкривявания са индивидуални. Те зависят от режима на работа и неговите параметри. За измерването на електротехническите величини е използван мрежов анализатор HT Italia GSC53N.



Фиг. 1. *Графика на хармоничните съставящи от 1 до 50*

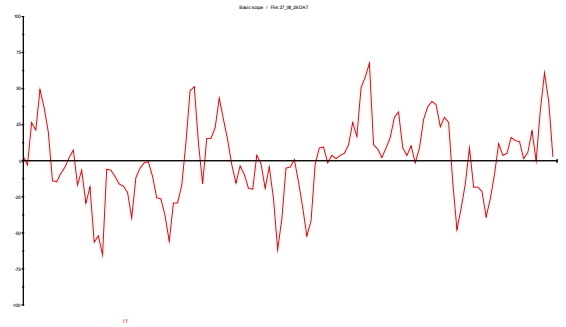


Фиг. 2. *Графика на изменение на фазовия ток*

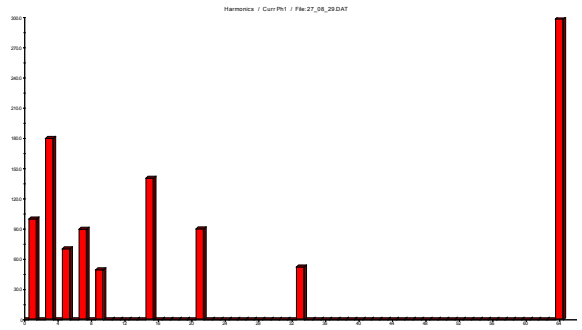
Мерене е извършено на страна 400 V на изходните шини на силови трансформатори с мощност 1600 kVA, захранващи честотни управления на двигатели с различна

мощност. Измерени са трите фазови тока. Коефициентът на хармонично изкривяване по ток е $thd_{(I)}$=31.3 при включени филтри. На фиг.1 са дадени коефициентите на отделните хармонични спрямо основната хармонична в %.

Основната хармонична е обозначена като 100%, останалите хармонични са изчислени в относителни единици спрямо нея. В този случай преобладават 5 и 7 хармонични на тока. Графиките на останалите фазови токове са аналогични. На фиг. 2 е представено изменението на фазовия ток в момента на снемане на резултатите. Лимитираните нива на индивидуалните хармонични изкривявания по ток и коефициентът на хармонично изкривяване по ток не са надвишени. Филтрите са добре настроени. На фиг. 3 е представен измереният ток в нулевия проводник.



Фиг. 3. *Графика на изменение на тока в неутралния проводник*



Фиг. 4. *Графика на хармоничните съставящи на тока през нулевия проводник*

Коефициентът на хармонично изкривяване по ток е $thd_{(I)}$=298,6. Стойността на тока през нулевия проводник е в равна на 26,37 А. Токът на трета и петнадесета хармонична се сумират и надвишават този на основната. Това води до повишени загуби в неутралния проводник и трансформатора.

Претоварването на трансформаторите се отчита посредством т.нар. *К*-фактор. Има различни дефиниции за *К*-фактор, като определенията, използвани в Европа и тези в САЩ, са принципно различни.

В европейските стандарти БДС EN 50464-3 и БДС EN 50541-2, съответно за маслени и за сухи трифазни трансформатори, се дава следната формула:

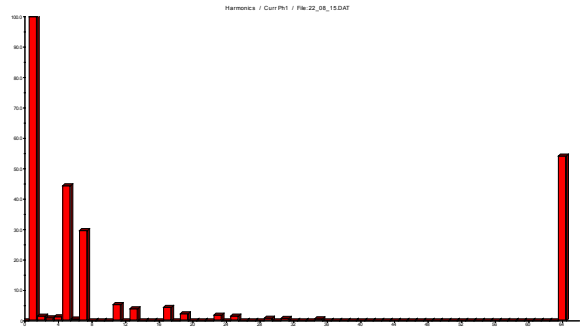
$$K = \sqrt{1 + \frac{e}{1' + e}\left(\frac{I_1}{I}\right)^2 \sum_{n=2}^{n=N}\left[n^q \left(\frac{I_1}{I}\right)^2\right]}, \qquad (4)$$

където: $\boldsymbol{e}$ - отношението между загубите в намотките при синусоидален ток с честота 50 Hz и загубите при постоянен ток със същата ефективна стойност; $\boldsymbol{I_1}$ е ефективната стойност на тока на първи хармоник, а $\boldsymbol{I_n}$ – тези на висшите хармоници; $\boldsymbol{n}$ е номер на хармоника; $\boldsymbol{q}$ е константа, зависеща от конструкцията на намотките.

Изчислената стойност за хармоничните на този трансформатор се получава равна на *К=1,11*. Максималната продължителна мощност, до която може да се натоварва един трансформатор, подложен на несинусоидални токове, се намалява, като номиналната му мощност се раздели на *К*-фактора. Реалната използваема мощност на този трансформатор е 0,9 S_N. Де факто се получава преоразмеряване, тъй като за дадена работна мощност трябва да се избере трансформатор с по-голяма номинална такава. Изхождайки от стойността на получения *К*-фактор може да се подобри още дейността на филтрите.

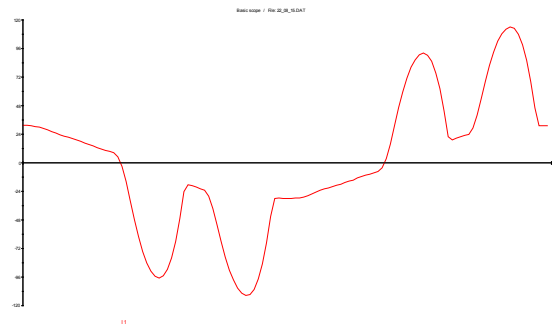
Мерене във втория случай е извършено на страна 400 V на изходните шини на захранващото табло, присъединено към същия трансформатор с мощност 1600 kVA, захранващ честотно управление на двигател с мощност 60 kW. Коефициентът на хармонично изкривяване по ток е $thd_{(I)}$=54.17. На фиг. 5 са дадени коефициентите на отделните хармонични спрямо основната хармонична в %. Подходът на построяване на графиката е аналогичен на фиг. 1. Графиките на останалите фазови то-

кове са аналогични. И в този случай преобладават 5 и 7 хармонични на тока. Лимитираните нива на индивидуалните хармонични изкривявания по ток и коефициентът на хармонично изкривяване по ток не са надвишени. Филтрите са включени и настроени подобаващо и коефициентът на хармонично изкривяване по ток намалява [8]. На фиг.6 е представено изменението на фазовия ток в момента на снемане на резултатите.



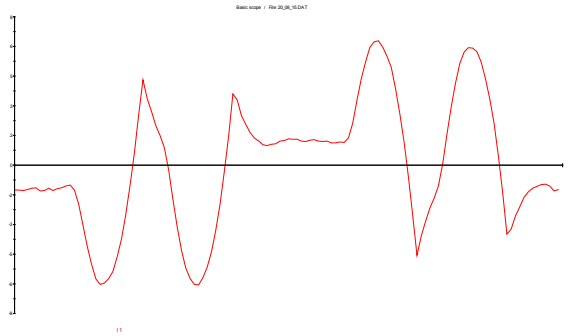
Фиг. 5. *Графика на хармоничните съставящи от 1 до 50*

На фиг. 7 е представен токът в нулевия проводник. Коефициентът на хармонично изкривяване по ток $thd_{(I)}$=148,16. Стойността на тока през нулевия проводник е в равна на 3,42 А.

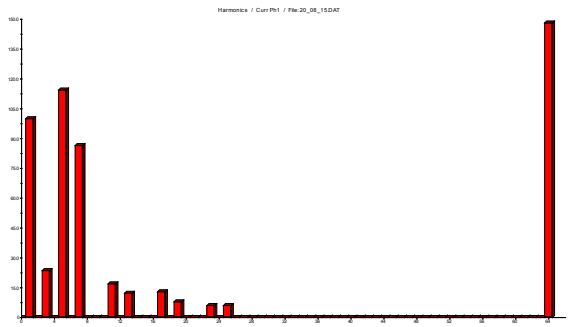


Фиг. 6. *Графика на изменение на фазовия ток*

Амплитудният състав на хармоничните в тока на неутралния проводник е представен на фиг. 8. Токовете на трета и петнадесета хармонична във фазовите токове се сумират в неутралата и този на третата хармонична надвишава тока на основния хармоник. Това води до повишени загуби в неутралния проводник и трансформатора.



Фиг. 7. *Графика на изменение на тока в неутралния проводник*



Фиг. 8. *Графика на хармоничния състав на тока през неутралния проводник*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В индустрията нараства броят на консуматорите с нелинейна волт-амперна характеристика. Проведените измервания в индустриална фирма на токовите хармоници във фазовите и нулевите проводници показват, че индивидуалните хармонични изкривявания и коефициентът на хармонично изкривяване по ток надвишават допустимите норми в нулевия проводник въпреки действащите филтри, което води до допълнителни загуби в тези проводници и захранващите трансформатори. Повишаването на нивото на висшите токови хармонични преминаващи през силовите трансформатори води до увеличаване на фактора К, тоест до намаляване на реалната му използваема мощност. Практиката на избор на по-малки сечения за нулевите проводници и шини е неудачна, т.к. повишените нива на висши хармоници на тока водят до повишено нагряване и загуби.

REFERENCE

[1] Finding the problems, related to harmonics, Energy, Year X, Vol. 5, 2018.

[2] G. Mueller, E. Bunzel: Harmonic losses in low-voltage asynchronous machines, Part II: Analytical investigations. Publication in "Die Antriebsteknik", year 2000, issue 9
[3] Jelenko, I. V., Electrical compatibility of power consumers: monograph – M.: Mechanical Engineering, 2012, p.351.
[4] Power System Harmonics, Causes and Effects of Variable Frequency Drives, Relative to the IEEE 519-1992 Standard, Bulletin No. 8803PD9402, August, 1994, Raleigh, NC, U.S.A.
[5] Lucian Asiminoaei, Stefan Hansen , Frede Blaabjerg, Harmonic calculation software for industrial applications with adjustable speed drives, EPE 2005 – Dresden, p1-7.
[6] Stefan Chobanov, Milen Drenkov, Mento Menteshev, Experimental study and analyzes of higher harmonics in mine electrical power networks with frequency driven electrical motors, Annals of the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Vol. 56, Book III, Mechanization, Electrification and Automation of Mines, 2013, pp. 113 – 119.
[7] IEC 61000-3-4: 1998. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-4: Limits - Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A.
[8] Karve, S. Active Electrical Power Network Filters 3.3.3, Guide to Power Quality, Deutsches Kupferinstitut, May 2002;

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ДИАГНОСТИКА НА АСИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ С ИЗПОЛЗВАНЕТО НА ПРОФИЛНА МАТРИЦА НА СТАТОРНИЯ ТОК

Юлиян Йорданов[1], Валентин Гюров[2]
[12]Технически университет-Варна, кат. „Електроснабяване и електрообзавеждане”

POSSIBILITIES FOR DIAGNOSIS OF ASYNCHRONOUS MOTORS WITH THE USE OF PROFILE MATRIX OF STATOR CURRENT

Yulian Yordanov[1], Valentin Gyurov[2]
[12]Technical University of Varna, Department of Electric Power Supply and Electrical Equipment

Abstract

The study presents an idea for application of new approach in diagnosis of asynchronous motors with the use of profile matrix of stator current. The profile matrix includes 7 specific frequencies from fault frequency signatures analysis and can be used for indication of deviation from normal regime condition of motor. The approach will give new opportunity for predictive maintenance of electrical equipment with asynchronous motors.

Keywords: diagnosis of asynchronous motor, fault signature analysis of stator current, maintenance of asynchronous motors

ВЪВЕДЕНИЕ

Диагностиката на асинхронни електродвигатели с накъсо съединен ротор чрез спектрален анализ на статорния ток и мощността е познат и широкоприложим подход. Изследванията и стандартите приложими в тази област описват различните признаци и методи за анализ на състоянието на този тип електрически машини за определяне на видовете дефекти възникващи по време на експлоатация. В настоящия доклад се представят основните критерии и методи за оценка на величините, като се предлага нов подход за анализ на експлоатационното състо-яние на асинхронни двигатели, ползващ профилна матрица, съдържаща характерни честоти на статорния ток и се извършва мониторниг на изменението на членовете на матрицата, спрямо естествените трендове на изменение.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Проучванията за надеждност показват, че най-уязвимите части на асинхронния двигател са лагерните възли, намотките на статора и ротора. За диагностика на тези дефекти са разработени стационарни и преносими диагностични системи, които могат да се използват за наблюдение на състо-янието на асинронните двигатели (АД). Оценка на състоянието на АД може да се направи чрез анализ на измерените електрически величини. Установените в анализа несъответствия (изменения) на тока, напрежението и мощността, могат да са в резултат на влиянието на задвижваното оборудване. Следователно, анализа на електрическите величини, може да се приложи и за оценяване на състоянието на задвижваното оборудване.

1. Определяне на характерните дефекти

Чрез спектрален анализ на тока (current signature analysis) могат да установят следните проблеми при АД с кафезен ротор [1,3,4];

- пукнатини в прътите на ротора;
- прекъснати пръти на ротор;
- прекъснати късосъединителни пръстени и пукнатини по тях;
- повишена ексцентричност на въздушната междина;

- дефекти на търкалящите елементи на лагерите;
- несъосност;
- късосъединени статорни намотки;
- проблеми в задижвания механизъм.

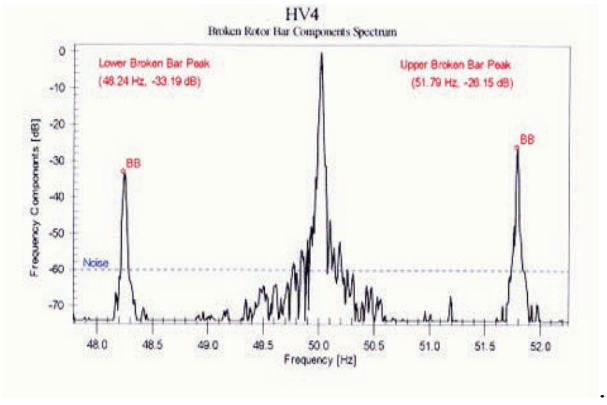
1.1. Прекъсвания в роторната намотка

Токът в статорната намотка, зависи не само от захранването и от импеданса на намотката, но и от тока, индуктиран в намотката на статора от магнитното поле на ротора. Основен проблем в диагностиката е разделянето на тока на две характерни компоненти - ток протичащ през статора необходим за задвижването на ротора и ток, който роторът индуктира обратно в статора при наличие на определена повреда. Това разделяне се извършва, чрез измерване и определяне на честотните компоненти на тока, различни от честотата на захранване, използвайки честотен анализатор с висока разделителна способност. В стандарт ISO20958-2013 тези честотни компоненти се определят съгласно формула (1).

$$f = f_1 \cdot (1 \pm 2ks) \qquad (1)$$

където: s – хлъзгане; f_1 - честота на захранващата мрежа; k=1, 2, 3...

Примерно спектрално разпределение при прекъсвания в роторните пръти е показано на Фигура 1.[3]



***Фиг. 1**. Спектър на тока при наличие на прекъснати роторни пръти (източник- ISO 20958-2013)*

1.2. Късосъединени навивки на намотките на АД на ниско напрежение.

При този дефект се генерират хармоници на тока [1,3,5,6], получени от формула (2)

$$f_{st} = f_1 \cdot \left(\frac{n}{p}(1-s) \pm k \right) \qquad (2)$$

където: f_{st} - честотни компоненти на тока на статора, при наличие на късосъединени навивки; f_1 - честотата на захранващата мрежа [Hz]; n - 1, 3, 5... ; k-1, 3, 5...; s-хлъзгане.

1.3. Мониторинг на състоянието на лагерите

Търкалящите елементи на лагерите се проявяват с характерни честоти в спекъра на тока при наличието на конкретен дефект. Тези честоти са функция на размера на лагера и вида и местоположението на дефекта. Могат да бъдат наблюдавани де-фекти на външна, вътрешна гривна и търка-лящите елементи на лагера. Формулите за определянето им при сачмени лагери са дадени в Таблица 1, и могат да се използват за определяне на наличието на такива дефекти, ако размерите на лагерите и броят на сачмите са известни [2,3].

Място на повредата	Характерна честота
Сачма	$f_{rb} = \left(\frac{D_{pit}}{D_{ball}}\right) \cdot f_m \cdot \left(1 - 2 \cdot \left(\frac{D_{ball}}{D_{pit} \cdot \cos\beta}\right)\right)$
Външна гривна	$f_{ro} = \left(\frac{n}{2}\right) \cdot f_m \cdot \left(1 - \frac{D_{ball}}{D_{pit} \cdot \cos\beta}\right)$
Вътрешна гривна	$f_{ri} = \left(\frac{n}{2}\right) \cdot f_m \cdot \left(1 + \frac{D_{ball}}{D_{pit} \cdot \cos\beta}\right)$

Таблица 1

където: f_m-честота на въртене на ротора [Hz]; n – брой сачми; β – контактен ъгъл [deg]; D_{pit} - среден диаметър [mm]; D_{ball} - диаметър на сачмите.

Вътрешните и външните дефекти на честоти, определени по формулите дадени в таблицата по-горе, приблизително могат да бъдат изчислени от Формула 3 и Формула 4, ако броят на сачмите е между 6 и 19.

$$f_{ro} = 0.4 \cdot n \cdot f_{rot} \qquad (3)$$

$$f_{ri} = 0.6 \cdot n \cdot f_{rot} \qquad (4)$$

1.4. Влияние на несъосносност и дебаланс при диагностиката на АД.

Сред често срещаните проблеми в промишлените агрегати е наличието на несъос-

ност, която от своя страна предизвиква усилване на вибрациите, повишаване на усилието във лагерните възли и съответно бързото им износване. Промените в ексцентритетите на въздушната междина при подобен вид несъответствия водят до промени във вълновата форма на потока. При динамична ексцентричност позицията на ротора може да варира и всяко колебание в радиално направление води до изменение на потока на разсейване в въздушната междина. Следователно, това може да предизвика появата статорен ток с честота характерна за ексцентритет. При анализа на честотните компоненти на статорния ток механичният дебаланс се установява чрез определяне на скоростите на преминаване на роторните канали. Предвид особеностите на топлинния дебаланс, този метод на диагностика дава някой предимства.

Установяването на дебаланс при липса на други дефекти във вибродиагностиката, е свързано с нарастването на 1-ви хармоник на честота на въртене във спектъра на вибрациите. В случай на наличието на множество други дефекти със същите признаци в спектъра на вибросигнала затруднява диагностиката при работеща машина без възможност за промяна на скоростта. Използването на спектрален анализ на тока дава възможност да се установи топлинния дебаланс, както и ексцентритета, в резултат на повреди в роторната намотка по време на работа и така да се установи източника на проблема и неговата значимост [1,3,5,6].

В спектъра на тока при дебаланс се проявява следните характерни честоти [1,3,4]:

$$f_{un} = z_r \cdot f_r \tag{5}$$

където: f_{un} - характерна честота на при поява при наличие на дебаланс [Hz]; f_r – честота на въртене [Hz]; z_r - брой роторни канали;

$$f_{sb} = f_{un} \pm f_{st} \tag{6}$$

където: f_{sb} - странични честотни компоненти; f_{st} – честота на захранващата мрежа.

1.5. Мониторинг на ексцентритета на въздушната междина

Възможността за идентифицирането на ексцентричност на въздушната междина се дава от съставяне на характерен модел на компонентите на тока, които са в резултат на повишаване на ексцентритета между ротор и статор (промяна във въздушната междина извън допустимите граници). Специфичните честоти в спектъра на тока, указващи за отклонения от нормалните стойности на ексцентритета на въздушната междина, могат да бъдат изчислени от Формула 7.

$$f_{ec} = f_1\left(R_s \frac{1-s}{p} \pm n_{wz}\right) \pm f_1\left(\frac{1-s}{p}\right) \tag{7}$$

където: f_{ec} - честотни компоненти резултат от ексцентритета на въздушната междина [Hz]; f_1 - честотата на захранващата мрежа [Hz]; R_s - брой роторни пръти; n_{wz}-1,3,5...; s- хлъзгане; p – брой чифтове полюси. [3]

Формулата се състои от две части - честотата на преминаване на роторния канал f_{rs} и честота на въртене на ротора f_r.[3]

$$f_{rs} = f_1\left(R_s \frac{1-s}{p} \pm n_{wz}\right) \tag{8}$$

$$f_r = f_1\left(\frac{1-s}{p}\right) \tag{9}$$

Ексцентритетът на въздушната междина дава серия от честотни компоненти в спектъра на тока, при преминаването на роторните канали получен от формула (8) с странични честоти на $\pm f_r$.

При наличие на динамичен ексцентритет, позицията на ротора се променя и всяко колебание в радиално направление води до изменение на потока на разсейване в въздушната междина [1,3,5]. В статора се индуктира ток с честоти, определени от Формула 10.

$$f_e = f_1 \pm m \cdot f_r \tag{10}$$

където: f_1 - честота на захранващата мрежа [Hz]; f_r - оборотна честота на ротора [Hz];

m- номер на хармоника; f_e - честотен компонент, дължащ се на промените във въздушната междина.

2. Възможности за диагностика чрез използване на профилна матрица като индикатор на състоянието

В т. 1. са представени характерни честоти на статорния ток, появата на които може да бъде индикатор за наличие на съответен дефект. От практическа гледна точка съществува проблема, че нивото на допустимите амплитудите на тези хармоници не е нормирано и това е предпоставка за наличие на субективен характер в диагностиката. В настоящото изследване се предлага тезата за възможна денифиния на матрица от вида (11), чиито членове са характерните хармонични компоненти на тока. Тази матрица се именова като „профилна матрица" M_P за индикация на състоянието. Дефинициите във формули от (1) до (10) предполагат повявата на безкраен ред хармонци на тока. За опростяване на изследването те ще бъдат изследвани при k=1, т.к. появата на хармонични съставящи от по-висок ред винаги е свързано с наличието на k=1. В зависимост от нуждите на изследването в размерността на матрицата могат да се включат всички дефинирани характерни честоти или част от тях. Тъй като най-често проявяващи са механичните дефекти, а те от своя страна винаги се отрязават на ексцентритета, по-долу идеята ще бъде предложена чрез профилна матрица индикираща характерните честоти, настъпващи при ексцентритет на ротора.

$$M_P = \begin{pmatrix} If_{rs+} \\ If_{rs-} \\ If_r \\ If_{e+} \\ If_{e-} \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \end{pmatrix} \quad (11)$$

където: y_h – характерни контролирани честоти. В конкретния случай h=1..m; m=5 – брой контролирани характерни честоти.

Съществува възможност за осъществяване на практическо измерване на даден наблюдаван асинхронен двигател по време на експлоатацията му и снемане на профилната матрица през определени периоди от време. Предлага се съставянето на математическо модели за естественото изменение на всяка от контролираните хармонични съставящи елемети от матрицата на база експериментални измервания през фиксиран период от време и методите на регресионния анализ. При подходящо дефиниране на началната профилна матрица (например след проведен ремонт, първоначални изпитания и пускане в експлоатация и/или пускови изпитания и запускане на ново съоръжение в експлоатация), подходящи интервали между отделните записи (предлага се веднъж седмично) и подходящ брой снети профилни матрици (предлага се n=5 на брой) е възможно получаването на регресионни модели с полиноми, които могат да служат за индикатор за естественото изменение на величините по време на експлоатация от естествена амортизация. Получаването на регресионни модели за изменението на всеки елемент от матрицата може да се осъществи по следния начин:

- На база на експериментално получените стойности y_i за момент от време t_i се търси интерполационен полином от вида (12)

$$L_n(t) = \sum_{i=0}^{n} y_i \cdot F_i(t) \quad (12)$$

където: $F_i(t)$ са коефициенти на Лагранж, определени по формула (13)

$$F_i(t) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n} \frac{(t - t_i)}{(t_i - t_j)} \quad (13)$$

Пълният запис на Формула 12 се дава чрез Формула 14.

$$L_n(t) = \sum_{i=0}^{n} y_i \cdot \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n} \frac{(t - t_i)}{(t_i - t_j)} \quad (14)$$

По този начин естественото изменение на величините, елементи на M_p, за изследвания период ще може да се опише с полиноми от вида (14), съответстващи на броя величини. За всеки един възел на интерполация t_i, стойността на $L_n(t)$ е y_i

Това означава, че с използването на съвременна измервателна система, отчитаща исканите характерни честоти и използването на настоящия подход е възможно да се дефинира начална профилна ма-

трица и да се построят регресионни модели показващи естественото й изменение.

Изменението на профилната матрица може да бъде описано чрез Формула (15):

$$M_P(t) = \begin{pmatrix} L_n(t)_1 \\ L_n(t)_2 \\ L_n(t)_3 \\ L_n(t)_4 \\ L_n(t)_5 \end{pmatrix} \quad (15)$$

С използването на математическа екстраполация може да се предвиди стойността на всяка от величините елементи на M_P в следващ момент от време t* съответстващ на измерване n+1, описано с формула (16)

$$y(t^*) = y_{n-1} + \frac{t^* - t_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \cdot (y_n - y_{n-1}) \quad (16)$$

При практическа употреба се предлага снемането на профилна матрица от експериментални данни в момента t*, сравняването й с получените данни чрез употребата на формула (15) и с тази, получена в момента t_1.

Предложеният подход позволява да се построи модел, чрез който да се следи не само наличието на определени характерни честоти, индикиращи възможната поява на дефект, а и да се следи изменението им, като се сравнява с модел за естественото им изменение по време на нормална експлоатация и амортизация.

Ефективното използване на подхода изисква разработването и използването на специализирано софтуерно приложение в комбинация със съвременни измервателни устройства са събиране и запис на данни (DAQ)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеното изследване разглежда възможност за дефиниране на профилна матрица M_p за анализ на състоянието асинхронни двигатели по време на нормалната им експлоатация и диагностика – следремонтна или планова. Предлага се използването на подход за употреба – съставянето й при пускане в експлоатация и периодични измервания в петседмичен интервал за изследване изменението й и съставянето на регресионни модели за естественият „шум" в хармоничния състав на статорния ток. Разглежда се възможността изменението на нивата на определени хармоничини, сравнени с математически модели за тяхното изменение, начален профил и профил получен в последващ момент от време, да бъдат използвани като индикатор за отчитане на вероятност за поява на дефект или увеличаване на вероятността за неговата поява.

Установяването на правилността на подхода при практическата му реализация е свързана с дефиниране на бъдещи прагови нива за изменение на величините Δy_i обвързани с количествена оценка за вероятността на настъпване на характерен дефект. Предложеният подход може да бъде прилаган за диагностика на агрегати в трудно достъпни за друг вид диагностика обекти или като допълнение на такава, в условията на постоянно натоварване. Използваният профил по време на експлоатация може да се използва и при приемане след ремонт за установяване качеството на ремонта и монтажа на агрегата.

Разработката е част от проект ФНИ ТУ-Варна НП4/2018 „Теоретични и експериментални изследвания при експлоатацията и диагностиката на промишлени производствени агрегати с асинхронни електродвигатели".

REFERENCE

[1] Barkov, A., N. Barkova, A. Borisov, V. Fedoristev, D. Gristenko, Metodika diagnostirovanie mehanizmov s elektgroprivodom po potrebliaemomu toku, ISBN 978-5-91498-028-2012.

[2] ISO 13379-2015, Condition monitoring and diagnostics of machines — Data interpretation and diagnostics techniques.

[3] ISO 20958-2013, Condition monitoring and diagnostics of machine systems - Electrical signature analysis of three-phase induction motors.

[4] Petuhov, V., Diagnostika sostoianie elektrodvigatelej. Metod spektralnovo analiza potrebliaemogo toka" jurnal "Novosti Elektrotehniki" №1-2005.

[5]Thomson W.T., & Fenger M. Current signature analysis to detect induction motor faults. IEEE Ind. Appl. Mag. 2001, **7** (4) pp. 26–34.

[6] Thomson W., Fenger M., Lloyd B., Development of a tool to detect faults in induction motors

via current signature analysis, 2003 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Conference, Dallas, TX, 2003-05-04/09.
[7] Thomson W., & Gilmore R., Motor current signature analysis to detect faults in induction motors — Fundamentals, data interpretation and industrial case histories. In: Proceedings of the 32nd Turbomachinery Conference, 2003.

ВЛИЯНИЕ НА ПРОМИШЛЕНИ ОСВЕТИТЕЛИ ВЪРХУ ПАРАМЕТРИ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ

Цвятко Колев Върбов[1], Красимир Маринов Иванов[1], Панайот Янков Иванов[1]
Михай Кручеру[2]
[1]Технически университет – Габрово, България
[2]Университет „Константин Бранкуши" – Търгу-Жиу, Румъния

INFLUENCE OF INDUSTRIAL LUMINARIES ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY PARAMETERS

Tsvyatko Kolev Varbov[1], Krasimir Marinov Ivanov[1], Панайот Янков Иванов[1]
Mihai Cruceru[2]
[1]Technical University of Gabrovo, Bulgaria
[2] University'Constantin Brâncuşi' of Târgu-Jiu, Romania

Abstract
The paper inhere describes a study of various types of industrial luminaries which are attached to the power boards of the electrical power supplying system. In that relation, the relevant parameters of electromagnetic compatibility are presented. Graphically there have been presented the current curves in the phase and the neutral conductors and their harmonic composition. The performed measurements' results show that electrical lighting loads in the industrial companies change the harmonic composition of the current curve, which results in increased power and energy losses..

Keywords: EMC, harmonics current, LED bulb, MHB.

ВЪВЕДЕНИЕ

В последните години все по-голямо приложение намират енергоспестяващите компактни луминесцентни лампи (КЛЛ) и светодиодните лампи (LED). Захранващите им устройства генерират хармонични съставящи на тока [1, 2]. Използването на тези устройства обикновено води до генериране на хармонични съставки, които се връщат обратно в захранващата мрежа и предизвиква допълнителни загуби и други негативни явления [3, 4, 5]. Това би могло да доведе и до влошаване качеството на електрическата енергия, подавана към потребителите и до проблеми при експлоатацията им. Най-често се забелязва: прегряване и унищожаване на нулеви работни проводници на кабелни линии; допълнителни загуби в силови трансформатори и кондензатори на инсталации за компенсиране на реактивната мощност; ускорено стареене на изолацията на кабели.

В Европа основният нормативен документ, регламентиращ граничните стойности за излъчвания на хармонични съставящи на тока (входен ток на устройства/съоръжения до и включително 16 A за фаза) е EN 61000-3-2:2014 (IEC 61000-3-2:2014) [6] .

Целта на работата е да се изследват хармоничните „замърсявания" в електрическите уредби за осветление, предизвиквани от използването на различни осветителни тела в индустрията.

Изследвани са параметрите на промишлени осветители от различен характер, присъединени към захранващите табла на електрическите уредби. Представени са съотносимите параметри на електромагнитна съвместимост. Дадени са снетите криви на изменение на фазовите токове и токовете в неутралния проводник, а също така и техният хармоничен състав.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Съгласно стандарта БДС EN 61000-3-2:2014 техническите средства за експлоатация се разделят на 4 класа:

- клас A
- клас B
- клас C
- клас D

Към клас A се причисляват симетрични трифазни технически средства, битови технически средства, електрически непреносими инструменти, аудио оборудване и др.

Към клас B са включени преносимите електрически инструменти и оборудване, неотнасящо се към професионалното и електродъгово заваряване.

Към клас C са включени осветителни прибори (осветители).

Към клас D са прибори с мощност, помалка от 600 W (персонални компютри, монитори, телевизори и др.)

Граничните норми (стойности) за излъчваните хармонични съставящи на тока, които могат да бъдат създадени от устройствата клас C са разделени за устройства с мощност до 25 W и над 25 W.

За устройства с активна мощност повече от 25 W, граничните норми за излъчваните хармонични съставящи на тока са показани в Таблица 1.

Таблица 1

Номер на хармоник	Максимално допустими стойности на хармоничните съставящи на тока в % от основната хармонична
2	2
3	30*λ
5	10
7	7
9	5
11≤ n ≤ 39 (само нечетни)	3
λ- фактор на мощност	

За газоразрядни лампи се прилагат ограниченията за клас D.

Граници на хармонични съгласно IEC 61000-3-2 Клас D (Проектно/номинално състояние на натоварване) са показани в Таблица 2.

Таблица 2

Хармоничен ред	75 W < P < 600 W	P > 600 W
n	mA/W	A
3	3,4	2,30
5	1,9	1,14
7	1,0	0,77
9	0,5	0,40
11	0,35	0,22
13	0,296	0,21
15 < = n < = 391	3,85/n	2,25/n

Не се прилагат ограничения за оборудване под 75 W входна мощност.

Стандартът IEC 61000-3-4 определя граничните стойности за хармонични съставящи на тока в нисковолтови електроразпределителни системи за оборудване с номинален ток, по-голям от 16A на фаза [7]. Общите коефициенти на нелинейните (хармоничните) изкривявания THD се изчисляват по формулите:

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 .... + I_n^2}}{I_1} 100,\% \qquad (1)$$

$$THD_U = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 .... + U_n^2}}{U_1} 100,\%\,, \qquad (2)$$

където I_1, I_n са съответно ефективната стойност на първия хармоник на тока и на хармоника с n≥2; U_1, U_n – съответно ефективната стойност на първия хармоник на напрежението и на хармоника с n≥2.

Параметрите на хармонични съставящи на тока, съгласно IEC 61000-3-4**,** спрямо изследвания обект са дадени в Таблица3.

Таблица 3

Хармоничен номер n	**Допустима хармонична съставяща на тока* I_n/I_1, %**		**Хармоничен номер n**	**Допустима хармонична съставяща на тока I_n/I_1, %**
3	**21.6**		**21**	**≤ 0,9**
5	**10,7**		**23**	**0,9**
7	**7,2**		**25**	**0,8**
9	**3,8**		**27**	**≤ 0,6**
11	**3,1**		**29**	**0,7**
13	**2**		**31**	**0,7**
15	**0,7**		**≥ 33**	**≤ 0.6**
17	**1,2**			
19	**1,1**			
*** I_1 - ток на основната хармонична; I_n - ток на $n^{-ти}$ хармоник**				

В IEC 61000-3-4 са въведени следните дефиниции:

• Точка на обикновено свързване (PCC): точка в обществената мрежа, която е най-близо до съответния потребител и до която други потребители са или могат да бъдат свързани.

• Частично измерено хармонично изкривяване (PWHD):

$$PWHD = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n\left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2} \qquad (3)$$

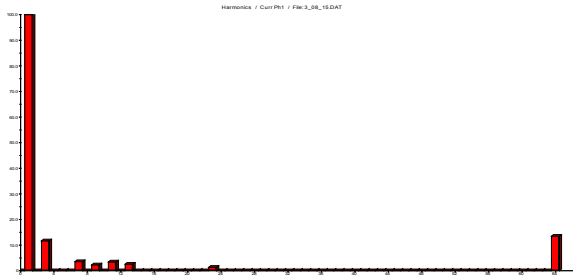
• Мощност на късо съединение (Ssc): изчислена спрямо номиналното напрежение на системата Unom и импеданса Z при късо съединение:

$$S_{SC} = \frac{U_{nom}^2}{Z} \qquad (4)$$

Таблица 4

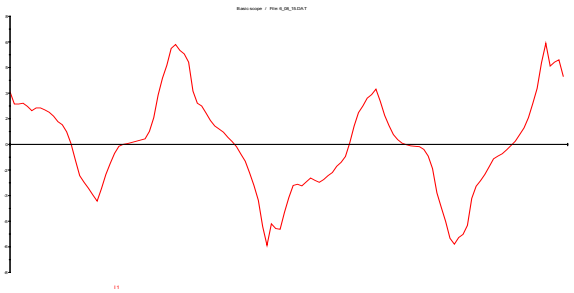
Процедури на свързване съгласно 61000-3-4 Стойности на емисиите ток при Етап 2 за еднофазно, междуфазно и небалансирано трифазно оборудване								
Minimal Rsce	Допустими тотални хармонични изкривявания на тока %		Допустима хармонична съставяща на тока за отделните хармонични I_n/I_1 %					
	THD	PWHD	I3	I5	I7	I9	I11	I13
66	25	25	23	11	8	6	5	4
120	29	29	25	12	10	7	6	5
175	33	33	29	14	11	8	7	6
250	39	39	34	18	12	10	8	7
350	46	46	40	24	15	12	9	8
450	51	51	40	30	20	14	12	10
600	57	57	40	30	20	14	12	10
Забележка 1 – Сравнителната стойност на четните хармонични функции не трябва да надвишават 16/n% Забележка 2 – Линейна интерполация между последователни Rsce стойности е допустима Забележка 3 –В случай на небалансирано трифазно оборудване тези стойности са приложими за всяка фаза * I_1 = номинален основен ток; I_n=хармоничен токов компонент								

За измерванията на електротехническите величини е използван мрежов анализатор HT Italia GSC53N. Мерене е извършено на страна 400 V на изходните шини на захранващите табла, присъединени към трансформатор с мощност 1600 kVA. В първия случай осветителните тела са LED плюс метал-халогенни лампи с мощност 100 W осветители и са равномерно разпределени към трите фази. Към разпределителните шини на трансформатора има присъединени филтри. Измерени бяха трите фазови тока и токът през неутралния проводник. Коефициентът на хармонично изкривяване по ток е THD(I)=13.47 при включени филтри. На фиг.1 са дадени коефициентите на отделните хармонични спрямо основната хармонична в %. Основната хармонична е обозначена като 100%, останалите хармонични са изчислени в относителни единици спрямо нея. В този случай има преобладаване на 5 и 7 хармонична на тока. Графиките на останалите фазови токове са аналогични. На фиг.2 е представено изменението на фазовия ток в момента на снемане на резултатите. Лимитираните нива на индивидуалните хармонични изкривявания по ток и коефициент на хармонично изкривяване по ток не са надвишени. Филтрите са добре настроени. На фиг.3 е представен токът в нулевия проводник.

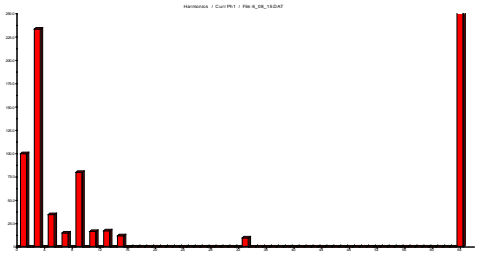


***Фиг. 1**. Амплитудно честотна характеристика на фазовия ток*

***Фиг. 2**. Времедиаграма на фазовия ток*



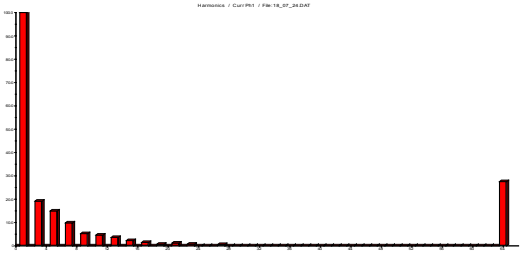
***Фиг. 3**. Времедиаграма на тока през нулевия проводник*



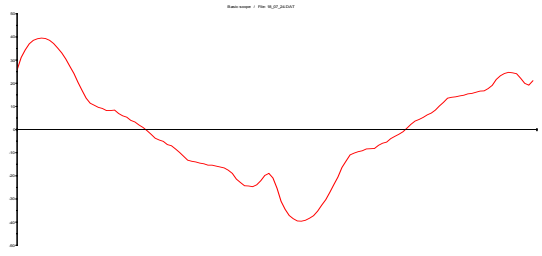
***Фиг. 4**. Графика на хармоничните съставящи на тока през нулевия проводник*

Стойността на тока през нулевия проводник е в равна на 2.95 А. Изменението на хармоничните съставящи на тока през нулевия проводник е представено на фиг. 4. Коефициентът на хармонично изкривяване по ток е THD(I)=252.01. Токът на трета и деветата хармонична се сумират и се увеличават, като тази на третата хармонична надвишава значително тази на основната. Това води до повишени загуби в неутралния проводник и трансформатора.

Мерenето във втория случай е извършено на страна 400 V на изходните шини на захранващото табло, присъединено към същия трансформатор с мощност 1600 kVA, захранващ промишлени осветителни тела с LED лампи. Коефициентът на хармонично изкривяване по ток е THD(I)=27.53. На фиг.5 са дадени коефициентите на отделните хармонични спрямо основната хармонична в %. Подходът на построяване на графиката е аналогичен и на фиг. 1. Графиките на останалите фазови токове са аналогични. И в този случай има преобладаване на 5 и 7 хармонична на тока. Лимитираните нива на индивидуалните хармонични изкривявания по ток и коефициент на хармонично изкривяване по ток не са надвишени. Филтрите са включени и настроени подобаващо и коефициентът на хармонично изкривяване по ток намалява. На фиг. 6 е представено изменението на фазовия ток в момента на снемане на резултатите.

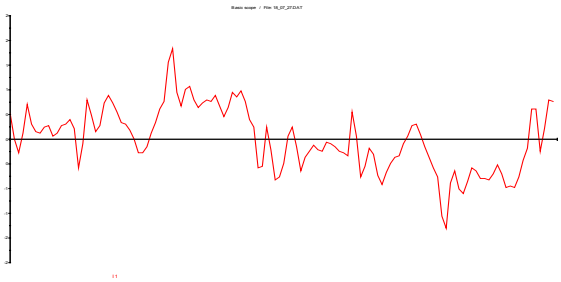


***Фиг. 5**. Графика на хармоничните съставящи на тока през фазовия проводник*

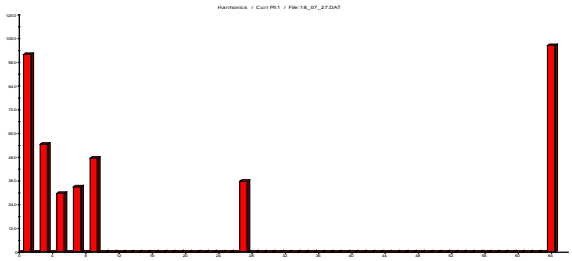


***Фиг. 6**. Времедиаграма на фазния ток*

На фиг. 7 е представено изменението на тока в нулевия проводник. Стойността на тока през нулевия проводник е в равна на 0,51 А. Изменението на хармоничните съставящи на тока през нулевия проводник е представено на фиг. 8. Коефициентът на хармонично изкривяване по ток е THD(I)=104.48. Токовете на трета, деветата и двадесет и седмата хармонични се сумират и се увеличават, но не надвишават тази на основната. И тук може да се каже, че повишаването на коефициента на хармонично изкривяване по ток в неутралния проводник може да увеличи загубите.



***Фиг. 7**. Времедиаграма на тока през нулевия проводник*

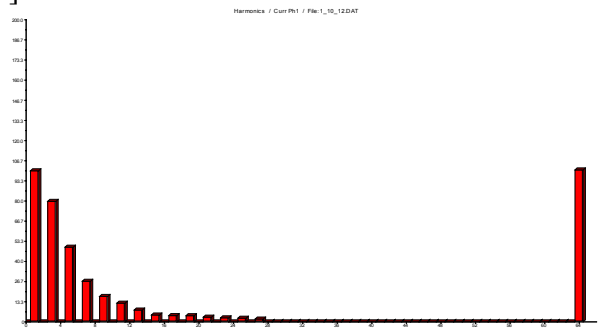


***Фиг. 8**. Графика на хармоничните съставящи на тока през нулевия проводник*

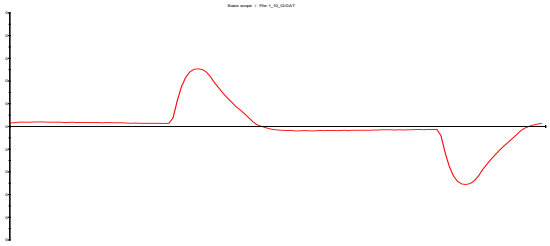
Допълнителните загуби от хармоничните съставящи в всеки от фазовите и неутралния проводници могат да се определят съгласно формулата:

$$\Delta P_{Л} = 1,41 r_{Л} \sum_{n=2}^{40} \sqrt{n} I_n^2 \qquad (5)$$

Аналогични са и резултатите при изследване на светодиодни лампи в лабораторни условия. Използвани са еднакви светодиодни лампи свързани в звезда, които имат голямо съдържание на хармонични на тока [8].



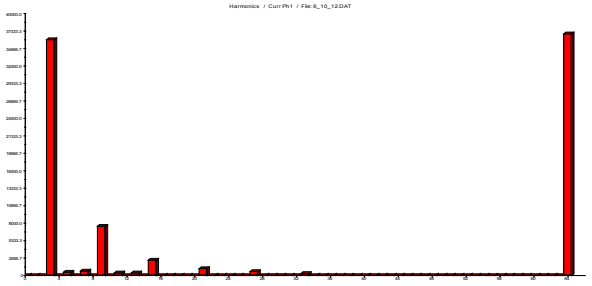
***Фиг. 9**. Амплитудно честотна характеристика на фазовия ток*



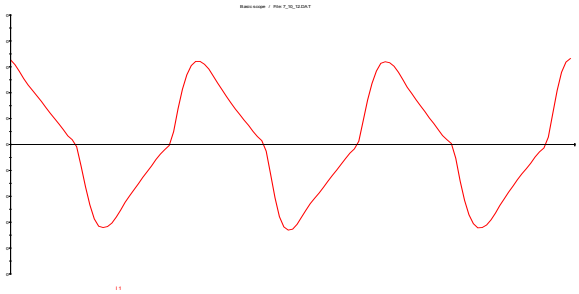
***Фиг. 10**. Времедиаграма на фазовия ток*

Графиката на фиг.9 показва наличието на хармоничните съставящи на тока през фазовия проводник. Има съществено наличие на нечетни хармонични от 3 до 15. Получените резултати са показани и в Таблица 5.

Наличието на хармонични съставящи на тока през нулевия проводник е показано на фиг.11. Токът на трета, деветата и петнадесетата хармонична се сумират и се увеличават, като тази на третата хармонична надвишава значително стойността на първата хармонична и на ефективната стойност на фазовия ток [8].



***Фиг. 11**. Амплитудно честотна характеристика на тока през нулевия проводник.*



***Фиг. 12**. Времедиаграма на тока през нулевия проводник*

Конкретно в Таблица 5 ефективната стойност на фазовия ток е обозначена като 100%, хармоничните на фазния ток и тока през нулевия проводник са изчислени в относителни единици спрямо ефективната стойност на о фазовия ток.

Таблица 5

Данни за лампа		фаза1	фаза2	фаза3	нулев проводник
Напрежение, V		237,0	237,9	237,1	
Мощност,W		29	31	29,4	
TDH U,%		1,4	1,4	1,4	
cos φ		0,67	0,67	0,66	
TDH I,%		99,9	98,6	99,8	
Ток, mA	ефективна стойност	95,2	94,8	94,6	162,9
ефективна стойност и № на хармоник	1	67,3	67,1	66,7	-
	3	53,2	53,1	53,1	159,4
	5	33,2	33,5	33,1	-
	7	17,8	17,8	18,0	-
	9	11,3	11,3	11,1	32,7
	11	8,2	8,6	7,9	-
	13	4,7	5,8	5,7	-
	15	2,3	3,0	3,0	8,3
%	ефективна стойност	100	100	100	171,8
ефективна стойност и № на хармоник	1	70,7	70,8	70,5	-
	3	55,9	56,0	56,1	168,1
	5	34,9	35,3	35,0	-
	7	18,7	18,8	19,0	-
	9	11,9	11,9	11,7	34,5
	11	8,6	9,1	8,4	-
	13	4,9	6,1	6,0	-
	15	2,4	3,2	3,2	8,8

От Таблица 5 се вижда, че токът през нулевия проводник превиша със 171.8% тока през фазовия проводник при тези светодиодни лампи. Определяща е третата хармонична, която превиша със 168.1% тока през фазовия проводник.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на проведено изследване на хармоничните замърсявания по ток в електрическите уредби, причинени от промишлени осветители със светодиодни и метал-халогенни лампи, може да се направят

следните изводи:

Поради малките мощности при светодиодни лампи спрямо останалите консуматори на мрежата за изследвания случай не се наблюдава повишаване на коефициента на нелинейни изкривявания на напрежение.

Високо съдържание на хармонични в нулевия проводник може да доведе до допълнителни загуби в тези проводници и в захранващите трансформатори. Тези резултати показват, че практиката на избор на помалки сечения за нулевите проводници и шини е неудачна, понеже повишените нива на хармонични водят до повишено нагряване и загуби.

REFERENCE

[1] Istalianov R., V Voivodov, Research of harmonic in LED lighting. Bulgarian XV National Conference Lighting BulLight 2014, Bulgaria, Sozopol.

[2 Jettanasen, C., Pothisarn, C., *Analytical Stud of Harmonics Issued from LED Lamp Driver*, International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists (IMECS), Vol II, Hong Kong, March 12 – 14, (2014).

[3] Uddin, S., Shareef, H., Mohamed, A., Hannan, M. A., *An analysis of harmonics from LED lamps*, Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility, 21-24 May, (2012).

[4] Harmonics from Compact Fluorescent Lamps. IEEE Transactions on industry applications, vol. 29, № 3, May/June 1993.

[5] Petrov P. K., Ts. Varbov, Experimental determination of the pulsation coefficient of the flow, Safety and Occupational Medicine Nr5/2007 ISNN 1311-2740.

[6] EN 61000-3-2:2014 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase).

[7] Tsanev Ts., Sv. Tsvetkova, Power Quality, Sofia, 2011, Publishing House „Avangard Prima" Publishing House ISBN 978-954-323.

[8] Varbov Ts., Kr. Marinov, Research of harmonic in CFL bulbs and LED bulbs, International Scientific Conference, 17-18 November 2017, Gabrovo.

ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ В ПАСАЖЕРСКИ КОРАБИ

Илиян Донев[1], Гинка Иванова[2], Валентин Гюров[3], Румен Киров[4]
[1]*Технически университет-Варна, кат. „Корабостроене, корабни машини и механизми", докторант*
[2,3,4]*Технически университет-Варна, кат. „Електроснабдяване и електрообзавеждане"*

RESEARCH AND ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY IN PASSENGER SHIPS

Iliyan Donev[1], Ginka Ivanova[2], Valentin Gyurov[3], Rumen Kirov[4]
[1]*Technical University of Varna, Department of Shipbuilding and Marine Engineering, PhD Student*
[2,3,4]*Technical University of Varna, Department of Electric Power Supply and Equipment*

Abstract

The paper presents an analysis of energy efficiency in passenger ship with 46000DWT and 1440 passengers. The main objective of the study is to present the effect of renovating deck lighting using LED sources, analyzed in the context of Lloyd's regulatory requirements and energy efficiency standards. The results represent the achieved savings in electricity and fuel, taking into account the environmental impact of reducing emissions and changing the EEDI Energy Efficiency Index

Keywords: marine electrical systems; energy efficiency in vessels; energy efficiency design index in ships

ВЪВЕДЕНИЕ

За оценка на енергийната ефективност в корабните електроенергийни системи (KEEC), в съответствие с нормативните изисквания на Lloyd, се използва обобщен показател на енер-гийна ефективност EEDI (energy efficiency design index) [1,2,3]. Много добри резултати за повишаване на енергийната ефективност в KEEC постига German Lloyd, като тенденциите за развитие с хоризонт 2025 год. EEDI се прилага за кораби, дефинирани в Регламент 2.23 и правило 20 от MARPOL, приложение VI от 400GT и по-голям: кораби за насипни товари; танкери; газови носители; носители на втечнен природен газ; контейнерни кораби; общо товар-ни кораби; хладилни товарни кораби; комбини-рани превозвачи; ро-ро товарни кораби; ро-ро товари и ро-ро пътнически кораби; круизни кораби с неконвенционално задвижване.

EEDI се изчислява с помощта на формулата:

$$AttEEDI = \left(MEE + AEE - ERIT\right) \cdot \frac{1}{TW} \quad (1)$$

където: MEE - емисии на CO_2 предизвикани от главните двигатели [tCO_2.DWT]; AEE - емисии на CO_2 предизвикани от спомагателните двигатели [tCO_2.DWT]; ERIT - намаляване на емисиите в резултат на иновативни технологии [tCO_2.DWT]; TW - транспортна работа [DWT];

Изчисляване на AEE - емисии от (спомагателните двигатели) се извършва с помощта на израза:

$$AEE = \left(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}\right) + \left(\left(\prod_{j=1}^{n} f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) \quad (2)$$

където: PAE[kW] - мощност на спомагателните двигатели, която е теоретично необхо-

дима за подсигуряване работата на главните двигатели и периферните съоръжения, технологичните съоръжения и битовия товар на кораба; CFAE [tCO_2/tFuel] - коефициент на екологично въздействие на горивата; SFCAE [tFuel/kWh] - специфична консумация на гориво от спомагателните двигатели.

Притеглената средна стойност на i на брой спомагателни машини се определя с формулата:

$$SFC_{AE} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{AE}} SFC_{AE(i)} \cdot MCR_{AE(i)}}{\sum_{i=1}^{n_{AE}} MCR_{AE(i)}} \quad (3)$$

Второто събираемо във формула (2) показва влиянието на валови (shaft) двигатели, иновативни енергоспестяващи технологии и реконструкции с цел намаляване на енергопотреблението:

$$\left(\prod_{j=1}^{n} f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}$$

където: f_i - корекционен коефициент отчитащ влиянието на специално проектирани енергоефективни елементи на кораба. Ако няма такива се приема стойност 1; $P_{PTI(i)}$ [kW] – 75% от номиналната механична мощност на "shaft" двигателите разделена на к.п.д. на генераторите:

$$P_{PTI(i)} = 0.75 \cdot \frac{P_{SMR(i)}}{\eta_{Gen}} \quad (4)$$

където: $P_{SMR(i)}$[kW] - номинална механична мощност на "shaft" двигателите;

$$\eta_{Gen} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{AE}} \eta_{Gen(i)} \cdot P_{Gen(i)}}{\sum_{i=1}^{n_{AE}} P_{Gen(i)}} \quad (5)$$

където: $P_{Gen(i)}$[kW] - изходна мощност на i-тия генератор; $f_{eff(i)}$ - коефициент отчитащ влиянието на всяка иновативна технология; $P_{AEeff(i)}$[kW] - намаляване на консумираната мощност от спомагателните двигатели поради наличието на иновативни технологии на главните двигатели. С отчитане влиянието на качеството на електрическата енергия [4,5,6], израз (2) се преобразува във вида:

$$AEC_{PQ} = \left((P_{AE} + \Delta P_{LPQ}) \cdot SFC_{AE} \right) + \left(\left(\prod_{j=1}^{n} f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum \begin{matrix} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} - \\ - f_{eff(i)} \cdot P_{AEeffPQ} \end{matrix} \right) \cdot SFC_{AE} \right) \quad (6)$$

Оценката на електроенергийната ефективност (EEDI) представена количествено чрез редукцията на първичните енергийни ресурси (гориво, t-Fuel) може да се определи чрез формулите (7), (8) и (9):

$$AEC_{BASIC} = \left(P_{AE} \cdot SFC_{AE} \right) + \left(\left(\prod_{j=1}^{n} f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) \cdot SFC_{AE} \right) \quad (7)$$

$$AEC_{PQ} = \left((P_{AE} + \Delta P_{LPQ}) \cdot SFC_{AE} \right) + \left(\left(\prod_{j=1}^{n} f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum \begin{matrix} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} - \\ - f_{eff(i)} \cdot P_{AEeffPQ} \end{matrix} \right) \cdot SFC_{AE} \right) \quad (8)$$

$$FR = AEC_{BASIC} - AEC_{PQ} \quad (9)$$

ИЗЛОЖЕНИЕ

За оценка на енергийната ефективност в сгради могат да се използват показателите, дефинирани от стандарт EN 15232 "Energy performance of buildings – Impact of Building Automation, Controls and Building Management", който е приложим и за корабни закрити помещения

В съответствие с него, в зависимост от използваната система за автоматизация се определя съответния BAC клас на ефективност (Building Automation and Control) с буквено изражение от A до D. На база направената класификация по ефективност се избират BAC факторите на ефективност $f_{BAC,HC}$ и $f_{BAC,EL}$. Първият показва влиянието на системите за автоматизация върху подобряване на енергийната ефективност за използваната топлинна енергия, а вторият – за използваната ел. енергия. Когато основен енергиен носител е електроенергията, системите за автоматизация имат двустранен ефект – от една страна намаляване на общо-

то потребление за ел. енергия на системите, от друга – подобряване на работата на ОВК системите, което води до допълнително намаляване разхода на ел. енергия. Количествената оценка се извършва по следната методика:

Отоплителни системи:

$$Q_{H,Tot,BAC} = (Q_{H,nd,B} + Q_{H,Sys}) \cdot \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} = \\ = Q_H \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} \quad (10)$$

където: $Q_{H,nd,B}$ и $Q_{H,Sys}$ - топлинна енергия за отопление и загуби на топлинната система; $f_{BAC,HC}$ - референтен BAC фактор.

Охлаждащи системи:

$$Q_{C,Tot,BAC} = (Q_{C,nd,B} + Q_{C,Sys}) \cdot \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} = \\ = Q_C \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} \quad (11)$$

Осветление:

$$W_{OCB,BAC} = W_{OCB} \frac{f_{BAC,EL}}{f_{BAC,EL,ref}} \quad (12)$$

В обобщение се получава израза:

$$EP_{ЕЛ,BAC} = \left[\begin{array}{l} (\frac{Q_H}{\eta_H} + \frac{Q_C}{\eta_C}) \cdot \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} + \\ + (\frac{Q_{HW}}{\eta_{HW}} + W_{OCB}) \frac{f_{BAC,EL}}{f_{BAC,EL,ref}} \end{array} \right] \cdot e_i \quad (13)$$

Изискванията към осветителни уредби, касаещи енергийната им ефективност, се дефинират от стандарт EN 15193 „Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting”. Като индикатор се използва специфичния годишен показател LENI (Lighting Energy Numeric Indicator).

$$LENI = W_{OCB,ЕЛ} = \frac{W_L + W_P}{A} \quad (14)$$

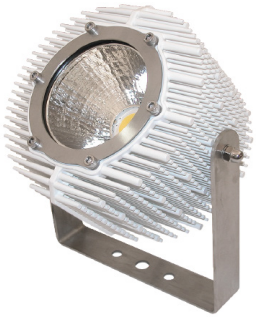
където: A - обща разгъната осветяема площ на помещенията [m^2]; W_L - енергия консумирана от осветителната уредба за осигуряване на необходимата светлинна среда [kWh/год.]; W_P - паразитна енергия свързана със загубите в акумулаторните елементи на аварийно и евакуационно осветление и stand-by функциите на системата за управление на осветлението [kWh/год.].

Изчислението им се извършва по следните формули:

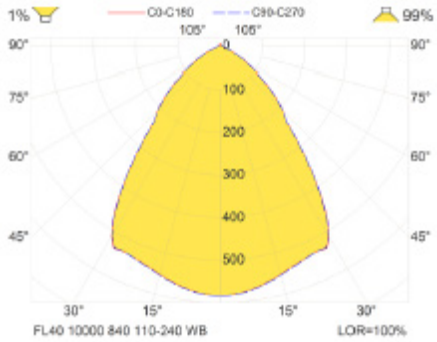
$$W_L = \sum \left[(P_N . F_C) . \left[\begin{array}{l} t_D . F_0 . F_D + \\ + t_N . F_0 \end{array} \right] \right] / 1000 \quad (15)$$

$$W_P = \sum \left[\begin{array}{l} P_{PC} . (t_Y - t_D - t_N) + \\ + P_{EM} . t_{EM} \end{array} \right] / 1000 \quad (16)$$

където: P_N - инсталирана мощност [W]; P_{PC}- обща паразитна мощност [W]; P_{EM} - обща зарядна мощност евакуационни и аварийни осветители [W]; t_γ - годишен времеви период 8760 ч.; t_D - времеви период за работа на осветителите в светлата част от денонощието [ч]; t_N - времеви период за работа на осветителите в тъмната част от денонощието [ч]; t_{EM} - времеви период за заряд на аварийните и евакуационни осветители [ч]; F_C - фактор зависещ от използването на инсталираната мощност, F_C=(1+MF)/2, F_0 – фактор зависещ от присъствието (отсъствието) на хора, F_D – фактор зависещ от използването на естествено осветление.



***Фиг. 1**. Специализиран LED прожектор за корабно приложение модел FL40, IP67*



***Фиг. 2**. Светоразпределение на осветител FL40*

За обекта на изследване - круизен кораб с параметри 46000DWT, 1440 пасажери е извършена реконструкция на палубно осветление и осветление общи части чрез въвеждане на специализирани LED осветители с висок клас степен на защита и корозионна устойчивост. На Фигура 1 е показан изглед на осветител от използваната гама осветители, а на Фигура 2 неговото светлоразпределение.

При реконструкцията са спазени нормативните изисквания, определени в IACS No132/2013 - International Association of Classification Society (Таблица 1).

Табл 1. *Нормени изисквания за осветеност в кораби*

Space	*Illuminance Level in Lux*
Machinery Spaces (General) Unmanned Machinery spaces	200 200
Engine Room	300
Generator and Switchboard Room Switchboard, transformer room Main generator room/switch gear	300 500 200
Fan Room HVAC room	200 200
Motor Room	300
Motor-Generator Room (Cargo Handling)	150
Pump Room, Fire pump room Steering Gear Room Windlass Rooms Battery Room Emergency Generator Room Boiler Rooms	200 200 200 200 200 100
Bilge/Void Spaces	75
Muster/Embarkation Area	200
Cargo Handling (Weather Decks) Lay Down Area General Process and Utility area Loading ramps/bays	200 200 200 200
Cargo Storage and Manoeuvring areas	350

В табл.2 са представени определените по описаната методика показатели.

Табл 2. *Изчислени показатели за обекта на изследване*

ОВК и БТВ съоръжения			***Осветление***
Q_H [kWh/ m^2.год]	Q_C [kWh/ m^2.год]	Q_{HW} [kWh/ m^2.год]	$W_{ОСВ,ЕЛ}$ (LENI) [kWh/ m^2.год]
27,3	12,8	34,53	5,18
$W_{ОВК,ЕЛ}$ [kWh/ m^2.год]			
67,59			

Табл. 3. *Спецификация на реконструкцията*

Съществуващ осветител	Нов	Количество [брой]	Икономия [kW]
ЛЛНН 18W	LED 9W	2800	25,2
ЛЛНН 36W	LED 18W	3800	68,4
ЛЛНН 30W	LED 15W	950	14,25
ХЛ 1000W	LED 200W	50	40,0
ХЛ 500W	LED 200W	58	17,4

В табл. 3 са показани стойностите за редуциране на мощността на осветителната инсталация на кораба след реконструкцията.

От таблицата се вижда, че в резултат на реконструкцията мощността на осветителната уредба намалява с 165 kW. В съответствие с израза (9) е определено, че в следствие на прилагане на действия за подобряване на качеството на електрическата енергия, е постигната икономия на консумираното гориво в границите 13,5 [t./MWh.год.], т.е. регистрирано е съществено подобрение на показателите на EEDI.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работата е представен иновативен комплексен подход за оценка на индекса за енергийна ефективност EEDI, като е разширен неговия функционален обхват с отчи-

тане влиянието на качеството на електрическата енергия, оптимизиране режимите на ОВК системите, системите за охлаждане и осветление. По този начин по – пълно и адекватно се оценява разхода на първичния енергиен носител – корабното гориво.

REFERENCE

[1] Lloyds Register, Procedure for calculation and verification of the Energy Efficiency Design Index(EEDI), №38, 2013.

[2] Lloyds Register, Guidelines for Determination of the Energy Efficiency Design Index, 2013.

[3] Lloyds Register, Guidelines on Survey and Certification of the Energy

[4] Iliev, I., Vliuanieto na konsumatorite vurhy kachestwoto na elektricheskata energia s generirane na vishi harmonici, Sobrnik Energien forum, chast 2, str. 55, NTSEB.

[5]Yanizova, M., I. Iliev, Upravlenie na energiinata efektivnost, Sbornik Energien forum, chast 2, str. 5, NTSEB.

СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЛАБОРАТОРНО ПОСТОЯННОТОКОВО ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ С ИМПУЛСНО РЕГУЛИРАНЕ

Васил Димитров[1], Петко Костадинов[1], Мартин Златков[1]
[1]ВТУ "Тодор Каблешков" - София

CONTROL SYSTEM FOR LABORATORY DC ELECTRICAL DRIVE WITH PULSE-WIDTH REGULATION

Vasil Dimitrov[1], Petko Kostadinov[1], Martin Zlatkov[1]
[1] Todor Kableshkov University of Transport - Sofia

Abstract

The paper presents a developed system for control on a laboratory DC drive with pulse-width modulation. Such drives are widely used for control on low power industrial and transport machinery and devices. This control system is based on ATMega328 microcontroller, speed feedback and a possibility of changing the PWM frequency are provided. The load of the motor is accomplished by a synchronous generator, rectifier and a resistor. Pulse-width modulation of the load current is provided by second ATMega328 microcontroller. The laboratory stand offers many opportunities for various research and experiments to determine the drive efficiency, depending on the realized scheme and setup parameters. A methodology to capture characteristics that can be applied in testing and research in different aspects is developed.

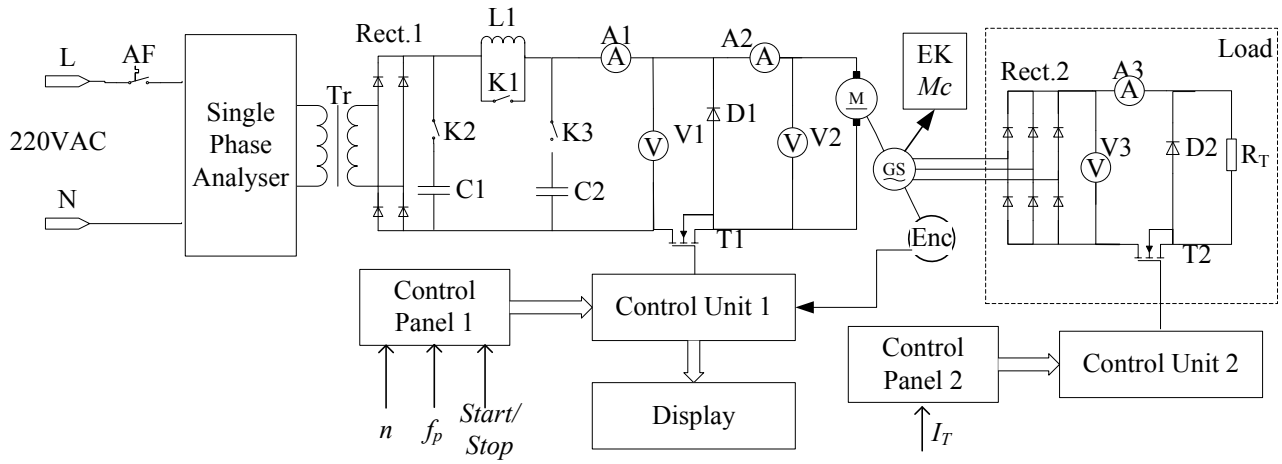
Keywords: DC electrical drive, pulse-width modulation (PWM), microcontroller.

ВЪВЕДЕНИЕ

В съответствие с бързото технологично развитие на промишлената електроника и транспортната техника все повече се налага непрекъснато повишаване нивото и подготовката на специалистите, занимаващи се с проектиране, изработване и настройка на системи за управление на електрозадвижвания. Разработването на енергоефективни системи за управление на електродвигатели е приоритет на много водещи фирми в областта на промишлеността и транспорта [1-4]. Внедряват се нови технологии и продукти в електрообзавеждането и автоматизацията [5], което поставя по-високи изисквания по отношение на качеството на обучение на студентите, подготвяни за работа в тези сфери. В настоящия доклад е разработена системата за управление на лабораторен стенд на постояннотоково задвижване с импулсно регулиране – модел на едно от съвременните електрозадвижвания за постоянен ток. Предвидено е инсталиране към стенда на модули за управление и изпитване на електродвигателя и разработване на методики за провеждане на изпитания и снемане на характеристики.

ЛАБОРАТОРЕН СТЕНД

Основният елемент от лабораторния стенд е двигател за постоянен ток (тип 3PI12.06, U_N = 55V, P_N = *0.4 kW*). Възбуждането е с постоянни магнити (оксидирани, с голяма коерцитивна сила, осигуряваща надеждна работа при претоварване по ток). Схемата на стенда е показана на фиг. 1. Захранването е реализирано с трансформатор *Tr* и токо-изправител по схема Грец (rectifier *Rect.1*). Създадена е възможност за изглаждане на пулсациите посредством различни филтри: индуктивен, капацитивен, „Г"- образен или „П"- образен (чрез ключовете К1, К2 и К3).



***Фиг. 1**. Лабораторен стенд*

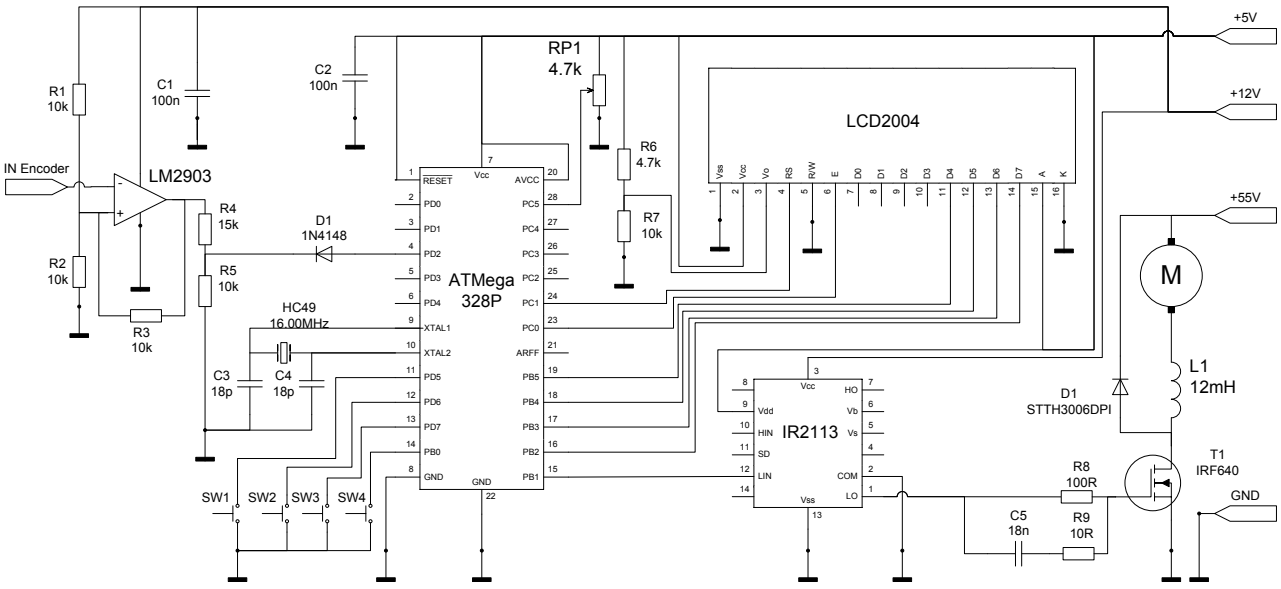
Импулсният регулатор е реализиран с мощен транзистор T1 (MOSFET IRF640) и диод за обратен ток D1 (STTH3006DPI Hyperfast boost diode). Блокът за управление (Control Unit 1 – *CU1*) е изграден на базата на микроконтролер ATmega328, като са предвидени потенциометър за задаване на скорост на въртене *n*, бутони "Start"/"Stop" и бутони „+/-" за промяна честотата f_p на широчинно импулсната модулация (ШИМ), монтирани на управляващ панел (Control Panel 1). Визуализацията на зададената и действителната скорост на въртене и на коефициента и честотата на ШИМ се осигурява на Display. Предвидена е обратна връзка по скорост (енкодер *Enc*) и измервателна апаратура – мрежов анализатор и цифрови волтметри и амперметри. Натоварването на двигателя се реализира със синхронен трифазен генератор GS, изправителен блок по схема Ларионов (rectifier *Rect.2*), резистор R_T и постояннотоков импулсен регулатор – транзистор T2 (MOSFET SPW47N60C3), диод D2 (MBR20100CT) и CU2. Осигурена е възможност за измерване на спирачния въртящ момент *Mc* (чрез задържащата сила, измерена в kg и визуализирана на дисплея на електронен кантар ЕК), за задаване на натоварването чрез изменение на тока I_T през R_T и за визуализация на параметрите.

СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ДВИГАТЕЛЯ

Системата за управление е базирана на микроконтролера ATMega328 [6], производство на фирмата Microchip, с производителност от 4Mps (4 милиона инструкции в секунда) при тактова честота от 16MHz, което е напълно достатъчно в конкретния случай.

Системата за управление може условно да бъде разделена на няколко функционални блока (фиг. 2):

- Формирователна входни импулси, изпълнен с компаратора LM2903 [7]. Сигналът от енкодера е необходимо да постъпи в микроконтролера, но в него присъстват паразитни сигнали, индуцирани от съседни проводници, а също така основният (полезният) сигнал е с намалена стръмност поради съществуващите паразитни капацитети. Тези недостатъци на постъпващия сигнал могат да доведат до нежелано програмно прекъсване и в резултат на това да бъде изчислена некоректна стойност на ъгловата скорост, което би довело до генериране на некоректни управляващи сигнали. Поради изброените причини сигналът от енкодера постъпва на инвертиращия вход на компаратора, а чрез резистора R3 е осъществена положителна обратна връзка, гарантираща максимална стръмност на изходния сигнал. Наличието на делител на напрежение във веригата на положителната обратна връзка, изграден от резисторите R1, R2 и R3, води до повишен хистерезис на компаратора и в резултат на това полезният сигнал се филтрира от съпътстващите го шумове.
- Блок за обработка на сигналите, в който основният елемент е микроконтролер ATMega328 за извършване на изчисления. На втория бит от порт "D" (PD2)



***Фиг. 2**. Система за управление на задвижването*

постъпват формираните сигнали от компаратора, като при първоначалната конфигурация на микроконтролера е зададено да предизвика програмно прекъсване при преход на входния сигнал от състояние “true” във “false”, т.е. при преход на сигнала от високо към ниско ниво. При настъпило прекъсване се активира функция, обработваща прекъсването - нейната задача е да прочете показанието на вътрешния часовник на микроконтролера и да изчисли изминалото време между текущото прекъсване и прекъсване, настъпило на по-преден етап от време. След като бъде изчислено времето между две прекъсвания, се връща управлението на основната функция, където се извършва изчисляването на моментната скорост, а от последните 16 стойности се изчислява средно-аритметичната стойност на скоростта на въртене. На базата на моментната скорост и заданието се изчисляват разсъгласуването и съответно пропорционалната и интегралната константа, а също така, като се отчете разликата спрямо запазени минали стойности на моментната скорост, се изчисляват скоростта на нейното изменение и диференциалната константа.

По време на всеки програмен цикъл се измерва в относителни единици напрежението на плъзгача на потенциометъра RP1 чрез прочитане на аналоговия вход PC5. След подходящо скалиране и изчисляване на средно аритметично от последните 16 стойности резултатът се запаметява като актуална стойност на заданието за скорост на въртене.

Следващата задача на програмата в микроконтролера е сканирането на цифровите входове PD5, PD6, PD7 и PB0, свързани съответно към бутоните SW1, SW2, SW3 и SW4, като в нормално състояние те поддържат високо ниво поради това, че при първоначалното стартиране на програмата се включват вътрешните 20 kΩ издърпващи “pull up” резистори. При натискане на бутон съответният вход се задържа на ниско ниво, но с цел избягване на нежелани сработвания от електромагнитни смущения бутонът се смята за натиснат след като при сто последователни проверки програмата е прочела ниско ниво на съответния вход.

Натискането на бутона SW1 има действието на “start”, като води до промяна на вътрешен бит към състояние “true” и дава разрешение за изчисляване на необходимия коефициент на запълване и зареждането му в регистъра за хардуерен ШИМ, водещо до появата на широчинно-импулсен сигнал на изхода PB1.

Натискането на бутона SW2 има действието на “stop”, като води до „преобръщане” на вътрешния бит в състояние “false” и съответно установява ниско ниво на изхода PB1.

Натискането на бутоните SW3 и SW4, имащи действието на “-“ и “+”, зареждат различни стойности на деление в делителя във веригата на таймер1, водещо до промя-

на на честотата на ШИМ със следните възможни стойности: 122,07Hz, 244,14Hz, 488,28Hz, 976,56Hz, 1953,13Hz, 3906,25Hz, 7812,5Hz, 15625Hz, 31 250Hz, 62500Hz.

На всеки 0,5 s, чрез изходите PB2, PB3, PB4, PB5, PC0 и PC1 микроконтролерът подава информация към дисплея за стойността на заданието, усреднената скорост на въртене, честотата и коефициента на запълване на ШИМ.

- Усилвател по мощност, реализиран с интегралната схема IR2113 [8], извършва усилване по ток и напрежение на широчинно-импулсния сигнал, генериран от контролера, като същевременно разделя галванично изхода на микроконтролера от гейта на управляващия транзистор.
- Мощен управляващ ключ, изпълнен с транзистор T1, диод за обратен ток D1 и индуктивност L1, намаляваща пулсациите на тока в товара и транзистора.
- Блок за визуализация, изпълнен с LCD2004 [9] с 4 реда и 20 символа на ред, даващ информация за стойността на заданието, скоростта на въртене, честотата и коефициента на запълване на ШИМ.

Системата за управление на тока I_T през товара е идентична, но в нея отсъстват формирователя на импулси, LCD дисплея и бутоните SW1-SW4, а на мястото на електродвигателя е свързан товарният резистор R_T и прочетената стойност от потенциометър RP2 (включен на мястото на RP1) след деление на четири се зарежда в регистъра за хардуерен ШИМ.

МЕТОДИКИ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ИЗСЛЕДВАНИЯ

Изграждането на лабораторната система създава възможности за провеждане на изпитания в различни аспекти при спазване на условията за безопасна работа:

- изследване работните характеристики на постояннотоков електродвигател с импулсен регулатор,
- снемане на товарните характеристики на синхронен генератор,
- изследване ефективността на работа на токоизправителите и регулаторите при различни начини и степен на изглаждане на пулсациите на изправеното напрежение,
- изследване ефективността на работа на регулатора и двигателя при промяна на честотата на ШИМ,
- оптимизация на ефективността на задвижването при различни режими на работа.

Разработена е методика за снемане на механични и електромеханични характеристики:

$$\omega = f(M),\ \omega = f(I) \quad (1)$$

При използването на подходящ мрежов анализатор (в случая NETVISION 2010) [10] може да се определи и изменението на енергийните показатели на задвижването (фактор на мощността $cos\varphi$, кпд η, коефициенти на изкривяване на формата на тока THD_I и напрежението THD_U) при промяна на натоварването:

$$cos\varphi = f(M),\ \eta = f(M), \quad (2)$$

$$THD_I = f(M),\ THD_U = f(M). \quad (3)$$

Редът за провеждане на изпитанията е следният:

1) Реализира се схемата (фиг.1) при избран вариант на филтъра. Осигурява се минимално натоварване ($I_{Tmin.}$).

2) Задават се стойности на честотата на ШИМ и на скоростта (чрез бутоните SW3 и SW4 и потенциометъра RP1).

3) Затваря се автоматичният прекъсвач *AF*.

4) Двигателят се включва посредством натискане на бутон “Start” (SW1) от управляващия панел. Следят се показанията на мрежовия анализатор ($P, Q, U, I, cos\varphi$, THD_I и THD_U) и на цифровите волтметри и амперметри, както и визуализираните величини на дисплея и на ЕК. Изчисляват се ъгловата скорост, въртящият момент и мощността на вала:

$$\omega=\pi.n/30; \quad (4)$$

$$P=M/\omega \quad (5)$$

5) Двигателят се натоварва чрез увеличаване на тока I_T през R_T (чрез потенциометъра RP1). По този начин се извършват няколко измервания при различен товар.

6) Двигателят се изключва посредством натискане на бутон ”Stop” (SW2).

Аналогично се провеждат изследвания при други зададени скорости.

По този начин се получават фамилия механични и електромеханични характеристики, както и зависимости на енергийните показатели от натоварването при различни скорости.

Аналогично могат да се проведат изследвания при различни стойности на честотата на ШИМ или при други варианти на филтъра.

Следователно може да се изследва ефективността на задвижването при различни начини и степен на изглаждане на пулсациите на изправеното напрежение и при вариране на честотата на ШИМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада е разработена система за управление на постояннотоково задвижване с импулсно регулиране на напрежението, подавано към двигателя. Такива задвижвания намират голямо приложение за работни механизми с малка мощност в промишлеността и транспорта. Избрани са елементите от системата, базирана на микроконтролер ATMega328, като е осигурена обратна връзка по скорост и възможност за промяна на честотата на ШИМ. Лабораторният стенд предлага възможности за провеждане на различни научни изследвания и експерименти за определяне на ефективността на задвижването в зависимост от реализираната схема и параметрите за настройка. Разработена е методика за снемане на характеристики, която може да бъде приложена при провеждане на изпитания в различни аспекти.

REFERENCE

[1] A. Hughes, Electric Motors and Drives – Fundamentals, Types and Applications. Third edition, Elsevier Ltd, 2006

[2] U. Bakshi, M. Bakshi, Electrical Drives and Control, Technical Publications Pune, India, 2009

[3] I. Boldea, A. Nasar, Electrical Drives, CRC/Taylor & Francis Group, NY, 2006

[4] E. Dimitrova, Building automation and control systems, Acad. Journal "Mechanics, Transport, Communications", art.ID: 1395, Issue 3/2, 2016

[5] The essential guide of Automation & Control, Schneider Electric, 2012

[6] ATmega328/P – Datasheet Complete, Atmel Corporation, Technology Drive, USA, 2016

[7] LM393, LM293, LM193, LM2903 Dual Differential Comparators, Texas Instruments, Dallas, USA, 2017

[8] IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF - Data Sheet No. PD60147 rev.U, International rectifier, Infineon, 2005

[9] 2004A LCD Module Specification, ORISE Technology Co., Ltd., 2007

[10] Net Vision 2010 Three-phase network analyzer, http://bg.emsyst.com/netvision.php

СТАТИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА РЕГУЛИРУЕМО АСИНХРОННО ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ ПРИ ОТЧИТАНЕ НА ЗАГУБИТЕ В СТОМАНАТА

Димитър Спиров
Университет по хранителни технологии - Пловдив

STATIC CHARACTERISTICS OF REGULATED INDUCTION ELECTRIC DRIVE TAKING INTO ACCOUNT THE STEEL LOSSES

Dimitar Spirov
University of Food Technologies – Plovdiv

Abstract

An algorithm has been developed to determine the static characteristics of induction motors in account of steel losses. The applicability of the algorithm in the frequency control system has been investigated while maintaining constant overload and constant speed for various modes over the whole range of electric drive operation.

Keywords: static characteristics, induction motor, steel losses.

ВЪВЕДЕНИЕ

При изследване на преходните и установените процеси в асинхронните машини и на регулируемите асинхронни електрозадвижвания се използват модели на асинхронната машина, представени в координатни системи, въртящи се с различни скорости [1, 2, 3, 5]. Преобразуването на координатните системи позволява да се опростят уравненията и да се получат постоянни коефициенти пред променливите величини, но не намалява броя на уравненията. От друга страна в зависимост от целта на изследванията и от необходимите резултати в моделите се използват в качеството на зависими променливи токовете и пълните потоци съответно на статора, на ротора и на намагнитващия клон, или различни комбинации между тях. Особено полезни са подобни модели при регулируемите асинхронни електрозадвижвания, когато трябва да се регулира определена величина, като е удобно регулируемата величина да се получава директно без да се използват допълнителни преобразувания. Освен това тези модели могат да се използват за определяне на консумираните активна, реактивна и пълна мощности на асинхронната машина при динамичните и установените режими [1, 2].

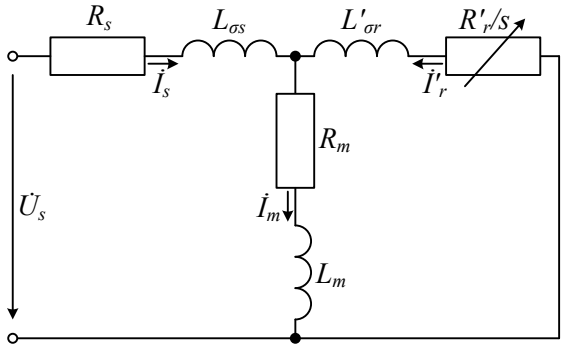
При честотоното управление, което се използва за управление на асинхронните машини с по-ниски изисквания към качеството на регулиране на скоростта, като например регулиране на скоростта при механизми с константен съпротивителен момент, за да се поддържат практически постоянни к.п.д., фактор на мощността и коефициентът на претоварване е необходимо пълният магнитен поток да се поддържа постоянен и близък до номиналния в целия диапазон на работа [1, 2]. Управление при константен пълен магнитен поток може да се получи на базата на статичната механична характеристика на асихронната машина като се изменят пропорционално статорното захранващо напрежение и неговата кръгова честота. Възможността да се определи статичната механична характеристика с висока точност позволява получаването на различни алгоритми за управление при поддържане на постоянно претоварване, посто-

янна скорост и др. в целия диапазон на работа на електрозадвижването.

Целта на настоящия доклад е да бъде разработен алгоритъм за определяне на статичните характеристики на асинхронните двигатели при отчитане на загубите в стоманата. Необходимо е да се изследва приложимостта на алгоритъма при система за честотоно регулиране на скоростта при поддържане на постоянна претоварваща способност и постоянна скорост при различни задания на честотата в целия диапазон на работа на електрозадвижването.

ИЗЛОЖЕНИЕ

На фиг. 1 е дадена заместващата схема на фазата на асинхроония двигател (АД) [3, 4].



***Фиг. 1**. Заместваща схема на АД*

За тази схема по законите на Кирхоф можем да запишем система уравнения:

$$\begin{cases} \dot{U}_s = Z_s\dot{I}_s + Z_m\dot{I}_m; \\ 0 = Z_r\dot{I}_r + Z_m\dot{I}_m; \\ \dot{I}_m = \dot{I}_s + \dot{I}_r. \end{cases} \quad (1)$$

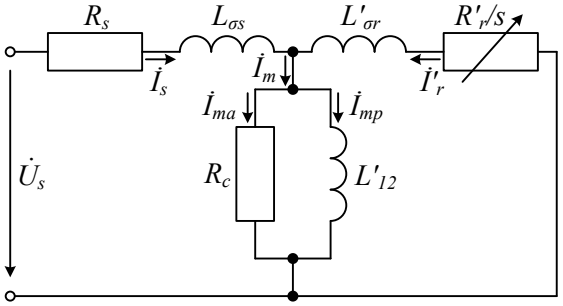
където: $Z_s = R_s + j\omega_s L_{\sigma s}$; $Z_r = R_{rs} + j\omega_s L_{\sigma r}$; $R_{rs} = R_r/s = R_r + (1 - s)R_r/s = R_r + R_Д$; $Z_m = R_m + j\omega_s L_m$; $\dot{E}_m = Z_m\dot{I}_m = (R_m + j\omega_s L_m)\dot{I}_m = R_c\dot{I}_{ma} = jX'_{12}\dot{I}_{mp} = j\omega_s L'_{12}\dot{I}_{mp} = j\omega_s \dot{\Psi}_m$.

От горната система можем да изчислим токовете във веригата:

$$\begin{aligned} \dot{I}_s &= \dot{U}_s\left(Z_r + Z_m\right)/Z_e; \\ \dot{I}_r &= -\dot{U}_s Z_m / Z_e; \\ \dot{I}_m &= \dot{U}_s Z_r / Z_e. \end{aligned} \quad (2)$$

В изразите за токовете в различните клонове въвеждаме елвивалентното съпротивление: $Z_e = Z_s Z_r + Z_s Z_m + Z_r Z_m$.

Реалната и имагинерната съставки на комплексното съпротивление $Z_e = R_e + jX_e$ можем да представим с изразите: $R_e = R_{e1} + R_{e2}/s$; $X_e = X_{e1} + X_{e2}/s$, където: $R_{e1} = R_s R_m - \omega_s^2[L_{\sigma s}L_{\sigma r} + L_m(L_{\sigma s} + L_{\sigma r})]$; $R_{e2} = R_r(R_s + R_m)$; $X_{e1} = \omega_s[R_s(L_{\sigma r} + L_m) + R_m(L_{\sigma s} + L_{\sigma r})]$; $X_{e2} = \omega_s R_r(L_{\sigma s} + L_m)$.



***Фиг. 2**. Заместваща схема на АД с отчитане на загубите в стоманата*

Въвеждането на допълнително активно съпротивление в намагнитващия клон R_c, паралелно свързано на индуктивното съпротивление на взаимна индукция X'_{12}. дава възможност да се отчетат загубите в стоманата [4] (фиг. 2). По този начин намагнитващия ток $\dot{I}_m$ има две съставки: активна $\dot{I}_{ma}$, която определя мощността на загубите в стоманата, и реактивна $\dot{I}_{mp}$, която възбужда основния магнитен поток в магнитопровода (фиг. 2). Тези две съпротивления се определят с изразите [4]:

$$R_c = \frac{R_m^2 + X_m^2}{R_m};\ X'_{12} = \frac{R_m^2 + X_m^2}{X_m}. \quad (3)$$

Пълният взаимен магитен поток на АД може да се определи с израза:

$$\dot{\Psi}_m = \frac{\dot{E}_m}{j\omega_s} = \frac{Z_m\dot{I}_m}{j\omega_s} = \frac{R_c\dot{I}_{ma}}{j\omega_s} = L'_{12}\dot{I}_{mp}, \quad (4)$$

където $L'_{12} = X'_{12}/\omega_s$.

В израза за електромагнитния момент

$$M_e = 1{,}5\,p_p\,Im\left(\dot{\Psi}_m\bar{\dot{I}}_r\right) \quad (5)$$

като заместим полученото по-горе и групираме по степените на хлъзгането s, получаваме:

$$M_e = 1{,}5 p_p U_s^2 k_1 s / \left(k_2 s^2 + k_3 s + k_4\right) = k_M s / \left(k_2 s^2 + k_3 s + k_4\right), \quad (6)$$

където $k_M = 1{,}5 p_p U_s^2 k_1$; p_p са брой двойки полюси на двигателя, а за коефициентите $k_1 \div k_4$ получавме: $k_1 = R_r(R_m^2 + \omega_s^2 L_m^2)$; $k_2 = \omega_s(R_{e1}^2 + X_{e1}^2)$; $k_3 = 2\omega_s(R_{e1}R_{e2} + X_{e1}X_{e2})$; $k_4 = \omega_s(R_{e2}^2 + X_{e2}^2)$.

От (6) можем да изразим хлъзгането s_c, което се получава при даден съпротивителен момент M_c:

$$s_c = \frac{k_M - k_3 M_c - \sqrt{\left(k_3^2 - 4k_2k_4\right)M_c^2 - 2M_c k_3 + k_M^2}}{2M_c k_2}. \quad (7)$$

За критичният момент M_k и критичното хлъзгане s_k получаваме изразите:

$$M_k = k_M \sqrt{k_2 k_4} / \left(2k_2k_4 + k_3\sqrt{k_2k_4}\right); \quad s_k = \sqrt{k_4 / k_2}. \quad (8)$$

При честотното управление регулирането на скоростта е свързано с определянето на ефективната стойност и честотата на статорното напрежение. Така например ако прилагаме закона за управление U_s/f_s = const, по (8) можем да изчислим спада на критичния момент при пропорционалното намаляване на U_s и f_s. За да получим $M_k = M_{kN}$ = const в целия диапазон на регулиране от (8) можем да определим U_s, съответстващо на f_s:

$$U_{s(M_k = M_{kN})} = \sqrt{\frac{M_{kN}\left(2k_2k_4 + k_3\sqrt{k_2k_4}\right)}{3p_p k_1 \sqrt{k_2k_4}}}. \quad (9)$$

За да получим $\omega_r = \omega_{rN}$ = const в целия диапазон на регулиране от (6) можем да определим U_s, съответстващо на M_c:

$$U_{s(\omega_r = \omega_{rN})} = \sqrt{\frac{M_c\left(k_2 s_n^2 + k_3 s_n + k_4\right)}{3p_p k_1 s_n}}. \quad (10)$$

ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ

С цел да се проверят разработените алгоритъм и математически модели е изследван трифазен асинхронен двигател тип 4АО-80В-4D с номинални данни 0,75 kW, 380 V, 50 Hz при различни закони за регулиране на честотата на въртене. Техническите данни и параметри на електродвигателя са дадени в Приложение.

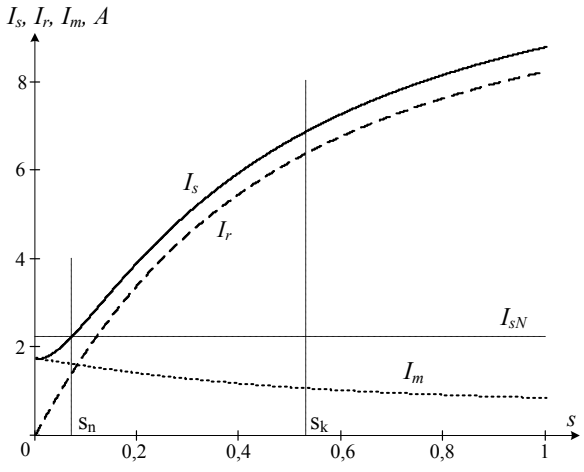
В таблица 1 са сравнени резултати от изчисленията на статорния I_s, роторния I_r и намагнитващия I_m токовете, както и електромагнитния момент M_e при номинално хлъзгане; критичния момент M_k и критичното хлъзгане s_k и пусковия момент $M_П$ при $s = 1$ на електродвигателя по предложената методика с отчитане на загубите в стоманата (ОЗС) с резултати, при неотчитане на тези загуби по изрази предложени в [3, 4].

Таблица 1. Резултати от изчисленията.

Параметър		с ОЗС	без ОЗС	δ, %
I_s	A	2,25	-	-
I_r	A	1,44	1,52	5,91
I_m	A	1,59	-	-
M_e	Nm	5,21	5,85	12,17
M_k	Nm	14,17	15,20	7,29
s_k	-	0,53	0,52	-2,45
$M_П$	Nm	12,53	13,38	6,77

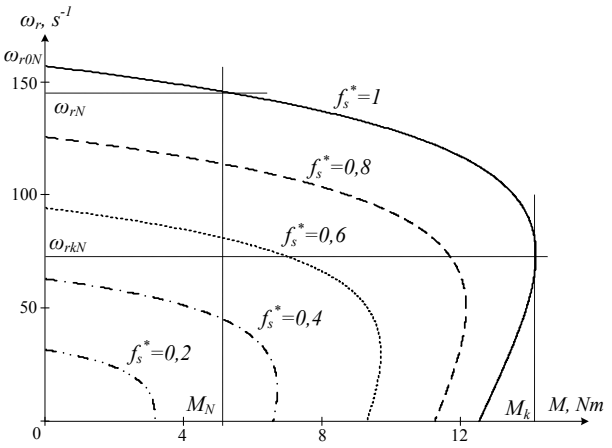
От таблицата се вижда, че неотчитането на загубите в стоманата води до големи изчислителни грешки, като при роторния ток се получава 5,91%, а при електромагнитния момент 12,17%.

На фиг. 4 са представени зависимостите на статорния, роторния и намагнитващия токове при отчитане на загубите в стоманата във функция от хлъзгането s от празен ход ($s = 0$) до късо съединание ($s = 1$) при работа на машината в двигателен режим.



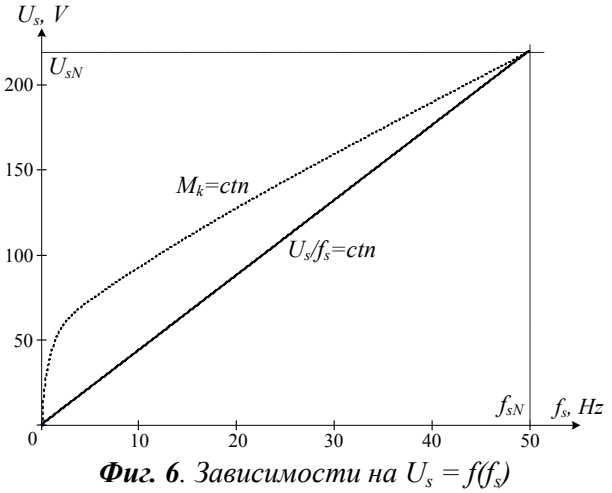
***Фиг. 4**. Зависимости на I_s, I_r, $I_m = f(s)$*

На фиг. 5 са получени по израз (6) зависимостите на ъгловата скорост на ротора ω_r във функция от момента M при честотно управление по закона U_s/f_s = const за различни задания на честотата в относителни единици $f_s^* = f_s/f_{sN}$, където $\omega_r = \omega_s(1 - s)/p_p$; $\omega_s = 2\pi f_s$.



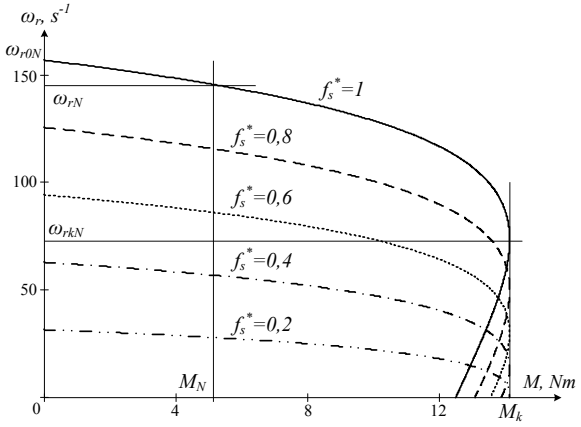
***Фиг. 5**. Зависимости на $\omega_r = (M)$ при U_s/f_s = const*

От горната фигура се вижда, че при ниски честоти ($f_s^* = 0{,}2$) няма пресечна точка между характеристиката на двигателя и на товара, т.е. при този закон за регулиране при ниски скорости спада рязко товарната способност на машината.



***Фиг. 6**. Зависимости на $U_s = f(f_s)$*

На фиг. 6 е получена по (9) зависимостта на ефективната стойност на статорното напрежение във функция от честотата му при поддържане на M_k = const. За сравнение на същата фигура е дадена и завивисимостта при U_s/f_s = const. От фигурата се вижда, че за да се получи постоянна товарна способност на двигателя в целия диапазон на регулиране е нобходимо да се повиши напрежението при дадената честота. На фиг. 7 са дадени механичните характеристики за този режим на работа.



***Фиг. 7**. Зависимости на $\omega_r = (M)$ при M_k = const*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада е разработен алгоритъм за определяне на статичните характеристики на асинхронните двигатели при отчитане на загубите в стоманата.

Показана е приложимостта на алгоритъма при честотоно управление и поддържане на критичния момент, равен на номиналния в целия диапазон на работа на елелтрозадвижването.

REFERENCE

[1] P. Vas. Sensorless Vector and Direct Torque Control, Odord University Press, 1998.

[2] Krishnan, R. Electric motor drives: modeling, analysis and control, Prentice Hall, New Jersey, 2001.

[3] Kluchev V. I. Theory of electric drive, DI Tehnika, Sofia, 1989. (in Bulgarian)

[4] Bojilov G., E. Sokolov, I. Vaklev Electromechanical devices, DI Tehnika, Sofia, 1991. (in Bulgarian)

[5] Spirov D., N. Komitov. Determination of induction machine parameters in case of dynamic and steady-state operating modes, UNITECH'17, Gabrovo, 2017, pp. 101-105. (in Bulgarian)

ПРИЛОЖЕНИЕ

Технически данни и параметри на асинхронен електродвигател тип 4AO-80B-4D:

P_N=0,75kW; U_N=380V; I_N=2,25A; n_N=1390min^{-1}; η_N=72%; cosφ_N=0,72; J_m=0,0013kgm^2.

R_s = 11,8Ω; R'_r = 9,67Ω; $L_{\sigma s} = L'_{\sigma r}$ = 0,0229H; R_m = 5,77Ω; L_m = 0,38H.

НАПРАВЛЕНИЕ 2

ЕЛЕКТРОНИКА И СЕНЗОРНА ТЕХНИКА

SESSION 2

ELECTRONICS AND SENSORS TECHNICS

МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА SEPIC ПРЕОБРАЗУВАТЕЛ И СИНТЕЗИРАНЕ НА СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ

MATHEMATICAL MODELING AND CONTROLLER IMPLEMENTATION OF A SEPIC CONVERTER

Nikolay Hinov, Hristiyan Kanchev, Sabcho Sabev
[1] *Technical University of Sofia, Faculty of Electronic Engineering and Technologies, Department of Power Electronics*

Abstract
In this paper is presented mathematical modelling by the switching function approach of a SEPIC DC-DC converter in continuous conduction mode. Based on the developed model the sizing and design of the circuit elements is performed. The model is implemented in Matlab/Simulink and a controller is developed for constant input current or output voltage operation of the studied converter. Simulations are performed for validation of the circuit and controller operation are performed under disturbances at the converter input and output reference. The modeling and design of the converter and its controller are also validated through experimental results using an evaluation board.

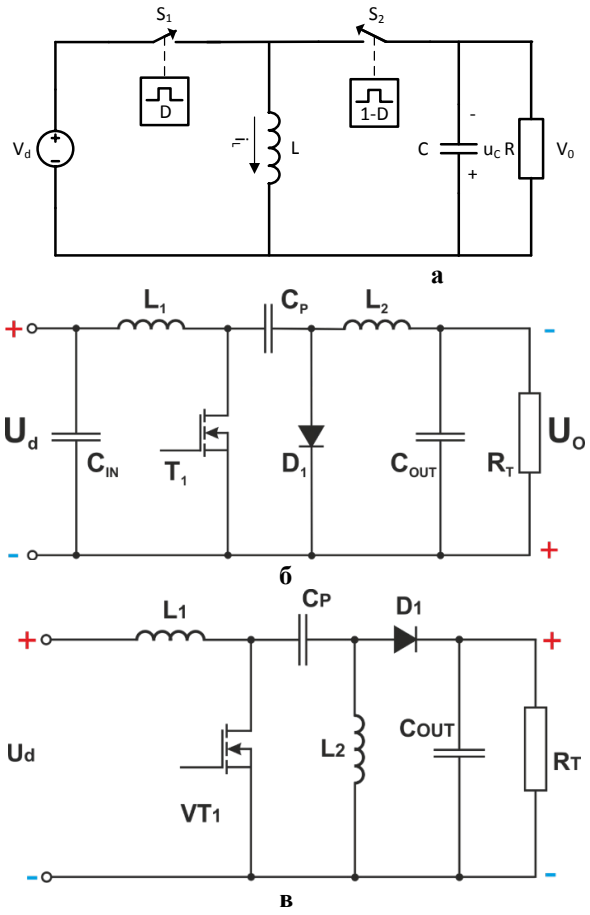
Keywords: DC-DC, power, converter, sepic, single ended, modelling, circuit, design.

ВЪВЕДЕНИЕ

DC-DC преобразувателите са основно звено от процеса на енергопреобразуване. Много рядко се срещат система от силови електронни преобразуватели, с различни приложения, където те да не участват. На практика няма случай на ефективно използване на енергия, където да не се използва DC-DC преобразувател. Цел на настоящата работа е математическо моделиране и проектиране на силовата схема на Sepic преобразувател за постигане на определени параметри при използване на преобразувателя с обратна връзка по ток и напрежение.

Постояннотоковите преобразуватели основно се използват като съгласуващи и/или захранващи модули за съвременната електроника. Сред по-интересните приложения на постояннотоковите преобразуватели е възможността някои видове от тях да бъдат използвани като управляем електронен товар, например за снемане на волтамперна характеристика на фотоволтаични панели, за опитно определяне на параметрите на захранващи източници или тяхното изпитване [1-3]. При такова решение е възможно управлението на консумираната енергия от източника в широки граници според коефициента на запълване на електронния ключ (или ключове, в зависимост от конкретната топология), което превръща този преобразувател в управляем товар по вход, спрямо захранващия източник. Задължително условие за устройство, изпълняващо ролята на електронен товар е токът, консумиран от схемата да бъде непрекъснат. Тук също трябва да се обърне внимание, защото не всеки тип постояннотоков преобразувател е подходящ за целта. Измежду безтрансформаторните едноключови преобразуватели понижаващо-повишаващият (фиг.1-а), преобразувателят на Чук (фиг.1-б) и Sepic (фиг. 1-в) имат такава регулировъчна характеристика, че от гледна точка на източника могат да симулират еквивалентно съпротивление от близка до нула до близка до безкрайност стойност (таблица 1) [4-8]. Тази особеност ги прави изключително подходящи за употреба като управляем постояннотоков товар. Понижаващо-повишаващият и преобразувателят на Чук имат недостатъка, че изходното напрежение е с обърнат поляритет спрямо входното (Таблица 1). От друга страна, преобразувателят на Чук има галванично разделяне между входа и изхода посредством кондензатора *Ср*.

SEPIC преобразувателят има предимство пред другите две разглеждани схеми, поради факта, че изходното напрежение не е с инвертирана полярност спрямо входното, а също така входа и изхода на преобразувателя са галванично разделени (фиг. 1-в). Тези особености правят интересна за изследване топологията Sepic. В същото време, не са много научните трудове посветени на изследването на тази топология, нейното проектиране и особености на работа. Поради това в настоящия доклад е представено математическо моделиране на силовата схема и нейното проектиране за постигане на определени параметри. Представени са симулационни резултати при използване на преобразувателя с обратна връзка по ток и напрежение.



Фиг. 1. *а) понижаващо-повишаващ преобразувател; б) преобразувател на Чук; в) Sepic*

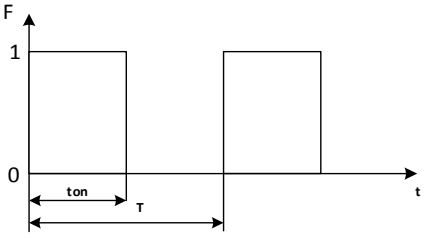
МОДЕЛИРАНЕ НА СИЛОВАТА СХЕМА

При работа в режим на непрекъснат ток могат да се разграничат две състояния на силовата схема: първо състояние - ключ VT1 затворен, а диода D1 е запушен; и второ състояние - ключ VT1 е отворен а D1 е отпушен. Състоянието на ключа и диода се описва математически чрез използването на превключваща функция F, вида на която е показан на фиг. 2.

Таблица 1. Сравнение на трите разгледани топологии.

	Buck-boost	Ćuk	Sepic
(*Vo/Vin*)	$-\frac{D}{1-D}$	$-\frac{D}{1-D}$	$\frac{D}{1-D}$
(*Ri/Ro*)	$\left(-\frac{1-D}{D}\right)^2$	$\left(-\frac{1-D}{D}\right)^2$	$\left(\frac{1-D}{D}\right)^2$
Поляритет на *Uo*	инвертиран	инвертиран	неинвертиран

Всъщност превключващата функция може да се разгледа, като нормиран управляващ импулс за превключване на полупроводниковите ключове. Този нормиран импулс е със две дискретни стойности 0 и 1. Като при стойност 1 полупроводниковият прибор е включен, а при 0 – изключен.



Фиг. 2. *Превключваща функция*

Чрез превключващата функция и анализ на еквивалентната схема при затворен и отворен ключ се получава обобщена система от диференциални уравнения (1), които описват работата на преобразувателя в режим на непрекъснат ток:

$$\begin{cases} L_1 \dfrac{di_{L_1}}{dt} = V_d - F_{inv}.\left(u_{C_1} + u_{C_2}\right) \\ L_2 \dfrac{di_{L_2}}{dt} = F.u_{C_1} - F_{inv}.u_{C_2} \\ C_1 \dfrac{du_{C_1}}{dt} = F_{inv}.i_{L_1} - F.i_{L_2} \\ C_2 \dfrac{du_{C_2}}{dt} = F_{inv}.\left(i_{L_1} + i_{L_2}\right) - \dfrac{u_{C_2}}{R} \end{cases} \quad (1)$$

При решаване на (1) се определят моментните стойности на основните величини, които определят работата на разглеждания преобразувател.

Разработеният модел в среда Matlab/ Simulink е представен на фиг. 3.

Като знаем основните параметри на преобразувателят и гледаме на него като консуматор (от гледна точка на захранващия източник), можем да изведем зависимостта между неговото входно съпротивление Ri спрямо стойността на товарния резистор RT, включен в изходната верига на преобразувателя. Според обозначенията от фиг. 4 за еквивалентното входно съпротивление Ri можем да използваме отношението между захранващото напрежение Ud и консумираният от източника ток I_{in}. Понеже връзката между входното и изходното напрежение в общия случай се изразява чрез отношението:

$$U_d = k.U_O \tag{2}$$

и коефициентът k е функция от коефициента на запълване D, ако пренебрегнем загубите в преобразувателя от баланса мощностите следва:

$$U_d.I_{IN} = U_O.I_O \tag{3}$$

Зависимостта, изразена чрез k между входния и изходния ток за преобразувателя ще бъде:

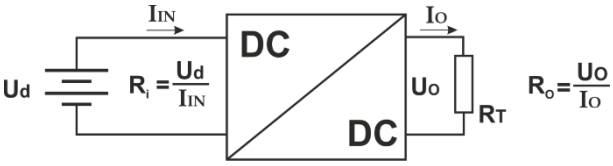
$$I_O = \frac{1}{k}.I_{IN} \tag{4}$$

Тогава за извеждане на отношението между входното и товарното съпротивление на конвертора, използвайки изрази (3) и (4) може да запишем:

$$\frac{R_i}{R_O} = \frac{U_d}{I_{IN}} : \frac{U_O}{I_O} = \frac{U_d}{I_{IN}} . \frac{I_O}{U_O} = \frac{U_d}{I_{IN}} . \frac{I_{IN}}{kkU_d} = \frac{1}{k^2} \tag{5}$$

Използвайки резултата от (5) за SEPIC конвертора можем да изведем зависимостта между входното и изходното съпротивление след заместване на k с израза за регулировъчната характеристика (**Таблица 1**) на преобразувателя се получава:

$$\frac{R_i}{R_O} = \frac{1}{\left(\frac{D}{1-D}\right)^2} = \left(\frac{1-D}{D}\right)^2 \tag{6}$$



Фиг. 4. *Основни входно-изходни параметри на разглежданата схема.*

ПРОЕКТИРАНЕ НА СИЛОВАТА СХЕМА НА ПРЕОБРАЗУВАТЕЛЯ

Първо се изчисляват границите, в които се променя коефициентът на запълване:

$$D = \frac{U_{OUT} + U_D}{U_{OUT} + U_D + U_{IN}} \tag{7}$$

където *Uout* е изходното напрежение, U_D е пада по напрежение в права посока върху диода D1, а U_{IN} е входното напрежение. За минималната стойност на U_{IN} коефициентът ще има максимална стойност, респ. за максимална стойност D ще има най-ниска стойност.

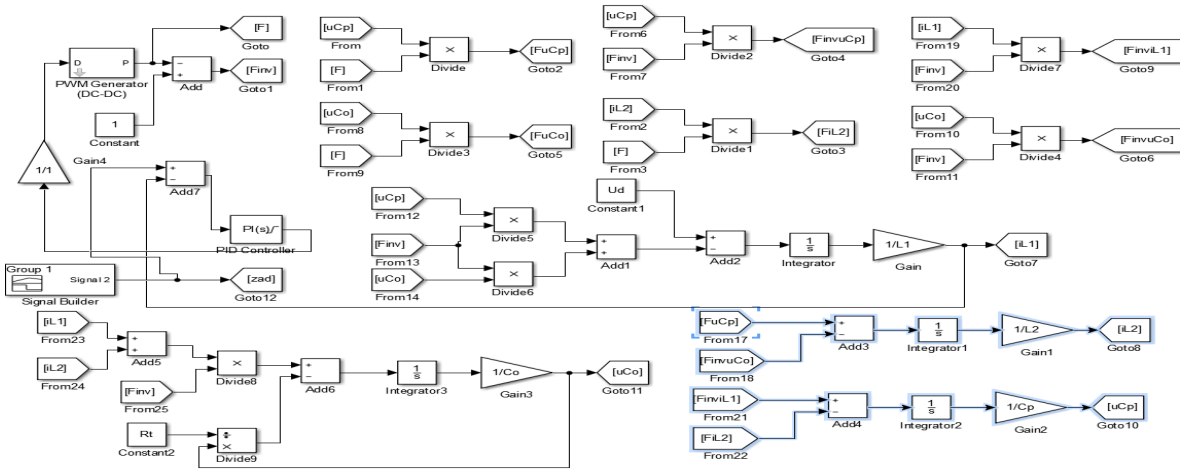
Максималният входен ток се изчислява при минималната стойност на входното напрежение и за консервативен вариант при η = 85%, съгласно израза:

$$I_{IN_max} = \frac{U_{OUT}.I_{OUT}}{\eta.U_{IN\,MIN}} \tag{8}$$

Минималната стойност на L_1, навита на отделна от L_2 сърцевина, се определя от израза:

$$L_1 \geq \frac{U_{IN\,MAX}.D_{MIN}}{f_{SW}.\,\Delta I_{L1}} \tag{9}$$

Стойността на изходния кондензатор C_{OUT} се изчислява спрямо допустимата стойност за пулсациите на изходното напрежение $\Delta U_{OUT.}$



Фиг. 3. *Модел в среда Matlab/Simulink на Sepic преобразувател*

При пренебрегване на загубите в изходния кондензатор (ESR>>0) за пулсациите на изходното напрежение получаваме:

$$\Delta U_{OUT} \leq \frac{I_{OUT} \cdot D_{MAX}}{C_{OUT} \cdot f_{SW}} \quad (10)$$

Където f_{sw} е честотата на превключване, I_{out} е средната стойност на изходния ток и D_{max} е максималният коефициент на запълване. Тогава за изчисляване стойността на изходния кондензатор може да се използва израза:

$$C_{OUT} \geq \frac{I_{OUT} \cdot D_{MAX}}{\Delta U_{OUT} \cdot f_{SW}} \quad (11)$$

Израза, от който се определя стойността на разделителния кондензатор *Cp* е:

$$C_P \geq \frac{I_{OUT} \cdot D_{MAX}}{0{,}1 \cdot U_{IN\,MAX} \cdot f_{SW}} \quad (12)$$

Амплитудата на пулсациите върху този кондензатор е:

$$\Delta U_{CP} = \frac{I_{OUT} \cdot D_{MAX}}{C_P \cdot f_{SW}} \quad (13)$$

Стойността на тока, протичащ през C_P се изчислява с израза:

$$I_{Cp} = I_{INDC} \cdot \sqrt{\frac{1 - D_{MAX}}{D_{MAX}}} \quad (14)$$

Където, I_{INDC} е средната стойност на входния ток. Амплитудната стойност на тока през транзистор VT1 се определя от:

$$I_{VT1m} = I_{INDC} + \Delta I_{L1} + I_{OUT} \quad (15)$$

Максимално допустимото обратно напрежение върху диода трябва да бъде поголямо от:

$$U_{Rmax} = U_{INmax} + U_{OUT} + U_F \quad (16)$$

където U_F е пада по напрежение върху диода в права посока, а U_{INMAX} *и* U_{OUT} са респективно максималното входно и изходното напрежение.

ПРОЕКТИРАНЕ НА СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ И ЗАЩИТА

За управление на преобразувателя е избирана интегрална схема LT8494 на Analog Devices. Схемата е проектирана за входно напрежение до 60V и изходен ток до 2A. Принципната схема е показана на фиг. 5.

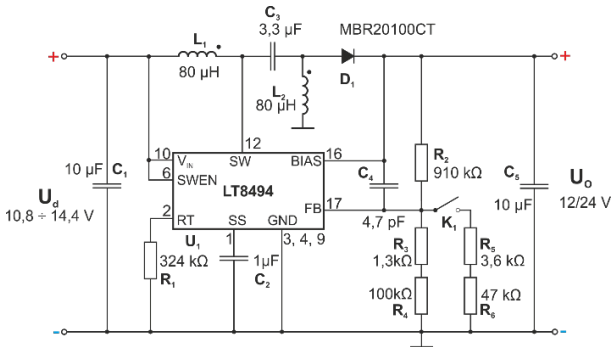
Кондензатор C2, включен към извод 1 на интегралната схема, служи за определяне времето на мек старт. Неговата препоръчителна стойност е в границите от 100 nF до 1 μF. Съгласно каталожните данни стойността на резистор R_1 за работна честота 250 kHz е 324 кΩ.

За изчисляване на делителя $R_2 - R_3$ се използва изразът:

$$R_2 = R_3 . \left(\frac{U_O}{1{,}202} - 1\right) \quad (17)$$

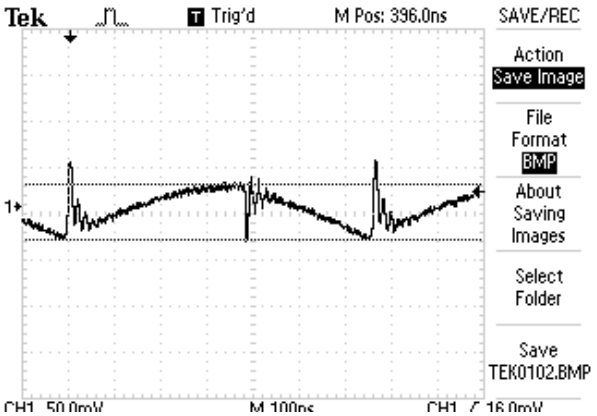
Стойността 1,202 в този израз е праговото напрежение, което активира обратната връзка към извод FB на интегралната схема.

След заместване за изходно напрежение U_O=12V за групата се получават стойности R_3=1,3 kΩ и R_4=100 kΩ. Тъй като проектираната схема работи с фиксирано изходно напрежение 12 или 24 V (превключването става с помощта на ключа K1), при същата стойност на R_2, за стойността на съставният резистор, включен паралелно към групата R_3,R_4 се получава еквивалентна стойност от 47,98 кΩ. Така за последователно свързаните резистори R_5,R_6 се получава общо 50,6 кΩ.

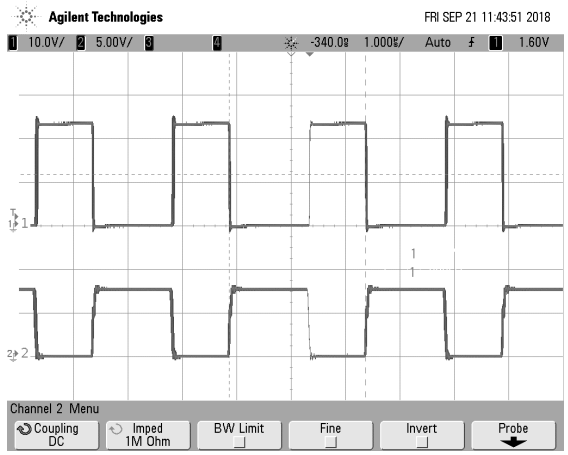


Фиг. 5. *Принципна схема на реализирания SEPIC преобразувател, използван като стабилизатор на напрежение*

С така проектираната схема беше проведено експериментално изследване на работата на устройството. На фиг. 6 са представени пулсациите на изходното напрежение ΔU_{OUT} , а на фиг. 7 гейтовите импулси на транзистора и напрежението върху разделителния кондензатор.



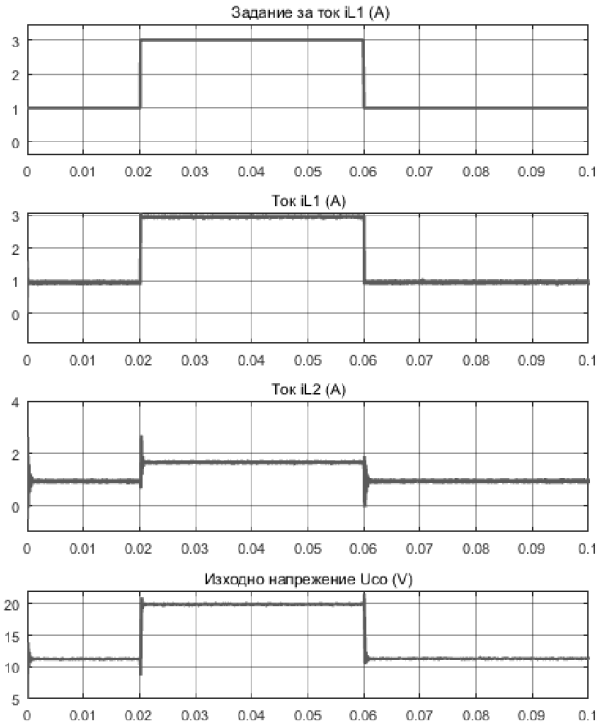
Фиг. 6. *Пулсации на изходното напрежение* ΔU_{OUT}



Фиг. 7. *Напрежение върху кондензатора Ср, управляващи импулси на гейта на транзистора*

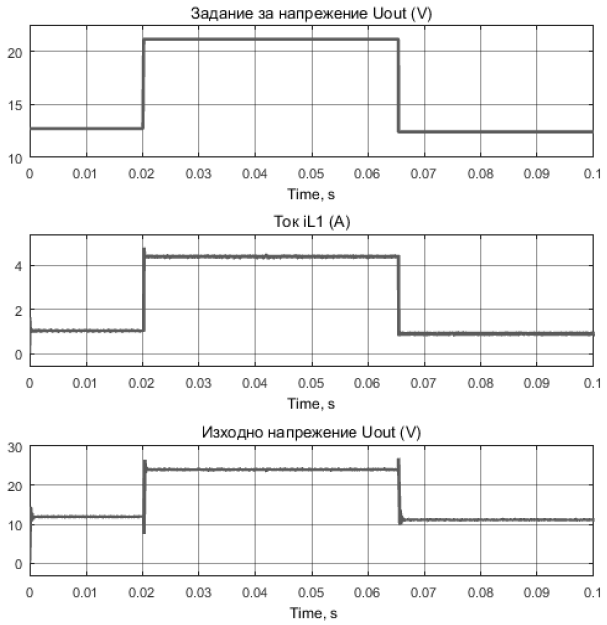
РЕЗУЛТАТИ ОТ СИМУЛАЦИИТЕ

Разработеният модел на преобарзувателя е имплементиран в среда Matlab/Simulink. За управлението са разработени два варианта чрез пропорционално-интегрален регулатор по входен ток и по изходно напрежение. Регулирането по входен ток е необходимо за употребата на преобразувателя като управляем електронен товар. На фиг. 8 са представени резултатите от симулациите с регулиране по ток I_{L1}. От симулационните резултати се вижда, че преобразувателят отработва коректно заданието по ток, което потвърждава работоспособността на проектираната схема и управление.



Фиг. 8. *Резултати от симулациите като стабилизатор на ток*

На фиг. 9 са представени резултатите от симулация на работата на преобразувателя като стабилизатор на напрежение. Заданието за изходно напрежение първоначално е 12V, след което се покачва на 24V. От резултатите се вижда, че заданието се спазва, силовата схема и PI-регулатора работят съгласно очакванията.



Фиг. 9. *Резултати от симулациите като стабилизатор на напрежение*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работата е представен модел на SEPIC преобразувател, който е съставен на базата на превключващата функция. Моделът е реализиран в средата Matlab/Simulink. На базата на този модел е имплементиран контролер, който осигурява работата на устройството като стабилизатор на входен ток и изходно напрежение. Представена е методология за проектиране на преобразувателя в режим на непрекъснат ток. С нейна помощ е извършено проектиране на преобразувателя при зададени входни данни. Представените симулационни резултати потвърждават правилната работа на проектираната схема и система за управление. Резултатите от проектирането и моделирането са потвърдени и експериментално.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследването, представено в доклада е финансирано от НИС при ТУ-София, проект 181ПР0015-03.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Marty Brown, Power supply cookbook, second edition, Butterworth-Heinemann, 2001

[2] E. Popov. "Analysis, Modeling and Design of Converter Units (Computer – Aided Design of Power Electronic Circuits)", Technical University Printing House, Sofia, 2005 (in Bulgarian)

[3] M. P. Kazmierkowski, R. Krishnan, and F. Blaabjerg, Control in power electronics, Academic Press, 2002

[4] Ned Mohan, Undeland, Tore M.; Robbins, William P., „Power Electronics - Converters, Applications, and Design (3rd Edition)", © 2003 John Wiley & Sons

[5] B. L. Dokić, B. Blanuša, "Power Electronics Converters and Regulators" - Third Edition, Springer International Publishing, Switzerland 2015, ISBN 978-3-319-09401-4, 2007

[6] M. Ranjana, R. Kulkari, K. Anita and C. Pooja, Non Isolated Switched Inductor SEPIC Converter Topologies For Photovoltaic Boost Applications, Proceedings of the International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT 16), Nagercoil, India, 18-19 March, 2016, DOI 10.1109/ICCPCT.2016.7530300

[7] Zilin Li; K. W. E. Cheng; Jiefeng Hu, Modeling of basic DC-DC converters, Proceeding of 7th International Conference on Power Electronics Systems and Applications - Smart Mobility, Power Transfer & Security (PESA), 12-14 Dec. 2017

[8] Wei Gu, Designing a SEPIC converter, National Semiconductor application note 1484, June 2007.

MODELLING OF BIDIRECTIONAL DC/DC CONVERTER

Gergana Vacheva[1], Nikolay Hinov[1], Hristiyan Kanchev[1], Bogdan Gilev[2]
[1]Department of Power Electronics, Faculty of Electronic Engineering and Technologies
Technical University of Sofia
8 Kliment Ohridski blvd., 1000 Sofia, Bulgaria
[2]Department of Mathematical Analysis and Numerical Methods, Technical University of Sofia
8 Kliment Ohridski blvd., 1000 Sofia, Bulgaria

Abstract

In the current paper a model of bidirectional DC/DC converter is developed. The proposed model is composed by a separately excited DC motor, a buck-boost converter and a proportional-integral (PI) regulator. The solution is described with the aid of system of differentials equations and realized in the visual environment MATLAB/Simulink. Basically, two operation modes are studied: acceleration mode and braking (regenerative) mode. From the presented and discussed results it might be observed that the model is suitable for multiple applications such as electric vehicles and electric drives. In further researches the control of energy flows between multiple energy storage devices connected to DC bus is considered.

Keywords: bidirectional DC/DC converter, DC motor, mathematical modelling.

INTRODUCTION

Recently, the usage of a bidirectional DC/DC converter are widely distributed for multiple applications such as electric vehicles (EVs), battery charging and discharging devices and etc. The bidirectional dc-dc converters are the basic components of the systems in electric vehicles. The usage of a buck-boost dc-dc converter with DC motor are commonly used structure in electric vehicles (EVs) applications which enable control of the system in two operation modes: acceleration and regenerative braking. Nowadays, multiple bi-directional DC-DC converter topologies used a soft switching control strategy for increasing the efficiency in electric vehicles applications [1-3].

MATHEMATICAL MODELLING

A block scheme of the studied system composed of DC motor, buck-boost converter, battery and control system is presented on Fig.1.

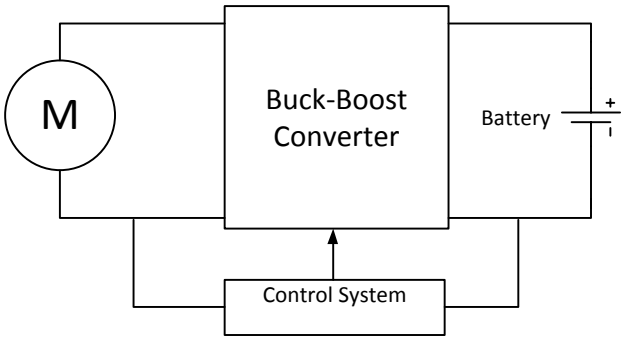


Fig. 1. *Block scheme of the studied system*

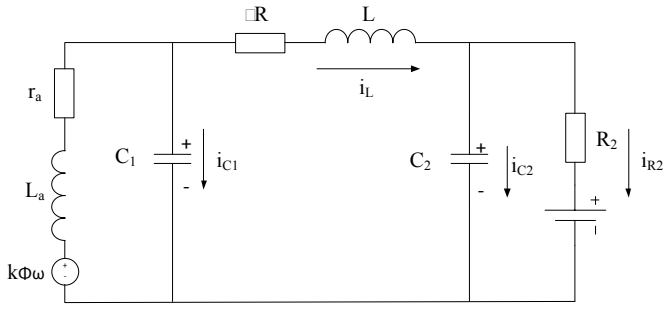


Fig. 2. *Equivalent circuit of the buck-boost converter and DC motor*

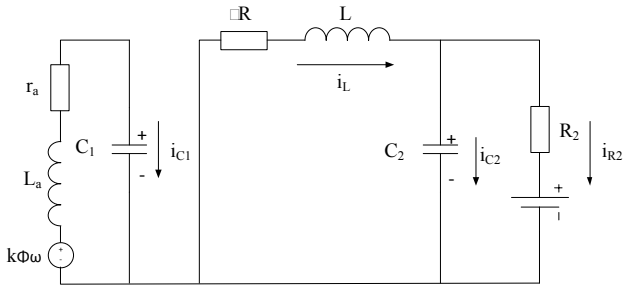


Fig. 3. *Equivalent circuit of the buck-boost converter and DC motor*

$$L\frac{di_L}{dt} = E_d$$
$$C_{UC}\frac{dU_{UC}}{dt} = i_T \quad (1)$$
$$L_T\frac{di_T}{dt} = U_{LT} = U_{UC} - R_T i_T - Ke\omega$$

$$L\frac{di_L}{dt} + U_{UC} = 0$$
$$C_{UC}\frac{dU_{UC}}{dt} = i_L \quad (2)$$

$$r_a i_L + L_a\frac{di_L}{dt} + k\Phi\omega = U \quad (3)$$

$$J\frac{d\omega}{dt} = Ki_L - M_c \quad (4)$$

Where r_a is the armature resistance of the motor, L_a is the armature inductance, $k\Phi\omega$ is the back emf of the motor, ΣR is the sum of the internal resistances of the switches and the inductance, J is the inertia, ω is the angular velocity of the motor, M_c is the resistant moment.

The mathematical model is realized in MATLAB/Simulink and presented on Fig. 4.

The control system is composed by a proportional-integral regulator and operate in two modes accelerations and regenerative braking. The reference is set to control the torque of the DC motor. If the reference is higher than the necessary rounds per minute (i.e. the error is negative) the model operate in acceleration mode. Hence, the duty cycles of the switch S_1 varying in the limits from 0 to 0,5. Otherwise, if the error is positive, than the model operates in regenerative braking and the duty cycle of switch S_2 varying in the limits of 0,5 to 1.

SIMULATION RESULTS

The simulation results are presented in the following figure 5 to 9 with duration of 100 s. It is observed the acceleration mode, establishing the definite linear velocity and regenerative braking.

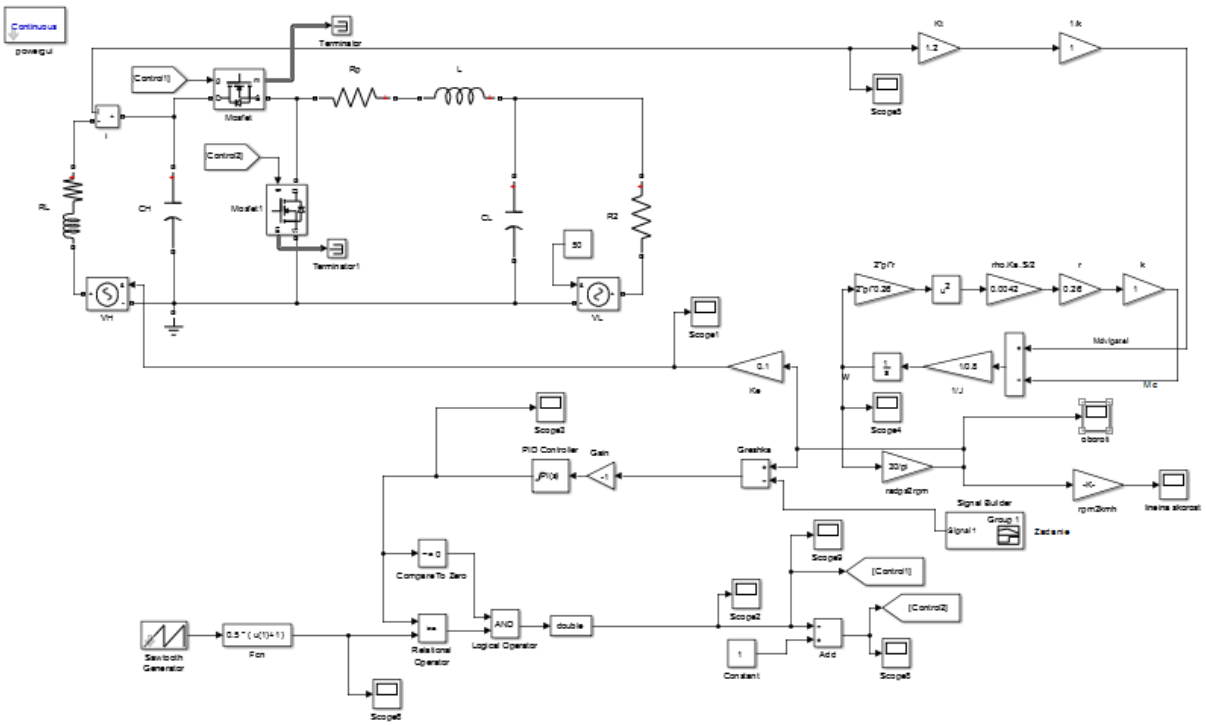


Fig. 4. *Scheme of the simulation in MATLAB/Simulink*

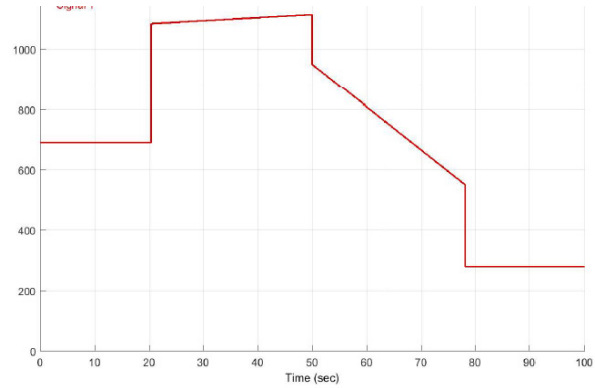


Fig. 5. *Reference of torque in rounds per minute*

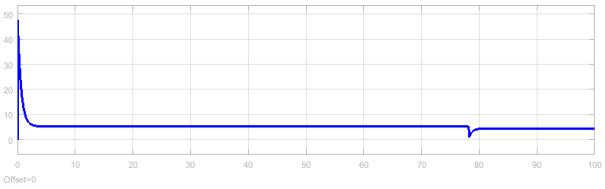


Fig. 6. *Current of the DC motor*

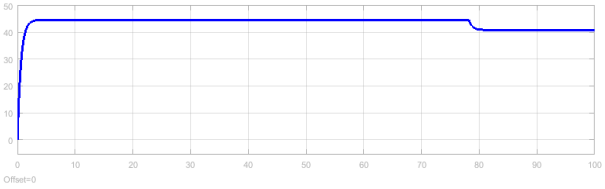


Fig. 7. *Voltage of the DC motor*

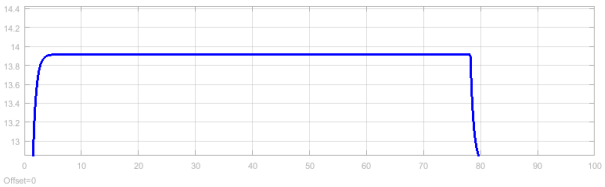


Fig. 8. *Velocity of the electric vehicle*

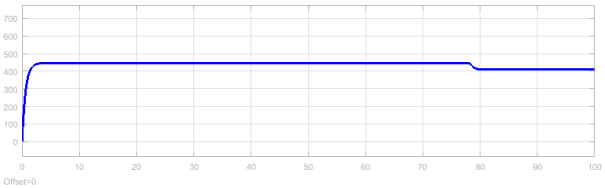


Fig. 9. *Rounds per minute of the of DC motor*

CONCLUSION

A mathematical model of bidirectional DC/DC converter for applications in electric vehicles is presented.

The solution is described with the aid of system of differentials equations and realized in the visual environment MATLAB/Simulink. Basically, two operation modes are studied: acceleration mode and braking (regenerative) mode.

In further researches the control of energy flows between multiple energy storage devices connected to DC bus is considered.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research is funded in the framework of project „Gestion intelligente des flux énergétiques dans des micro- et nano-réseaux” funded by Agence Universitaire de la Francophonie and the Bulgarian National Fund for Scientific Research.

REFERENCE

[1] P. Pany, R.K. Singh, R. K. Tripathi, “Bidirectional DC-DC converter fed drive for electric vehicle system “ International Journal of Engineering, Science and Technology Vol. 3, No. 3, 2011, pp. 101-110.

[2] J. Zhang, J.-S. Lai, W. Yu, “Bidirectional dc-dc converter modeling and unified controller with digital implementation”, Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC 2008, pp.1747-1753, Feb.

[3] D. H. Yu, J.-H. Lee, S.-C. Kim, Y.-S. Lee, C.-Y. Won, Y.-C. Jung, “Auxiliary switch control of bi-directional soft switching DC/DC converter for EV”, 2012 IEEE 7th International Power Electronics and Motion Control Conference - ECCE Asia June 2-5, 2012, Harbin, China, pp. 854-858.

[4] P. A. Mohan, J. Ranga, “A New Bidirectional DC-DC converter for Electric Vehicles Applications”, Research Inventy: International Journal of Engineering and Science Vol.5, Issue 3 (March 2015), pp. -14-19.

[5] K. Sowmya, K.S. Ravi Kumar, “A Review on Bidirectional Isolated DC-DC converter In Electric Vehicle”, International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences, June 2017, Volume 5, Issue 6, ISSN 2349-4476, pp. 826-833.

[6] C. Wang, R. Xiong, H. He, X. Ding, W. Shen, “Efficiency analysis of a bidirectional DC/DC converter in a hybrid energy storage system for plug-in hybrid electric vehicles”, Applied Energy 183, 2016, pp. 612–622.

[7] A. Kumar and P. Gaur, “Operation of DC/DC Converter for Hybrid Electric Vehicle “, International Journal of Electronic and Electrical Engineering, ISSN 0974-2174,

Volume 7, Number 4 (2014), pp. 335-340.
[8] D. Naunin, "Electric vehicles", IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp.11-24, 1996.
[9] Y. A. Makandar, S.Vanamane, "Performance analysis of bidirectional DC-DC Converter for electric vehicle application by using Pi controller", International Journal of Advances in Electronics and Computer Science, ISSN: 2393-2835, Volume-2, Issue-8, aug.-2015, pp.88-91.
[10] S. Du, R. Guo and L. Wang, "Research on bidirectional DC/DC converter for electric vehicle", Applied Mechanics and Materials Vols: 701-702, (2015), pp. 1169-1172.
[11] A. Pathak, V. Sahu, "Review & Study of Bidirectional of DC-DC Converter Topologies for Electric Vehicle Application", International Journal of Science, Engineering and Technology, Volume 3 Issue 6, pp. 101-105.

ОПТИМИЗИРАНЕ НА ТЕРМИЧНОТО СЪПРОТИВЛЕНИЕ НА ОХЛАЖДАЩ РАДИАТОР В ТЕРМОЕЛЕКТРИЧЕСКА ПОМПА

Ивайло Беловски[1], Анатолий Александров[2]
[1]Университет „Проф. д-р Асен Златаров”
[2]Технически Университет - Габрово

OPTIMIZING HEAT SINK THERMAL RESISTANCE IN A THERMOELECTRIC PUMP

Ivaylo Belovski[1], Anatoliy Alaksandrov[2]
[1] Prof. D-r Asen Zlatarov University
[2] Technical University of Gabrovo

Abstract

The tendency of increasing the power of the semiconductor elements and modules is making it more and more difficult to their efficient cooling. As a result there are an increasing number of electronic components, devices and systems that require the use of forced convection air cooling to control their operating temperature.

Thermoelectric cooling systems, using the Peltier effect in their work, have been increasingly used in recent years. The basic unit is the thermoelectric pump into which a thermoelectric Peltier module is integrated. For the normal operation of the Peltier module it is necessary to ensure effective heat transfer between the hot side and the air. For this purpose appropriate heat sink and fan for the hot side are used.

In these systems, it is very important to choose and use both a suitable heat-conductive filling agent and a heat sink of suitable size and design.

The main purpose of this paper is to propose a series of equations for estimating parallel plate-fin heat sink thermal resistance. For purposes of illustration these equations were used to estimate heat sink thermal resistance for an aluminum heat sink.

Keywords: thermal resistance, heat sink, thermoelectric pump.

ВЪВЕДЕНИЕ

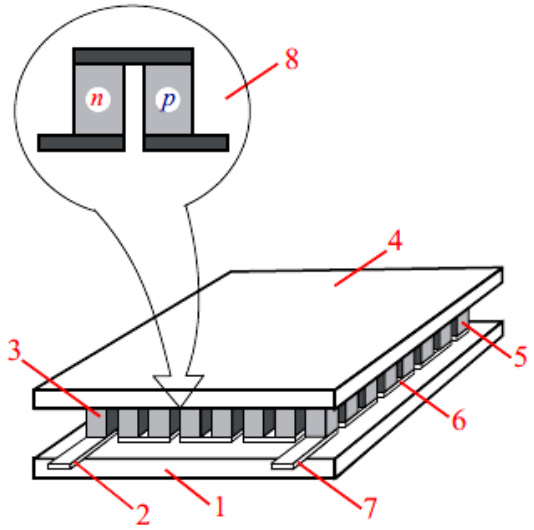
Термоелектрическите охлаждащи системи, използващи при работата си ефекта на Пелтие, намират все по-широко приложение през последните десетилетия – както в космическата и военната техника, така и в бита [1, 2].

Техен основен възел е термоелектрическата помпа, в която е вграден модул на Пелтие. Това е твърдотелен модул, представляващ две керамични плочи, между които са разположени последователно свързани термоелементи (термодвойки) от полупроводници с различен тип проводимост, съединени в единия си край с метална шина – фиг. 1. При работата си, те директно конвертират електрическата мощност в температурна разлика [3, 4].

За по-ефективно отвеждане и разсейване на отделената от горещата страна на модула топлинна мощност се използва радиатор и вентилатор – фиг. 2.

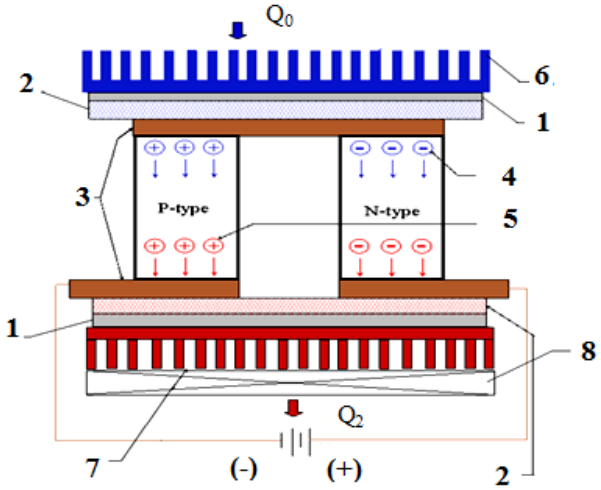
Особено важно е в конструкцията на термоелектрическата помпа да се избере и използва както подходяща термопроводяща паста [5], така и радиатор с подходящи размери и дизайн.

Основната цел на тази статия е да предложи методика за оптимално оразмеряване на един от най - често използваните в термоелектрическите помпи алуминиев радиатор – с паралелно разположени плочи.



Фиг. 1. *Термоелектрически модул*
1, 4 – керамични плочи; 3, 5 – полупроводници с P и N тип проводимост; 6 – съединителна пластина; 2, 7 – електрически изводи;
8 – термоелемент.

Направена е верификация на представените математически изрази, а получените резултати са представени в графичен вид.

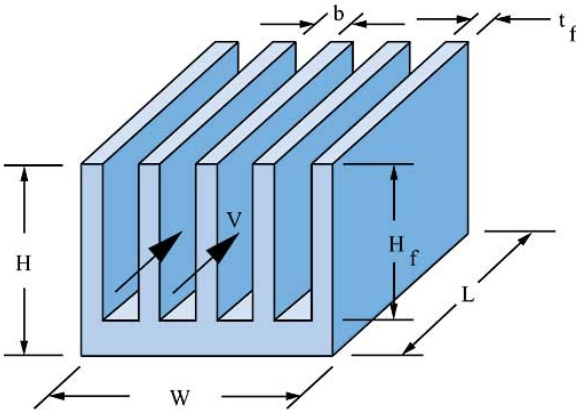


Фиг. 2 *Термоелектрическа помпа:*
1 – термопрово-дяща паста; 2 – керамични плочи; 3 – метални пластини; 4 – електрони; 5 – дупки; 6 – студен радиатор; 7 – горещ радиатор; 8 - вентилатор

ИЗЛОЖЕНИЕ

Тенденцията на увеличаване на мощността на полупроводниковите елементи и модули прави все по-трудна задачата за тяхното ефективно охлаждане. Все по-голям брой електронни компоненти изискват използването на въздушно охлаждане с принудителна конвекция, за да се контролира работната им температурата. Към тази група компоненти спадат и термоелектрическите модули (ТЕМ) на Пелтие, за чиято ефективна работа е нужно отвеждане и разсейване на отделената топлинна мощност.

В компютърната и електронната техника най-широко приложение за охлаждане е намерил алуминиевия радиатор с паралелно разположени плочи – фиг. 3. Имено за оразмеряването такъв тип радиатори е предложената по-долу методика.



Фиг. 3 *Общ вид на радиатор с паралелно разположени плочи: H – височина на радиатора; H_f – височина на ребрата; W – ширина на радиатора; L – дължина на радиатора; b – разстояние между плочите; t_f – ширина на плочите; V – скорост на въздушния поток между плочите*

За да се избере подходящия радиатор за конкретен ТЕМ, е необходимо да се определи максимално допустимото му термично съпротивление R_{max},$^oC/W$. За тази цел, трябва да са известни също и максимално допустимата температура на горещата страна на ТЕМ - T_h,^oC; разсейваната мощност от ТЕМ - P_{TEM},W и термичното съпротивление на използваната термопроводяща паста между ТЕМ и радиатора - R_{int},$^oC/W$. Максимално допустимата температура на работната повърхност на ТЕМ - T_{base}, контактуваща с радиатора се определя с израза [6]:

$$T_{base} = T_h - P_{TEM}.R_{\text{int}} \qquad (1)$$

R_{max} се определя с израза:

$$R_{\max} = \frac{T_{base} - T_{air}}{P_{TEM}} \ , \qquad (2)$$

където T_{air}, ^oC е температурата на въздуха, движещ се между плочите на радиатора.

За по-ефективно отвеждане на отделената от ТЕМ топлинна мощност е необходимо да се подбере радиатор с термично съпротивление $R_{hs} < R_{max}$.

$$R_{hs} = \frac{1}{h.(A_{base} + N_{fin}.\eta_{fin}.A_{fin})} \ , \qquad (3)$$

където: h – коефициент на конвективен топлообмен; A_{base} - експонираната площ на основната повърхност между плочите, N_{fin} - броят на плочите, η_{fin} - ефективност на плочите, а A_{fin} - повърхностната на плочите, като се отчитат и двете страни.

За по нататъшните изчисления е необходимо да се установи максималният допустим обем на охладителя по отношение на ширината W, височина H и дължина (по посока на въздушния поток) L. Също така е необходимо да се определи дебелината на плочата, t_{fin} (фиг. 3). Използвайки тези параметри, разстоянието b между плочите може да бъде определена от:

$$b = \frac{W - N_{fin}.t_{fin}}{N_{fin} - 1} \qquad (4)$$

Откритата площ на основата между плочите може да бъде определена от:

$$A_{base} = (N_{fin} - 1).b.L \ , \qquad (5)$$

а самата повърхност на плочите A_{fin} е:

$$A_{fin} = 2.H_f.L \qquad (6)$$

Необходимо е също да се определи скоростта на въздушния поток между плочите или по отношение на средната скорост V или по отношение на обемния дебит G. Ако се използва обема на въздушния поток, съответната скорост на въздуха между плочите е:

$$V = \frac{G}{N_{fin}.b.H_f} \qquad (7)$$

За определяне на коефициента на топлопредаване, действащ върху плочите на радиатора, се използва уравнението: [7]

$$N_{u_i} = \left[\frac{1}{\left(\frac{\mathrm{Re}.\mathrm{Pr}}{2}\right)^3} + \frac{1}{\left(0,66\sqrt{\mathrm{Re}}\,\mathrm{Pr}^{1/3}\sqrt{1+\frac{3,65}{\sqrt{\mathrm{Re}}}}\right)^3} \right]^{-1/3} \qquad (8)$$

където: Nu – коефициент на Нуселт (представлява съотношението на интензивността на топлообмена за сметка на конвекцията към интензивността на топлообмена за сметка на топлопроводността); Re – коефициент на Рейнолдс; Pr – коефициент на Прандатл.

$$\mathrm{Pr} = \frac{\mu c_p}{k} \ , \qquad (9)$$

където: μ - динамичен вискозитет на въздуха; Cp - специфична температура на въздуха при постоянно налягане; k – коефициент на топлопроводност на въздуха.

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V b}{\mu}.\frac{b}{L} \ , \qquad (10)$$

където: ρ – плътност на въздушния поток.

Използвайки израз (8), за коефициента на топлопредаване се получава:

$$h = Nu_i.\frac{k}{b} \qquad (11)$$

Коефициентът на ефективност на плочите на радиатора се дава с израза:

$$\eta_{fin} = \frac{\tanh(m.H_f)}{m.H_f} \qquad (12)$$

$$m = \sqrt{\frac{2h}{k_{fin}.t_{fin}}} \ , \qquad (13)$$

където K_{fin} – коефициент на топлопроводност на плочите (на Алуминия)

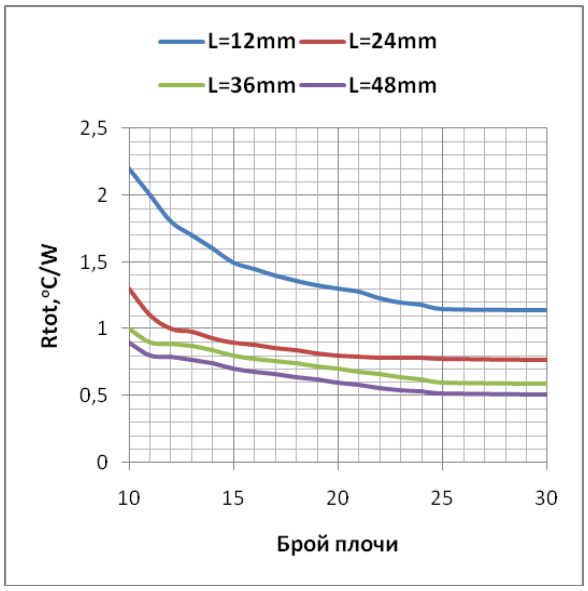
Чрез използването на уравненията (1) – (13) е възможно да се оцени топлинната

ефективност на радиатора. За да се получи пълното термично съпротивление на радиатора R_{tot}, трябва да се отчете и термичното съпротивление, което оказва самата основа на радиатора:

$$R_{tot} = R_{hs} + \frac{H - H_f}{k_{base}.W.L}\ , \qquad (14)$$

където K_{base} - коефициент на топлопроводност на основата на радиатора.

За верифициране на гореописаните формули (за определяне на термичното съпротивление на радиатор), бяха направени изчисления за алуминиев радиатор с габаритни размери на основата $W = 50mm$ и $L = 50mm$, четири различни дължини и различен брой на паралелно разположените плочи, при постоянна скорост на въздушния поток $V=2,5\ m/s$. Получените резултати са показани в графичен вид на фиг. 4.



Фиг. 4. *Зависимост на термичното съпротивление R_{tot} от броя и дължината на плочите на алуминиев радиатор*

От фигурата се вижда, че за намаляване на R_{tot} трябва да се увеличи или дължината или броя на плочите. Резултатите показват, че увеличаването на броя на плочите над 20 не води до чувствително намаление на термичното съпротивление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Правилният подбор на охлаждащ радиатор е много важна част от проектирането на една термоелектрическа система. Грешните решения могат да доведат до значително понижение на ефективността на работа и к.п.д.

Предложената методика позволява на специалистите, чрез изчисления на термичното съпротивление R_{hs} и коефициента на топлопредаване h да оптимизират размера на охладителя, броя на използваните паралелни плочи и тяхната дължина и по този начин да постигнат максимална ефективност при работата на активния елемент - ТЕМ на Пелтие.

REFERENCE

[1] Tritt T., M. Kanatzidis, H. Lyon, G. Mahan, Thermoelectric Materials – New Directions and Approaches, MRS, Pittsburgh, V.478, 1998

[2] Шостаковский П., Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники, Силовая електроника, №12, 2009

[3] Aleksandrov A. Poluprovodnikovi elementi I integralni shemi. Eks-pres, Gabrovo, 2012.

[4] Belovski I. Thermoelectric Cooling System Modeling. Assen Zlatarov University Annual, Vol. XLV, book 1, 2016, 24-28.

[5] Belovski, I., S. Sotirov, A. Alexandrov, N. Sotirov, Recognition of heat - conductive filling agents of a thermoelectric refrigeration system with Focused Time - Delay Neural Network, IEEExplore, 2017, 166-169.

[6] Simons R. Estimating parallel plate fin heat sink thermal resistance, Electronics cooling, 2015.

[7] Teertstra, P., Yovanovich, M.M., and Culham, J.R. Analytical Forced Convection Modeling of Plate Fin Heat Sinks. Proceedings of 15th IEEE Semi-Therm Symposium, 1999, pp. 34-41.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА МНОГОФАЗНИ ИЗТОЧНИЦИ НА ТОК ЗА ЗАРЯДНИ СТАНЦИИ

INVESTIGATION OF MULTIPHASE CURRENT SOURCES FOR CHARGING STATIONS

Stoyan Vuchev[1], Dimitar Arnaudov[1]
[1] *Technical University of Sofia, Bulgaria*
stoyan.vuchev@tu-sofia.bg, dda@tu-sofia.bg

Abstract

The paper presents investigation of two multiphase current source topologies for charging applications in energy storage systems. The current sources consist of identical modules with different connections between each other. The modules are realized on the base of resonant converters and rectifiers. Using different system topologies, different modular multiphase current sources with specific characteristics are obtained. The paper points advantages and disadvantages of the two examined topologies. Simulation models are developed in LTspice for the investigation purposes. The asymmetric operation, the ripple, the output current control options and the efficiency of the two converters are compared. The stresses over the passive and the semiconductor components are discussed, including considerations for the circuit design.

Keywords: Charging Stations, Current-Driven Converter, Multiphase Topology.

INTRODUCTION

Current-driven topologies based on resonant power converters [1, 2] are often used for charging applications due to their high overall efficiency and ability to provide different operating modes throughout the charging process. Such converter systems are often realized on a modular principle with several modules operating to a common load [1, 2, 3] in order to provide higher output power and reliability.

As a result of the circuit components tolerances, asymmetry in the topology operation may occur depending on the interactions between the individual modules [2]. The type of connection between the modules may either facilitate or prevent from such events.

The following paper presents results from investigation of two current-driven topologies suitable for charging applications. Modelling and simulation examination of the converters is performed in the environment of LTspice. On the base of the obtained results, comparison between the two systems is made. The advantages and disadvantages are discussed considering the interference between the individual modules during operation, as well as, the whole topology behavior with respect to the load.

EXAMINED CHARGING CONVERTER TOPOLOGIES

Fig. 1 and Fig. 2 present block diagrams of the two investigated current source topologies. The modules used for the realization of the two systems are based on half-bridge series resonant inverters with voltage limitation applied to part of the resonant tank capacitor [4, 5, 6]. Each of them is supplied by an individual controllable rectifier [4].

The first examined topology, conditionally designated as **Topology I**, consists of N number of modules supplying a single multiphase rectifier.

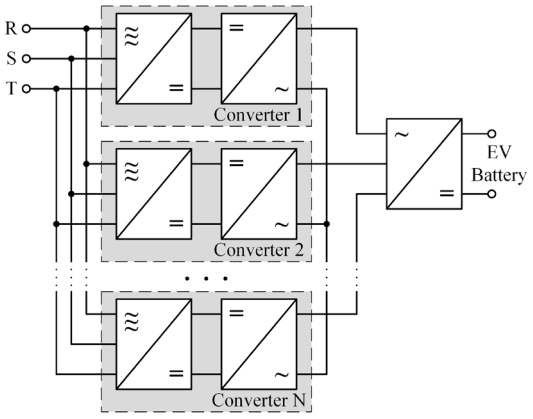


***Fig. 1**. Block diagram of a topology based on a single multiphase output rectifier (**Topology I**).*

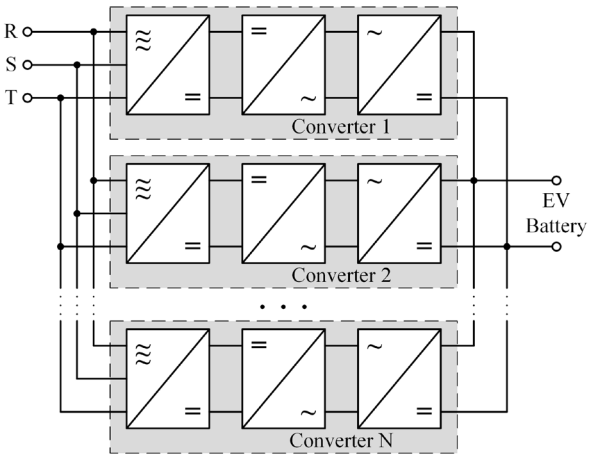


***Fig. 2**. Block diagram of a topology based on multiple single-phase rectifiers connected in parallel to the common load (**Topology II**).*

Contrariwise, the second converter system, conditionally designated as **Topology II**, consists again of N number of modules each of them connected to an individual single-phase rectifier. The rectifiers are furtherly connected in parallel to the common load.

Fig. 3 presents the particular circuit used for realization of the **Topology I** output multiphase rectifier. As the resonant converter modules behave as ideal current sources, the rectifier is considered to operate as a current-driven. A detailed mathematical analysis of the output current waveforms and values for the particular case of a three-phase current-driven rectifier is presented in [2] for both symmetric and asymmetric operation.

Fig. 4 presents the particular circuit used for realization of the **Topology II** output. Analogically, the multiple single-phase rectifiers can be considered as current-driven. Analysis of the operation of such class D bridge rectifiers is presented in [7].

In both topologies, transformers are placed between the resonant inverter stage and the output rectifiers for galvanic isolation [4].

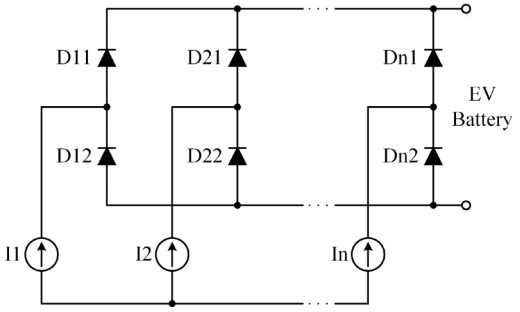


***Fig. 3**. Circuit of the single multiphase rectifier topology (**Topology I**).*

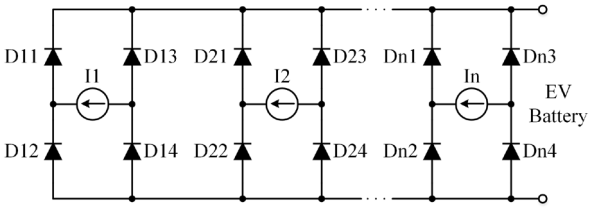


***Fig. 4**. Circuit of the multiple single-phase rectifiers topology (**Topology II**).*

In order to obtain high overall efficiency, both topologies may be realized with synchronous rectifier circuits [8].

MODELLING AND SIMULATION INVESTIGATIONS

Models of the two converter systems are developed in the software environment of LTspice in accordance with the presented in Fig. 1 to Fig. 4 circuits. For the purposes of the following investigation, balanced three-phase topologies with modules phase shifted at 120 degrees are used in order to provide symmetric operation. The input rectifiers are substituted with ideal DC voltage sources with a value of 300V. The resonant inverters circuitry is presented in [4]. Transformers with a unity ratio are used.

Computer simulations of the two converter topologies operation during charging of energy storage element (ESE) are performed. Identical load parameters are applied for the two circuits. The initial ESE voltage is 100V. Its capacity is significantly reduced in order to optimize the time of the simulation process. The resonant inverters are operated at 100kHz.

Fig. 5 presents transistor current waveforms for a single inverter stage supplying the load via a single-phase rectifier (as in **Topology II**). Operation above the resonant frequency can be obtained. The maximum forward and reverse current values and the interval of conduction of the reverse diode are presented in Table 1.

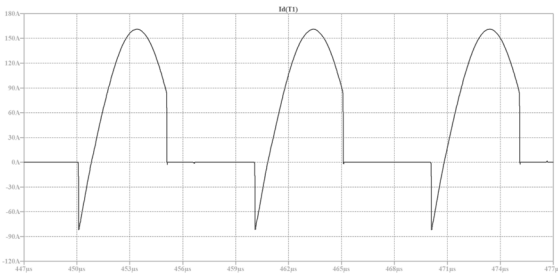


***Fig. 5**. Waveforms of the transistor current in one of the resonant inverter stages operating alone with a single-phase rectifier.*

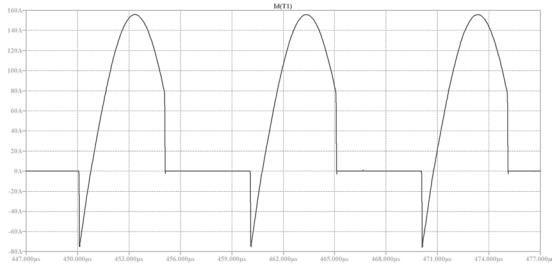


***Fig. 6**. Waveforms of the transistor current in one of the resonant inverter stages during simultaneous operation of three stages with single-phase rectifiers (**Topology II**).*

Fig. 6 presents identical waveforms corresponding to the operation of all the three **Topology II** modules to the common load. From the presented in Table 1 values for the maximum forward and reverse current values and the interval of conduction of the reverse diode, it can be seen that the stages do not interact during simultaneous operation. The observed negligible difference between the values in the two cases is due to the parasitic voltage drop in the load connections. This voltage drop is current dependent and influences on the resultant anti-emf voltage applied to each of the modules individually.

Fig. 7 presents transistor current waveforms for a single inverter stage supplying the load via a multiphase rectifier (as in **Topology I**). The presented in Table 1 values negligibly defer from those for the **Topology II** single module due to the two rectifiers specificities.

Fig. 8 presents transistor current waveforms corresponding to the operation of all the three **Topology I** modules to the common load. From the presented in Table 1 values, a significant difference can be seen. Due to the interaction between the modules in this case, the resultant anti-emf voltage is distributed between them resulting in variation of the operating mode.

***Table. 1**. Maximum forward and reverse transistor current values and reverse diode interval of conduction.*

Parameter	Topology I		Topology II	
	1 module	3 modules	1 module	3 modules
Maximum Forward Current	160.939A	216.05A	162.25A	156.02A
Maximum Reverse Current	67.518A	182.82A	82.37A	74.60A
Reverse Diode Conduction Time	705.157ns	1.573µs	761.589ns	729.685ns

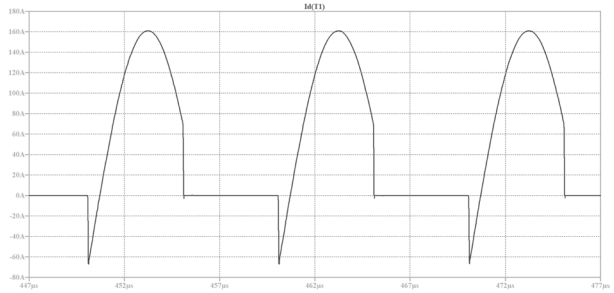


***Fig. 7**. Waveforms of the transistor current in one of the resonant inverter stages operating alone with a multiphase rectifier (**Topology I**).*

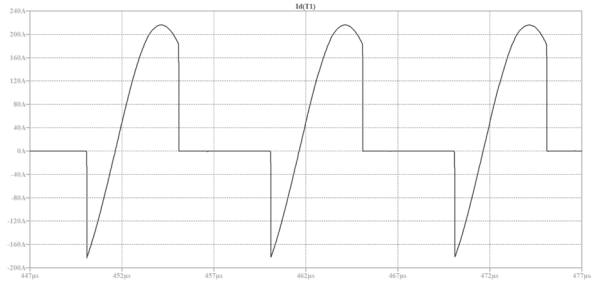


***Fig. 8**. Waveforms of the transistor current in one of the resonant inverter stages during simultaneous operation of three stages with a multiphase rectifier (**Topology I**).*

From Table 1 and Fig. 5 to Fig. 8, it can be seen that the current stress of the **Topology I** resonant inverters transistors significantly increases compared to that of **Topology II**, which is due to the different operating mode – more energy is consumed and then returned back to the supply source.

Comparison between the two topologies current stresses can also be made with respect to the output rectifiers. Fig. 9 and Fig. 10 present waveforms of the two converter systems output currents and rectifiers diodes currents respectively. From the presented in Table 2 values of the maximum diode currents, it can be seen that the **Topology I** devices suffer more current stress. Moreover, the average value of the charging current is significantly lower compared to that of **Topology II**, which is due to the different operating modes.

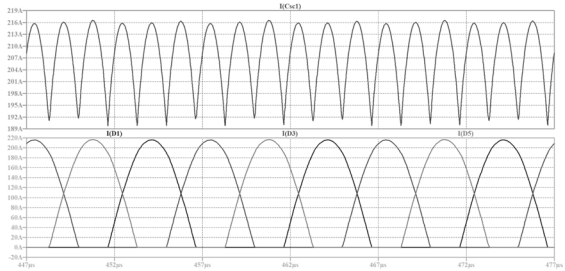


***Fig. 9**. Waveforms of the **Topology I** output current and the multiphase rectifier diodes currents.*

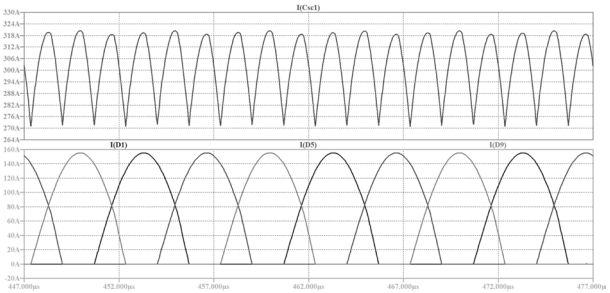


***Fig. 10**. Waveforms of the **Topology II** output current and the single-phase rectifiers diodes currents.*

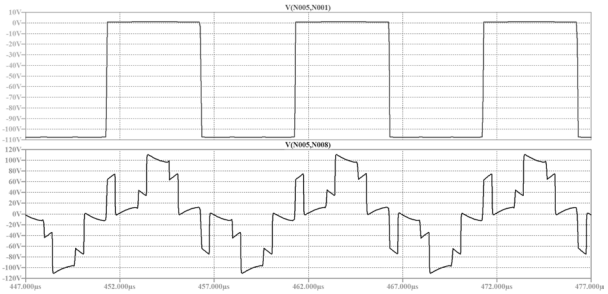


***Fig. 11**. Waveforms of the rectifier diode reverse voltage and the transformer secondary coil voltage **(Topology I)**.*

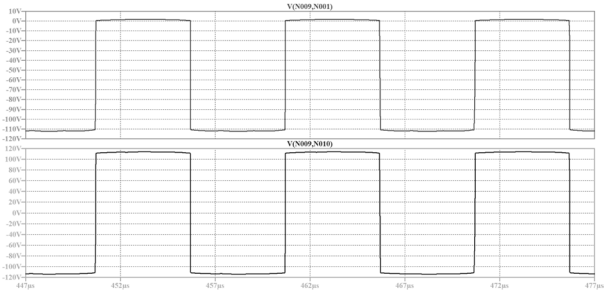


***Fig. 12**. Waveforms of the rectifier diode reverse voltage and the transformer secondary coil voltage **(Topology II)**.*

The reduction of the current stress applied to the **Topology II** rectifiers diodes is also due to the doubled number of devices and the current sharing between them. Thus, all the three modules can simultaneously operate as current sources, whereas only two **Topology I** stages can operate as current sources with the remaining one operating as a current sink [2]. Still, the increased number of rectifier switches is a disadvantage resulting in increased system cost and lower overall efficiency.

Another drawback of Topology II compared to **Topology I** is the output current ripple. Table 2 presents the two values calculated in accordance with the presented in [2] expression. The simulation results slightly vary from the theoretical as the corresponding currents are measured with the software environment cursor. Moreover, models of real semiconductor devices are used. For both of the topologies, however, an additional output filter may be necessary in order to meet the charging current ripple requirements.

Table 2 also presents results for the maximum reverse voltage ratings of the two topologies rectifier diodes. For both of the converter systems, the values are similar and correspond to the anti-emf voltage of the load. Fig. 11 and Fig. 12 present waveforms of these reverse diode voltages.

***Table. 2**. Maximum rectifiers current and voltage ratings and charging currents parameters.*

Parameter	Topology I 3 modules	Topology II 3 modules
Rectifier Diode Maximum Current	201.22A	154.641A
Rectifier Diode Maximum Reverse Voltage	107.511V	111.738V
Average Charging Current	207.3A	302.45A
Charging Current Ripple	6.39%	8.07%

Fig. 11 and Fig. 12 also present waveforms of the two topologies transformers secondary coils voltages. Both voltage waveforms correspond to the anti-emf voltage applied to the corresponding resonant converter module.

In **Topology I**, this voltage depends on the rectifier operating specificities [2]. In this case, the wye connection of the transformers secondary coils is responsible for the anti-emf voltage distribution among the individual modules, which explains the complicated shape of the observed waveforms.

In **Topology II**, each of the resonant converter stages operates independently as the output single-phase rectifiers only share the common load current. As a result, the whole anti-emf voltage is applied to the corresponding transformer secondary coil. Due to the specificities of the single-phase rectifier [7], it has a rectangular shape.

CONCLUSION

The following paper presents results from examination of the operating specificities of two current source converter topologies suitable for charging applications. Modelling and investigation of the systems behavior is done in the software environment of LTspice. Analysis of the output rectifiers current and

voltage stresses is performed. Based on the obtained simulation results, considerations are made for the output parameters and the overall efficiency of the converters.

Due to the interaction between the individual modules of **Topology I** during operation, different operating mode is obtained for the same load compared to the one of the single operating stages, as well as, to the whole **Topology II** system one. As a result, significant current stress is applied to the resonant inverters transistors and the output rectifier diodes. Moreover, this stress is also applied to the passive components of the corresponding resonant tanks. On the contrary, such event is not observed with **Topology II** as the interaction between its modules is negligible – they only share the charging current.

Increase in the voltage stress is not observed with any of the two examined topologies. The maximum reverse voltage of the rectifiers devices depends only on the anti-emf voltage applied by the load.

However, the interaction between the **Topology I** modules can be observed from the presented waveforms of the transformers secondary coils voltages. Due to the specific connection between these coils, the load anti-emf voltage is distributed depending on the specific interval of operation of each inverter stage throughout the switching frequency period. As a result, complicated shapes of the applied resultant voltage are observed, which may result in additional transformer losses. Such event is again not observed with **Topology II** where the shape of the applied voltages is rectangular.

Advantages of **Topology I** are the lower output current ripple and the optimized number of rectifier switching devices. The second fact should also be considered with respect to the overall efficiency and the cost of the two examined systems. However, both the two converter topologies may need additional filtering of the output current in order to meet the specific requirements for the particular charging process. Moreover, the overall efficiency of the two may be significantly improved by the implementation of synchronous output rectifier stages.

Considering the advantages and disadvantages of the two converter systems, **Topology II** appears to be more favorable for high-voltage high-power applications such as charging of energy storage elements and electric vehicle fast charging stations. This topology is also more suitable for modular realization as the interaction between the individual stages during operation is negligible.

ACKNOWLEDGEMENT

The research is carried out within the framework of the “Electronic converters for electric vehicle charging stations” project, contract 182ПД0012-03, Scientific and Research Sector at the Technical University of Sofia.

REFERENCE

[1] Sun, L., Y. Chen, X. Xia, L. Peng, Y. Kang, Design and optimization of parallel DC-DC system based on current-driven phase shift full bridge converter, 29th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2014, ISSN: 1048-2334, pp. 2048-2053.

[2] Arnaudov, D., S. Vuchev, Modelling and Investigation of Multi-Phase Rectifiers Supplied by Resonant Converters, Proceedings of ISSE 2018, ISBN: 978-1-5386-5731-7, DOI: 10.1109/ISSE.2018.8443760.

[3] Chub, A., O. Husev, D. Vinnikov, Input-Parallel Output-Series Connection of Isolated Quasi-Z-Source DC-DC Converters, Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ), June 11-13, 2014, pp. 277-284.

[4] Vuchev, S., D. Arnaudov, D. Penev, N. Hinov, Modeling and Investigation of Converter Modules Simultaneous Operation in Electric Vehicle Charging Systems, Proceedings of PCIM Europe 2018, ISBN: 978-3-8007-4646-0.

[5] Agraval, J., S. Kim, C. Lee, Capacitor voltage clamped series resonant power supply with improved cross regulation, 1989 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, vol. 1, pp. 1141-1146.

[6] Madzharov, N., Autonomous inverters with energy dosing for ultrasonic application, Proceedings of ICEST 2013, vol. 2, pp.647-651.

[7] Kazimierczuk, M., K., D. Czarkowski, Resonant Power Converters, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2011.

[8] Ma, Y., X. Xie, Z. Qian, Frequency-Controlled LCC Resonant Converter with Synchronous Rectifier, Proceedings of PEDS 2007, ISSN: 2164-5264, pp. 1442-1445.

IOT ENERGY METER APPLICABLE IN SMART BUILDINGS

Aleksandar Žorić[1], Nikola Žorić[1], Muhamed Bejtović[1]
[1]*Faculty of technical sciences – University of Priština*

Abstract

This paper describes a modern solution for energy efficiency increasing in residential buildings. The solution is based on IoT (Internet of Things), offering the possibility of remote control of electrical energy consumption as well as the monitoring of electrical parameters in real time as: voltage, current, power factor, active and reactive power, active energy and total costs. Owing to the smart mobile devices, the user becomes aware of the consumption of electricity and prices at any time and thereby be motivated to save. The proposed solution offers the possibility of collecting data relating to electrical quantities in the real time. This feature allows the user to analyze the consumption of electricity over a long period of time, e.g. one month, and thereby a possibility of change in consumer habits.

Described solution do not disturb the existing system for electrical energy measuring and do not request important modifications of existing electrical infrastructure in the residential building.

Keywords: IoT, active energy, power factor, smart building, cloud server, WiFi.

INTRODUCTION

Working on this topic is focused on the using of IoT (*Internet of Things*) applications in smart buildings [1], [2]. In a traditional residential housing scenario, tenants use home electrical appliances and periodically pay for their electricity consumption to the distributor. When the consumer is aware of the consumption, it has been proven that he then strives to save energy, which is the interest of both the user and the manufacturer/distributor. The IoT system designed for these purposes uses sensors and built-in systems for electricity consumption monitoring and control, providing the user with a constant insight into the condition and cost of consumed energy, and warning the user in the case of over-consumption. A relatively new concept used in such an approach to designing is IoT [1], [2], [8]. Internet of Things (IoT) is a new concept that connects physical objects to the Internet, changing the way of people view to the environment and how they interact with objects in it: from interconnecting people to people to interconecting people to objects - things and things to things, IoT plays a major role in this transformation of the Internet. With this, IoT can also be defined as a network of objects with unique identities associated with the Internet [2], [3].

The serious limiting factor of the proposed concept is, however, the price of the end system, because the costs of the complete system remain high for the users. The most expensive component for initial setup of the system for monitoring and managing of electricity consumption is on the access point side and Internet connection, while the costs for hardware system and data storage have become cheaper. This is also a major factor that prevents the application of such systems to a greater extent. The aim of this paper was to partially bridge this gap and build the ultimate smart building system with a reduction in total costs and without affecting the functionality of existing systems.

Owing to the large and varied offer of integrated components of the described systems and services on the market, the price of the realized system is relatively small compared to the opportunities and savings that can be achieved by its application.

The realized system, by its capabilities and performance, far outperforms the current, obsolete, or even more modern measuring devices for the consumption of electricity.

OVERVIEW OF THE SMART BUILDING

In modern systems of sophisticated smart buildings, the essential role belongs to

automatic control systems. Supervision and automatic control of technical systems in smart buildings is of crucial importance in order to achieve projected conditions in exploitation.

By developing various technologies that are used in smart building systems, the concept of smart buildings has attracted increasing attention for the past twenty years [5]. In this regard, many definitions of smart buildings have been proposed, which, due to the development of technology, have been changed over the time. It is almost impossible to formulate a unique, standard definition of smart buildings, which, however, is of vital importance for a clear idea of terminology, not necessarily necessary. Different approaches to smart building definitions can still be grouped into three categories:

1. Performance-based definitions
2. Service-based definitions
3. System-based definitions

SYSTEM DESCRIPTION

Proposed system is designed to create the better user friendly way of interacting with real world devices. The information of the device to user and commands from user to the device is carried out in following steps:

- Collecting data of the electronic device and transmitting it over the Internet to the cloud server using NodeMCU WiFi module [6].
- Storing of data into the cloud server to maintain the record of data.
- Represent the transmitted data using the cloud server's interface.
- Control the appliances from same interface.

HARDWARE IMPLEMENTATION

The complete system is implemented on the base of only two subsystems: NodeMCU WiFi platform [6] and PZEM004 multifunctional energy meter. NodeMCU is one of the many open source IoT's, based on the well-known ESP8266EX WiFi SoC (System on Chip), the product of Espressif Systems [6]. The platform was created shortly after the appearance of the ESP8266EX WiFi SoC at the end of 2013, precisely, in October 2014. ESP8266EX SoC integrates 32-bit microcontroller unit (MCU) Tensilica's L106 Diamond, which has extremely low power consumption with a maximum clock speed of up to 160 MHz. In addition to the MCU, compact design integrates the hardware TCP/IP stack for adding WiFi functionality, SRAM (50 kB) and ROM memories and standard digital peripheral interfaces, RTCs, antenna switches, RF electronics, power amplifiers, low noise amplifiers, filters and power management modules - all in one small housing.

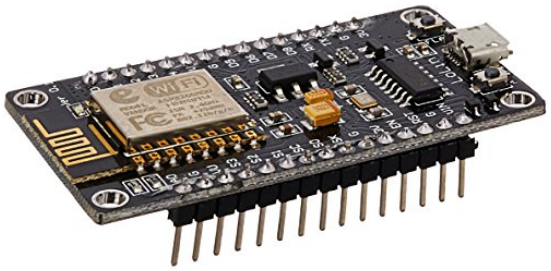


Fig. 1. *The NodeMCU IoT development platform.*

The NodeMCU development platform, Figure 1, is primarily intended for the development of IoT applications, but it can also be used as a general purpose 32-bit MCU development kit. Beside the ESP8266EX SoC, this platform consists of an integrated USB to TTL UART converter - CH340G, fixed voltage regulator from 5 V to 3V3, micro USB port and few passive components. QSPI (*Quick SPI*) flash programming memory is added as an external unit. The 12 I/O lines of this platform are available to the user.

One of the leading and most popular software development environment for the various ESP8266 modules and development boards, including NodeMCU, is ESP8266 Core for the Arduino IDE. Arduino IDE is a free software development environment that includes a rich set of libraries in the C/C++ language. Although programming in the Arduino IDE is not exactly the same as general programming in the C/C++ language, due to the usual differences in embedded software (limited memory and processor power), the programming base is the C/C++ language.

The PZEM004 module is a commercial product of PeaceFair Electronics [4], based on the SoC system SD3004. This module represents a multifunctional digital meter of the effective values of voltage, current, active power and consumed active electricity. It uses real-time clock (RTC) integrated in the SoC system SD3004 for active energy measurement and the TTL-UART serial

communication port for communication with other devices.

Fig. 2. *PZEM004 module with a split current transformer as a current sensor.*

In addition with this module, the manufacturer also supplies a split current transformer as a current sensor. Figure 2.

shows the appearance of the module.

According to the manufacturer's specification, the current transformer is designed for effective currents up to 100 A with a transformation ratio of 1 : 1000. The mains voltage, in the effective range of 80 - 260 V, is directly supplied to the input port of the module while the active power is in the range of 0 - 22 kW.

Optically isolated serial TTL port requires external power supply of 5 V, but with a slight modification of the value of two resistors can be made functional to a lower voltage of 3V3. On the top side of the PCB of module is there a built-in the button for reset of the accumulated energy. Achieved value of consumed energy is automatically stored in the module's EEPROM memory in the case of a power outage.

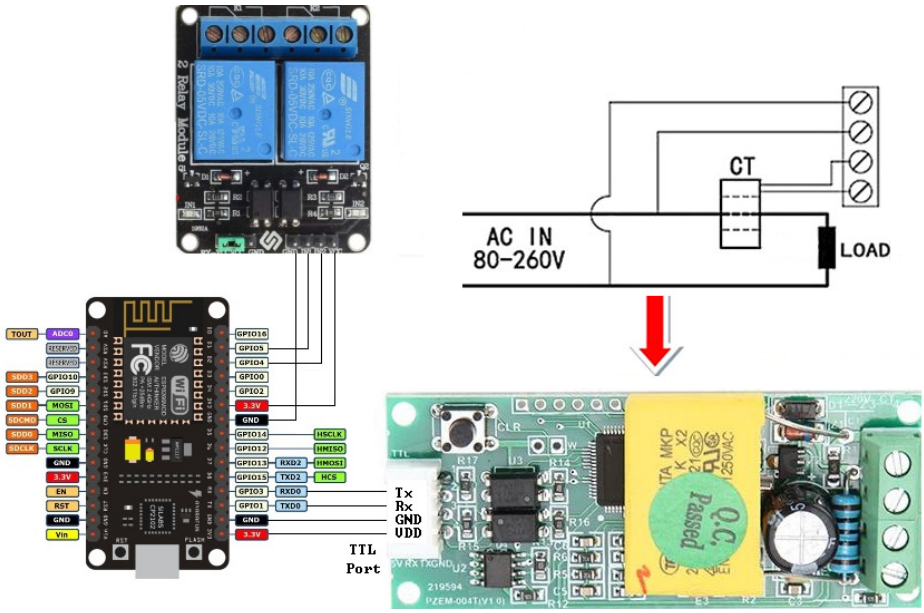


Fig. 3. *The hardware of the realized IoT system for the monitoring and control of electricity consumption.*

Figure 3 shows the complete hardware of the system with two channel relay actuator for appliances control. Of course, number of relay channels can be larger than two, because there are a large number of available I/O lines. The system is powered via the USB port of the NodeMCU platform, while DC power of the PZEM004 module is obtained from the AC main voltage.

As can be seen in the Figure 3, UART0 interface of the NodeMCU platform is used for establishing the serial communication with PZEM004 module. An addressable serial protocol of the PZEM004 module is described in [4]. TTL UART port of the PZEM004 module is pre-adjusted for the 3V3 voltage, which is the NodeMCU platform operating voltage.

Also, the relays have been declared for a voltage of 5 V. The test has established that the relays normally operate at a voltage of 3V3 and therefore the entire relay module is connected to the stabilized output voltage of the NodeMCU platform.

NODEMCU PROGRAMMING

As mentioned in the previous section, the Arduino IDE is used for NodeMCU programming. For communicating with the NodeMCU platform, a remote cloud server - Blynk [7] was used. The selected server allows the development of iOS and Android applications on the appropriate mobile devices or tablet PCs, but not under the Windows environment. Establishing communication between the NodeMCU and the Blynk cloud server is enabled thanks to the ESP8266WiFi.h and BlynkSimpleEsp8266.h system libraries [8], used in the application.

A simple data transfer between the NodeMCU platform and the PZEM004 module was realized with the help of the dedicated PZEM004T.h library with built-in functions for sending the commands and receiving the module responses. For correct communication, the serial transfer rate must be set to 9600 baud.

The application firmware, written in the Arduino IDE [9], contains inclusive libraries, a global variables declaration part, a setup() function for initialization and resources configuration which is executed only once, a loop() function that is cyclically executed, and the dedicated functions of the cloud server.

BLYNK ANDROID APPLICATION

Blynk was designed for develop IoT applications that can control remote hardware via the Internet [7]. Showing data from sensors, data storage, visualization and many other features are enabled by Blynk applications that support more than 400 hardware development systems. There are three main components of the Blynk platform:

- Blynk application that allows creation of user-oriented graphical interface using different, ready-made graphic objects (widgets).
- Blynk server, responsible for communicating mobile device and hardware. It can even be installed on a PC or Raspberry Pi system, and thus create a private, local cloud server.
- Blynk libraries available for the most popular hardware development systems that allow communication with the server and the processing of incoming and outgoing commands.

The Blynk application should be installed on iOS or Android platforms such as a smartphone or tablet. Upon installation, the user creates a new account for keeping and accessing the project from multiple devices and from anywhere. At the same time, the account also represents a security measure for the protection of user projects.

The digital dashboard where we built a graphic interface for our project is shown in Figure 4.

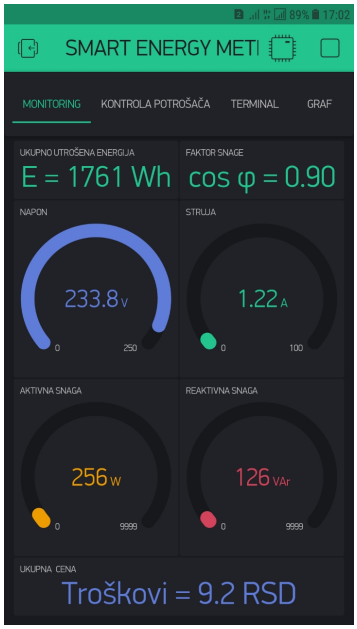


Fig. 4. *'Monitoring' tab of digital dashboard.*

As can be seen, effective values of voltage and current, active and reactive power, as well as energy, power factor and costs are presented on the tab '**Monitoring**'. Some of them are presented as widgets and other as LCD displays. Sampling rate in the real time amounts 5s.

Figure 5 shows the review of tab '**Appliances control**'. A user can control of energy consumption by turn-on or off individual loads. The LEDs near the switches provide a safe feedback to the user on turning on or off the load.

The '**Terminal**' tab serves to set the limit of the active power by moving the slider. In case of exceeding the limit power, the user receives an audible and textual warning about the date

and time of the overrun, as well as the current limit power.

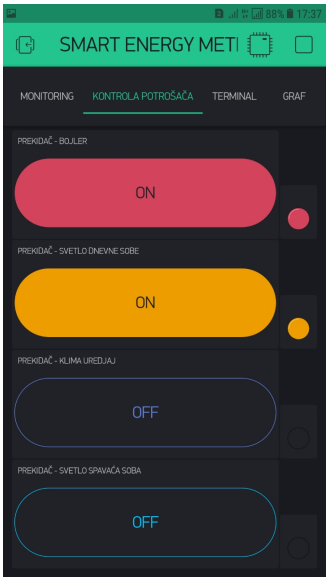


Fig. 5. *'Appliances control' tab of digital dashboard.*

The message text remains permanently written in the terminal window, see Figure 6.

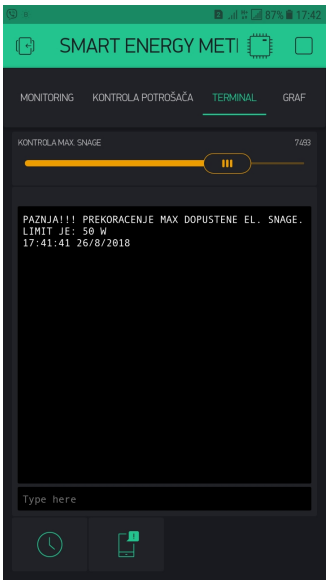


Fig. 6. *'Terminal' tab of digital dashboard.*

Finally, the '**Graph**' tab represents the waveforms of voltage, current, active power and energy consumption in the long time of monitoring. The discrete values of the waveforms of quantities are stored on the Blynk cloud server and can be downloaded to the user's email as CSV files.

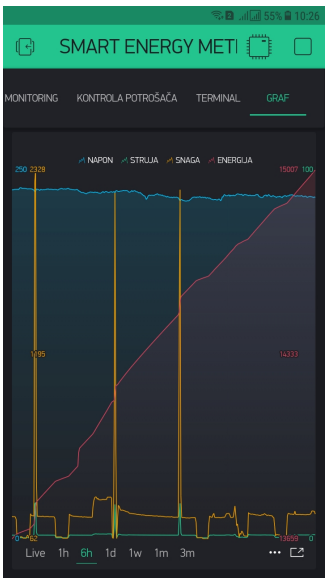


Fig. 7. *'Graph' tab of digital dashboard.*

The application created on a mobile device provides a constant insight into the actual values of electrical quantities of importance for the electricity in a residential or business facility.

The data acquisition in real time is enabled by using the 'SuperChart' widget, which besides the visualization of waveforms also provides for the storage of discrete values of measured quantities, as well as time and date data in Unix format on the Blynk server [7].

The negligible self-consumption of the proposed system will not increase the cost of managing and using the system.

CONCLUSION

The main goal of this paper was the experimental realization of a smart system for monitoring and managing of electricity in smart buildings. The realized system, by its capabilities and performance, far outperforms the current, obsolete, and even more modern measuring devices for the consumption of electricity. The system was tested in a reasonable time period and did not show any shortcomings that could have been assumed, such as: frequent breakdowns with the server, system reliability, self-consumption, self-sustainability, and the like.

Thanks to the large and varied offer of integrated components of the described system and services on the market, the price of the

realized system is relatively small compared to the opportunities and savings that can be achieved by its application.

Installation of the system into existing, classical housing units gives the building an epithet of smart building, since electricity consumption is predictable and controlled by users. Also, the installation of the system requires only minor modifications of the electrical infrastructure on the installation panel with fuses or outside, due to the interruption of consumer circuits controlled by relay switches.

The negligible self-consumption of the system will not increase the cost of managing and using the system.

Further qualitative work on the development of the described system could be gone in the direction of automation, that is, automatic switching on/off of individual consumers at the scheduled time, automatic switching on/off of additional subsystem for repair of power factor in case of its small values and adding functions for separation of tariff zones.

Since the described system is intended for single-phase low-voltage infrastructure, it would also be necessary to consider the possibility of implementing an extended system in three-phase networks.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia within the project III 47016.

REFERENCE

[1] H. Luan and J. Leng, "Design of energy monitoring system based on iot," *Control and Decision Conference (CCDC), 2016 Chinese*. IEEE, 2016, pp. 6785–6788.

[2] A Low-Cost, Flexible System for Energy Monitoring in Buildings, (2017): *https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/../2017_04_HUQI%20ARMAND.pdf*

[3] Z. Bocheng, "Design of building energy monitoring and management system", *Business Computing and Global Informatization (BCGIN), 2012 Second International Conference on.* IEEE, 2012, pp. 645–648.

[4] PZEM-004T (2017, Apr.): *https://www.circuitspecialists.com/content/189799/ac004.pdf*

[5] Милан Р. Ристановић, *Inteligent buildings*, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, 2013.

[6] *ESP8266EX datasheet: https://espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf*

[7] Blynk: *https://docs.blynk.cc/*

[8] Blynk Example Browser: *https://examples.blynk.cc/*

[9] Arduino Software (IDE): *https://www.arduino.cc/en/Main/Software*

IMPLEMENTATION OF NODE.JS TECHNOLOGY IN A CONCEPT BASED ON IOT

Bejtovic Muhamed[1], Aleksandar Žorić[1]
[1]*Faculty of technical sciences – University of Priština*

Abstract

With the development of Internet of Things (IoT) concept, it is possible to provide more efficient management and data exchange by connecting physical devices with sensors, actuators and the Internet. Experts estimate that IoT will make up to 30 billion items by 2020, and that the global market value of IoT will reach $ 7.1 trillion by 2020. Parallel to the popularization of the Web service, there is a significant development from the aspect of JavaScript server technology, which leads to the development of one of the most popular technologies, Node.js. This paper presents a solution that gives effective results at reducing the response time of physical devices connected to the Internet in the management / monitoring process and is based on the ATMega 2560 microcontroller and Node.js technology.

Keywords:. **ATMega2560 , JavaScript, Node.js,IoT**

INTRODUCTION

The IoT concept provides flexibility concerning communication and information. It is an approach that is relevant in many different environments. IoT solutions are applied in all areas of human life, from personal things such as "smart home", through solutions as "smart" cars, cities, medicine, agriculture, transport and environmental protection. Due to the development of modern technologies on the market, microcontroller platforms such as Arduino, BeagleBone or Raspberry, which are used in IoT technology, are available. Different conditions are set when designing the IoT system, depending on the specific problem and application area. In cases where a very short response time is required, a solution is proposed that is immediately applicable and in most cases economically viable.

The solution is based on a connection between the Arduino Mega 2560 microcontroller board [1], which in this case connects via usb cable to a PC / laptop, then a PC with Node.js installed [2], which represents the connection between the microcontroller board and Internet networks, and of course the Internet network that represents the connection between the user and the web server. The appropriate sensor and relay module are connected to the Arduino mega 2560 microcontroller plate.

When designing this IoT system, the goal for this solution was to have the multiple application areas that are without IT infrastructure, in order to maximize the utilization of existing resources, so that such a system is sustainable in the long run and that the initial investment is minimal.

SYSTEM ARCHITECTURE

The basic block diagram of the proposed system is shown in Figure 1. The microcontroller is used to obtain the physical condition value through the sensors associated with it. For programming microcontroller, the Arduino development environment "Arduino IDE" (Integrated Development Environment) [3] was used. Arduino IDE provides easy communication between microcontrollers and computers via a USB cable. The control software is programmed by the microcontroller on the ATMega 2560 development system, so it communicates with the outside world and the client.

Once the program is first entered into the microcontroller, another program can be re-entered, even the third and fourth ones, etc.

The system is designed to satisfy the following requirements:

- View the current state of the switch status
- Monitoring of temperature
- Monitoring humidity
- Motion detection monitoring.

Fig. 1.
Block diagram of the presented solution

The software part of the project was developed for the Windows platform in the HTML programming language, where CSS, JavaScript as well as Node.js technology are used, which is very customized for applications where it is necessary to maintain a permanent connection between the client and the server. In this case, the largest number of devices that can be controlled is eight, because the eight-relay module is used. A large increase in the popularity of the use of asynchronous techniques in the creation of software has enabled JavaScript to be executed in the Web browser, finally moving it away from the user's side to the server side. The most basic purpose of Node.js, which uses JavaScript for its work, is to serve to create a Web application server.

Together with the Google V8 JavaScript engine, it achieves a few times the speed of other scripting languages like Ruby and Python.Non-blocking architecture Node.js is ideal for creating applications that update client-side data in real-time. (eng.real-time). Applications can be run within Node.js runtime on OS X, Microsoft Windows, Linux, FreeBSD, and IBM platforms. Node.js very quickly processes a large number of requests at the same time.

The main part of the software code are embedded libraries for "HTTP" and "socket.io", which enable two-way communication in real time. For communication, the "Websocket" protocol is used, which enables one continuous TCP connection between the server and the client, and it is standardized as RFC 6455 in 2011. by IETF. Websockets are supported in all well-known Web browsers such as Google Chrome, Internet Explorer, Firefox, Safari and Opera.

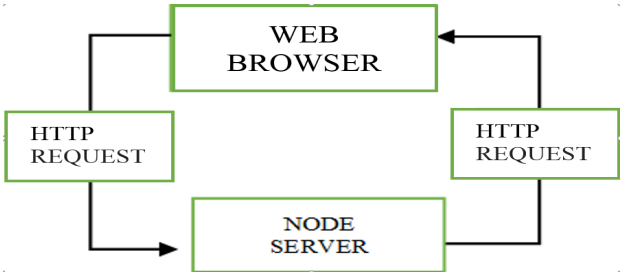


Fig. 2. *The process of opening a website*

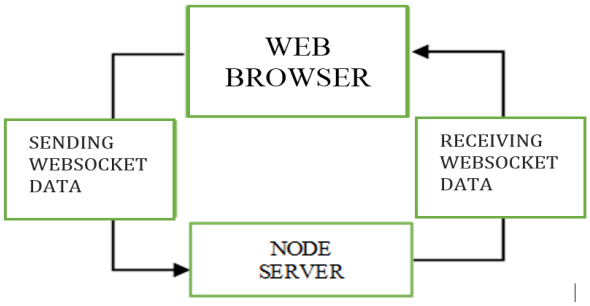


Fig. 3. *Process during some action in the website*

Node.js can control the simultaneous copying of HTTP and WebSecure, using only one TCP / IP port as shown in Figures 2 and 3. It is important to note that when installing on Node.js, modules are installed to enable HTTP functionality.

Comparative analysis [4] showed that on average one HTTP request lasted about 107ms and Socket.io required 83ms. For a number of parallel requests, things began to look quite different, so for fifty requests, the request lasts about 5 seconds for the HTTP request and about 180ms for the Socket.io request. Total HTTP enabled it to complete about 10 requests per second while Socket.io can, at the same time, submit nearly 4,000 requests. The main reason for this big difference is that the browser limits the number of concurrent HTTP connections (6 by default in Chrome)

HARDWARE REALIZATION

In this paper, the main part is the software part of the project, will be given only the basic characteristics of the hardware components used in the project.

Basically, these components are divided into:

• Controllers: to make choices based on advance programmed rules and events.

• Sensors: they serve to monitor and forward messages in case of a change in condition.

• Actuators: used to perform physical actions.

• Networks: allow communication between units and environment.

• Interface: for communication between the user and the system.

Different sensors and actuators can significantly expand the capabilities of the described system.

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 (datasheet). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila. It is shown in figure 4.

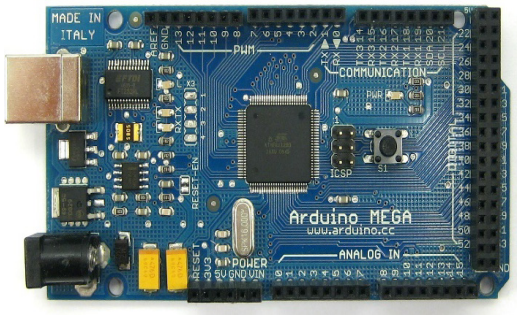


Fig. 4. *Arduino Mega 2560 Microcontroller Platform*

Also the Arduino relay module is used, with 8 relays and smd LEDs for input indication [5]. Relays are with switching contact (one open, one closed). The relay characteristics are: 230 VAC / 10 A (30VDC / 10A). The input is TTL with 3.3-5V, and the module also requires an external power supply of 5 - 7.5 V.

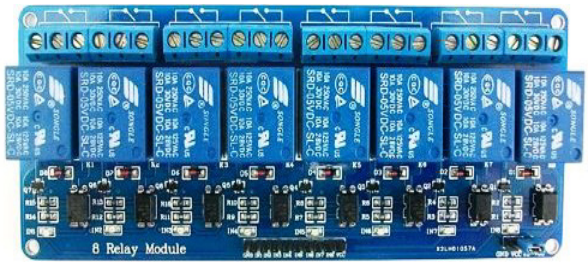


Fig. 5. *8-relay module*

In order to make some more serious device control system sense and working, it is necessary to install the sensors from which the necessary data will be obtained.

The project used:

• Motion detector - the passive infrared sensor (PIR). Its function is to detect motion [6]. The angle the sensor sees is 120 degrees and reaches up to 7 meters. It has two potentiometers: for sensitivity detection and delay (used to check how offen there is movement).

Fig. 6. *PIR sensor*

Fig. 7. *DHT11 sensor*

• DHT11 [7] uses a capacitive humidity sensor and a thermistor to measure the surrounding air, and spits out a digital signal on the data pin (no analog input pins needed). It's fairly simple to use, but requires careful timing to grab data. The only real downside of this sensor is one can only get new data from it once every 2 seconds.

In order to implement and demonstrate the system developed theoretically, we created a prototype. Thus the whole system that is being developed is given below figure 8.

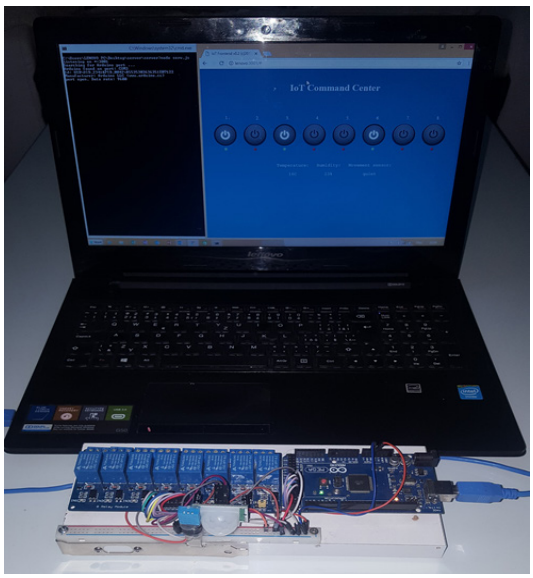


Fig. 8. *Prototype of the whole system*

Devices can be connected to the relay module, where we can manage their turning on or off using the Web site.

The process starts by running the Node.JS server, as shown in the fig.8. below.

```
C:\Users\LENOVO PC\Desktop\FOLDERS\server\server>node serv.js
listening on *:3001
Searching for Arduino port ...
Arduino found on port: COM3
Id: USB\VID_2341&PID_0042\85535303636351E07122
Manufacturer: Arduino LLC (www.arduino.cc)
port open. Data rate: 9600
```

Fig. 9. *The process starts by running the Node.JS server*

Therefore, after accessing the Web site, the appearance which is shown in figure 10, in one of the Internet browsers (supported by Google Chrome, Internet Explorer, Firefox, Safari and Opera), from the left to the right are the "keys" that can be started and extinguish the relays that are connected to the Arduino MEGA microcontroller board.

At the same time, the relay statuses are visually displayed: red means that the relay is turned off and the green is turned on.

The visual effect of the status is also added on the buttons on which the relays are switched on and off, as well as the sound of the "push off a button" at the moment when the relays are on and off.

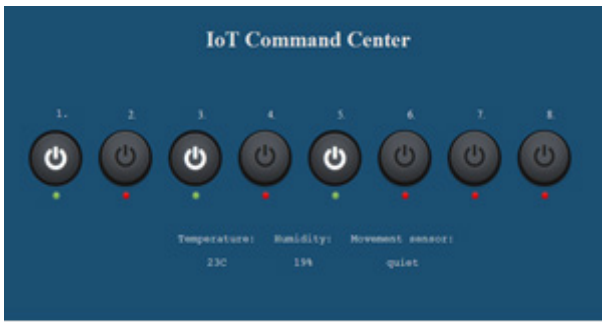


Fig. 10. *Website layout*

The second line shows the data from the connected sensors:

- Temperature (DHT11),
- Humidity (DHT11),
- Movement sensor (PIR Sensor).

CONCLUSION

The application of this IoT solution in operation is characterized by further optimization and efficiency in the device's contours, but alongside other hardware components of the request and the computer / laptop on which it will be installed and running Node.js.

So, in the domain of application where there are requirements for the speed of control over a particular device, the proposed solution gives effective results, and presents a different approach to how to solve the problem. The advantage of the proposed solution is certainly that the computer enables the processing of the received data from the sensor, and of course the ability to use computer resources, and to easily upgrade the system. Arduino is also open-source, which means it is constantly evolving and is accompanied by a lot of technical documentation. Arduino is ideal for starting up with microcontrollers as well as for complex projects. For most people, perhaps the most important advantage is Arduino's price. Although cheap it is very reliable and gives good performance.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia within the project III 47016.

REFERENCE

[1] Charalampos Doukas, “Building Internet of Things with the Arduino”, CreateSpace Publications, 2012

[2] Node.js, "Home page of Node.js," Joyent, 2016.Available:https://nodejs.org/en/. [Accessed 01 May 2016].

[3] Arduino, Available:http://www.arduino.cc/

[4] https://blog.feathersjs.com/http-vs-websockets-a-performance-comparison-da2533f13a77

[5] https://www.jaycar.com.au/medias/sys_master/images/8955340357662/XC4418-dataSheetMain.pdf

[6] https://cdnlearn.adafruit.com/downloads/pdf/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor.pdf

[7] Robotics D, “DHT11 Humidity & TemperatureSensor”,2010,www.micro4you.com/files/sensor/DHT11.pdf

МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ НА ПОНИЖАВАЩ ZVS DC-DC ПРЕОБРАЗУВАТЕЛ

Николай Хинов[1]
[1]*Технически Университет – София, Факултет по "Електронна техника и технологии", катедра „Силова електроника", бул."Кл. Охридски" 8, София 1000, България*

MATHEMATICAL MODELLING OF BUCK ZVS DC-DC CONVERTER

Nikolay Hinov[1]
[1] *Technical University of Sofia, Faculty of Electronicg Engineering and Technologies, Power Electronics department, 8 blvd. "St. Kliment Ohridsky", Sofia, Bulgaria*

Abstract
One of the methods for increasing the efficiency of DC-DC converters is the decreasing of the switching loses in the power semiconductor elements. Therefore a widely used method for achieving this is the using of a soft switching – shift switching of the power elements on zero voltage or/and zero current. For some converters this is achieved by virtue of circuit features (for example resonant power inverters), and for others by using of a additional elements (capacitor and inductor), which are connected parallel or serial to the semiconductor switch. In the paper work is done mathematical modeling of quasi-resonant Buck DC - DC converter, working with ZVS (Zero Voltage Switching). Based on equivalent schematics, mathematical equations have been compiled that describe the device under study at different stages of operation. For example, a Buck ZVS DC - DC quasi-resonance converter has been designed for verification with selected output data. The verification of these modeling has been made with computer simulations (LTSpice) and experimental measurements on a laboratory stand.

Keywords: ZVS DC-DC converter; buck DC-DC converter; modeling; analysis; model-based design.

ВЪВЕДЕНИЕ

Тенденциите в развитието на електронните преобразуватели на електрична енергия са свързани с подобряването на елементната база на силовата електроника. Произвеждат се MOS, IGBT и други видове транзистори за значителни мощности от порядъка на стотици kW и честоти достигащи стотици kHz [1, 2, 7, 8, 9].

Тази елементна база се налага и поради необходимостта от дълбоко регулиране на изходната мощност и честота. Използването на пълно управляеми прибори (транзистори) налага вземането на специални мерки за осигуряването на надеждна и безаварийна работа на преобразувателните устройства, в изграждането на които те участват [3, 4, 5, 6, 10].

От друга страна задачата за повишаване на ефективността на енерго-преобразуването в повечето случаи основна и актуална. Основният метод за подобряване на енергийните показатели на електронните преобразуватели е намаляването на комутационните загуби в полупроводниковите прибори, чрез използването на така наречените меки комутации по ток и/или напрежение (ZVS или ZCS). Те най-често се реализират с помощта на спомагателни резонансни вериги, които се включват последователно и паралелно на полупроводниковия ключ [6, 7, 8, 9].

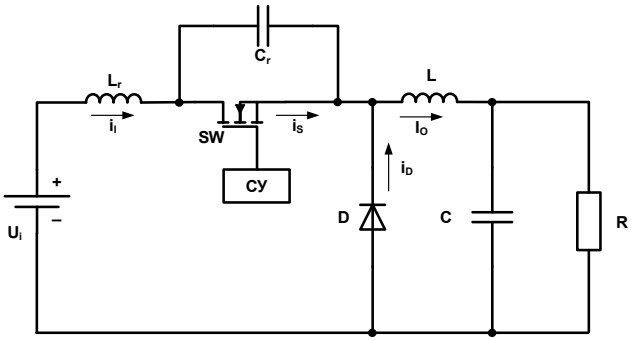
Тези схеми са известни като „квазирезонансни" преобразуватели, тъй като резонансните елементи участват само в процеса на превключване на полупроводниковите елементи, с цел осигуряване на включване и изключване при нулево напрежение и/или нулев ток. По този начин се намаляват значително загубите от превключване и това позволява работа при високи честоти на

превключване на силовите прибори. Освен това, по този начин се редуцират масогабаритните показатели на устройствата. [2, 3, 9, 10, 13].

Основна задача на настоящата работа е моделирането на такъв тип устройство с намалени комутационни загуби - понижаващ ZVS DC-DC преобразувател.

ИЗЛОЖЕНИЕ

На фигура 1 е показана схемата на понижаващ ZVS квазирезонансен постояннотоков преобразувател. Тя се състои от резонансна индуктивност L_r и резонансен кондензатор C_r; филтрова индуктивност L и филтров кондензатор C; полупроводникови ключове транзистор SW и диод D; и товарно съпротивление R.



***Фиг. 1**. Квазирезонансен Buck ZVS DC – DC преобразувател*

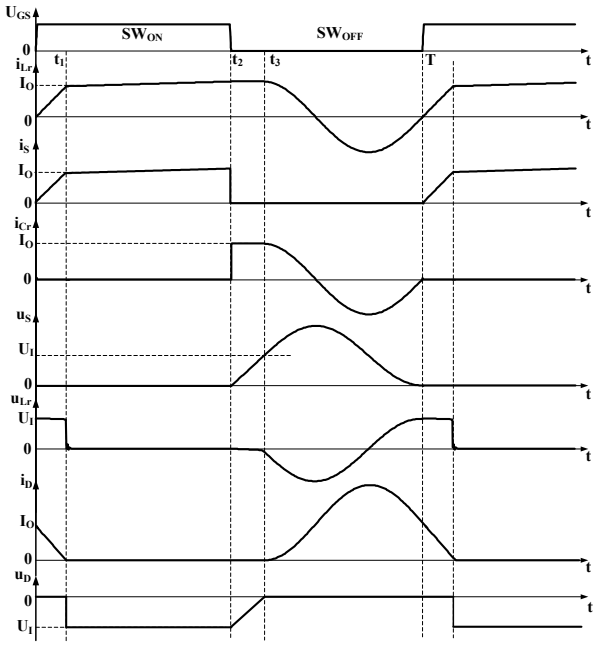
Работата на понижаващ ZVS квазирезонансен конвертор се състои от четири етапа по време на периода на превключване T. [11]. Тя е илюстрирана с времедиаграми, показани на фиг.2.

1. етап – на натрупване на енергия в резонансната индуктивност - времето за този процес е интервала $0 < t \leq t_1$, като ключа и диода са включени (ON). Разглеждания времеви интервал започва с подаването на управление на транзистора, а завършва когато токът през диодът стане нула;

2. етап – съответства на интервалът от време $t_1 < t \leq t_2$, и през него диодът е изключен (OFF). Този интервал от време завършва в момента t_2, когато транзистора се изключва с помощта на системата за управление на преобразувателя;

3. етап – на зареждане на резонансния кондензатор. Извършва се за интервала от време $t_2 < t \leq t_3$, като транзисторния ключ и диода са едновременно изключени (OFF). Този етап от работата на схемата, ще завърши когато напрежението върху диода достигне нула и се създадат условия за неговото включване;

4. етап – съответства на интервала от време $t_3 < t \leq T$, като неговото начало започва с промяната на състоянието на диода - от запушено в отпушено. Характерно за този интервал от време е, че в схемата се развиват резонансни процеси, които включват резонансните елементи, отпушения диод и постояннотоковият захранващ източник. За да се работи в режим на ZVS трябва да се подаде управление на транзистора в момента, когато неговото напрежение стане равно на нула.



***Фиг. 2**. Времедиаграми, илюстриращи работата на квазирезонансен Buck ZVS DC – DC преобразувател*

При описанието на схемата е разгледан по-често използвания режим на работа, при който е непрекъснат изходният ток – I_0. Освен това при построяването на диаграмите от фиг. 2 са използвани следните означения: I_i – входен ток, I_S – ток през транзистора, I_D – ток през диода и U_i – входно захранващо напрежение.

МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ

От описанието на принципа на действие на силовата схема, е ясно, че изследвания

преобразувател е система с променяща се структура. Освен това процеса на моделиране се затруднява от факта, че за да работи преобразувателя в режим на нулеви комутации по напрежение, трябва да се осигури достатъчно време на изключване на транзистора, за да може напрежението върху него да спадне до нула в момента на включване. В работата се разглежда моделиране на режим на непрекъснат ток в изхода.

Продължителността на резонансния процес е определяща за времето на запушено състояние на транзистора, като големината на изходния ток оказва съществено влияние на работата ба схемата. Гореизложеното води до това, че при промяна на товара или входното напрежение се налага да се промени и честотата на превключване.

От друга страна работата с променлива честота на управление усложнява моделирането на системата за управление, която трябва да следи превключването на транзистора да става при определени условия, а не само с фиксирани и зададени времеви интервали какъвто е случая в класическите DC-DC преобразуватели, работещи с твърди комутации.

Чрез използване на законите на електротехниката се получава следната система уравнения, която моделира работата на изследвания преобразувател.

$$\begin{aligned} U_i &= L_r \frac{di_{Lr}}{dt} + u_{Cr} + u_L + u_C \\ u_L &= L \frac{di_L}{dt} \\ i_L &= C \frac{du_C}{dt} + \frac{u_C}{R} \\ u_L &= \left(i_{Lr} - i\right) R_{D_snub} - u_C \end{aligned} \qquad (1)$$

Отчетени са и следните особености:

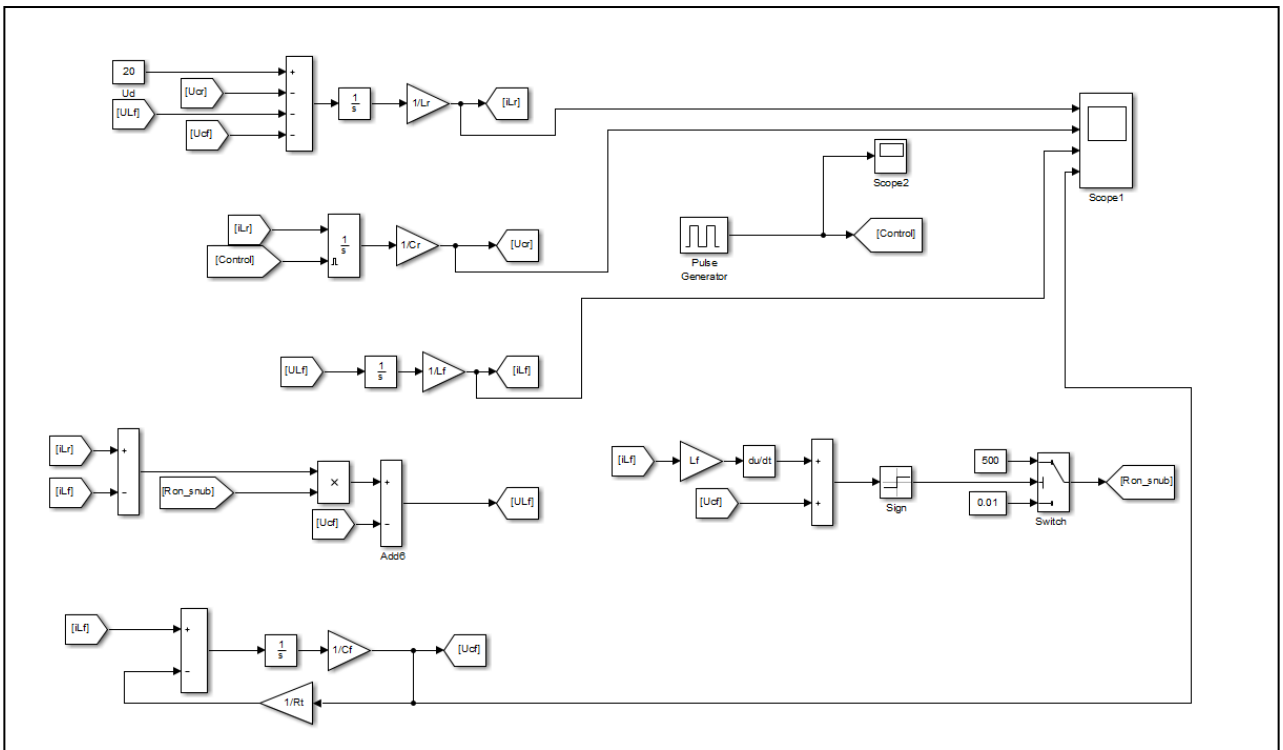
$$\begin{cases} u_{Cr} = 0, \textit{ при затворен ключ}; \\ i_{Lr} = C_r \dfrac{du_{Cr}}{dt}, \textit{ при отворен ключ}; \end{cases} \qquad (2)$$

Освен това е дефинирано динамично съпротивление на диода – R_{D_snub}, което отчита разликите при включено и изключено състояние на прибора:

$$\left.\begin{array}{l} 500, \textit{ за } \left(u_L + u_C\right) \geq 0 \\ 0.01, \textit{ за } \left(u_L + u_C\right) < 0 \end{array}\right\} = R_{D_snub} \qquad (3)$$

По същество математичният модел на преобразувателя е съвкупността от системите (1), (2) и (3), които представляват хибридна структура, включваща диференциални, алгебрични и логически уравнения.

Решаването на такъв тип хибридни системи е възможно с различни видове комерсиални и със свободен достъп математични



***Фиг. 3**. Модел на квазирезонансен Buck ZVS DC – DC преобразувател*

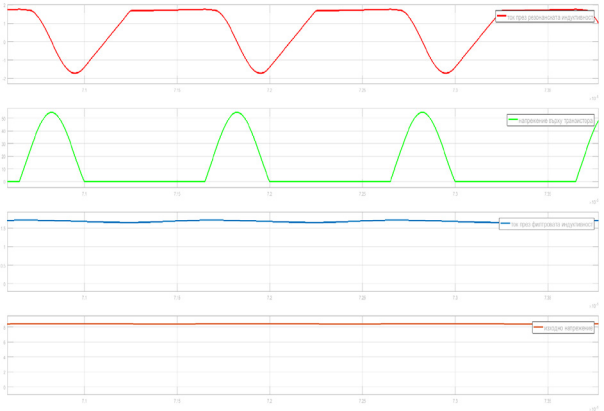
софтуери като: Matlab, Modelica, Mathcad и др. За целите на обучението, където обикновено студените не разполагат със задълбочени познания по математика и програмиране е по-подходящо реализацията на модела да се извърши в среди за визуално програмиране като Matlab/Simulink LabView.

На фиг. 3 е представена реализацията на модела в средата Matlab/Simulink. За определянето на стойностите на схемните елементи е използвана методологията за проектиране на квазирезонансни преобразуватели представена в [11].

При извършването на числените експерименти с модела са използвани следните стойности и параметри: L_r=1.6097μH, C_r=4.0242nF, L=6μH, C=15μF, R=5Ω, U_d=20V, f=1MHz и D=60%.

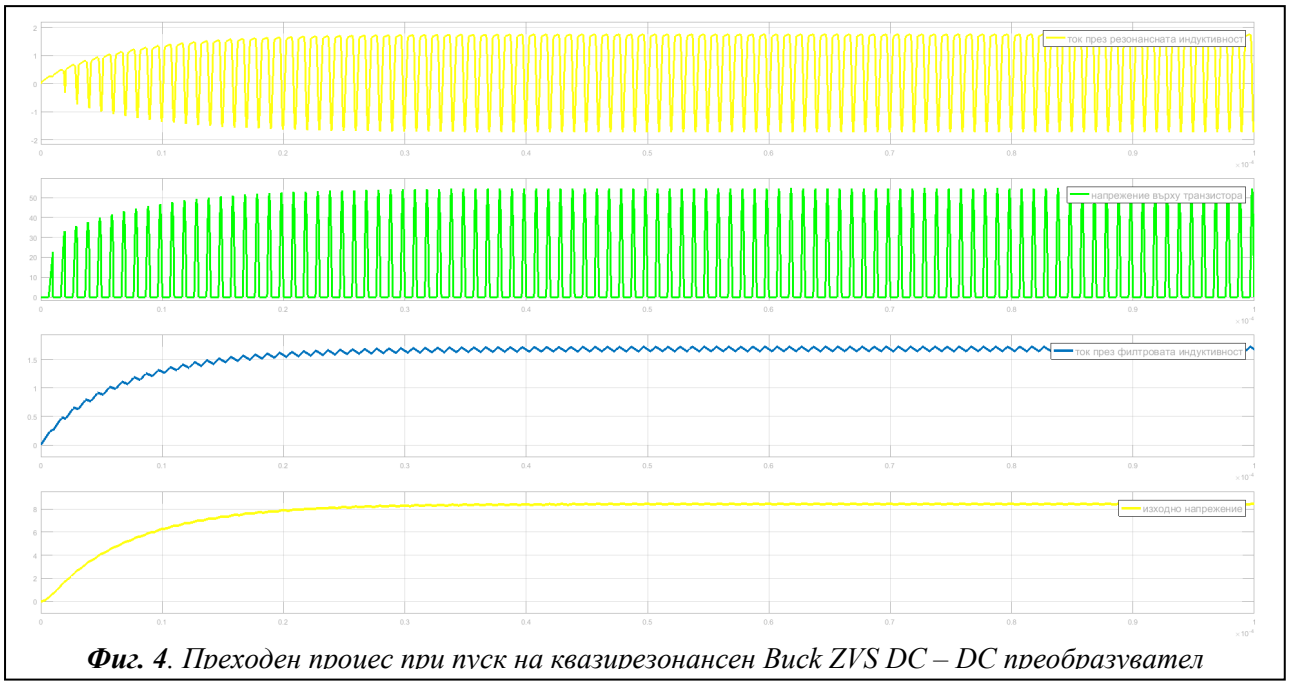
На фиг.4 са представени резултатите от изследване на преходния процес на включване (при стартиране) на преобразувателя. От техния анализ може да се направи изхода, че схемата е проектирана правилно с оглед осигуряване на благоприятен преходен процес на пуск (от апериодичен тип).

За да се установи дали преобразувателя работи в режим на нулеви комутации по напрежение са представени резултати от работата на силовата схема в установен режим. Времедиаграмите от това изследване са показани на фиг.5. От тях се установява, че е налице работа с меки комутации по напрежение, което е и цел на проектирането на резонансната верига и избора на честота на управление. Освен това чрез тях се извършва и верификация на модела, чрез сравнение с експерименти от лабораторен образец [11].



***Фиг. 5**. Преходен процес при пуск на квазирезонансен Buck ZVS DC – DC преобразувател*

При синтезирането на конкретния модел е разгледана работата в отворена система – без наличието на обратна връзка. Освен това в разгледания пример се работи с фиксирана честота на превключване и коефициент на запълване на управляващите импул-



***Фиг. 4**. Преходен процес при пуск на квазирезонансен Buck ZVS DC – DC преобразувател*

си. Едно естествено развитие на изследванията е синтезирането и добавянето на система за автоматично регулиране, като с нея да се реализират различни работни режими като: стабилизация на изходното напрежение, на изходния ток или на изходната мощност.

При анализа и проектирането на такъв тип схеми, се налага използването на сложен математичен апарат или се правят допускания, като например да се разглежда работата само в режим на непрекъснат изходен ток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работата е представен математичен модел на понижаващ ZVS квазирезонансен постояннотоков преобразувател. Той е верифициран с помощта на компютърни симулации и лабораторен макет.

Чрез моделирането се реализира гарантирането на показателите на изхода на силовите електронни устройства. Това е от изключителна важност за постигането на желаното качество на процеса на енергопреобразуване.

От друга страна съвременните методи за реализация на електронни устройства с гарантирани показатели, изискват използването на системен подход. Това означава да се използват средствата на моделирането в целия процес на реализация на устройствата – от етапа на формулиране на задание до получаването на крайния продукт.

БЛАГОДАРНОСТИ

Извършеното изследване се реализира в рамките на проекта "Моделно базирано проектиране на силови електронни устройства с гарантирани показатели", договор ДН 07/06 / 15.12.2016 г., с Фонд научни изследвания.

REFERENCE

[1] A. Szabo, M. Kamsara, E.S. Ward, “A unified method for the small-signal modelling of multi-resonant and quasi-resonant converters”, ISCAS '98. Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (Cat. No.98CH36187), Year: 1998, Volume: 3, Pages: 522 - 525 vol.3.

[2] Erickson R. W., D. Maksimovic, Fundamentals of Power Electronics, Second Edition, Kluwer Academic Publishers Group, 2001.

[3] F. C. Lee, "High-Frequency Quasi-Resonant Converter Technologies", Proceedings of the IEEE, vol. 76, no. 4, pp. 377-390, 1988.

[4] Kazimierczuk M. K. and D. Czarkowski, Resonant Power Converters, IEEE Press and John Wiley & Sons , New York, NY 2nd Edition, pp. 1-595, ISBN 978-0-470-90538-8, 2011.

[5] Kazimierczuk M. K., Pulse-Width Modulated DC-DC Power Converters, John Wiley & Sons, New York, NY, 008, pp. 1-782, ISBN-10: 0-470-77301-4, ISBN-13: 978-0-470-77301-7.

[6] K. H. Liu, R. Oruganti, F.C. Lee, "Resonant Switches - Topologies and Characteristics", IEEE Power Electronics Specialists Conference Record, pp. 106-116, 1985.

[7] K. H. Liu, F.C. Lee, "Zero-voltage Switching Technique in DC/DC Converters", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 5, no. 3, pp. 293-304, 1990.

[8] A. Szabo, M. Kansara, P.G. Holmes, E.S. Ward, "Mathematical Modelling of Quasi-Resonant Converters", Electronics Letters, vol. 31, no. 24, pp. 2057-2058, 1995.

[9] Mohan, Ned; Undeland, Tore M.; Robbins, William P., Power Electronics - Converters, Applications, and Design (3rd Edition), © 2003 John Wiley & Sons.

[10] Rashid M. H., Power Electronics handbook: devices, circuits, and applications, Academic Press, 2007.

[11] N. L. Hinov, N. R. Rangelov, Buck ZVS DC-DC Quasi-Resonant Converter: Design, Modeling, Simulation and Experimentation, ANNUAL JOURNAL OF ELECTRONICS, 2015, ISSN 1314-0078, pp.232- 237.

[12] R. D. Middlebrook, S. Cuk, "A General Unified Approach to Modelling Switching-Converter Power Stages", IEEE Power Electronics Specialists Conference Record, pp. 18-34, 1976.

[13] Zinoviev G., Fundamentals of Power Electronics - part II, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia, 2004, (in Russian).

[14] R. D. Middlebrook, "Small-Signal Modelling of Pulse-Width-Modulated Switched-Mode Converters", Proceedings of the IEEE, vol. 76, no. 4, pp. 343-353, 1988.

МОДЕЛНО БАЗИРАНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ПАРАЛЕЛНО РАБОТЕЩИ ИНВЕРТОРИ НА ТОК

MODEL-BASED DESIGN OF A PARALLEL OPERATING CURRENT SOURCE INVERTER

Dimitar Arnaudov[1]
[1]*Technical University of Sofia, Bulgaria*
dda@tu-sofia.bg,

Abstract

In the paper is presented a study of a current source inverters with voltage limiting on the switching capacitor working in parallel. Inverters are used as converters to charge energy storage elements (superconductors or rechargeable batteries). We have explored the possibility of designing a single unit and using the capabilities of model-based design to explore the properties of the multi-stage converter. A LTSpice converter model is presented and the work of a single unit and the joint work of several units are compared.

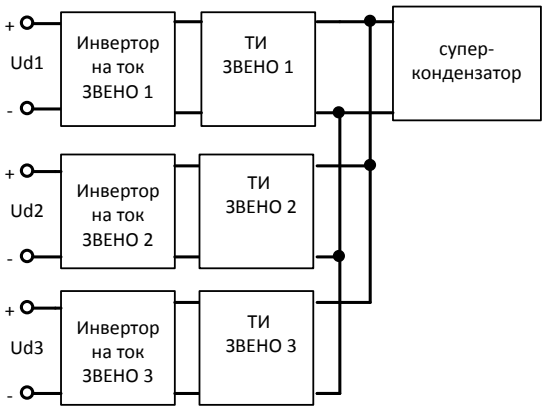
Keywords: current source inverter, parallel operating, design.

ВЪВЕДЕНИЕ

Елементите за съхранение на енергия се използват все повече в бита и индустрията. Два типа от най-разпространените елементи за съхранение на енергия са суперкондензаторите и акумулаторните батерии. За зареждането им се използват различни електронни преобразуватели на енергия. Това са DC-DC преобразуватели с различни изходни характеристики [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. За повишаване на изходните токове се използва работа в паралел на няколко преобразувателя [8, 9].

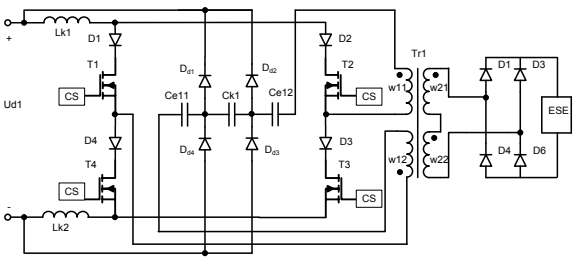
В работата е разгледан инвертор на ток с ограничение на напрежението върху комутиращия кондензатор [5], използван като преобразувател за зареждане на ЕСЕ.

Блоковата схема на преобразувателя е показана на фиг.1. В изхода на инверторите са свързани мостови токоизправители. По този начин се получава многозвенен преобразувател с възможност за увеличаване на изходната мощност. Преобразувателите работят върху общ товар. Схемата на едно звено заедно с изходния токоизправител е показана на фиг. 2.



Фиг. 1. *Блокова схема на многозвенния преобразувател*

За силови ключове в схемата са използвани транзистори с последователно свързани диоди. В схемата са ограничава напрежението върху кондензатора Ck1, който е част от резонансния кондензатор съставен от Ce11, Ck1 и Ce12. Чрез промяната на съотношението на Ce/Ck се променя нивото на ограничение на тока консумиран от захранващия източник, а следователно и на тока на зареждане на елемента за съхранение на енергия.



Фиг. 2. *Принципна схема на едно звено на преобразувателя*

Входния дросел е разделен на две части Lk1 и Lk2. Кондензаторът е разделен на три части, като върху Ck1 напрежението се ограничава до Ud. Останалите две части са с еднакви стойности на капацитетите Ce11=Ce12. Трансформаторът е реализиран с две първични намотки (w11 I w12) и две вторични (w21 и w22).

ОСНОВНИ УРАВНЕНИЯ

Анализът на показаната на фиг.2 схема е представен в [5]. Изведените и представени изрази в [5] могат да се използват като основа при проектирането на едно звено на преобразувателя. Ако елементът за съхранение на енергия е суперкондензатор и зареждането започне от напрежение нула, за проектирането на преобразувателя може да се приложи методиката дадена в [5]. Ако елементът за съхранение на енергия е суперкондензатор, зареден до определена стойност на или ако е акумулаторна батерия е нужно да се отчете и това напрежение. Ако се приеме, че коефициент на трансформация на трансформатора Tp1 1:1:1:1, е необходимо е да се замести L=2Lk1, Ck=Ck1, Ce11=Ce12, Ce=Ce11/2, R е сумата на активните съпротивления във веригата, ω=2πf (f-честотата на управление на преобразувателя). Един от основните моменти при проектирането е изборът на ъгъла θd, след който се включват ограничителните диоди. Изразът за $\left(\frac{\theta d}{\pi}\right)$ е изведен в [5].

$$\left(\frac{\theta d}{\pi}\right)^2 = \frac{1}{\frac{k_i\left(\left(\frac{\delta}{\omega_{01}}\right)^2.\omega_{otno}^2+1\right)}{p.\omega_{otno}^2.\nu 1}\sqrt{a^2+\left(1-a\frac{\delta}{\omega_{01}}\right)^2}\int_0^{\pi} e^{-\frac{\delta}{\omega}\vartheta}\sin\frac{\pi}{\lambda_1}(\vartheta-\psi)d\vartheta}$$

където,

$$\omega_{01}=\sqrt{\frac{1}{LC}-\delta^2}, \qquad \omega_{02}=\sqrt{\frac{1}{LC_e}-\delta^2}, \qquad \delta=\frac{R}{2L},$$

$$\lambda_2=\frac{\pi\omega}{\omega_{02}}=\pi\nu_2.$$

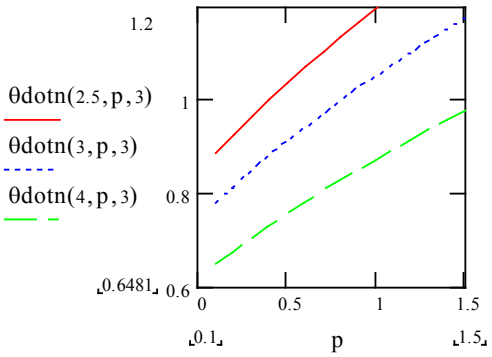
$$k_i=\frac{1}{1+e^{-\delta\frac{\pi}{\omega}\left(\left(\frac{\delta}{\omega_0}-a-a\left(\frac{\delta}{\omega_0}\right)^2\right)\sin\frac{\pi}{\nu 1}+\cos\frac{\pi}{\nu 1}\right)}}$$

$$\psi=\frac{\lambda 1}{\pi}\psi', \qquad \psi'=\operatorname{arctg}\frac{a}{1-a\frac{\delta}{\omega}_0},$$

$$a=\frac{\sin\frac{\pi}{\nu 1}}{\frac{1}{\pi}\ln\left(\frac{k1}{k1-1}\right)\sin\frac{\pi}{\nu 1}-\cos\frac{\pi}{\nu 1}+\left(\frac{k1}{k1-1`}\right)^{\frac{1}{\nu 1}}}, \quad p=\frac{C_k}{C_e}$$

Зависимостта $\theta dotn=\left(\frac{\theta d}{\pi}\right)$ във функция на коефициентът на разколебаване k1 и честотният коефициент ν1 е построена на фиг. 3. Зависимостта $\omega_{otno}=\frac{\omega_{01}}{\omega_{02}}$ във функция на коефициентът на разколебаване k1 и коефициента p1 е:

$$\omega otno(k1,p):=\frac{1}{\sqrt{\left[1+\left(\frac{\ln\left(\frac{k1}{k1-1}\right)}{\pi}\right)^2\right]\left(1+\frac{1}{p}\right)-\left(\frac{\ln\left(\frac{k1}{k1-1}\right)}{\pi}\right)^2}}$$

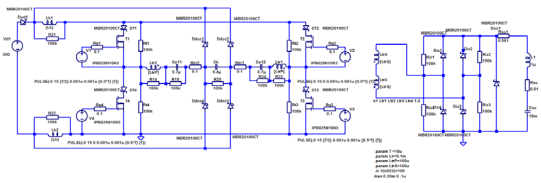


Фиг. 3. *Ъгъл на провеждане в относителни единици.*

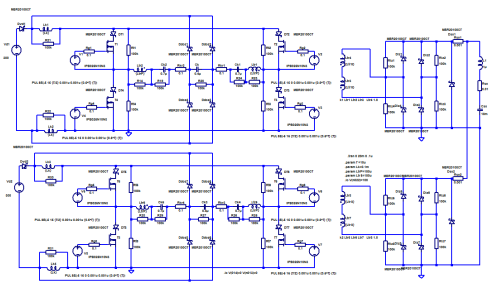
На фиг. 2 е показана схема на преобразувател за зареждане на елементи за съхранение на енергия. За изследването и моделно

базираното проектиране на преобразувателя са създадени симулационни модели на едно звено и паралелно работещи две звена със софтуер LTSpice (фиг. 4 и фиг. 5). В моделите към силовата верига са добавени и допълнителни елементи в паралел на активните и пасивни компоненти с цел ускоряване на изчислителния процес.

На фиг. 5 е показан модел на два инвертора работещи върху общ товар.



Фиг. 4. *Симулационен модел на едно звено*



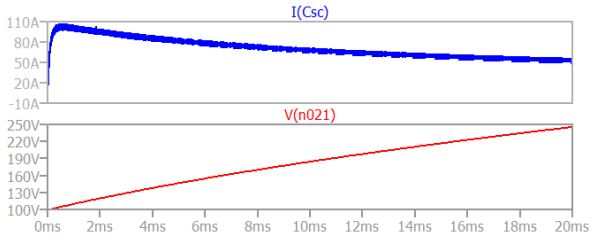
Фиг. 5. *Симулационен модел на паралелно работещи звена*

СИМУЛАЦИОННИ РЕЗУЛТАТИ

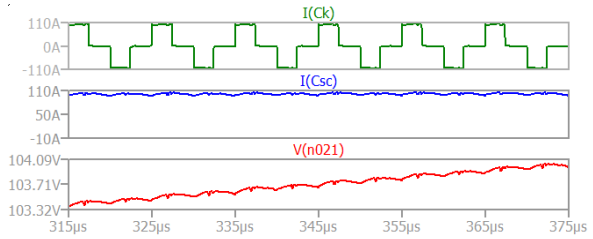
Проведени са симулационни изследвания за двата преобразувателя в процесът на зареждане на елемент за съхранение на енергията -суперкондензатор. Капацитетът на кондензатора в модела е със значително намалена стойност за постигане на по-малки симулационни времена, при които да се покаже поведението на преобразувателя в процеса на зареждане. Моделът на фиг. 5 е съставен от две идентични звена като преобразувателя от фиг. 4.

На фиг. 6 и фиг. 7 са показани времедиаграмите от симулацията на работата на едно звено, където: I(Csc) – ток през елемента за съхранение на енергия – суперкондензатора, V(n021) – напрежение върху суперкондензатора Csc и I(Ck) – ток през кондензатора Ck. Началната стойност на напрежението върху Csc е 100V.

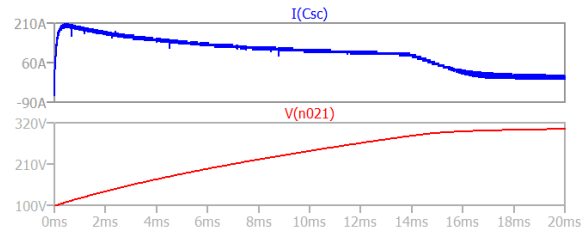
На фиг.8 и фиг. 9 са показани идентични резултати, но при съвместна работа на две звена. Показани са: I(Csc) – ток през елемента за съхранение на енергия – суперкондензатора, V(n021) – напрежение върху кондензатора Csc и I(Ck) – ток през кондензатора Ck.



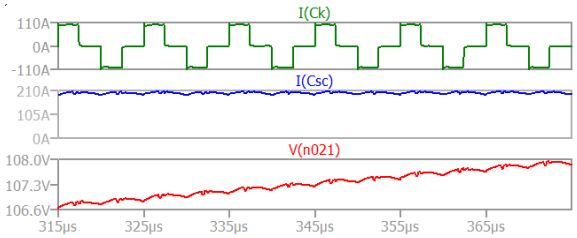
Фиг. 6. *Резултати от работата на едно звено*



Фиг. 7. *Резултати от работата на едно звено*



Фиг. 8. *Резултати от паралелно работещи звена*

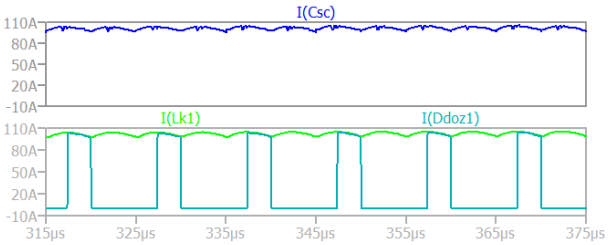


Фиг. 9. *Резултати от паралелно работещи звена*

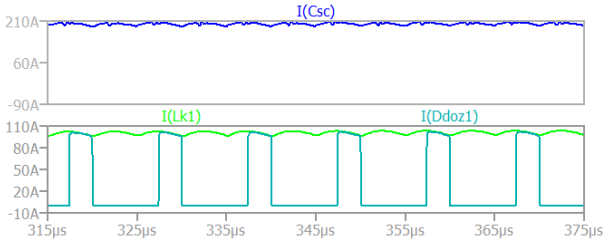
От показаните по-горе резултати, се вижда, че разликата в режимите на работа на едно звено и на едно звено от паралелно свързани такива в система е промяната на противо-електродвижещото напрежение на

зареждания елемент за съхранение на енергия (ECE).

На фиг.10 и фиг.11 са показани времедиаграмите от симулацията на работата на едно звено (фиг.10) и при съвместна работа (фиг. 11), където: I(Lk1) – ток през дросела Lk, I(Ddoz1) – ток през ограничителния диод Dd1.



Фиг. 10. *Резултати от работата на едно звено*

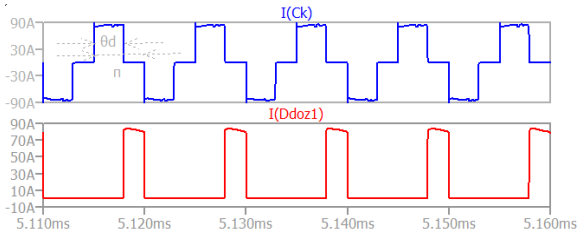


Фиг. 11. *Резултати от паралелно работещи звена*

И при тези резултати се вижда, че няма разлика в работата на едно звено работейки самостоятелно и работейки в паралел върху общ товар.

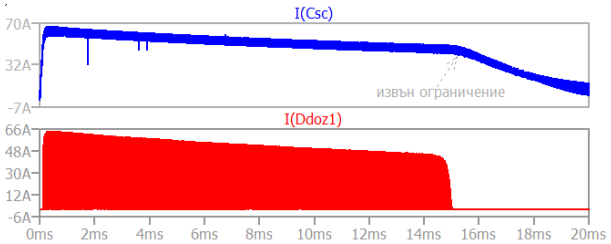
ПОДХОД ЗА МОДЕЛНО-БАЗИРАНО ПРОЕКТИРАНЕ

При работата на предложената схема за зареждане на суперкондензатори, тъй като напрежението върху зареждания елемент се променя, се променя и режимът на работа на преобразувателя. При проектирането на преобразувателя, може да се използва предложената в [5], методика за проектиране на инвертор на ток с ограничение на напрежението върху комутиращия кондензатор. Една от особеностите в режима на работа, е че при определена стойност на напрежението върху суперкондензатора, ограничителните диоди нямат условие за отпушване и не провеждат и инвертора се държи като класически инвертор на ток. Тъй като е трудно да се определят аналитично всички токове и напрежения в схемата за целия процес на зареждане, може да се използва моделно-базирано проектиране. При първоначалното проектиране на схемата се задава максималната мощност консумирана от преобразувателя в режим с ограничение, дълбочината на ограничение (ъгълът след който се включват ограничителните диоди θd) и честотата на работа на преобразувателя. Средната стойност на консумирания от захранващия източник ток Id е: $Id = 4.f.Ck.Ud$ [5]. На фиг. 12 са обозначени ъгълът θd и полупериода π.



Фиг. 12. *Токове през кондензатора Ck и ограничителния диод Dd1*

След проведеното първоначално оразмеряване на елементите и използване на създадения симулационен модел на преобразувателя се провеждат симулационни изследвания, за да се проследи промяната на токовете и напреженията за елементите в целия процес на зареждане и се коригират стойностите на елементите с цел постигане на режим удовлетворяващ допустими стойности на токовете и напреженията.



Фиг. 13. *Резултати от изследване на едно звено*

На фиг.13 са представени резултати от симулацията на работата на едно звено за тока през зареждания суперкондензатор I(Csc) и тока през ограничителния диод при друга начална стойност на напрежението върху кондензатора. В диаграмите се вижда момента, след който ограничителните диоди нямат условия за отпушване и не-работят. В този

режим „извън ограничение“, инверторът работи като класически инвертор на ток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работата са представени разработени симулационни модели на инвертори на ток с ограничение на напрежението върху комутиращите кондензатори. Моделите позволяват изследването на съвместната работа на двата преобразувателя върху общ товар. При работата на преобразувателите за зареждане на елементи за съхранение на енергия няма установен режим, тъй като се променя напрежението върху ECE, а следователно и режимът на работа на преобразувателите. На базата на аналитични изрази са проектирани преобразуватлите за начална стойност на напрежението върху зареждания елемент равна на нула. При проведените изследвания с моделите се установява, че при паралелно свързване на преобразувателите, токът на зареждане на суперкондензатора е сумата от токовете на двете звена и е два пъти по-голям спрямо същия товар захранен с едно звено. Това се дължи на факта, че товара се захранва с източници на ток.

От съотношението на кондензаторите Ck и Ce, зависи нивото на ограничение.

Недостатък на предложения схемен вариант е нуждата от съгласуващ трансформатор с две първични намотки (сложна конструкция), но за сметка на това се постига галванично разделяне на товара за всяко едно от звената.

Друг недостатък на схемата е нуждата от последователно свързани диоди с приборите за поемане на обратните напрежения.

Чрез промяна на честотата на управление и захранващото напрежение Ud, може да се регулира тока на зареждане на суперкондензатора.

Сравнението на стойностите получени от аналитичните изрази и тези от модела, потвърждават възможността проектирането да се извършва за конкретен режим на работа, а избора на активните и пасивни елементи да се извърши след симулационно изследване с помощта на разработените модели.

Благодарности

Докладът е разработен с подкрепата на проект "Моделно базирано проектиране на силови електронни устройства с гарантирани параметри", ДН07/6/15.12.2016, ФНИ.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Kroics K., V. Brazis, “Supercapacitor based storage system for efficiency improvement of lead-acid powered light electric vehicle” – IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), 25-28 Sept. 2016, Varna, Bulgaria, pp. 1216- 1221.

[2] T. Jalakas and J. Zakis, “Experimental verification of light electric vehicle charger multiport topology,” 9th International Conference on Compatibility and Power Electronics (CPE), 2015, pp. 415–418.

[3] Zhenjie Li; Chunbo Zhu; Jinhai Jiang; Kai Song; Guo Wei, “A 3-kW Wireless Power Transfer System for Sightseeing Car Supercapacitor Charge”, IEEE Transactions on Power Electronics, 2017, Volume: 32, Issue: 5 pp. 3301 - 3316.

[4] Arnaudov D., N. Hinov, I. Nedyalkov “Resonant converter for charging a supercapacitor stack ”, IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC) 2016, Festival and Congress Centre Varna, Varna, Bulgaria, 25 - 28 September, 2016 978-1-5090-1797-3/16/$31.00 ©2016 IEEE, pp. 192 -197

[5] Arnaudov D., Semiconductor converters of electrical energy with a voltage limit on the switching elements, PhD thesis, Technical university of Sofia, 2003 (in Bulgarian).

[6] Madzharov, N., Autonomous inverters with energy dosing for ultrasonic application, Proceedings of ICEST 2013, vol. 2, pp.647-651.

[7] Madzharov, N., High-frequency power source with constant output power, Journal of Engineering Science and Technology Review, 2016, pp.157-162.

[8] Sun, L., Y. Chen, X. Xia, L. Peng, Y. Kang, Design and optimization of parallel DC-DC system based on current-driven phase shift full bridge converter, 29th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2014, ISSN: 1048-2334, pp. 2048-2053.

[9] Sanjay Tolani, Parthasarathi Sensarma, An Instantaneous Average Current Sharing Scheme for Parallel UPS Modules, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2017, Volume: 64, Issue: 12, pp. 9210 – 9220.

LABVIEW APPROACH IN MODELING DC-DC CONVERTERS

Nikolay Hinov[1], Zoran Zlatev[1]
[1]*Department of Power Electronics, Faculty of Electronic Engineering and Technologies*
Technical University of Sofia, e-mail:hinov@tu-sofia.bg

Abstract

In a world, where the technology has an exponential growth, scientists are investigating in a much more complex way the DC-DC converters. When designing and modeling a device like is DC-DC converter, it is always most suitable to start with well known and designed converters like Buck and Boost converters. This is of great importance because LabView is visual programing oriented software, that works with Virtual Instruments and generates signals by our need, and by using this software we can test all the models that we have been worked before and see the similarity in the results.

This paper will investigate the response of the buck and boost converters, by testing them in software environment like LabView, make a comparison with previous tested results in other software. In advance, VI's will be created for using the models for other users in future that will work with similar problems.

Keywords: LabView, modeling, DC-DC converters.

INTRODUCTION

Before 30 years the mobile phones, electric cars, atm machines, heat converters and a lot of other electric devices didn't exist and all the electricity was flowing in well known way. These days, we have a lot more raised technology and to be more interesting, much more bigger problems in the field of the energy conversion than before. This is a little strange to say for lot of people that are doing their tasks every day and function normally. Let's prove what we have said. The whole industry of electric and hybrid cars are now trying to improve their battery range and battery health. Another moment is with our cellphones, that had evolved from ordinary phones, to smartphones and now our phone batteries lasts one or two days, also some of the models like "Samsung Note 7" didn't make it to the market because of the battery exploding problem. However, there are a lot of cases where the electric devices like DC-DC converters, should also evolve and go further in front of the needs of the nowadays technology.

EXPOSITION

In this paper three types of converters will be discussed. Buck, boost and buck-boost converter.

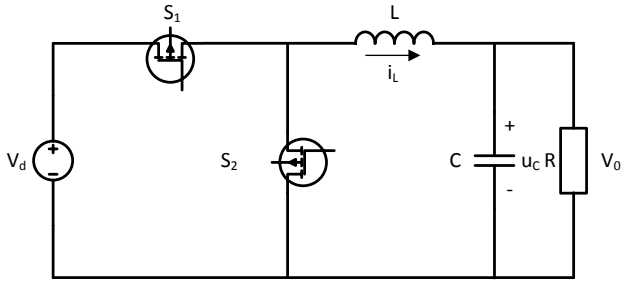


Fig. 1. *Buck Converter*

a. Buck Converter

On Figure 1 we can see how the buck converter works and from which components is combined. S_1 and S_2 are two semiconductor switches, the load R, filter capacitator C and filter inductance L. When working in continuous current mode, two states of the power circuit can be distinguished: first state – switch S_1 closed and S_2 open; second state – switch S_1 open and S_2 closed.

This is the most common used transformer in electronic devices. The following equation are relative to this transformer [1, 2, 3, 7, 8]:

$$\begin{cases} L\dfrac{di_L}{dt} = F.V_d - u_C \\ C\dfrac{du_C}{dt} = i_L - \dfrac{u_C}{R} \end{cases} \quad (1)$$

The state of the two transistors (on or off) is described using the switching function F [1,2].

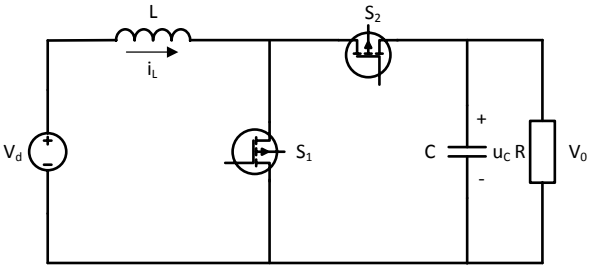


Fig. 2. *Boost Converter*

b. Boost Converter

On Figure 2 is presented the schema for the boost converter. Like the buck converter, the number of the elements from which is combined is with same number. When the S_1 switch is off, then the power is transferred from the power source. So, this converter is called inverse. From here, we can name this converter as an "reverse" converter and to maintain the main method of modeling, we will use the inverse function F_{inv} =1-F. We can mention the following system of equation for this converter [1, 2, 5, 6]:

$$\begin{cases} L\dfrac{di_L}{dt} = V_d - F_{inv}.u_C \\ C\dfrac{du_C}{dt} = F_{inv}.i_L - \dfrac{u_C}{R} \end{cases} \quad (2)$$

c. Buck-Boost Converter

On Figure 3 is presented the sheme for the buck-boost converter. This converter works in manner of that the input polarity is opposite from the output voltage and the power is transferred when the switch S_1 is off.

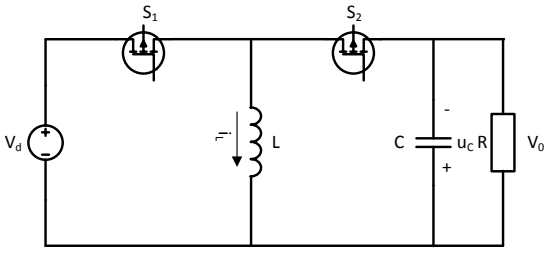


Fig. 3. *Buck-Boost converter*

The system of differential equations that this function generates are:

$$\begin{cases} L\dfrac{di_L}{dt} = F.V_d - u_C \\ C\dfrac{du_C}{dt} = i_L - \dfrac{u_C}{R} \end{cases} \quad (3)$$

MODELING

Equation systems 1, 2, and 3 are implemented in the LabView visual programming environment. Fig. 4 shows the block diagram realizing the model of the buck transducer.

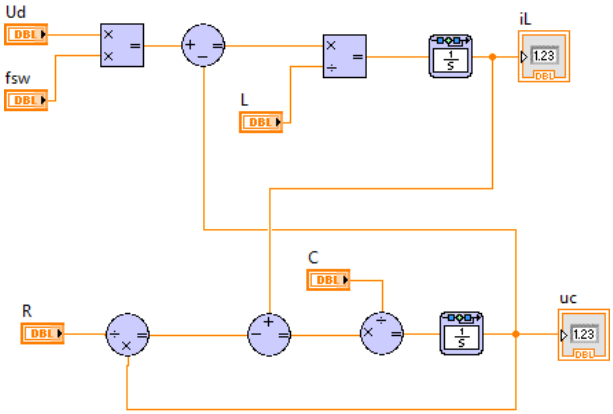


Fig. 4. *Model of Buck convertor in LabView*

In an analogous manner, the following figures 5 and 6 show the realized models of the other two transformers – Boost and Buck-Boost.

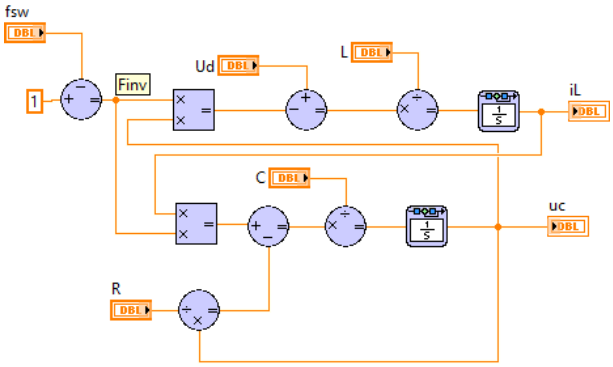


Fig. 5. *Model of Boost convertor in LabView*

Simple mathematical operators who perform collection, multiplication, and integration are used for modeling purposes. To solve the equation systems, the numerical method of the Runge–Kutta is used.

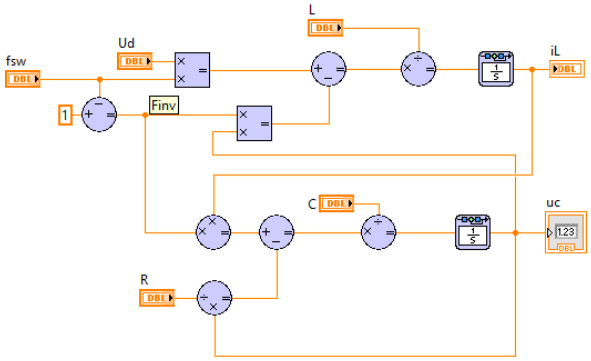


Fig. 6. *Model of Buck-Boost convertor in LabView*

The switching function F is realized by means of a rectangular pulse generator. With it, besides the control frequency, the duty cycle D is also set.

RESULTS

Numerous experiments have been carried out with these models. To get a comparison and a community of results, the same circuit parameters are used: input voltage Vd = 20V; L= 0.2mH; C = 10μF; R = 10Ω; switching frequency 100kHz, D = 0.5.

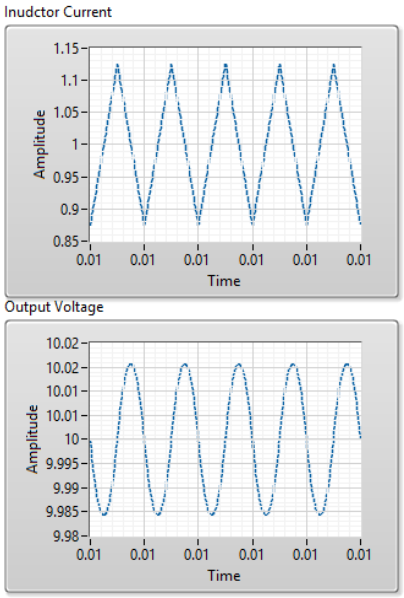


Fig. 7. *Results from Buck converter in LabView*

Figure 7 shows the results of a study-state operating mode of the Buck converter.

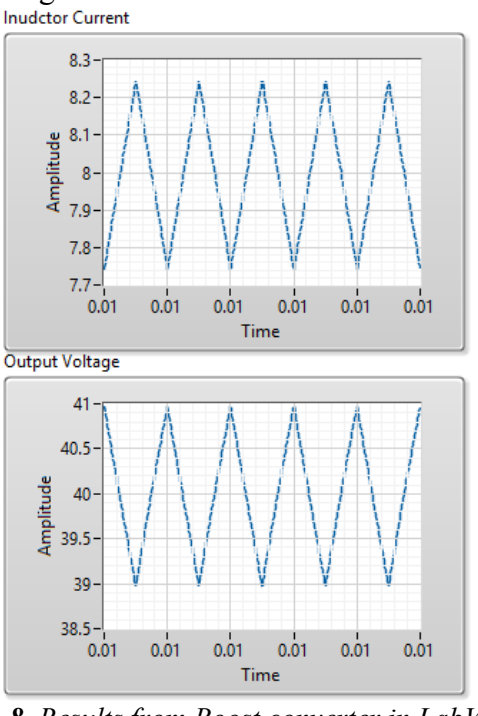


Fig. 8. *Results from Boost converter in LabView*

Figure 8 shows the results of a study-state operating mode of the Boost converter.

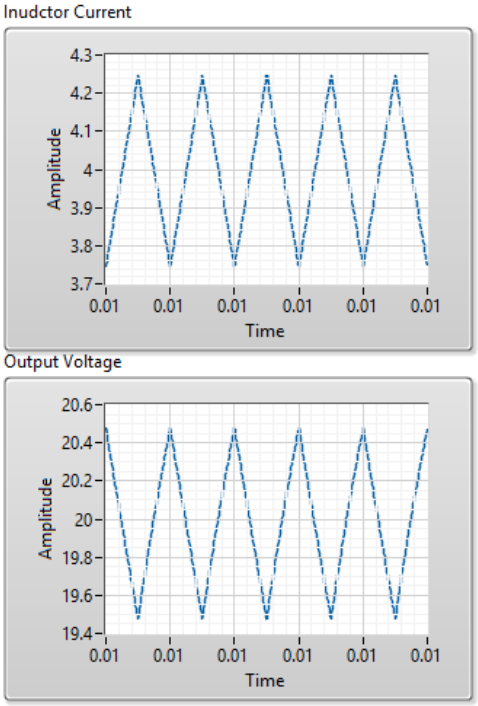


Fig. 9. *Results from Buck-Boost in LabView*

Similar results for the operation of the Buck-Boost converter are given in Figure 9.

From the analysis of the graphical results it can be concluded that the models are working and reliable because they have results that are the same as the theoretical extracts made in the specialized literature [2, 8, 9].

Another research task is to study the influence of the inductance value L on the type of transient processes and the dynamics of the base DC-DC converters. For example, this is done only for the Buck DC-DC converter, the results obtained being valid for the other schemes under consideration.

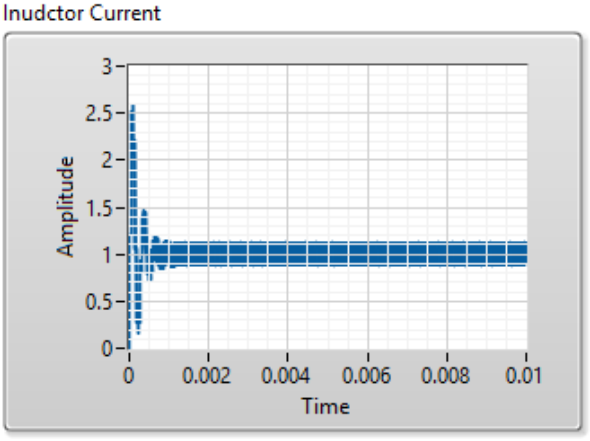


Fig. 10. *Results from Buck converter L=0.2mH*

Figure 10 shows the kind of transition transition process at the inductance value L used above. It is obvious that at this value of L there is a resonant transition process with little fading and long duration.

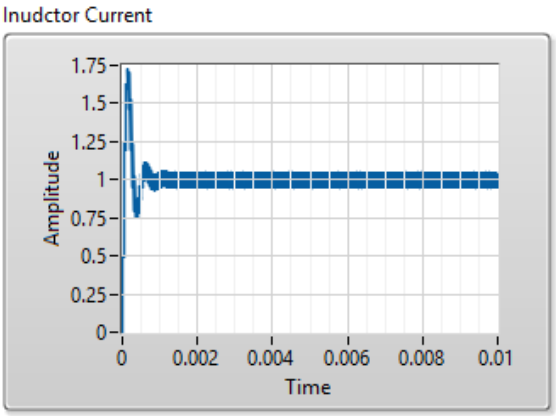


Fig. 11. *Results from Buck converter L=0.5mH*

Fig. 11 shows results with a higher inductance value. It is obvious that the nature of the transition process is retained, and its attenuation is less than that of the previous case.

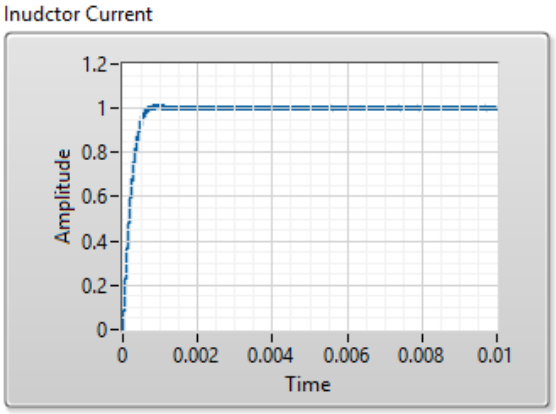


Fig. 12. *Results from Buck converter L=3mH*

Similarly, a series of numerical experiments were conducted to obtain an aperiodic transition process. These results are shown in Figure 12. Obviously, the duration of the transition process and hence the dynamics of the scheme are significantly better than the other cases considered.

CONCLUSION

The work deals with the modeling of basic circuits of DC-DC converters in the middle of the LabView. The models are verified using theoretical calculations and experimental models.

With the developed models, studies have been conducted to determine the optimal value of inductance L so as to produce a transient start-up process with minimal duration and aperiodic shape. In this way a model based design of this type of circuit is realized, which is very suitable for use in the educational process.

ACKNOWLEDGMENT

The research has been conducted within the framework of ДН07/06/15.12.2016 project "Model Based design of power electronics devices with guaranteed parameters" of the Bulgarian Scientific Fund.

REFERENCES

[1] E. Popov. "Analysis, Modeling and Design of Converter Units (Computer – Aided Design of Power Electronic Circuits)", Technical University Printing House, Sofia, 2005 (in Bulgarian.).
[2] E. Popov, "Computer Aided Design of Power Electronic Devices - Solved Examples", Publishing Technical University of Sofia, pp. 24-32, 2014. (in Bulgarian).
[3] Ned Mohan, Undeland, Tore M.; Robbins, William P., „Power Electronics - Converters, Applications, and Design (3rd Edition)", © 2003 John Wiley & Sons.
[5] ni.com/LabView
[6] V. Vorperian, "Simplified analysis of PWM converters using model of PWM switch. Continuous conduction mode", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 26, pp. 490-496, 1990.
[7] M. H. Rashid, "Power Electronics: Circuits, Devices and Applications", Pearson/Prentice Hall, 2003.
[8] B. L. Dokić, B. Blanuša, "Power Electronics Converters and Regulators" - Third Edition, © Springer International Publishing, Switzerland 2015, ISBN 978-3-319-09401-4.
[9] J. Holtz, "Pulse width modulation electronic power conversion," Proceedings of the IEEE, vol.82, no. 8, pp. 1194-1214, August 1994.
[10] M. P. Kazmierkowski, R. Krishnan, and F. Blaabjerg, Control in power electronics. Academic Press, 2002.

MULTISIM-BASED MODEL FOR UNIMORPH PIEZOELECTRIC ENERGY HARVESTERS

Constantinos Tramantzas
Technological Educational Institute of Eastern Macedonia and Thrace (TEI EMT)

Abstract

Piezoelectric transduction has received great attention for vibration-to-electric energy conversion in the last years. Cantilevered beams with piezoelectric layers are lately more and more frequently used in the role of energy harvesters. The development of piezoelectric energy harvesting systems needs accurate models for system behavior predictions and evaluations. The modeling approaches in the literature are primarily mathematically-based and they include coupled single degree-of-freedom (SDOF) models, approximate distributed parameter models (based on the Rayleigh-Ritz method) as well as some distributed parameter approaches that consider only single vibration mode with the ignorance of the backward coupling in the mechanical domain. The current work proposes a Multisim-based model which is capable of studying the electromechanical behavior of unimorph piezoelectric energy harvesters. In the modeling procedure, Euler-Bernoulli beam theory is used as the procedure for obtaining the model parameters is described. The parametric simulation of a specific cantilevered piezoelectric energy harvester is done and the simulation results are analyzed. The comparison of the simulation results and those from analytical models, which are published in the literature shows that the proposed model is adequate. That means, the Multisim model successfully enables to simulate and analyze the electromechanical behavior of unimorph piezoelectric energy harvesters in their design process.

Keywords: energy harvesting; vibration mode; electromechanical behavior; Multisim model.

INTRODUCTION

The increasing ecological criteria and the dwindling quantity of energy resources on Earth dictate the necessity of developing new, efficient and renewable energy sources. One of the considered development paths is the creation of "self-powering" devices – kind of devices that are powered by naturally occurring phenomena that are unsuitable for large scale electric generation. The desirable trends are to replace or backup accumulators and rechargeable batteries with compact, effective and affordable electricity generating devices that are summed under the term Energy Harvesters (EH). The energy harvesters are operating on classical and known physical phenomena but the sources for the converted external energy are considered unconventional in the general sense.

EXPOSITION

A) Piezoelectric Energy Harvesters

There are various ways to collect energy from different sources in the environment which can vary from thermal conversion to using the random air turbulence flows [2]. Piezoelectric mediums are often considered when there is a possibility to harvest electricity from wasteful mechanical energy which in the most cases is present in moving systems as unused accompanying vibrations, motions or unbeneficial force projections. The reason for utilizing piezoelectric materials is their intrinsic high mechanical-to-electricity conversion ratio with which in theory substantial energy returns can be achieved. When considering the design of an energy harvester based on piezoelectric materials the initial step is to determine the operation mode and the second stage – to determine the placing of the active element.

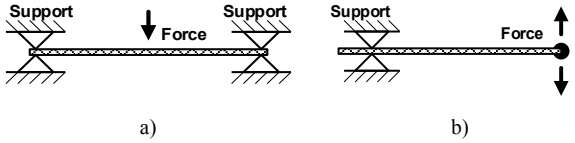


Fig. 1. *Mounting of the piezoelectric harvester*

There are two basic operational modes that are currently being put under development – namely the utilization of applied compression forces (Fig. 1, a) [3] or the usage of intrinsic

vibrations that cannot be in some way diminished or damped (Fig. 1, b) [1].

The chosen operation mode determines the placing and mounting position of the harvester as the former mode is applied mainly in devices aimed at harvesting the human motions as the harvester materials are usually characterized with relatively high flexibility. The latter mode is usually applicable in different solutions in vibration rich environments which are likely to be present in the heavy industries but nothing prevents its usage in other applications as the active materials are usually defined with relatively high rigidity.

The vibrational harvesters are generally configured as some form of beam cantilever system, although some other resemble specialized spring structures. The beam configuration is used in connection to the fact that the rigidity of the active material in such configuration is not so important because of the passive substructure (layer) that can be optimized to meet the requirements for a specific application.

B) Basic Piezoelectric Beam Structure

A unimorph or monomorph harvester is a cantilever system that consists of one active (piezoelectric) layer and one inactive layer. The beam usually is formed from a layer of thin piezoelectric ceramic [2] (which provides the required stiffness to the resulting structure and in most cases some kind from PZT piezoelectric ceramics is used) and one or two layers of flexible, nonconductive material (usually some kind of plastic).

In Fig. 2, a variant of a unimorph harvester is shown. The harvester beam is assumed to be excited by the motion of its base, which is represented by translation in the transverse direction and small rotation. The harvester can be represented as a simply an Euler-Bernoulli uniform composite beam consisting of a PZT layer bonded to the substructure layer.

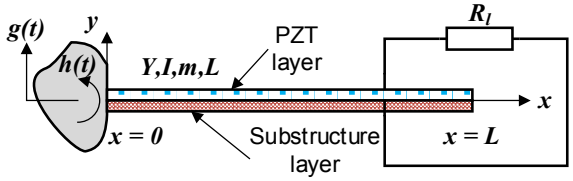


Fig. 2. *Unimorph piezoelectric energy harvester*

Modeling the configuration as a uniform composite beam based on the theory of Euler-Bernoulli is a reasonable assumption since typical cantilevered piezoelectric energy harvesters are designed and manufactured as fairly thin beams and most of the commercially available unimorphs are thin structures. Deformations are assumed to be relatively small and the composite structure to exhibit linear-elastic material behavior.

The harvester beam is typically excited due to the motion of its base. If the translation and the small rotation of the base are denoted by $g(t)$ and $h(t)$, respectively, as shown in Fig. 2, then the base motion $w_b(x,t)$ on the beam can be represented as follows:

$$w_b(x,t) = g(t) + h(t). \quad (1)$$

After the appropriate transformations and utilizing the required assumptions, the electromechanically coupled ordinary differential equation for the modal response of the beam can be obtained as following:

$$\frac{d^2\eta_r(t)}{dt^2} + 2\zeta_r\omega_r\frac{d\eta_r(t)}{dt} + \omega_r^2\eta_r(t) + X_r v(t) = N_r(t)' \quad (2)$$

where:

$\eta_r(t)$ – mechanical modal response;

ω_r – undamped natural frequency of the $r^{\text{-th}}$ mode;

ζ_r – mechanical damping ratio,

k_r – modal coupling term from the mechanical to electrical part;

X_r – modal coupling term from the electrical to mechanical part,

$v(t)$ – voltage across the resistive load;

$N_r(t)$ – modal mechanical forcing function.

It is possible to represent the electrical domain of the coupled system by very simple circuit as shown on Fig. 3.

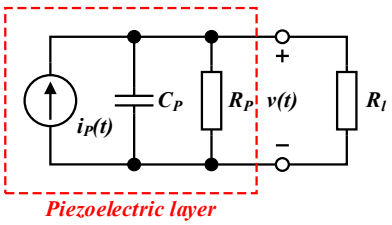


Fig. 3. *Equivalent electrical circuit of the piezoelectric layer*

The parameter that are used to describe the equivalent circuit, are the following: $i_P(t)$ (current, generated in the piezoelectric layer), C_P (internal capacitance of the piezoelectric

layer), R_P (internal resistance of the piezoelectric layer or else known as piezoelectric leakage resistance) and R_l (load resistance).

The simple circuit shown in Fig. 3 is the complete circuit of the electrical domain for a single resistive load case. This representation considers the electrical domain only and the electromechanical representation of the coupled system is actually a transformer because of the voltage feedback sent to the mechanical domain due to the piezoelectric coupling. Applying the Kirchhoff laws to the simplified equivalent electrical circuit, leads to the following:

$$C_p \frac{dv(t)}{dt} + \frac{v(t)}{R_l} + \frac{v(t)}{R_P} = i_P(t). \quad (3)$$

The internal capacitance, the internal resistance and the current source can be represented as:

$$C_p = \frac{\varepsilon_{33}^S bL}{h_P}, \quad (4)$$

$$R_P = \rho_P \frac{h_P}{bL}, \quad (5)$$

$$i_p(t) = \sum_{r=1}^{\infty} k_r \frac{d\eta_r(t)}{dt}, \quad (6)$$

where: ρ_P is the resistivity of the piezoceramic.

It's important to note, that the solutions of the represented equations vary depending on the way of the harvester excitation. For excitation the harvester, one of the following cases may be chosen:

- General Transient Base Motion (GTBM) – the excitation of the harvester is assumed to be due to its base motion in the form of translation in the transverse direction with small rotation, and it is not restricted to be harmonic in time.
- Harmonic Base Motion (HBM) – it is assumed the translation and small rotation of the beam to be harmonic in time, i.e., $g(t) = Y_0 e^{j\omega t}$ and $h(t) = \theta_0 e^{j\omega t}$, where Y_0 and θ_0 are the amplitudes of the base translation and rotation, respectively, and ω is the driving frequency.
- Harmonic Base Translation (HBT) – in most of the theoretical and experimental studies on piezoelectric energy harvesting, the base excitation is considered to be harmonic translation in the transverse direction and the beam is assumed to be not rotating, that is $h(t)$=0. This case of the beam excitation can be implemented in two ways – harmonic base translation at an arbitrary frequency and harmonic base translation around the natural frequency of the $r^{\text{-th}}$ mode.

C) Modeling Procedure

For behavior modeling of a unimorph piezoelectric energy harvester, a requirement of establishing the sequence of operations, that correspond to the formation and solving of the analytical model is needed, to be made possible to develop a procedure for a schematic modeling.

The proposed modeling procedure concerns the case of HBT in which the motion of the base is reduced to transverse displacement only (the base of the cantilever is assumed to be not rotating and is shown in *Table 1*.

Table 1: *Steps of the modeling procedure*

Step 1:	Assumption that the displacement of the base $w_b(t)$ (where $w_b(t) = g(t)$) is the input;
Step 2:	Differentiating the displacement (input) according to time for obtaining the velocity of the base;
Step 3:	Differentiating the velocity with accordance of time for obtaining the acceleration of the base;
Step 4:	Converting the acceleration of the base into the internal excitation term of the modal mechanical forcing function;
Step 5:	Converting the velocity of the base into the damping excitation of the modal mechanical forcing function;
Step 6:	Determining the modal coupling term X_r, which describes the connection between the electrical and mechanical systems;
Step 7:	Forming the right-hand side of the modal equation of motion by summing the components of mechanical excitation and subtracting from the resulting sum the force contribution from the applied/induced voltage in the piezoelectric layer;
Step 8:	Solving the modal equation of motion for the modal mechanical response of the beam;
Step 9:	Determining the first derivative of the modal mechanical response of the beam;
Step 10:	Representing the electrical domain of the coupled system by an equivalent circuit which consists of the model of piezoelectric layer connected in parallel to the load resistance;
Step 11:	Determining the relative harvester tip displacement for a given value of r;

D) Model for a Unimorph Piezoelectric Harvester

For the purpose of helping the design process and the behavior simulations of electrical circuits which contain piezoelectric energy harvesters, there is a need of creating SPICE compatible model.

The proposed modeling procedure (in *Table 1*) has been implemented in the form of a structural behavioral model in the Multisim environment (fully SPICE compliant). The developed schematic model for a unimorph piezoelectric energy harvester is shown in Fig. 4. The model includes both structural

(electronic) elements (for example, *R* and *C* elements) and functional blocks (such as, differentiators, gyrators, etc). The electronic elements model a structure of a certain circuit components (for example, the equivalent circuit of the piezoelectric layer), while the functional blocks describe a certain type of device behavior.

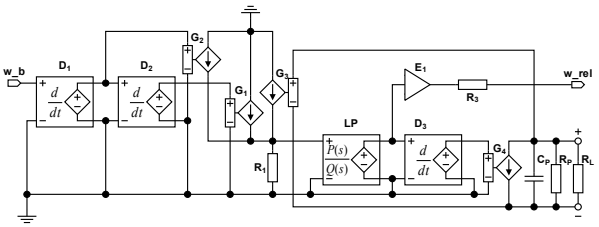


Fig. 4. *Multisim model of a piezoelectric unimorph cantilever harvester*

In the model, the displacement of the base w_b ($w_b(t)$,$w_b(t) = g(t)$) is taken as an input, where geometrical dimension is substituted by voltage.

The differentiator block **D_1** is used to get the first derivative of $w_b(t)$ (velocity $j\omega Y_0 e^{j\omega t}$) as the **$D_2$** is used to get the second – the acceleration ($-\omega^2 Y_0 e^{j\omega t}$). The used four gyrators (**$G_{1\div4}$**) are represent as voltage controlled current source (VCCS). Gyrators **G_1** and **G_2** are used for conversion of the base acceleration and velocity to components of mechanical excitation (respectively N_r^m and N_r^c). Gyrator **G_3** models the force contribution from the applied/induced voltage in the piezoelectric layer. The Laplace block – **LP** is used to describe the mechanical system as a linear system and as it gives the modal amplitude $\eta(t)$. The differentiator **D_3** is used for obtaining the first derivative of the modal mechanical function. The piezoelectric layer can be modeled as a current source **G_4**, internal capacitance **C_P** and internal resistance **R_P**. The proportional relation between the relative vibratory motion of the beam and the modal response of the beam is modeled by gain block, labeled as **E_1**. The block **E_1** can be considered as a two-pin voltage controlled voltage source (VCVS) and is used to convert the modal amplitude to a relative vibratory motion of the beam system.

In the model current stage of development, only one mode (i.e., $r^{\text{-th}}$ mode) can be simulated at a given time. To evaluate more modes simultaneously either the model needs to be expanded, or the results obtained separately for the different modes should be further processed together. Prior to the model usage, several parameters should be calculated as set parameters for the model blocks/elements. These parameters are design specific and they are considered to be constant during the simulation and correspond to the $r^{\text{-th}}$ mode.

The necessary parameter settings for the blocks/elements of the model are summarized in *Table 2*.

Table 2: *Parameter settings for the model elements*

Block/element			
Name	Label	Parameter	Value/Expression
Differentiator	D_1	Gain	1
	D_2	Gain	1
	D_3	Gain	1
Gyrators	G_1	Gain	$-m\int_{x=0}^{L}\phi_r(x)\,dx$
	G_2	Gain	$-c_a\int_{x=0}^{L}\phi_r(x)\,dx$
	G_3	Gain	$-k_r$
	G_4	Gain	$-X_r$
Laplace function	LP	*s*-variable Laplace expression/transfer function	$\frac{1}{(s^2+2\zeta_r\omega_r s+\omega_r^2)}$
Gain block	E_1	Gain	$\phi_r(L)$
Resistance	R_1	Resistance	1Ω
Internal resistance	R_P	Resistance	$\rho_P\frac{h_P}{bL}$
Internal capacitance	C_P	Capacitance	$\frac{\varepsilon_{33}^S bL}{h_P}$

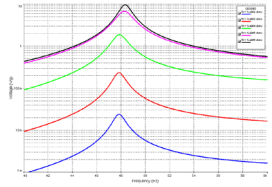
E) Simulation Research

Initially the simulations are run for determining the resonance frequencies of the harvester structure. The results for the first three vibration modes in the case of short circuit and open circuit resonance frequencies are shown in the *Table 3*.

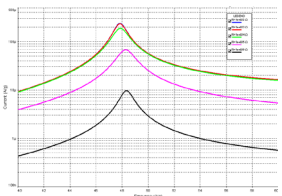
Table 3: *Resonance frequencies*

Frequency (Hz)	***Mode 1***	***Mode 2***	***Mode 3***
f_r^{sc} – short circuit	47.8	299.6	838.8
f_r^{oc} – open circuit	48.4	300.6	839.1
Subscript ***r*** *stands for the mode number*			

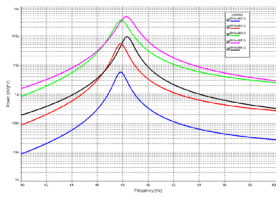
The simulations for *Mode 1* give the following results:



a) Voltage results



b) Current results



c) Power output

Fig. 5. *Simulation results for current, voltage and power output for five different loads*

The comparison of the simulation results and those from similar analytical models [4, 5], which are published in the literature shows that the proposed model is adequate for simulation of piezoelectric energy harvesters in SPICE environment.

CONCLUSION

The current work propose SPICE compliant model that describes piezoelectric energy harvesters of cantilever beam type. The proposed model can be used in studying, developing and designing circuits in which this type of harvesters are included.

The model is based on the concept of Euler-Bernoulli uniform composite beam systems and electromechanical analogy in piezoelectric active mediums. The proposed model includes both structural and functional behavioral blocks and is composed in Multisim environment in which it had been tested.

The obtained results in comparison with the similar analytical models show that the developed Multisim model successfully enables to simulate and analyze the electromechanical behavior of unimorph piezoelectric energy harvesters in their design process and circuitry development.

REFERENCE

[1] Ling Bing K., T. Li, H. Hoon Hng, F. Boey, T. Zhang, S. Li. *Waste Energy Harvesting: Mechanical and Thermal Energies*. Springer Science & Business Media, 2014, pp. 592.

[2] Yang Zh., Sh. Zhou, J. Zu, D. Inman. *High-Performance Piezoelectric Energy Harvesters and Their Applications*. CellPress, Joule 2, 642–697, April 18, 2018.

[3] Zhao J., Zh. You. *A Shoe-Embedded Piezoelectric Energy Harvester for Wearable Sensors*. Sensors 2014, 14, 12497-12510; doi:10.3390/s140712497, ISSN 1424-8220.

[4] S. Abbas, Z. Abbas, R. A. Pasha. *Analytical Estimation and Numerical Simulation of Vibration based Piezoelectric Energy Harvesters*. International Journal of Science, Engineering & Innovative Research, pp. 9, Online Publication 07-2016, ISSN: 2412-513X.

[5] Mei J., M. Tao, H. Xiao, D. Chen, L. Li. *Analytical simulation of the cantilever-type energy harvester*. Advances in Mechanical Engineering, 2016, Vol. 8(1) 1–11, DOI: 10.1177/1687814015627983

LLC РЕЗОНАНСЕН ИНВЕРТОР ЗА ПРЕОБРАЗУВАНЕ НА ЕНЕРГИЯТА ПОЛУЧЕНА ОТ ФОТОВОЛТАИЧЕН ИЗТОЧНИК

Димитър Спиров
Университет по хранителни технологии - Пловдив

LLC RESONANT INVERTER FOR TRANSFORMATION OF ENERGY RECEIVED BY PHOTOVOLTAIC SOURCE

Dimitar Spirov
University of Food Technologies – Plovdiv

Abstract

Power electronic equipment for transformation of energy received by photovoltaic source is developed. The operation of the load LLC resonant converter is examined in the different modes. Oscillograms of the load voltage were obtained by direct connection, straightening with bridge rectifier and smoothing the voltage pulsations with a capacitive filter. The use of a rectifier and capacitive filter results in peaks in the resonant current curve.

Keywords: LLC resonant converter, photovoltaic source.

ВЪВЕДЕНИЕ

Една от основните технологии, които се използват за оползотворяване на слънчева енергия е фотоволтаичното преобразуване. Фотоволтаичните елементи използват фотоволтаичният ефект, при който се извършва директно преобразуване на слънчева енергия в електрическа енергия. Енергийните характеристики на слънцето като енергиен източник за Земята са ниска плътност на топлинния поток; неравномерна спектрална плътност на излъчването; нестационарна интензивност през различните часове на деня, зависещи от метеорологичните условия на местността и др. Тези особености налагат специфични технически решения и средства за оползотворяване на слънчевата енергия [1, 2, 3].

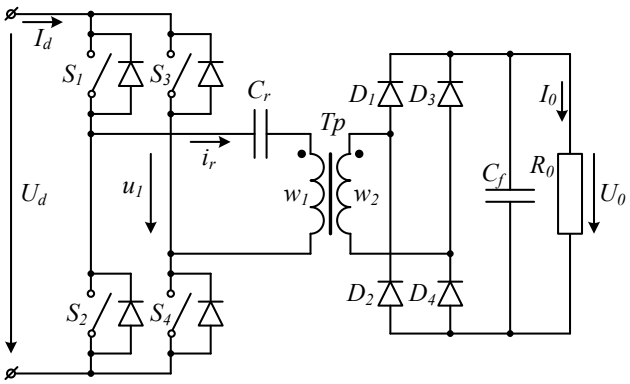
Инверторите, използвани за преобразуване на енергията на фотоволтаичните източници трябва да удовлетворяват широк набор от условия, които водят до повишаване на работоспособността и ефективността и намаляване на себестойността на уредбата. За решаването на този проблем в редица литературни източници са използвани резонансни преобразуватели [3].

Характерна особеност на резонансните преобразуватели е използването на резонансни процеси при превключването на силовите прибори. В зависимост от типа на използваната конфигурация на силовата схема може да се осъществи превключване при нулево напрежение или нулев ток. Това позволява да се намалят комутационните загуби и използването на резонансни преобразуватели при високи честоти. Типът на силови прибори определя възможността за реализация на различни режими на работа при резонансните преобразуватели. Резонансния процес се проявява при превключването на силовите прибори, при което постоянното захранващо напрежение се явява приложено обикновено към последователен резонансен кръг, поради което токът през силовите прибори и товара има близка до синусоидалната форма. Това намалява електромагнитните излъчвания и дава подобра електромагнитна съвместимост.

Целта на настоящия доклад е разработване на LLC резонансен инвертор за преобразуване на енергията получена от фотоволтаичен източник. Необходимо е да се изследват различните режими на работа на преобразувателя.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Принципната схема на LLC резонансен инвертор е представена на фиг.1 [1].

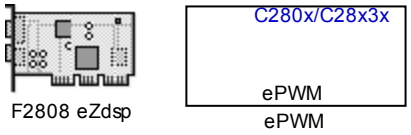


***Фиг. 1**. Принципна схема на LLC резонансен инвертор*

Схемата съдържа мостов инвертор $S_1 \div S_4$, резонансен кондензатор C_r, трансформатор T_p, нерегулируем изправител $D_1 \div D_4$ с капацитивен филтър C_f и товар R_0.

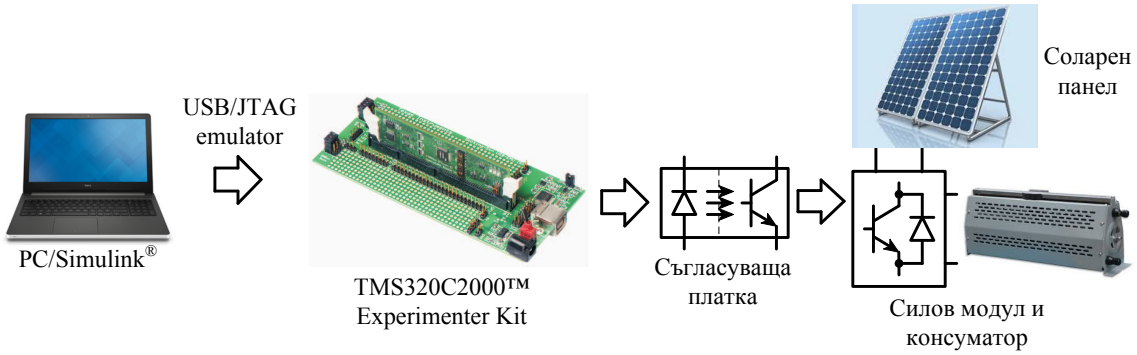
Напрежението на входа на резонансната верига $u_1(t)$ се осигурява от мостовия инвертор под формата на правоъгълни импулси с честота f_{sw}. Правоъгълните импулси предизвикват резонансен процес, при който протича синусоидален ток, който се преобразува от трансформатора, изправя от изправителя и подава на товара R_0.

Импулсите за управление на силовите ключове се получават от управляващата платка „TMS320C2000™ Experimenter Kit”. Платката „TMS320C2000™ Experimenter Kit” изпълнява функциите както на управляваща, така и на изчислителна платформа. Тази платка е изградена на базата на цифровия сигнален процесор (ЦСП) TMS320F2808, съвместим с Simulink®, и включва шест двойки ШИМ канала (общо 12 канала), 16 аналого-цифрови преобразувателя (АЦП) и вход за енкодер за скорост. Процесора е 32-битов ЦСП с аритметика с фиксирана запетая, следователно могат да бъдат използвани блокове от Simulink® с дискретна математика и математика с фиксирана запетая.



***Фиг. 2**. Блок-схема на системата за управление*

На базата на анализа на работата на схемата [1] е разработена система за управление. Модулите за формиране на управляващите сигнали са разработени с елементи от библиотеката “Target for TI C2000” в MATLAD/SIMULINK и са компилирани в „TMS320C2000TM Experimenter Kit” чрез USB/JTAG емулатора, вграден в платката „TMS320C2000TM Experimenter Kit”. Блоковата схема на модула, зареден в паметта на ЦСП за многократно изпълнение, е дадена на фиг. 2. Използвания от библиотеката “Target for TI C2000” блок за ШИМ (ePWM) формира пакети правоъгълни импулси със зададена честота до 1MHz и фазово закъснение, което може да бъде избрано като брой точки за работен цикъл. Импулсите от блоковете за ШИМ се получават на предварително конфигурираните GPIO входове и изходи на платката. За галваничното разделяне на управляващата платка и силовия блок се използва съгласуваща платка. Блоковата схема на разработената система е дадена на фиг. 3.



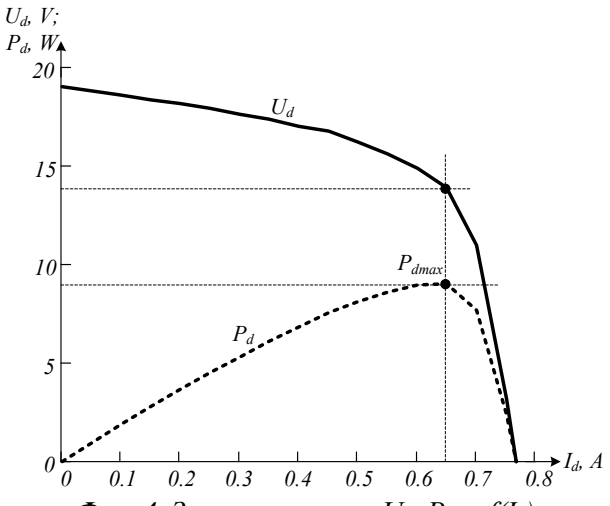
***Фиг. 3**. Блок-схема на разработената система*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Разработената DSP базирона система за управление на LLC резонансен инвертор за преобразуване на енергията получена от фотоволтаичен източник е изследвана експериментално със соларен модул тип V-M15-36 с номинални данни $P_н$ = 15W; $U_н$ = 17,5V; $I_н$ = 0,857A, захранващ консуматор със съпротивление R_0 = 80Ω.

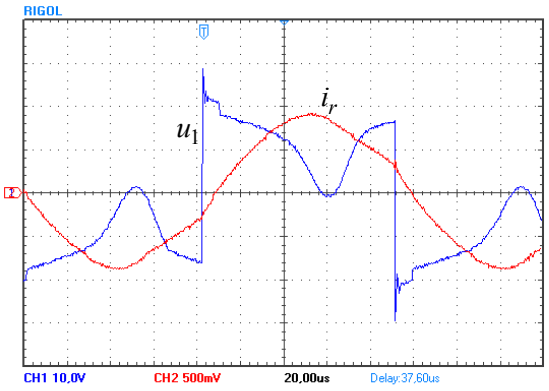
На база на изчислителната методика, дадена в [1], са избрани параметрите на елементите: коефициент на трансформация на трансформатора k_T = 2; индуктивност от самоиндукция на първичната намотка $L_{σ1}$ и на вторичната намотка, приведена към първичната $L'_{σ2}$: $L_{σ1}$ = $L'_{σ2}$ = 7,188μH; взаимна индуктивност L_m = 1,732mH; капацитет на резонансния кондензатор C_r = 470nF. Честотата на управляващите импулси f_{sw} е 5,6kHz.

На фиг. 4 са представени експериментално снетите зависимости на напрежението и мощността на соларния панел във функция от тока при изменение на съпротивлението на товара от празен ход до късо съединение. От фигурата се вижда, че при ток I_d = 0,65A се получава напрежение U_d = 13,87V, а мощността има максимална стойност: P_{dmax} = 9,02W.

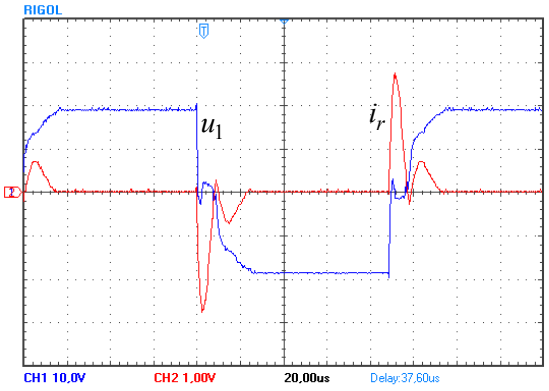


***Фиг. 4**. Зависимости на U_d, P_d = $f(I_d)$*

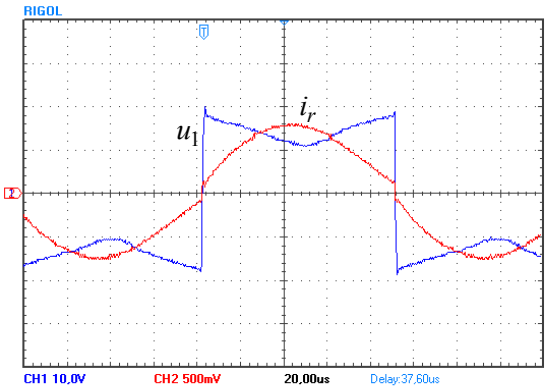
На фиг. 5 – фиг. 7 са представени зависимостите на напрежението на входа на резонансната верига u_1 и резонансния ток i_r при работа на резоанасния LLC преобразувател в режим на празен ход, режим на късо съединение и при натоварване. При измерването на тока е използван токова сонда с коефициент 1V/A.



***Фиг. 5**. Зависимости на u_1 и i_r = (t) при празен ход*



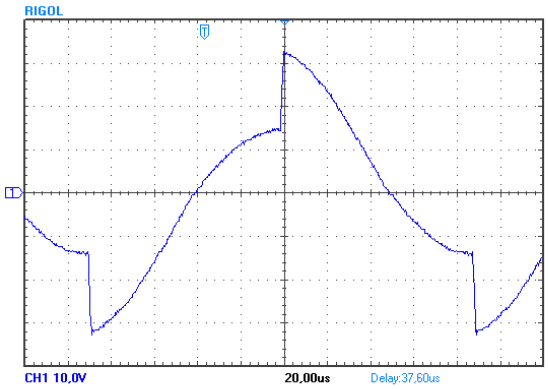
***Фиг. 6**. Зависимости на u_1 и i_r = (t) при късо съединение*



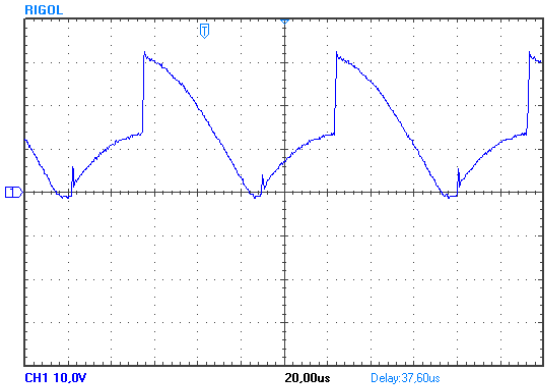
***Фиг. 7**. Зависимости на u_1 и i_r = (t) при натоварване*

От горните фигури се вижда, че и при трите изследвани режима с нарастване на резонансният ток i_r, напрежението u_1 на входа на преобразувателя спада, като при празен ход при достигането на максимума на i_r, входното напрежение спада до нула.

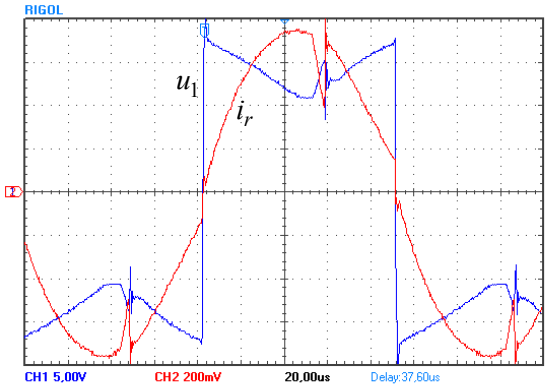
На фиг. 8 и фиг. 9 са дадени графиките на изходното напрежение u_0 при липса на изправител и изглаждащ филтър и при използването на мостов изправител на изхода на схемата, а на фиг. 10 са дадени графиките на u_1 и i_r за този режим.



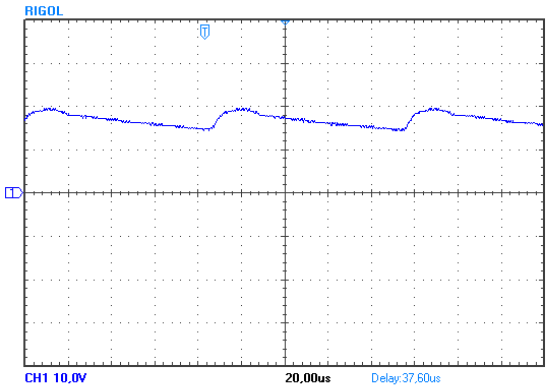
***Фиг. 8**. Зависимост на $u_0 = f(t)$ при натоварване*



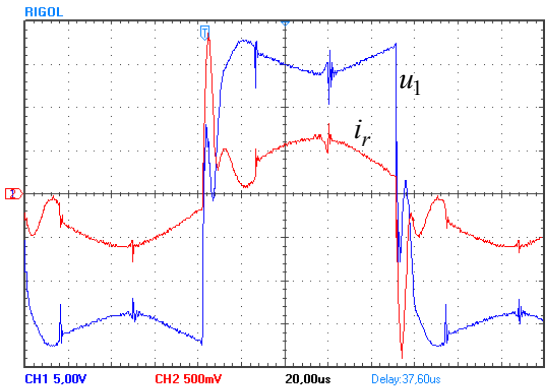
***Фиг. 9**. Зависимост на $u_0 = f(t)$ с изправител*



***Фиг. 10**. Зависимости на u_1 и $i_r = f(t)$ с изправител*



***Фиг. 11**. Зависимост на $u_0 = f(t)$ с изправител и филтър*



***Фиг. 12**. Зависимости на u_1 и $i_r = f(t)$ с изправител и филтър*

Осцилограмите на u_0, u_1 и i_r при използване на капацитивен филтър C_f = 0,4μF са дадени на фиг. 11 и фиг. 12.

От горните фигури се вижда, че изправянето на изходното напрежение и изглаждането на пулсациите е свързано с влошаване на формата на резонансния ток i_r. От фиг. 12 може да се отчете, че пиковите стойности на тока i_r достигат 1,85A или са 2,43 пъти по-големи от максимума на синусоидата на резонансния ток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада е разработен LLC резонансен инвертор за преобразуване на енергията получена от фотоволтаичен източник. Изследвана е работата на преобразуватея в различните режими – празен ход, късо съединение и работа под товар. Получени са осцилогра-

ми на напрежението върху товара при директното му свързване, при изправянето с мостов изправител и изглаждане на пулсациите на напрежението с капацитивен филтър.

REFERENCE

[1] L. Shivaraja. Modeling and Simulation of LLC Resonant Converter for Photovoltaic Systems. International Journal of Emerging Technology and Innovative Engineering, Vol. 1, Issue 4, pp. 175-179, 2015.

[2] I. Batarseh. Resonant Converter Topologies with Three and Four Energy Storage Elements, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 9, No. 1, pp. 64-73, 1994.

[3] S. Sridhar, V. Naik. A ZVS Based Boost Resonant Converter for PV Applications. International Electrical Engineering Journal, Vol. 7, No. 4, pp. 2212-2222, 2016.

ONLINE WEB - BASED PERSONALIZED WEATHER STATION

Aleksandar Žorić[1], Siniša Ilić[1], Đurđe Perišić[2]

[1]*Faculty of technical sciences – University of Priština, Republic of Serbia*
[2]*Faculty of Information Technology, Slobomir P University, Slobomir, BiH*

Abstract

A simple online Web-based weather station, developed to be used in an indoor environment and for personal needs, is described in this paper. This application is based on the NodeMCU Wi-Fi development platform and a new Bosch's environmental sensor BME680, and may be very useful in the indoor environments like a vehicle, home, business facility or a laboratory. Owing to the modern, tiny size, digital 4-in-1 sensor for air quality, humidity, pressure and temperature measurement, based on proven sensing principles, a user can monitor some important parameters of living or working environment.

This station is intended to be implemented in the cabin of the vehicle to improve the sense of the travel comfort, because the climate parameters in the interior of the vehicle can be controlled by built actuators.

A key advantage of proposed solution is wireless communication which requires only a Web browser to be installed on the client side.

Keywords: Web, weather station, client-server, NodeMCU, BME680, WiFi.

INTRODUCTION

A weather station is a facility, on land or sea, with sensors and equipment for measuring atmospheric conditions including: temperature, atmospheric pressure, humidity, wind speed, wind direction, and precipitation amounts. The application of modern digital sensors or sensor's modules in the weather stations [1] has a number of advantages such as: compact design, small dimensions, pre-calibrated sensors with known measurement error limits, low power consumption, etc.

Weather stations are very important for industrial processes control, warehouses, and of course in the private sector, such as in a house to determine interior and exterior climate and humidity within the walls (weather stations for air speed, temperature, humidity, pressure, etc.) [2], [3].

Modern cars, for example, have sensors for measuring outdoor temperature and for cabin temperature regulation. However, manufacturers still do not install additional climate sensors such as air humidity sensors, atmospheric pressure sensors or air quality sensors for both outdoor and indoor application. Monitoring and control of the mentioned climate parameters in the interior of the vehicle may be of importance of a more comfortable driving feeling and thereby greater safety of driving.

The solution proposed in this paper was installed in the car and tested under driving conditions. Thanks to existing actuators built into the car, the driver could control some of the important local environmental parameters such as temperature, relative humidity and air quality. By ventilating the car cabin or by blocking the air supply, the user can affects to the local air quality and even the local air pressure.

SUBSYSTEMS

Complete weather station was implemented using only two inexpensive subsystems: NodeMCU development platform [7], and the sensor's module CJMCU-680 [5].

NodeMCU is one of the many open source IoT's, based on the well-known ESP8266EX WiFi SoC (System on Chip), the product of Espressif Systems [4]. The platform was created shortly after the appearance of the ESP8266EX WiFi SoC on the market at the end of 2013, precisely, in October 2014.

ESP8266EX SoC integrates 32-bit microcontroller unit (MCU) Tensilica's L106 Diamond, which has extremely low power consumption with a maximum clock speed of up to 160 MHz. In addition to the MCU, compact design integrates the hardware TCP/IP stack for adding WiFi functionality, SRAM (50 kB) and ROM memories and standard digital peripheral interfaces, RTCs, antenna switches, RF electronics, power amplifiers, low noise amplifiers, filters and power management modules - all in one small housing.

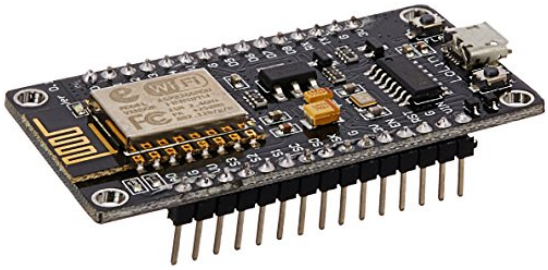


Fig. 1. *The NodeMCU development platform.*

The NodeMCU development platform, shown in Figure 1, is primarily intended for the development of IoT applications, but it can also be used as a general purpose 32-bit MCU development kit. Beside the ESP8266EX SoC, this platform consists of an integrated USB to TTL UART converter - CH340G, fixed voltage regulator from 5 V to 3V3, micro USB port and few passive components. QSPI (*Quick SPI*) flash programming memory is added as an external unit, also. Two buttons on the top side of the development module, reset and flash, serve for module configuration to the programming mode or for reset. The 12 I/O lines of this platform are available to the user.

The ESP8266 i.e. NodeMCU can operate in two modes: AP - access point mode and STA - station mode. AP mode enables creation of own network and connection with other devices (e.g. mobile phone). STA mode allows the ESP8266 to connect to a local wireless router (WLAN). So, an important feature of the ESP8266 is that it can operate as a client or as an access point or even both.

A second subsystem used in this paper is Sensor's module CJMCU-680, actually a new Bosch's compact digital 4-in-1 sensor for air quality, relative humidity, atmospheric pressure and temperature measurement, based on proven sensing principles. The layout of CJMCU-680 module with BME680 sensor [5] on the printed board is shown in Figure 2.

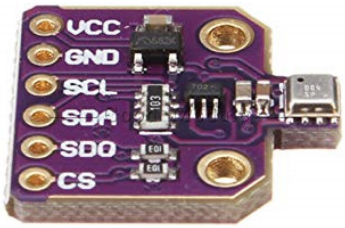


Fig. 2. *CJMCU-680 module with BME680 sensor on the printed board.*

The module supports the I^2C and SPI digital communication interfaces where it acts as a slave for both protocols.

The key feature of the Bosch's BME680 sensor [5] is its possibility to show air quality index (IAQ). BSEC (*Bosch Software Environmental Cluster*) software solution provides an IAQ index ranging from 0 to 500 which quantifies the quality of the air available in the surrounding area. In accordance with this software solution and its smart algorithm, the IAQ classification is formed and presented in Table 1.

IAQ index	Air quality
0-50	Good
51-100	Average
101-150	Little bad
151-200	Bad
201-300	Worse
301-500	Very bad

Table 1. *Indoor air quality classification.*

The gas sensor within the BME680 can detect a broad range of gases to measure indoor air quality. Gases that can be detected by the BME680 include: volatile organic compounds (VOC) from paints (such as formaldehyde), lacquers, paint strippers, cleaning, supplies, furnishings, office equipment, glues, adhesives, alcohol and other gases such as carbon monoxide and hydrogen, in the range of parts per billion (ppb).

For the gas measurement, the sensor integrates a heater. Parameters for this heater are defined by heater profiles. The sensor supports up to 10 such heater profiles, which

are numerated from 0 to 9. Each profile consists of a temperature set-point (the target temperature) and a heating duration. By default, only the heater profile 0 with 320 degrees Celsius as the target temperature and 150 ms heating duration is defined.

In accordance with manufacturer's specifications, the humidity sensor has operating range 0-100 % rH and absolute accuracy of ±3 % rH (20-80% rH). Operating temperature range of the temperature sensor is -40 to 85 ^{0}C with absolute accuracy of ±1 ^{0}C within 0-65 ^{0}C, while the pressure sensor has range from 300 to 1100 hPa with absolute accuracy of ±0.6 hPa.

The sensor also integrates an internal low pass IIR filter to reduce short-term changes in sensor output values caused by external disturbances. It effectively reduces the bandwidth of the sensor output values. The filter may optionally be used for pressure and temperature data that are subject to many short-term changes. With the IIR filter the resolution of pressure and temperature data increases to 20 bit. Humidity and gas inside the sensor does not fluctuate rapidly and does not require low pass filtering.

More details about the BME680 sensor may be found in [5].

WEATHER STATION DESIGN

Based on the previously described two subsystems, the compact design of the weather station has been created by direct connecting the NodeMCU platform with CJMCU-680 module, as in Figure 3. Communication between the NodeMCU platform and CJMCU-680 module is established via I^{2}C two wire interface. Powering of the station is provided via micro USB port of the NodeMCU.

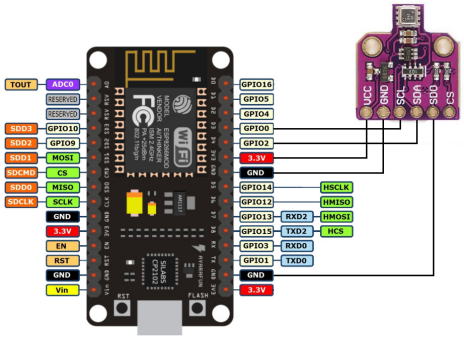


Fig. 3. *Weather station hardware.*

The NodeMCU development board acts as web server and an WiFi hot spot (access point). Weather station website can be accessed remotely from a web browser of any local PC or mobile handheld device using local WiFi network of the server and by pointing to the server's IP address. Wi-Fi technology is selected to be the network infrastructure that connects server and the clients.

NODEMCU PROGRAMMING

As mentioned above, the BME680 sensor is intended to be used together with Bosch Sensortec software environmental cluster (BSEC) solution [6] and BME680 sensor API to achieve its full potential. The BSEC software is characterized by intelligent algorithms which enable monitoring of indoor air quality using the BME680. Moreover, the software algorithms provide the temperature and humidity compensation, baseline as well as long-term drift correction of the gas sensor signal.

Based on an intelligent algorithm, the BSEC provides an indoor air quality (IAQ) output. In principle, this output is an index that can have values between 0 and 500 with a resolution of 1 to indicate or quantify the quality of the air available in the surrounding area.

One of the leading and most popular software development environment for the various ESP8266 modules and development boards, including NodeMCU, is ESP8266 Core for the Arduino IDE [8]. Arduino IDE is a free software development environment that includes a rich set of libraries in the C/C++ language. Although programming in the Arduino IDE is not exactly the same as general programming in the C/C++ language, due to the usual differences in embedded software (limited memory and processor power), the programming base is the C/C++ language.

In this solution Arduino IDE was selected to be used. The application firmware, written in the Arduino IDE [8], contains inclusive libraries, a global variables declaration part, a setup() function for initialization and resources configuration which is executed only once, and loop() function that is cyclically executed. Owing to the BSEC libraries [6], which

control the BME680 sensor's operation, the code for firmware was written. This code also creates a Web server on the NodeMCU and configures the development board to an access point mode (AP). The Web server main page is on the root of SPIFFS (SPI Flash File System), Figure 4. Web server is on the default HTTP port 80. Though the file system is stored on the same flash chip as the firmware (sketch), programming a new sketch will not modify file system content. This allows using the file system to store sketches, configuration files, content for Web server or other necessary files. File system size depends on the SPI flash memory chip size and in our case is 4MB/1MB SPIFFS.

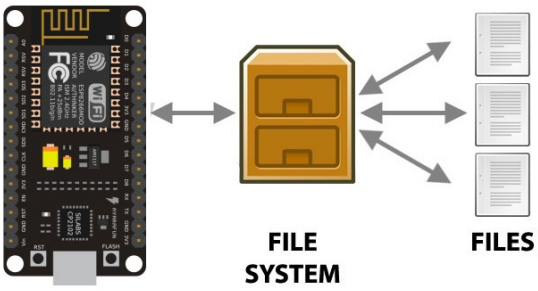


Fig. 4. *SPI flash file system on the NodeMCU.*

There are three subroutines that handle client requests:

- *server.begin()* to start the server,
- *server.handleClient()* to handle client request in main loop and
- *handleRoot()* called when a user enters the server IP address in a Web browser and presses the enter button.

When a client requests a web page from a web browser, by entering the server's IP address, the server's response is handled by subroutine *handleRoot()* at root location using a command *server.on("/", handleRoot)*.

HTML page together with javascript files which contain gauges are uploaded into the flash program memory.

As mentioned, uploading a new sketch into the flash program memory does not affect the file system and vice versa.

CLIENT WEB PAGE

Since the NodeMCU board was configured as an access point, any Wi-Fi device can try to connect to it. The correct Wi-Fi network is identified by the SSID that is set during configuration. The network may be protected with a password or may be open, if no password is set during configuration. SSID of our WiFi network is set during configuration to ELANTRA_AP with a password. The default IP address of the NodeMCU access point is 192.168.4.1.

By connecting the client on the access point network ELANTRA_AP and by entering the default IP address in any browser, the HTML Web page as in Figure 5 should be visible.

Fig. 5. *Client Web page of the online weather station on a multimedia screen in a cabin of a car.*

As can be seen in Figure 5, instant humidity, temperature and pressure values are presented on the round analog/digital gauges. There are three LCD displays of air quality below the gauges. First of them for IAQ index preview, second one for preview of IAQ accuracy (from 0 to 3) and third for scrolling the textual classification of air quality. Based on atmospheric pressure, the web server software calculates the pressure altitude above the sea level. On the Web page of the client station the instant altitude was also presented on the odometer gauge in MNV (meters of sea level altitude).

The online web-based weather station is installed in a car in order to allow users to monitor ambient conditions in the cabin of a car. The application serves also to monitor how different reactions of users in the case of air pollution impact on quality of air in the cabin of a car.

CONCLUSION

The solution proposed in this paper presents a simple and inexpensive Web based dedicated device for personal applications. It may be mounted in a house, car or in a laboratory environment. The device operates as a WiFi access point and as Web server of a weather

station, thus enabling monitoring of instant climate parameters on any near client device which has a Web browser. Maximum distance between the server and client is about 75m.

The opinion of the authors is that one of the most desirable applications of this device is in the car cabin. The results of testing the device in the car cabin show the full significance of the proposed solution for improving driving comfort and thereby safety enhancement.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia within the projects III 47016 and TR-35026.

REFERENCE

[1] M. Farhat, M. Abdul-Niby, M. Abdullah, A. Nazzal: A Low Cost Automated Weather Station for Real Time Local Measurements, Int. Journal of Engineering, Technology & Applied Science Research (ETASR), Vol. 7, No. 3, 2017, pp. 1615-1618.

[2] Roneel V. Sharan: Development of a Remote Automatic Weather Station with a PC-based Data Logger, Int. Journal of Hybrid Information Technology, Vol. 7, No. 1, 2014, pp. 233-240.

[3] Edgar Manuel Cano Cruz, Juan Gabriel Ruiz Ruiz: Portable Weather System for Measure and Monitoring Temperature, Relative Humidity, and Pressure, Based on Bluetooth Communication, American Journal of Networks and Communications, Vol. 4, No 3, 2015, pp. 49-53.

[4] *ESP8266EX datasheet: https://espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf*

[5] BME680 *datasheet: https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/3660/BME680.pdf*

[6] BSEC Software: *https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bsec*

[7] NodeMCU Documentation: *https://nodemcu.readthedocs.io/en/master/*

[8] Arduino Software (IDE): *https://www.arduino.cc/en/Main/Software*

PSPICE МОДЕЛИРАНЕ НА ИМПУЛСНИ ЗАХРАНВАНИЯ С ИНТЕГРАЛНА СХЕМА VIPER100A

Доброслав Данков[1], Продан Проданов[1]
[1] *Технически университет-Габрово, катедра Електроника*

PSPICE MODELING OF SMPS WITH IC VIPER100A

Dobroslav Dankov [1], Prodan Prodanov [1]
[1] *Technical University of Gabrovo, Department of Electronics*

Abstract

*A behavioral PSpice model of Viper100A is developed in the paper. Computer realization of the parameterized model corresponding to the functional description of the Viper100A is proposed. The parameterized PSpice macromodel is created in the form of block in schematic view. The vaweforms representing the characteristics of Viper100*A *are given. The operation modes, PSpice model of Viper100 and steps for the parameters extraction are proposed. A prototype circuit designed for a 41 W SMPS was built and tested to verify the model. Satisfactory performances are obtained from the experimental results.*

Keywords: Spice simulation, PSpice model, Switched-mode power supply /SMPS/, Viper100A.

ВЪВЕДЕНИЕ

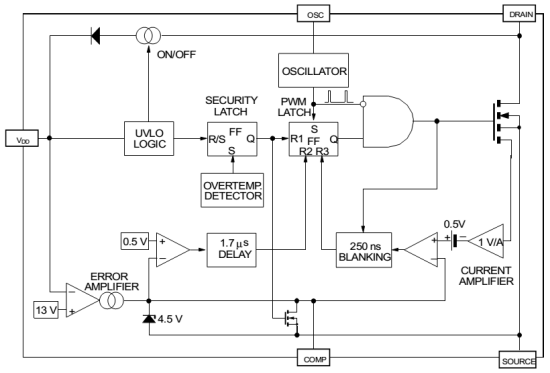
Viper100/100A се изработва чрез използването на VIPower MO технология, която комбинира в един силициев чип високотехнологичен ШИМ заедно с оптимизиран високоволтов лавинен вертикален мощен MOSFET транзистор (620V или 700V/ 3A). Схемата представлява второ поколение чип, който интегрира в себе си мощен ключ и управление. Типичните приложения на интегралната схема VIPer100 са импулсни захранвания без обратна връзка с изходна мощност от 50W за едно изходно напрежение и 100W за две и повече изходни напрежения.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Блокова диаграма на схемата е дадена на фиг.1 [2]. Приложима е обратна връзка за регулиране на изходното напрежение от първичната или вторична страна на трансформатора, като се употребяват около 50% по-малко компоненти в сравнение с дискретните решения.

При работа в режим готовност (без товар), при най-малък коефициент на запълване на управляващите импулси към силовия транзистор, се използва нискочестотна модулация (burst mode).

Токът I_{DRAIN} е вътрешно ограничен.



***Фиг. 1**. Блокова схема на Viper100/100A*

Функционално описание на изводите.

Извод DRAIN (дрейн) на интегрирания мощен MOSFET транзистор осигурява вътрешен ток за стартовия процес, чрез вграден високоволтов източник на ток. Елемента може да поеме токови претоварвания по време на установен режим и затова не се нуждае от защитна група.

Извод SOURCE (сорс) на мощният MOSFET транзистор е свързан към маса.

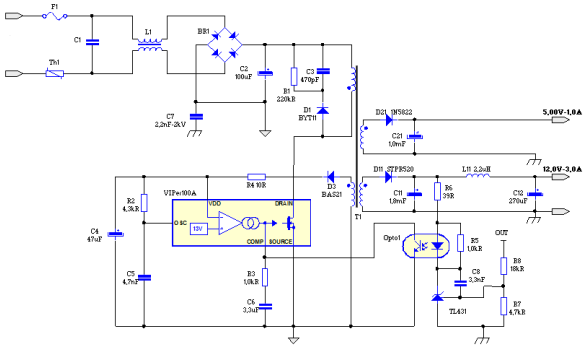
Извод VDD изпълнява две функции: при ниско напрежение под 8V активира източ-

ника на стартов ток, като изключва мощния MOSFET транзистор до достигане на 11V напрежение на VDD. При това се редуцира тока на консумация на интегралната схема до 2mA , като извод COMP се свързва към маса. Извод VDD е свързан също към вградения усилвател на грешката, за да се осигури първично (без обратна връзка) или вторично (с обратна връзка) регулиране. В случай на първично регулиране се използва вътрешния източник на напрежение 13V за захранване на извод VDD. За вторично регулиране напрежението, захранващо извод VDD е между 8.5V и 12.5V и постъпва от допълнителната намотка на силовия трансформатор.

Извод COMP изпълнява две функции. Първата е като изход на усилвателя на грешката - присъединява се филтър за осигуряване на стабилна обратна връзка и подходяща честотна лента. Втората функция е ако напрежението на извод COMP падне под 0.5V спира широчинно-импулсната модулация и се изключва силовия транзистор. Използва се за защита или работа на схемата в режим готовност.

Към извод OSC се свързва R-C група за осигуряване на честотата на превключване. Тя не се променя при изменение на захранващото напрежение на интегралната схема в границите от 8V до 15V. Този извод осигурява също и синхронизацията на Viper100 в случаите, когато имаме външен източник на тактов сигнал.

На фиг. 2 е показана схема на AC/DC импулсен токозахранващ източник на базата на интегрална схема Viper100. Тя представлява второ поколение чип, който интегрира в себе си мощен транзисторен ключ и управлението му по метода на широчинно-импулсната модулация.



***Фиг. 2**. Схема на импулсен токозахранващ източник с интегрална схема VIPER 100*

Мрежовото напрежение се изправя и филтрира от мрежовия изправител и филтър, след което постоянното напрежение се “накъсва” от транзисторен ключ, работещ с честота 100kHz.

Полученото високочестотно напрежение се подава на трансформатор T1 с подходящо преводно отношение. На вторичните страни на трансформатора напреженията се изправят и филтрират от високочестотен изправител и филтър, при което се получават необходимите високочестотни напрежения 12V/3A и 5V/1A. Веригата на обратна връзка се включва в управляващата схема и чрез драйверно стъпало управляващите импулси се подават за управление на ключа.

След мрежовия изправител и филтър схемата представлява галванично разделен полярно реверсивен импулсен преобразувател на постоянно напрежение.

Принципа на работа е следния. Когато е отпушен мощният транзистор в интегралната схема VIPER 100A, в първичната намотка на трансформатора се натрупва енергия. Прехвърлянето й в товара се осъществява при запушване на мощния транзистор, чрез вторичните намотки и диодите D11 и D21. Токовете в първичната и вторичните намотки протичат в различни интервали от време и стойностите им са пропорционални на коефициента на трансформация. Полярността на изходното напрежение е в съответствие с начина на навиване на намотките от фиг. 2 и неговата стойност основно се определя от коефициента на трансформация.

При запушване на транзистора напрежението му е относително високо, равно на сумата от захранващото, напрежението на първичната намотка и допълнително напрежение по причина на паразитната индуктивност на трансформатора. Това означава, че транзисторът при галванично разделения полярно реверсивен импулсен преобразувател на постоянно напрежение трябва да има работно напрежение, най-малко два пъти по-голямо от захранващото.

Използваната тук интегрална схема Viper100A е с максимално напрежение върху вградения в нея транзистор 700V. В интервала, когато транзистора е запушен, то-

варът се захранва с енергия само от филтровия кондензатор, което налага използването на кондензатор с голям капацитет и малко вътрешно съпротивление за да се постиганат малки пулсации на изходното напрежение.

Основната функция на дросела не е променена, като тук тя се изпълнява от индуктивностите на първичната и вторичната намотки. По този начин трансформатора се превръща в "трансформатор - дросел", който е способен самостоятелно да формира желаната изходна характеристика.

Проблемът с големия ток на празен ход в схемите от този вид тук е решен чрез така наречения burst mode – режим на нискочестотна модулация, който се установява автоматично, при липса на товар в изхода. При този режим консумацията на схемата е под 1W.

Схемата има предимството, че съдържа малък брой елементи и лесно се получават повече на брой изходни напрежения. Всеки изход се получава, чрез прибавяне на допълнителна вторична намотка на трансформатора, диод и кондензатор.

Тази схема на галванично разделен импулсен преобразувател за постоянно напрежение, може да се използва за мощност до 41W, в качеството на захранващ източник на LCD телевизори, монитори и DVD плеъри, принтери и други.

PSpice моделиране на импулсно захранване, чрез еквивалентен модел на интегрална схема Viper100A.

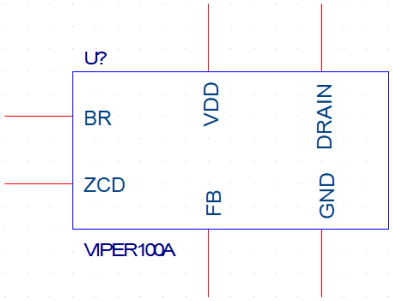
Проблем при моделиране на Viper100 е че фирмата производител не предлага подходящ PSpice модел на интегралната схема. Един възможен подход за разрешаване на този проблем е използването на т.н. функционално моделиране, описано в [1] по отношение на подобна ИС от фамилията TOPSwitch. Поради недостатъчната каталожна информация за функционирането на отделните блокове от фиг.1 в описанието на ИС Viper100, този подход в случая е неприложим.

Друг подход е модифициране на PSpice модела на подобната ИС Viper35, представен в [3]. Трябва да се отбележи, че двете ИС от серията Viper работят по различен начин. Докато Viper100 е класическа схема с широчинна-импулсна модулация /ШИМ/ за регулиране на изходното напрежение, то Viper35 е типичен представител на актуалните напоследък квази-резонансни схеми с токово ШИМ регулиране. Директното модифициране на PSpice модела на ИС Viper35 по тази причина е невъзможно. Използва се подход за описание на основните блокове от структурата, представена на фиг.1, като подсхеми в общия модел, като са направени корекции по отношение на параметрите на мощния MOSFET транзистор в `VIPER100_XVIPER100_SW_NMOS_LS` подсхема, както и по отношение на използваните блокове – фиг.3. Създадения модел е записан като отделен файл - VIPER100.lib.

***Фиг. 3**. PSpice модел на Viper100.*

За да може създадения модел да се използва при въвеждането на схема в графичния редактор Capture е създадена библио-

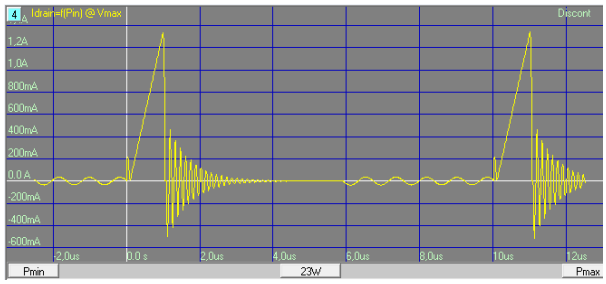
теката VIPER100.OLB с графичното изображение на Viper100, показано на фиг. 4.



***Фиг. 4**. Графичен символ на Viper100 за OrCAD Capture*

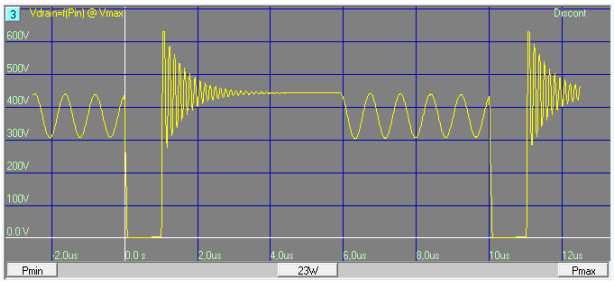
При симулацията има известни проблеми при работата на генераторните и релаксионните схеми [4]. Поради това вътрешния блок Oscillator и външните честотноопределящи елементи R2 и C5 са заменени от източник на импулсно напрежение с амплитуда 5V и честота 200 kHz в подсхемата Pulse_Gen.

Графиката от моделирането на дрейновия ток I_{DRAIN}=f(t) при 23W изходна мощност е показана на фиг.5. Изходната честота, поради наличието на тригера PWM Latch е 100 kHz



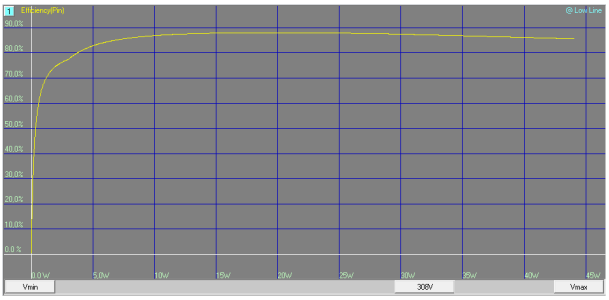
***Фиг. 5**. Времедиаграма на дрейновия ток I_{DRAIN}*

Графика на дрейновото напрежение V_{DRAIN}=f(t) при 23W изходна мощност – фиг. 6.



***Фиг. 6**. Времедиаграма на напрежението V_{DRAIN}*

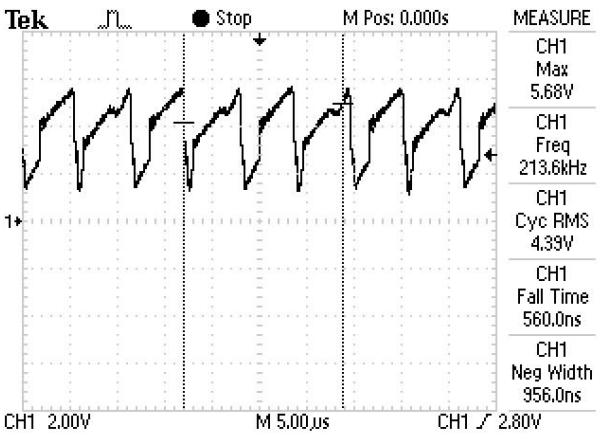
Зависимостта на коефициента на полезно действие от входната мощност η=f(P_{IN}) при симулацията е показана на фиг.7. В установен режим η варира от 78 до 88 %.



***Фиг. 7**. Зависимост η=f(PIN) в резултат на моделиране*

Изследване и експериментални резултати.

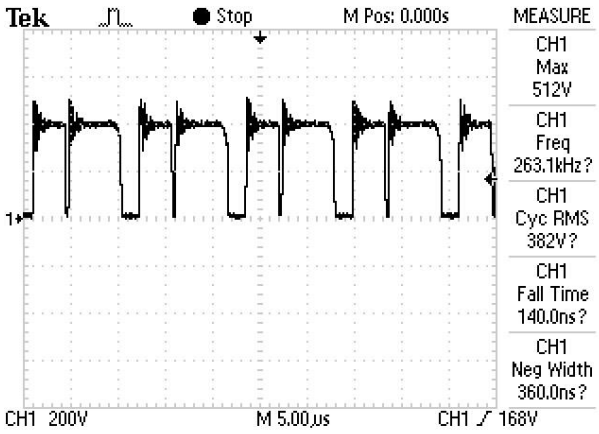
За заснемане на експериментални осцилограми в установен режим на изхода за 12V се включа товарно съпротивление 33Ω/75W. При тази стойност на резистора протичащия ток през него е 0.37A. За първи извод на интегралната схема Viper100A, означен с OSC (генератор), е заснета осцилограма в режим на работа с товар, показана на фиг. 8.



***Фиг. 8**. Осцилограма на извод OSC*

Виждаме трионообразни генерации с честота 213.6 kHz в режим на работа с товар. Напрежението на този извод V_{OSC} може да приема стойност от 0V до VDD. В случая V_{OSC} е с максимална стойност 5.68V.

На трети извод на интегралната схема Viper100A, означен с Drain (дрейна на мощния MOSFET транзистор), наблюдаваме осцилограмата от фиг.9.

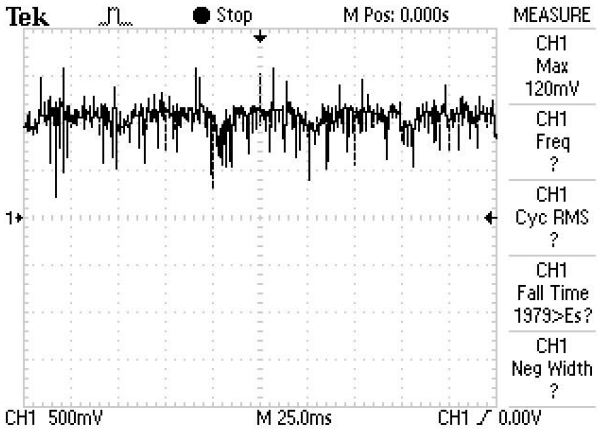


***Фиг. 9**. Осцилограма на извод Drain*

От тези осцилограми наблюдаваме вида на импулсите на напрежението между дрейн и сорс. В режим на работа с товар се вижда, че максималната стойност на пика на импулса е 512V, при максимално допустимо за интегрална схема Viper100A напрежение U_{DS} = 700V.

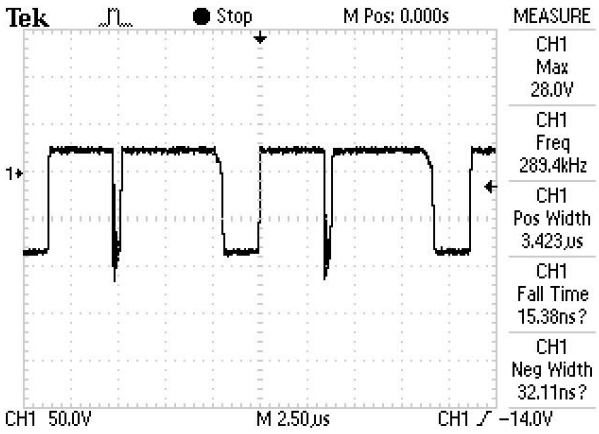
В пети извод на интегралната схема Viper100A, означен с Comp (за сигнала от обратната връзка) наблюдаваме осцилограмата от фиг. 10.

Напрежението V_{COMP} на извод COMP може да бъде в границите от 0 до 5V. В режим на работа с товар отчитаме неговата максимална стойност 120mV.



***Фиг. 10**. Осцилограма на извод COMP*

Напрежението на анода на диода D11, тоест напрежението на вторичната намотка на импулсния трансформатор за 12V, наблюдаваме осцилограмата от фиг.11.



***Фиг. 11**. Осцилограма на извод COMP*

За заснемане на експерименталните характеристики между C2 и R1 се свързва амперметър за отчитане на тока на консумация I_{IN}. На изхода за 12V се свързва реостат за промяна на товарното съпротивление и амперметър за измерване на изходния ток I_{21}. Входното напрежение U_{IN} се измерва между анода на C2 и SGND. Получените резултати са обобщени таблично в табл. 1.

Табл.1

I_{IN}, A	0,02	0,035	0,053	0,07	0,095	0,11	0,123	0,135
U_{IN}, V	328	328	328	328	328	328	328	328
P_{IN}, W	6,56	11,48	17,38	22,96	31,16	36,08	40,34	44,28
I_{21}, A	0,4	0,6	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2
U_{21}, V	12,5	12,2	12,1	12,2	12,05	12	12	11,9
P_{21}, W	5	7,32	14,52	19,52	24,1	28,8	33,6	38,08
η, %	76,2	63,8	83,5	85	77,3	79,8	83,3	86

Използвани са следните формули :

$P_{IN} = U_{IN}. I_{IN}$,W (1)

$P_{21} = U_{21}. I_{21}$, W (2)

$\eta = (P_{21}/P_{IN}).100$, % (3)

За да се верифицира създадения PSpice модел на ИС Viper100 е направено симулиране на работата на схемата на AC/DC импулсен токозахранващ източник от фиг.2 при едни и същи изходни токове I_{21} както при реалните експериментални изследвания. Резултатите от симулацията са обобщени в таблица 2.

Табл.2

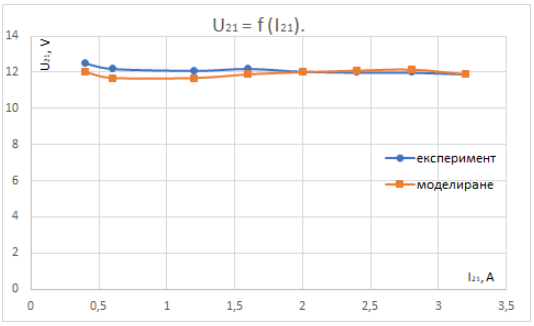
I_{IN}, A	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15
U_{IN}, V	328	328	328	328	328	328	328	328
P_{IN}, W	6,03	8,48	16,32	22,62	28,48	35,94	42,7	48,66
I_{21}, A	0,4	0,6	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2
U_{21}, V	12,00	11,67	11,67	11,88	12,00	12,08	12,14	11,88
P_{21}, W	4,8	7	14	19	24	29	34	38
η, %	76,2	63,8	83,5	85	77,3	79,8	83,3	86

В таблица 3 са обобщени абсолютните и относителни грешки на симулацията с предложения модел спрямо реалния експеримент, по отношение на параметрите, които се различават.

Табл.3

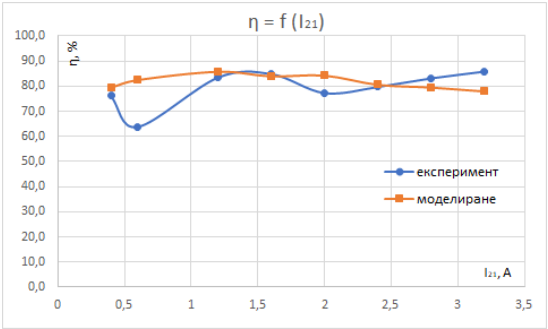
ΔI_{IN}, mA	-2	-2	-3	-1	-8	0	7	13
εI_{IN},%	-8,79	-8,30	-6,52	-1,50	-9,41	-0,39	5,52	9,00
ΔP_{IN}, W	-0,53	-0,70	-1,06	-0,34	-2,68	-0,14	2,36	4,38
εP_{IN},%	-8,79	-8,30	-6,52	-1,50	-9,41	-0,39	5,52	9,00
ΔU_{21}, V	-0,50	-0,53	-0,43	-0,33	-0,05	0,083	0,143	-0,025
εU_{21},%	-4,17	-4,57	-3,71	-2,74	-0,42	0,69	1,176	-0,211
ΔP_{21}, W	-0,20	-0,32	-0,52	-0,52	-0,10	0,200	0,40	-0,080
εP_{21},%	-4,17	-4,57	-3,71	-2,737	-0,417	0,69	1,176	-0,211
$\Delta\eta$, %	3,382	2,843	2,259	-1,021	6,927	0,867	-3,658	-7,905
$\varepsilon\eta$,%	4,249	3,444	2,634	-1,215	8,220	1,075	-4,595	-10,123

Графиката от фиг. 12 представя товарната характеристика на схемата, снета на изхода за 12 V - $U_{21} = f(I_{21})$ при реалния експеримент и съответно симулацията. От тази графика се вижда, че изходното напрежение е относително стабилно при изходен ток до 3.2 A, като с увеличаване на тока грешката намалява.



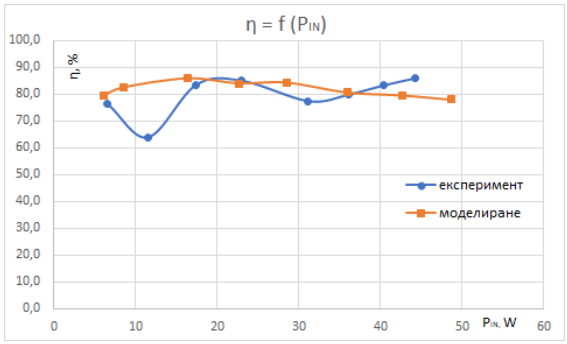
Фиг. 12*. Товарна характеристика*

На фиг. 13 е представена и зависимостта на КПД от изходният ток $\eta = f(I_{21})$. От тази графика виждаме относително добрият КПД, постигнат на практика, при усредняване на стойностите - η>80%, както при експеримента, така и при симулациите.



Фиг. 13. *Зависимостта на КПД от изходният ток*

За да се изследва точността на моделирането е построена и експерименталната характеристика на зависимостта на коефициента на полезно действие от входната мощност $\eta=f(P_{IN})$, показана на фиг. 14. Големите флуктуации на стойностите при реалния експеримент могат да се обяснят с грешки при измерване.



Фиг. 14. *Зависимост на КПД от входната мощност*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад е направено PSpice моделиране на импулсно захранване, чрез предложен еквивалентен модел на интегрална схема Viper100A. Симулационните изследвания са верифицирани с практически експерименти на реализираната схема. Резултатите съвпадат с достатъчна за инженерната практика точност, като най-голямата относителна грешка е около 10%. Предложения модел и методика за изчисление на еквивалентните параметри, може да се използва и при други подобни импулсни захранвания и приложения на интегрална схема Viper100A.

REFERENCE

[1] Todorov D., E. Gadjeva, G. Kunov, Behavioral computer model of TOPSwitch, 15th International Symposium on Power Electronics - Ee 2009, Novi Sad, Republic of Serbia, October 28th - 30th, 2009, Paper No T1-1.1, p.1-4.

[2] VIPower: 108 W power supply using VIPer100A-E, AN1344 STMicroelectronics Application note, October 2007.

[3] OrCAD PSpice model usage instructions, UM2167, User manual, 2017 STMicroelectronics.

[4] Yun Jae Yi, Yun Seop Yu : Pspice Modeling of Commercial ICs for Switch-Mode Power Supply (Smps) Design and Simulation, International Journal of Kimics, Vol. 9, No. 1, February 2011, pp.74-77.

UNITECH 2018 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
16-17 November 2018, GABROVO

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ ПРИ ДЕТЕКЦИЯТА НА ДИМНИ ЧАСТИЦИ С ОПТОДВОЙКА В СИНИЯ И ИНФРАЧЕРВЕНИЯ СПЕКТЪР НА СВЕТЛИНАТА

Милен Киров, Велимира Тодорова
Технически университет – Габрово
m.kirov@dm-teh.com, vili@tugab.bg

COMPARATIVE ANALYSIS FOR DETECTION OF SMOKE IN THE BLUE AND INFRARED LIGHT SPECTRUM

Milen Kirov, Velimira Todorova
Technical university of Gabrovo
m.kirov@dm-teh.com, vili@tugab.bg

Резюме
В съвременния етап на развитие се наблюдава устойчива тенденция за увеличаване на пожарната опасност. За предотвратяване на пожарите се използват технически средства за автоматично откриване, ограничаване и ликвидиране на възникналия пожар. Пожароизвестителите са основните елементи за детекция при пожарна ситуация. В този доклад ще се опише извършената изследователска дейност при детекция на димни аерозоли при най-масово използвания тип Оптично димни пожароизвестители. Целта е със сравнителен анализ е да се проучи и предложи решение за подобряване ефективността на пожароизвестяването, чрез използване на оптична двойка в синия спектър на светлината за детекция на димни аерозоли, отделени при процеса на горене на вещества.

Abstract
At the present stage of development, there is a steady tendency to increase the fire hazard. To prevent fires, technical means are used to automatically detect, limit and eliminate the fire. Fire detectors are the main elements for fire detection. This report will describe the research on detecting smoke aerosols in the most commonly used type of Optical Smoke Detectors. The aim is to benchmark and propose a solution for improving the efficiency of fire detection by using a pair of optical couplers in the blue spectrum of smoke detector light emitted during the combustion process.

ВЪВЕДЕНИЕ

Проучването и анализа на димните пожароизвестители и методите за детекция на димни аерозоли в синия спектър на светлината, прави възможно да се направят изследвания и да се приложи подход, който да бъде нов по своя метод за детекция на дим.

При пожар на веществата наред с газообразни продукти се отделят твърди и течни частици, които образуват дим. Димът е дисперсна система, в която дисперсната фаза са малки частици – смоли, окиси, вода и др., а дисперсната среда е газообразна – въздух, газообразни продукти на пожара. Димът често се нарича аерозолен продукт на пожара, а димообразуващите частици – димни аерозоли. Димообразуващите частици след генерирането им са с размери от 0.1 μm до 1.0μm. в дисперсната система те се движат с потока от нагрети газове и въздух. Като съпровождащ процес на пожар феномен, образуването на аерозоли има доминираща роля при създаването на средства за детекция на пожар. Правени са много изследвания за размерите на частиците при различни видове пожари, както и в различните му фази. Общото заключение е, че във всички случаи количеството на невидимите частици е по-голямо в сравнение с това на видимите. Количеството на дима в дадена зона се изразява чрез тегловна концентрация, брой димни частици в единица обем, например [obsc./foot] и оптична плътност[%]. С оптичната плътност се изразява способността на дима да променя оптиче-

ските свойства на средата като намалява нейната прозрачност.

Предимствата на метода за детекция на димните аерозоли с погълната или разсеяна синя светлина се състои в това, че използването на синя светлина предлага значително предимство при поглъщане и отражение на димни аерозоли с размери, които са с по-малки размери от съответната дължина на вълната. В сравнение с досега съществуващи решения с инфрачервена светлина (760nm дължина на вълната), спектъра на синята светлина е с почти два пъти по-малка дължина на вълната(430nm). Детекция със синята светлина влиза почти целия диапазон на димни аерозоли при процеса на горене на вещества от различен произход.

Като по горе беше споменато, някой вещества отделят много и плътен дим, други отделят значително малко дим, като някой деривати горят без видими частици. Именно за тези вещества без видими частици при горене, детекцията със синя светлина на оптичната двойка ще бъде ефективна.

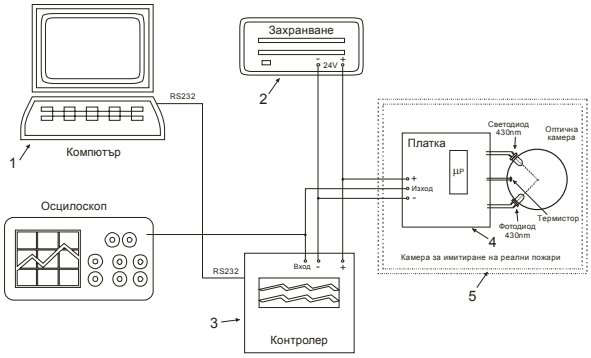
Идеята за използване на синя светлина става възможно с напредване на технологиите и възможността за производство на полупроводникови светодиоди с дължина на вълната 430nm и с висока емисия, което е във видимата област на синята светлина.

ИЗЛОЖЕНИЕ

За сравнителния анализ и доказване на приложимостта на метода, се конструира опитна лабораторна установка за измерване на димни аерозоли при реални условия /Фиг.1/.

Установката се състои от:

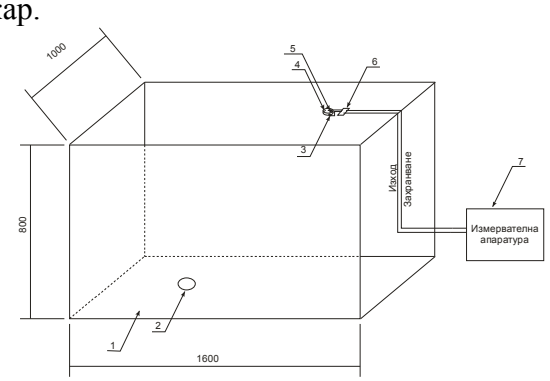
- Лабораторна камера за тестови пожари- 5;
- Контролер с вход за измерване на аналогови сигнали- 3;
- Персонален компютър за събиране и обработка на информацията от контролера- 1;
- Две мини оптични камери където са монтирани изследваните оптични двойки;
- Захранващ блок- 2;
- Осцилоскоп за снемане и потвърждаване на данните от фото сензорите.



Фиг. 1

Лабораторната камера за имитиране на пожари /Фиг.2/ е конструирана от пожароустойчив гипсокартон с размери: ширина 100см, дължина 160см и височина 80см. Тя е пропорционална на стая за тестови пожари описана в европейския стандарт EN-54-7.

В горната част се поставят двете тестови оптични устройства - цел на изследването, а на дъното има малко огнище, където се слагат материалите, които ще изгарят и ще създават имитация на реален пожар.



Фиг. 2

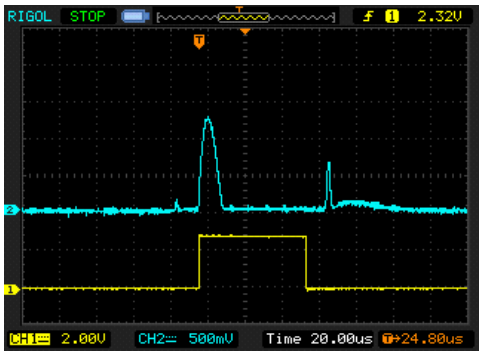
1. Камера за пожар
2. Огнище
3. Светодиод
4. Камера
5. Фотодиод
6. Платка
7. Захранване и измервателна апаратура

За сравнителния анализ и доказване на иновативността и предимствата на детекция със синята светлина с дължина на вълната 430nm, от тези с досега познатите с инфрачервени, с дължина на вълната 760nm, се конструираха 2 еднакви оптични камери, където се монтират оптичните двойки. Едното тяло е оптична двойка със

синя светлина, а другото с инфрачервена светлина. Електродите на оптичните елементи са свързани към платка, която буферира входно изходният сигнали от специализиран контролер. Контролерът изработва импулси за светодиодите и чете с Аналого цифров преобразувател стойностите на фото-тока, генерирани от отразената светлина на аерозолните димни частици. Данните от контролера по сериен интерфейс постъпват на стандартен вход на персонален компютър, където могат да се визуализират и да се преработят в табличен вид. С осцилоскоп се следят нивата на двата оптични елемента, за да се контролира процеса и да се визуализира и потвърди работоспособността.

Идеята за лабораторните тестове е да се оцени каква е разликата в нивата при регистрирането на отразени аерозолни димни частици при двата типа детекция с дължина на вълната 430nm и 760nm, при различни горими агенти и време за детекция.

За лабораторните тестове се направи опитната постановка от Фиг. 1, направени бяха три тестови пожара по стандарт EN54-7, TF1- горящо дърво. TF1 се характеризира с бързо изгаряне на тънки дървени клечки без тлеене. Теста се провежда в следната последователност: камерата се проветрява, пускат се всички лабораторни средства, измерва се и визуализира фото-тока от фотоприемника на осцилоскоп /Фиг. 3/. Това е начална точка на измервания процес.

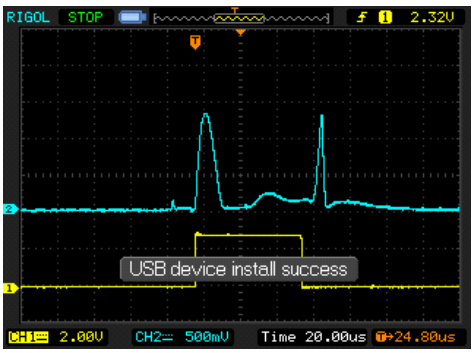


Фиг.3

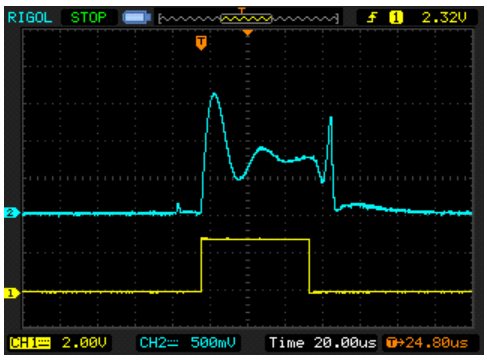
Долната крива е подадения импулс на светодиода, а горната е измерения фото-ток. Пиковете в началото и края са от преходни процеси на включване на захранването и те се пренебрегват при мерене. Измерването се извършва в средата на импулса от АЦП на контролер позиция 3 /Фиг. 1/. При начални условия и проветрена камера, графиките имат вида от Фиг. 3.

След поставяне и запалване от нагревател на дървените клечки, се следи поведението на фото-тока, който ни е критерий за регистриране на пожар.

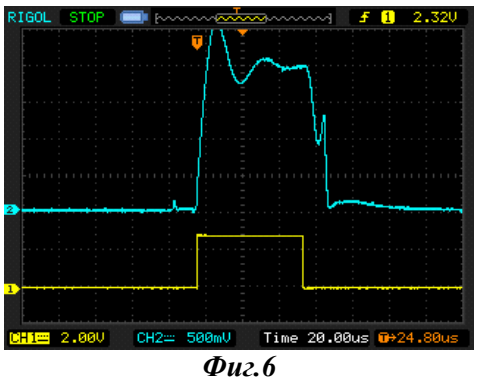
След увеличаване на концентрацията на дим на осцилограмите от фиг. 4 до фиг. 6, ясно се вижда повишаващия се фото-ток, което ясно показва работоспособността на процеса.



Фиг.4



Фиг.5



Фиг.6

Стойностите на фото-тока се приемат от компютър който ги преобразува в dB/m.

За количествена преценка на чувствителността на оптичните детектори се

въвежда терминът “индекс на абсорбция”, както следва:

$$m = \frac{10}{d} \cdot \log_{10} \frac{P_0}{P} \qquad (1)$$

[dB/m], където:

d[m] – дължина на оптичния лъч в измервателната камера (максимално 1.1m);

P0 – приеманата светлинна мощност, измерена без аерозоли в камерата;

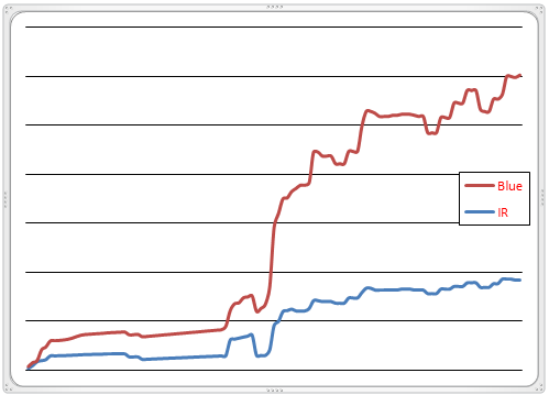
P – приеманата светлинна мощност, измерена при наличие на аерозоли в камерата, в момента на сработване, на пожароизвестителите.

На тази бази са направени преобразуване на фото-тока в dB/m.

Резултати от теста получени в табличен вид:

T-сек	IR-dB/m	Blue-dB/m	T-сек	IR-dB/m	Blue-dB/m	T-сек	IR-dB/m	Blue-dB/m
0	0,02	0,02	148	0,134	0,253	300	0,739	1,495
4	0,05	0,03	152	0,136	0,255	304	0,793	1,695
8	0,09	0,01	156	0,138	0,257	308	0,839	1,804
12	0,1	0,11	160	0,14	0,259	312	0,839	1,804
16	0,11	0,13	164	0,142	0,261	316	0,82	1,804
20	0,148	0,152	168	0,144	0,263	320	0,82	1,771
24	0,149	0,155	172	0,146	0,265	324	0,82	1,771
28	0,15	0,156	176	0,148	0,267	328	0,82	1,771
32	0,151	0,16	180	0,15	0,3	332	0,82	1,783
36	0,153	0,165	184	0,31	0,3	336	0,82	1,783
40	0,155	0,175	188	0,32	0,36	340	0,83	1,783
44	0,157	0,189	192	0,33	0,36	344	0,83	1,783
48	0,16	0,2	196	0,34	0,4	348	0,83	1,783
52	0,162	0,205	200	0,35	0,4	352	0,82	1,783
56	0,163	0,207	204	0,36	0,4	356	0,82	1,771
60	0,164	0,209	208	0,153	0,45	360	0,82	1,771
64	0,165	0,211	212	0,153	0,48	364	0,784	1,641
68	0,166	0,213	216	0,153	0,52	368	0,784	1,641
72	0,169	0,215	220	0,209	0,64	372	0,784	1,641
76	0,169	0,217	224	0,459	1	376	0,83	1,75
80	0,169	0,219	228	0,5	1,1	380	0,83	1,75
84	0,169	0,221	232	0,6	1,15	384	0,83	1,75
88	0,169	0,223	236	0,61	1,15	388	0,857	1,871
92	0,138	0,225	240	0,625	1,2	392	0,857	1,871
96	0,138	0,227	244	0,607	1,25	396	0,857	1,871
100	0,138	0,229	248	0,607	1,283	400	0,894	1,962
104	0,112	0,231	252	0,607	1,283	404	0,894	1,962
108	0,114	0,233	256	0,633	1,283	408	0,894	1,962
112	0,116	0,235	260	0,712	1,516	412	0,848	1,815
116	0,118	0,237	264	0,712	1,516	416	0,848	1,794
120	0,12	0,239	268	0,703	1,484	420	0,848	1,794
124	0,122	0,241	272	0,703	1,484	424	0,885	1,883
128	0,124	0,243	276	0,703	1,484	428	0,885	1,883
132	0,126	0,245	280	0,686	1,423	432	0,932	1,883
136	0,128	0,247	284	0,686	1,423	436	0,932	2,067
140	0,13	0,249	288	0,686	1,423	440	0,932	2,067
144	0,132	0,251	292	0,739	1,495	444	0,922	2,067
148	0,134	0,253	296	0,739	1,495	448	0,922	2,091

От табличните резултати е построена графиката на Фиг. 7.



Фиг. 7

- Горната графика е тази на детектора със синя светлина.
- Долната графика е с инфрачервен детектор.

След построяване на графиката много ясно се виждат предимствата на оптичната двойка с използване на синя светлина за детектиране на димните аерозоли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изводът е, че синята светлина със своя спектър и дължина на вълната 430nm, отразява по-голяма част от димните частици, респективно това води до по-голяма чувствителност и възможност за обработка на сигнала за предотвратяване на лъжливи сигнали за аларма, което е и един недостатък на досега масово използваните детектори за дим.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Benchev R., Fire alarm systems, Sofia 1989.

[2] EN54-7 Fire detection and fire alarm systems P.7 Point – type smoke detectors – Detectors using scattered light, transmitted light or ionization

НАПРАВЛЕНИЕ 3

КОМУНИКАЦИОННА ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

SESSION 3

COMMUNICATION ENGINEERING AND TECHNOLOGIES

FREQUENCY RESPONSE EXAMINATION OF CONE CIRCULAR ACOUSTIC TRANSDUCER

Eng. Georgi Markov[1]

[1] *Technical University of Varna 1 Studentska str, Varna, 9000, Bulgaria*

Abstract

In this paper the problem about frequency response of a circular piston transducer with a cone form of the membrane is considered. Theoretical approach and expression are proposed for calculating sound pressure level (SPL) dependency on frequency. Graphical representation of frequency response of a circular piston transducer is given. Conclusions with practical value have been made. Experimental measurements of frequency response have been made to prove the practicability of the proposed approach to determine frequency response.

Keywords: frequency response, sound pressure level (SPL), cone circular piston transducer

INTRODUCTION

The acoustic transducer's frequency response is of great interest recently due to the increased demand of quality radiators for echography, geology and architectural acoustics [1]. Furthermore requirements for the design and modeling of loudspeakers for audio systems are increased [2]. Therefore, a theoretical analysis of the expressions for calculating the frequency response of a circular piston acoustic transducer with conical form is made. Analytical expression for calculating frequency response of circular piston with conical shape radiator is proposed. A unified approach for explaining the cone circular acoustic transducers' frequency response is proposed. An experiment has been conducted to measure a cone shape loudspeaker frequency response to demonstrate the practicability of the proposed expression.

EXPOSITION

A. Analytical solution

The purpose of this study is a circular piston transducer with a conical shape of the membrane. To calculate the frequency response is suffusion to calculate SPL on the axis of radiation of the cone dependent to the frequency [3]. Because of cone symmetry with respect to the z axis (fig. 1) it can be assumed that conical piston frequency response will be one with rotation symmetry with respect to the elementary emitter E. In order to determine this symmetry, it is sufficient to determine the sound pressure level at a distance d=OA from the center of the cone to the point of the observer.

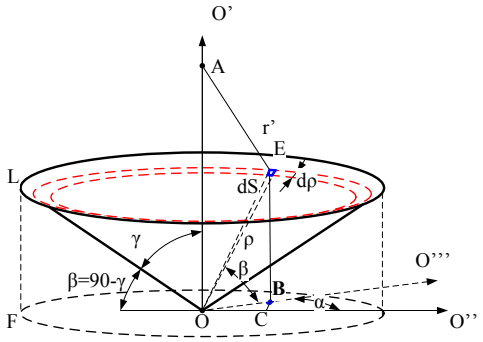


Fig. 1. *Geometry of conical piston acoustic transducer*

In order to understand the sound field created by a transducer it is necessary to examine its spatial characteristics. The latter depends on constant and variables parameters. Parameters independent of the source of acoustic waves (i.e. the transducer), but dependent on the environment are:

- speed of sound - c_0;
- atmospheric pressure - p_s;
- particles velocity - v_m;
- density of the environment - ρ_s;
- temperature - t^o.

Parameters related to the source of acoustic waves are:

- transducer's radius - r;
- transducer's height – h.

The acoustic pressure generated by an emitter in the environment can be calculated by assuming that its surface consists of a plurality of elementary sections dS that can be obtained by the solution of a differential equation (1).

$$dS = \sqrt{EG - F^2}\, d\alpha d\rho \tag{1}$$

where:

$$E = \left(\frac{\partial x}{\partial \alpha}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \alpha}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \alpha}\right)^2$$

$$G = \left(\frac{\partial x}{\partial \rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \rho}\right)^2$$

$$F = \frac{\partial^2 x}{\partial \alpha \partial \rho} + \frac{\partial^2 y}{\partial \alpha \partial \rho} + \frac{\partial^2 z}{\partial \alpha \partial \rho}$$

where:

$$x = \frac{r\rho}{\sqrt{r^2 + h^2}}\cos(\alpha)$$

$$y = \frac{r\rho}{\sqrt{r^2 + h^2}}\sin(\alpha) \quad 0 \le \rho \le \sqrt{r^2 + h^2} \text{ and } 0 \le \alpha \le 2\pi$$

$$z = \frac{\rho \cdot h}{\sqrt{r^2 + h^2}}$$

where

- ρ and α are current radius vector and angle;
- h – height of the cone transducer;
- r – radius of the piston.

x, y, z are the coordinates of the point of the elementary emitter E.

As a result of the solution of the equations, the following result was obtained:

$$dS = |r\rho|\sqrt{r^2 + h^2}\, d\alpha d\rho \tag{2}$$

The elementary section *dS* creates, a sound pressure at point A which is at a distance r' from the point of the emitter to point of the observer. This elementary sound pressure is [4]:

$$dp_\theta = \frac{r_0 \cdot p_m}{r'} e^{j(\omega t - kr')} \tag{3}$$

where

r' - distance from the elementary emitter to the point of observer M;

p_m - the amplitude of the sound pressure;

r_0 - distance OE which is distance from the center of the cone to emitting section dS.

$$p_m = \rho_s c_0 k r_0 v_m \tag{4}$$

where

- $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - a wave number;
- λ - wavelength.

After multiplying both sides of equation (4) with and also multiplying the right side with $\frac{2\pi}{2\pi}$, taking into account that the elementary area of the emitter is $dS = 2\pi r_0^2$ therefore:

$$r_0 \cdot p_m = \frac{\rho_s \cdot c_0 \cdot k \cdot v_m}{2\pi} dS \tag{5}$$

If the expressions (2) and (4) are replaced in (5) the elemental sound pressure will be:

$$p = \int_0^{\sqrt{r^2+h^2}} 2\pi\rho r\sqrt{r^2 + h^2}\, \frac{e^{-jk\sqrt{\left(\frac{\rho r}{\sqrt{r^2+h^2}}\right)^2 + \left(d - \frac{\rho h}{\sqrt{r^2+h^2}}\right)^2}}}{\sqrt{\left(\frac{\rho r}{\sqrt{r^2 + h^2}}\right)^2 + \left(d - \frac{\rho h}{\sqrt{r^2 + h^2}}\right)^2}} d\rho \tag{6}$$

Expression (6) is proposed by the author for calculating SPL on the axis of radiation of cone transducer. The later can be used to calculate dependency between SPL and frequencies of cone circular transducer by vary of the frequency from 0 to 100 kHz with constant distance and geometrical parameters of the cone.

B. Graphical solution

By using expression (6) in Mathcad software are calculated and presented on **Fig. 2** results for circular cone transducer with following membrane geometrical parameters: with flat dense line for cone membrane with h=0.071 (relevant to height Selenium 10MB3P loudspeaker), with dot line flat piston (h=0), and with dashed line h=0.1145m (90° central angle of the cone) on distance 0.045 m.

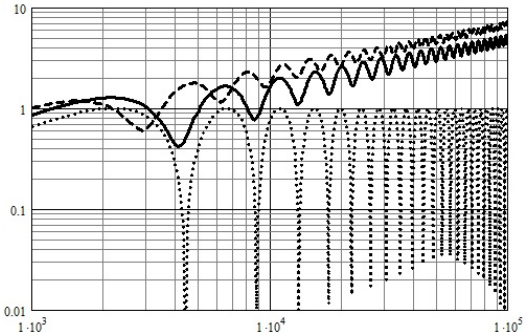


Fig. 2. *Frequency dependency on height of the cone*

Expressions (6) if it is calculate in Mathcad with vary of the height from 0 to 0.1145 is also capable to represent 3D frequency response (**Fig. 3.**) of the conical transducer dependency by height of the cone which allows designers of cone acoustic transducers to choose proper height for the demand frequency response for the given geometrical radius of the cone on distance 0.045m.

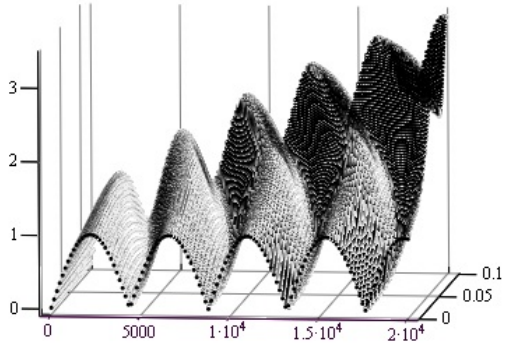


Fig. 3. *Frequency 3-dimensional dependency on height of the cone*

Distance is very important because minimums occur when the point of observer is in near field of the transducer which is very important for specialized applications of cone transducers because when the distance passes the boundary of the near field, the minimum pressure is blurred within the range of the noise and cannot be counted [3,5].

C. Experimental solution

On **Fig. 4.** is presented analytical calculation of the SPL of cone piston transducer [6, 7] with equal geometrical parameters to Selenium 10MB3P loudspeaker h=0.071m and r=0.1145m. by using equation (6) on distance 0.045 m. result shows minimums of the SPL on 3900Hz and 8200Hz in the frequency range of the loudspeaker from 150Hz to 12 kHz.

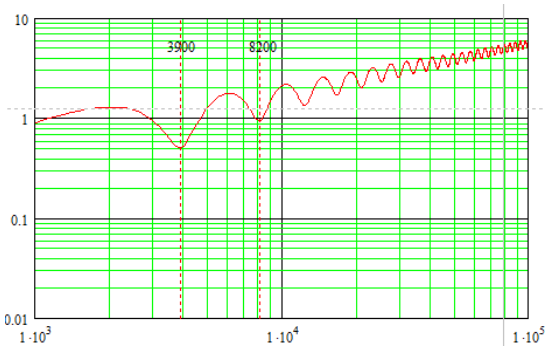


Fig. 4. *SPL vs Frequency calculate by equation (6)*

Frequency response of Selenium 10MB3P loudspeaker was measured with Loudspeaker LAB 3 Std. Version 3.01 software by using pink noise test signal (**Fig. 5**). Measurement was repeated with Realtime Analyzer Version 5.1.0.10 software by using frequency sweep test signal from 20 to 20 kHz (**Fig. 6)** and pink noise test signal (**Fig. 7**.)

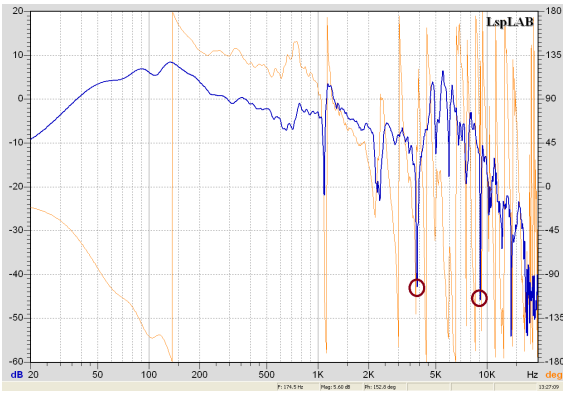


Fig. 5. *Frequency response of Selenium 10MB3P loudspeaker (pink noise) LspLAB*

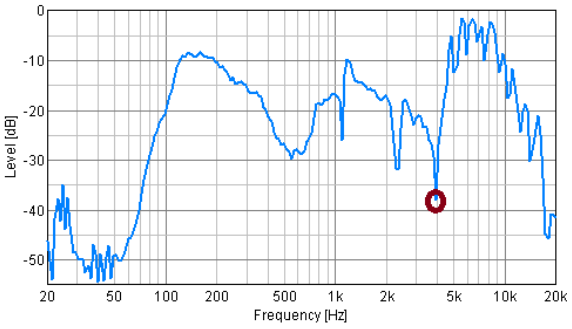


Fig. 6. *Frequency response of Selenium 10MB3P loudspeaker (frequency sweep) Realtime Analizer*

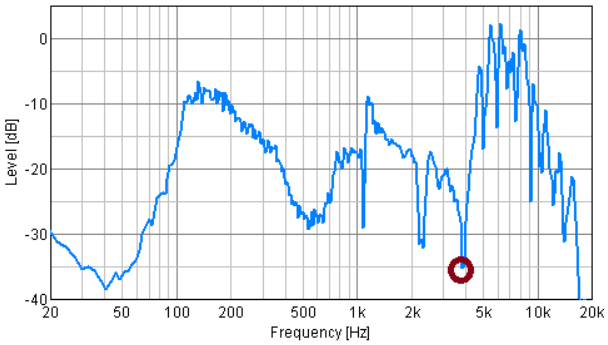


Fig. 7. *Frequency response of Selenium 10MB3P loudspeaker (pink noise) Realtime Analizer*

Measurements were performed in the Technical University of Varna anechoic chamber, using the Robotron Präzisions with microphone MK221, sound card Realtek High Definition Audio for generator. During the experiments level of noise and temperature

were measured by professional multimeter MS 6300 and noise level measured was 26 dB. The temperature in the chamber was 21°C.

CONCLUSION

As a result of the theoretical analysis and performed experiments about frequency response of cone circular piston acoustic transducer the following results and conclusions were obtained:

- Proposed expression (6) can be used to determine sound pressure minimums of frequency response in the near field area of circular cone piston acoustic transducers.
- Proposed equation (6) allows designers of precision cone transducer to calculate height of the cone circular piston transducer depending on desired frequency response.
- Analytical analysis on **Fig. 2.** and **Fig. 3.** leads to a practical conclusion about dependency minimum of the frequency response from the height of the cone: Increasing the height of the cone reduces the frequency of which appears the minimum but reduces its level.
- Conducted experiments demonstrate the applicability of the known approach for circular piston [3] upgraded to analyzing the dependency of the frequency response in the near field on height of the circular cone acoustic transducer.
- The occurrence of minimums in experiments at accurate analytically calculated frequencies of 3900Hz (**Fig. 5, 6, 7**) and 8200Hz (**Fig. 5**) with expression (6) demonstrates the precision of the approach and its practical applicability.

REFERENCE

[1] T. D. Rossing, M. Schroeder, W. Hartmann, N. Fletcher, F. Dunn, D. Campbell, A. Pierce, Handbook of Acoustics, Springer, New York, 2007.

[2] L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, J. V. Sanders, Fundamentals of Acoustics 4th ed., John Wiley&Sons, New York, 2000;

[3] I. Iliev, „On the Spatial Characteristics of a Circular Piston“, RJAV vol XII issue 1/2015, ISSN: 1584-7284, 2015.

[4] Ek. Sirakov. “Electroacoustics”. Varna, Tachnical University - Varna, 2009.

[5] N. Kyouno, T. Usagawa, T. Yamabuchi, and Y. Kagawa, “Acoustic response analysis of a cone-type loudspeaker by the finite element method,” J. Acoust. Soc. Jpn., vol. 61, no. 6, 2005.

[6] Y. Hu, X. Zhao, T. Yamaguchi, M. Sasajima, Y. Koike, Excitation Experiments of a Cone Loudspeaker and Vibration-Acoustic Analysis Using FEM, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol:9, No:12, 2015

[7] Klippel W., Schlechter J. Measurement and Visualization of Loudspeaker Cone Vibration. Presented at the 121st Convention of the Audio Eng. Soc., New York, USA, 2006;

МЕТОДИКА ЗА СИНТЕЗ НА ПЕРФЕКТНИ ФАЗОВО МАНИПУЛИРАНИ СИГНАЛИ С ДЪЛЖИНА N=3MOD4

Пламен Янакиев[1], Цветослав Цанков[2]
[1] *Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“*
[2] *Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“*

METHODOLOGY FOR SYNTHESIS OF PERFECT PHASE MANIPULATED SIGNALS WITH LENGTH N=3MOD4

Plamen Yanakiev[1], Tsvetoslav Tsankov[2]
[1] *Konstantin Preslavsky University of Shumen*
[2] *Konstantin Preslavsky University of Shumen*

Abstract

The phase manipulated (PM) signals which periodic autocorrelation functions (PACF) have small side-lobes are very important for the radars, sonars, radio-navigation and radio-synchronization systems. Due to this reason in the paper a general methodology for synthesis of perfect binary PM signals with lengths N=3mod4, N prime, is suggested. The results, obtained in the paper, could be applied in the process of development of new radio-communication devices, used for precise measurement of distances.

Keywords: ideal periodic autocorrelation functions; phase manipulated signals; synthesis of signals.

ВЪВЕДЕНИЕ

Бинарните фазово манипулирани (ФМ) сигнали, чиито периодични автокорелационни функции (ПАКФ) имат идеална форма, наподобяваща делта импулс, намират широко приложение в радио-локационните, радио-навигационните и радио-синхронизиращите системи. Основната причина за това е, че контрастът между основния (централния) лист и страничните листа на ПАКФ определя разделителната способност и полезния ефект от разделната обработка с последващо натрупване на радио сигналите, преминали по различни пътища [1].

Предвид на положителните им свойства, бинарните ФМ сигнали, чиято ПАКФ е подобна на делта импулс, са обект на интензивни изследвания през последните шестдесет години. Въпреки приложените усилия редица въпроси от тяхната теория са неизяснени и до днес [1], [2], [3]. Отчитайки тази ситуация, целта на доклада е да се направи детайлен анализ на класическия метод за синтез на така наречените сигнали на Льожандър, който да послужи за основа за разработването на компютърна програма за автоматизиран синтез на широк спектър ФМ сигнали и да доведе до изясняване на връзката между бинарните перфектни ФМ сигнали на Льожандър и на би-унимодуларните последователности на Бьорк с дължина $N = p \equiv 3\ mod4$, p е просто число.

АНАЛИЗ НА КЛАСИЧЕСКИЯ МЕТОД ЗА СИНТЕЗ НА ПЕРФЕКТНИ БИНАРНИ ФАЗОВО МАНИПУЛИРАНИ СИГНАЛИ С ДЪЛЖИНА N=3 MOD4

Още през 50-те години на миналия век е доказана следната теорема [2].

Теорема 1: Нека

$$\{s(i)\}_{i=0}^{N-1} = \{s(0), s(1), \dots, s(N-1)\},$$
$$\forall s(i) \in \{-1, 1\}, \quad (1)$$

е бинарен *фазово манипулиран* (ФМ) сигнал с дължина N. Тогава неговата ПАКФ отговаря на условието

$$Q_{ss}(r) \equiv N\ mod 4,\ r = 0, 1, \dots, N-1. \quad (2)$$

Доказателство: Както е известно, ПАКФ на ФМ сигнала (1) се изчислява по формулата [1], [2], [3]

$$Q_{ss}(r) = \sum_{i=0}^{N-1} s(i)s^*\langle i+r\rangle_N. \quad (3)$$

В (3) символите „$\langle i+r\rangle_N$“ и „*“ означават „*привеждане на сумата* (*в скобите*) *по* $mod\ N$“ и „*комплексно спрягане*“ съответно, а параметърът r показва, че *времевото отместване* (*time shift*) между сигналите $\{s(i)\}_{i=0}^{N-1}$ и $\{s^*(i)\}_{i=0}^{N-1}$ е $r\Delta t$. Освен това в (3) е отчетено, че в цифровите системи за обработка на информация периодът Δt на синхронизиращите *тактови импулси* (*clock pulses*) е константа за цялата система и по тази причина не се изписва в повечето формули.

От (3) се вижда, че при $r = 0$ теоремата е изпълнена, тъй като

$$Q_{ss}(0) = \sum_{i=0}^{N-1} s(i)s^*(i) =$$
$$= \sum_{i=0}^{N-1}(\pm 1)^2 = N. \quad (4)$$

Нека сега $r \neq 0$, а броят на отчетите на ФМ сигнала, които са -1, е K_-. Тогава (очевидно) броят на отчетите +1 е

$$K_+ = N - K_-. \quad (5)$$

При $r \neq 0$ произведенията $s(i)s^*\langle i+r\rangle_N$ формират следните 4 групи

Табл. 1: *Типове на групите от произведения* $s(i)s^*\langle i+r\rangle_N$

$\boldsymbol{s(i)s^*\langle i+r\rangle_N}$	**Брой на произведенията в групата**
$(-1)(-1)$	$\boldsymbol{\lambda(r)}$
$(-1)(+1)$	$\boldsymbol{K_- - \lambda(r)}$
$(+1)(-1)$	$\boldsymbol{K_- - \lambda(r)}$
$(+1)(+1)$	$\boldsymbol{K_+ - [K_- - \lambda(r)] =}$ $\boldsymbol{= N - 2K_- + \lambda(r)}$

В табл. 1 с $\lambda(r)$ е означен броят на произведенията $(-1)(-1)$ при времево отместване $r\Delta t$.

От (3) и табл. 1 се вижда, че

$$Q_{ss}(r) = [N - 2K_- + \lambda(r) + \lambda(r)] -$$
$$-2[K_- - \lambda(r)] = N - 4[K_- - \lambda(r)] \equiv$$
$$\equiv Nmod4. \quad (6)$$

От Теорема 1 следва, че възможните минимални нива на страничните листа на ПАКФ на бинарните ФМ сигнали са [2], [3]

$$Q_{ss}(r) = \begin{cases} 0, & N \equiv 0\ mod 4, \\ 1, & N \equiv 1\ mod 4, \\ \pm 2, & N \equiv 2\ mod 4, \\ -1, & N \equiv 3\ mod 4. \end{cases} \quad (7)$$

Бинарните ФМ сигнали, чиито всички странични листа на ПАКФ имат нивата (7), е прието да се наричат *перфектни* (*perfect*).

Синтезът на перфектни бинарни ФМ сигнали е сложен теоретичен проблем, който въпреки интензивните научни изследвания през последните шестдесет години все още не е решен изчерпателно [2], [3]. Предвид на това следва да се отбележи, че исторически първият метод за синтез на перфектни ФМ сигнали е разработен за случая $N \equiv 3\ mod 4$. Той се описва от следната теорема [2], [3].

Теорема 2: Бинарният ФМ сигнал, чиято дължина е просто нечетно число

$$N = p \equiv 3\ mod 4, \quad (8)$$

а отчетите му са формирани по правилото (за кодиране)

$$s(0) = \pm 1,\ \ s(i) = (-1)^{ind_\theta i}, \quad (9)$$
$$i = 1, 2, \dots, p-1,$$

е перфектен.

Доказателство: Както е известно, индексът на i по отношение на *примитивния елемент* (*корен*) θ на полето на Галоа $GF(p)$ $ind_\theta i$ е аналог на операцията логаритмуване (в безкрайните алгебрични полета). По-конкретно, във всяко крайно алгебрично поле $GF(p^n)$ съществува най-малко един примитивен елемент θ, който се характеризира с това, че редицата

$$\theta^1 = \theta, \theta^2, \dots, \theta^{p^n-1}, \quad (10)$$

съдържа всичките $p^n - 1$ ненулеви елементи на $GF(p^n)$. По тази причина, в случаите на прости алгебрични полета, когато $n = 1$, редицата

$$\theta^1 = \theta, \theta^2, \dots, \theta^{p-1}, \quad (11)$$

е просто някаква пермутация

$$\pi(1), \pi(2), \dots, \pi(p-1), \quad (12)$$

на числата

$$1, 2, \dots, p-1. \quad (13)$$

Следователно индексът на i по отношение на примитивния елемент (корен) θ се определя от равенствата

$$i = \theta^{\pi(i)} \rightarrow ind_\theta i =$$
$$= \pi(i), \;\; i = 1, 2, \dots, p-1. \quad (14)$$

От (8) и (14) се вижда, че ПАКФ на ФМ сигнала (9) е

$$Q_{ss}(r) = \sum_{i=0}^{p-1} s(i)s^*\langle i+r\rangle_p =$$
$$\sum_{i=1}^{p-1}(-1)^{\pi(i)}(-1)^{\pi(i+r)} + s(0)(-1)^{\pi(r)}. \quad (15)$$

От сумата в дясната част на (15) трябва да се изключи и произведението $(-1)^{\pi(p-r)}(-1)^{\pi[(p-r)+r]}$, тъй като в $GF(p)$ е изпълнено $(p-r)+r = p = 0$ и стойността на $\pi(0)$ е неопределена. Следователно

$$Q_{ss}(r) = \sum_{\substack{i=1,\\ i\neq p-r}}^{p-1} (-1)^{\pi(i)}(-1)^{\pi(i+r)} +$$
$$+s(0)(-1)^{\pi(r)} + (-1)^{\pi(p-r)}s(0). \quad (16)$$

Сумата в дясната част на (16) може да се преработи както следва

$$\sum_{\substack{i=1,\\ i\neq p-r}}^{p-1} (-1)^{\pi(i)}(-1)^{\pi(i+r)} =$$
$$= \sum_{\substack{i=1,\\ i\neq p-r}}^{p-1} (-1)^{\pi(i)}(-1)^{\pi[i(1+ri^{-1})]}. \quad (17)$$

Тук следва да се отчете, че $ind_\theta i = \pi(i), \;\; i = 1, 2, \dots, p-1$ е аналог на операцията логаритмуване, т.е. ако

$$a = \theta^{\pi(a)}, \;\; b = \theta^{\pi(b)}, \quad (18)$$

тогава

$$ab = \theta^{\pi(ab)} = \theta^{\pi(a)+\pi(b)} \rightarrow \pi(ab) =$$
$$= \pi(a) + \pi(b). \quad (19)$$

Следователно

$$\sum_{\substack{i=1,\\ i\neq p-r}}^{p-1} (-1)^{\pi(i)}(-1)^{\pi[i(1+ri^{-1})]} =$$
$$= \sum_{\substack{i=1,\\ i\neq p-r}}^{p-1} (-1)^{\pi(i)}(-1)^{\pi(i)+\pi(1+ri^{-1})} =$$
$$= \sum_{\substack{i=1,\\ i\neq p-r}}^{p-1} (-1)^{2\pi(i)}(-1)^{\pi(1+ri^{-1})} =$$
$$= \sum_{\substack{i=1,\\ i\neq p-r}}^{p-1} [(-1)^2]^{\pi(i)}(-1)^{\pi(1+ri^{-1})} =$$
$$= \sum_{\substack{i=1,\\ i\neq p-r}}^{p-1} (-1)^{\pi(1+ri^{-1})}. \quad (20)$$

След отчитането на (20) в (17) и (16), резултатът е

$$Q_{ss}(r) = \sum_{\substack{i=1,\\ i\neq p-r}}^{p-1} (-1)^{\pi(1+ri^{-1})} +$$
$$+s(0)(-1)^{\pi(r)} + (-1)^{\pi(p-r)}s(0). \quad (21)$$

Сега следва да се забележи, че когато индексът i преминава последователно през елементите на множеството

$$\{1, 2, \dots, p-r-1, p-r+1, \dots, p-1\}, \quad (22)$$

изразът $1 + ri^{-1}$ преминава през елементите на множеството

$$\{ 2, \dots, p-r-1, p-r, p-r+1, \dots$$
$$\dots, p-1\}. \quad (23)$$

Действително, първо, изразът $1 + ri^{-1}$ трябва да е елемент на $GF(p)$, т.е.

$$(1 + ri^{-1}) \in \{ 0, 1, \; 2, \dots, p-1\}. \quad (24)$$

Второ, когато индексът i преминава последователно през елементите на множеството (22) изразът $1 + ri^{-1}$ не приема повтарящи се стойности, тъй като

$$1 + ri_1^{-1} = 1 + ri_2^{-1} \rightarrow i_1^{-1} =$$
$$= i_2^{-1} \rightarrow i_1 = i_2. \quad (25)$$

При това изразът $1 + ri^{-1}$ "пропуска" елементите 0 и 1, защото

$$1 + ri^{-1} = 0 \rightarrow i - r = 0 \rightarrow i = p - r, \quad (26)$$
$$1 + ri^{-1} = 1 \rightarrow ri^{-1} = 0 \rightarrow i^{-1} =$$
$$= 0 \cup r = 0. \quad (27)$$

Накрая трябва да се забележи, че в множеството

$$\{ 1, 2, \dots, p-1\} \quad (28)$$

има по $(p-1)/2$ числа с четен и нечетен индекс, и, освен това, съгласно теоремата на *Ферма-Ойлер* е изпълнено

$$\theta^{p-1} = 1 \rightarrow (-1)^{\pi(1)} = (-1)^{p-1} = 1. \quad (29)$$

Следователно

$$Q_{ss}(r) = \frac{p-1}{2}(-1) + \left(\frac{p-1}{2} - 1\right)(+1) +$$
$$+s(0)(-1)^{\pi(r)} + (-1)^{\pi(p-r)}s(0) =$$
$$= -1 + s(0)\left[(-1)^{\pi(r)} + (-1)^{\pi(p-r)}\right]. \quad (30)$$

Изразът в скобите в дясната страна на (30) се опростява след отчитане на съотношенията

$$\pi(p-r)=\pi(-r)=\pi(-1)+\pi(r), \quad (31)$$

и, освен това,

$$\pi(-1)=\frac{p-1}{2}\equiv -1\ mod p, \quad (32)$$

когато $p\equiv 3\ mod 4$. Действително

$$p\equiv 3\ mod 4\rightarrow p=4n+3\rightarrow \frac{p-1}{2}=$$

$$=2n+1\equiv 1 mod 2. \quad (33)$$

Следователно

$$Q_{ss}(r)=$$

$$=-1+s(0)\left[(-1)^{\pi(r)}+(-1)^{\pi(p-r)}\right]=$$

$$=-1+$$

$$+s(0)\left[(-1)^{\pi(r)}+(-1)^{\frac{p-1}{2}}(-1)^{\pi(r)}\right]=$$

$$=-1+s(0)(-1)^{\pi(r)}(1-1)=-1. \quad (34)$$

Не е трудно да се провери, че Теорема 2 остава в сила, ако отчетите на ФМ сигнала с дължина $p\equiv 3\ mod 4$ са формирани по правилото (за кодиране)

$$s(0)=\pm 1,\ \ s(i)=(-1)^{ind_\theta i+1}, \quad (35)$$

$$i=1,2,\dots,p-1.$$

В теоретичните изследвания са доказани следните свойства на крайните алгебрични полета $GF(p^n)$ [4].

Свойство 1: Индексите на елементите на $GF(p^n)$ съществено зависят от избрания примитивен елемент (т.е. от „базата“ на индексите).

Свойство 2: При всеки примитивен елемент индексите на 1 и $-1=p-1$ са:

$$ind_\theta 1=p^n-1,\ \ ind_\theta(-1)=\frac{p^n-1}{2}. \quad (36)$$

Това свойство следва от споменатата погоре *Теорема на Ферма-Ойлер*, съгласно която

$$\alpha^{p^n-1}=1,\ \ \alpha\in GF(p^n). \quad (37)$$

Ако α е произволен елемент на $GF(p^n)$, тогава

$$\alpha^{\varepsilon(a)}=1, \quad (38)$$

като тук $\varepsilon(a)$ е нетривиален делител на p^n-1. Прието е $\varepsilon(a)$ да се нарича *експонента* или *ред* на α в $GF(p^n)$.

В случаите, когато $\alpha=\theta$ е някой от примитивните елементи на $GF(p^n)$, тогава $\varepsilon(a)=p^n-1$. Сега следва да се забележи, че

$$(-1)(-1)=\theta^{\pi(p-1)}\theta^{\pi(p-1)}=$$

$$=1=\theta^{p^n-1}. \quad (39)$$

Следователно, $ind_\theta(-1)=\frac{p^n-1}{2}$, както вече беше посочено в (36).

Свойство 3: Елементите на $GF(p^n)$ могат да се разделят на непресичащи се класове

$$C_{cl}(0)=\{0\},$$

$$C_{cl}(l)=\theta^{l-1}\left\{\theta^{0.d},\theta^{1.d},\dots,\theta^{(m-1)d}\right\},$$

$$l=1,2,\dots,d, \quad (40)$$

като тук

$$md=p^n-1 \quad (41)$$

е някое от възможните разлагания на p^n-1 в произведение на два множителя m,d.

Свойство 4: При разбиването на елементите на $GF(p^n)$ на непресичащи се класове по правилото (40) при фиксирани стойности на множителите m,d класът $C_{cl}(1)$ не зависи от конкретния избор на примитивен елемент.

Свойство 4 може да се обясни с факта, че всеки елемент на класа $C_{cl}(1)$ е точна d-та степен на някой елемент от $GF(p^n)$, т.е.

$$\beta\in C_{cl}(1)\leftrightarrow\beta=a^d,\ a\in GF(p^n). \quad (42)$$

Следователно, Теорема 2 може да се преформулира по следния начин [2].

Теорема 2А: Бинарният ФМ сигнал, чиято дължина е просто нечетно число

$$N=p\equiv 3\ mod 4, \quad (43)$$

а отчетите му са формирани по правилото (за кодиране)

$$s(0)=\pm 1,\ \ s(i)=\begin{cases}1, & i=a^2,\\ -1, & i\neq a^2,\end{cases} \quad (44)$$

$$i=1,2,\dots,p-1,$$

е перфектен.

Както е известно, числата, които са точни квадрати на някое число в $GF(p)$ се наричат *квадратични остатъци*, а числата, които не са точни квадрати на някое число в $GF(p)$ се наричат *квадратични неостатъци*. В тази връзка *Льожандър* (*Адриен Мари Льожандър* (1752–1833), *Adrien-Marie Legendre*) е въвел следния символ, който днес носи неговото име (*символ на Льожандър*) [4]

$$\left(\frac{i}{p}\right) = \begin{cases} 0, & i = 0, \\ 1, & i = a^2, \quad i,\ a \in GF(p). \\ -1, & i \neq a^2, \end{cases} \tag{45}$$

От (45) се вижда, че правилото (за кодиране) (44) може да се запише във вида

$$s(0) = \pm 1,\ \ s(i) = \left(\frac{i}{p}\right)$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1. \tag{46}$$

Предвид на изложеното до тук, перфектните ФМ сигнали, формирани по правилата (за кодиране) (9) или (35), се наричат *сигнали* (*последователности*) *на квадратичните остатъци* или *сигнали* (*последователности*) *на Льожандър*.

МЕТОДИКА ЗА СИНТЕЗ НА ПЕРФЕКТНИ БИНАРНИ ФАЗОВО МАНИПУЛИРАНИ СИГНАЛИ С ДЪЛЖИНА N=3MOD4

От анализа, направен в предходния параграф на доклада, се вижда, че класическият метод за синтез на ФМ сигнали с дължина $N = p \equiv 3\ mod 4$ се основава на изчисляването на индексите на елементите на крайните алгебрични полета $GF(p^n)$. При големи стойности на p и n това е относително сложна изчислителна задача, която се решава на две стъпки. Първо се открива произволен примитивен примитивен елемент $\theta = \theta_1$, като се използва фактът, че редицата (10) съдържа всичките $p^n - 1$ ненулеви елементи на $GF(p^n)$. След това всички останали примитивни елементи $\theta_2, \theta_3, \dots, \theta_s$ се изчисляват по формулата

$$\theta_l = \theta^{d_l},\ l = 2, 3, \dots, N_d, \tag{47}$$

като се спазват аритметичните закономерности на конкретното аритметично поле $GF(p^n)$. При това в (47)

$$\{d_1 = 1, d_2, d_3, \dots, d_{N_d}\}, \tag{48}$$

е множеството на всички числа, които са по-малки от $p^n - 1$ и са взаимно прости с $p^n - 1$.

В редица случаи изчисляването на индексите на елементите на крайните алгебрични полета се опростява в резултат на използване на таблици, съдържащи минималните по абсолютна стойност примитивни елементи за голям брой прости (неразширени) полета на Галоа $GF(p)$, които са публикувани в специализираната литература.

Предвид на изложеното следва специално да се отбележи, че Свойство 4 опростява изключително много синтезирането на сигнали на Льожандър с произволна дължина p. Действително, от (51) се вижда, че при зададено p за намиране на класа на квадратичните остатъци е достатъчно всички числа $\{1, 2, \dots, p-1\}$ да бъдат повдигнати на степен $d = 2$ по $mod\ p$, след което трябва да се вземе един пълен комплект от различни числа. Така например, при $p = 7$ квадратите на числата $\{1, 2, \dots, 6\}$ по $mod\ 7$ и квадратичните остатъци са

$$\left.\begin{matrix} 1^2 = 1, 2^2 = 4, 3^2 = \\ = 2, 4^2 = 2, 5^2 = 4, 6^2 = 1 \end{matrix}\right\} \rightarrow \{1, 2, 4\}. \tag{49}$$

От направения анализ произтича коректността на следната методика.

Методика за синтез на перфектни бинарни фазово манипулирани сигнали с дължина $N = p \equiv 3\ mod\ 4$.

Стъпка 1: Задаване на дължината $N = p \equiv 3\ mod\ 4$ на ФМ сигнала.

Стъпка 2: Изчисляване на квадратите на всички числа $\{1, 2, \dots, p-1\}$ по $mod\ p$, т.е.

$$a_i \equiv i^2 mod\ p,\ i = 1, 2, \dots, p-1. \tag{50}$$

Стъпка 3: От числата a_i, изчислени на предходната стъпка, се взема един пълен комплект от $N_a = (p-1)/2$ на брой различни числа. Този комплект представлява класа

$$d = 2,\ C_{cl}(1) = \{a_{i_0}, a_{i_1}, \dots, a_{i_{N_a-1}}\} \tag{51}$$

на квадратичните остатъци по $mod\ p$.

Стъпка 4: Отчетите на бинарния ФМ сигнал на Льожандър се изчисляват по правилото (за кодиране) (46).

Не е трудно да се провери (например за $p = 3, 7, 11$), че бинарните ФМ сигнали на Льжандър, синтезирани по обоснованата по-горе методика, са перфектни, т.е. всички странични листа на ПАКФ са точно -1 и, следователно, съответстват на ограниченията (7) за дължини $N \equiv 3\ mod\ 4$.

В редица практически случаи обаче е необходимо ПАКФ на ФМ сигналите изобщо да нямат странични листа. При $N \equiv 3\ mod\ 4$ това може да се постигне само чрез използване на фазова манипулация, която е по-сложна от бинарната. Например в литературата е посочено следното правило (за кодиране)

$$s(0) = 1,\ \ s(i) = \begin{cases} 1, & i = a^2, \\ x, & i \neq a^2, \end{cases}$$
$$i = 1, 2, \dots, p-1,\ \ N = p \equiv 3\ mod\ 4 \qquad (52)$$

като тук x е комплексно число с модул 1:

$$x = cos\varphi + jsin\varphi = e^{j\varphi},\ \ j = \sqrt{-1}. \qquad (53)$$

Правилото (за кодиране) (53) е установено от *Г. Бьорк* (*G. Bjorck*) през 80-те години на миналия век [5], но в Интернет няма ресурс, съдържащ неговата обосновка. Предвид на тази ситуация следва да се отбележи, че анализът на класическия метод за синтез на перфектни бинарни ФМ сигнали с дължина $N = p \equiv 3\ mod\ 4$, направен в предходния параграф на доклада, създава предпоставките правилото (за кодиране) (53) да бъде доказано строго в [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

През изминалите петдесет години методите за синтез на ФМ сигнали са били разработвани най-често като решения на частни инженерни проблеми. Днес обаче теорията на синтеза на ФМ сигнали трябва да може да обясни свойствата на различните класове ФМ сигнали от възможно най-общи позиции. Предвид на тази необходимост в доклада е направен детайлен анализ на класическия метод за синтез на перфектни бинарни ФМ сигнали с дължина $N = p \equiv 3\ mod\ 4$. На тази основа са получени два основни резултата.

Първо, обоснована е методика за синтез на перфектни бинарни ФМ сигнали с дължина $N = p \equiv 3\ mod\ 4$, която се характеризира с простота, универсалност и ефективност от изчислителна гледна точка. Тя може успешно да бъде използвана за разработване на компютърна програма за автоматизиран синтез на широк спектър ФМ сигнали за радио-комуникационни системи за прецизно измерване на разстояния.

Второ, създадени са предпоставките за изясняване на връзката между бинарните перфектни ФМ сигнали на Льожандър и на би-унимодуларните последователности на Бьорк с дължина $N = p \equiv 3\ mod 4$, p е просто число.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящата статия се реализира във връзка с Проект РД-08-144/08.02.2018 г. – Интегрирана развойна тестова среда за информационна сигурност, финансиран от ШУ „Епископ Константин Преславски“.

REFERENCE

[1] N. Levanon and E. Mozeson, Radar signals, Wiley-Interscience, 2004, 427 pp.

[2] S. Golomb and G. Gong, Signal design for good correlation for wireless communications, cryptography and radar, Cambridge University Press, 2005, 455 pp.

[3] V. P. Ipatov, Spread spectrum and CDMA. Principles and Applications, Willey, 2006. - 373 pp.(in Russian)

[4] R. Lidl and H. Niederreiter, Finite fields, London: Addison-Wesley Publishing Company, 1983, 818 pp.

[5] B. Saffari, Some polynomial extremal problems which emerged in the twentieth century, In: Twentieth century harmonic analysis-a celebration, pp. 201-233, Kluwer Academic Publishers, 2001

[6] B. Bedzhev and P. Yanakiev, A survey of methods for synthesis of ideal phase manipulated signals with length N=3 mod 4, In: Proceedings of the International scientific conference MATTECH 2018, 25-27.10.2018, Shumen, Bulgaria (in press)

КОМПЮТЪРНА ЛАБОРАТОРИЯ ЗА АВТОМАТИЗИРАН СИНТЕЗ НА ФАЗОВО МАНИПУЛИРАНИ СИГНАЛИ

Пламен Янакиев[1], Моника Беджева[2]
[1] *Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“*
[2] *Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“*

COMPUTER LABORATORY FOR AUTOMATED SYNTHESIS OF PHASE MANIPULATED SIGNALS

Plamen Yanakiev[1], Monika Bedzheva[2]
[1] *Konstantin Preslavsky University of Shumen*
[2] *Konstantin Preslavsky University of Shumen*

Abstract

The systems of signals have a crucial influence on the technical and exploitational characteristics of the radio-communication systems, in which they are used. Due to this reason in the paper a computer laboratory for automated synthesis of phase manipulated (PM) signals is presented. The computer laboratory could be used for extensive analysis and synthesis of PM signals, providing high rate of information transmission and high resistance of the radio-communication systems in a hostile radio-electronic environment.

Keywords: ideal periodic autocorrelation functions; phase manipulated signals; synthesis of signals.

ВЪВЕДЕНИЕ

Системите от сигнали имат определящо влияние върху техническите и експлоатационните характеристики на радио-комуникационните системи, в които се използват. По тази причина системите от сигнали трябва да отговарят на голям брой изисквания, основните от които са: простота на генерирането и обработката им, ефективно използване на електромагнитния спектър, ниска вероятност за прехващане, оптимални корелационни свойства и др. Теоретичният анализ и натрупаният практически опит в тази област през последните шестдесет години показват, че посочените изисквания са взаимно противоречиви. Това налага в процеса на проектиране да се търсят разумни компромиси, така че в крайна сметка конкретната радио-комуникационната система да е способна да изпълнява своите задачи с висока надеждност при приемлива цена на оборудването, експлоатацията и ремонта [1], [2], [3].

Предвид на това в доклада е представена компютърна лаборатория за автоматизиран синтез на *фазово манипулирани* (ФМ) сигнали. Вниманието към този проблем е породено от следните обстоятелства [1], [2], [3].

Първо, ФМ сигналите имат следните основни положителни страни:

- генерирането и обработката им е по-просто в сравнение със сигналите със скокообразно изменение на носещата честота;
- те са в основата на технологията *директно разширяване на спектъра* (наречена в англоезичната литература *direct spreading of the spectrum*), която осигурява висока шумозащитеност и електромагнитна съвместимост на радио-комуникационните системи.

Второ, методите за синтез на ФМ сигнали са обект на интензивни изследвания през последните шестдесет години, но, въпреки това, много въпроси все още са далече от изчерпателното им решаване. По тази причина на сегашния етап от развитието на

технологиите синтезът на ФМ сигнали се осъществява чрез съчетаване на аналитични и евристични подходи.

КОМПЮТЪРНА ЛАБОРАТОРИЯ ЗА АВТОМАТИЗИРАН СИНТЕЗ НА ФАЗОВО МАНИПУЛИРАНИ СИГНАЛИ

Натрупаният през последните шестдесет години опит от изследователите показва, че най-вероятно проблемът за синтез на ФМ сигнали е от типа *exp-time задачи*. Това са задачи, при които времето за решение T_{sol} зависи експоненциално от обема на необходимата информация V_{inf}, т.е.

$$T_{sol} \sim e^{\gamma V_{inf}}. \quad (1)$$

Тук γ е коефициент, който се определя от особеностите на задачата.

Тъй като експоненциалната функция нараства много бързо с нарастването на своя аргумент (в (1) това е V_{inf}), exp-time задачите по принцип не могат да бъдат решени за практически приемливо време. Въпреки това, бързото нарастване на производителността на компютърната техника в съчетание с напредъка на теоретичните методи дава възможност коефициентът γ в (1) да бъде намален до степен, при която exp-time задачите могат да бъдат решени за приемливо време за голям брой конкретни стойности, представляващи подмножество на V_{inf}.

Предвид на тази ситуация, изчислителната ефективност на компютърната лаборатория за автоматизиран синтез на ФМ сигнали, която ще бъде представена по-нататък, се основава както на теоретични така и на програмни подходи. Преди да се пристъпи по-детайлно описание, следва да се отбележи, че целта на компютърната лаборатория е да се синтезират цифрови сигнали

$$\{s(i)\}_{i=0}^{N-1} = \{s(0), s(1), \dots, s(N-1)\}, \quad (2)$$

чиито *периодични автокорелационни функции* (ПАКФ) имат така наречената идеална форма, подобна на делта импулс

$$Q_{ss}(r) = \sum_{i=0}^{N-1} s(i)s^*\langle i+r\rangle_N = \quad (3)$$
$$= \begin{cases} N, & r = 0, \\ 0, & r \neq 0, \end{cases}$$

при зададени тип на фазовата манипулация и дължина на сигнала N.

В (3) символите „$\langle i+r\rangle_N$“ и „*“ означават „*привеждане на сумата* (*в скобите*) *по* $\mathrm{mod}\, N$“ и „*комплексно спрягане*“ съответно, а параметърът r показва, че *времевото отместване* (*time shift*) между сигналите $\{s(i)\}_{i=0}^{N-1}$ и $\{s^*(i)\}_{i=0}^{N-1}$ е $r\Delta t$, $0\Delta t \leq r\Delta t \leq (N-1)\Delta t$. Също така в (3) е отчетено, че в цифровите системи за обработка на информация периодът Δt на синхронизиращите *тактови импулси* (*clock pulses*) е константа за цялата система и по тази причина не се изписва в повечето формули.

Задаването на типа на фазовата манипулация означава, че отчетите на цифровия сигнал (2) трябва да са елементи на предварително определено *сигнално съзвездие* (*signal constellation*) или *сигнална азбука* (*signal alphabet*) с размер n_α, т.е.

$$\forall s(i) \in \{\alpha(l)\}_{l=0}^{n_\alpha - 1} =$$
$$= \{\alpha(0), \alpha(1), \dots, \alpha(n_\alpha - 1)\}. \quad (4)$$

Тук следва да се отбележи, че отчетите $s(0), s(1), \dots, s(N-1)$ на цифровия сигнал (2) представляват така наречените *комплексни амплитуди на чиповете* (*елементарните фазови импулси*), които формират ФМ сигнала. Ето защо с оглед на опростяването на процедурите при генерирането и обработката на ФМ сигналите, най-често елементите („буквите“, „символите“) на сигналното съзвездие (4) имат вида

$$\alpha(l) = e^{j\frac{2\pi}{n_\alpha}l}, \; l = 0, 1, \dots, n_\alpha - 1, \quad (5)$$

като типичните стойности на неговия размер n_α са

$$n_\alpha = 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 32, 64, 128, 256. \quad (6)$$

От (2) и (4) се вижда, че в най-обща ситуация времето за решаване на задачата за синтез на ФМ сигнали с идеална ПАКФ е

$$T_{sol} \sim e^{\gamma(N \log_e n_\alpha)}, \quad (6)$$

тъй като всички възможни сигнали (2) при спазване на ограничението (4) са

$$Q_{PM}(n_\alpha, N) = {n_\alpha}^N. \quad (7)$$

За намаляване на изчислителната сложност на задачата за синтез на ФМ сигнали с

идеална ПАКФ, редица изследователи прилагат следния метод [2], [4], [5].

Нека дължината на сигнала N е просто число, т.е. $N = p$. В тази ситуация решенията на задачата за синтез на ФМ сигнали идеална ПАКФ се търси като множеството на ненулевите номера на отчетите

$$F_p^* = \{1,2,\dots,p-1\}, \quad (8)$$

се разделя на d непресичащи се подмножества

$$C_{cl}(1), C_{cl}(2), \dots, C_{cl}(d), \quad (9)$$

от по m елемента всяко като

$$md = p - 1 \quad (10)$$

е някое от възможните разлагания на $p-1$ в произведение на два множителя m, d.

Следователно множеството на всички номера на отчетите F_p

$$F_p = \{0,1,2,\dots,p-1\}, \quad (11)$$

може да се представи като теоретико-множествена директна сума от подмножествата (9) и едноелементното подмножество $\{0\}$

$$F_p = \{0\} + C_{cl}(1) + \cdots + C_{cl}(d). \quad (12)$$

След това разбиване се приема, че отчетите на ФМ сигнала (2), чиито номера са от едно и също подмножество в (12), имат една и съща стойност. По-формално, използва се следното правило (за кодиране)

$$s(0) = 1, s(k) = z_i \in \{\alpha(l)\}_{l=0}^{n_\alpha - 1},$$
$$k \in C_{cl}(i),\ k, i = 1,2,\dots,p-1. \quad (13)$$

Както се вижда, при този подход всички възможни сигнали (2) при спазване на ограничението (4) са

$$Q_{PM}(n_\alpha, N) = {n_\alpha}^d = {n_\alpha}^{\frac{N-1}{m}},\ N = p, \quad (14)$$

и, в резултат на това, времето за решаване на задачата за синтез на ФМ сигнали с идеална ПАКФ намалява до

$$T_{sol} \sim e^{\gamma(d \log_e n_\alpha)}. \quad (15)$$

Допълнително съкращаване на времето за решаване на задачата за синтез на ФМ сигнали с идеална ПАКФ се постига като подмножествата (9) се избират да бъдат *циклотомични класове* [2], [4], [5], [6]

$$C_{cl}(l) = \theta^{l-1}\left\{\theta^{0.d}, \theta^{1.d}, \dots, \theta^{(m-1)d}\right\}, \quad (16)$$
$$l = 1,2,\dots,d,$$

като тук θ е произволен примитивен елемент на крайното алгебрично поле $GF(p)$.

Разбиването на множеството на номерата на отчетите F_p на циклотомични класове ще бъде пояснено със следния пример.

Пример 1: Елементите на $GF(7)$ могат да се разделят по 2 начина на непресичащи се класове, тъй като $2.3 = 3.2 = 7 - 1$ и възможните стойности на множителите m, d са

$$m = 2,\ d = 3, \quad (17)$$

$$m = 3,\ d = 2. \quad (18)$$

От (17) се вижда, че при използване на примитивния елемент $\theta = 3 = \theta_1$ непресичащите се класове са

$$m = 2, d = 3,\ C_{cl}(0) = \{0\},$$
$$C_{cl}(l) = \theta^{l-1}\{\theta^{0.3}, \theta^{1.3}\} = \quad (19)$$
$$= \begin{cases} \{1,6\},\ l = 1, \\ \{3,4\},\ l = 2, \\ \{2,5\},\ l = 3, \end{cases} \quad (20)$$

$$m = 3, d = 2,\ C_{cl}(0) = \{0\},$$
$$C_{cl}(l) = \theta^{l-1}\{\theta^{0.2}, \theta^{1.2}, \theta^{2.2}\} = \quad (21)$$
$$= \begin{cases} \{1,2,4\},\ l = 1, \\ \{3,5,6\},\ l = 2. \end{cases} \quad (22)$$

Аналогично от (18) се вижда, че при използване на примитивния елемент $\theta = 5 = \mathcal{O}2$ непресичащите се класове са

$$m = 2, d = 3,\ C_{cl}(0) = \{0\},$$
$$C_{cl}(l) = \theta^{l-1}\{\theta^{0.3}, \theta^{1.3}\} = \quad (23)$$
$$= \begin{cases} \{1,6\},\ l = 1, \\ \{2,5\},\ l = 2, \\ \{3,4\},\ l = 3, \end{cases}$$

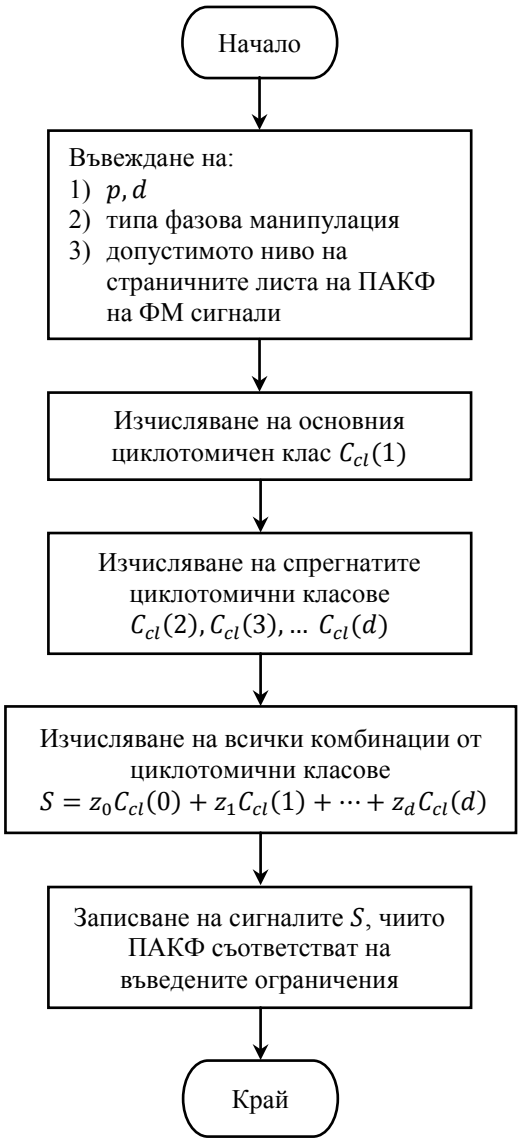
$$m = 3, d = 2,\ C_{cl}(0) = \{0\},$$
$$C_{cl}(l) = \theta^{l-1}\{\theta^{0.2}, \theta^{1.2}, \theta^{2.2}\} = \quad (24)$$
$$= \begin{cases} \{1,2,4\},\ l = 1, \\ \{3,5,6\},\ l = 2. \end{cases}$$

Накрая, нека бъде прието, че са избрани: $N = p = 7$, разбиването (17) и примитивният елемент $\theta = 3 = \theta_1$. Тогава ФМ сигнал (2) получава следният вид

$$\{s(i)\}_{i=0}^{6} = \{1, z_1, z_3, z_2, z_2, z_3, z_1\}. \quad (25)$$

Следователно броят на неизвестните величини намалява от 7 на 3.

Предвид на изложените аргументи, блок-схемата на компютърната лаборатория за автоматизиран синтез на ФМ сигнали има вида, показан на фиг. 1.



Фиг. 1: *Блок-схема на компютърната лаборатория за автоматизиран синтез на ФМ сигнали*

Времето за изпълнение на програмата се съкращава благодарение на следните подходи.

Първо, при разбиването на елементите на F_p на непресичащи се класове по правилото (16) при фиксирани стойности на множителите m, d класът $C_{cl}(1)$ не зависи от конкретния избор на примитивен елемент.

Това позволява основният циклотомичен клас $C_{cl}(1) = \{\theta^{0.d}, \theta^{1.d}, \dots, \theta^{(m-1)d}\}$ да бъде изчислен по следния несложен алгоритъм

Стъпка 1: Изчисляване на d −те степени на всички числа $\{1, 2, \dots, p-1\}$ по $mod\ p$, т.е.

$$a_i \equiv i^d mod\ p,\ i = 1, 2, \dots, p-1. \qquad (26)$$

Стъпка 2: От числата a_i, изчислени на предходната стъпка, се взема един пълен комплект от $m = (p-1)/d$ на брой различни числа. Този комплект представлява класа

$$d,\ C_{cl}(1) = \{a_{i_0}, a_{i_1}, \dots, a_{i_{m-1}}\} \qquad (27)$$

на d −те степени на по $mod\ p$.

Второ, спрегнатите циклотомични класове $C_{cl}(2), C_{cl}(3), \dots C_{cl}(d)$ се получават като основният циклотомичен клас $C_{cl}(1)$ последователно се умножава с числата $2,3, \dots, p-1$ докато се получат d различни подмножества от по m елемента (числа).

Тук се използва фактът, че $C_{cl}(1)$ всъщност е мултипликативна подгрупа на F_p^*. По тази причина циклотомични класове $C_{cl}(2), C_{cl}(3), \dots C_{cl}(d)$ са просто спрегнати класове на $C_{cl}(1)$.

Трето, най-бавният етап в блок-схемата от фиг. 1 е изчисляването на всички комбинации

$$S = z_0 C_{cl}(0) + z_1 C_{cl}(1) + \cdots + z_d C_{cl}(d), \qquad (28)$$

като тук $z_0 = 1$.

При реализирането на блок-схемата от фиг. 1 като програмен код е използван фактът, че ако някакъв ФМ сигнал S има идеална ПАКФ в съответствие с (3), тогава преобразованието на Фурие го трансформира в цифров сигнал, чиито отчети имат модул $\sqrt{p}$. Ето защо реално се търсят кортежите (наборите) от числа

$$z_1, z_2, \dots, z_d,\ \forall z_i \in \{\alpha(l)\}_{l=0}^{n_\alpha - 1}, \qquad (29)$$

при които модулите на всички отчети $\mathcal{F}(l, S), l = 0, 1, \dots, p-1$,

$$\mathcal{F}(l, S) = \mathcal{F}(l, C_{cl}(0)) + \qquad (30)$$

$$+ z_1 \mathcal{F}(l, C_{cl}(1)) + \cdots + z_d \mathcal{F}(l, C_{cl}(d)),$$

са $\sqrt{p}$.

В (30) с $\mathcal{F}(l, x)$ е означено $N = p -$ точково дискретно преобразование на Фурие. Например, за сигнала (2) то има вида

$$\mathcal{F}(l, S) = s(0) + s(1)w^l + s(2)w^{2l} +$$

$$\ldots + s(p-1)w^{(p-1)l},\ \ l = 0, 1, \ldots, p-1, \quad (31)$$

$$w = e^{j\frac{2\pi}{p}},\ \ l = 0, 1, \ldots, p-1.$$

Изчисляването на всички отчети $\mathcal{F}(l, S)$ се опростява много от факта, че отчетите $\mathcal{F}\big(l, C_{cl}(1)\big), \mathcal{F}\big(l, C_{cl}(2)\big), \ldots, \mathcal{F}(l, C_{cl}(d))$ приемат стойности от едно множество

$$\mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_d, \quad (32)$$

което се изчислява предварително.

Накрая трябва да се забележи, че

$$\mathcal{F}\big(l, C_{cl}(0)\big) = 1. \quad (33)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада е представена компютърна лаборатория за автоматизиран синтез на ФМ сигнали. Нейните положителни страни са универсалност и ефективност от изчислителна гледна точка.

Компютърната лаборатория може успешно да се използва в процеса на проектиране на нови радио-комуникационни устройства и системи, характеризиращи се с шумоустойчивост и добра електромагнитна съвместимост.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящата статия се реализира във връзка с Проект РД-08-144/08.02.2018 г. – Интегрирана развойна тестова среда за информационна сигурност, финансиран от ШУ „Епископ Константин Преславски“.

REFERENCE

[1] N. Levanon and E. Mozeson, Radar signals, Wiley-Interscience, 2004, 427 pp.

[2] S. Golomb and G. Gong, Signal design for good correlation for wireless communications, cryptography and radar, Cambridge University Press, 2005, 455 pp.

[3] V. P. Ipatov, Spread spectrum and CDMA. Principles and Applications, Willey, 2006. - 373 pp.(in Russian)

[4] E. Gabidulin and V. Shorin, “New sequences with zero auto-correlation,” In: Problems of information transmission, vol. 38, 2002, № 4, pp. 10-23 (in Russian)

[5] D. Dokovic and I. Kotsireas, “Some new periodic Golay pairs,” https://arxiv.org/abs/1310.5773v2, 27 Aug 2014, 8 pp.

[6] R. Lidl and H. Niederreiter, Finite fields, London: Addison-Wesley Publishing Company, 1983, 818 pp.

МЕТОДИКА ЗА СИНТЕЗ НА КОМПЛЕМЕНТАРНИ БИНАРНИ ФАЗОВО МАНИПУЛИРАНИ СИГНАЛИ С ДЪЛЖИНА N=1MOD4

Пламен Янакиев[1], Цветослав Цанков[2]
[1] *Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“*
[2] *Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“*

METHODOLOGY FOR SYNTHESIS OF COMPLEMENTARY BINARY PHASE MANIPULATED SIGNALS WITH LENGTH N=1MOD4

Plamen Yanakiev[1], Tsvetoslav Tsankov[2]
[1] *Konstantin Preslavsky University of Shumen*
[2] *Konstantin Preslavsky University of Shumen*

Abstract

The phase manipulated (PM) signals which periodic autocorrelation functions (PACF) have small side-lobes are very important for the radars, sonars, radio-navigation and radio-synchronization systems. Due to this reason in the paper a general methodology for synthesis of ideal binary complementary PM signals with lengths N=1mod4, N prime, is suggested. The results, obtained in the paper, could be applied in the process of development of new radio-communication devices, used for precise measurement of distances.

Keywords: ideal periodic autocorrelation functions; phase manipulated signals; synthesis of signals.

ВЪВЕДЕНИЕ

За радио-локационните, радио-навигационните и радио-синхронизиращите системи е много важно използваните сигнали да имат идеални периодични автокорелационни функции (ПАКФ), наподобяващи делта импулс. Основната причина за това е, че контрастът между основния (централния) лист и страничните листа на ПАКФ определя разделителната способност и полезния ефект от разделната обработка с последващо натрупване на радио сигналите, преминали по различни пътища [1].

От гледна точка на простотата и надеждността при практическата реализация, най-предпочитани са бинарните фазово манипулирани (ФМ) сигнали, чиято ПАКФ има странични листа с минимално възможно ниво. По тази причина те са обект на интензивни изследвания през последните шестдесет години, но откритите до момента класове от бинарни ФМ сигнали с идеална или перфектна ПАКФ не могат да задоволят потребностите на практиката [1], [2], [3]. Отчитайки тази ситуация, целта на доклада е да се направи детайлен анализ на класическия метод за синтез на така наречените сигнали на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\ mod\ 4$, който да послужи за основа за разработването на методика за синтез на комплементарни (допълнителни) бинарни ФМ сигнали и да доведе до изясняване на връзката между бинарните перфектни ФМ сигнали на Льожандър и на идеалните биунимодуларни ФМ сигнали на Бьорк с дължина $N = p \equiv 1\ mod\ 4$.

АНАЛИЗ НА КЛАСИЧЕСКИЯ МЕТОД ЗА СИНТЕЗ НА ПЕРФЕКТНИ БИНАРНИ ФАЗОВО МАНИПУЛИРАНИ СИГНАЛИ С ДЪЛЖИНА N=1 MOD4

За бинарните ФМ сигнали с дължина $N = p \equiv 1\ mod 4$ е в сила следната теорема [2].

Теорема 1: Бинарният ФМ сигнал, чиято дължина е просто нечетно число

$$N = p \equiv 1\, mod4, \tag{1}$$

а отчетите му са формирани по правилото (за кодиране)

$$s(0) = \pm 1,\ \ s(i) = (-1)^{ind_\theta i}, \tag{2}$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1,$$

имат следната ПАКФ

$$s(0) = +1 \to Q_{ss}(r) =$$

$$= \begin{cases} N,\ r = 0, \\ 1, ind_\theta r \equiv 0 mod2, \\ -3, ind_\theta r \equiv 1 mod2, \end{cases} \tag{3}$$

$$s(0) = -1 \to Q_{ss}(r) =$$

$$= \begin{cases} N,\ r = 0, \\ 1, ind_\theta r \equiv 1 mod2, \\ -3, ind_\theta r \equiv 0 mod2. \end{cases} \tag{4}$$

Доказателство: Както е известно, индексът на i по отношение на *примитивния елемент* (*корен*) θ на полето на Галоа $GF(p)$ $ind_\theta i$ е аналог на операцията логаритмуване (в безкрайните алгебрични полета) [4]. По-конкретно, във всяко крайно алгебрично поле $GF(p^n)$ съществува най-малко един примитивен елемент θ, който се характеризира с това, че редицата

$$\theta^1 = \theta, \theta^2, \dots, \theta^{p^n - 1}, \tag{5}$$

съдържа всичките $p^n - 1$ ненулеви елементи на $GF(p^n)$ [4]. По тази причина, в случаите на прости алгебрични полета, когато $n = 1$, редицата

$$\theta^1 = \theta, \theta^2, \dots, \theta^{p-1}, \tag{6}$$

е просто някаква пермутация

$$\pi(1), \pi(2), \dots, \pi(p-1), \tag{7}$$

на числата

$$1, 2, \dots, p-1. \tag{8}$$

Следователно индексът на i по отношение на примитивния елемент (корен) θ се определя от равенствата

$$i = \theta^{\pi(i)} \to ind_\theta i =$$

$$= \pi(i),\ \ i = 1, 2, \dots, p-1. \tag{9}$$

За ПАКФ на бинарните ФМ сигнали с дължина $N = p \equiv 1\, mod4$ е в сила анализът, направен при доказателството на Теорема 2 от [5], при което е изпълнено

$$Q_{ss}(r) =$$

$$= -1 + s(0)\left[(-1)^{\pi(r)} + (-1)^{\pi(p-r)}\right]. \tag{10}$$

Сега обаче

$$\pi(-1) = \tfrac{p-1}{2} \equiv 1\, modp, \tag{11}$$

тъй като $p \equiv 1\, mod4$. Действително

$$p \equiv 1\, mod4 \to p = 4n + 1 \to$$

$$\to \tfrac{p-1}{2} = 2n \equiv 0 mod2. \tag{12}$$

Следователно

$$Q_{ss}(r) = -1 + s(0)(-1)^{\pi(r)}(1 + 1) =$$

$$= -1 + 2s(0)(-1)^{\pi(r)}, \tag{13}$$

което доказва теоремата.

Не е трудно да се провери, че Теорема 1 остава в сила, ако отчетите на ФМ сигнала с дължина $p \equiv 1\, mod4$ са формирани по правилото (за кодиране)

$$s(0) = \pm 1,\ \ s(i) = (-1)^{ind_\theta i + 1}, \tag{14}$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1.$$

Теорема 1 ще бъде илюстрирана със следния пример.

Пример 1: Нека $\{s(i)\}_{i=0}^{N-1}$ е бинарен ФМ сигнал с дължина $N = p = 5 \equiv 1\, mod4$ като отчетите му са формирани по правилото (за кодиране) (14).

Както е известно, крайното алгебрично поле $GF(5)$ има два примитивни елемента

$$\theta_1 = 2,\ \ \theta_2 = 3. \tag{15}$$

Непосредствено се проверява, че последователните степени на $\theta_1 = 2$, $\theta_2 = 3$ представляват всички ненулеви елементи на $GF(5)$, макар и подредени в някакъв разбъркан ред

$$\theta_1^1 = \theta_1 = 2, \theta_1^2 = 4, \theta_1^3 = 3, \theta_1^4 = 1, \tag{16}$$

$$\theta_2^1 = \theta_2 = 3, \theta_2^2 = 4, \theta_2^3 = 2, \theta_2^4 = 1. \tag{17}$$

Последователностите (16) и (17) демонстрират Свойствата 1, 2, 3 и 4 на крайните алгебрични полета (*полетата на Галоа*) $GF(p^n)$, разгледани в [4]. Тук следва специално да се отбележи, че съгласно Свойство 4 при разбиването на елементите на $GF(p^n)$ на непресичащи се класове при

фиксирани стойности на множителите m, d класът $C_{cl}(1)$ не зависи от конкретния избор на примитивен елемент.

Следователно, Теорема 1 може да се преформулира по следния начин.

Теорема 1А: Бинарният ФМ сигнал, чиято дължина е просто нечетно число

$$N = p \equiv 1\ mod 4, \tag{18}$$

а отчетите му са формирани по правилото (за кодиране)

$$s(0) = \pm 1,\ \ s(i) = \begin{cases} 1, & i = a^2 \\ -1, & i \neq a^2, \end{cases} \tag{19}$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1,$$

имат ПАКФ, съответстваща на ограниченията (3) или (4).

Естествено, правилото (за кодиране) (19) може да се опише и чрез символа на Льожандър [2], [4], [5]

$$s(0) = \pm 1,\ \ s(i) = \left(\frac{i}{p}\right), \tag{20}$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1.$$

Това дава основание ФМ сигналите, синтезирани по правилото (2) (или еквивалентните правила (19) и (20)), също да бъдат наричат *сигнали* (*последователности*) *на квадратичните остатъци* или *сигнали* (*последователности*) *на Льожандър с дължина* $N = p \equiv 1\ mod 4$.

Както се вижда от (3) и (4), половината от страничните листа на ПАКФ на сигналите на Льожандър имат ниво -3. В редица практически случаи обаче е необходимо ПАКФ на ФМ сигналите изобщо да нямат странични листа. При $N \equiv 1\ mod\ 4$ това може да се постигне само чрез използване на фазова манипулация, която е по-сложна от бинарната. Например в литературата е посочено следното правило (за кодиране)

$$s(0) = 1,\ \ s(i) = \begin{cases} s(i) = \begin{cases} x, & i = a^2, \\ x^*, & i \neq a^2, \end{cases} \end{cases}$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1,\ N = p \equiv 3\ mod\ 4 \tag{21}$$

като тук x е комплексно число с модул 1:

$$x = cos\varphi + jsin\varphi = e^{j\varphi},\ j = \sqrt{-1},$$

$$x^* = cos\varphi - jsin\varphi = e^{-j\varphi}. \tag{22}$$

Правилото (за кодиране) (21) е установено от *Г. Бьорк* (*G. Bjorck*) през 80-те години на миналия век [6], но в Интернет няма ресурс, съдържащ неговата обосновка. Предвид на тази ситуация следва да се отбележи, че анализът на класическия метод за синтез на перфектни бинарни ФМ сигнали с дължина $N = p \equiv 1\ mod\ 4$, направен до тук в доклада, създава предпоставките правилото (за кодиране) (21) да бъде доказано строго в [7].

МЕТОДИКА ЗА СИНТЕЗ НА КОМПЛЕМЕНТАРНИ БИНАРНИ ФАЗОВО МАНИПУЛИРАНИ СИГНАЛИ С ДЪЛЖИНА N=1 MOD4

От (21) ясно се вижда, че при дължина на сигнала $N = p \equiv 1\ mod 4$ страничните листа на неговата ПАКФ се отстраняват по метода на Бьорк чрез използване на несиметрична троична фазова манипулация, която усложнява конструкцията на предавателите и приемниците и влошава шумоустойчивостта на радио- комуникационните системи. Предвид на това в настоящия параграф ще бъде обоснована методика за минимизиране на страничните листа на ПАКФ на сигналите на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\ mod 4$ при запазване на бинарната фазова манипулация.

По-конкретно, нека предавателят на радио-комуникационната система излъчва по два различни канала два сигнала на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\ mod 4$ като първият от тях $\{s_1(i)\}_{i=0}^{N-1}$ е формиран по правилото за кодиране

$$s_1(0) = +1,\ \ s_1(i) = (-1)^{ind_\theta i}, \tag{23}$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1,$$

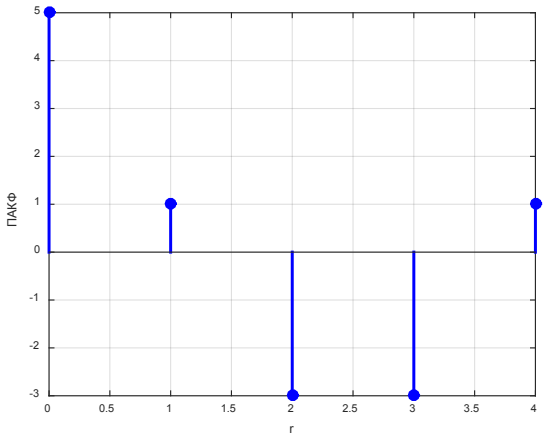
а вторият $\{s_2(i)\}_{i=0}^{N-1}$ – по правилото за кодиране

$$s_2(0) = -1,\ \ s_2(i) = (-1)^{ind_\theta i}, \tag{24}$$

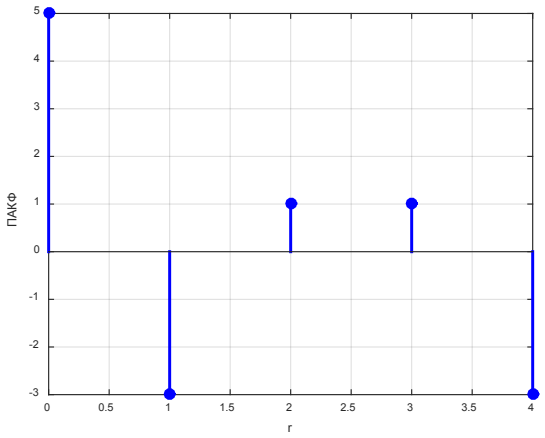
$$i = 1, 2, \dots, p-1.$$

ФМ сигналите $\{s_1(i)\}_{i=0}^{N-1}$ и $\{s_2(i)\}_{i=0}^{N-1}$ се приемат и обработват в приемника в два различни канала, след което се сумират на междинна или видео честота. От (3) и (4) се вижда, че сумарната ПАКФ на сигналите (23) и (24) става еквивалентна на ПАКФ на сигналите на Льожандър с дължина $N = p \equiv 3\ mod 4$, тъй като

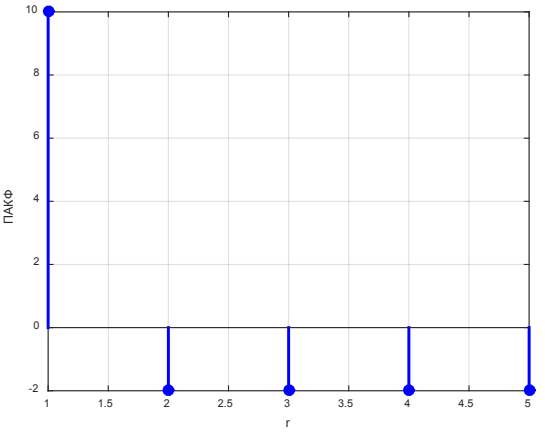
$$Q_{sum}(r) = Q_{s_1 s_1}(r) + Q_{s_2 s_2}(r) = \\ = \begin{cases} 2N, & r = 0, \\ -2, & r \neq 0. \end{cases} \quad (25)$$



а) ПАКФ на ФМ сигнала $\{s_1(i)\}_{i=0}^{N-1}$



б) *ПАКФ на ФМ сигнала* $\{s_2(i)\}_{i=0}^{N-1}$



в) *Сума на ПАКФ на ФМ сигналите* $\{s_1(i)\}_{i=0}^{N-1}$ *и* $\{s_2(i)\}_{i=0}^{N-1}$

Фиг. 1. *ПАКФ на сигналите на Льожандър с дължина* $N = p = 5 \equiv 1 \; mod4$*, чиито отчети са формирани по правилата (23) и (24)*

Този извод се пояснява на фиг. 1.

Напълно аналогичен резултат се получава, ако вместо (23) и (24) се използват следните правила за кодиране

$$s_1(0) = +1, \;\; s_1(i) = (-1)^{ind_\theta i+1}, \quad (26)$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1,$$

$$s_2(0) = -1, \;\; s_2(i) = (-1)^{ind_\theta i+1}, \quad (27)$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1.$$

Методът за елиминиране на страничните листа на ПАКФ чрез сумиране на ПАКФ на два бинарни ФМ сигнала е изобретен от *М. Голай* (*M. Goley*) [2], [3]. По тази причина те се наричат *комплементарни* (или *допълнителни*) *двойки* (*complementary pairs*) или *двойки на Голай* (*Goley's pairs - GPs*). В класическото определение на комплементарните сигнали [2] се изисква страничните листа на ПАКФ на бинарните ФМ сигнали от двойката да се компенсират напълно, т.е.

$$Q_{GP}(r) = Q_{s_1 s_1}(r) + Q_{s_2 s_2}(r) = \\ = \begin{cases} 2N, & r = 0, \\ 0, & r \neq 0. \end{cases} \quad (28)$$

Тук $Q_{s_1 s_1}(r)$ и $Q_{s_2 s_2}(r)$ са r –тите отчети на ПАКФ на ФМ сигналите от комплементарната двойка, а $Q_{GP}(r)$ е тяхната сума.

В теоретичните изследвания е доказано следното необходимо условие за съществуване на класически комплементарни двойки от бинарни ФМ сигнали [2]

$$(K_{1+} - K_{1-})^2 + (K_{2+} - K_{2-})^2 = 2N \; . \quad (29)$$

Тук K_{1+} и K_{1-} са количествата на $+1$ –ците и -1 –ците в първия бинарен ФМ сигнал, а K_{1+} и K_{1-} са количествата на $+1$ –ците и -1 –ците във втория бинарен ФМ сигнал от комплементарната двойка. Освен това

$$K_{1+} + K_{1-} = K_{2+} + K_{2-} = N \; . \quad (30)$$

От (29) и (30) следва, че мрежата от стойности на дължината N в диапазона $1 \leq N \leq 50$, за които могат да съществуват комплементарни двойки от бинарни ФМ сигнали, е

$$N = 1, 2, 4, 8, 10, 16, 20, 26, 34, 40, 50 \; . \quad (31)$$

От (31) се вижда, че при нарастване на дължината N, гъстотата на мрежата от възможни стойности бързо намалява. В съвре-

менните радио-комуникационни системи обаче се използват ФМ сигнали, съдържащи хиляди отчети, тъй като при технологията *директно разширяване на спектъра* (*direct spreading of the spectrum*) подобряването на отношението сигнал/шум по мощност на изхода на приемника е [3]

$$\frac{q^2_{\text{изх пр}}}{q^2_{\text{вх пр}}} = 2N_{\text{c}} . \qquad (32)$$

Тук $q^2_{\text{вх пр}}$ и $q^2_{\text{изх пр}}$ са отношенията сигнал/шум по мощност на входа и изхода на приемника съответно, а N_{c} е броят на отчетите (чиповете) на използвания бинарен ФМ сигнал (ако ФМ сигналите са комплементарна двойка, то очевидно $N_{\text{c}} = 2N$). В англоезичната литература коефициентът (32) е прието да се нарича *processing gain*.

От (32) следва, че при проектирането на съвременни радио-комуникационни системи е необходимо мрежата от стойности на дължината N на ФМ сигналите да бъде достатъчно плътна в диапазона $1000 \le N \le 1000000$. Ето защо двойките от сигнали на Льожандър, формирани по правилата за кодиране (23), (24) или (26), (27), могат успешно да се използват за повишаване шумоустойчивостта на радио-комуникационните системи, използващи технологията директно разширяване на спектъра.

От изложените аргументи произтича коректността и практическата значимост на следната методика.

Методика за синтез на комплементарни бинарни фазово манипулирани сигнали с дължина $N = p \equiv 1\, mod 4$

Стъпка 1: Задаване на дължината $N = p \equiv 1\, mod\, 4$ на ФМ сигналите от комплементарната двойка.

Стъпка 2: Изчисляване на квадратите на всички числа $\{1, 2, \dots, p-1\}$ по $mod\ p$, т.е.

$$a_i \equiv i^2 mod\ p,\ i = 1, 2, \dots, p-1. \qquad (33)$$

Стъпка 3: От числата a_i, изчислени на предходната стъпка, се взема един пълен комплект от $N_a = (p-1)/2$ на брой различни числа. Този комплект представлява класа

$$d = 2,\ C_{cl}(1) = \{a_{i_0}, a_{i_1}, \dots, a_{i_{N_a-1}}\} \qquad (34)$$

на квадратичните остатъци по $mod\ p$.

Стъпка 4: Отчетите на бинарните ФМ сигнали $\{s_1(i)\}_{i=0}^{N-1}$ и $\{s_2(i)\}_{i=0}^{N-1}$ от комплементарната двойка се изчисляват по правилата (за кодиране) (23), (24) или (26), (27) съответно.

От (25) се вижда, при използването на комплементарната технология бинарните сигнали на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\, mod 4$ стават еквивалентни на бинарните сигнали на Льожандър с дължина $N = p \equiv 3\, mod 4$. Действително, отношенията (контрастите) между основния (централния) лист и максималния страничен лист на ПАКФ на бинарните сигнали на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\, mod 4$ и $N = p \equiv 3\, mod 4$ са съответно

$$C_{p\equiv 1} = \frac{Q_{SS}(0)}{\underset{i\neq 0}{max}|Q_{SS}(i)|} = \frac{2N}{2} = N, \qquad (35)$$

$$C_{p\equiv 3} = \frac{Q_{SS}(0)}{\underset{i\neq 0}{max}|Q_{SS}(i)|} = \frac{N}{1} = N. \qquad (36)$$

От друга страна, практическото използване на комплементарната технология води до усложняване на предавателите и приемниците на радио-комуникационните системи. Този негативен ефект обаче може да се пренебрегне предвид на следните факти. Първо, двата комуникационни канала, по които се предават и обработват двата комплементарни бинарни ФМ сигнала, могат да се изградят от унифицирани компоненти с ниска цена. Второ, на практика дължината на сигналите се удвоява и, следователно, отношението сигнал/шум по мощност на изхода на приемника също се удвоява.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

През изминалите петдесет години методите за синтез на ФМ сигнали са били разработвани най-често като решения на частни инженерни проблеми. Днес обаче теорията на синтеза на ФМ сигнали трябва да може да обясни свойствата на различните класове ФМ сигнали от възможно най-общи позиции. Предвид на тази необходимост в доклада е направен детайлен анализ на класическия метод за синтез на перфектни бинарни ФМ сигнали с дължина $N = p \equiv 1\, mod\ 4$. На тази основа са получени два основни резултата.

Първо, обоснована е методика за синтез на комплементарни бинарни ФМ сигнали с дължина $N = p \equiv 1\ mod\ 4$, която се характеризира с простота, универсалност и ефективност от изчислителна гледна точка. Методиката дава възможност да се използва комплементарна технология, при която отношението (контрастът) между основния (централния) лист и максималния страничен лист на ПАКФ на бинарните сигнали на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\ mod 4$ се повишава от $C_{p\equiv 1} = \frac{N}{3}$ на $C_{p\equiv 1} = N$.

Второ, създадени са предпоставките за изясняване на връзката между бинарните перфектни ФМ сигнали на Льожандър и на идеалните би-унимодуларни ФМ сигнали на Бьорк с дължина $N = p \equiv 1\ mod\ 4$.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящата статия се реализира във връзка с Проект РД-08-144/08.02.2018 г. – Интегрирана развойна тестова среда за информационна сигурност, финансиран от ШУ „Епископ Константин Преславски“.

REFERENCE

[1] N. Levanon and E. Mozeson, Radar signals, Wiley-Interscience, 2004, 427 pp.

[2] S. Golomb and G. Gong, Signal design for good correlation for wireless communications, cryptography and radar, Cambridge University Press, 2005, 455 pp.

[3] V. P. Ipatov, Spread spectrum and CDMA. Principles and Applications, Willey, 2006. - 373 pp.(in Russian)

[4] R. Lidl and H. Niederreiter, Finite fields, London: Addison-Wesley Publishing Company, 1983, 818 pp.

[5] P. Yanakiev and Ts. Tsankov, Methodology for synthesis of perfect phase manipulated signals with length N=3 mod 4, In: Proceedings of the International scientific conference UNITECH 2018, 16-17.11.2018, Gabrovo, Bulgaria (in press)

[6] B. Saffari, Some polynomial extremal problems which emerged in the twentieth century, In: Twentieth century harmonic analysis-a celebration, pp. 201-233, Kluwer Academic Publishers, 2001

[7] B. Bedzhev and P. Yanakiev, A survey of methods for synthesis of ideal phase manipulated signals with length N=1 mod 4, In: Proceedings of the International scientific conference MATTECH 2018, 25-27.10.2018, Shumen, Bulgaria (in press)

МОДИФИКАЦИИ НА БИНАРНИ ФАЗОВО МАНИПУЛИРАНИ СИГНАЛИ С ДЪЛЖИНА N=1MOD4 И НЕСЪГЛАСУВАНИ ФИЛТРИ ЗА ТЯХНАТА ОБРАБОТКА

Борислав Беджев[1], Пламен Янакиев[2]
[1] *Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“*
[2] *Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“*

MODIFICATIONS OF BINARY PHASE MANIPULATED SIGNALS WITH LENGTH N=1MOD4 MISMATCHED FILTERS FOR THEIR PROCESSING

Borislav Bedzhev[1], Plamen Yanakiev[2]
[1] *Konstantin Preslavsky University of Shumen*
[2] *Konstantin Preslavsky University of Shumen*

Abstract

The phase manipulated (PM) signals which periodic autocorrelation functions (PACF) have small side-lobes are very important for the radars, sonars, radio-navigation and radio-synchronization systems. Due to this reason in the paper four approaches for diminishing of the side-lobes of the PACFs of the binary PM signals with lengths N=1mod4, N prime, are suggested and analyzed. The results, obtained in the paper, could be applied in the process of development of new radio-communication devices, used for precise measurement of distances.

Keywords: ideal periodic autocorrelation functions; phase manipulated signals; synthesis of signals.

ВЪВЕДЕНИЕ

В типични условия приемниците на радио-комуникационните системи едновременно обработват силни (от близко разположени предаватели или обекти) и слаби (от отдалечени предаватели или обекти) сигнали. В резултат в изходите на приемниците страничните листа на периодичните автокорелационни функции (ПАКФ) на силните сигнали маскират основните (централните) листа на слабите сигнали. Тъй като много често слабите сигнали имат голяма важност (например сигнали за задимяване, пожар, висока температура, помощ и т.н.), за радио-комуникационните системи е много важно използваните сигнали да имат ПАКФ, чиито странични листа са малки. Предвид на това, сигналите, чиито ПАКФ нямат никакви странични листа и приличат на делта импулс, е прието да се наричат идеални [1].

От гледна точка на простотата и надеждността при практическата реализация, най-предпочитани са така наречените перфектни бинарни фазово манипулирани (ФМ) сигнали, чиито ПАКФ имат странични листа с минимално възможно ниво в зависимост от тяхната дължина. По тази причина те са обект на интензивни изследвания през последните шестдесет години, но откритите до момента класове от бинарни ФМ сигнали с идеална или перфектна ПАКФ не могат да задоволят потребностите на практиката [1], [2], [3]. Отчитайки тази ситуация, целта на доклада е да се обосноват модификации на така наречените сигнали на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1 \, mod \, 4$ и структурни схеми на несъгласувани филтри за тяхната обработка, чрез които се намаляват нивата на страничните листа на ПАКФ. Фокусирането на вниманието към сигналите на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1 \, mod \, 4$ е продиктувано от следните обстоятелства. Първо, при тези сигнали се използва бинарна фазова манипулация и това опростява значително конструкцията на

предавателите и приемниците на радио-комуникационните системи. Второ, техните ПАКФ имат перфектна форма и е възможно странични им листа да бъдат намалени с малки загуби в пик-фактора на предавателя или в отношението сигнал/ шум по мощност на изхода на приемника.

МОДИФИКАЦИИ НА БИНАРНИ ФАЗОВО МАНИПУЛИРАНИ СИГНАЛИ С ДЪЛЖИНА N=1 MOD4 И СТРУКТУРНИ СХЕМИ НА НЕСЪГЛАСУВАНИ ФИЛТРИ ЗА ТЯХНАТА ОБРАБОТКА

За бинарните ФМ сигнали с дължина $N = p \equiv 1\ mod4$ е в сила следната теорема [2].

Теорема 1: Бинарният ФМ сигнал, чиято дължина е просто нечетно число

$$N = p \equiv 1\ mod4, \tag{1}$$

а отчетите му са формирани по правилото (за кодиране)

$$s(0) = \pm 1,\ \ s(i) = (-1)^{ind_\theta i}, \tag{2}$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1,$$

имат следната ПАКФ

$$s(0) = +1 \to Q_{ss}(r) =$$

$$= \begin{cases} N,\ r = 0, \\ 1, ind_\theta r \equiv 0 mod2, \\ -3, ind_\theta r \equiv 1 mod2, \end{cases} \tag{3}$$

$$s(0) = -1 \to Q_{ss}(r) =$$

$$= \begin{cases} N,\ r = 0, \\ 1, ind_\theta r \equiv 1 mod2, \\ -3, ind_\theta r \equiv 0 mod2. \end{cases} \tag{4}$$

В (2), (3) и (4) индексът на i по отношение на *примитивния елемент* (*корен*) θ на полето на Галоа $GF(p)$ $ind_\theta i$ е аналог на операцията логаритмуване (в безкрайните алгебрични полета) [4]. По-конкретно, във всяко крайно алгебрично поле $GF(p^n)$ съществува най-малко един примитивен елемент θ, който се характеризира с това, че редицата

$$\theta^1 = \theta, \theta^2, \dots, \theta^{p^n-1}, \tag{5}$$

съдържа всичките $p^n - 1$ ненулеви елементи на $GF(p^n)$ [4]. По тази причина, в случаите на прости алгебрични полета, когато $n = 1$, редицата

$$\theta^1 = \theta, \theta^2, \dots, \theta^{p-1}, \tag{6}$$

е просто някаква пермутация

$$\pi(1), \pi(2), \dots, \pi(p-1), \tag{7}$$

на числата

$$1, 2, \dots, p-1. \tag{8}$$

Следователно индексът на i по отношение на примитивния елемент (корен) θ се определя от равенствата

$$i = \theta^{\pi(i)} \to ind_\theta i =$$

$$= \pi(i),\ \ i = 1, 2, \dots, p-1. \tag{9}$$

При доказателството на Теорема 1 в [5] е показано, че

$$Q_{ss}(r) =$$

$$= -1 + s(0)\left[(-1)^{\pi(r)} + (-1)^{\pi(p-r)}\right] = \tag{10}$$

$$= -1 + 2s(0)(-1)^{\pi(r)}.$$

Не е трудно да се провери, че Теорема 1 остава в сила, ако отчетите на ФМ сигнала с дължина $p \equiv 1\ mod4$ са формирани по правилото (за кодиране) [5]

$$s(0) = \pm 1,\ \ s(i) = (-1)^{ind_\theta i + 1}, \tag{11}$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1.$$

Бинарните ФМ сигнали, чиито отчети са формирани по правилата (за кодиране) (2) или (11), е прието да се наричат *сигнали* (*последователности*) *на квадратичните остатъци* или *сигнали* (*последователности*) *на Льожандър с дължина* $N = p \equiv 1\ mod4$, тъй като (2) може да се изрази и чрез *символа на Льожандър* [4]

$$(-1)^{ind_\theta i} = \left(\frac{i}{p}\right) = \begin{cases} 1,\ \ i = a^2 \\ -1,\ \ i \neq a^2 \end{cases} \tag{12}$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1,$$

От (3) и (4) се вижда, че точно половината от страничните листа на ПАКФ на сигналите на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\ mod4$ имат относително високо ниво -3. Предвид на това следва да бъде разгледана възможността за преобразуване на сигналите на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\ mod4$ в сигнали, чиито ПАКФ имат форма близка до идеалната, при запазване на

стандартната бинарна фазова манипулация. Тази цел може да се постигне като се използват два основни подхода – чрез прилагане на амплитуда манипулация при генерирането на отчета (чипа) $s(0)$ и чрез използване на несъгласуван филтър в приемника.

Първо ще бъдат анализирани възможностите за модифициране на класическите сигнали на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\, mod4$ чрез прилагане на амплитуда манипулация при генерирането на отчета (чипа) $s(0)$.

От (10) се вижда, че ако бъде използвано правилото за кодиране

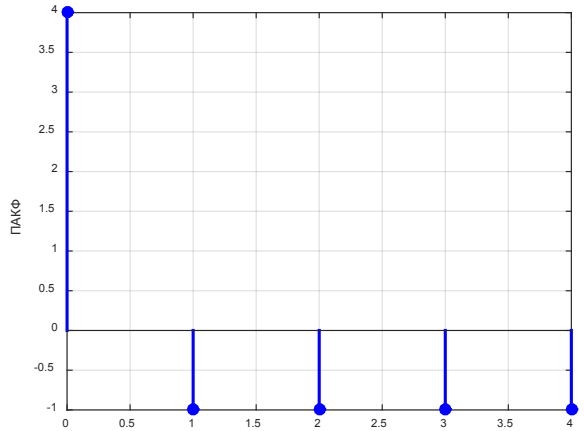
$$s(0) = 0,\ \ s(i) = (-1)^{ind_\theta i}, \qquad (13)$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1,$$

тогава

$$Q_{ss}(r) = -1 + 2s(0)(-1)^{\pi(r)} = -1. \qquad (14)$$

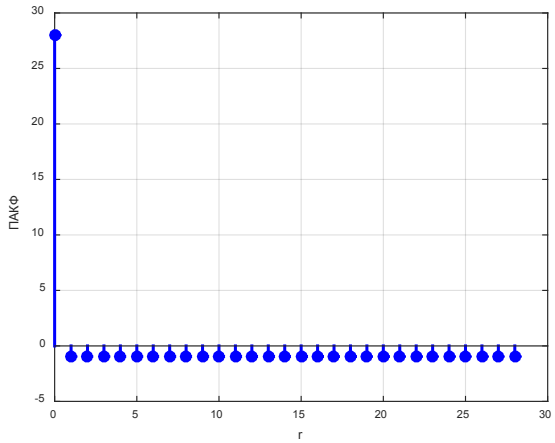
Ефектът от този подход е представен на фиг. 1 и фиг. 2, където са показани ПАКФ на ФМ сигнали с дължина $N = p = 5 \equiv 1\, mod4$ и $N = p = 29 \equiv 1\, mod4$ съответно, чиито отчети са формирани по правилото (14).



Фиг. 1: *ПАКФ на ФМ сигнал с дължина $N = p = 5 \equiv 1\, mod4$, чиито отчети са формирани по правилото (14)*

От фиг. 1 и фиг. 2 се вижда, че при използване на правилото (за кодиране) (14) ФМ сигналите с дължина $N = p \equiv 1\, mod4$ са еквивалентни на перфектните сигнали с дължина $N = p \equiv 3\, mod4$. Цената на този полезен резултат е известно увеличаване на така наречения *пик-фактор*, който изразява отношението на максималната моментна мощност към средната мощност на предавателя

$$\nu_{mp/ap} = \frac{1}{\frac{N-1}{N}} = \frac{N}{N-1} = 1 + \frac{1}{N-1}. \qquad (15)$$



Фиг. 2: *ПАКФ на ФМ сигнал с дължина $N = p = 29 \equiv 1\, mod4$, чиито отчети са формирани по правилото (14)*

От (15) се вижда, че с нарастването на дължината на сигнала $N = p \equiv 1 mod4$ пик-факторът на предавателя бързо клони към оптималната си стойност 1

$$\lim_{N \to \infty} \nu_{mp/ap} = 1 + \lim_{N \to \infty} \frac{1}{N-1} = 1. \qquad (16)$$

Втора възможност за модифициране на класическите сигнали на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\, mod4$ е използването на правилото за кодиране

$$s(0) = \pm\frac{1}{2},\ \ s(i) = (-1)^{ind_\theta i}, \qquad (17)$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1.$$

Тогава

$$s(0) = +\frac{1}{2} \rightarrow Q_{ss}(r) =$$

$$-1 + 2s(0)(-1)^{\pi(r)} = \begin{cases} 0, & r \equiv a^2 mod p, \\ -2, & r \neq a^2 mod p, \end{cases} \qquad (18)$$

$$s(0) = -\frac{1}{2} \rightarrow Q_{ss}(r) =$$

$$-1 + 2s(0)(-1)^{\pi(r)} = \begin{cases} -2, & r \equiv a^2 mod p, \\ 0, & r \neq a^2 mod p. \end{cases} \qquad (19)$$

Този подход е илюстриран на фиг. 3 и фиг. 4, където са показани ПАКФ на ФМ сигнал с дължина $N = p = 17 \equiv 1\, mod4$,

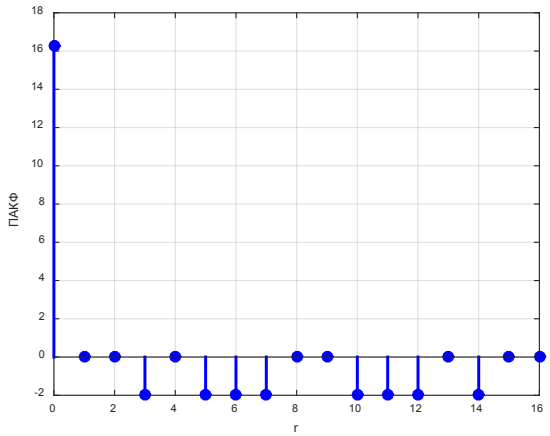
чиито отчети са формирани по правилото (17) при $s(0) = +\frac{1}{2}$ и $s(0) = -\frac{1}{2}$ съответно.

Както се вижда, при този подход отклонението на пик-фактора на предавателя е още по-малко в сравнение с предходния подход

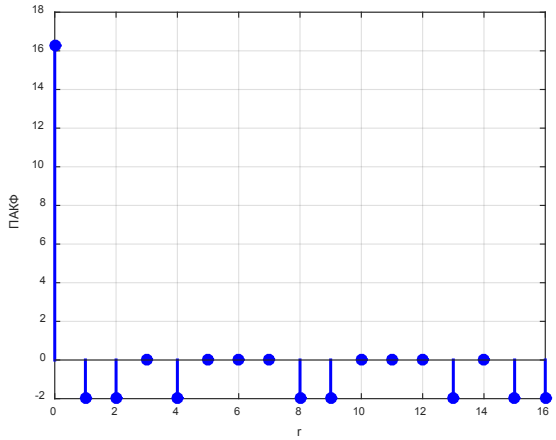
$$\nu_{mp/ap} = \frac{1}{\frac{N-\frac{1}{2}}{N}} = \frac{N}{N-\frac{1}{2}} = 1 + \frac{1}{N-\frac{1}{2}}. \quad (20)$$

От (20) се вижда, че с нарастването на дължината на сигнала $N = p \equiv 1 mod 4$ пик-факторът на предавателя бързо клони към оптималната си стойност 1

$$\lim_{N \to \infty} \nu_{mp/ap} = 1 + \lim_{N \to \infty} \frac{1}{N-\frac{1}{2}} = 1. \quad (21)$$



Фиг. 3: *ПАКФ на ФМ сигнал с дължина* $N = p = 17 \equiv 1\ mod 4$, *чиито отчети са формирани по правилото (17)* $s(0) = +\frac{1}{2}$



Фиг. 4 *ПАКФ на ФМ сигнал с дължина* $N = p = 17 \equiv 1\ mod 4$, *чиито отчети са формирани по правилото (42)* $s(0) = -\frac{1}{2}$

Сега ще бъдат анализирани възможностите за подобряване формата на ПАКФ на класическите сигнали на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\ mod 4$ чрез използване на несъгласуван цифров филтър в приемника.

От (10) се вижда, че при използването на класическото правило за кодиране (2) в съчетание с частично несъгласуван цифров филтър в приемника

$$s_r(0) = 0,\ \ s_r(i) = \begin{cases} 1, & i = a^2, \\ -1, & i \neq a^2, \end{cases} \quad (22)$$

$$i = 1, 2, \dots, p-1,$$

периодичната взаимно-корелационна функция (*ПВКФ*) на сигнала на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\ mod 4$ и несъгласуващия с него филтър (22) е

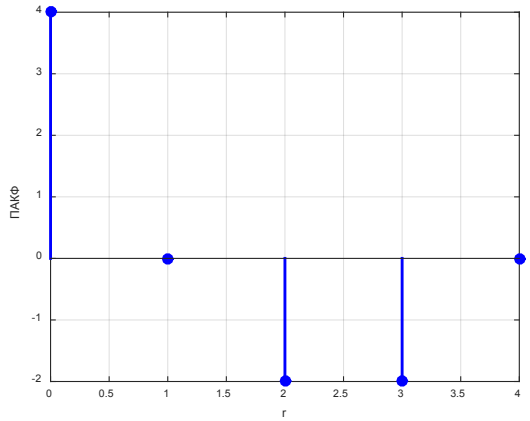
$$Q_{ss}(r) = \begin{cases} p - 2 + [s(0) + s_r(0)], & r = 0, \\ -1 + (-1)^{\pi(r)}[s(0) + s_r(0)], & r \neq 0. \end{cases} \quad (23)$$

Тъй като $s_r(0) = 0$, от (23) следва че

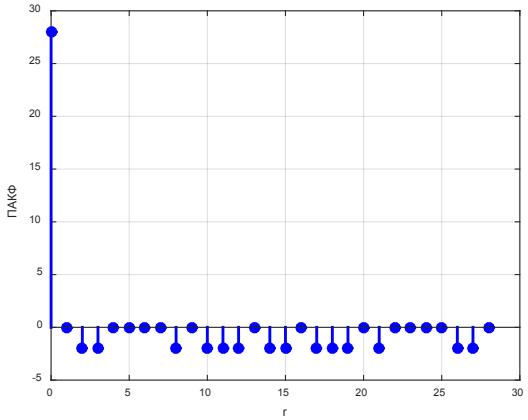
$$Q_{ss}(r) = \begin{cases} p - 1, & r = 0, \\ 0, & r \neq 0 \cap \pi(r) \equiv 0 mod 2, \\ -2, & r \neq 0 \cap \pi(r) \equiv 1 mod 2. \end{cases} \quad (24)$$

В (22), (23) и (24) с $s_r(i)$, $i = 0, 1, \dots, p-1$ са означени отчетите на *импулсната характеристика* на *цифровия филтър* (ЦФ) с *крайна импулсна характеристика* (КИХ), чрез който се обработва приетия сигнал в приемника. Както се вижда, ЦФ с КИХ в приемника не е съгласуван със сигнала само в 0 –вия отчет.

Ефектът от този подход е представен на фиг. 5 и фиг. 6, където са показани ПВКФ на ФМ сигнали с дължина $N = p = 5 \equiv 1\ mod 4$ и $N = p = 29 \equiv 1\ mod 4$ и несъгласуваните с тях ЦФ с КИХ (22) съответно.



Фиг. 5: *ПВКФ на ФМ сигнал с дължина* $N = p = 5 \equiv 1\ mod 4$ *и несъгласувания с него филтър (22)*



Фиг. 6: *ПАКФ на ФМ сигнал с дължина* $N = p = 29 \equiv 1\ mod4$ *и несъгласувания с него филтър (22)*

От фиг. 5 и фиг. 6 се вижда, че при обработката на сигналите на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\ mod4$ с частично несъгласуваните с тях ЦФ (22) половината от страничните листа на ПВКФ липсват, а нивото на другата половина е -2. Цената на този полезен резултат е известно влошаване на отношението сигнал/шум по мощност на изхода на несъгласувания ЦФ (SNR_{MMF}) в сравнение със случая на съгласуван ЦФ (SNR_{MF})

$$\nu_{S/N} = \frac{SNR_{MMF}}{SNR_{MF}} = \frac{N-1}{N} = 1 - \frac{1}{N}. \qquad (25)$$

От (25) се вижда, че с нарастването на дължината на сигнала $N = p \equiv 1 mod4$ загубите в отношението сигнал/шум по мощност на изхода на несъгласувания ЦФ (SNR_{MMF}) практически изчезват

$$\lim_{N \to \infty} \nu_{S/N} = 1 - \lim_{N \to \infty} \frac{1}{N} = 1. \qquad (26)$$

Втори вариант за несъгласувана обработка на сигналите на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\ mod\ 4$ е използването на следния частично несъгласуван ЦФ в приемника

$$s_r(0) = -(\pm 1),\ \ s_r(i) = \begin{cases} 1, & i = a^2, \\ -1, & i \neq a^2, \end{cases} \qquad (27)$$

$i = 1, 2, \dots, p-1.$

Не е трудно да се установи, че в този случай ПВКФ на сигнала и частично несъгласувания ЦФ е

$$Q_{ss}(r) = \begin{cases} p - 2 + [s(0) + s_r(0)], & r = 0, \\ -1 + (-1)^{\pi(r)}[s(0) + s_r(0)], & r \neq 0. \end{cases} \qquad (28)$$

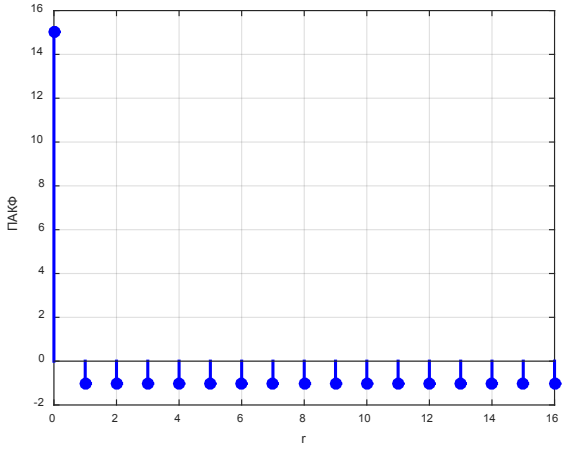
Тъй като $s_r(0) = -s(0)$, от (28) следва че

$$Q_{ss}(r) = \begin{cases} p - 2, & r = 0, \\ -1, & r \neq 0. \end{cases} \qquad (29)$$

Ефектът от този подход е представен на фиг. 7, където е показана ПВКФ на ФМ сигнал с дължина $N = p = 17 \equiv 1\ mod4$ и несъгласувания с него ЦФ (27).

От фиг. 7 се вижда, че при обработка на сигналите на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\ mod4$ с частично несъгласуваните с тях ЦФ (28) нивото на всички странични листа на ПВКФ е -1. Цената на този полезен резултат е известно влошаване на отношението сигнал/шум по мощност на изхода на несъгласувания ЦФ (SNR_{MMF}) в сравнение със случая на съгласуван ЦФ (SNR_{MF})

$$\nu_{S/N} = \frac{SNR_{MMF}}{SNR_{MF}} = \frac{N-2}{N} = 1 - \frac{2}{N}. \qquad (30)$$



Фиг. 7: *ПАКФ на ФМ сигнал с дължина* $N = p = 17 \equiv 1\ mod4$ *и несъгласувания с него филтър (27)*

От (30) се вижда, че с нарастването на дължината на сигнала $N = p \equiv 1 mod4$ загубите в отношението сигнал/шум по мощност на изхода на несъгласувания ЦФ (SNR_{MMF}) практически изчезват

$$\lim_{N \to \infty} \nu_{S/N} = 1 - \lim_{N \to \infty} \frac{2}{N} = 1. \qquad (31)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ФМ сигналите, използвани в радио-комуникационните системи, трябва да отговарят на голям брой изисквания, основните от които са: простота на генерирането и обработката им, ефективно използване на електромагнитния спектър, ниска вероятност за прехващане, оптимални корелационни свойства и др. Теоретичният анализ и натрупаният практически опит показват, че тези изисквания са взаимно противоречиви. Това налага при проектирането на радиокомуникационни системи да се търси компромис между посочените изисквания. Предвид на тази ситуация в доклада са анализирани възможностите за преобразуване на перфектните бинарни ФМ сигнали с дължина $N = p \equiv 1\, mod4$, наричани още сигнали на Льожандър, в сигнали, чиито ПАКФ имат форма близка до идеалната при запазване на стандартната бинарна фазова манипулация. На тази основа са получени следните основни резултати.

Първо, обосновани са два подхода за намаляване страничните листа на ПАКФ на сигналите на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\, mod4$ чрез прилагане на амплитуда манипулация при генерирането на отчета (чипа) $s(0)$. При това и за двата случая е доказано, че с нарастването на дължината на сигнала $N = p \equiv 1 mod4$ пик-факторът на предавателя бързо клони към оптималната си стойност 1

Второ, обосновани са два подхода за намаляване страничните листа на ПАКФ на сигналите на Льожандър с дължина $N = p \equiv 1\, mod4$ чрез използване на несъгласуван ЦФ в приемника. Освен това и за двата случая е доказано, че с нарастването на дължината на сигнала $N = p \equiv 1 mod4$ загубите в отношението сигнал/шум по мощност на изхода на несъгласувания ЦФ практически изчезват.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящата статия се реализира във връзка с Проект РД-08-144/08.02.2018 г. – Интегрирана развойна тестова среда за информационна сигурност, финансиран от ШУ „Епископ Константин Преславски“.

REFERENCE

[1] N. Levanon and E. Mozeson, Radar signals, Wiley-Interscience, 2004, 427 pp.

[2] S. Golomb and G. Gong, Signal design for good correlation for wireless communications, cryptography and radar, Cambridge University Press, 2005, 455 pp.

[3] V. P. Ipatov, Spread spectrum and CDMA. Principles and Applications, Willey, 2006. - 373 pp.(in Russian)

[4] R. Lidl and H. Niederreiter, Finite fields, London: Addison-Wesley Publishing Company, 1983, 818 pp.

[5] P. Yanakiev and Ts. Tsankov, Methodology for synthesis of perfect phase manipulated signals with length N=1 mod 4, In: Proceedings of the International scientific conference UNITECH 2018, 16-17.11.2018, Gabrovo, Bulgaria (in press)

APPROACH FOR MIMO WIRELESS CHANNEL MODELLING AND SYSTEM CHARACTERIZATION

Michail Malamatoudis
Technological Educational Institute of Eastern Macedonia and Thrace, Greece

Abstract
While coding and signal processing are key elements to successful implementation of a MIMO system, the communication channel represents a major component that determines system performance. There are a variety of different approaches used for modelling the MIMO wireless channel. This paper is focus on modelling aimed at characterizing the MIMO channel spatial-temporal properties. The approach discussed in this paper is defined to include the electromagnetic propagation and antennas, although different modelling techniques may include all or only part of this set.

Keywords: Channel model, Indoor environment, MIMO, Wireless coverage

INTRODUCTION

A site-specific channel model can be created using information about the environment and the radio propagation model. The main purpose of the modelling is to obtain the specific channel information for a given scenario. Well-known site-specific channel models are the methods based on electromagnetic propagation such as finite difference time-domain and ray-based methods. One of the main applications of such models is the deployment of wireless networks and the planning of radio coverage in indoor and outdoor environments. A particularly suitable for purpose is the ray-tracing method due to the modelling efficiency [2,3].

Wireless network planning and optimization is the one of the major applications of the site-specific channel models [4,5,6]. To optimize the locations of the network nodes, such as base station, a large number of potential locations are predicted, which is computationally demanding. Therefore, for the application of network deployment and optimization, a computationally efficient channel model is highly desirable.

The purpose of the paper is to propose simulations using 2 ray-tracing based models in MIMO channel modelling for indoor wireless network deployment application. The first ray-tracing model is a direct application of ray-tracing to MIMO modelling. The second model based on probabilistic principle. Furthermore, the comparison between the model simulation results and channel measurements shows good agreements.

A ray-tracing model is suitable because it can provide multipath information, and therefore it can be used for modelling various channel parameters in multipath channel condition.

This work verified the simulation results with measurements in an indoor scenario with a 2 × 2 MIMO system – fig. 1. Fig. 1 depicts a generic MIMO system that will serve as a reference for defining the MIMO channel, where Q is a stream of vector input symbols, N_T – the number of transmit antennas, N_R – the number of receive antennas, and H – the matrix element, which is characterized the channel between the transmitter and the receiver.

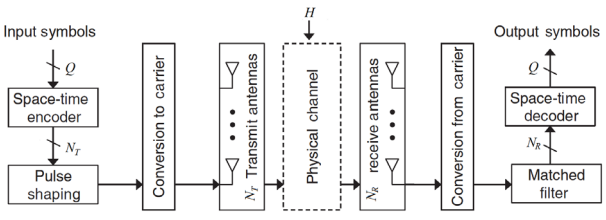


Fig. 1. *Generic MIMO communication system*

MODELING OF INDOOR MIMIO CHANNEL

Deterministic model

The MIMO system is to equip multiple antennas at both the transmitter and the receiver – fig. 2.

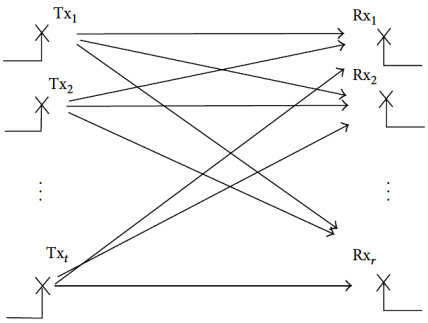


Fig. 2. *MIMO transmitter and receiver scheme*

The transmitter is equipped with a t-element antenna array and the receiver is equipped with a r-element antenna array. The MIMO channel is then written in the form of matrix as follows:

$$CH = \begin{bmatrix} CH_{1,1} & \cdots & CH_{1,r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ CH_{t,1} & \cdots & CH_{t,r} \end{bmatrix} \quad (1)$$

The matrix element $CH_{m,n}$ characterizes the channel between the transmitter element n and the receiver element m.

We assume the MIMO channel is narrow band throughout the paper. According to multipath propagation, the narrow band MIMO channel matrix elements can be written as

$$CH_{m,n} = (x, y, z, \omega) = \sum_{\alpha=1}^{q} G_{\alpha}(x, y, z) e^{-j\omega_0 \tau_{\alpha}(x,y,z)} \quad (2)$$

where G_α is the amplitude of the α-th ray, q is the total number of rays, τ is the time delay and τ_α is the delay of the α-th ray, and ω_0 is the carrier frequency.

This equation gives the channel frequency response as a result of summation of the rays or multipath components. It is the mathematical relationship we use to obtain the channel from the ray-tracing model. To obtain a complete set of MIMO channel matrices of the network deployment site, the prediction is repeated over the locations of the deployment site, until the set of locations (x, y, z) covers the deployment site. Fig. 3 shows an example of ray-tracing model in an indoor single room environment.

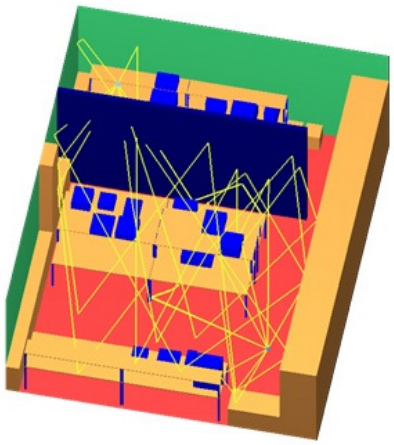


Fig. 3. *Ray-tracing in an indoor environment*

Statistic model

Modelling the wireless channel as a probabilistic fading channel is another category of channel models in contrast to the deterministic channel models [3,7]. It has the advantage of simplicity and efficiency when physical model is prohibitively complex. We propose a probabilistic channel model for MIMO based on the ray-tracing model. Considering that the model is specifically for indoor scenario, we model the fading channel as Rician distribution, because it comprises a rich group of probability distributions: by determining various values for the Rician K factor, a group of statistical distributions is included. The ray-tracing model supplies the multipath information to estimate the parameters for the Rician distribution.

We model the channel matrix element $CH_{m,n}$ in Eq. 1 as a Rician distributed random variable:

$$CH_{m,n} \approx Rice(v, \sigma) \quad (3)$$

where v and σ are the parameters to determine the Rician distribution.

The ray-tracing model traces a group of rays equivalent to the multipath components. This multipath information can be used to estimate the parameters of the Rician distribution. Below we adopt the method from the work of [1] to estimate the Rician

distribution parameters. According to [1] the K-factor in Rician distribution can be estimated as:

$$K = \frac{\sqrt{1-g}}{1-\sqrt{1-g}} \quad (4)$$

The variable g in Eg. 4 is given as $g = V[G^2]/\left(E[G^2]\right)^2$, where V[G^2] is the variance of G^2 (G is the amplitude of the ray field), and the E[G^2] is the expected value of the G^2.

After value of K-factor is obtained, the Rician distribution parameters v and σ can be easily calculated:

$$v^2 = \frac{K.\Omega}{1+K} \quad (5)$$

$$\sigma^2 = \frac{\Omega}{2(1+K)} \quad (6)$$

where Ω= E[G^2]. This way we obtain both parameters v and σ.

We can finally substitute in the MIMO channel matrix in Eq. 1:

$$CH = \begin{bmatrix} CH_{1,1} \sim Rice(v_{1,1}\sigma_{1,1}^2) & \cdots & CH_{1,r} \sim Rice(v_{1,r}\sigma_{1,r}^2) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ CH_{t,1} \sim Rice(v_{t,1}\sigma_{t,1}^2) & \cdots & CH_{t,r} \sim Rice(v_{t,r}\sigma_{t,r}^2) \end{bmatrix} \quad (7)$$

The Eq. 7 can be further simplified by using v and σ parameters calculated using the rays between the transmitter and the center of the receiver array.

RESULTS

The downlink and uplink MIMO channel is simulated and measured in an indoor campus environment. The site is in the Communications Equipment and Technologies Department at the Technical university of Gabrovo. Fig. 4 shows a map of the building floor and the positions for downlink and uplink scenario.

It is used small cell wireless network deployment scenarios. The transmitter is equipped with the two-panel patch antenna (Ubiquiti NanoStation NSM 2 [8] in a 2x2 MIMO configuration and maximum gain level of 11.2 dBi combined with a properly configured MkroTik hAP RB962UiGS device [9]). The frequency of the channel measurement is 2,4 GHz. The transmitter power is set to be 100mW.

The simulation and measurement in the downlink and uplink scenarios was carried out with the transmitter at a fixed location TX and the receiver located in several different locations – from RX 1 to RX 9 (Fig. 4).

The channel simulation is based on the ray-tracing models developed in the Matlab environment. The work of [6] gave an example of channel modelling in indoor environment. The models includes the information about the structures and materials of the environment, which is imported through the building floor map (walls, doors, windows etc.).

The received signal power P is one of the most important parameters because it is strictly connected with the performance of the wireless network. The received power at a given location can be calculated as

$$P(x,y,z) = \left| \sum_{\alpha=1}^{q} G_\alpha(x,y,z) e^{-j\omega_0 \tau_\alpha(x,y,z)} \right|^2 \quad (8)$$

Using the simulated channel $H'_{m,n}$ and the measured channel $H_{m,n}$, the RMS (root mean square) error of simulation models is calculated:

$$RMS_{Error\ i,j} = \frac{1}{rt} \sum_{m,n=1}^{m=r,n=t} \sqrt{H_{m,n}^2 - H'(i,j)_{m,n}^2} \quad (9)$$

The obtained simulation and measurement results are summarized in Table 1m Table 2 and Fig. 5.

Figure 5a shows the comparison between the average received power of the measurements and the simulation results in the downlink scenario. Figure 5b shows the same comparison result in the uplink scenario. We can see that both results show good agreements.

The result in Table 1 and Table 2 shows that the RMS error for both simulation models is relatively small. This means that the overall accuracy of these models for MIMO systems with a small number of channels is relatively sufficient for the network planning and optimization purposes.

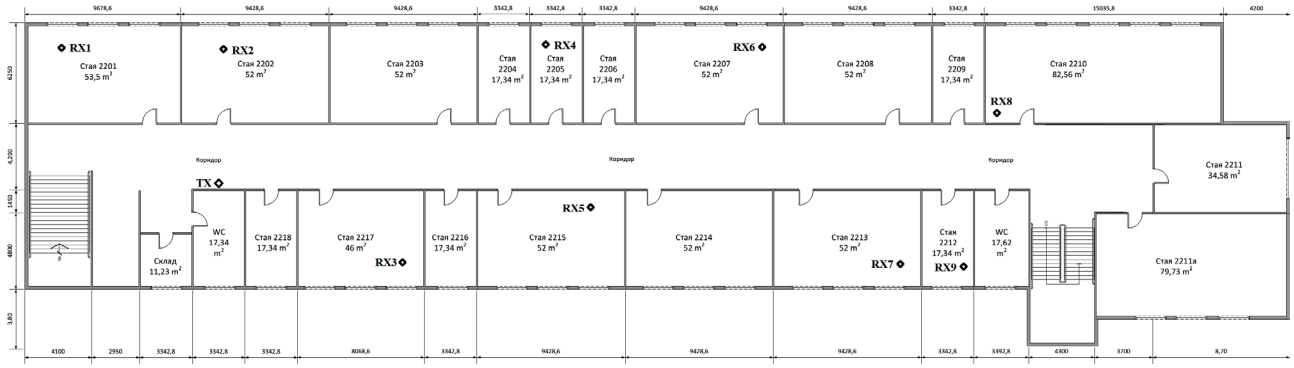


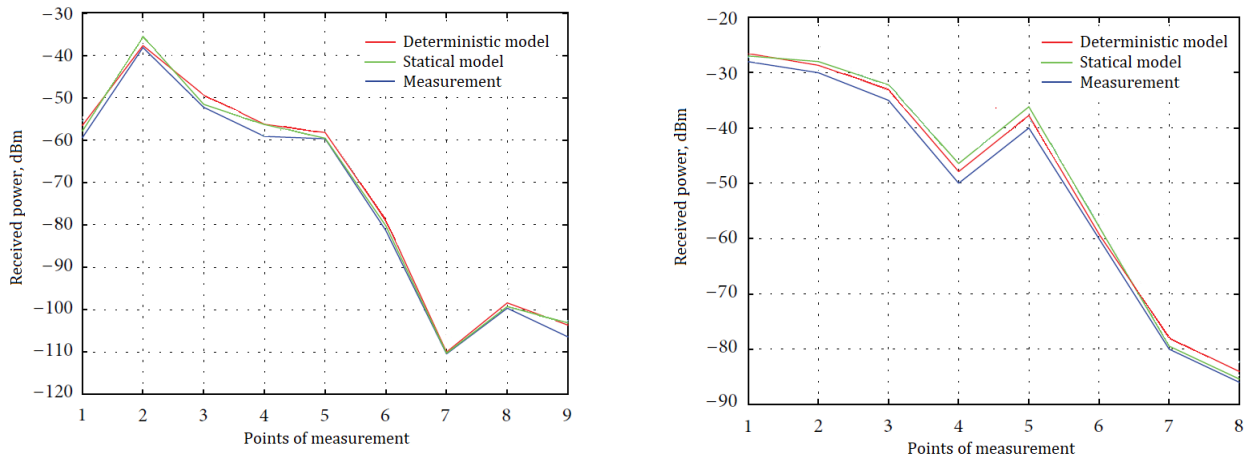
Fig. 4. *Building floor map for measurement campus-scenarios with TX and RX locations*

Table 1. *Received signal power and RMS error in downlink channel*

	Location:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Received signal power, dBm	Deterministic model	-56	-37,5	-49,5	-56,5	-57,5	-78,5	-109,5	-98	-102,5
	Statistical model	-58	-35	-51,5	-56,5	-59,5	-80	-110	-99	-103
	Measurement	-59	-38	-52,5	-58,5	-59,5	-81,5	-110,5	-99,5	-106,5
RMS error, dB	Deterministic model	2,68	2,17	2,52	2,68	2,70	3,16	3,71	3,51	3,61
	Statistical model	2,70	2,14	2,55	2,68	2,73	3,18	3,71	3,52	3,62

Table 2. *Received signal power and RMS error in uplink channel*

	Location:	1	2	3	4	5	6	7	8
Received signal power, dBm	Deterministic model	-26	-28	-33,5	-47,5	-37,5	-58,5	-77,5	-84
	Statistical model	-26,5	-27	-32,5	-45,5	-35,5	-57,5	-79	-86
	Measurement	-28	-30	-35	-50	-40	-60	-80	-86,5
RMS error, dB	Deterministic model	1,84	1,90	2,07	2,47	2,20	2,72	3,14	3,26
	Statistical model	1,85	1,89	2,05	2,44	2,17	2,71	3,15	3,28



a) b)

Fig. 5. *Average received power in a) downlink and b) uplink*

CONCLUSION

In this work, is proposed and analyzed two ray-tracing based simulation models for modelling of MIMO channel. The primary application of these models is network planning and optimization. We compare the simulation models with the measurement in a real small cell wireless network deployment environment (campus indoor environment). The comparison results show that the models have good agreements with the measurement. These ray-tracing based simulation models are efficient and accurate models, for planning and optimizing indoor networks equipped with MIMO access points.

ACKNOWLEDGMENT

The present work is supported under the "Creating innovative information-based educational training modules on communication equipment and technologies" 1712E project by the University Centre for Research and Technology at the Technical University of Gabrovo.

REFERENCES

[1] A. Abdi, C. Tepedelenlioglu, M. Kaveh, and G. Giannakis, On the estimation of the K parameter for the rice fading distribution, IEEE Communications Letters, vol. 5, no. 3,pp. 92–94, 2001.

[2] E. G. Larsson, F. Tufvesson, O. Edfors, and T. L. Marzetta, "Massive MIMO for next generation wireless systems," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 2, pp. 186–195, 2014.

[3] E. Vitucci, V. Degli-Esposti, and F. Fuschini, MIMO channel characterization through ray tracing simulation, Proc. of the 1st European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP '06), pp. 1–6, November 2006.

[4] K. Koychev, S. Sadinov and K. Angelov. Razpredelenie na trafika pri analiz na modeli v kletachna mrezha. UNITECH 2010, Proceedings, Vol. 1, стр.324-328, ISSN 1313-230X, Gabrovo, Bulgaria, 2010.

[5] M. Malamatoudis, P. Kogias, N. Manchev and S. Sadinov, Design, Implementation and Analysis of a Wireless Network Coverage Using a Nanostation, International Scientific Conference - UNITECH 2017, Gabrovo, ISSN 1313-230X, Vol. 2, pp. II-99-103, 2017.

[6] N. Tashkov, R. Tsvetkov, Research of radio frequency models in indoor scenario. Proc. of University of Ruse, Vol 55, book 3.2, ISSN 1311-3321, pp.19-24, 2016 г.

[7] Z. Lai, G. Roche, P. Kuonen, N. Bessis,, G. Clapworthy and J. Zhang, Intelligent Ray Launching Algorithm for Indoor Scenarios, Radioengineering, Vol. 20, No.2, pp. 398–408, June 2011.

[8] https://www.ubnt.com/airmax/nanostationm/

[9] https://mikrotik.com/products

COMPUTER MODELLING AND ANALYSIS OF DISPERSION COMPENSATION SCHEMES IN OPTICAL COMMUNICATION LINES

Krasen Angelov [1], Stanimir Sadinov [2], Panagiotis Kogias [3]
[1, 2] *Technical University of Gabrovo, Bulgaria*
[3] *Technological Educational Institute of Eastern Macedonia and Thrace, Greece*

Abstract
In this paper, it is simulated 40Gbps high-speed single channel transmission in optical communication line using different dispersion compensation schemes (pre-compensation and post-compensation). System is analysed by searching the optimum input power for different bandwidth of the line. The system is analysed and evaluated in terms of BER, Q factor, eye opening factor and optical signal spectrum.

Keywords: Optical link length, Optical dispersion, Linear and nonlinear distortions, Optical power level.

ВЪВЕДЕНИЕ

Data transmission rate in an optical communication line actually is limited value. In an optical communications network over long distances or high data rates, it can be influenced and limited by a number of factors: by losses (attenuation-limited transmission) or the dispersion of the fiber (dispersion-limited transmission). [1,5,8]. In this case, the determination of maximum length of the optical line will depend on different technical aspects: what type of source is selected; how the energy budget is limited; what is the performance of the equipment (i.e. timing analysis); what is the transmission length, limited by either dispersion or attenuation.

In optical communication link, the parameters of the medium are dependent on wavelength of the optical signals spreading through the medium. This results in degradation of the optical signal along the optical fibers, because the different group velocity and varying delay at the receiver input "smears out" the signal in time. [1,8].

This paper presents the implementation of a simulation model of 40 Gbps single channel optical transmission line along single-mode optical fiber and optical amplification. The simulation model aims at study and comparative analysis of RZ- and NRZ-modulation format transmission analyzing the following major factors: how the medium will affect the duration of an optical pulse traveling through it (i.e. GVD – group velocity dispersion), the nonlinear effects such as SPM (self-phase modulation), the linear losses, and the number of amplifying sections with amplified spontaneous emission (ASE) noise. The large GVD could be compensated by using either a post-compensation or a pre-compensation scheme.

The simulation models proposed in this paper are used to investigate and solve optimization tasks – complex searching for optimal conditions in terms of ensuring maximum distance transmission [5], high Q-factor [4], lower BER, good spectral characteristics and energy budget of the system [3,6], considering the main limiting factors, transitional characteristics and limitations of the dispersion and the fiber attenuation, nonlinear effects, the number of amplifying sections [7], inserted noise influence [2] and dispersion compensation schemes.

IMPLEMENTATION OF SIMULATION MODEL OF 40 GBPS SINGLE CHANNEL OPTICAL TRANSMISSION LINE

For the purpose, there are developed two simulation models, first of which is

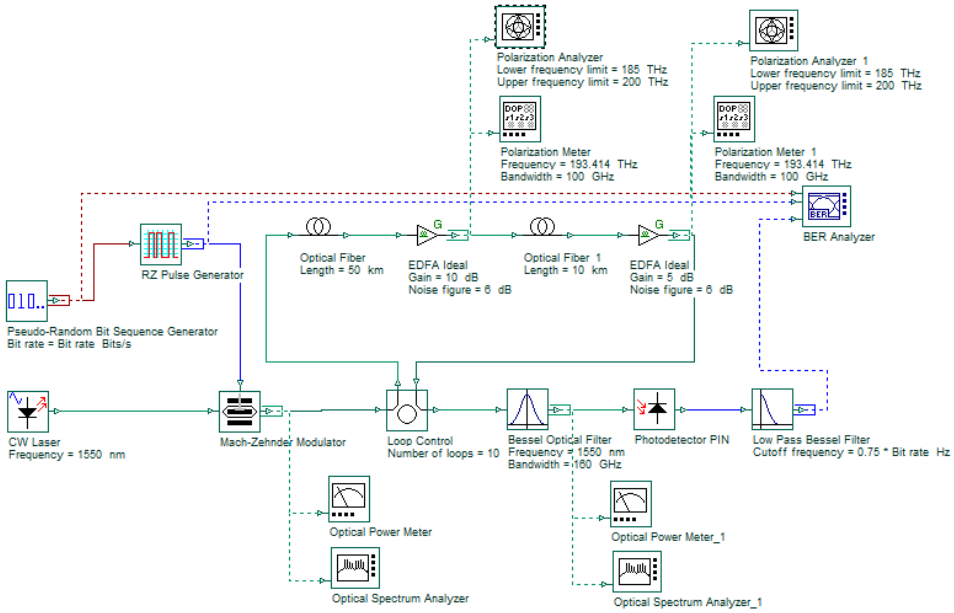


***Fig. 1**. Simulation model of 40 Gbps single channel optical transmission line with RZ-modulation format and dispersion post-compensation scheme*

represented on Fig. 1 – 40 Gbps single channel optical transmission line over single mode fiber with RZ-modulation format and post-dispersion compensation scheme.

For the second model with NRZ-modulation format, the RZ pulse generator block from Fig. 1 should be replaced with NRZ pulse generator block [5].

The fundamental limitation to high-speed communication systems over the embedded standard single-mode fiber (SMF) at 1550 nm is the linear chromatic dispersion.

The system supported data rate can be calculated as [5]:

$$B_R \le \frac{0,7}{\Delta t_{sys}} \text{ - for NRZ-modulation format;} \quad (1)$$

$$B_R \le \frac{0,35}{\Delta t_{sys}} \text{ - for RZ-modulation format;} \quad (2)$$

where Δt_{sys} is the rise time of a fiber-optic system - a parameter that shows how the circuit or system can respond to fast input signals [1,5,8].

Typical value of the group velocity dispersion β_2 = -20 ps^2/km at 1550 nm will leads to dispersion of 16 ps/(nm.km). For 40 Gbps bit rate and assuming a 50% duty cycle, the corresponding dispersion length will be approximately $L_D \approx 2,8$ km.

The basic parameters of the model are as follows: 40 Gbps bit rare, 3,2 ns time window will be, 0,195 ps sampling interval and 5,12 THz sample rate.

The used pseudo-random bit sequence generators are connected in the same way for both simulation models (with RZ- and NRZ-modulation). The RZ-generator is set to use a rectangle (Gaussian) shape with 50% duty cycle, 0,15 bit rise time and 0,25 bit fall time.

The optical source is modeled with externally modulated CW laser at 1550 nm carrier wavelength and 0,1 MHz line width.

In each amplifying section is used standard single mode optical fiber. It has the following parameters: 17 ps/(nm.km) dispersion coefficient, 1,31 (km.W)$^{-1}$ nonlinear coefficient, 0,2dB/km linear losses, and 50 km fiber length. After each segment from standard single mode fiber, an amplifier is used (to compensate the linear losses) with parameters of 10 dB gain and 6 dB noise figure. The dispersion compensation fiber (DCF) is with the following parameters: –80 ps/(nm.km) dispersion coefficient, 5,24 (km.W)$^{-1}$ nonlinear coefficient, 0,5dB/km linear losses, and 10 km fiber length. It is applied the post-compensation scheme to compensate the fiber dispersion. An amplifier compensates the linear losses after each segment from DCF.

RESULTS

The graphical dependencies of BER versus optical transmitted power (P_{TX}) are shown on Fig. 2 (for RZ-modulation format) and Fig. 3 (for NRZ-modulation format).

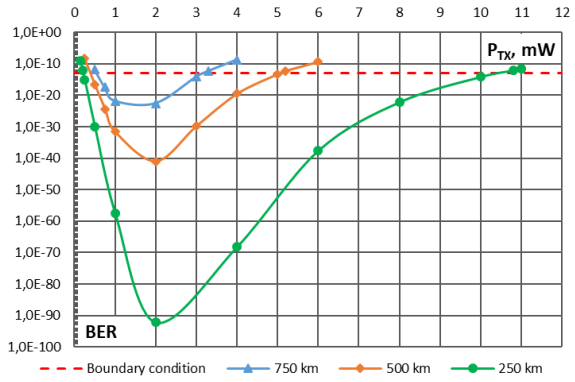


Fig. 2. *BER = f(PTX) for RZ-modulation format*

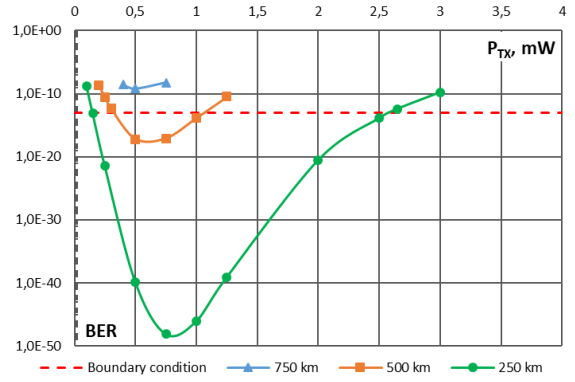
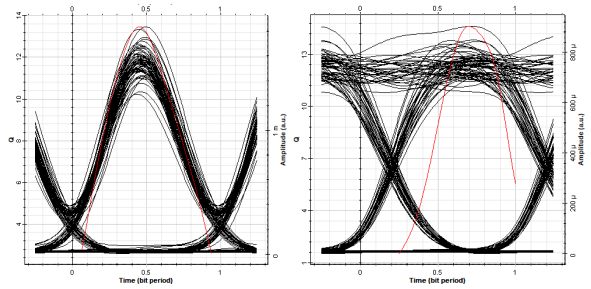


Fig. 3. *BER = f(PTX) for NRZ-modulation format*

Fig. 2 and Fig. 3 show results for optical line lengths of 250, 500 and 750 km (5, 10 and 15 amplifying sections x 50 km, respectively).

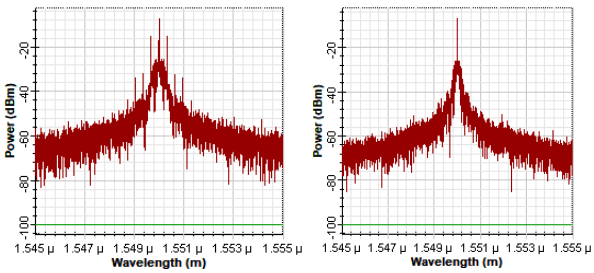
From the graphs in Fig. 2 it is evident that the optimum link length under considered conditions will be 500 km (10 amplifying sections x 50 km with periodical amplification in each section) when RZ-modulation format is used. The optimal point in which the BER value is the lowest is obtained for optical input power about 2 mW (3 dBm). On Fig. 4a is shown the corresponding eye-diagram and Q-factor of the optical signal. If the distance is greater than 750 km, BER value will be worse than the accepted value 1.10^{-13} (maximum Q-factor will be smaller than 6).

Fig. 3 shows the corresponding results for the case when NRZ-modulation format is used – the optimum link length will be 250 km (5 amplifying sections x 50 km with periodical amplification in each section). For this case the optimal point with the lowest BER value is obtained for optical input power about 0,75 mW (–1,25 dBm). If the distance is greater than 500 km, BER value will be worse than the accepted value 1.10^{-13} (maximum Q-factor will be smaller than 6). On Fig. 4b is shown the corresponding eye-diagram and Q-factor of the optical signal.



a) *b)*

Fig. 4. *Eye patterns of received optical signals for 40 Gbps optical line with (a) RZ- and (b) NRZ-modulation format*



a) *b)*

Fig. 5. *Optical spectrum diagram of received optical signals for 40 Gbps optical line with (a) RZ- and (b) NRZ-modulation format*

As can be seen from the spectral characteristics shown in Fig. 5, the RZ-modulated signals are affected to a greater extent by dispersion and dispersion slope, as well as by self-phase modulation. For 10-20-Gbps-systems, in which dispersion and its slope are well compensated in most of the cases RZ coded signals perform better than NRZ signals. An exception is the mode of zero dispersion inside the fibers with zero dispersion offset wherein nonlinear effects will dominate. Since 40-Gbps-systems are restricted by both dispersion and dispersion slope, NRZ could be a better option especially for spectral multiplexed systems.

The simulation model shown on Fig. 1 is implemented using dispersion post-compensation

scheme. Another known method is the use of dispersion pre-compensation scheme, as it is shown on Fig. 6 (for RZ-modulation format).

Using this simulation model, the influence of two dispersion compensation schemes: post- and pre-compensation is studied and analyzed.

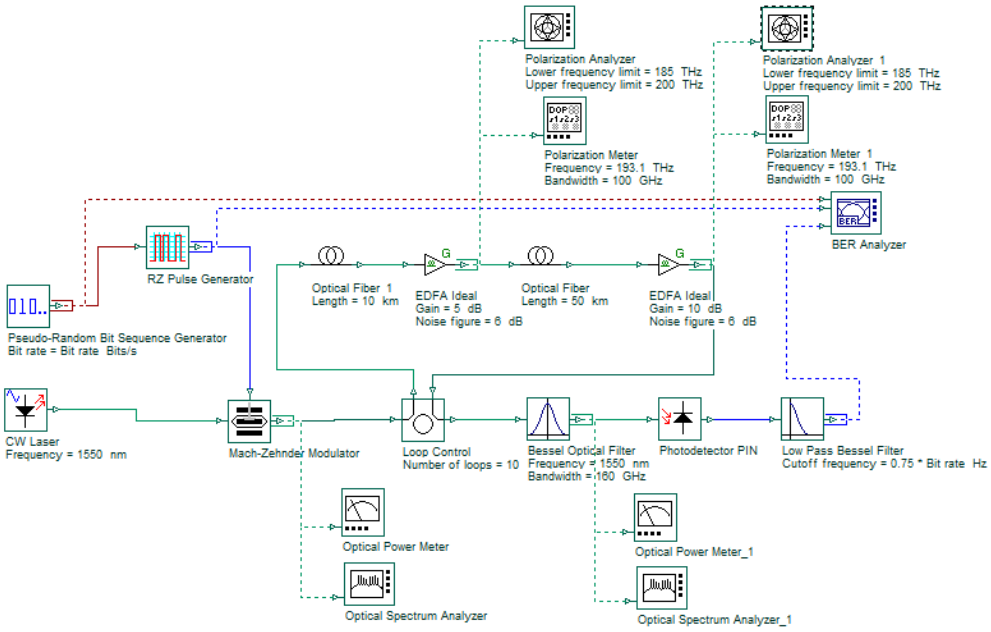


Fig. 6. *Simulation model of 40 Gbps single channel optical transmission line with RZ-modulation format and dispersion pre-compensation scheme*

On Fig. 7 are shown the corresponding comparative analysis results for the RZ-modulation transmission at 40 Gbps for both dispersion compensation schemes, and on Fig. 8 – for the NRZ-modulation transmission. Both figures shows the dependence of the maximum Q factor from the input optical power (P_{TX}).

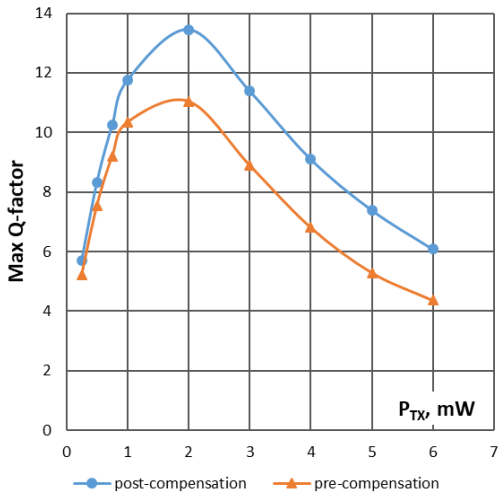


Fig. 7. *Max Q = f(PTX) for RZ-modulation format*

Both results show that the use of post-compensation scheme is more effective than the use of pre-compensation scheme to compensate the fiber dispersion at 40 Gbps single channel transmission system.

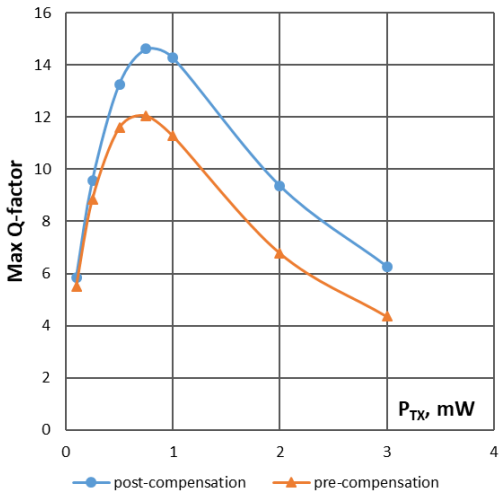


Fig. 8*. Max Q = f(PTX) for NRZ-modulation format*

CONCLUSION

Based on the simulated studies of models it is possible to draw the following major conclusions: Comparing the results obtained for the two Q-factors (respectively, the minimums of the BER values) it can be clearly

seen that the input optical power is 1,25 mW greater when using RZ-modulation format. This results in a greater transmission distance with good Q-factor and BER performance. However, the RZ modulation format is only recommended for single channel systems due to the strong influence caused by dispersion and self-phase modulation.

At low power levels, the performance of the optical channel is greatly reduced due to the cumulative effect of the inserted amplifier noise. The self-phase modulation causes a significant reduction in the transmission distance at high input optical power levels. The obtained results lead to the conclusion that the post-compensation scheme provides better performance compared to the pre-compensation scheme in high-speed single channel transmission in optical communication line.

ACKNOWLEDGMENT

The present work is supported under the "Creating innovative information-based educational training modules on communication equipment and technologies" 1712E project by the University Centre for Research and Technology at the Technical University of Gabrovo.

REFERENCES

[1] E. Ferdinandov, Ts. Mitsev, and W. Kadrev. Fiber-optic communication systems. Part 1, 2 and 3, Transmission medium, transmission and reception part, Siela, Sofia, 2002-2003.

[2] I. Balabanova I., G. Georgiev, and S. Kostadinova, Artificial Neural Network for Identification of Signals with Superposed Noises, Proc. of the Second International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry", IITI 2017, Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 679, Springer, Cham, pp 488-495.

[3] K. Angelov K., S. Sadinov, and N. Varbanova, Optical Receiver Sensitivity Evaluation in Presence of Noise in Digital Communication System, ICEST 2012, Proc. of Papers, Vol. 1, pp.85-88, ISBN 978-619-167-002-4, V. Tarnovo, Bulgaria, 2012.

[4] K. Koitchev K., K. Angelov, S. Sadinov, Determining Bit Error Rate in Digital Optical Transmission Network Using the Q-Factor, ICEST 2010, Proc. of Papers, Vol. 1, pp.53-56, ISBN: 978-9989-786-57-0, Ohrid, Macedonia, 2010.

[5] N. Varbanova, K. Angelov, S. Sadinov, Estimation of Optical Link Length for High-Speed Aplications, ICEST 2011, Proc. of Papers, Vol. 3, pp.607-610, ISBN: 978-86-6125-033-0, Niš, Serbia, 2011.

[6] S. Sadinov, Simulation study and analysis in transmitting RZ and NRZ coded signals into 10 Gbps optical line with optical amplifying sections, Electronica 2017, 18-19.05.2017, Sofia, Bulgaria, ISSN: 1313-3985, pp.47-53.

[7] S. Sadinov S., K. Angelov, P. Kogias and M. Malamatoudis, Iterative Estimation and Simulation Analysis of the Amplifying Sections in Optical Communication Network, Electronics - ET2017, September 13-15, 2017, Sozopol, Bulgaria, ISBN 978-1-5386-1752-6, pp.300-303.

[8] St. Rabov and L. Hristov, Optical communications, New knowledge, Sofia, 2002.

ОСОБЕНОСТИ ПРИ ДИГИТАЛИЗАЦИЯТА НА ПРОИЗВЕДЕНИЯ НА ЦЪРКОВНИТЕ ИЗКУСТВА В ХРАМОВАТА АРХИТЕКТУРА

Андреяна Дойкин [1], Красен Ангелов [2]
[1] Великотърновски университет "Св. св. Кирил и Методий", България
[2] Технически университет – Габрово, България

CHALLENGES IN THE DIGITALIZATION OF WORKS OF CHURCH ART IN TEMPLE ARCHITECTURE

Andreyana Doykin [1], Krasen Angelov [2]
[1] St. Cyril and St. Methodius University of Veliko Tarnovo, Bulgaria
[2] Technical University of Gabrovo, Bulgaria

Abstract
This paper will examine the challenges and approaches to the digitalization of works of art in the Bulgarian Orthodox temples from the Renaissance period. The main problems with the digitization of pictorial works in the Bulgarian temples are: the specific light in the digitalization of fixed, difficult to move and large-scale works (eg. frescoes, icons and carvings); used pigments and dyestuffs in the mural needed in the temple; the materials used to produce the works; varnish layers of icons and carvings; the architectural features of the temple. Orthodox Church "St. John the Precursor "- Gabrovo will be considered as an example.

Keywords: digitalization, art, icon, carving, orthodox church.

ВЪВЕДЕНИЕ

В този доклад се анализират особеностите при дигитализация на произведения на църковните изкуства, намиращи се в български православни храмове от Възраждането.

Основен проблем при дигитализацията на художествените творби в българските храмове се явяват:

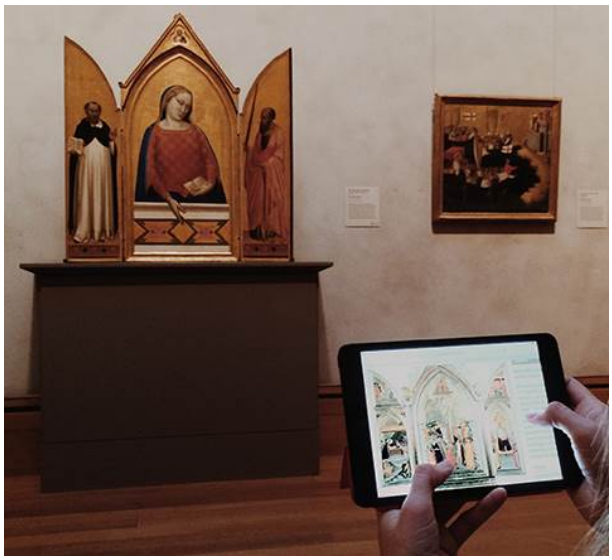
- специфичната светлина при дигитализация на неподвижни,
- монументални и големи по обем произведения (напр. стенописи, икони и дърворезби);
- използваните пигменти и багрила в стенната украса, необходима в храма;
- материалите, които са използвани за изработване на произведенията;
- лаковите покрития на икони и дърворезби;
- архитектурните особености на храма.

Като пример са представени конкретни творби от православната църква „Св. Йоан Предтеча“ – гр. Габрово с нейния храмов интериор.

Под дигитализация се има предвид създаването на двуизмерно или триизмерно дигитално копие на произведенията на църковните изкуства в храма (дърворезби, икони и стенописи, църковна утвар и мебелировка) частично или в цялост [2,4,7]. Полученото дигитално копие, като първа стъпка, може да се използва за включването му в дигитално съдържание с елементи на интерактивност, метаданни, бази данни и уеббазирано съдържание с публичен достъп до културното наследство – фиг. 1 [5,6]. Като втора стъпка може да се добави в наслоена или добавена реалност за образователни и научни цели в областта на църковните изкуства.

Дигитализацията в различните културни аспекти е основен начин да се популяризира и опазва културно-историческото наследство [7]. Тя е особено важна за Възрожденските църкви в България с изключител-

но богато архитектурно и историческо минало и възможност за увеличаване на туристическия и научен интерес към тях и региона.



Фиг. 1. *Дигитално приложение в музея Гети*

ИЗЛОЖЕНИЕ

При дигитализацията на колекции от произведения на изкуството интересни резултати са постигнати чрез използване не само на фотографска и видео техника, а и на рентгенови апарати, 3D и лазерни скенери, както и на оборудване с инфрачервена и ултравиолетова светлина [2,4]. При дигитализацията на триизмерни (3D) обекти се използват техники, основани на реалността. Примери в това отношение са фотограметрията, лазерното сканиране и технологията LIDAR (Light Identification Detection and Ranging) за получаване на информация за отдалечени обекти чрез осветяването им и анализиране на отразената светлина. Използва се хардуер и софтуер за метрично изследване на реалността такава, каквато е и за триизмерно документиране на действителното видимо състояние на даден обект с помощта на снимки, данни за отдалеченост, компютърни чертежи и карти, класическо геодезическо заснемане.

Панорамите и комбинациите от тях под формата на виртуални разходки са съвременен начин за представяне на места и събития [7].

Независимо от съществуващите технологии, в православните храмове съществуват предпоставки, които силно затрудняват създаването на дигитални изображения и копия на произведенията на църковното изкуство.

КРАТКО ОПИСАНИЕ НА ХРАМ „СВЕТИ ЙОАН ПРЕДТЕЧА“

Храмът „Свети Йоан Предтеча“ в гр. Габрово е издигнат в края на XVIII век, като до достигане на сегашният си вид претърпява няколко строителни етапа.

По архитектурен план е трикорабна, едноабсидна и еднокуполна базилика. Корабите са разделени от две редици по четири колони. В центъра се издига масивен купол с барабан, който се носи от четирите средни колони. Таваните са с балдахинови сводове. Притворите, вътрешен и външен, се намират в най-западната част на църковната сграда, като над тях е изградена камбанарията.

Фиг. 2. *Общ изглед на интериора в храм „Свети Йоан Предтеча“ в гр. Габрово*

Иконостасът в храма „Св. Йоан Предтеча“ има четири регистъра – цокълен ред; царски ред икони, завършващи с люнети; дърворезбен фриз на Дърво Иесеево с изписани пророци; празничен и апостолски ред икони; венчилка с кръст и два ангела, съответно в северната и южната част на иконостаса – фиг. 2. Цокълният регистър не е резбован. Съставен е от живописвани цокълни пана, по пет отляво и отдясно. Над него е царският ред с дванадесет икони, между които ще открием различни елементи в резбените колонки. Още две със същите размери като царските икони са монтирани съот-

ветно на северната и южната стени на храма, в непосредствена близост до иконостаса.

Храмовият интериор е значително сложен и при необходимост от създаване на дигитално копие, например цифрова фотография на някой от елементите и творбите в него, възникват значителни трудности (фиг. 2).

ПРОБЛЕМИ ПРИ ДИГИТАЛНА ФОТОГРАФИЯ НА ПРОИЗВЕДЕНИЯТА В ХРАМА

В християнските храмове на Балканският полуостров има специфично осветяване, дължащо се на слабото външно и вътрешно осветление в резултат на архитектурата на сградата. То е леко приглушено, като това е предпоставка за затруднено фотографиране на всяко едно произведение, намиращо се в него (фиг. 2).

Някои от иконите са поставени на места, които са трудно достъпни или е невъзможно да бъдат демонтирани. Такъв пример можем да се види в храм „Св, Йоан Предтеча“ в град Габрово. Владишкият трон, е поставен помежду два прозореца на южната стена. На него е монтирана икона на Св. Три Светители - фиг. 3. Изцяло в контра жур, с потъмняло и напукано лаково покритие, тя представлява един много труден за фотографиране образец.

а) *б)*

Фиг. 3. *Икона „Свети Три Светители“ на облегалката Владишкия трон: а) оригинална снимка, б) снимка с висок динамичен контраст (HDR)*

За съжаление, към този момент иконата не е реставрирана. Това създава определен проблем при нейната дигитализация. Той се състои в следното: с течение на годините, технологията на изработка и лаковите покрития променят своят цвят и отражателна способност. Така например, лаковите покрития, багрилата и свързвателите, които са от органичен характер, с годините променя своите свойства [1,3]. Лаковото покритие успява да предпази до някаква степен иконата от условията (атмосферни, механични и т. н.) в които се е намирала през всички тези години. С увеличаване на годините, смолите намаляват своята пластичност, напукват се и потъмняват. Една от технологичните особености при изработването на иконата, е използването на обагрени смоли, които наслагват един върху друг велатурни слоеве [1,3]. Това е често използвана техника при светлосянъчното изграждане на позлатите през Възраждането. Тези наслагвания с времето потъмняват по-активно.

След консервация и реставрация на иконите, цветовете се променят съществено, въпреки спазването на техниката при обработка. Затова, по време на работният процес се правят набор от снимки и документи, съпътстващи реставрираната икона – фиг. 4.

а) *б)*

Фиг. 4. *Цифрова фотография на иконата „Иисус Христос“ а) преди и б) след реставрация (личен архив на Стефко Аенски)*

Един от трудно заснеманите образци са полхромните детайли. При осветяване, те възпроизвеждат бликове, които осветяват голяма част от пространството и някои детайли, влизащи в него стават преекспонирани – фиг. 5.

Фиг. 5. *Полихромен детайл от икона „Св. вмчк Георги“ с положени велатури за изграждане на обем*

Фиг. 6. *Полихромна дърворезба на Свети двери в храм „Св. Йоан Предтеча“*

В храм „Св. Йоан Предтеча“ дърворезбата е дело на майстор Георги от Видин. Орнаментът е много пластично изработен. Някои части на дърворезбата са полихромирани – фиг. 6.

Затова е необходимо да бъде фотографирана с премерена светлина, за да може да се види контраста в дълбочина и височина, без да се губи от релефа. При фотографирането на дърворезбата, иконите поставени върху иконостаса биват силно осветени от изкуствената светлина. Така направена комбинираната фотография, променя изцяло цветовата гама на всяко едно изображение. Ако се съобрази осветяването, за да се направи обратното, цялостна фотография на иконостаса, като се акцентира върху иконите, дърворезбените му елементи ще останат в сянка – фиг. 7.

а) *б)*

Фиг. 7. *Икона „Свети Йоан Рилски“ с люнет и колони: а) оригинална фотография, б) с висок динамичен контраст*

Сериозен проблем е размерът на някои от произведенията. За пример, отново ще разгледаме фотография, направена в храм „Свети Йоан Предтеча“ – фиг. 8. Иконостасът е един цялостен ансамбъл. Когато се фотографира на части, има възможност да се прецени светлината и дълбочината на рязкостта. Когато се фотографира цялостно, освен проблемът с осветяването, се получава сериозен проблем и с експонирането на детайлите. Фотографирането от необходимото разстояние често е невъзможно, поради архитектурните особености в пространство на храма. Те закриват важна последователност в ансамбъла. При разполагане на фотографската техника на подходящо място, за да се видими всички детайли, се оказва невъзможно това да се направи в една снимка. Опитите направени с т. нар. панорамна фотография, показват, че това е невъзможно – фиг. 8. Някои от регистрите на иконостаса остават неминуемо незаснети.

Същият проблем можем да се види и при фотографирането на стенописната украса на храма. Иконографските схеми в храма имат последователност. Въпреки това композиционните решения са много. При фотографията няма как всички сцени, цикли и регистри да бъдат заснети последователно, защото те изпълват, в повечето случаи, целият интериор. Налагат се подробни обяснения, коя сцена, точно къде се намира в съответния храм.

Фиг. 8. *Непълна хоризонтална панорамна фотография на иконостаса в храм „Св. Йоан Предтеча“*

Ракурсът в интериора силно деформира някои сцени и персонажи.

Храмовете с богата стенописна украса от периода на Възраждането имат натрупвания от сажди върху стените. Понякога цели елементи са паднали в следствие на атмосферните условия и влагата. Тогава светлината при заснемане не е единственият фактор. Пигментите са податливи на UV лъчи и губят частично или изцяло своят цвят. Саждите, които се натрупват по стените, също са органичен пигмент – черен. Това потъмнява изцяло изображенията.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спецификата на използваната техника и технология на църковните изкуства в храмовете и сложните процеси, които протичат във времето, създават предпоставка за реализацията на сложни методи и похвати за дигиталното представяне на съответния културен обект.

Предизвикателствата най-често са свързани с архитектурните особености на обекта, светлината и материалите, невъзможността за демонтиране на големите ансамбли.

Както може да се види от някои примерни резултати (фиг. 3 и фиг. 7), използването на хардуерна фотография или софтуерна обработка с висок динамичен контраст рядко осигурява необходимия ефект.

Добър подход е използването на широк набор от специализирани филтри и обективи, използването на източници на светлина с променлив спектър, инфрачервена и ултравиолетова светлина.

Панорамните и 360-градусови изображения също за значително ограничени поради разчупената архитектура и силната разлика в нивата на осветеност в отделните части на храма.

Това налага като основен подход да се работи чрез създаване на дигитални копия на единичните обекти, които след това да се обединяват чрез използване на сложен софтуер в създаването на цялостни триизмерни модели.

БЛАГОДАРНОСТИ

Този доклад и изследванията в него са реализирани по проект „Създаване на иновативни информационно - базирани образователни модули за обучение по комуникационна техника и технологии”, договор 1712Е / 2018 г. към УЦНИТ при ТУ-Габрово.

REFERENCE

[1] A. Sharenkov, Starinni traktati po tehnologia i tehnika na zhivopista, tom 1, kniga 2, Izd. Balgarski hudozhnik, Sofia, 1994.

[2] A. Sivak, The Ghent Altarpiece in 100 Billion Pixels, The Iris, J. Paul Getty Trust, Los Angeles, USA, 2017.

[3] Erminia Dionisia Furnoagrafiota. Izd. Svyato-Vladimirskogo Bratstva, Moskva, ISBN 5-900249-05-0, 1993.

[4] J. Cuno, Beyond Digitization – New Possibilities in Digital Art History, The Iris, J. Paul Getty Trust, Los Angeles, USA, 2014.

[5] M. Baca, Introduction to Metadata 3rd ed., J. Paul Getty Trust, Getty Research Institute, Los Angeles, USA, 2016.

[6] https://en.wikipedia.org/wiki/J._Paul_Getty_Museum

[7] http://ebox.nbu.bg/ant14/view_lesson.php?id=8

ЕНЕРГЕТИЧНО ИНДУЦИРАНИ СМУЩЕНИЯ ПРИ УСЛУГИТЕ ОТ СЛУЖБАТА ЗА СТЕРЕОФОНИЧНО РАДИОРАЗПРЪСКВАНЕ

Климент Ангелов [1]
[1] *Технически университет - София*

ENERGETIC INDUCED INTERFERENCES AT FM BROADCAST SERVICES

Kliment Angelov [1]
[1] *Technical University of Sofia*

Abstract

In this article an induced interferences at the FM Broadcast services have been observed. The cause for these disturbances can be an energetic overload of receivers due to the fact that there are a lot of local radio stations in big cities. In this study the real example for such type of irregularities in the FM Broadcast Service, and also the mechanism of their appearance, for the capital of Bulgaria – the Sofia megapolis has been described.

Keywords: FM Broadcast; Interferences; Intermodulation products.

ВЪВЕДЕНИЕ

В наши дни службата за стереофонично радиоразпръскване (позната в англоезичните среди като FM Broadcast) е широко използвана от потребителите. От обществена гледна точка тези радиопредавания са изключително полезни за осигуряване на осведоменост, забавление, а също така не може да не се отчете и маркетинговата страна, свързана с това, че не малка част от радиостанциите разчитат на финансова издръжка срещу предлагано в замяна разпространение на рекламна дейност.

От техническа гледна точка радиоразпръскването с честотна модулация осигурява достатъчно високо качество на звука, а също така и някои други допълнителни функции за трансфер на данни. Такава се явява функцията Radio Data Service (RDS) [1], с която може да се предава статична и/или динамична текстова съпровождаща информация, например името на конкретната радиостанция, телефон за връзка и/или заглавието и изпълнителя на музикалното произведение и други [2]. Също така, чрез подобна предавана в ефира служебна информация, може да се идентифицира дадена радиостанция и да се осъществява автоматично превключване на честотите, в случаите когато слушателят е в движение. По този начин се постига непрекъснато приемане на програмата на желаната радиостанция. Не на последно място чрез RDS може да се предава и важна информация относно автомобилния трафик.

Всички тези аспекти обуславят необходимостта от високо качество и надеждност на услугата, която е още по-осезаема в урбанизираните територии. От друга страна точно в градските райони се наблюдава концентрация в количеството радиостанции и е възможно претоварване на ефира и възникване на интерференции.

Настоящата статия разглежда именно механизмът на възникване на подобни смущения в рамките на град София, където живеят милиони жители и понастоящем има десетки радиостанции.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Към момента в ефира на град София излъчват тридесет и една различни радио-

станции, които с помощта на радиопредавателите си се стремят да осигурят в голяма степен радиопокритие и на цялото Софийско поле. В таблица № 1 е поместен техен списък със зададени кодови имена от **RS1** до **RS31**, като подредбата е според честотите им, а също така са дадени и мощностите на предавателите им [3].

Таблица №1

Кодово име	Честота, MHz	Мощност на предавателя, W	Кодирано местоположение на предавателя
RS1	87.60	230	TxP6
RS2	88.00	500	TxP1
RS3	88.40	250	TxP4
RS4	89.10	240	TxP3
RS5	89.50	500	TxP1
RS6	90.00	500	TxP1
RS7	91.00	500	TxP1
RS8	91.90	500	TxP1
RS9	92.40	400	TxP5
RS10	92.90	10000	TxP2
RS11	93.40	500	TxP1
RS12	93.90		TxP5
RS13	94.50	1000	TxP2
RS14	94.90	200	TxP3
RS15	95.70	500	TxP1
RS16	96.20	400	TxP1
RS17	96.70	900	TxP1
RS18	97.60	510	TxP5
RS19	98.30	500	TxP1
RS20	99.10	500	TxP1
RS21	99.70	500	TxP1
RS22	100.30	200	TxP3
RS23	101.10	178	TxP3
RS24	101.70	500	TxP1
RS25	103.00	10000	TxP2
RS26	103.60	500	TxP1
RS27	104.00	500	TxP1
RS28	105.00	2000	TxP3
RS29	105.60	200	TxP3
RS30	106.00	500	TxP1
RS31	106.90	500	TxP1

В таблица №1 е отразено чрез кодови имена от **TxP1** до **TxP6** също и местоположението на предавателите на съответните радиостанции. Видно е, че общият им брой е шест, като в повечето случаи това са инфраструктурни обекти с подходяща височина и намиращи се на места с по-висока надморска кота на терена. Някои от тези обекти са специално изградени за подобни цели съоръжения, като телевизионните кули на бул. „Пейо Яворов“ и тази в м. Копитото на пл. Витоша. В таблица №2 е поместено описание на шестте точки на радиопредавателите, както и сумарната мощност на всички радиостанции, излъчващи от всяка една от тях.

Таблица №2

Кодово име	GPS координати кота терен, m	Описание; височина на сградата (съоръжението), m	Сумарна излъчвана мощност, kW
TxP1	N42°40'36" E023°20'31" 595 m	РРТС София - (TV кула на бул. Пейо К. Яворов) 106 m	8,8
TxP2	N42°38'12" E023°14'38" 1345 m	КРТЦ Витоша - (TV кула, вр. Копитото) 186 m	21
TxP3	N42°38'10" E023°14'53" 1320 m	Хотелска сграда в м. Копито, пл. Витоша 12 m	3,018
TxP4	N42°40'21" E023°19'23" 617 m	Многоетажна сграда в кв. Лозенец, 80 m	0,25
TxP5	N42°40'20" E023°19'06" 605 m	Многоетажна хотелска сграда в кв. Лозенец 98 m	1,41
TxP6	N42°40'16" E023°13'18" 715 m	Сграда в кв. Горна баня 16 m	0,23

На фиг. 1 е илюстрирано местоположението на тези обекти върху географска карта.

***Фиг. 1**. Местоположение на обектите с радиопредаватели в гр. София*

Според препоръките на организацията International Telecommunication Union (ITU), съдържащи стандартите за постигане на качествена услуга за стереофонично радиоразпръскване в честотния диапазон на метровите вълни (Very High Frequency – VHF) [4], нивото на сигнала в зависимост от типа на терена трябва да отговаря на стойностите от таблица №3, като те се отнасят за височина 10 m над кота терен.

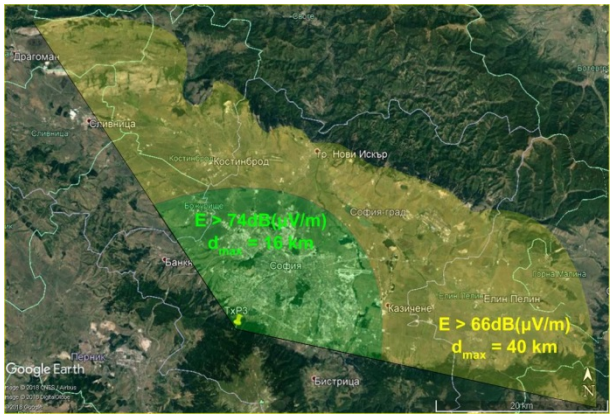
Таблица №3

Тип на терена	Услуга	
	Моно	Стерео
Извънградски райони и при ниско строителство	48 dB(μV/m)	54 dB(μV/m)
Райони с градски тип застрояване	60 dB(μV/m)	66 dB(μV/m)
За гъсто застроени райони на големи градове	70 dB(μV/m)	74 dB(μV/m)
При липса на смущения от индустриален и домашен характер	34 dB(μV/m)	48 dB(μV/m)

От теоретична гледна точка определяне на интензитета на електрическото поле може стане според формулата на идеалния радиопредавател [5]:

$$\mathrm{E} = \frac{\sqrt{30 P_t G_t}}{d} F, \qquad (1)$$

където $\boldsymbol{P_t}$ и $\boldsymbol{G_t}$ са съответно мощността и усилването на антената на радиопредавателната станция, $\boldsymbol{d}$ е разстоянието от нея до точката на наблюдение, а $\boldsymbol{F}$ отразява затихванията на електромагнитните вълни (ЕМВ) в средата на разпространение. От същата зависимост (1) може да се изрази максималната дистанция за достигане на определено прагово ниво на интензитета на електрическото поле. На фиг. 2 е показана зоната на покритие на радиостанцията с кодово име RS4, като за усилването е приета достоверната стойност от 10 пъти, а за запас за затихване е избран множителят $\boldsymbol{F = 0{,}3}$. Получават се съответно дистанции от ~40 km и ~16 km за достигане на нивата



***Фиг. 2**. Теоретично определено покритие от радиостанция RS4 за гр. София и Софийското поле*

за стереофонично приемане в среда от градски и гъсто застроен градски тип. Посоченото покритие потвърждава, че в рамките на целия гр. София посочената радиостанция RS4 би трябвало да осигурява добро покритие със сигнал и оттам високо качество на услугата.

Въпреки аналитично определената добра оценка на зоната на покритие в градската част на София са налични осезаеми смущения в качеството на услугата за радиостанция с кодово има RS4. Тези явления се проявяват в зона, близка до точката на радиопредаватели, означена с кодово име TxP1. Това е т. нар. „Стара телевизионна кула“ на бул.“Пейо Яворов“, от която се излъчват значителен брой радиостанции (1 бр. с мощност 900 W, 15 бр. с 500 W и 1 бр. с 400 W – вж. табл. №1). Разстоянието по права линия м/у точките TxP3, от която се осъществява излъчването на радиостанцията RS4, и TxP1 е 9,018 km. Съгласно (1), постигането ниво на сигнала за такава дистанция е от порядъка на ~79 dB(μV/m). На фиг. 3 е поместено изображение от географска карта с нанесено местоположението на точката TxP1, както и множество точки, в които се наблюдава компрометиране на качеството на услугата на радиостанция RS4.

***Фиг. 3**. Местоположение на точки с нарушена услуга в близост до предавателната станция TxP1 в гр. София*

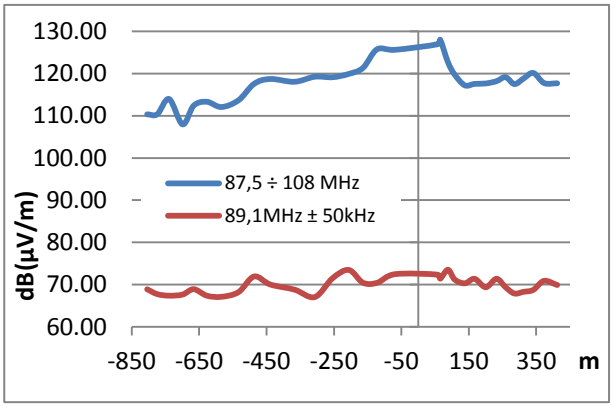
В таблица №4 са дадени пояснения за точките с кодови имена от MP1 до MP33, в които се наблюдават смущения, като на тези места е извършено измерване на терен на параметрите на полето, отразени в същата таблица. Дистанциите с отрицателно разстояние се намират в северозападна посока

от точката TxP1, докато тези с положителен – в югоизточна посока.

Таблица №4

Кодово име	Разстояние до точката TxP1, m	Интегрално ниво за диапазона 87,5 ÷ 108 MHz, dB(μV/m)	Ниво за канала на радио-станция RS4, dB(μV/m)
MP1	-1350	108.82	67.74
MP2	-804	110.31	68.89
MP3	-774	110.32	67.73
MP4	-739	113.95	67.37
MP5	-699	107.92	67.63
MP6	-666	112.38	68.91
MP7	-627	113.29	67.36
MP8	-584	112.04	67.09
MP9	-533	113.65	68.22
MP10	-487	117.53	71.93
MP11	-439	118.70	70.03
MP12	-367	118.03	68.80
MP13	-307	119.23	67.04
MP14	-254	119.11	71.54
MP15	-206	119.90	73.49
MP16	-164	121.33	70.45
MP17	-122	125.76	70.43
MP18	-69	125.62	72.49
MP19	57	126.95	72.37
MP20	65	128.01	71.40
MP21	88	122.68	73.53
MP22	108	119.73	71.20
MP23	138	117.19	70.30
MP24	167	117.53	71.38
MP25	200	117.63	69.37
MP26	232	118.18	71.39
MP27	259	119.13	69.36
MP28	285	117.48	67.88
MP29	312	118.79	68.28
MP30	341	120.13	68.74
MP31	373	117.73	70.89
MP32	412	117.67	69.90
MP33	561	110.54	70.12

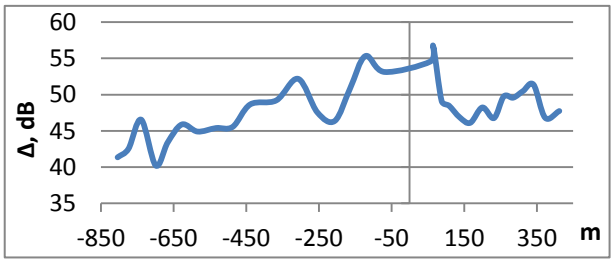
На фиг. 4 са показани графично измерените стойности на интензитета на електрическото поле за радиостанцията RS4, както и интегралното ниво за целия честотен обхват 87,5 ÷ 108 MHz.



***Фиг. 4**. Измерени стойности за интензитета на електрическото поле в близост до точка TxP1*

Забелязва се, че като цяло нивата от северозападната страна са по-ниски, което може да се обясни с естествената промяна на денивелацията на терена в тази посока. Като цяло интензитета на електрическото поле в близост до точката TxP1 е значителен, което, поради факта че честотите на всички източници попадат в активната честотна лента на приемниците, води до значително енергетично претоварване на антенните им входове и оттам до възникване на итермодулационни процеси.

На фиг. 5 е отразено графично разликата в интензитетите на електрическото поле за радиостанцията RS4 спрямо интегралното ниво за целия честотен обхват 87,5 ÷ 108 MHz.



***Фиг. 5**. Разлика в итегралното и нивото в канала на RS4*

Съгласно анекс 1 на [4] наблюдаваните смущения се дефинират като постоянни и за превенция от тяхното влияние се изисква защитно отношение в границите -20 ÷ +53 dB при разлика в честотата на смущението спрямо работната съответно в интервала 400 ÷ 0 kHz. В границите на това честотно отстояние се намира една радиостанция, тази с кодово име RS5, чийто предавател е с мощност 500 W и се намира именно в точката TxP1. Максималният отчетен интензитет на полето в рамките на точките на измерване за канала на тази радиостанция е 119,2 dB(μV/m), което обуславя защитно отношение от порядъка на -48 dB. По този начин се забелязва нарушение на изискваното защитно отношение.

За разлика в честотите по-голяма от 400 kHz изискваното защитно ниво може да задминава границата от -20 dB, като тя може да достига и до -40 dB. От графиката на фиг. 5 се вижда че това отношение в точките на измерване в близост до TxP1 надвишава и това условие и представлява потен-

циална възможност за индуциране на смущения. Определените в точките на измерване защитни отношения за интензитетите на електрическото поле за работния сигнал на радиостанцията RS4 спрямо интегралното ниво за целия честотен обхват 87,5 ÷ 108 MHz се движи в интервала 40,2 ÷ 56,6 dB, като средно то е около 48,5 dB.

Посочените защитни отношения са значително нарушени и от конкретната конфигурация на урбанистичната среда. Всички посочени точки на измерване се явяват засенчени от горски площи в посока югозапад, която посока се явява и направлението на сигнала на радиостанцията RS4, излъчен от точката TxP3. За затихване на ЕМВ в растителност може да се използва зависимостта [6]:

$$A_{et} = d\gamma \qquad (2)$$

където ***d*** е дължината на разпространение на ЕМВ при наличие на растителност, а γ е специфичното затихване на единица дължина. За честота около 100 MHz специфичното затихване е $\gamma = 0{,}02$ ***dB/m*** [6] и при отчетени дължини на разпространение на ЕМВ над горски зони за точките от MP2 до MP33 от порядъка на 400 ÷ 1350 m се стига до внасянето на допълнителни загуби в рамките на 8 ÷ 27 dB. От друга страна пътищата на сигналите на радиостанциите, излъчвани от точката TxP1 до точките на измерване, се явяват по направление на голям булевард. Налице е пряка видимост, която обуславя липсата на затихване на ЕМВ на тези сигнали.

Нарушаването на защитните отношения в конкретния случай води до компрометиране качеството на услугата за радиостанцията RS4. Въпреки че посочените точки на измерване не се падат в застроена зона и съответно броят на слушателите е малък, то отпадането на възможността за приемане на желаната радиостанция се явява нежелана. Това е така поради факта, че в посочената зона преминава интензивен автомобилен трафик, при който често се получават сериозни забавяния. От гледна точка на потребителите, намиращи се в тези автомобилни задръствания, отпадането на услугата може да трае от порядъка на 30-ина секунди до десетки минути.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направения аналитичен обзор и след обобщаване на резултатите от измерванията на терен могат да се направят множество изводи. По-важните от тях са:

- При планиране на съвместната работа на голямо количество радиостанции трябва да се извършва задълбочен анализ на конфигура-цията на отделните предаватели;
- Необходимо е да се отчитат и спецификите на заобикалящата среда в дадена критична зона, за която трябва да се осигури покритие. Такива са залесяването, застрояването, промени в денивелацията и т.н.;
- По възможност е за предпочитане избягване концентрирането на големи мощности, респективно много радиопредавателни станции, на едно място, поради създаването на предпоставки за енергетично претоварване на приемниците и възникване на интермодулационни смущения.

REFERENCE

[1] "March 2009: RDS is now 25 – the complete history", Geneva, Switzerland: The RDS Forum. 2009-03-27. p. 1. Retrieved 2011-06-15;

[2] European Standard EN50067 - Specification of the radio data system (RDS) for VHF/FM sound broadcasting in the frequency range from 87,5 to 108,0 MHz, April 1998;

[3] http://www.predavatel.com/bg/;

[4] Recommendation ITU-R BS.412-9, Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF, (12/1998);

[5] Христов, Х., Е. Алтимирски, Радиотехническа електродинамика и разпространение на електромагнитните вълни, Издателство „Техника", София, 1990;

[6] Seybold J.S., Introduktion in RF Propagation, John Wiley & Sons Inc., 2005.

[1] Климент Н. Ангелов, д-р инж., гл. ас., катедра РКВ, при ФТК, ТУ-София, kna@tu-sofia.bg.

EFFECT OF THE ROTATION ON THE VWM ALGORITHM

Bojan Prlinčević[1], Zoran Milivojević[2]
[1] *Higher Technical Professional School, Zvecan, Serbia*
[2] *College of Applied Technical Sciences, Nis, Serbia*

Abstract

The first part of the paper describes VWM (Visible Watermarking) algorithm for inserting - removing visible watermark in the image. Effect the rotation on the image with the inserted visible watermark was tested for the angle rotation varied in the range $\theta = 0^o : 3^o : 45^o$. Experiment is performed with the rotating image and re-rotating image to the regular possition, for watermark blocks insertion k = {2, 3, 4} and energy of insertion $\upsilon = 40$. In the second part of the paper, the results of the experiment are shown. A comparative analysis of the original and recovered image was performed. The comparison was performed on the basis of MSE and Similarity. The obtained results are detailed analysed and presented in a tabular and graphical manner.

Keywords: Visible watermark, Impulsive noise, rotation.

1. INTRODUCTION

In order to protect the copyrights of multimedia content (usually images), techniques based on the insertion of the digital watermark are used. The most widely used copyright protection technique is the technique for insertion the invisible digital watermark. Invisible watermark can be extracted later for ownership proofing. On the other hand, in order to identify ownership, the technique of inserting the visible watermark is also used. This technique has recently become a widely used technique to prevent the viewers for making unauthorized use. When visible watermark is inserted, it is most often impossible to remove the watermark from the image [1] - [3]. This is in order to protect it more efficiently [4], [5]. However, in certain situations, there may be a need to remove the visible watermark from the image [6]. Many researches were done by researching the techniques for inserting reversible watermark in image but there was many difficulty. After recovering cover image was with visible damages. In the paper [7], scheme for visible-watermark removal and reversible image recovery are proposed. In this scheme, the image with embedded visible watermark is generated after embedding visible watermark into the original image. The recovered image is acquired after removing the visible watermark from the embedded image. Proposed method of inserting visible watermark is one of the most effective methods thus, original image can be exactly recovered.

During the image processing some level of degradation is inevitable. The authors of this paper came up with the idea to perform the VWM (Visible Watermarking Algorithm) algorithm in presence rotation. The authors are set the question: the effect of applying the image rotation on the qualiy of recovered image? The answer on this question was sought through the realization of an experiment within which the VWM algorithm for inserting - removing visible watermark were performed, and after image rotating is applied. Standard test images was used: Lena, Boat and Girl and Watermark image. The experiment was performed by inserting the inverse binary watermark. The watermark is inserted into the blocks, dimensions $k = \{2, 3, 4\}$ with the energy of insertion $\upsilon = 40$. Watermarked images was rotatet with angle varied in range $\theta_{min} = 0^o$; $\Delta\theta = 3^o$; $\theta_{max} = 45^o$. As a quality measure of the recovered image was used Mean Square Error (MSE) and Similarity. The results are presented in tabular and graphically.

The paper is organized as follows: Section 2 describes the VWM algorithm for inserting - removing visible watermark. Section 3 gives results and analysis of the results. Conclusion is given in section 4.

2. ALGORITHMS

In the paper is used algorithm VWM algorithm for watermarking [7], [8] and rotation. The algorithms are coded in Matlab.

A. VWM Algorithm

The VWM embedding algorithm is realized through following steps:

Step 1: The original image I_0 size $M_0 \times N_0$ is divided into nonoverlapping blocks $k \times k$, where $2 \le k \le k_m$, $k_m \in \{\lfloor M_0 / M_w \rfloor, \lfloor N_0 / N_w \rfloor\}$, where $M_w \times N_w$ is size of embedded binary watermark image. The parameter k can be 2, 3 or 4.

Step 2: One bit of the watermark can be embedded in each block B of host image I_0. In Table I is presented manner how blocks can be partioned, depending of parameter k value.

Step 3: Calculate the mean value of the assigned visible watermark region in original image I_0:

$$avg_w = \frac{\sum_{m=0}^{k \times M_w - 1} \sum_{n=0}^{k \times N_w - 1} I_0(m + \mu_1, n + \mu_2)}{(k \times M_w) \times (k \times N_w)}, \quad (1)$$

where (μ_1, μ_2) present coordinate of watermark image W embedded in I_0, $(k \times M_w, k \times M_w)$ denotes the region of embedded watermark.

Step 4: Threshold T_w is calculated:

$$T_w = \begin{cases} awg_w + 30, \text{ if } awg_w \le 128, \\ awg_w - 30, \text{ if } awg_w > 128. \end{cases} \quad (2)$$

Step 5: Mean value of each block B is calculated:

$$avg_B = \frac{1}{k^2} \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{k} B(i, j). \quad (3)$$

Step 6: Embedding procedure of each bit of the Watermark into corresponding block is done:

$$B'(i, j) = \begin{cases} B(i, j) + \omega \times \nu, \text{ if } awg_w < T_w, \\ B(i, j) - \omega \times \nu, \text{ if } awg_w \ge T_w, \end{cases} \quad (4)$$

where ω denotes bit of the watermark and υ is the coefficient of inserting the bit (highest value of υ mean more visible watermark).

Step 7: Difference values of parameters d_1 and d_2 are calculated for each block:

$$\begin{aligned} d_1 &= \sum_{B'(i,j) \in S_1} B'(i, j) - \sum_{B'(i,j) \in S_2} B'(i, j) - x, \\ d_1 &= \sum_{B'(i,j) \in S_1} B'(i, j) - \sum_{B'(i,j) \in S_2} B'(i, j) - y, \end{aligned} \quad (5)$$

where S_1, S_2, x and y are parameters from Table I.

Step 8: Modification of the pixel x into the pixel x' and y into the y' was done:

$$x' = 2 \times d_1 + \omega + \left\lfloor \frac{\sum_{B'(i,j) \in \{S_1 \square S_2\}} B'(i, j)}{2 \times \left\lfloor \frac{k^2 - 1}{2} \right\rfloor - 1} \right\rfloor, \quad (6)$$

$$y' = \begin{cases} 2 \times d_2 + 0 + \left\lfloor \frac{\sum_{B'(i,j) \in \{S_1 \square S_2\}} B'(i, j)}{2 \times \left\lfloor \frac{k^2 - 1}{2} \right\rfloor - 1} \right\rfloor, \text{ if } avg_B < T_w, \\ 2 \times d_2 + 1 + \left\lfloor \frac{\sum_{B'(i,j) \in \{S_1 \square S_2\}} B'(i, j)}{2 \times \left\lfloor \frac{k^2 - 1}{2} \right\rfloor - 1} \right\rfloor, \text{ if } avg_B \ge T_w. \end{cases} \quad (7)$$

After implementing the steps above visible watermarked image I_w is obtained.

The VWM algorithm procedure for recovering image is realized through following steps:

Step 1: The watermarked image Iw is divided into nonoverlaped $k \times k$ blocks in the same manner with the embedding procedure, and parameters S'_1, S'_2, x' and y' can also be obtained as in embedding procedure.

Step 2: Using the obtained values for parameters S'_1, S'_2, x' and y', differences d'_1 and d'_2 can be calculated for each $k \times k$ watermarked block B':

$$d'_1 = x' - \left\lfloor \frac{\sum_{B'(i,j)\in\{S_1 \square S_2\}} B'(i,j)}{2\times\left\lfloor \frac{k^2-1}{2} \right\rfloor - 1} \right\rfloor,$$
$$d'_2 = y' - \left\lfloor \frac{\sum_{B'(i,j)\in\{S_1 \square S_2\}} B'(i,j)}{2\times\left\lfloor \frac{k^2-1}{2} \right\rfloor - 1} \right\rfloor. \quad (8)$$

Step 3: Extracted binary watermark ω' from each block can be obtained using:

$$\omega' = \mathrm{mod}(d'_1, 2). \quad (9)$$

Step 4: Differences d_1 and d_2 can be obtained using:

$$d_1 = \left\lfloor \frac{d'_1}{2} \right\rfloor, \quad d_2 = \left\lfloor \frac{d'_2}{2} \right\rfloor. \quad (10)$$

Step 5: Pixels x'' and y'' can be recalculated according with following equation

$$x'' = \sum_{B'(i,j)\in S_1} B'(i,j) - \sum_{B'(i,j)\in S_2} B'(i,j) - d_1,$$
$$y'' = \sum_{B'(i,j)\in S_1} B'(i,j) - \sum_{B'(i,j)\in S_2} B'(i,j) - d_2, \text{ if } \omega'=1. \quad (11)$$

Step 6: Recovered blocks B'' can be obtained according to the parameter υ, pixels x'' and y'' according to following equation:

$$B''(i,j) = \begin{cases} B'(i,j) - \omega' \times \nu, & \text{if } \omega_1 = 0, \\ B'(i,j) + \omega \times \nu, & \text{if } \omega_1 = 1, \end{cases} \quad (12)$$

where $\omega_1 = \mathrm{mod}(d'_{2,2})$.

Step 7: Recovered image I_r is obtained.

TABLE I

Coefficient mode obtaining for each block

k	$k \times k$ block B	S_1	S_2	x	y
2	$b_{1,1}$ $b_{1,2}$ $b_{2,1}$ $b_{2,2}$	$b_{1,1}$	0	$b_{2,2}$	$b_{1,2}$
3	$b_{1,1}$ $b_{1,2}$ $b_{1,3}$ $b_{2,1}$ $b_{2,2}$ $b_{2,3}$ $b_{3,1}$ $b_{3,2}$ $b_{3,3}$	$b_{1,2}$, $b_{2,1}$, $b_{3,2}$, $b_{2,3}$	$b_{1,3}$, $b_{2,2}$, $b_{3,1}$	$b_{1,1}$	$b_{3,3}$
4	$b_{1,1}$ $b_{1,2}$ $b_{1,3}$ $b_{1,4}$ $b_{2,1}$ $b_{2,2}$ $b_{2,3}$ $b_{2,4}$ $b_{3,1}$ $b_{3,2}$ $b_{3,3}$ $b_{3,4}$ $b_{4,1}$ $b_{4,2}$ $b_{4,3}$ $b_{4,4}$	$b_{1,2}$, $b_{2,1}$, $b_{1,4}$, $b_{2,3}$, $b_{4,1}$, $b_{3,4}$, $b_{4,3}$	$b_{1,1}$, $b_{1,3}$, $b_{2,2}$, $b_{2,4}$, $b_{4,2}$, $b_{4,4}$	$b_{3,3}$	$b_{3,2}$

B. Rotation

Rotation is performed using Matlab function 'imrotate'. First, image is rotated with the angle θ. After roation image is re - rotated with the same angle θ to the start position.

3. EXPERIMENTAL RESULTS AND ANALYSIS

A. Experiment

Algorithms are coded and experiment is performed, in Matlab, according following steps:

Step 1: Applying the VWM algorithm on the original image I_0 watermarked image I_w is obtained.

Step 2: Image I_w is rotated with different value of angle, $\theta_{min} = 0^o$; $\Delta\theta = 3^o$; $\theta_{max} = 45^o$. Rotated image I_{wr} is obtained.

Step 3: Image is re-rotated to the strat position. Recovered image I_r is obtained from the re-rotated image, applying the VWM algorithm.

Image is watermarked with the inverse binary watermark image.

Energy of inserting the bit is set on the value $\upsilon = 40$.

As a measure of the quality of the reconstructed image was used Mean Square Error (MSE) and Similarity:

$$MSE = \frac{\sum_{ij}\left(x_{ij} - y_{ij}\right)^2}{M \times N}, \sqrt{b^2 - 4ac} \quad (13)$$

$$Similarity = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{M-1}\sum_{j=1}^{N-1}(A_{i,j} - A'_{i,j})}{\|A\|}, \quad (14)$$

where: $i = 1...M$, $j = 1...N$, $x_{i,j}$ - i,j- pixel of the original image, $y_{i,j}$ - i,j - pixel of the recovered image, $M \times N$ – size of image.

B. Base of experiment and results

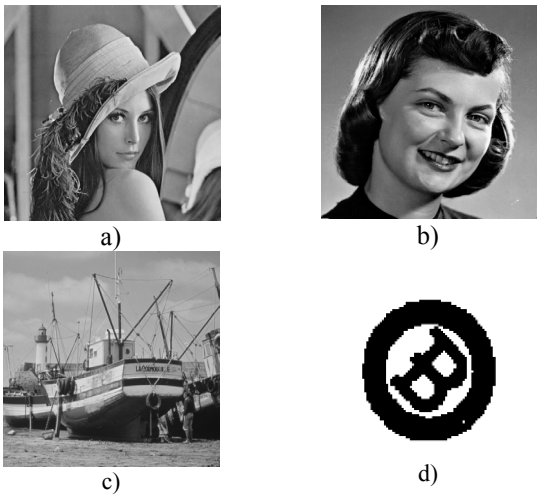
For the purposes of the experiment, the base of standard images: a) Lena, b) Girl and c) Boat was used and d) binary watermark Fig. 1.. Results are obtained from simulations in Matlab.

Fig. 2. shows look of the image Lena after inserting the watermark with $k = 2$: a) after rotation with ange $\theta = 27^o$, b) after rerotation, c) after recovering the image.

Fig. 3. shows look of the image Lena after inserting the watermark with $k = 4$: a) after rotation with ange $\theta = 27^o$, b) after rerotation, c) after recovering the image.

Fig. 4.a and Fig. 4.b shows look of rotated image and re rotated image with sequence of watermarked part, respectively.

Fig. 5. - 10. shows graphs of MSE and Similarity for recovered images, for different value of parameter $k = \{2, 3, 4\}$ and for image with different value of luminance.



a) b) c) d)

***Fig. 1**. Base of images: a) Lena, b) Girl, c) Boat and d) Watermark*

a)

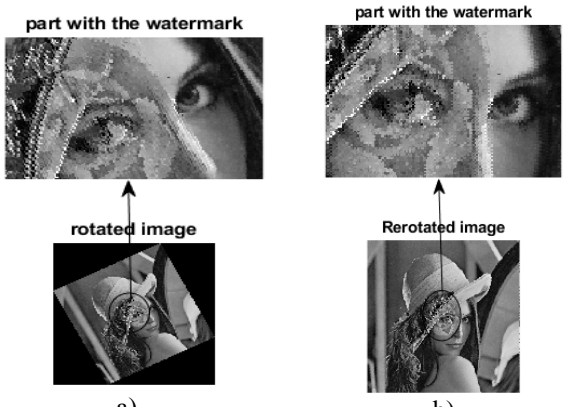
b) c)

***Fig. 2**. Watermarked image Lena with k = 2 and $\theta = 27^o$: a) rotated, b) re-rotated, c) recovered from re-rotated image.*

a)

b) c)

***Fig. 3.** Watermarked image Lena with k = 4 and $\theta = 27^o$: a) rotated, b) re-rotated, c) recovered from re-rotated image.*



a) b)

***Fig. 4.** Watermarked image Lena with k = 2 and $\theta = 27^o$: a) rotated and part with the watermark, b) re-rotated and part with the watermark.*

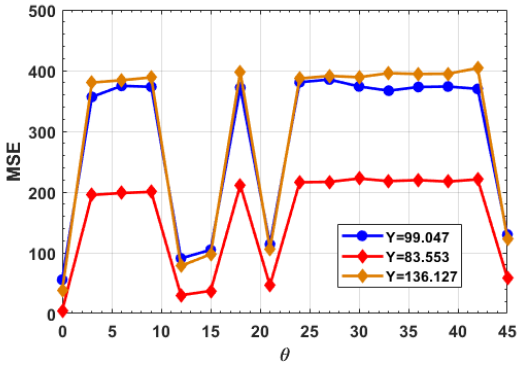


***Fig. 5**. Quality measure MSE for image with different value of luminance and k = 2.*

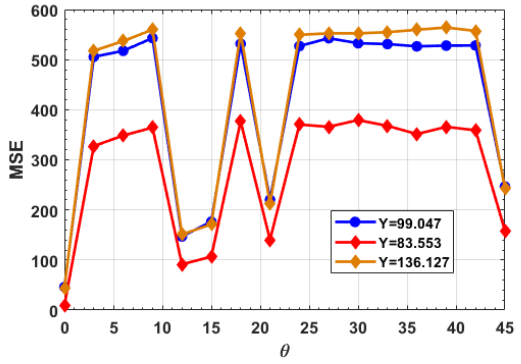


***Fig. 6**. Quality measure MSE for image with different value of luminance and k = 3.*

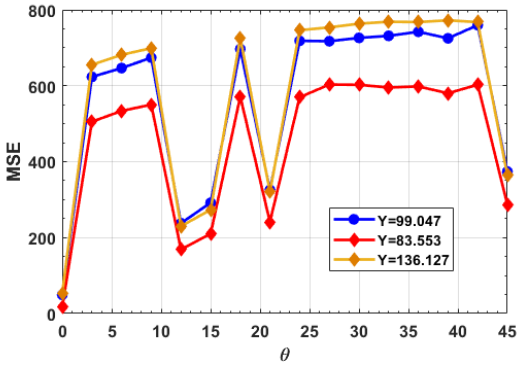


***Fig. 7**. Quality measure MSE for image with different value of luminance and k = 4.*

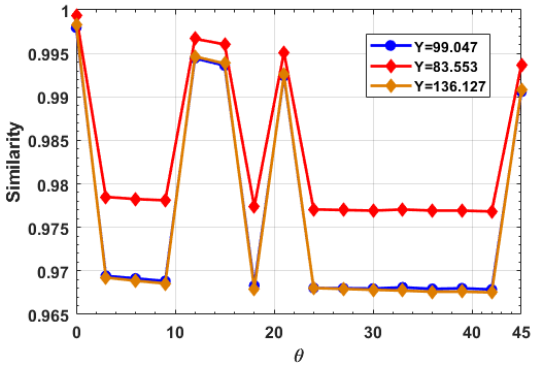


***Fig. 8**. Quality measure Similarity for image with different value of luminance and k = 2.*

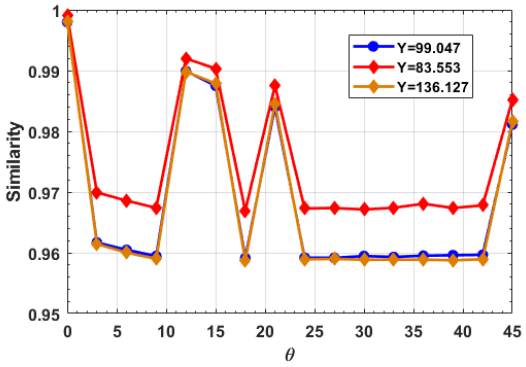


***Fig. 9**. Quality measure Similarity for image with different value of luminance and k = 3.*

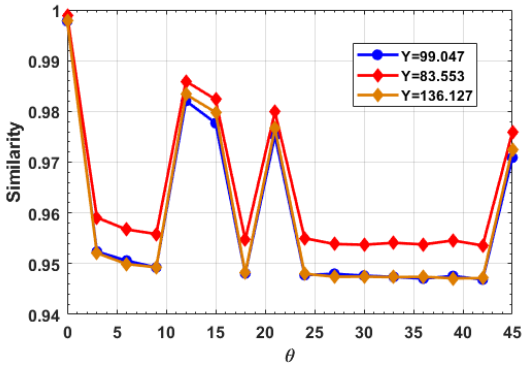


***Fig. 10**. Quality measure Similarity for image with different value of luminance and k = 4.*

C. Analysis

Based on the results shown on fig. 2. and fig. 3. it can be concluded that the rotating the image leads to degradation, and it is difficult to recover the image. Area of image with watermark after recovering is with damage. Based on the figs. 4.a and 4.b it can be concluded that image is more degraded after re - rotation.

Comparing the results presented on figs. 5 - 8 it can be concluded that the MSE is with higher value for $k = 4$. Also it can be concluded for rotation angle $\theta = 12^{o}$ - 15^{o}, $\theta = 21^{o}$ and $\theta = 45^{o}$ MSE is with the lowest value. MSE for this angles, for luminance $Y = 83.553$ and for $k = 2$ is near value of 50, and for block insertion $k = 4$ is near value of 200. For higher value of luminance Y, MSE leads to take higher values.

Comparing the results presented on figs. 8 - 10 it can be concluded that the Similarity is with higher value for $k = 2$. Also it can be cacluded for rotation angle $\theta = 12^{o}$ - 15^{o}, $\theta = 21^{o}$ and $\theta = 45^{o}$ Similarity is with the

higher value. Similarity for this angles, for luminance $Y = 83.553$ and for $k = 2$ is near value of 0.995, for block insertion $k = 4$ is near value of 0.98,. For higher value of luminance Y, Similarity leads to take lower values.

4. CONCLUSION

In this paper we has analyzed VWM algorithm for inserting visible watermark, and effect of the rotation on the the image recovery. Experiment is peroformed in Matlab. For the purpose of experimental analysis of the efficiency of VWM algorithm for recovering image, the image of the inverse binary watermark was used. The watermark is inserted with the energy of insertion $\upsilon = 40$, in blocks size $k = \{2, 3, 4\}$. Rotation angle is varied in the range range $\theta_{min} = 0^o$; $\Delta\theta = 3^o$; $\theta_{max} = 45^o$. After comparing the visual appearance of the image with rotation and re - rotation, it is concluded that the rotated image is with the visual damage, and after the re - rotation damage is higher. Also, the quality measures of MSE and Similarity show that recovered image, after re - rotation is with the low quality. Also, it can be concluded image with higher value of luminance Y is more susceptible on the rotation.

On the basis of the obtained results, it is concluded that the VWM algorithm is very susceptible on the rotation, recovered image after rotation is with the low quality.

REFERENCES

[1] M. S. Kankanhalli, Rajmohan, and K. R. Ramakrishnan, "Adaptive visible watermarking of images," in Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia Comput. Syst., vol. 1. Florence, SC, Jul. 1999, pp. 568–573.

[2] B. B. Huang and S. X. Tang, "A contrast-sensitive visible watermarking scheme," IEEE Multimedia, vol. 13, no. 2, pp. 60–67, Apr.-Jun. 2006.

[3] R. Lukac and K. N. Plataniotis, "Secure single-sensor digital camera," Electron. Lett., vol. 42, no. 11, pp. 627–629, May 2006.

[4] C. H. Huang and J. L. Wu, "Attacking visible watermarking schemes," IEEE Trans. Multimedia, vol. 6, no. 1, pp. 16–30, Feb. 2004.

[5] S. C. Pei and Y. C. Zeng, "A novel image recovery algorithm for visible watermarked images," IEEE Trans. Inf. Forens. Security, vol. 1, no. 4, pp. 543–550, Dec. 2006.

[6] Y. Yang, X. Sun, H. Yang, and C.-T. Li, "Removable visible image watermarking algorithm in the discrete cosine transform domain," J. Electron. Imaging, vol. 17, no. 3, pp. 033008-1–033008-11 Jul.–Sep. 2008.

[7] C.C. Chen, Y.H. Tsai, H.C. Yeh, "Difference-expansion based reversible and visible image watermarking scheme", Multimedia Tools Appl. 76 (6) (2017) 8497–8516.

[8] B. Prlinčević, Z. Milivojević and S. Panić, "Performance of the VWM algorithm in presence of impulse noise", in Proceeding 53rd ICEST'2018, Sozopol, pp.351-354, ISSN: 2603-3259.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИНДУСТРИАЛНИ МРЕЖИ В АДАПТИВНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ

Григор Михайлов, Ивайло Стоянов, Теодор Илиев, Елена Иванова
Висше училище по телекомуникации и пощи
Русенски университет „Ангел Кънчев“

APPLICATION OF INDUSTRIAL NETWORKS IN SMART GRID

Grigor Mihaylov, Ivaylo Stoyanov, Teodor Iliev, Elena Ivanova
University of Telecommunications and Posts
University of Ruse "Angel Kanchev"

Abstract

The article proposes the application of industrial networks in smart grid system that is connected to a common information system. In this article is presented design for modelling of a Smart Grid (SG) using a photovoltaic power source and supplying a data server. In the proposed SG design, it is aimed to make the operation of the system as simple as possible from the viewpoint of controls and communication using intelligent communication and control devices. Thus, the users can get feedback on their energy consumption, which allows them the opportunity to optimize their energy behaviour. For this purpose, we use the common industrial network.

Keywords: Industrial Network; Smart Grid System; Architecture Levels.

ВЪВЕДЕНИЕ

През последните години все повече навлизат така наречените интелигентни (адаптивни) електроенергийни мрежи (Smart Grid, Smart Electric Grid, Smart Power Grid, Intelligent Grid) SG [1, 2]. Същността на smart grid системите е измервателните устройства да имат възможност за отдалечен мониторинг и контрол. По този начин потребителите могат да контролират и управляват собствената си енергийна консумация, мрежовите оператори да планират по-добре използването на инфраструктурата и балансирането на електроенергийната система.

Според Директива за електроенергията (2009/72/ЕО) най-малко 80% от потребителите следва да бъдат оборудвани с интелигентни измервателни уреди до 2020 г. Тази цел подлежи на икономическа оценка с отчитане на всички дългосрочни разходи и ползи, която следва да бъде изготвена от всяка държава-членка [3].

Функционалността на интелигентните измервателни уреди зависи от съответното устройство, но всички те имат някои общи характеристики. Обикновено устройствата изпращат информация чрез интернет.

Преносът на цифрови данни изисква употребата на съединители (конектори) и предварително изработени кабелни връзки. Това облекчава изграждането на електрически уредби, намалява грешките при свързване на проводници и опростява техническото обслужване.

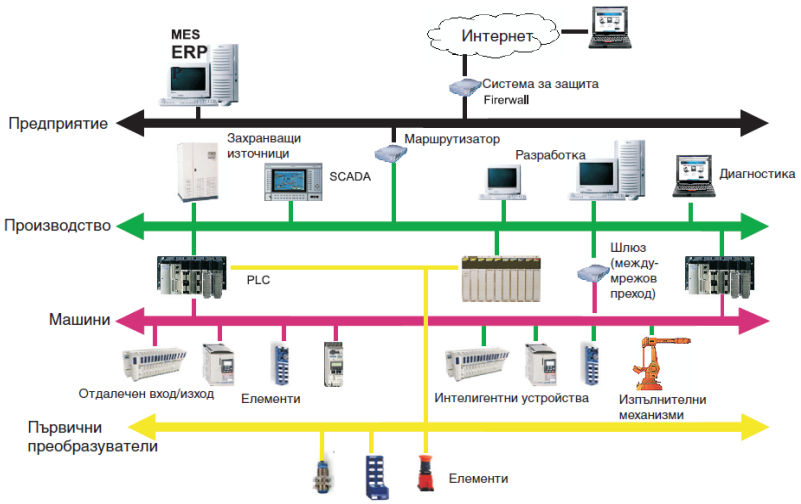
Целта на настоящата статия е да се анализа приложението на стандартните информационни технологии, прилагани в smart grid системи.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Комуникационните мрежи се появяват постепенно, първоначално като шини за последователен (сериен) обмен на информация. Преносът на данни е формализиран във вид на протокол, т.нар. Modbus (1979 г.,

съкратено от MODicon BUS), приет за стандарт за обмен на данни в индустрията [4].

През последните години много широко се разпространяват полеви шини (фиг. 1).



***Фиг. 1**. Обща архитектура на полева шина*

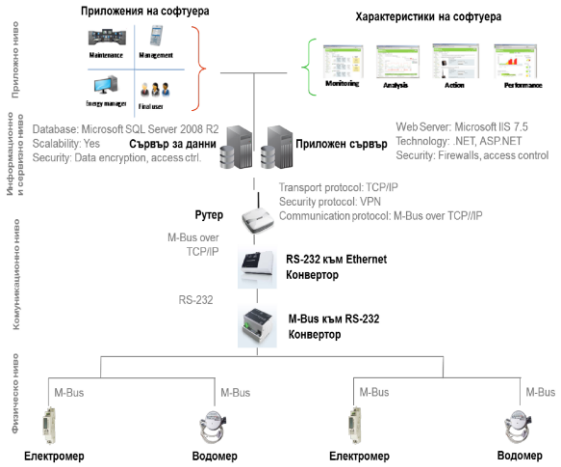
Те са в основата на архитектурата на система за автоматизация на технологични процеси. Полевите шини са мощно средство за обмен на информация, мониторинг и диагностициране на включените към тях устройства. Те постепенно предизвикват преоценка на системата за автоматизация на технологичните процеси [5]:

- отпадане на необходимостта от традиционното проводниково включване на отдалечени устройства към входа и изхода;
- използване на разсредоточени или концентрирани входно-изходни интерфейси;
- изграждане на децентрализирана и разпределена система за управление;
- връзка с интернет.

В практиката, с отчитане изискванията на потребителите, на технологичните възможности и на изискванията на стандартите, се различават четири нива в архитектурата на системите за управление. Те са обединени от промишлени мрежи както в границите на всяко ниво, така и между отделните нива [6].

На фиг. 2 е представена концептуална схема на изградената интелигентна измервателна система в жилищния блок. Отделните устройства са разделени в четири нива (според техните функционални особености [7, 8].

- *Физическо ниво* – на това ниво се извличат данните от различните измервателни устройства (табл. 1);
- *Комуникационно ниво* – гарантират високо ниво на защита от злоупотреба с данните, чрез използването на стандартни мрежови протоколи и интерфейси (табл. 2);
- *Информационно и сервизно ниво* – използва се за предоставяне на услуги на други външни приложения, управление на информацията в базите данни и системна администрация;
- *Приложно ниво* – отговаря за управлението на взаимодействието на потребителя със системата.



***Фиг. 2**. Схема на адаптивна мрежа*

Може да се приеме, че основните характеристики на изискванията за всички нива са [9]:

- обмен на информация при предаване;
- необходимо време за реакция.

Таблица 1

Описание на измервателното оборудване

Устройство	***Характеристики***
Електромер	тип DHZ-WS, интерфейс M-Bus,
Водомер	тип WZ-M интерфейс M-Bus

Таблица 2

Описание на комуникационното оборудване

Устройство	***Комуникационна функция***
Преобразувател M-Bus - RS232	тип Gineers MBRS-64; Комуникационни интерфейси: RS232, M-Bus,Функция: преобразува M-Bus сигнала към RS232 и осигурява електроснабдяването на вторични устройства
Преобразувател - RS232-Ethernet	тип Gineers MBET-2; Комуникационни интерфейси : RS232, RJ-45, Функция: преобразува M-Bus сигнала от RS232 към Ethernet и обратно

За предаване на информация и обмен между възлите се използва програмна топология. В тази връзка се различават следните видове топологии:

- шинна;
- звездообразна;
- дървовидна
- кръгова;
- клетъчна;
- интегрирана.

Протоколът за връзка определя комплекса от правила за даден тип комуникация.

Моделът OSI (Open System Interconnection – модел на взаимодействие на открити системи) е регламентиран от ISO чрез публикуване на стандарт ISO 7498 (БДС ISO/IEC 7498-1), който дефинира информационни технологии, взаимосвързване на отворени системи и основен еталонен модел. В този модел съвкупността от мрежови протоколи е разделена на седем части, наричани слоеве на OSI модела и номерирани с цифрите от 1 до 7. OSI слоевете използват следните принципи:

- всеки слой трябва да изпълнява точно определени функции, независимо от останалите;
- всеки слой предоставя обслужване на горно разположения слой;
- слой 7 осигурява обслужване на потребителя или приложение;
- на всеки слой, освен първия, е необходим обслужващ слой, разположен непосредствено под него;
- слой 1 описва канала за връзка.

Използването на Интернет и широкото разпространение на Ethernet в бизнес системите на предприятията го превръщат в много голяма степен като задължителен стандарт за комуникация.

Използването на протокола Modbus в индустрията осигурява ниска стойност на предлаганото решение и лесно адаптиране на приложно ниво.

CANopen – промишлена версия и надстройка на шината CAN (Controller Area Network), разработена за автомобилния сектор.

As-Interface – определя протокола на мрежата за ниво сензори и изпълнителни механизми, който отговаря на изискванията на промишлената автоматизация.

Успешното развитие на Ethernet предизвика появата на стандарта IEEE 802.3, който определя характеристиките на физическите нива.

Транспортните протоколи TCP и UDP се използват в много приложения. Инструкциите в тях използват различни номера на портовете. Modbus TCP използва инструкциите на TCP. UDP може да бъде използван за включване на Factorycast.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният материал демонстрира приложението на индустриалните мрежи в интелигентните електроенергийни системи. Тя включват съвременни измервателни устройства, изградени от първични преобразуватели, измервателно устройство и комуникационен модул за връзка с компютър.

Предложена е структурна схема на интелигентна измервателна система за от-далечен мониторинг на електропотреблението,

използващи стандартизирани протоколи и интерфейси за комуникация между отделните устройства и апарати на интелигентната измервателна система.

Представени са данни за предимствата и недостатъците и областите на приложение на най-често използваните комуникационни протоколи.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящият материал е изготвен с финансовата помощ на проект №НИД-13/03.04.2018 "Изграждане на инфраструктура за учебна и научноизследователска работа във ВУТП чрез създаване на лаборатория по Системи за видеонаблюдение" от Висше училище по телекомуникации и пощи, София.

REFERENCE

[1] Kazandzhiev, A. Architecture of Intelligent Telecommunication Network. Scientific conference – 30 years FMI, Plovdiv university "Paisii Hilendarski, Пловдив, 3-4.11.2000 http://fmi.uni-plovdiv.bg/GetResource?id=618 (in bulgarian)

[2] MODBUS® Protocol http://www.modbus.org/

[3] BDS ISO/IEC 7498-1:2003. Information Technology. Interconnection of open systems. Basic reference model. Basic model. (in bulgarian)

[4] OSI (Open Systems Interconnection) Reference Model. http://ecomputernotes.com/.

[5] Council Directive 92/75/EEC of 22 September 1992 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by household appliances". Europa (web portal). Retrieved 24 April 2011.

[6] L. Ardito, G. Procaccianti, G. Menga and M. Morisio, "Smart Grid Technologies in Europe: An Overview", Energies 2013, 6, 251-281; doi:10.3390/en6010251, available online at http://www.mdpi.com/journal/energies.

[7] Liu, C-C., A. Stefanov, J. Hong, P. Panciatici, "Intruders in the Grid", IEEE Power and Energy magazine, Vol. 10, No. 1, Jan/Feb 2012, pp. 58-67.

[8] Stoyanov, I., Iliev, T., Mihaylov, G., Ivanova, E., Kogias, P., "Smart Grid Communication Protocols in Intelligent Service for Household Energy Use", Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, 2018, pp. 380-389.

[9] Stoyanov, I., Iliev, T., Mihaylov, G., Evstatiev, B., Sokolov, S., Analysis of the cybersecurity threats in Smart grid, 2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 25-28 Oct 2018, Ia ș i, Romania, pp. 1-4

ПРИЛОЖЕНИЕ НА НОВИ МОДУЛАЦИОННИ СХЕМИ В 5G МОБИЛНИ МРЕЖИ

Григор Михайлов, Теодор Илиев, Ивайло Стоянов, Елена Иванова
Висше училище по телекомуникации и пощи
Русенски университет „Ангел Кънчев“

APPLICATION OF NEW MODULATION SCHEMES IN 5G MOBILE NETWORKS

Grigor Mihaylov, Teodor Iliev, Ivaylo Stoyanov, Elena Ivanova
University of Telecommunications and Posts
University of Ruse "Angel Kanchev"

Abstract
The modulation schemes used for 5G will have a major impact on performance. Whilst there are requirements to ensure that the data rates needed can be carried and the 5G modulation schemes performance issues including peak to average power ratio, spectral efficiency, and performance in the presence of interference and noise need to be included in any decisions made. The parameters like efficiency in spectrum utilization, complexity and robustness of these waveforms are compared to OFDM which is being used in 4G.

Keywords: Modulation; OFDM; FBMC; GFDM.

ВЪВЕДЕНИЕ

5G мрежите трябва да поддържат не само огромен брой потребители, но и различни типове потребители, които имат различни изисквания. Традиционният OFDM вече не може да удовлетвори тези изисквания, поради което са необходими нови модулационни техники с много по-ниско излизането извън обхвата. Новите техники за модулация за 5G мрежите понастоящем трябва да обмислят съвместимост с традиционните OFDM системи, но също така трябва да предлагат такива характеристики, за да отговорят на новите предизвикателства.

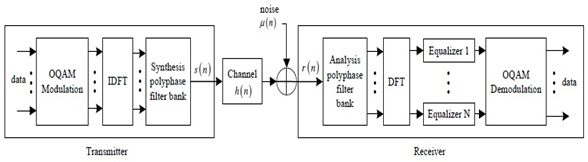
Целта на настоящата статия е да се анализа приложението на нови модулационни схеми в следващото поколение мобилни клетъчни мрежи, предоставящи подобрена производителност и масивна свързаност с подобрена спектрална ефективност.

МОДУЛАЦИИ ВЪЗ ОСНОВА НА ИМПУЛСНО ОФОРМЯНЕ

Импулсното оформяне, което също се разглежда като филтриране на базата на подносещи, може ефективно да намали отклонението от поддиапазона. Според принципа на Хайзенберг-Габор, времето и честотната ширина на импулсите не могат да бъдат намалени едновременно. Следователно, формите на вълната, базирани на оформяне на импулси, обикновено не са ортогонални както във времеви, така и в честотни домейни. В сравнение с традиционния OFDM, структурата на предавателя, поддържаща импулсна модулация, е посложна. Тук се въвеждат две типични модулации, базирани на импулсно оформяне, т.е. Filter Bank Multi Carrier (FBMC) и Generalized Frequency Division Multiplexing (GFDM). [1]

FBMC

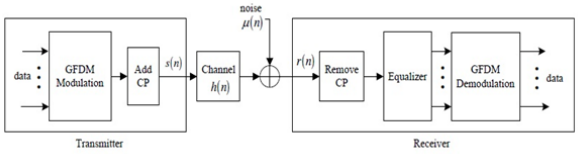
Както е показано на фигура 1, FBMC се състои от IDFT и DFT, синтез и анализ на многофазни филтърни групи. Прототипният филтър в FBMC изпълнява оформянето на импулсите. С правилно проектиран прототипен филтър като IOTA и OQAM структурата, смущенията от близките припокриващи се символи, причинени от съвместимия приемник на филтър (MF), стават чисто въображаеми, което може лесно да бъде отменено. [2]



Фиг. 1. *Filter Bank Multi Carrier модулация*

GFDM

Фигура 2 показва блокова диаграма на GFDM. OFDM и мултиплексирането с единно носещо честотно деление (SC-FDM) могат да се разглеждат като два специални случая на GFDM. Уникалната характеристика на GFDM е да се използват кръгови изместени филтри, а не линейни филтри, които се използват в FBMC, за да се извърши оформяне на импулси. [3]



Фиг. 2. *Generalized Frequency Division Multiplexing*

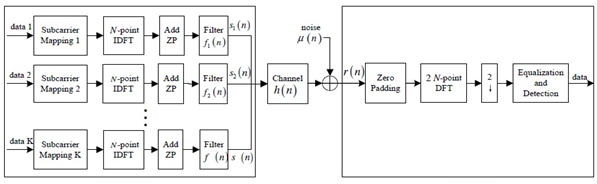
Освен FBMC и GFDM, други модулации, базирани на импулсни оформяния, като импулсни OFDM и QAM-FBMC, също са предложени за 5G мрежи. Обикновено модулациите, базирани на оформяне на импулси, се опитват да ограничат предавателните сигнали в тясна честотна лента и по този начин да смекчат отклонението от основната лента, така че да могат да работят в асинхронни сценарии с тесен защитен обхват. FBMC също така използва OQAM, за да постигне ортогоналност в реално време. [4] В допълнение, кръговите изместени филтри в GFDM избягват дългата опашка на линейните филтри във времевата област, което прави GFDM годен за случайно предаване. Освен това GFDM е лесно съвместима с технологиите MIMO.

МОДУЛАЦИИ ВЪЗ ОСНОВА НА ФИЛТРИРАНЕ НА ПОДЛЕНТА

Филтрирането на подлента е друга техника за намаляване на излизането извън обхвата. Universal filtered multicarrier (UFMC) и филтрираният OFDM (f-OFDM) са две типични модулации, базирани на филтриране на подлента.

UFMC

Фигура 3 показва предавателя и приемните структури на UFMC. В UFMC поддиапазоните са с еднакъв размер и всеки филтър е изместена версия на същия прототипен филтър. OFDM се прилага в подлента за тази модулация, както е показано на фигурата. Тъй като честотната лента на филтъра в UFMC е много по-широка от тази на модулациите въз основа на оформянето на импулсите, дължината във времето е много по-къса. [5]



Фиг. 3. *Universal filtered multicarrier*

f-OFDM

f-OFDM има подобна структура на предавателя като UFMC. Основната разлика е, че f-OFDM използва цикличен префикс (CP) и обикновено позволява остатъчна интерсимволна интерференция. Следователно, в приемника се прилага децимация. Освен това, понижаването може да се приложи преди операцията DFT, която може значително да намали сложността, тъй като CP може да смекчи повечето от смущенията, причинени от опашката на филтъра; остатъчната интерференция е с много по-ниска мощност и може да се третира като шум. По този начин филтърът в f-OFDM може да бъде по-дълъг от този в UFMC и има по-

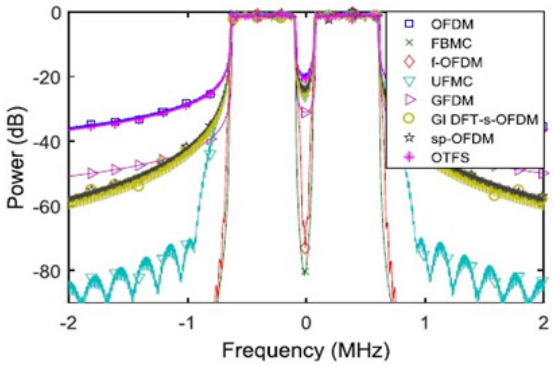
добро отслабване извън лентата. С помощта на ефективно кодиране на каналите намаляването на производителността, причинена от остатъчната интерференция в f-OFDM, може да бъде незначителна. Друга разлика от UFMC е, че разстоянието на подножието и дължината на CP не трябва да бъдат еднакви за различните потребители в f-OFDM. Най-широко използваният филтър в f-OFDM е мекият скъсен филтър, който може лесно да се използва в различни приложения с различни параметри. Освен UFMC и f-OFDM са предложени и други модулации, базирани на филтриране на поддиапазони. [6] Като пример може да се даде ресурсният блок f-OFDM (RB-f-OFDM) използващ филтри, базирани на ресурсен блок вместо цялата лента от потребители в f-OFDM. По принцип модулациите, базирани на филтрирането на подлента, могат ефективно да намалят изтичането на OOB и да постигнат по-добри резултати в сравнение с традиционните OFDM.

СРАВНЕНИЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА РАЗЛИЧНИТЕ МОДУЛАЦИИ

Сравнява се спектралната плътност на мощността (Power Spectral density-PSD) и честотата на битовите грешки (Bit-error rate-BER) на различни модулации, при които широчината на честотната лента е 15,36 MHz, размерът на DFT е 1024, като всеки от двамата потребители заема 36 подносители, а защитната лента съдържа 12 подносители.

PSD

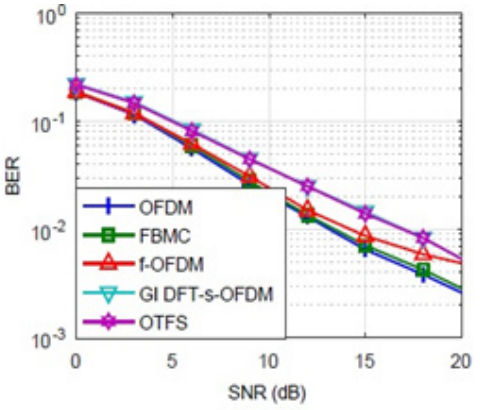
Потискането на излизането от подлентите е ключова цел за повечето предлагани методи на модулация за 5G мрежи. PSD на някои модулации са показани на фигура 4. От фигурата всички модулации постигат много по-малко отклонения в сравнение с традиционните OFDM. Сред тях UFMC прилага филтриране на поддиапазони и също така има ниски отклонения, а FBMC и f-OFDM имат най-малко отклонение. GFDM, GI DFT-s-OFDM и SP-OFDM, въпреки че не намаляват отклонението, както FBMC и f-OFDM, все пак могат да постигнат много по-добри резултати от традиционния OFDM. [7]



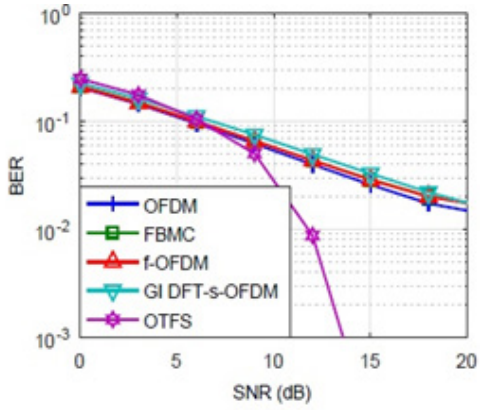
Фиг. 4. *Спектралната плътност на мощността*

BER

За да се намали излизането от подлентите, много модулации използват техники, като оформяне на импулси и филтриране на субдиапазони, което може да въведе ISI и ICI.



(a) $f_d = 0$ Hz



(b) $f_d = 300$ Hz

Фиг. 5. *Вероятност за поява на битова грешка*

Фигура 5 показва ефективността на BER спрямо съотношението сигнал/шум (SNR), при $f_d = 0$ и $f_d = 300$Hz. От фигура 5(a), традиционният OFDM има най-добро представяне, когато Доплеровото разпространение

е нула (f_d = 0), тъй като ISI, причинени от многопътното разпространение на сигнала, е напълно отстранено. Тъй като честотната лента на всяка подносеща е достатъчно малка, за да направи съответния канал приблизително плосък, ISI, въведен чрез оформяне на пулса в FBMC, е почти въображаем. Следователно, FBMC е приблизително ортогонална в реалния домейн и постига добра BER производителност. Ефективността на UFMC, GFDM и SP-OFDM е подобна на тази на FBMC, която леко се влошава поради засилването на шума и ниското прожектиране. Обаче, f-OFDM въвежда допълнителен ISI, който не може да бъде напълно отменен, и в резултат има малко по-лоши резултати, особено в областта на високия SNR. [8] Тъй като е трудно да се оцени и проследи бързо канала за бързо затихване, ефективността на повечето модулационни схеми се разгражда значително, както е показано на фиг. 5(b). Въпреки че OTFS все още може да постигне добри резултати поради специфичния си метод за оценка на канали. Освен това представянето в сценария за висока мобилност е дори по-добро от това в сценария на нулевия Доплеров ефект.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пътят до 5G може да изглежда като подобрение и мащабиране на настоящите 4G технологии с добавянето на няколко нови компонента, но комбинацията от значими подобрения в ключови области заедно с няколко нови компонента може да повиши цялостния опит на потребителите до ново ниво, която наистина е достойна за обозначаването на 5G.

Представени са нови модулации за ортогонално разпространение на сигналите, които намаляват излизането от подобхвата. Бъдещите насоки на колектива ще се фокусират върху не-ортогоналното разпространение на сигнали, което е един обещаващ подход. Чрез използването на неортогоналност 5G мрежите ще могат да осигурят подобрена производителност и масивна свързаност с подобрена спектрална ефективност.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящият материал е изготвен с финансовата помощ на проект №НИД-13/03.04.2018 “Изграждане на инфраструктура за учебна и научноизследователска работа във ВУТП чрез създаване на лаборатория по Системи за видеонаблюдение” от Висше училище по телекомуникации и пощи, София.

REFERENCE

[1] Fundamentals of 5G Mobile Networks /Edited by Jonathan Rodriguez/

[2] Network Densification: The Dominant. Theme for Wireless Evolution into 5G /Naga Bhushan, Junyi Li, Durga Malladi, Rob Gilmore, Dean Brenner, Aleksandar Damnjanovic, Ravi Teja Sukhavasi, Chirag Patel, and Stefan Geirhofer, Qualcomm Technologies, Incorporated/

[3] Marko Höyhtyä, Olli Apilo and Mika Lasanen „Modulation and Multiple Access for 5G Networks“ - Yunlong Cai, Zhijin Qin, Fangyu Cui, Geoffrey Ye Li, and Julie A. McCann

[4] Sadinov S., Simulation Study of M-ARY QAM Modulation Techniques using Matlab/Simulink, 40th jubilee international convention on information and communication technology, electronics and microelectronics – MIPRO 2017 CTI, May 22 - 26, 2017, Opatija, Croatia, pp.704-711;

[5] Coordinated control and spectrum management for 5G heterogeneous radio access networks (COHERENT), EU H2020 5G-PPP project, website http://www.ict-coherent.eu/.

[6] COHERENT: Coordinated Control and Spectrum Management for 5G Heterogeneous Radio Access Network, Deliverable 2.2 “System Architecture and Abstractions for Mobile Networks”, (2016)

[7] B. Han, P. Hui, V. Kumar, M. V. Marathe, G. Pei, A. Srinivasan „Cellular Traffic Offloading through Opportunistic Communications”: A Case Study, ACM CHANTS, (2010)L. Ardito, G. Procaccianti, G. Menga and M. Morisio, “Smart Grid Technologies in Europe: An Overview”, Energies 2013, 6, 251-281; doi:10.3390/en6010251, available online

at http://www.mdpi.com/journal/energies.
[8] P. D. Diamantoulakis, K. N. Pappi, Z. Ding, and G. K. Karagiannidis, „Wireless powered communications with non-orthogonal multiple access," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 15, no. 12, pp. 8422-8436, Dec. 2016

BLIND WATERMARKING SCHEME IN CHROMINANCE CHANNEL BASED ON SVD AND BIT-PLANE DECOMPOSITIONS

Zoran Veličković[1], Zoran Milivojević[1], Marko Veličković[1]
[1] *College of Applied Technical Sciences, Niš, Serbia*

Abstract

This paper presents the protection of a digital video from copying by inserting a watermark into its contents. Inserting the watermark was performed in the uncompressed domain of the chrominance of the video frame in order to make the interference caused by insertion less visible. The proposed algorithm is based on the specifics of the SVD applied to the block size of 4x4 pixels and belongs to the class of blind algorithms. In the video frames, the components of the black-and-white watermark, which are obtained by bit-plane decomposition, are cyclically inserted. On the receiving side, the extracted watermark components are combined in order to form the black and white watermark. The presented algorithm enables high quality watermark extraction with slightly degradation of video content. The extraction process does not require knowledge of the original content of the video and watermark. The proposed algorithm can be efficiently used to protect video from copying and illegal distribution.

Keywords: Bit-plane, Watermarking, Video, SVD, YUV color format.

INTRODUCTION

High network bandwidth, reduced packet latency as well as modern communication protocols of new generation networks have enabled the exchange of quality multimedia content. Exposing private multimedia content on the network, such as audio messages, photos and video content, has resulted in abuse and increased security risks [1]. Classical information security systems based on message encryption are not applicable to multimedia content. The enormous amount of data to be transmitted when exchanging multimedia content disables the efficient operation of classical cryptographic algorithms in real time. An even greater drawback of standard cryptographic techniques is that they protect multimedia content only during transfer through communication channels. The problem with this information security concept is that on receiving, for reproduction, multimedia content must be decrypted, which potentially make them unsafe. In order to prevent the illegal use and leak of private media information, numerous techniques have been developed to protect these content. Inserting invisible secret information (watermark) in multimedia content is often used technique in order to increase information security on the Internet. In addition to using multimedia copy protection [2], watermark techniques can also be used for personal biometric identification [1] as well as for checking the integrity of multimedia content. The watermark can have a form of color image, black-and-white (grayscale) images, or binary images. In this paper, several different binary images are inserted into the multimedia content obtained by the decomposition of the black and white watermark [3].

The main problem with this protection concept is that inserting a watermark leads to interference in multimedia content. A stronger inserted watermark results in a reduction the quality of multimedia content, but it ensures the extraction of a higher quality watermark. On the other hand, the weakly inserted watermark less degrades the quality of the multimedia content, but does not provide high-quality watermark extraction [1], [3]. In order for the watermark to be used in the process of proving ownership, extraction of a high quality watermark from a protected multimedia content is necessary. Clearly, these are two opposing requirements that the multimedia content algorithm must reconcile. In the continuation of this paper, basic color models of video, SVD and bit-plane decomposition of

the bit of mapped images are shown. The insertion model, or the extraction of a decomposed watermark into multiple frames in the color domain of video, is an algorithm recommended in this paper. Evaluation of the proposed method was carried out and the obtained results were analyzed. In the last section, certain conclusions and recommendations were made.

BACKGROUND

Watermarking techniques can be implemented in different information domains. Thus, secret information - a watermark can be inserted into a spatial domain, one of a number of transformation domains, or a chaos domain. In order to improve the characteristics of individual watermarking algorithms, hybrid models are often used to combine the good properties of two or more information domains. If watermark extraction methods require original video content or the original watermark is called nonblind methods [4]. Unlike nonblind methods, blind methods do not require the possession of original content.

In spatial methods, the watermark is inserted directly into the values of samples of multimedia content. Transformation techniques for inserting a watermark are significantly more resistant to malicious attacks than spatial methods, and in particular attempts to remove or replace the watermark in multimedia content. Video content is multimedia information whose protection is considered in this paper. Inserting a watermark can also be performed in an uncompressed and compressed video domain.

Color models of video

Due to its universal application (independent of the selected transformation domain), in this paper, an uncompressed video domain and a hybrid model consisting of YUV and SVD transformations are used to insert a watermark.

Because knowledge of the content of the watermark can be compromising, the watermark is encrypted before being incorporated into multimedia content [5].

Researchers have developed the largest number of methods for inserting a watermark into images that can also be applied to video content. However, due to its specificity with regard to the images, the video provides an expanded possibility of inserting a watermark. Since the video consists of a series of frames (pictures), inserting the same watermark can be done in each frame. In the extraction process, a redundant array of watermarks is available which can be used to repair it [5]. In this paper, the idea of inserting different binary watermarks into different video frames is used. If a watermark decomposition is performed on multiple bit-planes [3], [6] then each plane of decoded watermark can be inserted into different frames. Each bit plane represents a single binary watermark, which together with the other seven make a black and white watermark. Inserting the bit level is repeated cyclically in the next video frames, which ensures redundancy and the ability to repair an extracted watermark. On the receiving side, after the extraction of all bit-planes, the original watermark can be arranged. In this way, the resistance of the inserted black and white watermark is increased, especially in the mobile environment. The basic idea is to make protected video more resistant to packet loss, which is a common phenomenon in the mobile environment [7], [8]. In addition, the resistance of protected video to frame dropping attacks has increased.

Color images can be modeled by different color systems, and most commonly in RGB, CMY and YUV models. The YUV color model is represented by three components: luminance (Y) and two chrominance components (U and V). The statements establish the connection between RGB and YUV components:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

$$U = 0.564(B - Y) \quad (2)$$

$$V = 0.713(R - Y). \quad (3)$$

In this color model, the Y component is a black-and-white image, so that by simply adding chrominance components (U and V) it can be transformed into a color image. In this paper, the binary watermark is inserted into uncompressed video content in the chrominance channel. The idea of inserting into the chrominance channel is inspired by HVS (Human Visual System) and less

noticeable degradation of protected video is expected.

SVD decomposition

In the linear algebra SVD (Singular Value Decomposition) [8], [9], [10], [11] is an algorithm for decomposing a rectangular matrix A with dimensions n × m on three matrices:

$$\mathrm{A} = \mathrm{U} \times \mathrm{S} \times \mathrm{V}^T \quad (4)$$

where $\mathrm{A} \in \mathrm{R}^{(\mathrm{n}\times\mathrm{m})}$, $\mathrm{U} \in \mathrm{R}^{(\mathrm{n}\times\mathrm{n})}$, $\mathrm{S} \in \mathrm{R}^{(\mathrm{n}\times\mathrm{m})}$ and $\mathrm{V} \in \mathrm{R}^{(\mathrm{m}\times\mathrm{m})}$. Matrices U and V are orthogonal matrices ($\mathrm{UU}^{\mathrm{T}} = \mathrm{I}, \mathrm{VV}^{\mathrm{T}} = \mathrm{I}$), and the columns of these matrices are called left singular vectors. The matrix, S is a diagonal matrix, known as the matrix of singular values. If r is the rank of the matrix A, then the elements of the matrix S satisfy the following relation:

$$s_1 \geq s_2 \geq \cdots s_r \geq s_{r+1} = s_{r+2} = \cdots = s_n = 0 \quad (5)$$

then matrix A can be represented as follows:

$$A = \sum_{p=1}^{r} s_p u_p \, v_p^T \quad (6)$$

where u_p and v_p represent the p-th eigenvalues of the matrices U and V, while s_p is p-th singular value. Singular vectors determine the matrix A geometry, while singular values specify the energy (image illumination) of the matrix A. If matrix A presents a single video frame, then a series of similar matrices can represent a video. The most important characteristics of the SVD transformation are the invariance to the transposition, scaling, rotation, and replacement of columns of matrix types A. This method of decomposition of the frame was applied in previous works [5], [6], [7] when watermark was inserted in a frame.

SVD decomposition of small blocks

If we consider a 4×4 pixel matrix representing a small block of video frames, some specificities can be noticed. First, it is assumed that within this block there is no significant change in the illumination of adjacent pixels, which means that the singular values of the matrix will have a good stability even when the pixels are disposed. Although the elements of the matrices U and V can be arbitrarily assigned to SVD decomposition, it is common that the elements of the first column of the matrix U always have the same sign. This is often the source of the problem when using the SVD decomposition [12]. Thus, for example, in the Matlab software package, the same sign assignment in all versions is not retained.

Another important feature of matrix U is that in addition to having all the elements of the first column have the same sign, the difference between them is very small [10]. This conclusion is particularly pronounced in small blocks. The analysis of the elements of the matrix U determined that the smallest difference between the elements $U_{2,1}$ and $U_{3,1}$. This conclusion applies both to blocks belonging to border regions and to blocks belonging to uniform picture regions. This matrix U property is used to insert one bit of watermark into a frame, as it does not cause significant degradation of the original content. To apply this idea, before inserting, the video frame is divided into a series of non-overlapped blocks of 4×4 pixels. It is clear that this method of inserting the watermark has a limitation on the capacity of the inserted bits. When inserting a watermark using standard SVD decomposition on a whole frame this was not the case.

Inserting the watermark in the U matrix is based on modifying the elements $U_{2,1}$ and $U_{3,1}$ to define their mutual relationship. If a positive difference between these elements is created, a logical one is inserted, that is, if a negative difference between these elements is created, the logical zero is inserted. The details of the algorithm for inserting and extracting the watermark will be shown in a separate section.

In this way, the bits that belong to the binary watermark can be effectively inserted into the frame.

Bit-plane watermark decomposition

In this paper, the SVD concept for inserting black and white watermarks above which the bit-plane decomposition was previously executed is used. The following section shows the concept of bit-plane decomposition.

The standard way of storing uncompressed black and white images is in the form of a matrix dimension m × n. The elements of this matrix represent the illumination of each individual pixel of the watermark. The matrix

elements in this case are non-negative integers *d* that can be represented in the binary position with *k* bits:

$$d = \sum_{l=1}^{k} b_i \, 2^{l-1} \qquad (7)$$

For a monochrome image, the pixel values are in the range 0≤ d ≤ 255 so that each pixel value can be represented by an 8-bit binary number (k=8). The expression (7) allows decomposition of the black and white image into eight bit-levels. One bit-plane is formed from the corresponding weight bits of all the pixels of the watermark. Thus, *i*-th bit is formed from the *i*-bits of all pixels of the stamp. In this way, the required capacity of the insertion method can be reduced. On the other hand, the decomposition of the watermark into several bit-planes allows the insertion of individual bit-planes of the watermark in several video frames. Watermark dissemination in eight video frames will favorably affect the identification of a watermark in the event that some of the frames are lost or degraded. It is also possible to combine multiple bit-planes into a single bit-plane, which can further reduce the insertion capacity [8].

PROPOSED METHODOLOGY

Inserting a watermark in the chrominance video channel - BLIND SVD

Step $\mathbf{I_1}$: Execute the bit-plane decomposition of the black and white watermark $W_{m\times n}$. In order to perform the decomposition of the watermark into eight bit planes, one should first present the values of all the watermark pixels w_i and the corresponding binary values $b_{i,k}$ in the following way:

$$b_{i,k} = \left\lfloor \frac{w_i}{2^{k-1}} \right\rfloor mod\ 2, \quad k = 1, 2, \dots, 8; \qquad (8)$$
$$i = 1, 2, \dots, m \times n$$

In the expression (8) the w_i symbol is represented by the *i*-th pixel of the black-and-white (grayscale) watermark. The $b_{i,k}$ designation presents the 8 binary binary value of the *i*-th pixel. The bit plane to the watermark W^k forms from all *k* bits of all pixels of the watermark.

$$W^k = b_{i,k} \qquad (9)$$

Step $\mathbf{I_2}$: The chrominace component U from the uncompressed video frame is divided into non-overlapped blocks $H_{i,j}$ of 4×4 pixels.

Step $\mathbf{I_3}$: For each block $H_{i,j}$ from the U component, perform the SVD decomposition:

$$H_{i,j} = U_{i,j} \times S_{i,j} \times V_{i,j}^T \qquad (10)$$

Step $\mathbf{I_4}$: Modify the elements from the second and third columns of the first row of each U(i, j) of the matrix (elements $u_{2,1}$ and $u_{3,1}$) based on the value of each individual bit *w* from the corresponding bit level as follows:

$$if\ \ w = 1, \begin{cases} u_{2,1}^* = sign(u_{2,1}) \times \left(U_{avg} + \frac{T}{2}\right) \\ u_{3,1}^* = sign(u_{3,1}) \times \left(U_{avg} - \frac{T}{2}\right) \end{cases} \qquad (11)$$

$$if\ \ w = 0, \begin{cases} u_{2,1}^* = sign(u_{2,1}) \times \left(U_{avg} - \frac{T}{2}\right) \\ u_{3,1}^* = sign(u_{3,1}) \times \left(U_{avg} + \frac{T}{2}\right) \end{cases} \qquad (12)$$

$$U_{avg} = \frac{(|u_{2,1}| + |u_{3,1}|)}{2} \qquad (13)$$

where *T* represents the desired threshold in the difference between the elements $u_{2,1}$ and $u_{3,1}$ of the matrix U(i,j). The modified matrix is denoted by U*(i, j).

Step $\mathbf{I_5}$: Perform an inverse SVD transformation to obtain a watermarked block from the watermark:

$$H_{i,j}^* = U_{i,j}^* \times S_{i,j} \times V_{i,j}^T \qquad (14)$$

Step $\mathbf{I_6}$: Repeat steps 4 and 5 for all bits from the appropriate bit plane watermark.

Step $\mathbf{I_7}$: Repeat steps 2 to 6 for all bit watermarks for each next frame. In this way, a video with an embedded watermark is obtained. For the extraction of the watermark thus inserted, it is not necessary to have the originals of either the video or the watermark, so this algorithm belongs to the class of blind algorithms.

Watermark extraction from a chrominance video channel

Step $\mathbf{E_1}$: The U component of the protected frame should be divided into non-overlapped blocks $H'_{i,j}$ of dimensions 4 × 4 pixels.

Step $\mathbf{E_2}$: Perform the SVD decomposition of all the blocks $H'_{i,j}$ from the frame.

$$H'_{i,j} = U'_{i,j} \times S'_{i,j} \times V'^T_{i,j} \qquad (15)$$

Step E_3: The value of the corresponding extracted bit of the watermark w' is obtained using the following terms:

$$w' = 1, \begin{cases} 0, \ if \ u'_{2,1} > u'_{3,1} \\ 1, \ if \ u'_{2,1} \leq u'_{3,1} \end{cases} \quad (16)$$

Step E_4: Repeat steps 2 and 3 for all non-overlapping blocks of the frame.

Step E_5: Create a binary image of the corresponding bit-plane watermark.

Step E_6: Repeat steps 1-5 for eight frames from the video.

Step E_7: With all the 8 binary bit-planes, form a black and white watermark.

Step E_8: Repeat steps 1-7 for all frames from the video.

EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS

Figure 1a) shows the black and white watermark used in the experimental part. The watermark is an adapted central part of the famous black and white *Lena.bmp* image at a resolution of 36×36 pixels. This watermark was inserted into the also well-adapted famous *Foreman.yuv* video color at a resolution of 288×288 pixels. As described in the previous section, the insertion algorithm requires the decomposition of the watermark into eight bit-levels. Figure 1b) shows the prospects of all eight bit-planes. From the picture, it can be noticed that the MSB bit plane has significant information that affects the watermark's recognition.

If the obtained bit levels are observed, it can be noticed that as we approach the LSB bit level, decomposition of the watermark takes on a stochastic character. This is why there is no additional protection of the watermark in this paper, as the authors did in previous works.

Bit-plane decomposition of the watermark were incorporated in the first 96 frames of the Foreman.yuv video. In the first frame, the MSB pit-plane was built, in the second frame, the 7-th bit plane, and so on. In the eighth video frame, the LSB Bit-plane watermark is embedded. In addition, the MSB Bit-plane was inserted in the 9-th frame and so on. In the 96-th frame of the video, the LSB bit plane is installed, so the entire video is protected. The insertion of watermark components according to the considered algorithm is done in the chrominant components of the frame with threshold T=0.04, as was done in most published works.

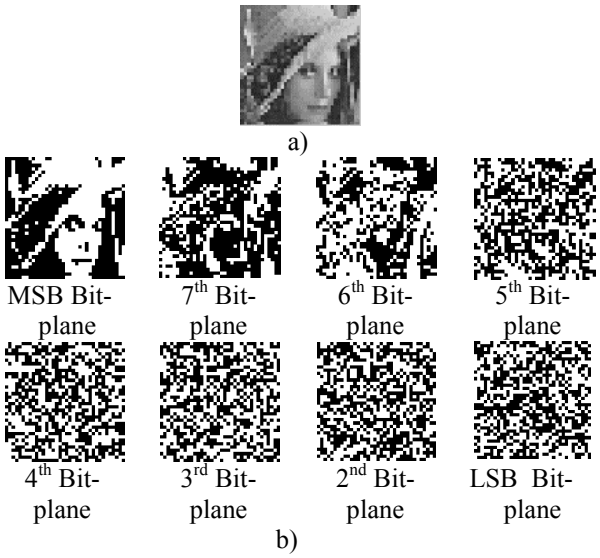


Fig. 1. *Watermark a) Gray-scale original b) All 8 bit-planes of watermark from MSB to LSB planes*

All the components of the watermarked 30-th frame of *Foreman.yuv* are shown in Fig. 2. In Figure 2a), the Y component of the .yuv format is displayed which is unchanged and is equal to the original. In Figure 2b) and 2c) the chromanent components of this format are shown. In Fig. 2b), U is a component of the protected 30th frame in which the corresponding bit-plane component of the watermark is inserted. In the shown case, a 3-bit bit-plane component is inserted. Insertion was done in the SVD domain as described in the previous section.

Unlike the DWT MSB algorithm, the BLIND SVD algorithm recommended in this paper does not require knowledge of the original content. This is considered its advantage over the DWT MSB algorithm.

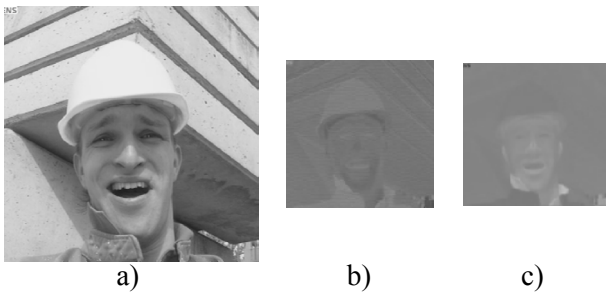


Fig. 2. *Protected frame number 30 from the video shown in .yuv format a) Y component b) The U component in which the 3-rd bit plane of the watermark is inserted c) V component*

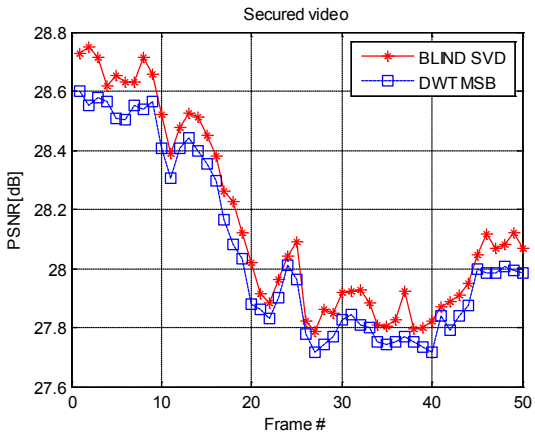


***Fig. 3**. The quality of the first 50 frames of protected video "Foreman" using the algorithm from [7] denoted DWT MSB and the proposed algorithm designated with BLIND SVD*

The protected video sequence is compressed by the JM reference software of ITU in version 18.4 FRExt. The coding quality is defined by a set of FRExt parameters. The following key parameters have the key influence on the selection of the quality of the encoding: IntraPeriod = 12, NumberReferenceFrames = 5, NumberBFrames = 1.

The quality of the extracted watermark was SSIM=0.7288 of the applied DWT MSB algorithm, while the recommended BLIND SVD algorithm was realized by SSIM=0.8466. The proposed algorithm provides better quality of the extracted watermark by about 18%, which favors it in future video protection applications. Fig. 3 shows the PSNR for the first 50 protected foreman video frames. The realized PSNR is shown for both methods under consideration.

Based on these values, it can be concluded that the extracted watermark can be successfully used to protect the video.

CONCLUSION

Protecting video content is a necessary activity before exposure on the Internet. Inserting a watermark into video content is considerably safer than conventional encryption technologies. The advantage over conventional technologies is in the fact that the watermark protects video content even after playback. In this paper, all components of watermarks are inserted into the corresponding frame video. Inserting watermarks with the BLIND SVD algorithm is done by the chrominance component of the video using HVS so that the resulting artifacts are imperceptible. The quality of the protected video is very good, while the high quality watermark is extracted at the same time. The results obtained by the simulation confirm that the proposed algorithm can be efficiently used to protect video content.

REFERENCE

[1] Z. Veličković, Z. Milivojević, M. Veličković, „The Watermark Applications in Multimodal Biometric Identification“, ICIST 2018, Proceedings Vol. 1, pp. 65-69, 2018.

[2] R.S. Run, S.J. Horng, J.L.Lai, T.W.Kao, R.J.Chen, “An improved SVD-based watermarking technique for copyright protection”, Exp. Sys. with App., Vol. 39, pp. 673-689, 2012.

[3] Z. Tang, J. Song, X. Zhang, R. Sun, “Multiple-image encryption eith bit-plane decompsition and chaos maps”, Optics and Laser Eng. Elseiver, 2016.

[4] S. Stanković, I. Orović, E. Sejdić, *Multimedia Signals and Systems*, Spinger, 2012.

[5] Z. Veličković, Z. Milivojević, M. Jevtović, „Multi-stage Arnold transformation for 2D watermarking encription“, Vol. 2, pp. 130-135, UNITECH, 2015.

[6] Z. Veličković, Z. Milivojević, M. Jevtović, “The Improved Iterative Algorithm for the Enhancement of the Extracted Watermark from Video Streaming in a Wireless Environment”, ETF Jour. of Electrical Engineering, Vol. 21, pp. 93-107, 2015.

[7] Z. Veličković, Z. Milivojević, M. Veličković, „A secured digital video watermarking in chrominance channel“, INFORMACIONE TEHNOLOGIJE, pp. 1-4, Žabljak 2018,

[8] B. Prlincevic, Z. Milivojevic, S. Panic, Z. Velickovic, “Perform. of the SVDU Waterm. Algorithm”, ICIST, pp. 266-270, 2017.

[9] D. Singh, S. Singh, “DWT-SVD and DCT based robust and blind watermarking for copyright protection”, Multimed Tools Appl., DOI 10.1007/s11042-015-3706-6, 2016.

[10] Q. Su, Y. Niu, H. Zhou, X. Liu, “A blind dual

[11] color images watermarking on singular value decomposition”, Applied Math. and Computation, Vol. 219, pp. 8455-8466, 2013.

[12] M. Asikuzzaman, M. J. Alam, A. J. Lambert, M. R. Pickering, “Imperceptible and Robust Blind Video Watermarking Using Chrominance Embedding: A set of Approaches in the DCT CWT Domain”, IEEEon Inf. Forens. an Security, Vol. 9, No 9, 2014.

[13] R. Bro, E. Acar, T. Kolda, “Resolving the Sign Ambiguity in the Singular Value decomposition”, Sanda report SND20007-6422, 2007.

INFLUENCE OF THE RAIN NOISE TO INTELLIGIBILITY IN SERBIAN LANGUAGE

Dijana Kostić[1], Zoran Milivojević[1], Zoran Veličković[1],
[1] *College of Applied Technical Sciences of Nis, Serbia*

Abstract

*The first part of the paper describes the intelligibility of speech, influence of rain noise (**RN**) and the signal to noise ratio (**SNR**). The second part of the paper presents the results of testing word and sentence spoken on the Serbian language generate from Serbian Matrix Sentence Test (**SMST**) base. The testing was performed: a). using subjective MOS test, on test group in the Collage of Applied Science of Niš, and b). objective STOI test, using STOI algorithm. Results of testing were shown in tabular and graphical form. After a comparing the results with the results of similar tests with Gaussian noise, the conclusion has been brought.*

Keywords: Intelligibility, Rain noise, Gaussian noise, STOI, MOS.

1. INTRODUCTION

Speech is a way of communication between people. It is the process created by voice organs in the form of articulated voice symbols. In the speech communication process, which is reversible process, there are: the source that sends the message and the recipients who receives the message and from whom the response is expected. During the transmission of a voice (audio) message through a communication channel, there may be interference, which can have influence on speech intelligibility.

The measure, of how speech is intelligible in given conditions, is intelligibility, expressed in percent. The intelligibility depends on: level and quality of the speech signal, the type and level of background noise and for speech over communication devices, the properties of the communication system.

The noise can take many forms like: traffic on the street, aircraft noise, sirens or sounds like hammers, drills and natural sounds like wind, rain or ocean waves, many people talking at the same time (babble noise), reverberations in a space, production elements like laugh and music, and equipment problems like hum and distortion ... Whatever form the noise takes, it will have influence to intelligibility when noise falls in the same frequency range as the consonants of speech.

The rain noise contains all the frequencies that we can hear. From a comprehensive investigation done by Lee, it is discovered that the impact from rain noise can be categorized as the irritating noise causing disturbance and annoyance [1].

This paper is analyze how rain noise (RN) have influence on the intelligibility of speech, gives an evaluation the intelligibility of words and sentences from SMST [2] and also the effectiveness of the STOI algorithm with optimal parameters (Nopt, βopt) described in paper [3], for SNR = {-5, -2, 0, 2, 3, 5} dB.

The experiment was performed at the Collage of Applied Science in Niš, using form of: a). subjective MOS test and b). An objective test (STOI algorithm). MOS tests were implemented on test group of students the Collage of Applied Technical Science of Niš, age from 18 to 24 years. The intelligibility word and sentences, spoken in the Serbian language was determined with MOS test, and the results are used as a reference for the purpose of comparing the results obtained with the STOI algorithm. By comparing the results of similar tests, a conclusion was made on the intelligibility of speech.

The organization of work is the follow. Section 2 describes the relation between rain noise, Gaussian noise and SNR. Section 3 describes an experiment and an evaluation of

intelligibility words and sentence from SMST base, and performs comparative analysis of the results. Section 4 is a conclusion.

2. RAIN NOISE

The rain noise contains all the frequencies (high, medium and low pitch sounds) at equal amplitudes. Because of this, it has a similarity with Gaussian noise. Although they are similar, the rain noise has advetige over Gaussian noise, because it is natural sound. The rain have intensity witch is definition in MS IEC 60721-2-2 2004 and it was shown in table 1 [4].

Table 1. Classification of rain intensity according MS IEC 60721-2-2 2004

Rainfall type	Rainfall Rate [mm]
Moderate	Up to 4
Intense	Up to 15
Heavy	Up to 40
Cloudburst	Greater than 100

Fig.1. is show: a). time and b). spectral characteristic of rain noise.

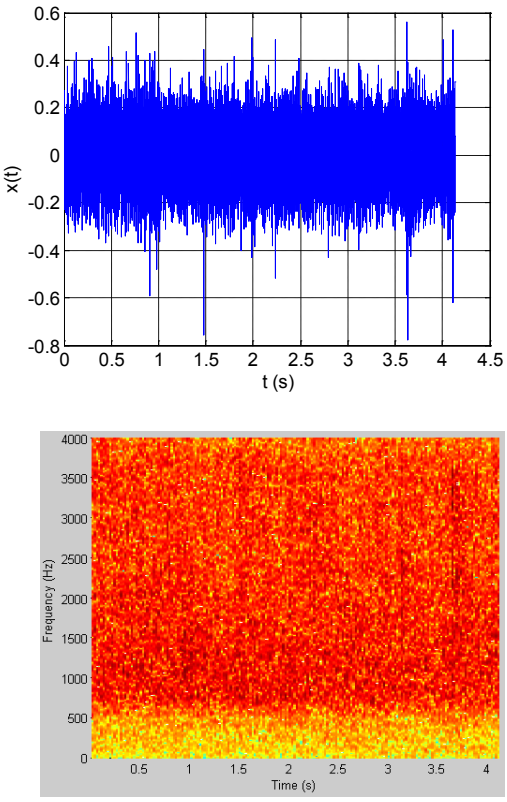


Fig. 1. *The characteristic of rain noise: a). time and b). spectral.*

Gaussian noise is statistical noise having a probability density function (**PDF**) equal to that of the normal distribution, which is also known as the Gaussian distribution. In other words, the values that the noise can take on are Gaussian distributed [3].

A special case is white Gaussian noise. White noise according definition from Princeton University is the random signal (or process) with a flat power spectral density. In other words, the signal contains equal power within a fixed bandwidth at any center frequency. In communication channel testing and modeling, Gaussian noise is used as additive white noise to generate additive white Gaussian noise.

The Signal to Noise Ratio (**SNR**) is one of the main signal characteristics in signal modeling process. It expresses the difference in decibels between the level of speech and background noise. To ensure excellent intelligibility this difference is recommended to be 10÷15dB minimum for people with good hearing, and 20÷30dB for hearing impaired or users of heat-seat [6]. A local SNR of 30dB is effectively a clean signal. Listeners will barely notice anything better than 20dB, and intelligibility is still pretty good at 0dB SNR (speech energy and noise energy the same). These numbers depend on the type of noise; competing speech or babble is the most disruptive for a given energy, since it matches the spectral distribution (and modulation dynamics) of the target speech. Conventional speech recognizers are much more sensitive than listeners, and typically show significantly increased word error rates at 20dB SNR.

If you want to estimate the SNR of a speech signal that already has noise added, you can exploit the property of speech containing many silent gaps to obtain 'glimpses' of the background noise alone. Assuming stationary noise, this then allows you to estimate the background noise level, and thus the total SNR [7]. This is the basis of the SNR estimation procedure developed by Hans-Gunter Hirsch and described in ICSI Technical Report 93-012 [8]. The Table 2 represented indicative levels of speech intelligibility related to SNR [6].

Table 2. Indicative levels of speech intelligibility related to SNR [6]

People with good hearing	SNR [dB]	Hearing impaired or users of head -sets
-	30	Excellent
-	20	Good
Excellent	15	Fair
Good	10	Marginal
Fair	5	Poor
Marginal	0	No intelligibility
Poor	-5	
No intelligibility	-10	

3. EXPERIMENTAL RESULTS AND ANALYSIS

This section, described experiment of intelligibility in the presence of RN. The results are shown in tabular and graphical form.

3.1. EXPERIMENT

Realization an experiment, for testing the intelligibility of word and sentences from SMST base, in the presence of the Rain noise, it is required to perform the following steps:

1. Select a random sentence from the SMST base using the computer,
2. Generate a noise signal type RN from the base of noise,
3. Change the predefined values of SNR to the generated noise signal,
4. Testing the test group with MOS test, and realize a STOI test.

The block diagram shown on Fig.2

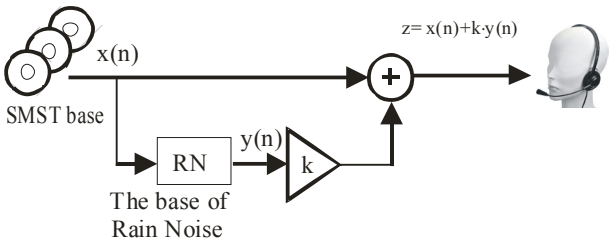


Fig. 2. *Block diagram of generated signal* ***z,*** *used for testing intelligibility with MOS and STOI tests.*

Fig. 2. represented the block diagram generated signal ***z***. Signal ***x(n)*** are the pure speech signal, and ***y(n)*** are signal of rain noise. Coefficient for determinated value of SNR is marked with ***k***.

3.2. BASE

Speech material using for testing was generated from a SMST base described in [2]. The words from the SMST base are spoken in Serbian language. Selections of the word from the SMST base using the random law by the computer, the sentences with a fixed syntax structure were formed. The syntax structure is in this order: name-verb-number-adjective-object. Every time, the sentence is different, which made test unpredictable for the tested group. Frequency of sampling is Fs = 8kHz. The example one of the tested sentences without noise (original signal) "Slaviša briše devet novih stolova" is given on Fig 3. The signal of rain noise was generated through the program Matlab, from base of the Rain noise. The classification of rain intensity, according MS IEC 60721-2-2 2004 (shown in Table 2), using in this test is "Intense".

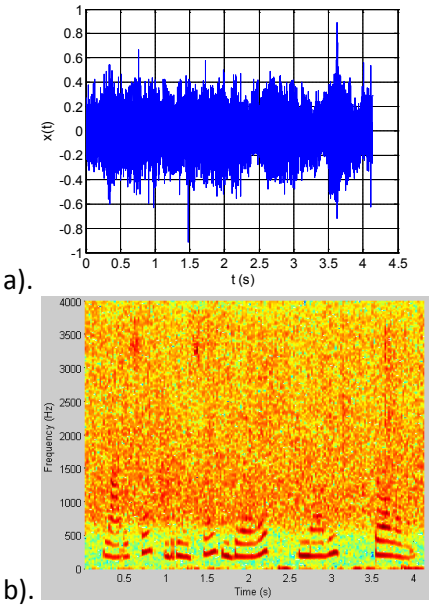


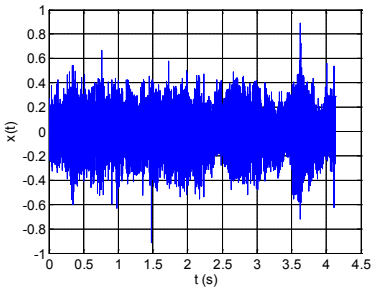
Fig. 3. *The characteristic of the speech signal "Slaviša briše devet novih stolova": a). time and b). spectral.*

3.3. TEST GROUP

Test group was formed from students (10 men and 10 woman) of the Collage of Applied Science Nis, age from 18 to 24 (mean age μ = 20.65 years). All tested reported that they are not aware of any hearing problems. Testing was performed using headphone. After reproduced generated sentence, examinee

repeated aloud a sentence that he/she thought he/she had heard. The response was written by examiner in the column of word and sentence. The example one of the tested sentences "Slaviša briše devet novih stolova" with the presence of Rain noise is given on Fig. 4.

a).



b).

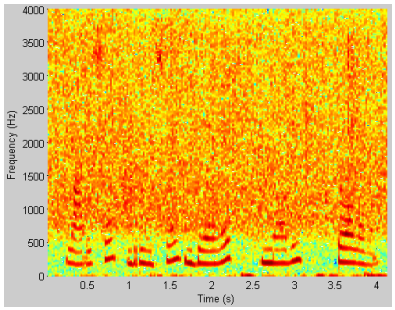


Fig. 4. *The characteristic of the speech signal with rain noise: a). time and b). spectral*

3.4. RESULTS

Table 3, shows the results of MOS test and STOI test (dSTOI coefficient) for type of word: N - Name, V - Verb, Nu-Number, A - Adjectiv, O - Object. In the table 4 results of MOS test and also a dSTOI coefficient for whole sentence are shown.

In the Fig.5. are shown intelligibility determinated with a subjective MOS test for the words. The values of the intelligibility sentence determenited by: a) MOS and b). STOI test for SNR = {-5, -2, 0, 2, 3, 5} dB are shown graphically on Figs. 6. Mean value of word and sentence in the presence of: a). RN and b). Gaussian noise (**GN**) [9] is shown on Fig.7. The comparative results for dSTOI for RN and White Gaussian Noise (**WGN**) [3] are shown graphically in Fig.8.

Table 3. Intelligibility of type of word in the presence of RN

SNR [dB]	Intelligibility [%]				
	N	V	Nu	A	O
5	87.5	77.5	82.5	75	75
3	87.5	80	92.5	77.5	75
2	92.5	85	90	55	75
0	87.5	85	82.5	57.5	82.5
-2	90	85	85	72.5	92.5
-5	72.5	70	65	55	70

Table 4. Intelligibility of sentence in the presence of RN

SNR [dB]	Intelligibility [%]	
	WS	dSTOI
5	37.50	76
3	42.50	74
2	42.50	72
0	35.00	69
-2	50.00	68
-5	20.00	63

In the Table 5, it was given results of intelligibility speech signal from SMST base with Gaussian Noise [9].

Table 5. Intelligibility of speech in the presence of RN and GN [9] (MOS test).

Mean value	Intelligibility [%]					
	N	V	Nu	A	O	WS
RN	60	42,5	65,83	64,17	53,33	12,50
GN	43.75	30.83	44.17	38.75	37.50	43.75

Table 6. Intelligibility of speech in the presence of GN [9]

SNR [dB]	Intelligibility [%]					
	N	V	Nu	A	O	WS
2	63	63.3	76.	76.6	73.3	26.6
0	63	50	70	63.3	53.3	3.33
-2	66	40	63.	60	53.3	20
-5	46	16.6	53.	56.6	33.3	0

Table 7. Intelligibility of sentence in the presence of RN and WGN [3] - STOI test

dSTOI	Intelligibility sentence for SNR [%]			
	-5dB	-2dB	0dB	2dB
RN	63.00	68.00	69.00	72.00
WGN	45.088	61.55	66.52	70.20

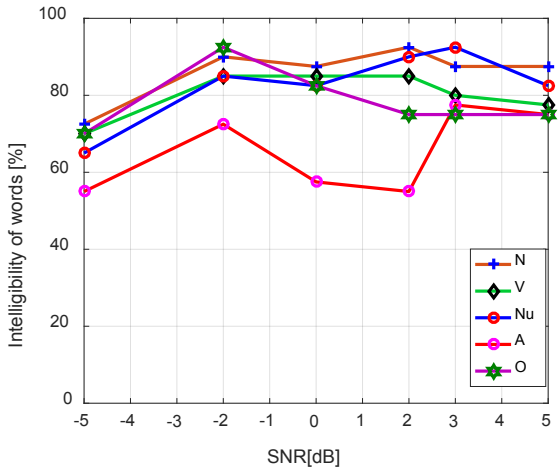


Fig. 5. *Intelligibility of words MOS test*

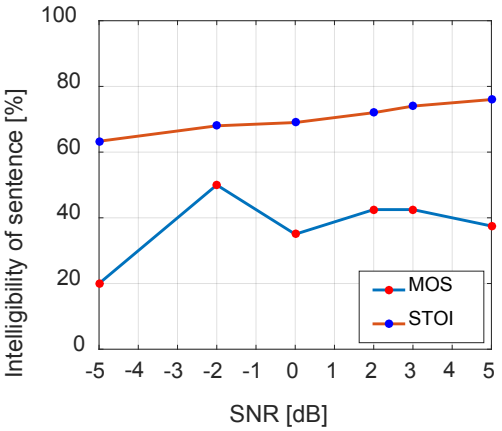


Fig. 6. *Intelligibility of sentence MOS and STOI test*

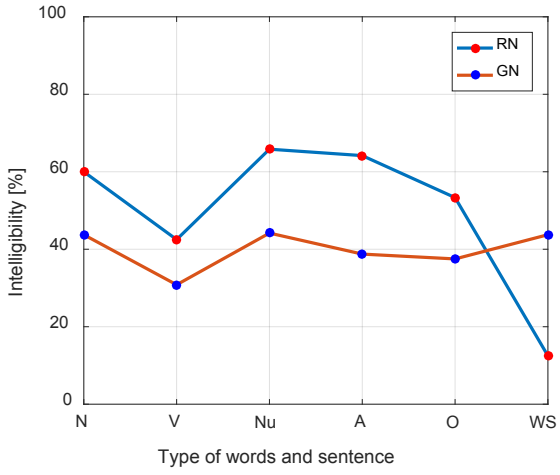


Fig. 7. *Mean value intelligibility of word and sentences in the presence of Rain noise (RN) and Gaussian noise (GN).*

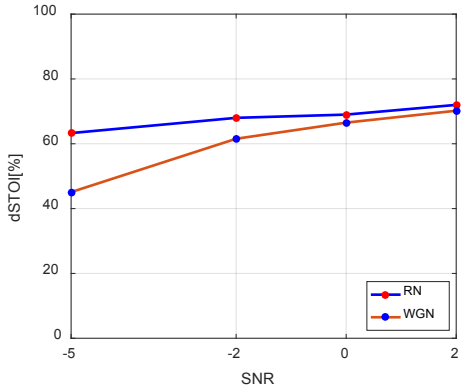


Fig. 8. *Coefficient dSTOI for intelligibility of sentences in the presence of Rain noise (RN) and Gaussian noise (GN).*

3.5. ANALYSIS OF RESULTS

Based on the results shown in Table 3 and Fig. 5. It can be concluded that intelligibility of type of word:

a) 'Name' is best for 2dB (92.5%), and the worst for -5dB (72.5%),

b) 'Verb' is best for -2, 0 and 2dB (85%) and the worst for -5 dB (70%),

c)'Number' is best for 3 dB (92.5%), and the worst for -5 dB (65%),

d)'Adjective' is best for 3dB (77.5%), and the worst for 2 and -5 dB (55%),

e)'Object' is best for -2dB (92.5%), and the worst for -5 dB (70%),

Based on the results shown in Table 4 and Fig. 6 it can be concluded that intelligibility of sentence is:

a). best for -2dB (50%) and the worst for -5 dB (20%), for MOS test;

b). best for 5dB (76%) and the worst for -5 dB (63%), for STOI test (dSTOI coefficient).

Based on the results shown in Table 5 and Fig.7 it can be concluded that intelligibility of word: 'Number' is the best 65.83% and 'Verb' the worst for 42.5%.

Using comparative analysis with IEC 60268-16: 2011, the conclusion of intelligibility is:

a). bad (0÷89%) for sentences (20 ÷ 50%),

b). in range from poor (67÷78%), and fair (78÷87%) to good (87÷94%) for words (55 ÷ 92.5%),

depending on the value of the SNR.

Comparing with the results shown in Table 6÷7, and Fig. 7÷8, it can be notice, that is intelligibility of speech is better in the presence of Rain noise then the Gaussian noise.

4. CONCLUSION

The aim of the paper is an evaluation influence of Rain noise (RN), for value SNR = {-5, -2, 0, 2, 3, 5} dB, on intelligibility of words and sentences from SMST base. Test results show that the intelligibility of speech is in range from poor to good for words, and bad for sentences. These results fully correspond the indicative levels of speech intelligibility related to SNR, for 5 dB [6].

Based on the results it can be concluded that rain noise (RN) does not affect to the intelligibility of the speech signal as Gaussian noise. The explanation for this can be found in the power of spectral density of rain noise and in the fact that the RN is natural sound.

REFERENCE

[1] Choi Y L., *"A Study on simulated rainfall noise generated and prediction of rain noise for composite rood constructions"*, Master thesis, University Technology Malaysia, 2004.

[2] Milivojević Z., Kostić D., Veličković Z., Brodić D., *"Serbian sentence matrix test for speech intelligibility measurement in different reverberation conditions"*, UNITEH Gabrovo, pp. 173-178, 2016.

[3] Milivojević Z., Kostić D., Veličković Z., "*The Optimization of the STOI Algorithm Parameters in Presence of the White Gaussian Noise (WGN)"*, ICEST 2018,pp-, 2018.

[4] Muhammad Fahmi Md Idris et al., "*Noise Generated by Raindrop on Metal Deck Roof Profiles: It's Effect towards People Activities"*, Procedia, Social and Behavioral Sciences 36 (2012) 485 – 492.

[5] Barbu T., *"Variational Image Denoising Approach with Diffusion Porous Media Flow"*, Abstract and Applied Analysis, Article ID 856876, 2013: 8.

[6] https://www.armstrongceilings.com/content/dam/armstrongceilings/commercial/europe/technical-guides/acoustical-guide-general-definitions-uk.pdf

[7] http://www1.icsi.berkeley.edu/Speech/faq/speechSNR.html

[8] Hirsch G. H., *"Estimation of Noise Spectrum and its Application to SNR-Estimation and Speech Enhancement"*, ICSI Technical Report TR-93-012, March 1993.

НАПРАВЛЕНИЕ 4

КОМПЮТЪРНИ СИСТЕМИ

SESSION 4

COMPUTER SYSTEMS

UNITECH 2018 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
16-17 NOVEMBER 2018, GABROVO

РАЗПОЗНАВАНЕ НА ПРЕДМЕТИ С KINECT СЕНЗОР

Цветомира Георгиева[1], Христо Лалев[2]
[1]*Шуменски Университет «Епископ Константин Преславски»*
[2]*Шуменски Университет «Епископ Константин Преславски»*

OBJECT RECOGNITION WITH KINECT SENSOR

Tsvetomira Georgieva[1], Hristo Lalev[2]
[1]*Konstantin Preslavski University of Shumen*
[2]*Konstantin Preslavski University of Shumen*

Abstract
The algorithm synthesis and simulation program is oriented towards the subject area of computer vision and aims at tracking objects at stations, airports, shops and all kinds of public institutions in order to determine which ones remain stationary. Abandoned sites in public places relate to security systems, as they could pose a risk to the security of citizens. The use of a Kinect sensor as an input device allows the analyzed scene to be presented in three dimensional space and to locate the coordinates and the volume of the objects.

Keywords: Computer vision, Microsoft Kinect , motion capture.

ВЪВЕДЕНИЕ

Синтезът на алгоритъм и симулационна програма е ориентирано към предметната област "компютърно зрение" и има за цел проследяване на обекти (багаж) в гари, летища, магазини и всякакви видове публични институции с цел да определи кои от тях остават стационарни.

Изоставените обекти на публични места се отнасят до системите за сигурност, тъй като те биха могли да представляват риск за сигурността на гражданите.

Използването на Kinect сензор като входящо устройство позволява анализираната сцена да се представи в тримерно пространство и да локализира координатите и обема на предметите [4].

Алгоритмите за фонова субстракция, както и модифицирането на симулационните програми за откриване на изоставен багаж чрез въвеждане на видеопоток от Kinect дълбочинен сензор могат да се използват за подпомагане на служителите по сигурността, отговарящи за видео наблюдението на живо, като насочва вниманието им към потенциална опасност [2].

ИЗЛОЖЕНИЕ

В областта на компютърното зрение, системата BlobAnalysis [1] се отнася до визуални модули, които са насочени към откриването на точки или региони в изображението, които се различават по свойства като яркост или цвят, в сравнение с околната среда.

Има две основни категории на системата, диференциални методи базирани на деривативни изрази и методи базирани на екстремен интензитет на пейзажа.

Идентифицирането на обектите и тяхното проследяване се извършва от алгоритъм, с помощта на следните стъпки [2]:

- Стъпка1. Елиминира видео областите, в които е малко вероятно да се съдържат изоставени обекти, чрез създаване на регион на интерес (ROI).

roi = [100 80 360 240];

• Стъпка2.Извършва видео сегментиране с помощта на фонова субтракция.

Създаване на Autothresholder система, за конвертиране интензивността на изображението в двоичен образ.[2]

hAutothreshold = vision.Autothresholder;

hAutothreshold.ThresholdScaleFactor = 1.3;

• Стъпка3.Създава предметна статистическа база данни, като използва системата BlobAnalysis.

Създаване на BlobAnalysis система, която спомага за откриването на центъра на тежестта на обектите и очертава тяхното местонахождение във видеото.[2]

hBlob = vision.BlobAnalysis;

• Стъпка 4. Проследяване на обектите, въз основа на техния район и предметните статистически данни.

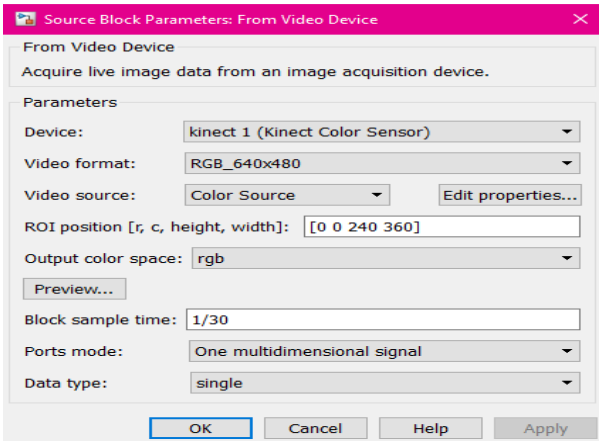
hAbandonedObjects = vision.VideoPlayer;

hAbandonedObjects.Name = 'Abandoned Objects';

hAbandonedObjects.Position = [10 300 roi(4)+25 roi(3)+25];

• Стъпка 5. Визуализира резултатите.

В процеса на изследване извършваме адаптиране на симулационния модул за сегментация и разпознаване на обекти в реално време в програмна среда Simulink на Matlab (student version) с входен сензор Kinect for Windows [2].



Фиг. 1. *Адаптиране на симулационна схема за сегментиране и разпознаване на обекти в реално време с Kinect for Windows [2]*

При стартиране на симулационния модул „Abandoned Object Detection" [2] в региона на интерес (ROI) се извършва сегментация на обектите на фона на сцена и се разпознава конфигурацията на изоставения предмет. Фиг. 2 – 4.

Фиг. 2. *Откриване на обект на фона на сцена*

В региона на интерес попада изоставения пакет, който се стробира в паметта на модула и се засветява със зелен контур.

Сегментацията на обекта се извършва с помощта на фонова субстакция, чрез конвертиране на интензивността на изображението в двоичен образ - фиг. 3.

Фиг. 3. *Сегментиране на изоставен обект на фона на сцена*

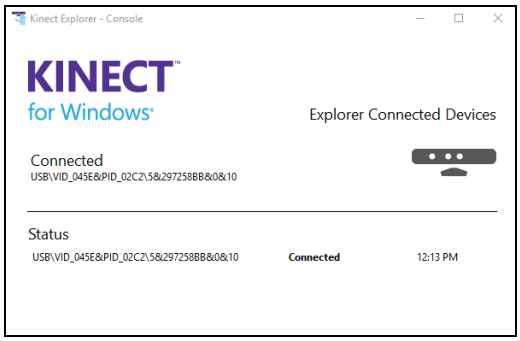
Идентификацията на обекта се извърша програмно чрез функцията hBlob в сорса на програмата за разпознаване.

Обекта се засветява в червен цвят с цел заостряне вниманието на оператора на системата за видеонаблюдение - фиг. 4.

Симулационният модул работи в реално време, обработва кадрите от системата за видеонаблюдение, в случая реализирана чрез Kinect сензора и разпознава изоставения предмет.

Фиг. 4. *Разпознаване на изоставен обект на фона на сцена*

За да може да се постигне целта - обем и местоположение, стартираме драйверите на дълбочинният сензор и 3D изображението.

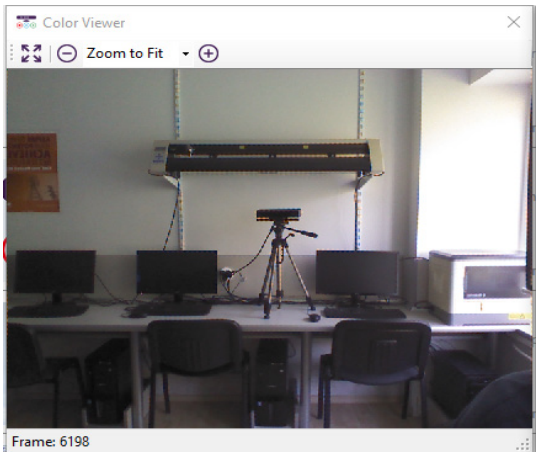


Фиг. 5. *Активиране на дълбочинен сензор Kinect for Windows [3]*

Последователно анализираме цветното изображение на изследваната сцена получена от камерата на Kinect, изображението от дълбочинния сензор и избираме различни ракурси на 3D визуализацията.

Целият процес на анализ и визуализация се записва посредством модул "Kinect Studio"[3].

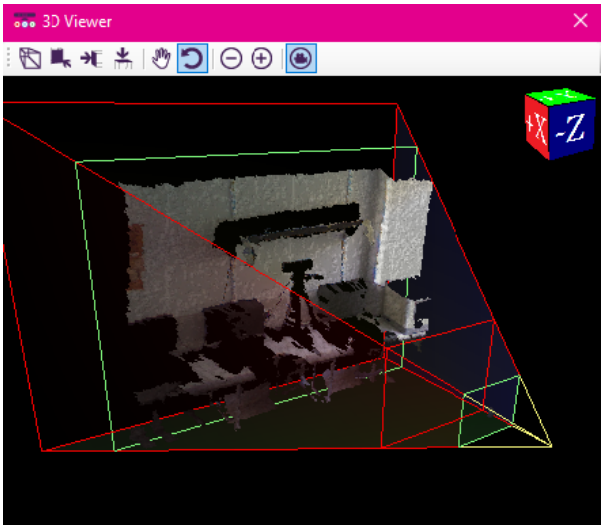
Технологичните етапи са представени с фиг. 6 – 13.



Фиг. 6. *Цветно изображение на изследваната сцена*

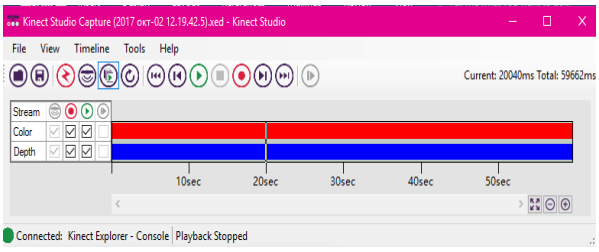
Превключването на трите режима : Color Viewer, Depth Viewer и 3D Viewer се извършва от оператора за видеонаблюдение чрез управление на диалоговия прозорец на програмния модул Kinect Explorer – фиг.5.

Фиг. 7. *Изображение от дълбочинния сензор*

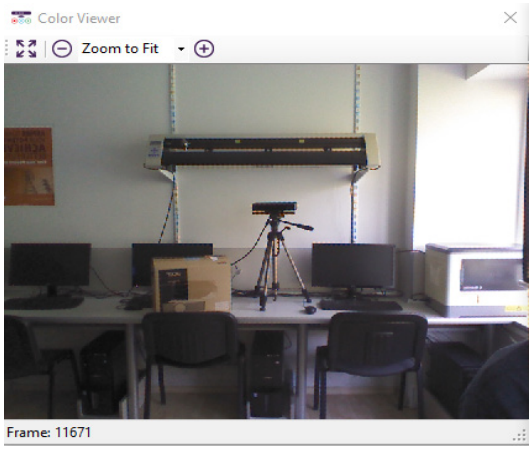


Фиг. 8. *3D изображение на анализираната сцена*

Дейността по определяне на габаритите и местоположението на изоставения предмет се записват под формата на hed файл.



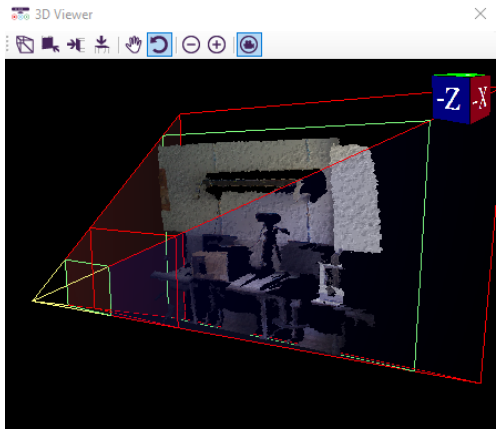
Фиг. 9. *Запис на изследваната сцена [3]*



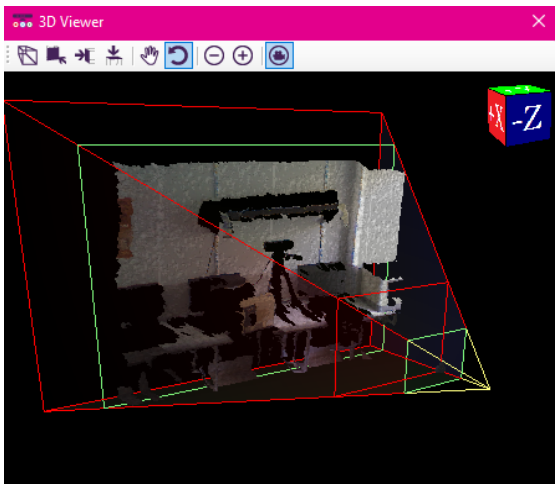
Фиг. 10. *Цветно изображение на разпознавания обект*

Фиг.11. *Изображение на разпознавания обект от дълбочинния сензор*

Посредством интерактивния модул 3D Viewer операторът избира ракурс относно наблюдаваната сцена и определя големината (габаритите) и местоположението на предмета на фона на анализираната сцена – фиг. 12,13.



Фиг.12. *3D изображение на анализираната сцена и разпознавания обект– ракурс Z*



Фиг. 13. *3D изображение на анализираната сцена и разпознавания обект – ракурс X*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въвеждането на този модул в съвременните системи за видео наблюдение би довело до:

- Анализиране на видео потока и анализ на сцената в реално време.
- Намаляване на човешките ресурси необходими за наблюдаването на голям брой реално предаващи видео камери
- Драстично увеличаване на откриваемостта на изоставени обекти на публично място (спирки, гари, летища, паркинги, паркове и др.).
- Използването на Kinect сензор като входящо устройство позволява анализираната сцена да се представи в тримерно пространство и да локализира координатите и обема на предметите.

ЛИТЕРАТУРА

[1] www.mathworks.com - Image Processing Toolbox; Video and Image Processing Toolbox

[2] www.mathworks.com - Computer Vision System Toolbox; Abandoned Object Detection

[3] https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect

[4] Depth Images. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2011.

AN APPROACH FOR LAPTOP COMPUTERS EVALUATION USING MULTIPLE-CRITERIA DECISION ANALYSIS

Dragisa Stanujkic[1], Milena Jevtic[2], Branislav Ivanov[3]

[1] *Technical Faculty in Bor, University of Belgrade, Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor, Serbia, E-mail: dstanujkic@tfbor.bg.ac.rs*

[2] *Technical Faculty in Bor, University of Belgrade, Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor, Serbia, E-mail: mjevtic@tfbor.bg.ac.rs*

[3] *Technical Faculty in Bor, University of Belgrade, Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor, Serbia, E-mail: ivanov.branislav@gmail.com*

Abstract

Computer hardware can have a very significant impact on the overall performance of an information system. Choosing hardware with adequate characteristics without increasing costs is an important and challenging decision-making problem. This problem is especially evident when selecting computers and laptops, where a greater number of evaluation criteria should be considered. Therefore, in this paper, a multiple criteria decision-making approach for the laptop evaluation, based on PIPRECIA and EDAS methods, is considered. In the proposed approach, the PIPRECIA method was used to determine the significance of the criteria and the EDAS method is used for the final ranking of the alternatives. The usability of the proposed model is demonstrated in the case of selection of laptops for teaching staff.

Keywords: computer hardware, laptop, MCDM, PIPRECIA, EDAS.

INTRODUCTION

Multiple Criteria Decision Making (MCDM) is often defined as the process of selecting the most appropriate alternative based on a set of often conflicting criteria. MCDM is a field of Operational Research that is very rapidly developing, and as a result of that a number of MCDM methods have been proposed, which have been used so far to solve many different decision-making problems in different areas.

However, based on the number of articles published in scientific journals and conferences, the impression is that the MCDM is not sufficiently utilized in order to carry out the computer hardware evaluation.

In [1] and [2] is mentioned that some of the rare examples where MCDM methods were used to evaluate computer hardware. Authors in [3] and [4] proposed the evaluation of laptops computers based on the use of MCDM methods. In which articles the evaluation of the laptop is considered using the MCDM method.

Modern computers, especially laptops, have many characteristics that should be considered when choosing a computer for specific purposes. It is also known that better performance has more expensive hardware, which makes the choice of an adequate laptop a much more complex decision-making problem.

Therefore, an approach for laptops evaluation based on the use of MCDM methods is considered in this paper. In the rest of this paper, two MCDM methods are presented in detail, in order to use one of them to determine the weight of the criteria, and the other to evaluate the alternatives. In the next section, a set of evaluation criteria is presented, after which the usefulness of the proposed approach is demonstrated in one case of laptop selection. Finally, the conclusions are given.

MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING

The different phases can be identified in the MCDM process, but only the ones that are

necessary to consider the proposed approach are listed below, such as:

- identification of the evaluation criteria
- determining the significance of the criteria, and
- evaluating and ranking the alternatives in relation to the selected set of criteria.

In this approach the PIPRECIA method is used for determining the significance of criteria, and the EDAS method is used for final ranking of alternatives and selection of the most appropriate one.

THE PIPRECIA METHOD

The PIvot Pairwise RElative Criteria Importance Assessment (PIPRECIA) method [5] is intended to determine the significance of the evaluation criteria, and it was formed as an extension of the SRAWA method [6].

The computational procedure of the PIPRECIA method can be presented as follows [5]:

***Step* 1**. Starting from the second criterion from an unsorted list of criteria, determine the relative importance s_j of criterion j as follows:

$$s_j = \begin{cases} >1 & when\ C_j \succ C_{j-1} \\ 1 & when\ C_j = C_{j-1} \\ <1 & when\ C_j \prec C_{j-1} \end{cases}. \quad (1)$$

***Step* 2**. Determine the coefficient k_j of criterion j as follows:

$$k_j = \begin{cases} 1 & j=1 \\ 2-s_j & j>1 \end{cases}. \quad (2)$$

***Step* 3**. Determine the recalculated weight q_j of criterion j as follows:

$$q_j = \begin{cases} 1 & j=1 \\ \dfrac{q_{j-1}}{k_j} & j>1 \end{cases}. \quad (3)$$

***Step* 4**. Determine the relative weights of the evaluation criteria as follows:

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^{n} q_k}. \quad (4)$$

THE EDAS METHOD

The Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS) method is proposed in [7]. The basic ideas of the EDAS method are the use of two distance measures, namely the Positive Distance from Average (PDA) and the Negative Distance from Average (NDA); and that the evaluation of the alternatives is done according to higher values of the PDA and lower values of the NDA. This approach is similar, but not the same, as the approach used in the well-known TOPSIS method.

The computational procedure of the EDAS method can be can be presented as follows [8]:

***Step* 1**. Determine the average solution according to all criteria $x_j^* = (x_1, x_2, \cdots, x_n)$ as follows:

$$x_j^* = \frac{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}}{m}, \quad (5)$$

where x_{ij} denotes the performance rating of the alternative i on the criterion j.

***Step* 2**. Calculate the positive distance from average d_{ij}^+ and the negative distance from average d_{ij}^-, according to the type of criteria (benefit and cost), as follows:

$$d_{ij}^+ = \begin{cases} \dfrac{\max(0,(x_{ij}-x_j^*))}{x_j^*}; & j \in \Omega_{\max} \\ \dfrac{\max(0,(x_j^*-x_{ij}))}{x_j^*}; & j \in \Omega_{\min} \end{cases}, \quad (6)$$

$$d_{ij}^- = \begin{cases} \dfrac{\max(0,(x_j^*-x_{ij}))}{x_j^*}; & j \in \Omega_{\max} \\ \dfrac{\max(0,(x_{ij}-x_j^*))}{x_j^*}; & j \in \Omega_{\min} \end{cases}, \quad (7)$$

where $\Omega_{\max}$ and $\Omega_{\min}$ denotes the set of the benefit criteria and the cost criteria, respectively.

Step 3. Determine the weighted sum of PDA, Q_i^+, and the weighted sum of NDS, Q_i^-, for all alternatives, as follows:

$$Q_i^+ = \sum_{j=1}^{n} w_j d_{ij}^+, \quad (8)$$

$$Q_i^- = \sum_{j=1}^{n} w_j d_{ij}^-. \quad (9)$$

Step 4. Normalize the values of the weighted sum of the PDA and the weighted sum of the NDA for all alternatives, shown as follows:

$$S_i^+ = \frac{Q_i^+}{\max_i Q_i^+}, \quad (10)$$

$$S_i^- = 1 - \frac{Q_i^-}{\max_i Q_i^-}, \quad (11)$$

where S_i^+ and S_i^- denote the normalized weighted sum of the PDA and the NDA, respectively.

Step 5. Calculate the appraisal score S_i for all alternatives, as follows:

$$S_i = \frac{1}{2}(S_i^+ + S_i^-) \quad (12)$$

Step 6. Rank the alternatives according to the decreasing values of appraisal score. The alternative with the highest S_i is the best choice among the candidate alternatives.

THE EVALUATION CRITERIA

The selection of an adequate set of evaluation criteria is very important in MCDM.

In [4], authors evaluated laptops from nine manufacturers based on the following eight criteria: Specification (RAM, Processor, graphics card, speed), Warranty, Size, Battery life, With or without OS, Weight, Keyboard and Touch pad and Wi-Fi.

Based on the above-mentioned article, as well as consultations with users and IT specialists, the following set of criteria has been selected for evaluation in this approach:

- C_1 - Manufacturer,
- C_2 - Diagonal screen size,
- C_3 - Processor type,
- C_4 - Processor tact,
- C_5 - Cache memory,
- C_6 - RAM,
- C_7 - HDD,
- C_8 - Graphics,
- C_9 - Weight,
- C_{10} - Battery, and
- C_{11} - Price.

The criteria $C_1 - C_3$, C_7, C_8 and C_{10} belong to the set of qualitative criteria and their evaluation is carried out using the Likert's 1–5 scale, while the criteria $C_4 - C_6$, C_9 and C_{11} belong to the set of quantitative criteria and their performance ratings are taken from product specifications.

It should also be noted that the criteria C_9 and C_{10} cost criteria, i.e. the lower performance ratings are more desirable.

In this approach the priority is given to the use of complex evaluation criteria with the aim of forming an efficient and less complex MCDM evaluation model. For example, criterion RAM denotes overall adequacy and quality of RAM memory computer subsystem, and it includes a number of sub-criteria such as: capacity, speed, type, latency and so on. In other words, criterion RAM denotes overall memory adequacy.

In contrast, the use of precisely defined evaluation criteria would lead to the use of a significantly larger number of criteria, which will lead to forming more precise, but also more difficult to use, evaluation model.

Finally, it should be noted that this model is primarily intended for IT specialist.

A NUMERICAL ILLUSTRATION

In order to explain the proposed approach in detail, below is considered an example of the selection of a laptops for teaching staff at the faculty was considered.

After analyzing the supply of laptops on the local market, the next five laptops were identified as acceptable alternatives[1]:

- DELL Inspiron 17 5767
- Lenovo IdeaPad 320-15iap
- ACER Swift SF113-31-P5FG
- HP Pavilion 14-bk007nm
- ASUS X541UA GO1312T

The ratings of alternatives to the qualitative criteria obtained from the two IT specialists involved in the evaluation are shown in Table 1 and Table 2, respectively.

Table 1: *The ratings obtained from the first of the two IT specialist*

	C_1	C_2	C_3	C_7	C_8	C_{10}
A_1	4	4	2	2	3	4
A_2	5	5	2	5	5	3
A_3	1	3	3	4	2	4
A_4	3	3	5	4	3	4
A_5	3	5	5	3	2	4

Table 2: *The ratings obtained from the first of the two IT specialist*

	C_1	C_2	C_3	C_7	C_8	C_{10}
A_1	5	4	2	1	2	4
A_2	3	5	2	5	4	3
A_3	2	2	3	2	1	4
A_4	4	2	4	4	2	4
A_5	4	5	4	3	1	4

The ratings of alternatives to the quantitative criteria are shown in Table 3.

Finally, the initial decision-making matrix is given in Table 4.

Table 3: *The ratings of quantitative criteria*

	C_4	C_5	C_6	C_9	C_{11}
A_1	2.3	2	4	3.09	478.24
A_2	2	3	4	2.2	498.25
A_3	1.1	2	4	1.3	458.25
A_4	2.4	3	4	1.58	499.92
A_5	2	3	4	2	458.33

The responses of the two IT specialist regarding the significance of the evaluation criteria, as well as the weights of the criteria obtained using the PIPRECIA method are shown in Tables 5 and 6.

Table 4: *The initial decision-making matrix*

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}
	1-5	1-5	1-5	1-5	MB	GB	1-5	1-5	kg	1-5	Eur
	max	max	max	max	max	max	max	max	min	max	min
A_1	4.5	4	2	2.3	2	4	1.5	2.5	3.09	4	478.24
A_2	4	5	2	2	3	4	5	4.5	2.2	3	498.25
A_3	1.5	2.5	3	1.1	2	4	3	1.5	1.3	4	458.25
A_4	3.5	2.5	4.5	2.4	3	4	4	2.5	1.58	4	499.92
A_5	3.5	5	4.5	2	3	4	3	1.5	2	4	458.33

Table 5: *The responses and weights of the criteria obtained from the first of two IT specialist*

	s_j	k_j	q_j	w_j
C_1		1	1	0.05
C_2	0.80	1.20	0.83	0.04
C_3	1.50	0.50	1.67	0.08
C_4	0.50	1.50	1.11	0.06
C_4	1.20	0.80	1.39	0.07
C_5	1.40	0.60	2.31	0.12
C_6	0.80	1.20	1.93	0.10
C_8	1.30	0.70	2.76	0.14
C_9	0.50	1.50	1.84	0.09
C_{10}	1.10	0.90	2.04	0.10
C_{11}	1.30	0.70	2.92	0.15
		$\sum$	19.79	1.00

Table 6: *The responses and weights of the criteria obtained from the second of two IT specialist*

	s_j	k_j	q_j	w_j
C_1		1	1	0.07
C_2	1.05	0.95	1.05	0.08
C_3	1.30	0.70	1.50	0.11
C_4	0.90	1.10	1.37	0.10
C_4	1.10	0.90	1.52	0.11
C_5	0.90	1.10	1.38	0.10
C_6	0.85	1.15	1.20	0.09
C_8	1.15	0.85	1.41	0.10
C_9	0.80	1.20	1.18	0.08
C_{10}	0.90	1.10	1.07	0.08
C_{11}	1.15	0.85	1.26	0.09
		$\sum$	13.94	1.00

Finally, the group weight criteria, obtained as arithmetic meanings of individual weights, are shown in Table 7.

Table 7: *The group weights of the criteria*

	w_j^1	w_j^2	w_j
C_1	0.05	0.07	0.06
C_2	0.04	0.08	0.06
C_3	0.08	0.11	0.10
C_4	0.06	0.10	0.08
C_4	0.07	0.11	0.09
C_5	0.12	0.10	0.11
C_6	0.10	0.09	0.09
C_8	0.14	0.10	0.12
C_9	0.09	0.08	0.09
C_{10}	0.10	0.08	0.09
C_{11}	0.15	0.09	0.12
		$\sum$	1.00

The weighted and normalized weighted sums of positive and negative distances from the average, obtained by using Eqs. (8) to (11), as well as the appraisal score S_i, calculated by using Eq. (12), are shown in shown in Table 8.

Table 8: *Calculation details obtained using the EDAS method*

	Q_i^+	Q_i^-	S_i^+	S_i^-	S_i	Rank
A_1	0.04	0.15	0.22	0.11	0.16	4
A_2	0.19	0.07	1.00	0.61	0.80	1
A_3	0.04	0.17	0.22	0.00	0.11	5
A_4	0.12	0.03	0.62	0.85	0.73	2
A_5	0.09	0.06	0.46	0.67	0.56	3

As it is shown in Table 8, the best alternative is alternative denoted as A_2.

CONCLUSION

This paper presents an approach for evaluating laptop computers based on the use of two easy-to-use multiple criteria decision-making methods. The experience gained during testing of this approach indicates its usability, but it can also be emphasized that a certain weakness of the proposed model was observed in relation to the proposed set of evaluation criteria. Despite the large number of criteria used in the proposed model, it was also noted that there are also significant criteria that are not included in the proposed model. It has also been noted that a higher efficiency of the proposed model could be achieved by a hierarchical organization of evaluation criteria, which would probably be done if the proposed model continues to develop.

REFERENCES

[1] Paul D, Agarwal P, Mondal G, Banerjee D. A comparative analysis of different hybrid MCDM techniques considering a case of selection of 3D printers. Management Science Letters 2015; 5(7):695-708.

[2] Vasovic J, Radojicic M, Vasovic S, Necic Z. Multi-criteria Selection of the Computer Configuration for Engineering Design. International Arab Journal of Information Technology (IAJIT) 2017; 14(5):782-789.

[3] Adalı EA, Işık AT. The multi-objective decision making methods based on MULTIMOORA and MOOSRA for the laptop selection problem. Journal of Industrial Engineering International 2017; 13(2):229-237.

[4] Lakshmi TM, Venkatesan VP, Martin A. Identification of a better laptop with conflicting criteria using TOPSIS. International Journal of Information Engineering and Electronic Business 2015;7(6):28-36.

[5] Stanujkic D, Zavadskas EK, Karabasevic D, Smarandache F, Turskis Z. The use of the PIvot Pairwise RElative Criteria Importance Assessment method for determining the weights of criteria. Romanian Journal of Economic Forecasting 2017;20(4):116-133.

[6] Kersuliene V, Turskis Z. Integrated fuzzy multiple criteria decision making model for architect selection. Technological and Economic Development of Economy 2011;17(4):645-666.

[7] Keshavarz GM, Zavadskas EK, Olfat L, Turskis Z. Multi-criteria inventory cilassification using a new method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS). Informatica 2015;26(3):435-451.

[8] Stanujkic D, Zavadskas EK, Ghorabaee M K, Turskis Z. An extension of the EDAS method based on the use of interval grey numbers. Studies in Informatics and Control 2017;26(1):5-12.

[1] *Note: The sequence of alternatives in further consideration has been changed to prevent the promotion of a brand of laptops.*

СИСТЕМЕН ПОДХОД НА ЛОКАЛНА ИНФРАСТРУКТУРА ЗА ИНТЕРНЕТ НА ХРАНИТЕ (ИНХ)

Красимир Илиев Колев[1], Атанас Николов Костадинов[2]
[1]*Университет по хранителни технологии – Пловдив*
[2]*Технически Университет – София, филиал Пловдив*

SYSTEM APPROACH TO LOCAL INFRASTRUCTURE FOR INTERNET OF FOOD (IoF)

Krassimir Iliev Kolev[1], Atanas Nikolov Kostadinov[2]
[1] *University of Food Technologies – Plovdiv*
[2] *Technical University – Sofia, Plovdiv branch*

Abstract

The paper focuses on a systematic architectural approach for modular implementation of local Infrastructure for the Internet of Food (IoF). The requirements for devices to realization of infrastructure for the Internet of Food are defined. A model of Internet of Food is proposed. A model of computer system is synthesized on the basis of modern modules and devices for building a local infrastructure for the Internet of food based on LoRaWAN technology. Proposed are variants of information services to the computer system on the basis of existing modern cloud technologies. The functional analysis is made. The paper provides original guidelines for developing a new type of traceability through modern computer systems.

Keywords: Internet of Food; IoF; LoRa; LoRaWAN; Computer systems.

ВЪВЕДЕНИЕ

Храната е важна и необходима за съществуването на човека. Тя може да бъде от животински или растителен произход. Извършва се контрол на качеството на използваните храни, в частност на тяхната безопасност, още от дълбока древност до наши дни [1, 2].

В последните години с бързи темпове се развива мрежовата свързаност между обекти, като се обособи отделно направление Интернет на нещата (IoT). Тъй като храните са особен вид самостоятелни обекти със специфични изисквания, е възможно да се формира отделна свързаност отчитаща техните особености. Именно тази нова мрежова свързаност на отделни храни, контейнери за храни, технологични линии и суровини може да се означи като Интернет на храните (IoF) [3, 4, 5, 6, 7]. В последните месеци се инициираха разработки в тази нова област на мрежова свързаност на хранителни обекти. За тази цел в момента се търсят различни решения за изграждане на Интернет на храните [8]. Това ново направление в компютърните системи и технологии, значително ще промени начина, по който можем да извличаме, прехвърляме, съхраняваме и обработваме информация за дадена храна. Възможността за проследимост, идентификация и контрол на качеството на храните в реално време за отделни региони и държави с използване на интегриране на сензорни мрежи към съществуващи мрежови инфраструктури е едно от най-обещаващите приложения на Интернет на храните. Като база за изграждане на IoF може да се използва натрупаният опит от развитие на технологията Интернет на нещата, като се отчитат особеностите за отдалеченост на хранителните обекти от съществуващи мрежови инфраструктури.

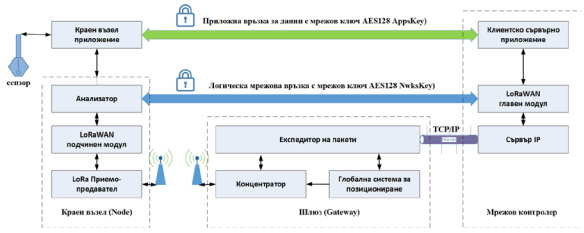
ИЗИСКВАНИЯ КЪМ БЕЗЖИЧНИТЕ СЕНЗОРНИ ВЪЗЛИ И ПРЕДЛОЖЕН ВАРИАНТ НА ИНХ (IoF)

Крайните устройства (хостове) на мрежите на Интернет на храните се състоят от множество безжични сензорни възли (БСВ), разположени в близост до хранителни продукти, намиращи се в различни териториални локации. Тези БСВ трябва да притежават по-голяма функционалност и да имат възможност за:

- безжична мрежова свързаност по-голяма от 1 км;
- малка консумация с цел батерийно захранване;
- „снемане„ и дискретизиране на съответните технологични сигнали, описващи състоянието на хранителни продукти;
- локално буфериране и запомняне на получените данни в облачни структури;
- измерване параметрите за съхраняващата среда на продукта;
- ниска цена;
- малки размери за интеграция към типови хранителни продукти и контейнери.

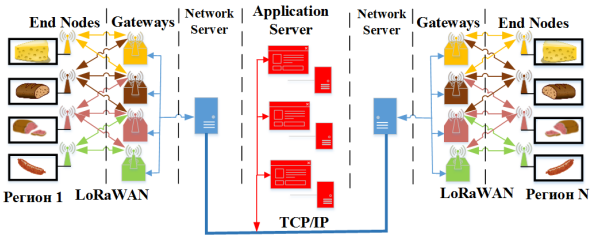
Тези основни изисквания автоматично изключват безжичните сензорни възли, поддържащи Bluetooth и Wi-Fi поради ограничения обхват за мрежова свързаност. БСВ на база на мобилните 3G/4G мрежи също не са подходящи поради високата цена на хардуера, месечен план на мрежова поддръжка и висока енергийна неефективност. Като възможен вариант е да се използват модули поддържащи стандарт на ниско консумираща глобална мрежа (LPWAN) тип LoRaWAN™ [9].

Спецификациите на стандарта LoRaWAN™ е различен в зависимост от разрешеният спектър на комуникация. За Европа честотният обхват е от 867 MHz до 869 Mhz, разделен на десет канала (осем за скорост 5.5 kbps, един за 11 kbps и един за 50 kbps) и максимална изходна мощност +14 dBm. Крайните възли по този стандарт позволяват двустранна комуникация до 5км. LoRaWAN™ има две нива на сигурност, базирани на стандарта предложен от IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.15.4-2015/ Cor 1-2018. Защитата на мрежата гарантира автентичността на възела в мрежата, докато слоя за сигурност на приложението гарантира, че мрежовият оператор няма достъп до данни за приложението на крайния потребител, както е показано на Фиг. 1.



***Фиг. 1**. Поточна диаграма за защита на данни*

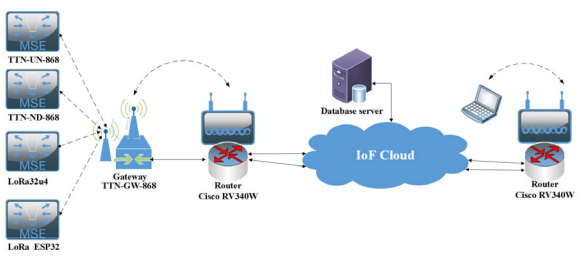
Един възможен вариант на функционална структура за изграждане на отделни клонове на мрежова инфраструктура за Интернет на храните, на база на съществуващите системи за Интернет на нещата, е показан на Фиг. 2.



***Фиг. 2**. Мрежова инфраструктура за Интернет на храните*

МОДЕЛ НА КОМПЮТЪРНА СИСТЕМА, ПРИЛОЖИМА ЗА ИНХ (IoF)

На база на предложената по-горе мрежова инфраструктура за Интернет на храните, посредством интегриране на LoRa вградени микропроцесорни модули, е разработен модел на компютърна система за изграждане на инфраструктура за проследимост, идентификация, мониторинг и дистанционен контрол на храни (Фиг. 3).



***Фиг. 3**. Модел на компютърна система, приложима за ИНХ (IoF)*

За хардуерната реализация са избрани съвременни компютърни модули. Като конкретни устройства на крайни възли са използвани TTN-UN-868 (за температура, влажност и др.), TTN-ND-868 (за температура, ускорение, осветеност), LoRa32u4 (за температура, цвят, налягане, влажност), LoRa ESP32 с OLED дисплей (за температура и налягане), за шлюз TTN-GW-868 (поддържа Wi-Fi/Bluetooth/ Ethernet), за маршрутизатор към доставчика на Интернет е избран тип Cisco RV340W с двупортов WAN (Wide Area имNetwork) за балансиране и резервиране на натоварването с комбинирана връзка (поддържа Wi-Fi и жична Ethernet).

Сензорните модули към хранителните продукти представляват интегрална схема, предназначена за конкретен технологичен параметър. Входният интерфейс на крайните възли поддържа цифрови и аналогови сензорни входове, така че сензорите могат да бъдат с различни интерфейсни сигнали. Изборът на определен сензор може да бъде измежду следните видове, посочени по-долу:

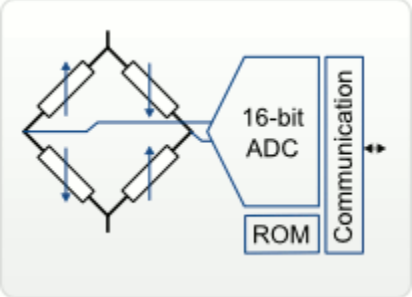
- за температура LM75A, LM35D, TMP36, DS18B20 и др.
- за цвят TCS3200, TCS34725, TCS3414 и др.
- за налягане MS5540, MPX5500 и др.
- за влажност Si7021 (комбиниран за влажност и температура), HS1101 и др.
- комбиниран за температура, влажност и налягане BME280 и др.
- за газове MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-8, MQ-9, MQ-135 и др.

Кратка техническа информация за избран примерен сензор от споменатите по-горе такива е представена на следващите редове.

LM75A представлява цифров температурен сензор с вграден сигма-делта АЦП (Аналогово-Цифров Преобразувател), използващ интерфейс от тип I^2C (Inter-Integrated Circuit) [10]. Сензорът формира 9 битов код, съответстващ на температурата. Той има точност ± 2°C за целия температурен диапазон от -25°C до 100°C и точност ± 3°C за температурния диапазон от -55°C до 125°C. Захранващото му напрежение е от 2.7V до 5.5V.

TCS3200 представлява програмируема интегрална схема, преобразуваща цвета на светлина в честота с определена стойност [11]. На изхода на сензора се получават правоъгълни импулси с коефициент на запълване 50%. Честотата на произведените правоъгълни импулси е пропорционална на интензитета на светлината. Захранващото му напрежение е от 2.7V до 5.5V.

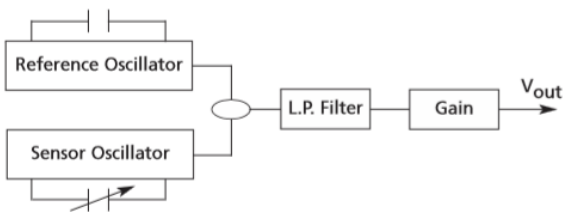
MS5540 включва в състава си пиезорезистивна клетка, АЦП (ADC), ROM (Read-Only Memory) памет и интерфейс (Communication) [12]. Блоковата му схема е представена на Фиг. 4.



***Фиг. 4**. Блокова схема на MS5540*

Измереното налягане се кодира с 16 бита. ROM паметта се използва за съхранение на 6 коефициента, осигуряващи много точно калибриране на сензора. Интерфейсът за изпращане на информацията се състои от 3 проводника. Захранващото му напрежение е от 2.2V до 3.6V.

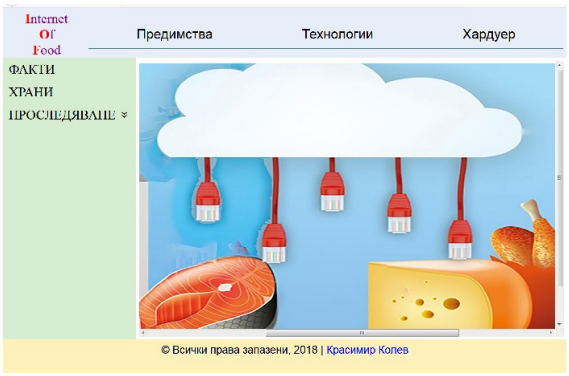
HS1101 съдържа капацитивна клетка, която заедно с другите съставни модули на сензора, осигурява изходно напрежение (V_{out}) пропорционално на относителната влажност [13]. Блоковата му схема е показана на Фиг. 5, където използваните наименования са Reference Oscillator (Основен тактов генератор), Sensor Oscillator (Генератор използващ капацитивната клетка), L.P. Filter (Нискочестотен филтър), Gain (Усилвател).



***Фиг. 5**. Блокова схема на HS1101*

Захранващото му напрежение достига до 10V, като типичната му стойност е 5V.

Програмирането на крайните възли се извършва самостоятелно в зависимост от избраният конкретен сензор за даден хранителен продукт. При това БСВ позволяват два режима на програмиране чрез bootloader и външен програматор. За реализиране на обслужващите системни програми се използва софтуер с отворен код работещи под операционната система от тип Linux. За избор на хардуерни компоненти за разширяване на представената компютърна система за Интернет на храните е разработен локален сайт показан на фиг. 6.



***Фиг.6**. Сайт за избор на компоненти за ИНХ (IoF)*

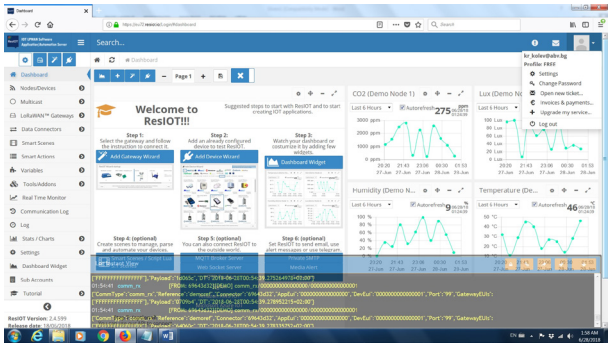
От менютата на сайта е възможно да се избират съвместими хардуерни компоненти от шлюзове до крайни устройства, като по този начин се използва системен подход за изграждане на реална компютърна система в зависимост от нуждите на потребителя и финансовите му възможности. Представените системни модули за избор са дадени с техните специфични технически характеристики. В сайта са подбрани само съвместими устройства за да може изградената компютърна система да е работоспособна и достъпна за изграждане. За реализация на приложното програмното осигуряване на системата се използват различни платформи на база на LoRaWAN™ като:

-The Things Network, свободен с отворен код LoRaWAN™ мрежов доставчик разработен и поддържан от широка група ентусиасти [14];

-LORIOT.io, глобален публичен LoRaWAN™ оператор за частни и публични мрежи [15];

-Everynet, глобален публичен LoRaWAN™ оператор [16];

За разработване на приложното програмно осигуряване е използвана платформата за отдалечен мониторинг ResIOT [17] (Фиг. 7).



***Фиг.7** Среда за обслужване за ИНХ (IoF)*

Функционалните възможности на Интернет на храните се определят от съвместната работа на всички компоненти – сензори, крайни възли, шлюзове (gateways), както и системен и приложен софтуер. Конфигурирането на всички компоненти се осъществява дистанционно, като се реализира събиране на данни в централна база данни с изградени права за йерархичен достъп с цел предотвратяване на манипулиране да данни и извършване на трасиране при активиране на алармите за заплахи от хранително отравяне.

Заплахите и превенцията на хранителни инциденти се реализира, чрез тригерни статистически функции на проследяване на нерегламентирано отклонение на технологични параметри и несъизмерими активности. Функционалността на цялата система зависи от правилният избор на крайни възли и настройване на облачната среда за мониторинг и контрол.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изграждане на инфраструктура на Интернет на храните следва да се обърне внимание на избора на крайните устройства. Тези устройства работят с различни хранителни продукти, притежаващи разнообразни параметри за качество при различни параметри на обкръжаващата среда. При бъдещото проектиране на инфраструктура за Интернет на храните е необходимо да се

отчита и развитието на ново появили се безжични технологии, както и стандарти насочени по-тясно към облачни технологии за събиране и обработка на данни.

Подготвеният доклад представя първите резултати от научен проект с тема „Изграждане на модерна локална инфраструктура за Интернет на храните", финансиран от Университета по Хранителни технологии (договор No. 08/ 18-Н, съобразно заповед 383/25.04.2018г.). Занапред предстои да бъде реализирана проектираната компютърната система, приложима за ИНХ (IoF), както и бъде анализирана нейната работа. Получените резултати, ще бъдат оформени отново както доклад за научна конференция или като статия за научно списание.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Edith I, Ochubiojo E. Food Quality Control - History, Present and Future, Scientific, Health and Social Aspects of the Food Industry. Rijeka: InTech, 2012.

[2] Inteaz A. Food Quality Assurance. Principles and Practices. New York: CRC Pres LLC, 2004.

[3] Xiaorong Z, Honghui F, Hongjin Z, Hanyu F. The design of the Internet of things solution for food supply chain. In: Proceedings of the fifth international conference on education management information and medicine, 2015, p. 314-318.

[4] Maksimović M, Vujović V, Omanović-Mikličanin E. Application of internet of things in food packaging and transportation. International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics 2015;1(4): 333-350.

[5] Chanthini B,Manivannan D, Umamakeswari A. Perishable food quality monitoring – an Internet of things (IoT) approach. International Journal of Pure and Applied Mathematics 2017;115(7): 63-66.

[6] Doinea M, Boja C, Batagan L, Toma C, Popa M. Internet of things based systems for food safety management. International Journal of Informatica Economică 2015;19(1): 87-97.

[7] Sandeep J, Rahimifard S. Utilization of Internet of things to improve resource efficiency of food supply chains. In: Proceedings of the eighth international conference on information and communication technologies in agriculture, food and environment, 2017, p. 8-19.

[8] http://www.iof2020.eu

[9] https://www.lora-alliance.org,

[10] http://www.ti.com/lit/ds/snos808p/snos808p.pdf

[11] https://www.mouser.com/catalog/specsheets/TCS3200-E11.pdf

[12] https://www.amsys.info/products/ms5540.htm

[13] https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/27920-Humidity-Sensor-Datasheet.pdf

[14] https://www.thethingsnetwork.org

[15] https://www.loriot.io

[16] http://www.everynet.com

[17] https://www.resiot.io

КОМПЮТЪРНА СИСТЕМА НА БАЗА LORAWAN ЗА ПРОСЛЕДИМОСТ НА ХРАНИ

Красимир Илиев Колев[1], Атанас Николов Костадинов[2]
[1]*Университет по хранителни технологии – Пловдив*
[2]*Технически Университет – София, филиал Пловдив*

COMPUTER SYSTEM BASED ON LoRaWAN FOR FOOD TRACEABILITY

Krassimir Iliev Kolev[1], Atanas Nikolov Kostadinov[2]
[1] *University of Food Technologies – Plovdiv*
[2] *Technical University – Sofia, Plovdiv branch*

Abstract

The paper focuses on an approach for using new wireless technologies and rapidly evolving field of Internet of Things (IoT) for traceability of foods. A variant of using LoraWan technology for implementing network connectivity between objects representing end-nodes providing objective technology information about food is presented. An analysis and comparison is made with existing food traceability systems. The end-node for traceability of foods is synthesized. The synthesized end node is based on a modern microcontroller ATmega328P and LoRa transceiver SX1276. An algorithmic diagram of the computer system is given. A functional analysis of the given computer system is made. The paper provides an original end-node for food traceability through modern computer systems.

Keywords: Internet of Food; IoT; LoRa; LoRaWAN; Computer systems, Traceability of foods.

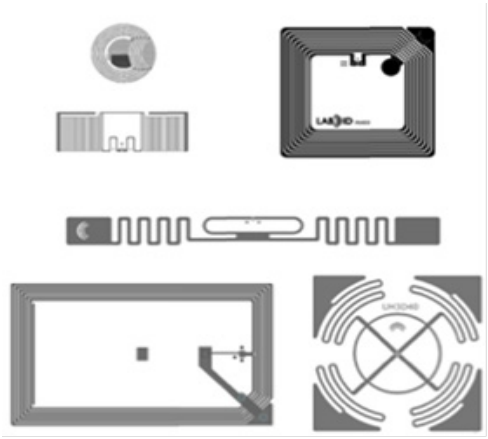
ВЪВЕДЕНИЕ

Проследяването на храните се превърна в нарастваща загриженост на потребителите и учени по целия свят. Проследяването на храни в момента се извършва предимно на административно ниво с използването на средства за документално проследяване на суровини и крайни продукти. Проследяването се превърна в правен инструмент през 2005 г. в Европа, който се прилага към всички хранителни продукти, които са търгуеми, с цел гарантиране на тяхната безопасност на храните съгласно член 18 от Регламент на ЕС 178/2002. Според действащото законодателството, отговорността за безопасност на храните е на всички стопански субекти. В последните години, хранително–вкусовата промишленост бързо се превръща в индустриален бизнес, който е „задвижван“ от клиенти с нарастващи изисквания за безопасна храна с доказан произход. При тези обстоятелства стана задължително да се реализират системи за проследяване, за да се сведе до минимум производството и разпространение на опасни или лоши качествени храни. Освен това новите системи за проследимост на храни трябва да събират обективна машинна информация без участие на човека за да може да се осъществява превантивен контрол за избягване на инциденти с храни. Трябва да се отбележи, че докладваните хранителни заплахи в последните години не винаги са били свързани с наличие на патогенни микроорганизми. Повечето от тях са свързани с нови технологии, замърсяване на околната среда и промени в управлението на съвместните продукти [1]. Настоящата публикация дава едно примерно решение за активно проследяване отчитайки тенденциите за мрежова свързаност между обекти на база на съвременни компютърни системи и технологии.

ТЕХНОЛОГИЧНИ ПОСТИЖЕНИЯ ЗА ПРОСЛЕДЯВАНЕ НА ХРАНИ

С глобализацията традиционните техники за проследяване на база на етикети и

книжни документи не са адекватни и напредъкът във внедряване на електронни методи е желателен за ефективна система за проследяване. Радиочестотна идентификация (RFID) е понастоящем наложила се технология за електронно етикиране. RFID технологията използва различни честоти и идентификатори. RFID идентификаторите притежават антена за предаване и получаване на радио-сигнали. Пасивните RFID чипове нямат собствено захранване, докато активните имат. RFID идентификаторите на фиг. 1, могат да се прикрепят към обектите като етикети, маркери, карти, капсули, дискове, като пасивните идентификаторите дори могат да бъдат инжектирани в обекти.



***Фиг. 1**. Различни видове RFID идентификатори*

RFID технология използва различни честоти. Повечето от RFID системите работят в нискочестотен обхват (LF – обикновено 125 kHz) съгласно стандарт ISO/IEC 18000 и високочестотен обхват (HF – обикновено 13.56 MHz) съгласно стандарт ISO/IEC 15693.

Всъщност, системите тип LF RFID вече са намерили редица области на приложение, когато етикетът се прилага върху органични тъкани, например идентификация на животни, съгласно стандартите ISO 11784, където маркерът се прилага директно върху ушите, врата или крака на животното или дори се инжектира или поглъща. Друг случай на електронно етикиране е идентифицирането на метални контейнери, конструкции или машини, където се работи с храна, например в насипно състояние (кофи, кутии и т.н.), метални рафтове и други. LF RFID системи се използват за съвременно етикиране на млечни продукти, сирена, животни, ябълки [5]. Основен недостатък на предлаганите LF RFID системи, че те са пасивни и не могат да предават информация в реално време за проследяване на храни. Най-важният въпрос в хранителната промишленост е как да се измери температурата във възможните хранителни обекти без голяма инвестиция. Дори да се използват нови HF RFID полу-пасивни системи с вградени температурни сензори, те работят на 13.56 MHz, с ниска мощност на излъчване и обхвата на четене не е по-голям от три сантиметра. Извличането на тази технологичната информация дори в този случай не активна и става след определен жизнен цикъл на храната. Има ли решение да се реализира система за предаване на технологична информация в реално време. Да, това е възможно като се използват нови технологии за комуникация [6] и изгради сензорна мрежа предаваща информация за храните в Интернет. Едно сравнение на широко разпространени безжични технологии е дадено в табл. 1.

***Табл. 1** Основни характеристики на безжични мрежи*

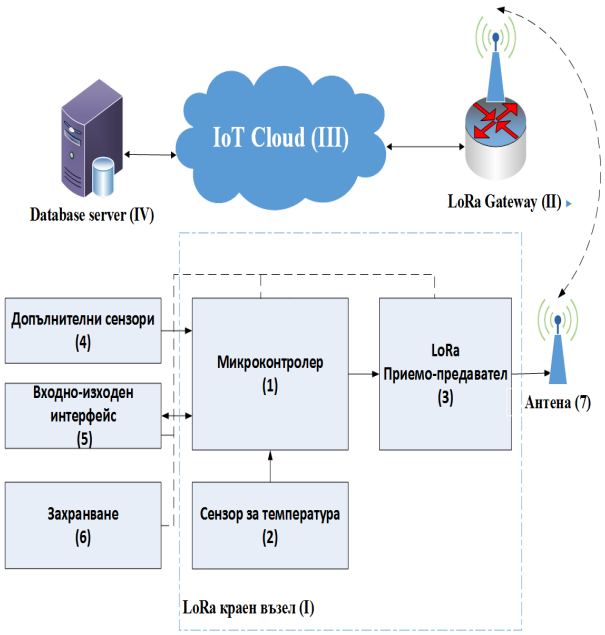
Характеристики	**LoRa**	**Blue-tooth**	**Wi-Fi**
Работна честота	868/915MHz	2.4GHz	2.4GHz
Възли на мрежата [max]	65536	7	32
Време за събуждане	30ms	10s	3s
Скорост на данни [max]	22 Kbps	24Mbps	600Mbps
Топология	star	tree	tree
Начин на разширяване	Автомати-чен	няма	Автомат и-чен
Обхват	5-15 km	0.1 km	0.250 km
Време на батерийно захранване	години	дни	часове
Ток в режим на готовност, A	$3x10^{-6}$	$200x10^{-6}$	$20x10^{-3}$
Режим на ниска консумация	поддържа	Не	Не

Технологията LoRa принадлежи към групата на енергоефективни глобални мрежи тип LPWAN, Bluetooth принадлежи към групата на персоналните безжични мрежи (WPAN) с група стандарти IEEE 802.15, а Wi-Fi към локалните безжични мрежи (WLAN) със стандарти IEEE 802.11 [2]. От представените технологии най-подходяща

до момента за реализиране на активна система за проследяемост на храни е LoRa стандарт дефиниран от LoRa Alliance [3], тъй като поддържа голям брои устройства, устройствата имат ниска консумация на енергия, подходящи са за батерийно захранване, притежават най-голям обхват от предлаганите технологии, имат малка консумация в активен режим и възможност за изграждане на разширяеми мрежи звезда-звезда. Освен това LoRa осигурява защитена връзка като използва 128 битов криптиращ ключ [7]. На пръв поглед по-ниската скорост за предаване на данни спрямо другите представени технологии, не е недостатък, тъй като сензорните мрежи не предават големи масиви от данни и мултимедийно съдържание, а технологични данни (обикновено температура, влажност, налягане) които не изискват големи скорости за предаване.

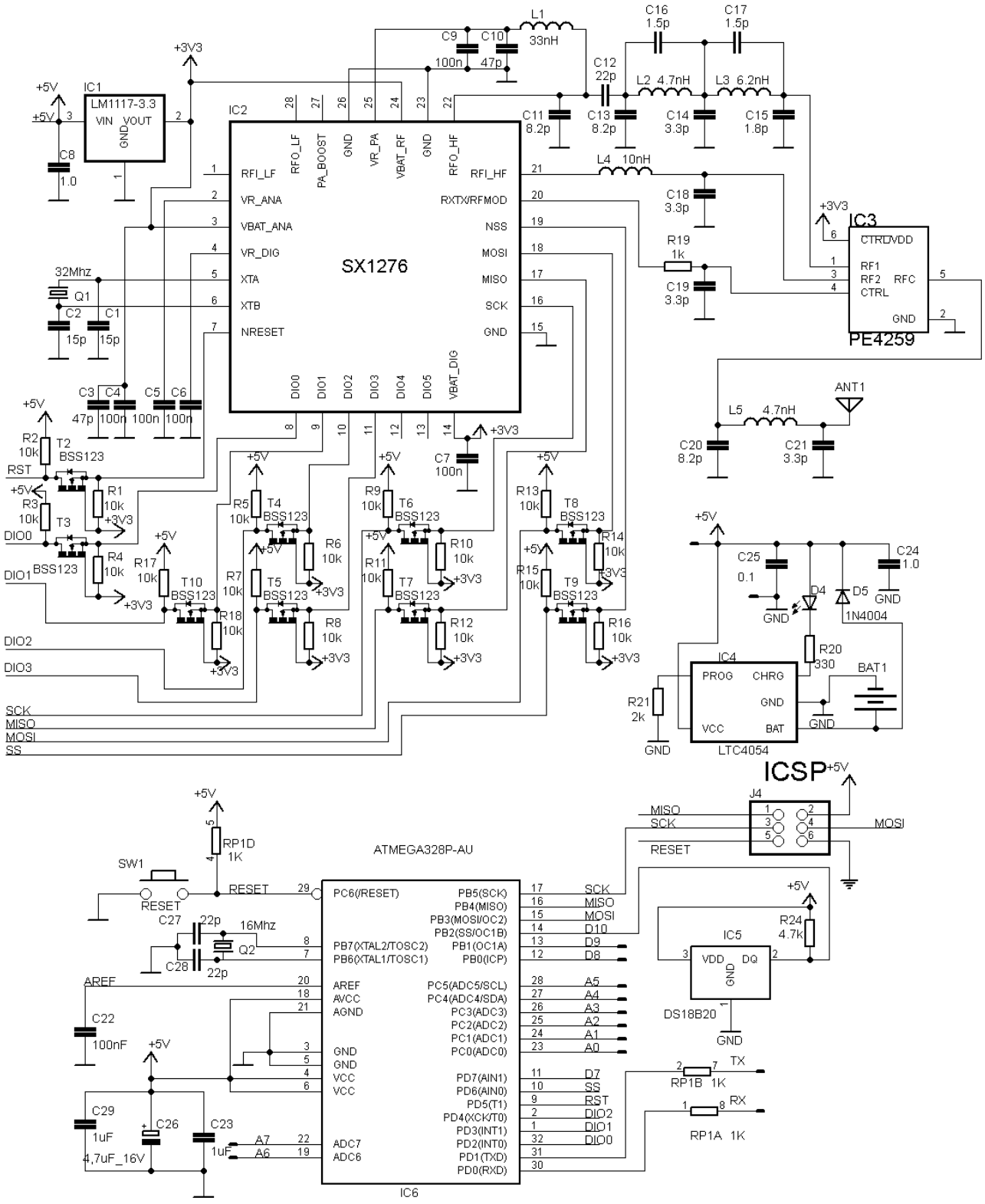
КОМПЮТЪРНА СИСТЕМА НА БАЗА LORAWAN ЗА ПРОСЛЕДИМОСТ НА ХРАНИ

На фиг. 2 е показана структурната схема на предложената компютърна система използваща свързаност на Интернет на нещата (IoT) посредством реализиране на крайни възли на база технологията LoRa за активна проследимост на храни. Тя се състои от крайни възли (I) за събиране технологична информация, стандартен Zigbee шлюз (II) за връзка към Интернет, облачна инфраструктура на IoT (III) и централен сървър за съхранение на данни (IV). В приложената структура основен компонент за събиране на данни е крайният възел. Именно за него е представена детайлно описание на структурните компоненти – микроконтролер (1), сензор за температура (2), LoRa приемо-предавател (3), допълнителни сензори (4), входно-изходен интерфейс (5), захранване (6) и антена (7).



Фиг. 2 *Структурна схема на компютърната система*

За реализация на схемо-техническата част на микропроцесорната система на крайният възел се изхожда от общите принципи за реализация на база възприетата структурна схема. На фиг. 3 е показана принципната схема на реализираният краен възел за проследимост на храни. Синтеза на микропроцесорната система е на база на вграден микроконтролер в един чип ATmega328P (IC2). ATmega328P е бързодействащ Microchip picoPower 8-битов AVR RISC (Reduced Instruction Set Computer, с намален брой инструкции) базиран микроконтролер, който комбинира 32KB ISP (In-System Programming, която се програмира след реализирането на микропроцесорната система) флаш памет, 1024B EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, електрически изтриваема ROM памет), 2KB SRAM (Static random-access memory, статична RAM памет), 23 входно-изходни извода, 32 броя регистри с общо предназначение, три модула таймери/броячи с режим за сравнение, вътрешни и външни източници на прекъсване на работата на микропроцесора,



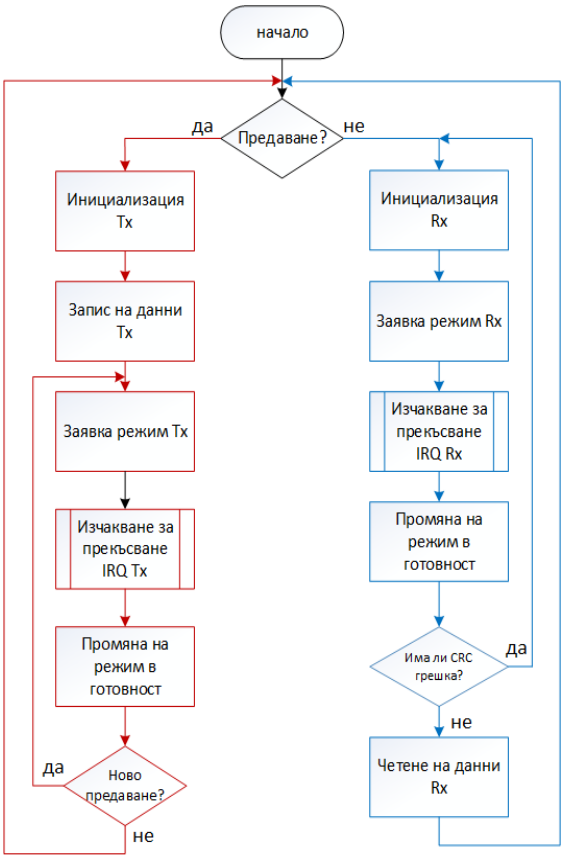
***Фиг. 3**. Принципна схема на краен възел за проследимост на храни*

последователно програмируем USART (Universal Synchronous and Asynchronous Receiver-Transmitter, универсален синхронен и асинхронен приемо-предавател), байтов двужичен сериен интерфейс, SPI (Serial Peripheral Interface) последователен порт, 6-канален 10-битов АЦП (Аналогово-Цифров Преобразувател) (8-канален при TQFP и QFN/MLF корпуси на интегралната схема), програмируем стражеви таймер с вътрешен тактов генератор, както и пет програмно избираеми режими с намалена консумация на

електрическа енергия. Микроконтролерът работи с електрическо напрежение между 1.8 до 5.5 волта [4].

ATmega328P използва свободен софтуер за разработка от фирмата производител и свободната развойна среда на Arduino. Предложеният краен възел се програмира чрез ICSP (In Circuit Serial Programming, програмиране, чрез последователен интерфейс) куплунга посредством външен програматор и средата AVR Studio или посредством външен сериен преобразувател TTL-USB и Arduino IDE средата. Групата от елементи RP1D и бутона RESET е стандартна за този тип микроконтролер и произвежда сигнал за начално установяване на микропроцесорната система. Групата елементи C27, C28 и Q2 е стандартна за реализация на външна честотно задаваща група на тактовия генератор на микропроцесора. Захранването на микропроцесорната система е реализирана посредством батерийно захранване, като е предвидена възможност за зареждане посредством специализирана интегрална схема LTC4054 (IC4) за зареждане на акумулаторни батерии за осигуряване на автономното захранване на проектираният възел за проследимост на храни. Регулаторът IC1 осигурява 3.3V постоянно напрежение за приемо-предавателя. Lora приемо-предавателя е реализиран на база на специализирана интегрална схема SX1276 (IC2) на фирмата Semtech. SX1276 притежава чувствителност на приемане около -148dBm. Консумацията на приемо-предавателя в спящ режим е 0.2uA, а в готовност 1.6 mA. Изходната мощност на предаване е 13 dBm. SX1276 има вградена 256 байтова RAM за буфер на данни достъпна в режим LoRa [8]. Групата елементи C1, C2 и Q1 е стандартна за реализация на външна честотно задаваща група на тактовия генератор на SX1276. Приемо-предавателния тракт използва обща антена, поради това за мултиплексиране и демултиплексиране на сигналите към/от антената се използва специализиран аналогов управляван комутатор за високи честоти тип PE4259 (IC3]. Антената е сменяема с куплунг SMA/UFL с цел използване на различни антенни системи в зависимост от покритието на шлюза. Сензорът за температура IC4 е типа DS18B20 – цифров еднопроводен на фирмата Maxim. Той измерва температурата в обхват от -55°C до 125°C с точност +/-0.5°C, като използва 12-битово цифрово представяне на данните. Сензорът има уникален 64-битов идентификационен комуникационен номер, което позволява да се включват множество сензори към една шина.

Алгоритмичната диаграма на проектираният краен възел е показана на фиг. 3.



***Фиг. 3** Алгоритмична диаграма на проектираният възел*

Програмното осигуряване на компютърната система е разработено на база на адаптиране на IBM LoRaWAN C-библиотеки (LMiC) за контрол на достъпа до преносната среда (MAC). При заявен интерес авторите предоставят програмният код за обслужване на системата. Цената на предложената микропроцесорна система без допълнителни елементи по цени за 2018г. е само 11 евро.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интересът към създаване на съвременни системи за проследяемост на храни налага

използването на съвременни микроконтролери и безжични компютърни технологии. Използването на предимствата на технологията LoRa и инфраструктурата на Интернет на нещата (IoT), позволява да се реализират „умни“ системи за проследяване на храни. Представената структура за реализация на система на база на микроконтролера ATmega328P и приемо-предавателя SX127, позволява да се контролират основни параметри на хранителните продукти като температура на съхранение, влажност, цвят и мирис. Предложената система е хардуерно отворена и позволява да се разширява с различни видове сензори. Предложената система е разширяема с възможност за организация на препредаване на данни към LoRa шлюзове. Съществено предимство е достатъчен обхват за предаване на данни в рамките на даден технологичен обект от хранително-вкусовата промишленост и търговската мрежа. Друго съществено предимство е, че данните при предаване са защитени по подразбиране от технологията LoRa. Предложената структура адаптира работещи модели и технологии, поради което ще намери и приложение в хранителната индустрия. Предложеният краен възел е приложим за многократно използване и с възможно най-ниска цена със цел масово използване с опаковки за храни. Подготвеният доклад представя първите резултати от научен проект с тема „Изграждане на модерна локална инфраструктура за Интернет на храните”, финансиран от Университета по Хранителни технологии (договор N 08/18H, съобразно заповед 383/25.04.2018г.). Разработеният краен възел предстои да бъде вграден в компютърната система, приложима за ИНХ (IOF), както и бъде анализирана неговата работа за покриване на гр. Пловдив с модерна инфраструктура за проследимост на храни. Получените резултати, ще бъдат оформени като статия за научно списание.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Espiñeira M., F. Santaclara, Advances in Food Traceability Techniques and Technologies, Elsevier Woodhead Publishing, 2016.

[2] Hanes, D., G. Salgueiro, P. Grossetete, IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things, Cisco Press, 2017.

[3] LoRa Alliance, LoRaWAN™ 1.1 Specification, LoRa Alliance Inc., 2017.

[4] Microchip Technology Incorporated, ATmega328/P AVR® Microcontroller with picoPower® Technology - Datasheet Complete DS40001984A, Microchip Technology Inc., 2018.

[5] Montet D., R. Ray, Food Traceability and Authenticity, CRC Press, 2018.

[6] Yang, S. H., Wireless Sensor Networks: Principles, Design and Applications, Springer-Verlag, 2014.

[7] Pethuru, R., R. Anupama, The Internet of things : enabling technologies, platforms, and use Cases, Taylor & Francis, CRC Press, 2017.

[8] Semtech, DATASHEET: SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver, Semtech Corporation, 2016.

FABRIC CUTTING OPTIMIZATION APPLICATION

Özgür Altunsöğüt[1], Erdem Uçar[1]
[1] *Trakya University*

Abstract

Under increasingly competitive conditions, it has become inevitable for businesses to produce better quality products at lower cost so that they can maintain their marketplace. In today's conditions where the competition has reached an international dimension, producing quality products with less cost provides serious advantages to businesses. Enterprises manufacturing in the textile sector have to compete not only with domestic businesses but also with countries where the textile industry such as Pakistan, Egypt, Bangladesh, Indonesia is developing. In particular, the denim sector is making small pieces of long-lived fabrics for customer orders and selling them to customers. Because of getting more first quality products from same amount of fabric is decreasing wastage and increasing profitability this will achieve significant advantages to companies.

Keywords: textile, denim, facric cutting, optimization, software

Introduction to Fabric Production

The operations for fabric production in denim mills and the machines where these processes are applied are almost identical. Production orders for each order are arranged and the fabric passes through a certain route and the production is completed. Different processes are applied on the fabric at every stage of production. A wide range of paints and chemicals are used when these processes are applied. Each process has its own production conditions. Speed, temperature and the amount of chemical to be applied are very important for the production phase. If these conditions are not provided correctly, defects are appeared in fabric production and the fabric is wasted. The final stages of the production processes are quality control, cutting and packaging processes. Orders are usually long-term and are not suitable for the customer to carry in one piece. Therefore, the fabric is cut into smaller pieces in the cutting stage and shipped to the customers.

Quality Control in Fabric Production

The fabrics that have been produced are passed through the quality control stage before they are sent to the customer. After physical and chemical tests, the quality control of fabrics is examined in quality control machines. This is done by an operator. There is a software on the machines that can enter these quality control results. This software communicates with meter meters on the machine via serial port or Ethernet and displays the fabric quantity instantly in software. Operators taking into account customer requests and cut the fabric from a certain point according to their own initiative and start the quality control of the next roll after packaging. In the meantime, because the quality control machine can not see all the fabric attached to the cutting point immediately after a break that causes this piece to be wasted. Since quality control and cutting is done at the same time, this kind of waste is inevitable. In addition, since the whole of the fabric is not evaluated, it is possible to obtain more 1. Quality fabrics by making much better cuts than the different points and this method is wasted too much.

Fabric Defect Map

Quality control and cutting operations on the same machine, cause too much waste because of the defects that can come after cutting is not known. With this method we recommend, firstly all the fabric will be checked defects without cutting. In this way, which meter is located on the fabric which error will be recorded in the system. Table 1 shows the error map of a 1041, 82 meter fabric.

Defect	Start	Length	Point
Width variation	1033,89	0	1
Crack	1023,47	0	4
Less size	1009,13	0	1
Hand mark	991,44	5,75	24
Lashing	983,66	0	1
Lashing	960,81	0	1
Lashing	953,7	0	1
Belt mark	929,15	0	4
Width variation	901,43	0	1
Width variation	880,14	0	1
Miss pick	867,48	0	1
Width variation	862,47	0	2
Rubbing mark	832,04	4,66	20
Crack	830,02	0	4
Width variation	825,62	0	1
Width variation	823,54	0	1
Width variation	800,09	0	1
Knots	797,66	0	3
Width variation	778,85	0	1
Width variation	762,6	0	1
Width variation	746,82	0	4
Width variation	722,33	0	1
Miss pick	717,28	0	1
Knots	704,67	0	1
Knots	701,6	0	1
Width variation	646,3	0	1
Width variation	631,92	0	1
Poly contaminatio n	573,44	0	4
Width variation	570,53	0	1
Width variation	507,72	0	1
Splice Cut	495,62	0	4
Width variation	492,2	0	1
Miss pick	408,44	0	1
Width variation	398,01	0	2
Knots	390,14	0	1
Width variation	379,55	0	1
Width variation	321,4	0	1
Width variation	307,29	0	1
Width variation	300,21	0	1
Knots	297,52	0	2
Weft slub	272,32	0	1
Weft slub	269,52	0	4
Belt mark	262,66	0	4
Belt mark	240,4	0	4
2 - Belt mark	238,58	0	4
Defect	**Start**	**Length**	**Point**
Width variation	234,75	0	1
Belt mark	211,44	0	4
Clip mark	206,16	0	3
Miss pick	200,03	0	1
Hard size	186,17	0	4
Weft slub	166,84	0	1
Belt mark	152,72	0	4
Hard size	148,36	0	4
Belt mark	145,55	0	4
Hard size	140,47	0	4
Width variation	128,08	0	1
Width variation	102,78	0	1
Clip mark	88,68	0	4
Width variation	83,51	0	1
Width variation	68,17	0	1
Weft slub	57,85	0	1
Belt mark	54,41	0	4
Knots	51,43	0	1
Weft slub	39,2	0	1
Width variation	29,63	0	1
Weft slub	6,93	0	1
Weft slub	5,44	0	1
Weft slub	2,4	0	1

Table 1: Defect Map

When the defect map is examined, it is seen that there are different defects in the fabric at many different points. Defects can be examined in two parts as point and continuous. The beginning and end points of point defects are the same. Continuous defects start and

continue at a certain point. If the defect map is not subtracted, it is inevitable that any errors that may occur after the point where the operator intersects are unknown. However, since the pre-cut defect map will give detailed information about the fabric, the cutting process can be done more planned.

Materials and Methods in Cutting Optimization

Customers want small pieces to make their orders easier to carry on production lines. The weight of square meters is about 400 grams / square meter and the approximate weight of the 1.5-meter-wide 1000-meter fabric (1.5 meters * 1000 meters) * 400 grams / square meter = 600 kg. It is impossible for such a heavy ball to be transported and processed by human beings. For this reason, the enterprises want fabric in certain quantities according to their own conditions. Produced fabrics are divided into qualities according to certain criteria. Qualification can be different for each customer. The following figure shows the cutting parameters that can be used during quality determination operations.

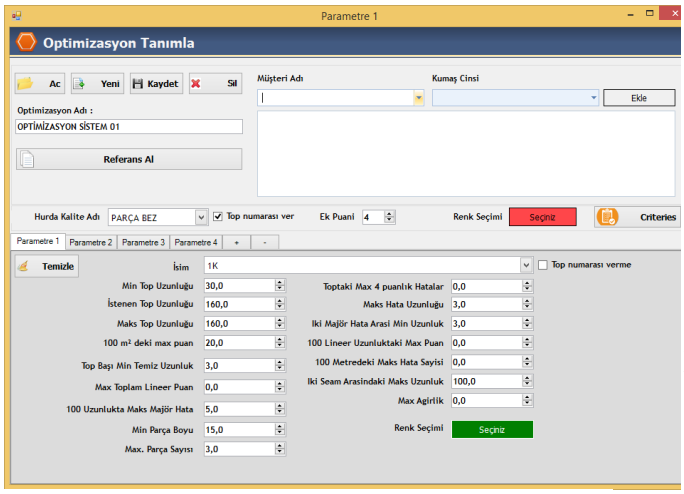


Figure 1: *Optimization cutting parameters*

Min. Ball length: The shortest ball length that the customer wants.
Desired ball length: Customer's specific length
Max. ball length: The maximum length that the customer can accept.
Max. Score in 100 m2: The maximum demerit point of the ball in 100m2.
Roll head min. clean length: The minimum length of the piece at the beginning and at the end of each cut without defect.
Max. Total linear score: Demerit points are calculated for 100 m2. The linear score is calculated according to the length of the roll.
The maximum number of errors in 100 meters: The maximum number of major defects in the 100 meter fabric. Depending on the fabric length, the number may vary. For example, for a 75 meter cannon, there may be a maximum of 3 major defects.
Max. Number of pieces: Maximum number of additional pieces.
Min piece length: Minimum quantity of additional rolls.
Max 4 points defect number in the roll: The maximum number of defect points per roll that can be cut is 4 points.
Max defect length: The longest continuous defect meter that the roll can receive.
Distance between two major defects: The minimum length of the major defects between each other is kept.
The maximum score in 100 meters:The maximum linear score that a 100 meter roll can take. It is calculated in proportion to its quantity of roll.
Max length between added pieces: It is the maximum length difference between the additional pieces.
Max weight: The maximum weight that the fabric can be.

All the parameters shown in Figure 1 may vary on customer basis. It is very difficult to analyze these parameters by people. It can take a lot of time for a person who is qualified to produce a maximum of 1. Quality fabric that meets these criteria. Even so, it is very difficult for the software to produce the result that it can produce. People-oriented systems increase the personnel dependencies of enterprises as they are in people's initiatives. In the absence of qualified personnel, it can cause serious problems. However, with the software to be used, a 7x24 stable system can be created and a system can be established that provides human independent and better results. For example, if we want to cut the fabric with the defect map given in Table 1 according to the parameters in Figure 1, a result can be obtained from the software in seconds.

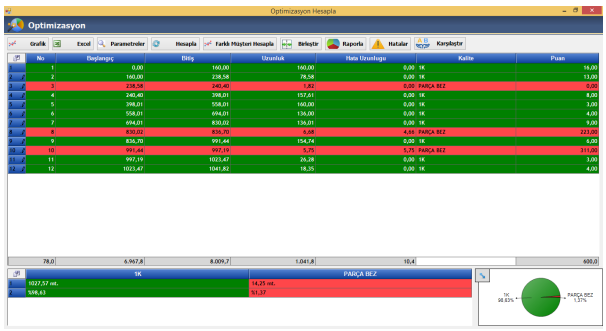


Figure 2: *Optimization cutting plan.*

As shown in Figure 2, the first quality fabric of 98,63% was obtained.
Many companies make quality classifications according to the international system of 4 points.

4 Points Fabric Quality Detection System

In determining the fabric quality, most enterprises use 4 points quality system according to the demands of customers. According to this system, each defect has a penalty point. Longitudinal defects take penalty points according to their lengths according to the table below. Also, the defects are divided into two groups as minor and major according to their level. Major defects are more critical level defects.

Length(inch)	Point
0 - 3	1
3 - 6	2
6 - 9	3
9+	4 point for each meter

Table 2: 4 points error system

For each fabric cut, defects are collected. Taking into account the square meter length of the cut fabric is calculated in 100 square meters. These points are called demerit points. Although it varies in terms of enterprise, demerit scores between 16-20 are generally classified as first quality fabric.

Fabric Cutting Process

The fabric with the fault map subtracked and the cut plan created is now ready for cutting. The fabric to be cut is connected to the cutting machine. With the software to be used, the operator is informed about the fabric. Overlook defects in the defect map section can be entered by the operator in the cutting section. Re-optimization can be performed according to these defects. The operator completes the customer requests by cutting from the points proposed by the optimization system. Thus, a maximum of 1. Quality fabric will be obtained. The following figure shows the cut-off screen of the fabric that has been planed in Figure 2.

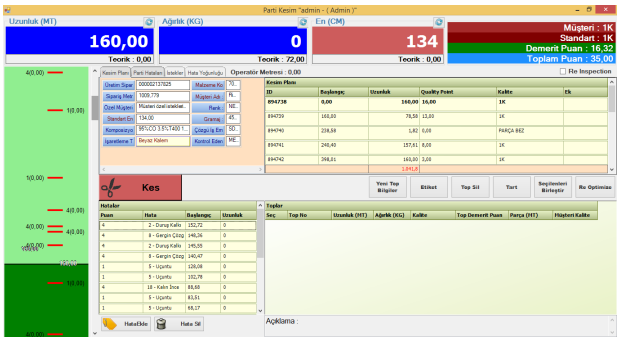


Figure 3: *Cutting screen*

Discussion and Conclusion

Monthly production capacities which are millions of meters of enterprises in the first quality fabric production can achieve a very small improvement even thousands of dollars will make a profit. The dependency on the designed and realized system and the personnel doing this work is reduced. At the same time, more first quality fabric is obtained. The increase in the amount of first quality fabric obtained by this system can reach approximately %1 in total. An increase of %1 for an enterprise with a monthly production of millions of meters is a very serious amount. Thanks to this application, the profitability of enterprises is increased and competitive power is supported.

REFERENCES.

Eralp G. (2010). *Türkiye'de Pamuklu Dokuma Endüstrisinde Verimlilik Ve Kalite Analizleri.* Tekirdağ, Türkiye.

Kumaş Kesim Optimizasyonu. (2014). Kumaş Kesim Optimizasyonu

http://www.fabriccuttingoptimization.com/tr/Kumas-Kesim-Optimizasyonu-Detaylari.aspx sitesinden alındı.

Nilüfer Y. (2006). Bir Örme Konfeksiyon İşletmesindeki Fire Ve Maliyetleri Üzerine Bir Araştırma. İstanbul, Türkiye.

Fabric Inspection Standard. (2010). 4- point system acceptable level
http://aius3.asiainspection.com//qi/aiweb.nsf/WebRessources/2010fbAcceptanceLevel/$file/4+point+System+acceptable+level.pdf sitesinden alındı.
Güncel A. B., Emel C. S. (2008). *Bir Konfeksiyon Fabrikasında Proses Ve Kalite Kontrol*
Adana, Türkiye.
Ayça G. (2015). *Konfeksiyon İşlemleri İle Kumaş Özellikleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi*.
Bursa, Türkiye.
Özlem D. K. (2010), O*rta Büyüklükte Bir Dokuma İşletmesinde İstatistiksel Proses Kontrol Sistemi: I. Kumaş Hatalarının Kontrolü*
Denizli, Türkiye.
Deniz M. A., Yüksel İ. (2014), *Defect Detection Of Velvet Bathrobe Fabrics And Grading With Demerit Point Systems*. Adana, Denizli, Türkiye.
Özlem K. (2004), Kumaş Kalite Kontrol Sistemleri. İzmir, Türkiye.

PREDICTING THE AMOUNT OF WASTAGE OF FINISHED GOODS IN TEXTILE DYEING FACTORIES

Özgür Altunsöğüt[1], Erdem Uçar[1] and Yılmaz Kılıçaslan[2]
[1]*Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Trakya University, 22180 Edirne, Turkey*
[2]*Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Adnan Menderes University, 09100 Aydın, Turkey*

Abstract

Fabrics undergo a series of processes in these factories that may cause defects. For this reason, the last process in the series is quality control. The position and size of the defects are determined in this control phase. Manufacturers opt for overproduction in order to compensate for the amount of wastage caused by such defects. As the production cost is high, it is important to correctly predict the overproduced amount. However, such predictions are error-prone when they are human-based. This study offers a machine-learning-based method for predicting the likelihood of wastage at certain intervals. Six different learning algorithms (J48, Naïve Bayes, KNN, SVM, Logistic Regression, and Multi-Layer Perceptron) were trained and tested on real data from a fabric dyeing factory. The experimental results show that some algorithms outperform humans in predicting the amount of wastage. The paper also offers an evaluation of the classification performances of learning models and of human predictors working in the field in order to justify the study and gain insight into the question of how to match a model to the task at hand.

Keywords: predicting, textile, wastage, machine learning, data mining

INTRODUCTION

Dyeing factories have many customer orders to produce fabrics. In order to produce finished goods these factories apply some chemical operations on raw fabrics. Each operation has its own specifications. Many factors such as temperature, speed, and pressure could cause defects in the fabrics during production. All defective parts, which are considered as wastage, have to be removed from the fabrics. Due to these defects, overproduction is inevitable. The amount of overproduction is decided by the relevant authorized person in the factories. That person makes this decision in the light of his experience. That, naturally, makes the system human-dependent. Human-dependence amounts to undue tolerance for customer orders in the case of textile production. Over-production of fabrics means loss of profit. Therefore, it is crucial to predict the amount of production as precisely as possible.

Wastage and prediction terms are using on food, energy, water, production and fuel industries. [11][12][13][14][15]. This study offers an approach to render the prediction of the amount of wastage human-independent on textile industry. The approach is based on a machine-learning method where six different learning algorithms were trained and tested on real data from a fabric dyeing factory. A series of experiments was carried out using the algorithms J48, Naïve Bayes, KNN, SVM, Logistic Regression, and Multi-Layer Perceptron. The experimental results show that some algorithms outperform humans in predicting the amount of wastage. The paper comparatively discusses the classification performances of the learning models and of the human predictors working in the field in order to justify the study and gain insight into the question of how to match a model to the task of predicting the wastage amount in textile production.

Apart from this introductory section, the organization of the paper is as follows:

Section 2 is devoted to the experimental setup of the work presented. In Section 3, the experiments and their evaluations are shared. The discussion culminates in Section 4 with a summary of the paper and some concluding remarks.

EXPERIMENTAL SETUP

We have compiled 105995 data samples from orders to a dyeing factory, which were collected in 2013. The orders were originally stored in various tables in an MS SQL database. We have transferred the data into a single Excel-like table using a set of SQL commands, a fragment of which is shown in Table 1.

Orders Amount	Wastage Amount	Wastage Ratio	P1	...	P73
5390	56.20	1.0	1	...	0
1678	247.90	14.8	0	...	1
3202	34.80	1.1	1	...	0
...	...	...	...	...	...

Table 1: Sample dataset

Each line of the table gives information about the production details of an order. The first and second columns indicate the amount of an order and of the resulting wastage for that order, respectively. The ratio of wastage appears in the third column. The remaining columns are for the 73 processes. These processes serve as learning features in our experiments. Each ordered roll of fabric undergoes a certain subset of the processes, which are marked as '1', making them positive features for that sample.

Like all sorts of data collected from a real domain, our data contain noise. The noise might be either machine or human-originated. For instance, a technically malfunctioning machine or a highly careless operator can generate a roll of defective fabric that amounts to more than 10% of the whole, such as sample 2 in Table 1. Such a ratio is never the result of a normal production process. For this reason, we eliminated all such samples from the dataset prior to the experiments. The dataset was reduced to 90480 as a result of this elimination task. Similarly, all other kinds of data deviating from normal measures were eliminated. In fact, our original data were highly contaminated, which was clearly evidenced by the fact that dataset was reduced to an amount of 11130.

Weka is used for testing algorithms. Weka is an open source Java based machine learning tool. Algorithms in Weka are tested by default parameters. All figures in this paper were generated by Weka.

Figure 1: *Before eliminating noisy data*

Figure 1 shows all data without eliminating noise. After eliminating noise, the results are shown in figure 2

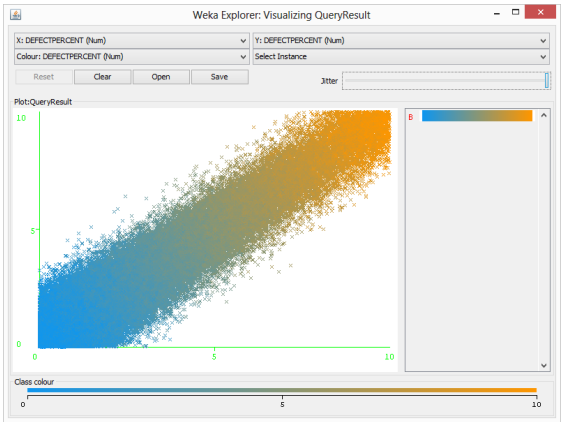


Figure 2: *After eliminating noisy data*

Defect Percent Range	Class	Instance Count
0-1	A	427
1-2	B	1.547
2-3	C	5.596
3-4	D	3.316
4-5	E	133
5-6	F	52
6-7	G	24
7-8	H	10
8-9	I	14
9-10	J	11
Total Row Count:		**11.130**

Table 2: Instance dispersion by defect percentage

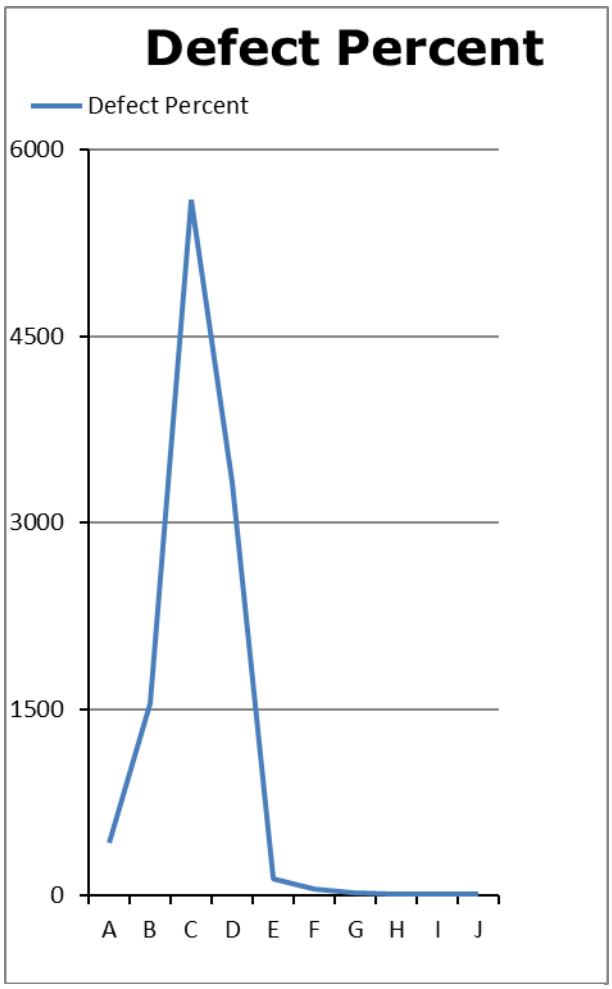


Figure 3: *Dispersion of defect percentage graph.*

Table 3: Final dataset

As seen in the figure 3 and in table 2, instances between 0% - 3% are more than 68% percent of the whole data. Underfitting the data is a problem like overfitting. Underfitting the training data by ignoring the large number of misclassified points would yield too simple models that would suffer from degraded predictive performances [10]. In order to make a balanced dataset, data that contain defects between 3% – 10% were grouped in a single class. Classification algorithms explained below are tested data in table 3.nd competitive power is supported.

Experimental Setup

Six classification algorithms were used to test the real-world dataset. A short description of the algorithms is given below.

J48

This algorithm is a special version of the C4.5 decision tree (Quinlann, 1993) algorithm in Weka. J48 uses information gain as its attribute selection.

"s" is the attributes in the data

"c" is total count of output class

Entropy(S) = $\sum_{i=1}^{c} -Pi * log2(Pi)$

Entropy(S) is general entropy for output classes.

t = Different element count for attributes.

Entropy(A) = $\sum_{i=1}^{t} -Pi * log2(Pi)$

Entropy(A) is entropy of each attribute.

Information Gain is calculated last.

GAIN(S, A) = Entropy(S) – Entropy(A)

Information gain is calculated for each attribute. The attribute that has the biggest information gain is selected and put on the top of the tree.

Naive Bayes

Naive Bayes is a linear classifier with the normal distribution assumption (Manning et al., 2008) and becomes a possibly non-linear classifier with a kernel density estimator (John and Langley, 1995). Naive Bayes classifiers are a family of simple probabilistic classifiers based on applying Bayes' theorem with strong independence assumptions between the features. The equation of the Naive Bayes theorem is given below.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)\,P(A)}{P(B)}$$

Defect Percent Range	Class	Instance Count
0-2	A	1.974
2-3	B	5.596
3-10	C	3.560
Total Row Count:		**11.130**

P(A|B); Probability of the A in the subset of the B

P(B|A); Probability of the B in the subset of the A

P(A) and P(B); Probability of A and B.

K's Nearest Neighbor

This algorithm is a type of instance based algorithm. The parameter k means the count of neighbor data that will be classified. Defining the k value is important for classification. Distance from the objects is calculated.

Support Vector Machine (SVM)

The SVM algorithm is a machine learning approach for classification and regression problems. So far, research progress shows that the SVM demonstrates superior

performance gains and robustness in many applications over traditional methods [1]. The main idea of support vector classification is to map the training data into a higher-dimensional space via a mapping function and construct a separating hyperplane with maximum margin there. It uses non-linear mapping to transform the original training data into a higher dimension. Within this new dimension it searches for the linear optimal separating hyperplane. The SVM finds this hyperplane using support vectors [2].

Logistic Regression

This algorithm is a type of statistical classification model. It is used for predicting class variables of the dataset. Logistic regression measures the relationship between the categorical dependent variable and one or more independent variables, which are usually (but not necessarily) continuous, by using probability scores as the predicted values of the dependent variable.

Multilayer perceptron

A multilayer perceptron (MLP) is a feedforward artificial neural network model that maps sets of input data onto a set of appropriate outputs. A MLP consists of multiple layers of nodes in a directed graph, with each layer fully connected to the next one. Except for the input nodes, each node is a neuron (or processing element) with a nonlinear activation function. MLP utilizes a supervised learning technique called backpropagation for training the network [7][8]. MLP is a modification of the standard linear perceptron and can distinguish data that are not linearly separable [9].

PERFORMANCE RESULTS

All the data used in this experiment were collected into one table in the database. This table has 73 columns for process attributes and Defect Percentage Class for the output of the model. All algorithms were tested by Weka on a tenfold testing method. Major keypoints that were analyzed in the study are Accuracy rate and Kappa value. Having a high value in both values means the model works fine. Landis and Koch (1977) suggest that a kappa score over 0.4 indicates a reasonable agreement beyond chance.

Accuracy = (number of correct classifications given by the system) / (total number of test instances)

$K = (P_0 - P_c) / (1 - P_c)$

P0 is the accuracy of the classifier and Pc is the expected accuracy.

Algorithm	**Kappa**	**Accuracy**
J48	0.67	79.47
Naive Bayes	0.45	67.54
KNN	**0.68**	**80.06**
Support Vector Machine	0.59	74.67
Logistic Regression	0.56	73.56
Multilayer Perceptron	0.66	79.47

Table 4: Results of Algorithms.

CONCLUSION

Data of a real-world textile dyeing factory were tested by six different classification algorithms. As seen in the result table 4, accuracy and kappa statistics values of the experiments of KNN are slightly higher than the others. There were many noisy data in the dataset. After cleaning noisy data, the dataset was clear and had related data to analyze wastage amounts. Kappa statistics reveal that these results stem from a considerable classification success beyond chance. Attributes in real data are dependent on each other. According to the Naïve Bayes algorithm, attributes are not dependent on each other. Because of this, the kappa value of Naïve Bayes is lower than the others.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

REFERENCE

[1] Witten IH and Frank E. Data mining: Practical machine learning tools and technique, 2nd ed. Amsterdam: Elsevier Inc, 2005.

[2] Jiavei Han, Micheline Kamber, Jian Pei: Data Mining Concepts ans Techniques.

[3] Peter Flach: Machine Learning The art and science of algorithms that make sense of data.
[4] Ian H. Witten, Eibe Frank: Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques.
[5] Ethem Alpaydın: Introduction to Machine Learning (Adaptive Computation and Machine Learning series).
[6] Clinical Research for Surgeons. Mohit Bhandari,Anders Joensson. p. 293.
[7] Rosenblatt, Frank. x. Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms. Spartan Books, Washington DC, 1961.
[8] Rumelhart, David E., Geoffrey E. Hinton, and R. J. Williams. "Learning Internal Representations by Error Propagation". David E. Rumelhart, James L. McClelland, and the PDP research group. (editors), Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition, Volume 1: Foundations. MIT Press, 1986.
[9] Cybenko, G. 1989. Approximation by superpositions of a sigmoidal function Mathematics of Control, Signals, and Systems, 2(4), pp. 303–314.
[10] Yılmaz Kılıçaslan, Edir Serdar Güner, Savaş Yıldırım: Learning-based pronoun resolution for Turkish with a comparative evaluation
[11] Beatriz Reutter, Paul Lant, Christian Reynolds, Joe Lane: Food waste consequences: Environmentally extended input-output as a framework for analysis
[12] Watt Kwong Wai, Lin Ting, Liang Wei Pang, Hadianto Budihardjo, Gan Chiu Liang, Ding Liya, Zhu Fangming, Charles Pang T-Howe: Decision Support System for Production Scheduling (DSSPS)
[13] M.C. Barma, R. Saidur, S.M.A. Rahmand, A. Allouhi, B.A. Akash, Sadiq M. Sait: A review on boilers energy use, energy savings, and emissions reductions
[14] Jorge Artur Pec¸anha de Miranda Coelho, Valdiney Veloso Gouveia, Gustavo Henrique Silva de Souza, Taciano Lemos Milfont, Bruna Nogueira Romariz Barros: Emotions toward water consumption: Conservation and wastage
[15] Māris Jurušs, Elza Seile: Application of Loss Rates for Petroleum Products Due to Natural Wastage in Customs Procedures

USING LSTM NEURAL NETWORKS FOR FAKE ONLINE USER REVIEW DETECTION

Özlem Uçar[1], Kenan Taşağal[2]
[1] *Trakya Üniversitesi Engineering Faculty, Edirne Turkey oucar@trakya.edu.tr*
[2] *Trakya Üniversitesi Engineering Faculty, Edirne Turkey kenantasagal@gmail.com*

Abstract
Fake online user comments are common problem that affecting other online users on the net. Therefore, it is important to identify fake user comments to highlight real user comments and ideas. In this study, we use a deep learning to identity the fake comments. In our application, %83 percent of success was achieved by using LSTM architecture to identify the fake comments.

Keywords: deep learning, fake review, lstm, text classification.

INTRODUCTION

In the modern era of e-commerce, online reviews are becoming more and more important in the consumer's decision to buy products or services. Unlike ads, online reviews are real consumers' approvals about products. A study by Luca [1] shows that when a product or business has increased the +1 star rating, it increases revenue by 5-9%. Due to the financial benefits associated with online reviews, paid or prejudiced reviewers write fake reviews to mislead a product (or business). Even these fake reviews have been formed by companies that have become a business industry with paid commentators and provide false comment services that affect the user. [2]

Fake user comments have become a common problem in recent days and many studies have been done on this subject. Ott et al.(2011) created a data set that they defined as "gold standard" [3] in their initial studies on the detection of false interpretations, and in their recent work, they achieved the detection of negative counterfeit comments with 86% accuracy using machine learning techniques.

Online fake user comments are generally composed of various types and short texts in terms of content. The present approaches have difficulty adapting to such short texts and are unable to achieve high accuracy in the detection of false interpretations.

The detection of fake user comments is an important application of deep learning. Deep learning can perform feature selection and organization of high-dimensional data and dynamically update parameters via feedback.

DEEP LEARNING

Nowadays, deep learning is widely used in natural language learning and analysis of complex semantics. Prior to deep learning models, training data for machine learning was based on manual presentations of features that did not change according to irrelevant changes in the data. The deep learning approach consists of multiple abstraction structures and multiple processing layers combined to learn representations of the data. [4] An important advantage of deep learning architectures is that it uses effective algorithms for controlled / uncontrolled feature learning or hierarchical feature extraction, instead of handcrafted features. [5]

Traditional machine learning algorithms are linear. However, there is a hierarchy model that varies according to the complexity of the field to be applied in deep learning algorithms. The deep learning process repeats until the final success rate reaches a certain level. [6]

There are many different types of deep learning architectures established by increasing the number of layers in artificial neural networks. One of these architectures, Long Short Term Memory (LSTM) networks, is a type of repetitive neural network with a more complex calculation unit, has achieved strong results on various sequence modeling tasks. [7]

LSTM

LSTM architecture can be interpreted as a different version of computer memory. LSTM architectures provide very good results in speech / text processing. TIMIT data set containing rich content in different dialects was used in frame based sound classification study and 70% success rate was obtained. [8]. A further 83% success rate has been achieved on the same dataset with another LSTM approach that has undergone end-to-end training with appropriate adjustments [9] In another study, an accuracy rate of 84.5% was given on the Verbmobil dataset, which contained extensive speech data for keyword detection [10].

LSTM cells resemble RNN (Recurrent Neural Network) cells. However, the input, output, sigmoid (or tangent) and forget gate in this learning algorithm shown in Figure 1 are not present in the RNN algorithm.

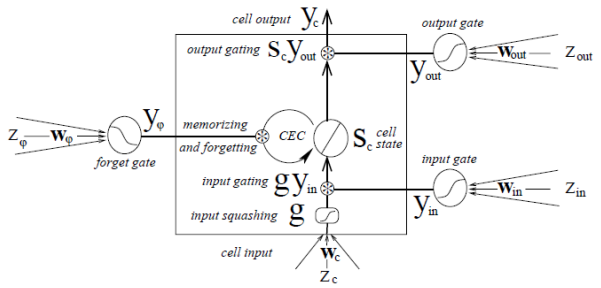


Fig. 1. *LSTM memory block with one cell (rectangle). The so-called CEC maintains the cell state sc,which may be reset by the forget gate. Input and output gate control read and write access to the CEC; g squashes the cell input. See text for details.*

What makes LSTM architechture superior to other architectures is the forget gate in its structure. Forget gate is used to decide how much of the data from the previous cell should be forgotten. With this feature of LSTM, we can see that LSTM remembers important discrepancies to predict the tag of online fake or real comments.

STUDY AND RESULTS

The data set used in our study consists of an authentic and deceptive hotel review for 20 Chicago hotels. The content of the data set is as follows. [11,12,13]

- 400 real positive reviews from TripAdvisor
- 400 deceptive positive comments from Mechanic Turk
- 400 real and negative comments from Expedia, Hotels.com, Orbitz, Priceline, TripAdvisor, Yelp (400).
- 400 deceptive negative comments from Mechanic Turk.

We created a json file to use the data set in our model. If the comment is fake, 1 is defined and if it is real, 0 is defined and we have created the structure in Table 1.

No	Situation	Comment
1341	1	My girlfriends and I stayed 4 nights at the Ta...
144	0	The staff at the Talbott hotel was completely ...
1401	1	We booked our room on Priceline and got a goo...
131	0	Hard Rock Hotel boats that they have the best ...
1440	1	I travelled to Illinois from the UK on busines...
734	1	A disappointment to say the least. I have hear...
1376	1	My wife and I stayed here in the middle of Feb...
770	1	We booked directly with the Intercontinental--...
1015	0	I went to Chicago on business last year and I ...
1488	1	We stayed at this hotel for 4 nights in August...

Table 1. *Dataset list*

We have limited the maximum word length with 400 words to be taken into account in the comments after the text classification for the model to work more effectively on the existing data set.

Fig. 2. *Word frequency*

In our study, we used the Keras library which was written for high level artificial neural networks and could work on Tensorflow. Keras supports both common and recurrent networks and combinations of the two.TensorFlow is an open-source software library for numerical calculation using data flow charts. The flexible architecture allows you to distribute the calculation to one or more CPUs or GPUs on a desktop, server, or mobile device with a single API.The LTSM model that we formed with the stone is given in figure-3.

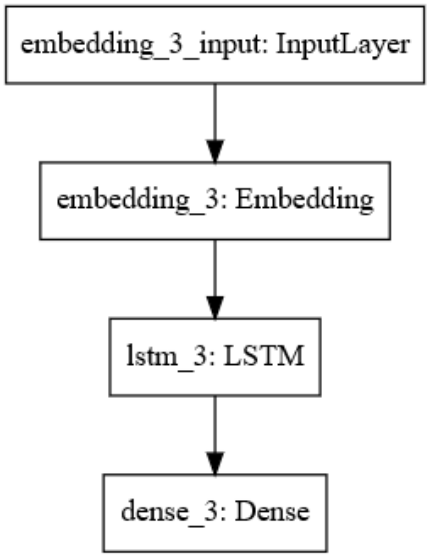


Fig. 3. *LSTM Model*

The main input of our model is the word sequence matrices obtained from each comment. We used 80% of our data set to train our model. We used the remaining 20% for testing.

The loss and accuracy values obtained from our model after the training are given in the graphs below.

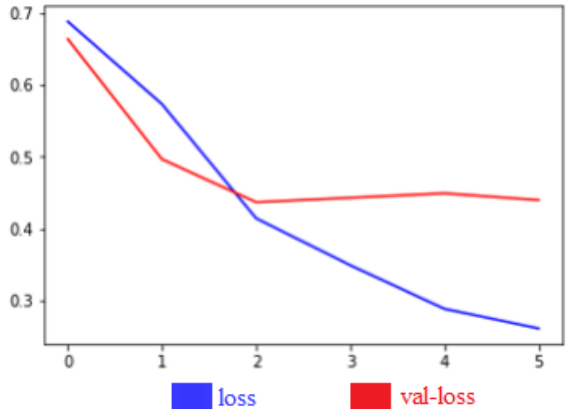


Fig. 4.

The loss value given in Figure 4 is a scalar value that we try to minimize during model training. The lower the loss, the closer our estimates are to actual tags. The problem here is the increase in the possibility of memorization as the number of education increases. In order to control these values, it is necessary to keep the loss value at a certain limit.

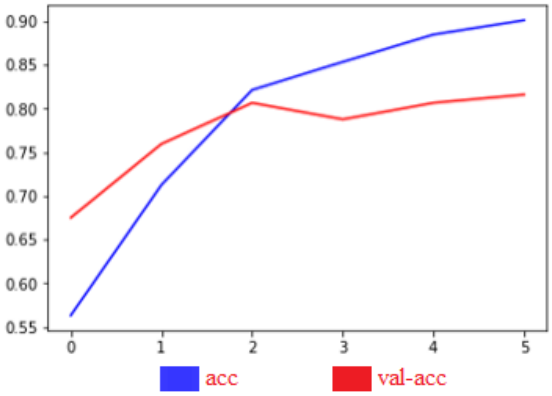


Fig. 5

After training our model 6 times, we reach 90% accuracy rate, but our loss rate is 26%.The Validation Accuracy (val_acc) given in Figure-5 is a measure of how well our model estimates. We have a accuracy rate of 83% after the test.

CONCLUSION

In this study, the LSTM model, which is one of the deep learning architectures, was used to describe online fake comments The

analysis of the positive and negative counterfeit interpretations of the data set that we use in the detection of counterfeit interpretations is carried out together.

Our study shows that the proposed model is effective in developing and detecting false interpretations. However, the size of the data set is effective in increasing the determination power of the model.

In our future work, we aim to increase the accuracy rate with larger data sets.

REFERENCE

[1] M.Luca. Reviews, reputation, and revenue: The case of yelp.com. In Working Paper 12-016, Harvard Bus. Sch., 2011.

[2] D. Streitfeld, «The Best Book Reviews Money Can Buy» http://www.nytimes.com/2012/08/26/business/book-reviewers-for-hire-meet-a-demand-for-online-raves.html. 2018

[3] M. Ott, «Deceptive Opinion Spam Corpus v1.4».http://myleott.com/op_spam/. 2018.

[4] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep learning," Nature, vol. 521, pp. 436–444, 2015.

[5] H. A. Song and S.-Y. Lee, "Hierarchical Representation Using NMF," in International Conference on Neural Information Processing., 2013, pp. 466–473.

[6] A. Ali Süzen and Kıyas Kayaalp ,"Türkiyede Derin Öğrenme Uygulamaları" 2018.

[7] Kai Sheng Tai, Richard Socher, Christopher D. Manning "Improved Semantic Representations From Tree-Structured Long Short-Term Memory Networks"-2015.

[8] A. Graves and J. Schmidhuber, "Framewise phoneme classification with bidirectional LSTM and other neural network architectures," Neural Networks, vol. 18, no. 5–6, pp. 602–610, Jul. 2005.

[9] A. Graves, A. Mohamed, and G. Hinton, "Speech recognition with deep recurrent neural networks," in 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2013, pp. 6645–6649.

[10] S. Fernández, A. Graves, and J. Schmidhuber, "An Application of Recurrent Neural Networks to Discriminative Keyword Spotting," in International Conference on Artificial Neural Networks, 2007, pp. 220–229.

[11] M. Ott, Y. Choi, C. Cardie ve J. T. Hancock, «Finding Deceptive Opinion Spam by Any Stretch of the Imagination» The 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies - Volume 1,309-319, ISBN: 978-1-932432-87-9, Stroudsburg, PA, ABD, 2011.

[12] M. Ott, C. Cardie ve J. Hancock, «Estimating the Prevalence of Deception in Online Review Communities» the 21st international conference on World Wide Web, 201-210, ISBN: 978-1-4503-1229-5, New York, NY, ABD, 2012.

[13] M. Ott, C. Cardie ve J. T. Hancock, «Negative Deceptive Opinion Spam» Proceedings of NAACL-HLT 2013, 497–501, Atlanta,Georgia, 2013.

НАПРАВЛЕНИЕ 5

КОМПЮТЪРНИ ТЕХНОЛОГИИ

SESSION 5

COMPUTER TECHNOLOGIES

СМАРТ-КОНТРАКТ НА ЕТЕРИУМ БЛОКЧЕЙН

Венета Панайотова Алексиева[1], Антон Пламенов Хулиян[2]
[1]*Технически Университет Варна, e-mail: valeksieva@tu-varna.bg*
[2] *Технически Университет Варна, e-mail: anton.huliyan@gmail.com*

SMART-CONTRACT OF ETHEREUM BLOCKCHAIN

Veneta Panayotova Aleksieva [1], Anton Plamenov Huliyan [2]
[1] *Technical University of Varna, e-mail: valeksieva@tu-varna.bg*
[2] *Technical University of Varna, e-mail: anton.huliyan@gmail.com*

Abstract

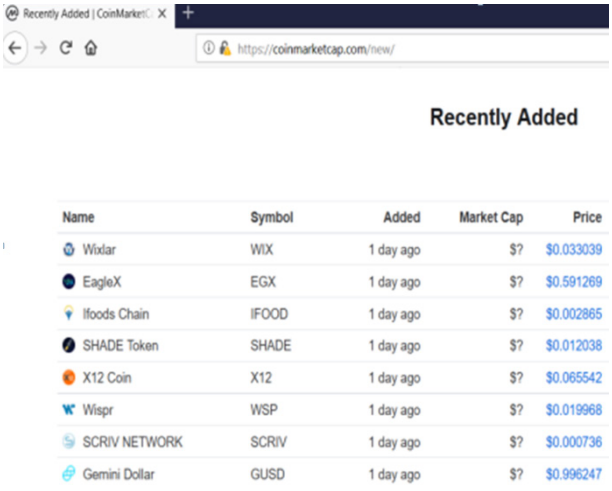
Nowadays smart contracts allow to perform credible, trackable and irreversible transactions without third parties. There are some possible applications of smart contracts, i.e. in logistics, management, bank system, insurance, estate, IoT, and others. The proposed paper presents the implementation of a smart contract based on Ethereum blockchain. The decentralized crypto-token is created for Initial Coin Offering (ICO) and based on the ERC20 standard. A web-based interface is created for the sale of these crypto-tokens. The results from the experimental tests are presented.

Keywords: Ethereum, block chain, smart contract, crypto-token, crypto-currency.

ВЪВЕДЕНИЕ

В наши дни съществуват над 1300 криптовалути, като въпреки, че притежават малък сектор от глобалните финанси, те навлизат все по-широко като платежно средство. Ежедневно се появяват нови 8-10 криптовалути (фиг.1.) [1]. От 11.12.2017г. Чикагската финансова борса търгува с финансови инструменти (фючърси), базирани на биткойни [2]. От края на миналата година фючърси върху Bitcoin предлагат платформите Cboe Global Markets Inc. и CME Group Inc.

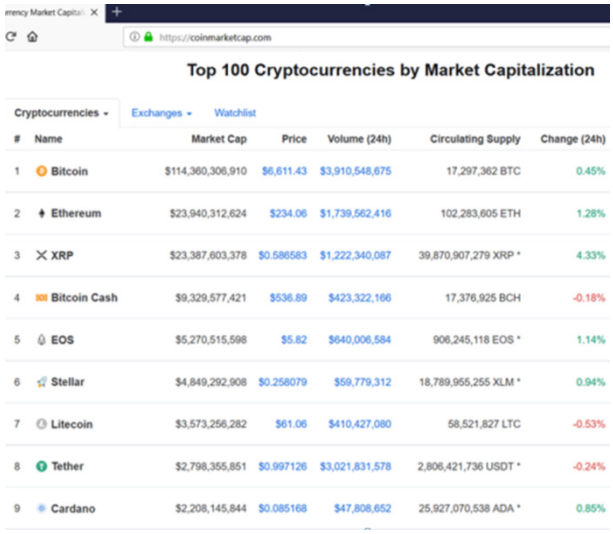
Липсата на централен емитент, изтъквана като недостатък на този вид платежни средства е свързана пряко и с основното им предимство пред стандартните платежни средства- свободата на движение на финансови ресурси, защото игнорират банките като регулатор на транзакциите. С помощта на криптографски алгоритми, те предоставят високо ниво на сигурност и решават проблеми като забавяне на превода, отказ за превод, високи такси за превод във всяка една от банките- посредници.



***Фиг. 1**. Криптовалути появили се на 05.10.2018г.*

Блокчейн технологията е своеобразен публичен регистър на криптосметките и сделките с криптовалути, защото позволява създаването на децентрализирани системи, в които информацията е защитена от злонамерена намеса на принципа на консенсуса. Криптовалутите позволяват изпълнението на всяка една транзакция, като достатъчно условие е в сметката на наредителя да има

достатъчен баланс. Те се реализират чрез Peer-to-Peer мрежа с блокчейн технология, която се поддържа от участниците в нея, като всеки участник притежава копие на блокчейна на мрежата, а потвърждаването на транзакциите се осъществява от специални участници в мрежата, наречени "миньори". На фиг. 2 е представен списък с криптовалутите с най-висок курс към момента, като първенството е на Bitcoin и Ethereum. [1]



***Фиг. 2**. Криптовалути с най-висок курс на 05.10.2018г.*

Към момента един от най-големите недостатъци на Bitcoin и Ethereum е невъзможността да обработват бързо голям брой транзакции. Мрежата на Bitcoin позволява потвърждаването на до 7 транзакции в секунда, а на Ethereum - до 20. В същото време платежната система Visa може да обработва до 50 хил. операции в секунда, а фондовите пазари и борсите, както и мрежите за Интернет на нещата (IoT) се нуждаят от стотици хиляди транзакции в секунда [3]. Виталик Бутерин, създателят на Ethereum, през юни 2018г. представи решения, които биха могли да ускорят значително блокчейн технологията, като оптимизират процесите чрез Shrading и Plasma, които вече се изпробват в тестовата мрежа и биха позволили на блоковата верига на Ethereum да поддържа широкомащабни децентрализирани приложения с милиони потребители.

СМАРТ КОНТРАКТ, БАЗИРАН НА БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИЯ

Блокчейн технологията и разпределителните сметки не са единствено създадени и приложими за търговия на критптовалути. Притежаваният крипто актив може да послужи, за да се закупят стоки, да се платят услуги, да се придобият права.

Смарт контрактът е договор, който е сключен с използване на блокчейн технологи [4]. Чрез нея се гарантира автоматичното изпълнение на правата и задълженията по договора (самоизпълнение), щом настъпят уговорените от страните условия. Наличието на създадената облигационна връзка, начинът и времето на изпълнение се удостоверяват от самата система по неоспорим начин. Промените са невъзможни, защото ще нарушат вече създадената верига. Информация за съществуването и изпълнението на договора имат всички останали участници в системата, което валидира по безспорен начин тези факти.

Фактът, че смарт контрактът е договор, сключен посредством блокчейн технология го прави вид писмен договор, с всички произтичащи за страните правни последици. Това запазва правната му същност на обвързващо споразумение. При блокчейн технологиите предимството е, че правата и задълженията на страните се изпълняват и упражняват сами (автоматизирано), без да е необходима намесата на трета страна. При възникване на условията за изпълнение на сключения договор, той ще се самоизпълни безпрекословно, за което информация има цялата мрежа на участниците. Има конкретно идентифицирани страни, момент на сключване и изпълнение на договора, а също така и неговото автентично съдържание, с което е сключен и изпълнен. Тези обстоятелства стават общоизвестни и непротивопоставими.

При смарт контрактите, базирани на блокчейн има един голям недостатък - не е ясно как да се променят договорките, ако се наложи, как да се поправят грешките в предмета, страните или съгласието и други подобни. Поради естеството на блокчейн технологията, където времето за осъществяване на сделката е значително по-крат-

ко спрямо традиционните сделки, се минимизира рискът, че от момента на сключването до изпълнението на правата и задълженията може да не е изминало много време, но ситуацията на пазара да се промени драстично, заради което някоя от страните да попадне в положение на стопанска неспособност да изпълни задълженията си.

ETHEREUM

Ethereum [5] е първата платформа за създаване на смарт контракти и децентрализирани приложения. През 2014г. е обявена официално, като между юли и август същата година се осъществява първичното предлагане на дигитални валути (ICO). Платформата става реалност на 30.07.2015г. като в обръщение са пуснати 11.5 млн. монети. Консенсус протоколът, който Ethereum понастоящем използва за работа е Proof-of-Work (PoW), но се очаква за увеличаване на транзакциите да се премине на протоколи Proof-of-Stake или Sharding, което би увеличило броя на транзакциите до 30000 в секунда.

При Ethereum разменната единица се нарича Етери, а освен нея има спомагателна, наречена GAS, която се използва за създаването и действието на смарт контрактите и приложенията, качени върху блокчейна.

Смарт-контрактите се описват чрез нов програмен език, създаден за целта – Solidity. В такъв договор може да се опишат условия, при които да се прехвърлят всички или част от средствата при извършване на определен обем от работа, да бъде представено доказателство за тази работа и участниците в мрежата да потвърдят това доказателство.

На 11.09. 2017 г. от Ethereum е приет стандарт за смарт контракти EIP20 (Ethereum Improvement Proposal 20)[6], който съдържа списък с правила, които трябва да бъдат имплементирани в смарт-контракт, за да може той да бъде съвместим с всички Ethereum портфейли и платформи, които поддържат приетите стандарти, като ERC20 описва имена на променливи, функции и тяхната функционалност.

Имплементацията на тези функции в смарт-контракт гарантира коректната работа с всички популярни портфейли. Такива са Mist, MyEtherWallet, MetaMask, Pariti и други, но съществуват и Ethereum портфейли, които са широко използвани, но не поддържат съхранението на ERC20 токени. Поради тази причина е задължително да се провери съвместимостта на портфейла, който се използва преди да се изпратят средства към смарт-контракт.

Крипто-борсите предоставят адрес, чрез който може да се получава и изпраща Ethereum, но не поддържат възможността да се получат обратно токени, освен ако това е имплементирано и изрично описано в инструкциите за депозиране в борсата.

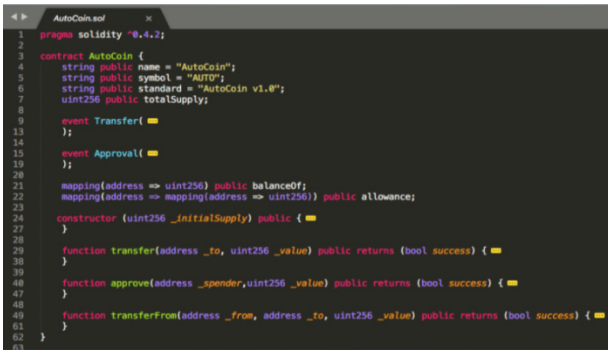
РЕАЛИЗАЦИЯ

Настоящото решение е разработено с Truffle и Ganache под операционна система macOS High Sierra. Truffle предлага интегрирана система за компилиране на написаните смарт контракти, както и скриптове за качване на контракта на Ethereum мрежата. Ganache създава локален блокчейн на базата на Ethereum, в който може директно да се изпълняват команди, както и да се провеждат тестове. Приложението изцяло спазва стандарт EIP20 и е използван специализираният програмен език за смарт контракти Solidity. За интерфейс на приложението се използва web3.js (JavaScript базирана библиотека, която позволява да се комуникира с мрежата на Ethereum и да се изпълняват смарт контракти).

Клиентската страна на приложението изисква използването на добавка към съществуващ браузър Metamask. Би могло да се ползва и Mist, но тогава потребителят изтегля на своята машина копие на целия блокчейн и трябва да поддържа това копие постоянно синхронизирано, за да може да се осъществи връзка с Ethereum мрежата. При реализация на настоящото решение е използван Metamask, именно поради факта, че при него не се налага изтегляне на локално копие на целия блокчейн, а когато се прави връзка със сайт, който прави връзка с Ethereum, Metamask се грижи за всички заявки от и към блокчейн мрежата. Metamask може да изпълнява функцията на Ethereum портфейл и да поддържа изпращане и получаване на Етери, както и на ERC20 токени. Частният ключ на потребителите се съхра-

нява на локалната машина и по този начин сървърите на Metamask нямат никаква информация за него.

За да се създаде токен е необходимо да се опише какво е максималното му количество, да се създаде начин за проверка неговата наличност, както функции контролиращи прехвърлянето му от един адрес на друг. Това се осъществява чрез смарт-контракт имплементиращ ERC20 стандарта, който е показан на фиг.3.



Фиг. 3. *ERC20 функции в смарт-контракт*

Вече качен смарт-контракт не може да се изтрива или променя, а се качва нова версия. Като глобални се декларират променливи за броя продадени токени, цена за един токен и администратора на смарт-контракта за продажба на токени. Цената за един токен е 0.01 Етера за токен. В Solidity се работи само с цели числа и за целта сумата за токен трябва да бъде представена в WEI. За конвертиране на Етери в WEI се използва онлайн конвертор, като един 1 WEI се равнява на 1 квинтилион Етери. По този начин могат да се представят и най-малките частици Етери с цяло число. В случая 0.01 Етера са 10000000000000000.

Администраторът на контракта в повечето случаи е адресът, с който е създаден смарт-контракта. Този адрес има специални права над поведението на контракта. Той има правото да промени цената за един токен, както и да прекрати продажбата на токени. След прекратяване на продажбата той получава непродадените токени. Именно на този адрес се превеждат Етерите след продажба на токен.

Чрез конструктора се инициализира максималния брой токени и те се присвояват на адреса, от който е изпълнен конструктора. Той се изпълнява само веднъж от адреса, който го излъчва в мрежата. Събитията (Events) се използват за съхранение на информация в транзакцията. Записана веднъж, тази информация ще съществува, докато е видим блока, в който се намира транзакцията. При сегашната имплементация на Ethereum, това значи завинаги.

Записаната информация не е достъпна от смарт-контракти, дори и от този, който я е създал. Основното им приложение е при употребата на потребителски дефинирани JavaScript функции (фиг.4.), които чакат настъпването на определено събитие, за да извършат някакво действие - преместването на токени от един адрес на друг.

Фиг. 4. *Функции*

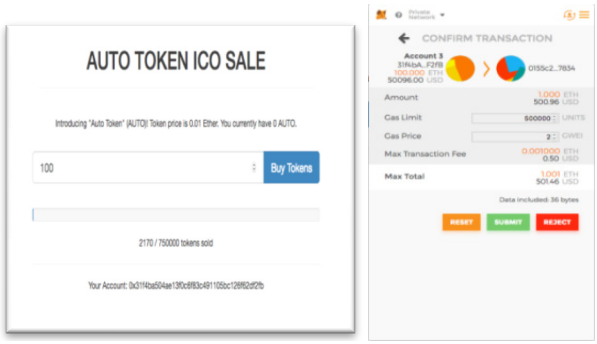
Събитие “Transfer” отразява преместване на токени от един адрес, към друг, както и техния брой.

Събитие “Approval” дава разрешение от собственика на токените, те да бъдат изхарчени от някой друг. Така те няма да преминат от адреса на собственика, през адреса на посредника до адреса на крайния получател, а ще бъдат извадени директно от баланса на собственика и прехвърлени на адреса на крайния получател. Това води до по-малък брой транзакции и съответно по-малко изразходено количество GAS.

Запазената дума “require” в Solidity служи за проверка дали дадено условие е изпълнено. Ако то е изпълнено се преминава към изпълнение на кода след това. Ако не е удовлетворено условието, изпълнението на кода се прекратява и количеството GAS, което е взето от адреса изпълняващ функцията, се връща обратно, като се приспада изразходеното количество до тази част от кода. Това се прави с цел намаляване на количеството изразходен GAS в следствие на

грешни входни параметри.

Интерфейсът на приложението предоставя информация за броя токени за продажба, броя закупени токени, информация за адреса, с който потребителят се е свързал с него, както и наличното количество токени. Изглед от него и прозореца на Metatask, в който се показва информация за детайлите по успешна транзакция, е показан на фиг. 5.



Фиг. 5. *Интерфейс на приложението за ICO*

Въвежда се количеството Етери, което ще бъде прехвърлено, таксите по транзакцията, максималния GAS, който може да бъде изразходван по време на транзакцията, като е възможно и ръчно да се въведе цена за GAS, представена в GWEI. Тази цена пряко влияе кога транзакцията ще влезе в блок. При цена от 40 GWEI е почти напълно гарантирано влизане в следващия блок, 20 GWEI обикновено означават включване в следващите няколко блока, при минималното количество 2 GWEI понякога са необходими няколко минути, за влизане в блок. Ако се зададе ниска стойност и транзакцията не влезе в блок, е възможно коригирането на цената към по-висока, за по-бързото изпълнение на транзакцията.

ТЕСТВАНЕ НА ПРИЛОЖЕНИЕТО

Truffle притежава вграден механизъм за тестове на смарт-контракти, които се пишат на JavaScript и се разполагат във файл с името на смарт-контракта, като се съхраняват в папката “test”.

```
it('initializes the contract with the correct values', function(){
    return AutoCoin.deployed().then(function(instance){
        tokenInstance = instance;
        return tokenInstance.name();
    }).then(function(name){
        assert.equal(name, 'AutoCoin', 'has the correct name');
        return tokenInstance.symbol();
    }).then(function(symbol){
        assert.equal(symbol, 'AUTO','has the correct symbol');
        return tokenInstance.standard();
    }).then(function(standard){
        assert.equal(standard, 'AutoCoin v1.0', 'has the correct standard');
    });
})
```

Фиг. 6. *Код на тест за правилна инициализация*

На фиг. 6. е представен код на тест дали инстанцията на контракта е с правилно инициализирано име, символ и стандарт.

На фиг. 7. е представен код на тест за проверка на баланс на контракт. При смарт-контракта AutoCoin, който служи за създаване на токен, при извикването на конструктора, създадените токени са прехвърлят на администратора на контракта и максималния брой се записва в променливата “totalSupply”.

```
it('sets the total supply upon deployment', function() {
    return AutoCoin.deployed().then(function(instance){
        tokenInstance = instance;
        return tokenInstance.totalSupply();
    }).then(function(totalSupply){
        assert.equal(totalSupply.toNumber(),10000000,'sets the total supply to 10 000 000')
        return tokenInstance.balanceOf  (accounts[0]);
    }).then(function(adminBalance){
        assert.equal(adminBalance.toNumber(), 10000000, 'it allocates the initial supply to the admi account')
    });
});
```

Фиг. 7. *Код на тест за проверка на баланс на смарт-контракт*

Най-важната характеристика на един токен е възможността му да се прехвърля между адресите на различни лица. Това трябва да се осъществява без да се позволяват невалидни транзакции и да бъде напълно сигурно, че получателя ще получи изпратените токени.

```
it('transfers token ownership', function(){
    return AutoCoin.deployed().then(function(instance){
        tokenInstance = instance;
        return tokenInstance.transfer.call(accounts[1], 99999999999999999);
    }).then(assert.fail).catch(function(error){
        assert(error.message.indexOf('revert') >= 0, 'error message must contain revert');
        return tokenInstance.transfer.call(accounts[1], 250000,{ from: accounts[0]});
    }).then(function(success){
        assert.equal(success,true, 'it return true');
        return tokenInstance.transfer(accounts[1], 250000, {from: accounts[0]});
    }).then(function(receipt){
        assert.equal(receipt.logs.length, 1, 'triggers one event');
        assert.equal(receipt.logs[0].event, 'Transfer', 'should be the "Transfer" event');
        assert.equal(receipt.logs[0].args._from, accounts[0], 'logs the account the tokens are transferred from');
        assert.equal(receipt.logs[0].args._to, accounts[1], 'logs the account the tokens are transferred to');
        assert.equal(receipt.logs[0].args._value, 250000,'logs the transferred amount');
        return tokenInstance.balanceOf(accounts[1]);
    }).then(function(balance){
        assert.equal(balance.toNumber(), 250000, 'adds the amount to the receiving account');
        return tokenInstance.balanceOf(accounts[0]);
    })
});
```

Фиг. 8. *Код на тест за трансфер на токени*

На фиг. 8. е представен код на тест за трансфер на токени. За тестване на директен трансфер се прави прехвърляне на 250 хиляди токена от администраторския към друг адрес. След като се осъществи трансфера, се прихваща събитието и се проверява дали е от тип “Transfer”. Ако този тест е успешен се проверява балансът на адреса-получател за наличието на прехвърлените токени.

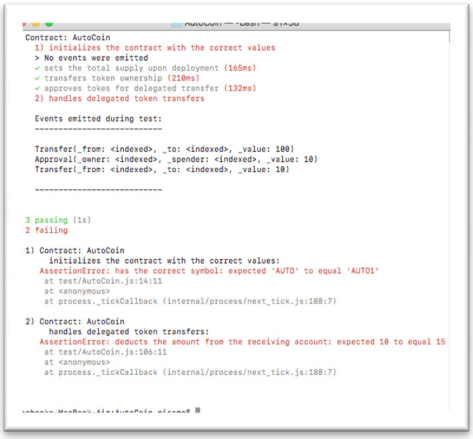
На фиг. 9. е представен код на тест за разпореждане с токени. Проверката за делегиран трансфер е сходна на тази на директния. Първо се прехвърлят 100 токена от адреса на администратора към адреса, от който ще се позволи делегиран трансфер – адрес 1. Дава се право 10 токена да бъдат

похарчени от адрес 3, който ги изпраща на адрес 4. След извършване на тези действия се прави проверка и се очаква с адрес 1 да има 90 токена, в адрес 2 – 0 и в адрес 3 да бъдат 10 токена.

```
it('approves tokes for delegated transfer', function(){
    return AutoCoin.deployed().then(function(instance){
        tokenInstance = instance;
        return tokenInstance.approve.call(accounts[1],100);
    }).then(function(success){
        assert.equal(success, true, 'it return true');
        return tokenInstance.approve(accounts[1], 100);
    }).then(function(receipt){
        assert.equal(receipt.logs.length, 1, 'triggers one event');
        assert.equal(receipt.logs[0].event, 'Approval', 'should be the "Approval" event');
        assert.equal(receipt.logs[0].args._owner, accounts[0], 'logs the account the tokens are authorized by');
        assert.equal(receipt.logs[0].args._spender, accounts[1], 'logs the account the tokens are authorized to');
        assert.equal(receipt.logs[0].args._value, 100,'logs the transfer amount');
        return tokenInstance.allowance(accounts[0], accounts[1]);
    }).then(function(allowance){
        assert.equal(allowance,100, 'store the allowance for delegated transfer');
    });
});
```

Фиг. 9. *Код на тест за разпореждане с токени*

Тестовете се изпълняват с командата “truffle test”. Резултат от изпълнението им с грешни параметри е показан на фиг. 10, а при правилни параметри - на фиг. 11.



Фиг. 10. *Изпълняване на тестове при грешни параметри*

Фиг. 11. *Изпълняване на тестове с правилни параметри*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящият доклад е предложено решение за създаване на децентрализиран токен за реализация на смарт контракт, работещ на базата на Ethereum блокчейн и създаване на ICO кампания за неговата продажба. Имплементирането на стандарта ERC20 гарантира свободното му движение между участниците в Ethereum мрежата. За целта е създаден web базиран интерфейс.

Цел на бъдеща разработка е внедряването на създадения токен за смарт контракт в децентрализирано приложение, в което той ще послужи за осигуряване на началния капитал за разработка на проект чрез ICO кампания и за разплащане между потребителите на системата.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Top 100 Crypto currencies by Market Capitalization, https://coinmarketcap.com/ (last visit on 07.10.2018)

[2] Bitcoin is already the stock exchange on Wall Street, https://hicomm.bg/kratki-novini/bitkoin-veche-e-na-borsata-na-uol-striit.html (last visit on 07.10.2018)

[3] Ethereum accelerates 10,000 times transactions, https://www.capital.bg/biznes/pazari/2018/06/04/3189303_ethereum_uskoriava_10_hil_puti_tranzakciite/ (last visit on 07.10.2018)

[4] Clack C., Bakshi V. ,Brain L., Smart Contract Templates: foundations , design landscape and research directions (04.08.2016, revised 15.03.2017), https://www.researchgate.net/publication/305779577_Smart_Contract_Templates_foundations_design_landscape_and_research_directions (last visit on 07.10.2018)

[5] Ethereum Homestead Documentation, http://www.ethdocs.org/en/latest/(last visited on on 07.10.2018)

[6] Create your owncrypto-currencywith Ethereum, https://www.ethereum.org/token/ (last visited on on 07.10.2018)

СИСТЕМА ЗА РАЗПОЗНАВАНЕ НА БОТНЕТ АТАКИ, БАЗИРАНА НА АНОМАЛИИ

Юлия Александрова Алексиева[1], Христо Георгиев Вълчанов[2]
[1]*Технически Университет – Варна, e-mail: iulia93@abv.bg*
[2]*Технически Университет – Варна, e-mail: hristo@tu-varna.bg*

ANOMALIES BASED BOTNET DETECTION SYSTEM

Yulia Aleksandrova Aleksieva[1], Hristo Georgiev Valchanov[2]
[1] *Technical University of Varna, e-mail: iulia93@abv.bg*
[2] *Technical University of Varna, e-mail: hristo@tu-varna.bg*

Abstract
One of the tools for implementing of Denial of Service attacks is Botnet. Detecting such attacks is important for the security of computer networks. The intrusion detection systems based on anomalies detect Botnets, monitoring a number of network traffic anomalies such as high latency, high traffic volumes, traffic over unusual ports, etc., which could mean malicious bots in the network. This paper presents some aspects of the implementation of a host-based Botnet attack detection system. The system uses a technique to detect behavior anomalies, based on variation of genetic algorithm.The experimental results are shown.

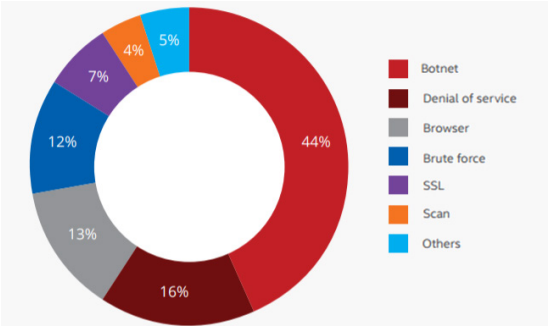
Keywords: Network Botnet Attacks, DoS Attacks, Intrusion Detecting System, Genetic Algorithms.

ВЪВЕДЕНИЕ

Атаките с отказ на услуга (Denial of service DoS) са едни от най разпространените в последните години в Интернет [1]. Те целят да доведат атакуваната система до невъзможност да предоставя услуга. Атаката с отказ на услуга е различна по цел, форма и ефективност спрямо повечето атаки срещани в мрежата и компютрите. Реализациите на подобен тип атаки биват осъществени посредством лавинообразно изпращане на голям брой пакети (flood) от един или много източници едновременно. Целта е да бъдат претоварени крайните устройства за които са предназначени пакетите или да предизвикат насищане на преносните канали към атакуваната система. Най-често този тип атаки се реализират с помощта на подмяна (spoofing) на адресите на източните на атаките. Поради разнообразният си характер, този тип атаки трудно могат да бъдат параметризирани, съответно разпознаването и предприемането на действие за защита срещу тях не е лесна задача.

Най-използваният начин за реализиране на DoS атаки е Ботнет [2]. Ботнет представлява група от ботове (съвкупност от заразени компютри), изпълняващи зловреден софтуер, които се контролират от един хакер – общоизвестен като *главен бот* (botmaster), чрез централизирана инфраструктура (C&C) като център на атаката. Според McAfee Labs [3] за последното тримесечие на 2017г. най-голям дял от мрежовите атаки в световен мащаб има Ботнет (фиг. 1).

Една от главните цели за съвременната мрежова сигурност е да бъдат създадени адекватни техники за откриването и евентуалното прекратяване на Ботнет заплахите. В настоящия доклад е представен подход за реализиране на хост-базирана система за откриване на Ботнет атаки. Системата открива аномалии в поведението на мрежата на базата на вариация на генетичен алгоритъм.



***Фиг. 1**. Дял на мрежовите атаки за 2017г.*

РАЗПОЗНАВАНЕ НА БОТНЕТ АТАКИ

Към момента съществуват разнородни средства за разпознаване на проникване в системата [4]. Съществуващите системи използват основно откриване базирано на аномалии или правила. При засичането на аномалиите основната част от системата е да се профилира нормалното поведение на системата. Когато нормалното поведение е установено, системата може да бъде използвана за откриване на аномалии на база профила изграден за нормалното поведение. Профилите са разработени чрез наблюдение на характеристиките на типична активност през определен период от време. Основен проблем при генерирането на профили е, че може да е доста трудно в някои случаи те да бъдат направени точни, поради сложността на компютърната дейност. Предимството е възможността за разпознаване на нови типове атаки.

Известни са редица средства за разпознаване на атаки, базирани на този подход.

NIDES/STAT (Next-generation real-time Intrusion Detection Expert System Statistical component) е експертна система за откриване на атаки в реално време със статистическа компонента [5]. Системата използва статистически модели за описване на нормалното поведение на системата. Извършва се наблюдение над хоста и ако се открие поведение, което значително се различава от определеното като нормално, то се отбелязва като евентуално наличие на атака. Създава се профил за всеки обект, който отразява поведението на потребител. Основният проблем с тази система е, че въвежда възможността на атакуващия постепенно да тренира профила, за да може системата постепенно да приема тези действия като нормално поведение.

Аналогична система е Haystack [6]. Тя също използва статистически модел за профилиране на поведението на системата. За разлика обаче от NIDES/STAT, нейният алгоритъм има етап, при който се определят прилики спрямо познати атаки. Предимството е, че има информация за повече атаки и съответно по-бързо и по-ефикасно те могат да бъдат откривани. Недостатък е сложността на алгоритъма на оценка на поведението, системата е значително по-бавна в анализа и алармирането при наличие на атака.

Системата Ossec е безплатна и е с отворен код, като предоставя графичен интерфейс за управление [7]. Има мощен корелационен и аналитичен компонент, извършва анализи на журнали, проверява интегритета на файловете и наблюдава регистрите. Предимство е работата в реално време. Недостатък е малкото знания за познати атаки, водещо до висок коефициент на грешно алармиране за открито проникване.

Алтернативно средство е Tripwire [8]. Това е също система с отворен код която проверява интегритета на данните. Системата наблюдава определени файлове и дава сигнал, когато открие някаква промяна. Тъй като се извършва постоянен мониторинг, се изискват значителни ресурси на машината. Друг недостатък е, че алармирането за открито нарушение се извършва чак когато в системата вече има наличие на повредени файлове.

Системата Nessus представлява комерсиален скенер за уязвимости [9]. Основната й функционалност е откриване на опит за отдалечен неоторизиран достъп до машината. Предимството на това средство е извършването на мониторинг над мрежовия трафик и анализиране на пакетите, давайки възможност за откриване на DoS атаки срещу TCP/IP стека. Недостатък е, че продуктът не може да се използва за персонална защита.

ПРЕДЛАГАН ПОДХОД

Предлаганият в доклада подход за анализ на обработваните пакети използва специфична вариация на генетичен алгоритъм [10,11]. Тази вариация се базира на генетичния оператор селекция, като се оценяват

всички индивиди в поредните поколения на база на аналитично определена фитнес функция. Предлаганият подход е реализиран в хост-базирана система за разпознаване на Ботнет атака.

Всеки жив организъм има собствен индивидуален план, закодиран в гените си. Тези гени са свързани помежду си и сформират хромозоми, а хромозомите сформират организъм, наречен фенотип. В случая на използвания генетичен алгоритъм, като фенотип се третират получените пакети. На тяхна основа се формират хромозоми, изследват се и така се засича промени във фенотипа и мутация. Алгоритъмът извлича от получения пакет (фенотипа) неговите гени и комбинира тези гени във верификационна хромозома. Когато се извършва засичане на spoofing атака, алгоритъмът изследва хедърите на всеки пакет и извлича следните атрибути, наричани по-нататък гени:

- Source IP
- Source Mac Address
- DestinationMAC Address
- Initial Time to Live
- Hop Count
- Protocol Number
- Packet ID

Всички тези гени представляват променливи, които могат да бивaт променени, в случай, че нарушител се опитва да приложи spoofing атака. Алгоритъмът преобразува стойностите на тези гени в техния двоичен еквивалент и ги конкатенира, за да се получи хромозомата на пакета. На фиг.2 е показано формирането на примерна хромозома.

Трябва да се отбележи, че последният бит на хромозома представлява валидността на идентификатора на пакета, а не самият идентификатор. Ако идентификаторът на пакета е по-голям от този на предишния пакет, изпратен от същия източник, то валидността се приема за 1, в противен случай е 0. Идентификаторът на пакета е нарастваща стойност и следователно, последователно изпращани валидни пакети от един и същ източник, трябва да имат последователни нарастващи идентификатори. В противен случай се приема, че има външна намеса, осъществена при изпращането на пакета, превръщайки го в евентуален опит за атака.

Source MAC - 02:00:4c:4f:4f:50 : (10)(0)(1001100)(1001111)(1001111)(1010000)
Destination Mac - 01:00:5e:7f:ff:fa : (1)(0)(1011110)(1111111)(11111111)(11111010)
TTL - 31 : (11111)
Hop Count - 1 : (1)
Packet ID - 288 : (1)

1001001100100111110011110100001010111101111111111111111111010111111

***Фиг. 2**. Формиране на хромозома от пакет*

Фитнес функцията на алгоритъма представлява аналитично изчисление между две хромозоми, получени от един и същ адрес. Двете хромозоми биват двоично сравнени бит по бит, изчислявайки се математически фитнес нивото на получения пакет. Когато системата получи пакет за първи път от даден IP адрес, гените му формират хромозома и тя се запазва със 100% фитнес ниво (ниво на годност). Тази хромозома се използва като шаблон за последваща верификация. Хромозомите на следващите пакети, получени от същия източник, се сравняват с шаблона, прилагайки фитнес функцията и аналогично се изчислява фитнес нивото на пакет. Ако фитнес нивото на новия приет пакет е по-малко от това на пакета, получен по-рано, то се счита, че е налице външна намеса.

Минималното допустимо фитнес ниво, което е настроено в системата, е 65% хромозомен фитнес. Този процент е получен след анализ и наблюдение на поведението на системата в нормална среда и в атакувана среда, като числото е избрано с цел по-ниски фалшиви резултати. Предвидено е потребителят да може да настрои нивото така, че да отговаря на конкретната мрежова среда.

След като хромозомата е генерирана, трябва да се изчисли нейното фитнес ниво. Нека, например, хромозомата на получен пакет от източник за първи път, която е генерирана от алгоритъма, е 1010101010. След това, ако се получи друг пакет от източник със същия IP адрес, се очаква неговата хромозома да е почти същата, ако ли не – то поне близка до предишната. Това се дължи на факта, че MAC адресите на източника и дестинацията трябва да са еднакви, а TTL и HopCount - приблизително еднакви. Също така, идентификаторът на пакета се очаква да е по-голям от идентификатора на предишния пакет. Ако всичко това е нали-

це, очаква се вторият получен пакет да има почти същата хромозома. Например, нека хромозомата на втория получен пакет е 1100101001.

	1 0 1 0 1 0 1 0 1 0
	1 1 0 0 1 0 1 0 0 1
Резултат:	C H H C C C C C H H

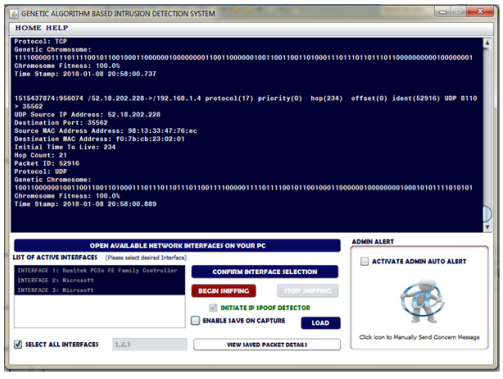
***Фиг. 3**. Сравнение на две хромозоми на последователни пакети*

Може да се направи следното сравнение на две хромозоми на последователни пакети от един и същ източник, показано на фиг. 3 (обозначенията са: *C = Съвпадение, H = Няма съвпадение*). От сравнението се виждат 4 разлики в хромозомите. В този случай вторият пакет притежава фитнес ниво 60%, което означава, че е бил значително променен и системата ще генерира аларма.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И РЕЗУЛТАТИ

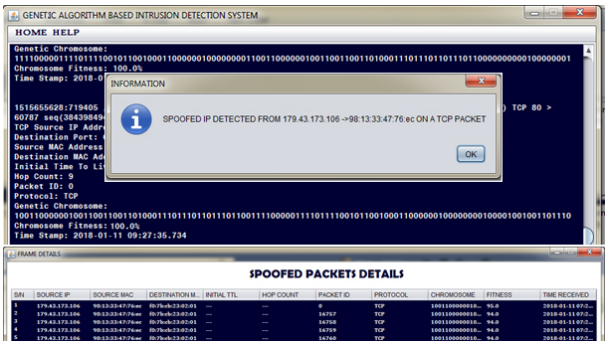
Тестването на представената система е извършено в локална мрежа в която са атакуващата машина и хост-базираната система. В нормална среда хост-базираната система получава пакети с фитнес ниво в диапазона 95-100%, породено основно от промените в идентификаторите на пакета (фиг. 4).

При тестовете за детектиране на Ботнет атака, ботът изпълнява TCP SYN Flood атака, като изпраща пакети, докато не бъде спрян. Функционалността му е да прикрие IP адреса на машината, на която е стартиран, като при стартирането му се задава друг адрес на източника. За конкретния тест е избран IP адрес 222.222.222.222. Като команда се подава и адреса на атакуваната машина – тази, на която е стартирана хост-базираната система за откриване на атаки (адрес 192.168.1.3).



***Фиг. 4**. Информация за преминаващия трафик*

От машината, на която се изпълнява бота, първо са изпратени валидни пакети, след това е стартирана атаката. Системата получава валидните пакети, съхранява ги в базата данни и когато атаката се стартира, при получаване на пакет се формира хромозом. В базата данни се търсят пакети от същия MAC адрес. При откриване на такива се сравняват двете хромозоми, но тъй като IP адресът е бил подменен, се получава голяма разлика, която надвишава фитнес нивото (в случая 65%). В резултат се генерира аларма (фиг.5), като може да се получи детайлна информация за прехванатите пакети.



***Фиг. 5**. Детектиране на Ботнет атака*

Резултатите от тестването показват, че алгоритъмът функционира коректно, но конкретната мрежа трябва да бъде внимателно анализирана, за да се избере подходящо фитнес ниво. В атакувана среда хост-базираната система открива веднага атаката и сигнализира адекватно.

Спрямо резултатите може да се заключи, че ниво под 65% не е допустимо да се допуска, както и ниво над 85%, тъй като това води до фалшиви позитивни резултати за откриване на атака.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад е представен подход за реализиране на хост-базирана система за откриване на Ботнет атаки. Системата използва техника за откриване на аномалии на базата на вариация на генетичен алгоритъм, като се анализира трафика, преминаващ през мрежовите интерфейси на хоста. Алгоритъмът анализира всеки получен пакет индивидуално, като определя дали е имало външна намеса, дължаща се на про-

ведена spoofing атака. Експерименталните резултати показват, че предлаганият подход има реална приложимост.

Цел на бъдеща работа е разширение на функционалността на системата, предоставяща още възможни техники за откриване на аномалии, като добавяне на анализ на интегритета на данните. Предвижда се и интегриране на сигнатурно-базирана техника, която да осигури бързо и ефикасно откриване на вече познати атаки.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Shankdhar P. DoS Attacks and free DoS attacking tools, INFOSEC Institute, 2013.

[2] Elisan C. Malware, Rootkits& Botnets A beginner's guide, McGraw-Hill Education – Europe, ISBN 9780071792066, 2012, pp.55-82.

[3] McAfee Labs. https://www.mcafee.com (01.09.2018).

[4] Chouhan P., V. Richhariya. Anomaly Detection in Network using Genetic Algorithm and Support Vector Machine, International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 6 (5) , 2015, pp. 4429-4433.

[5] NIDES. http://www.csl.sri.com/projects/nides/ (01.09.2018).

[6] Al-Sakib K. The State of the Art in Intrusion Prevention and Detection. Auerbach Publications, 2014. ISBN 9781482203523

[7] OSSEC. https://www.ossec.net/ (01.09.2018).

[8] TripWire. https://www.tripwire.com (01.09.2018).

[9] Nessus Professional. https://www.tenable.com.

[10] Hashemi V., Z. Muda, W. Yassin. Improving Intrusion Detection Using Genetic Algorithm, ANSI - Information Technology Journal 12(11), 2013, pp. 2167-2173.

[11] Maniya P., V. Musande. Rules Based Intrusion Detection System Using Genetic Algorithm, International Journal of Computer Science and Network, Volume 5, Issue 3, June 2016, pp.554-55.

ЕДИН ПОДХОД ИЗГРАЖДАНЕ НА УНИВЕРСИТЕТСКО ЦИФРОВО ХРАНИЛИЩЕ НА ДОКУМЕНТИ

Емил Хаджиколев[1], Станка Хаджиколева[2], Неделчо Андонов[3]
[1, 2, 3]Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“

AN APPROACH TO BUILDING A DIGITAL UNIVERSITY DOCUMENT REPOSITORY

Emil Hadzhikolev[1], Stanka Hadzhikoleva[2], Nedelcho Andonov[3]
[1, 2, 3] Plovdiv University “Paisii Hilendarski”

Abstract
The building of a centralized document repository is an important factor for effective document turnover in educational institutions. There are many reasons that complicate the creation of such repositories - most educational institutions have complex organizational structures, they have a wide variety of business processes where various types of documents are created, document users are diverse - software applications, people with different administrative roles belonging to different organizational units and others. The article proposes an approach to building a university repository based on strict typification of roles, units and documents. It aims at building specific control of customized user access to the repository resources, facilitating the search and access to documents through web services, and integrating it with other university applications.

Keywords: university document repository, document repository model, centralized university document repository, access control management models.

ВЪВЕДЕНИЕ

Във всяка образователна институция в системата на висшето образование се изпълняват множество разнообразни бизнес процеси, касаещи различни дейности – прием на кандидат-студенти, административно обслужване на служители и студенти, администриране на студентски стипендии и общежития, управление на човешките ресурси, развитие на академичния състав, осигуряване качеството на образователния процес, счетоводно обслужване и мн. др. Част от тези дейности се управляват централизирано – на университетско ниво, а други – на ниво основно или първично звено. При това се създават голям обем разнотипни документи, които се администрират от различни организационни звена и се използват от различни видове потребители – софтуерни приложения, служители, членове на академичния състав, студенти и др.

Много организации използват наследствени документи системи, с които частично управляват и архивират потока от документи. В общия случай, всяко звено съхранява и управлява документите си чрез специализирани софтуерни приложения и ги предоставя при поискване на други звена. ***Разпределеното съхранение на документи създава затруднения*** в работата на служителите и е предпоставка за допускане на грешки и неточности:

- необходими са времеви и човешки ресурси за разпространяване на новата информация (документи);
- трудности при откриване и извличане на актуална версия на документ;
- опасност от работа с неактуална версия на документ, съхраняван локално и др.

Естественото решение е – да има централизирано хранилище на документи, с различни нива на достъп до тях, в зависимост

от служебните отговорности на служителите.

В статията е представен един подход за изграждане на университетско документно хранилище. Той е фокусиран върху възможността за детайлно моделиране на основните обекти и субекти на хранилището. Строгата типизация на обектите има за цел контрол на персонализирания достъп на потребителите до ресурсите на хранилището, улесняване на търсенето и достъпването на документите чрез уеб услуги, и интеграцията с други университетски приложения. Въпросите, свързани с конкретна имплементация и сигурността не са обект на настоящата статия.

СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ДОКУМЕНТИ

Системите за управление на документи са категория приложения, които се използват за регистриране, проследяване, управление и съхраняване на документи. В общия случай те поддържат функционалности за управление на метаданни, интеграция, валидиране на данни, индексиране, сигурност и контрол на достъпа до документите, управление на работните потоци, инструменти за работа в екип, управление на версии на документи, търсене и др. Има много приложения, предназначени за използване от образователните институции.

DocuVantage OnDemand [1] е приложение за централизирано съхранение на документи. Има опции за редактиране и споделяне на файлове с избрана група, и подробна информация за това, кой е видял, модифицирал и одобрявал всякаква информация. Приложението поддържа възможности за дефиниране на работни потоци, което позволява автоматизиране на маршрутизацията на документите.

Docsvault [2] поддържа базови функционалности за управление на документи, профили на документи, асоцииране на индекси и тагове към документи и др. Потребителите могат да създават собствени шаблони за хартиените и електронните си документи. Поддържа функции за управление на задачи и имейли.

Treeno [3] поддържа електронно маршрутизиране на документи, автоматично проследяване и отчетност на работния поток на документи. Оптимизира дейностите по управление на договори, ревизии на бюджета, одити на трети страни и др. Специфична функционалност е автоматизирането на процесите на писане на проектни предложения, проследяващо спазването на сроковете и гарантиране на конфиденциалност. Приложението може да бъде интегрирано със съществуващи бизнес приложения за автоматизирано попълване, търсене и извличане на данни.

DynaFile [4] използва интегрирани онлайн формуляри и електронни подписи, което позволява автоматизирано управление на данните. Администраторите имат пълен контрол над правата на потребителите, като им задават достъп само до видовете документи, от които се нуждаят. Приложението може да се интегрира с институционалната система за управление на обучението.

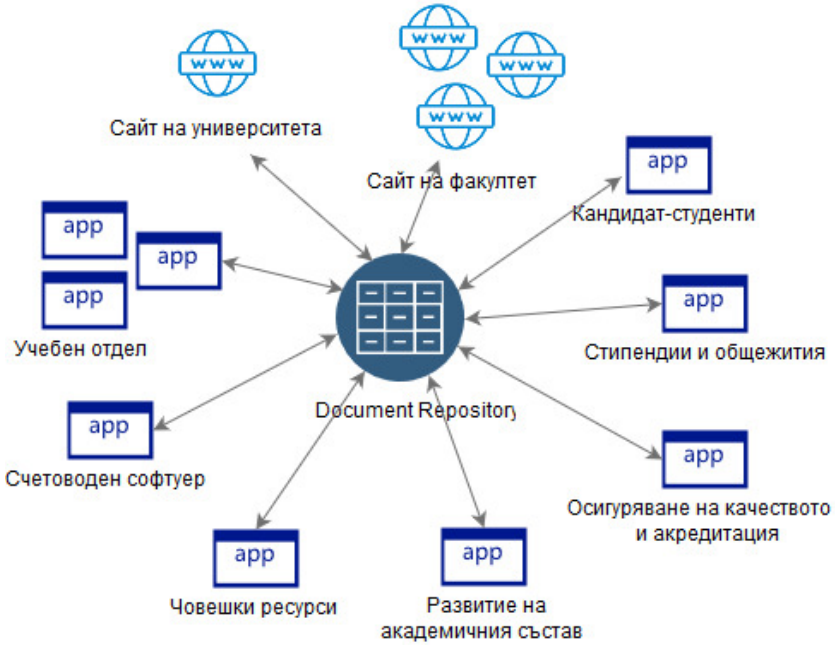
Други известни системи за управление на документи са eFileCabinet [5], FileHold [6], Virtual Cabinet [7] и др.

Направеното проучване показва, че използваните от образователните институции системи за управление на документи поддържат богата гама от функционалности, които ***автоматизират частично*** образователни, административни, одитни, финансови и други процеси. ***Не са ни известни централизирани университетски документни хранилища, които изцяло управляват документооборота на образователна институция, вкл. на основните, административните и обслужващите звена***.

ИЗИСКВАНИЯ КЪМ УНИВЕРСИТЕТСКОТО ХРАНИЛИЩЕ НА ДОКУМЕНТИ

Типичните приложения, които се използват в образователните институции в България са следните: софтуер за учебен отдел, за управление на човешките ресурси, за стипендии и общежития, за осигуряване на качеството на обучението и др. Много често университетските и факултетните сайтове съдържат информация, която се извлича автоматизирано от други софтуерни приложения. Изграждането на централизирано

университетско приложение предполага всички тези приложения да публикуват и извличат данни от хранилището, вместо да комуникират помежду си (фиг. 1).



Фиг. 1. *Комуникация на университетско хранилище с други университетски системи*

Основните изисквания, които трябва да изпълнява централизирано хранилище са:

- възможност външни софтуерни системи да публикуват информация в хранилището, да извършват автоматизирано търсене, достъпване и извличане на документи;
- многопотребителска поддръжка – да поддържа различни роли, с различни права на достъп за преглед, публикуване, актуализиране и премахване на документи;
- стриктен централизиран контрол за управление на потребителите и разпределен контрол за управление на документите;
- възможност за описание и поддържане на мета данни за документите, в зависимост от техния тип;
- управление версии на документи и др.

За да бъде универсално, хранилището трябва да бъде конфигурируемо. Това налага някои ***допълнителни изисквания***:

- строга типизация и категоризация на документите;
- моделиране на стандарти за описание на документи;
- всеки документ трябва да се описва чрез множество мета данни – част от тях са задължителни, а други – опционални;
- във всеки момент да могат да бъдат добавяни нови мета данни за описание на документ, без това да изисква промяна на приложенията, които вече използват документите;
- поддръжка на стандарти за описание на документи и др.

ЦИФРОВ МОДЕЛ НА ДОКУМЕНТ

За да е възможно различни софтуерни приложения да търсят и извличат документи от хранилището, е необходимо за всеки документ да се съхранява мета-информация, касаеща различни аспекти на документа – произход и предназначение на документа, съдържание, контрол на достъпа и др. За описание на документ, ние предлагаме модел с 4 слоя – основен слой, слоеве за категоризация, контрол на достъпа и мета данни. Всеки слой съдържа множество специфични характеристики [8].

Включването на нови софтуерни приложения в университетската информационна екосистема, които ще използват хранилището, или промени в националната или университетската нормативната уредба, също могат да наложат допълнителни изисквания към модела на документ. При недостатъчно гъвкаво проектиране, включването на допълнителни характеристики и

мета данни за описание на документ ще наложат и допълнително програмиране – за визуализация на нови характеристики, съхранение в базата данни и обработката им и др. За да се избегне това, е удачно създаването на ***софтуерен модул за моделиране на документ***, при който потребителят сам да определя метаданните, характеризиращи конкретен документ или категория документи. Това позволява допълнително ниво на абстракция, което осигурява универсален начин за описание на документи. За тази цел дефинираме основни понятия - „стандарт“, „тип документ“, „категория”, „документ“ и „тип звено“. ***Стандартът*** е абстрактен модел на документ и задава рамка за описание на клас от документи. ***Тип на документ*** е понятие, което определя по-конкретно съдържанието и предназначението на даден документ. Типовете документи могат да са класифицирани в различни ***категоризации***. Възможно е да се създават една или повече категоризации, използвани за нуждите на различни приложения, организационни единици и потребителски търсения на документи. Един тип документ може да попада в различни категоризации. Моделът на документ е описан в [8].

МОДЕЛИ ЗА КОНТРОЛ НА ДОСТЪПА ДО ПРИЛОЖЕНИЯ

През последните години са разработени множество ***модели за контрол на достъпа***.

Role-Based Access Control (RBAC) е модел, базиран на роли. Потребителите на системата получават определени роли, а правата за извършване на определени дейности са разрешени за определени роли. По този начин потребителите придобиват права чрез своята роля (или роли) [9].

Attribute-Based Access Control (ABAC) е друг популярен метод за контрол на достъпа. Тук заявките на субект да изпълни операции върху обекти се изпълняват или отхвърлят въз основа на конкретни атрибути на субекта и обекта, условия на средата и набор от политики, които са специфицирани в термините на тези атрибути и условия [10].

Organisation-Based Access Control (OrBAC) позволява на дизайнера на политиката да определи политика за сигурност, независимо от изпълнението. Избраният метод за постигане на тази цел е въвеждането на абстрактно ниво, в което ролята, дейността и изгледите абстрахират субекта, действието и концепциите за обекта. За всяко множество, образувано на база принадлежност към роля, дейност или изглед, се прилага едно и също правило за сигурност. Всяка политика за сигурност е определена за и от дадена организация. По този начин спецификацията на политиката за сигурност е напълно параметризирана от организацията, което позволява да се борави едновременно с няколко политики за сигурност, свързани с различни организации [11].

Role and Organization Based Access Control (ROBAC) е модел, който има за цел да надгради OrBAC чрез дефиниране на политики за сигурност, обхващащи множество организации. За разлика от модел RBAC, при който правата на потребителя зависят само от неговата роля, при ROBAC правата се определят от съвкупността от две характеристики – ролята на потребителя и принадлежността му към конкретна организация. Разрешенията в ROBAC са дефинирани като операции над типове обекти вместо операции върху конкретни обекти. Потребител може да достъпи обект, само ако са му присвоени двойка „роля – организация“, ролята има права да достъпва този тип обекти, а организацията „притежава обекта“. Различни варианти на ROBAC са описани в [12, 13].

ОБЕКТИ, ВЗАИМОВРЪЗКИ И ПРИНЦИПИ В УНИВЕРСИТЕТСКО ХРАНИЛИЩЕ

Подходът, който предлагаме, включва следните ***основни обекти, взаимовръзки и принципи за работа с тях:***

1. ***Един потребител*** може да има ***няколко роли*** в различни ***звена на организацията*** (член на катедра, декан на факултет и др.).
2. ***Звена:***
   - ***определят структурни единици на организацията*** (Факултет по физи-

ка, Факултет по математика и информатика, катедра Алгебра и др);
   - ***организирани*** са в ***йерархична структура*** (напр. наследници на звеното „Университет“ са различни факултети, филиали и отдели; на следващо ниво – за даден факултет са конкретните катедри и т. н.);
   - предоставят ***възможност за наследяване на права в йерархията от звена*** – нагоре и/или надолу.
3. ***Типове звена:***
   - ***задават типове за различни конкретни звена*** (университет, факултет, катедра, отдел и др.);
   - предопределят ***общи политики за сигурност и работа*** с принадлежащите им обекти – ***потребители и документи***;
   - имат ***йерархична свързаност***, определяща ***правила за валидни взаимовръзки между звената*** в организацията (напр. в тип университет, може да има само звена от тип факултет, отдел, филиал и др., но не и катедра);
   - предоставят ***възможност за наследяване на права в йерархията от типове звена*** – нагоре и/или надолу.
4. ***Роли:***
   - ***определят общи права за сигурност и достъп до ресурси*** (ректор, декани, член на факултет и др.);
   - една роля може да бъде задавана на ***много потребители***;
   - роля е ***валидна*** само в определен ***тип структурни звена***;
   - ***може да е мандатна/изборна*** – важи за определен период от време;
   - може да се задават различни ***йерархии от роли***, с цел ***наследяване на правата за достъп*** – декан (за факултет) и директор (за филиал) може да имат едни и същи права за подчинените им структури и да имат обща родителска роля – „декан/директор“.
5. ***Документи***:
   - могат да бъдат групирани в ***типове документи***, с цел еднотипна работа;
   - принадлежат към ***стандарти***, определящи ***стандартни характеристики***;
   - могат да се ***групират в категории***, с цел улеснено търсене и автоматизирани групови дейности върху документите.
6. ***Типове документи***:
   - задават ***общ дизайн и характеристики*** за оформяне на документи от съответния тип;
   - предопределят ***общи права за достъп*** до всички документи от съответния тип;
   - всеки ***тип документ*** може да се задава ***само за определени типове звена***;
   - ***множество от типове документи*** може да бъдат ***организирани в групи от типове документи***, с цел улеснено администриране на правата.
7. ***Операции*** върху типове документи:
   - ***основни: запис и четене***;
   - ***допълнителни***:
     - ***за запис:*** редактиране, публикуване, потвърждение и др.
     - ***за четене:*** четене само на заглавието на документ, четене на заглавието и метаданни и др.
8. ***Видове операции.*** В зависимост от ***принадлежността на документ към определено звено*** и с цел улеснено и безопасно задаване на права, удачно е операциите да се обособят в две групи***:***
   - ***private (частни)*** – за потребители от ***звено собственик*** на документа или от звена ***нагоре и надолу в йерархията на звеното собственик***;
     - ***основни операции:*** *private write (запис), private read (четене)*;
     - ***допълнителни операции:*** *всички описани в т. 7 допълнителни операции могат да се задават като private*.
   - ***public (общодостъпни)*** – за всички останали потребители, които не принадлежат на звено собственик на документа или от звена нагоре и надолу в йерархията на звеното собственик:
     - ***основни операции:*** *public read*;
     - ***допълнителни операции:*** *всички описани в т. 7 допълнителни операции за четене могат да се задават като public*.

9. ***Разрешения (Permissions) – правата за достъп на един потребител до документ*** се определят от неговата ***роля***, принадлежност към ***звена*** (и съответните им типове звена) и ***типа на документа*** (и съответното звено и тип, за което е регистриран документа). Напр. за документи с тип „решения на факултетен съвет“, потребител с роля „декан“ може да има достъп до конкретни документи, свързани с неговото звено, но не до чуждите.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Образователните институции имат сложна структура от звена, в която протичат разнообразни бизнес процеси. Съществуващите системи за управление на документи, специализирани за употреба във висшите училища не могат да задоволят изцяло нуждите им. Изграждането на цифрово хранилище на документи, което да предоставя достъп на различни клиенти и приложения до документите, само по себе също е сложна задача.

В статията е представен подход, който има за цел да моделира персонализиран контрол на достъпа до документите в хранилището. Основни концепции в него са строгата типизация на документи, роли, звена и права, базирани на тях. Правата на потребител за достъп до документ се определят в зависимост от принадлежността му към роля, звено и прилежащия му тип звено, от една страна, а от друга – от типа на документа и асоциираните с него типове звена-собственици.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работата е финансирана от проект СП17-ФМИ-005 към Фонд „Научни изследвания“ при Пловдивския университет „П. Хилендарски“.

REFERENCE

[1] DocuVantage OnDemand, Document Advantage Corp., available at: http://www.docuvantage.com/document-management-for-higher-education.

[2] Docsvault, Easy Data Access, available at: https://www.docsvault.com/document-management-solution-educational-institutions/.

[3] Treeno, Treeno Software, available at: https://treenosoftware.com/solutions/education/higher-education/.

[4] DynaFile, Blue Ribbon Technologies, available at: https://www.dynafile.com/document-management-software-solutions/education.

[5] eFileCabinet, eFileCabinet Inc., available at: https://www.efilecabinet.com/education-document-management-software/.

[6] FileHold, available at: www.filehold.com/business-solutions/education.

[7] Virtual Cabinet, Reckon Ltd., available at: https://www.virtualcabinet.com/document-management/industries/education.

[8] Hadzhikolev E., Hadzhikoleva S., Orozova D., Digital Model of a Document in a University Document Repository, XX-th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA 2018, 3 – 6 June 2018, Bourgas, Bulgaria.

[9] International Committee for Information Technology Standards, INCITS 359-2012, Information Technology - Role Based Access Control, 2012.

[10] National Institute of Standards and Technology, Guide to Attribute-based access control, Definition and Considerations, 2014.

[11] The SERES team, OrBAC: Organization Based Access Control, 2013, http://orbac.org/.

[12] Zhang Z., Zhang X., Sandhu R., Handbook of Research on Social and Organizational Liabilities in Information Security, Chapter 6: Towards a Scalable Role and Organization Based Access Control Model with Decentralized Security Administration, 2008, ISBN: 1605661325, pp. 94-117.

[13] Zhang Zh., Zhang X., Sandhu R., ROBAC: Scalable Role and Organization Based Access Control Models, International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing, 17-20 Nov. 2006, Atlanta, GA, USA.

СИСТЕМА ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ЛАБОРАТОРНИ УПРАЖНЕНИЯ ЧРЕЗ ВИРТУАЛНИ МАШИНИ

Делян Генков
Технически университет - Габрово

SYSTEM FOR LABORATORY EXERCISES USING VIRTUAL MACHINES

Delyan Genkov
Technical University - Gabrovo

Abstract

Virtual machines allow experiments with different operating systems and application software without affecting the local operating system and software. This approach can be useful for conducting laboratory exercises in computer oriented topics, where the students have to experiment with different systems and software and learn the ways to install, setup and use it.

This paper presents one possible approach for use of a virtualization platform for conducting laboratory exercises in computer networks.

Keywords: Education, Virtual Machines, Laboratory exercises.

ВЪВЕДЕНИЕ

Технологията за виртуализация дава възможност ресурсите на един физически компютър да бъдат споделени между много виртуални машини, създавайки виртуални ресурси – процесори, памет, дискове, мрежови контролери и други. Всяка виртуална машина има своя операционна система и приложен софтуер, като в общия случай промяната на една виртуална машина не влияе на останалите. Съпътстващите виртуализацията технологии дават допълнителни предимства – технологията за създаване на снимки (snapshot) тава възможност за много бързо архивиране на цялата машина, заедно с операционната система и софтуера, като позволява мигновено възстановяване на функционалността при вирусна атака или повреда на софтуера. Технологията за клониране дава предимството на бързо създаване на много еднотипни машини. При използване на десктоп виртуализация е възможно на сървър да се стартира предварително подготвено копие на операционна система с инсталиран и конфигуриран приложен софтуер, който да бъде достъпен чрез терминал с по-малки от необходимите за работа хардуерни ресурси. Десктоп виртуализацията позволява работа с умни мобилни телефони, таблети, „тънки клиенти“ и други съвременни платформи.

Тези предимства могат да бъдат доста полезни при създаването и провеждането на лабораторни упражнения със студенти по компютърно-ориентирани дисциплини. На такива упражнения обикновено на студентите се налага да инсталират и конфигурират операционни системи, приложни програми, да създават бази данни и компютърни програми, както и да накарат няколко системи да се свържат помежду си в обща компютърна мрежа. Използването на виртуализационните технологии при провеждането на упражнения може да помогне в няколко различни аспекта: да предпази локалните ресурси на компютърната система от повреда при инсталиране на различни програмни компоненти, да помогне за бързото създаване на виртуална машина за работата на всеки студент, да запази резултатите от работата му при необходимост от продължаване на изпълнението да задачите

в упражнението, както и лесно и бързо да върне постановката в начално положение, за изпълнение на същото упражнение от друга група студенти. Не на последно място по важност е и възможността да се работи от собствена компютърна система – лаптоп, таблет или умен телефон, което без да влияе на сигурността на достъпа позволява разширяване на лабораторната база, както и осигурява възможност за полагане на задачите в упражненията от друго място и по друго време.

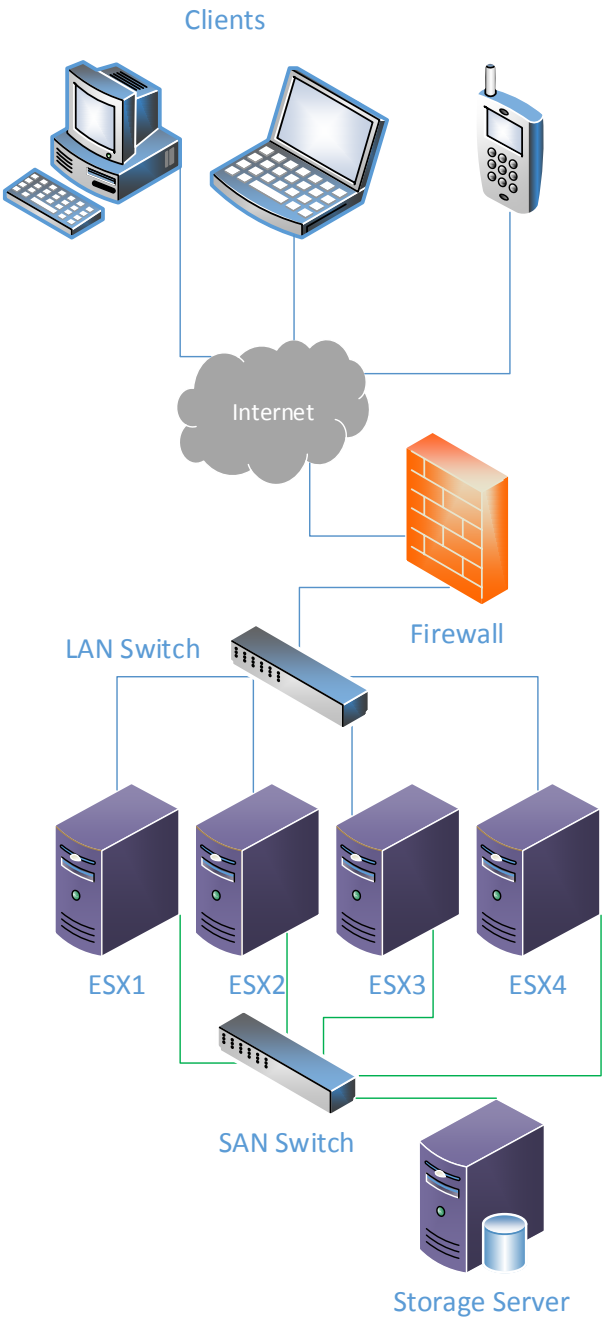
ИЗЛОЖЕНИЕ

Технически университет – Габрово е участник в сдружение Клъстер Айтос (ITOS), който изпълнява проект № BG16RFOP002-2.009-0043 „Развитие на капацитета и интернационализацията на продуктите на Клъстер Айтос /ITOS/“ с финансовата подкрепа на ЕС чрез Европейския фонд за регионално развитие. В рамките на проекта в гр. Габрово беше инсталирана технологична инфраструктура за създаване на специализирана развойна лаборатория.

Инсталираната инфраструктура се състои от следните компоненти:

- 4 броя сървъри HP DL380Gen 9, 2 X 8 Core Intel Xeon E5-2620v4, 256 GB RAM, 2 X 1,2 TB 6G SAS HDD, 32 GB Flash Media Kit, 2 X 800 W Hot Swap PSU;
- 1 бр дисков масив за съхранение на данни HP DL380Gen 9, 2 X 8 Core Intel Xeon E5-2620v4, 256 GB RAM, 12 X 4 TB 6G SAS HDD, 2 X 800 W Hot Swap PSU;
- Комутатор на мрежата за данни HP Aruba 3810M 16 SFP Switch;
- Комутатор на мрежовата свързаност Cisco Catalyst 2960-X 48 GigE;
- Защитна стена Cisco ASA 5508-X with FirePOWER Services;
- VMware VSphere Standard Server + VCenter;
- VMware Horizon View + Client license pack.

Структурата на системата е представена на фигура 1.



***Фиг. 1**. Структура на системата*

На всеки от четирите сървъра е инсталиран хипервайзор за виртуализация VMware ESXi 6.5.0 Update 2 [1]. Управлението, разпределянето на натоварването, отказоустойчивостта и другите услуги на четирите сървъра и устройството за съхранение на данни се осигурява от софтуерната платформа vCenter Server 6.5.0.2000 [2], работещ като отделна виртуална машина на платформата.

Свързаността между сървърите и дисковата подсистема е чрез оптична свързаност по два независими канала със скорост 10

Gbit/s или обща скорост от 20 Gbit/s на сървър, а с локалната мрежа – с по 4 независими медни връзки със скорост 1 Gbit/s всяка. Достъпът до платформата се осъществява чрез IPSec VPN към защитната стена Cisco ASA 5508-X, като е защитен с потребителски имена и пароли и трафикът е криптиран.

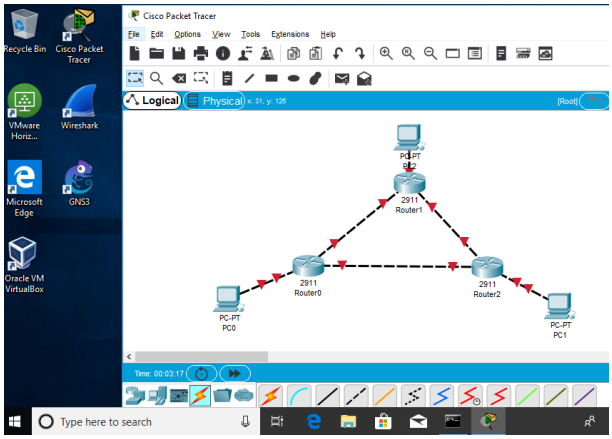
За осъществяване на десктоп виртуализация са създадени виртуални машини, на които е инсталиран необходимият софтуер за провеждане на упражнение по компютърни мрежи. Управлението на десктоп виртуализацията се осъществява посредством софтуерната платформа VMware Horizon 7 [3].

Софтуерните компоненти на системата и тяхното предназначение са описани по-долу [4]:

- Horizon Connection Server – служи за управление на клиентските сесии, осигурява автентикация чрез активна директория на Microsoft Windows и насочва заявките към подходяща виртуална машина;
- Horizon Client – софтуерен компонент, който се инсталира на клиентската машина – Android или iOS таблет или телефон, Windows или Linux компютър, „тънък клиент“ и др;
- VMware Horizon User Web Portal – позволява достъпа до системата чрез Web браузър, като автоматично стартира или изтегля Horizon Client компонента;
- Horizon Agent – компонент, който се инсталира на всяка виртуална машина, комуникира с Horizon Client и осигурява наблюдение на връзката, позволява включването на локални USB устройства към отдалечената машина и др.;
- Horizon Administrator – Web-базирана услуга, позволяваща конфигурирането на обектите, като потребители, права за достъп, както и откриване и отстраняване на проблеми при свързването на потребителите;
- Cisco Anyconnect VPN Client – компонент, който се инсталира на отдалечения терминал и позволява отдалеченото свързване към защитната стена, чрез установяване на VPN връзка. [5]

За използване на системата за лабораторни упражнения е необходимо изпълнението на следните стъпки:

1. Инсталиране и конфигуриране на виртуална машина (Windows или Linux) с необходимите приложения за провеждане на упражнението. На фигура 2 е показана примерна виртуална машина за упражнение по дисциплина „Компютърни мрежи“.

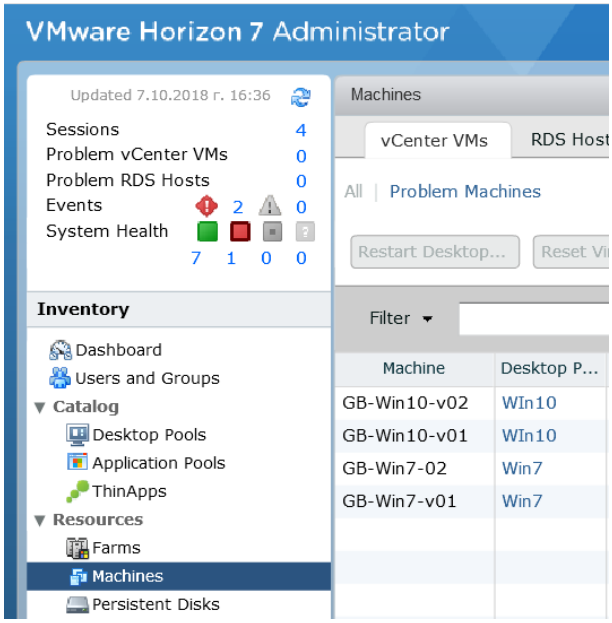


***Фиг. 2**. Примерна виртуална машина*

2. Регистрирането на машината в ESXi хост и репликирането на необходимия брой копия – фиг. 2.

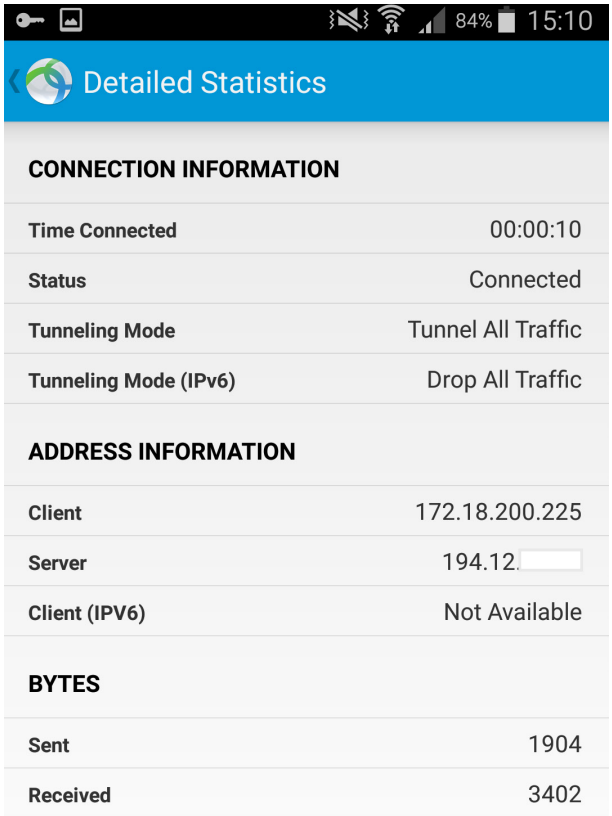
***Фиг. 3**. Регистрирани виртуални машини*

3. Създаване на потребители и набори машини (pools), до които ще се дава достъп в VMware Horizon, както и назначаването на машините в набори – фигура 4.



***Фиг. 4**. Свързване на компонентите*

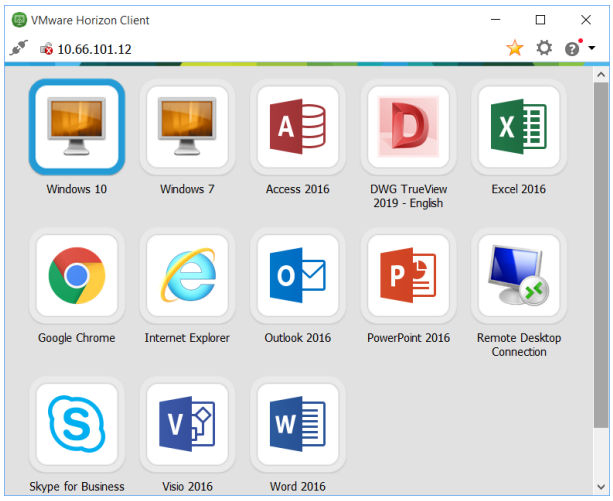
4. Инсталирането върху клиентската машина на Horizon Client и Cisco Anyconnect VPN Client.



***Фиг. 5**. Свързване към VPN*

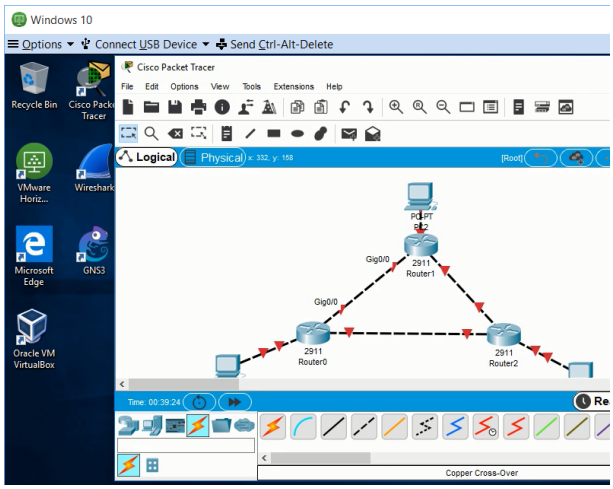
5. Свързване към мрежовата инфраструктура с потребителско име и парола, чрез Cisco Anyconnect VPN Client – фигура 5.

6. Стартиране на Horizon Client и избор на машина за достъп – фигура 6.



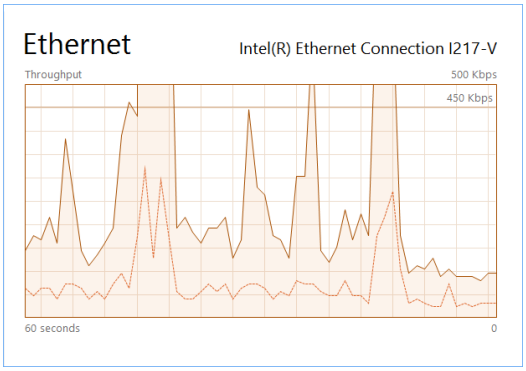
***Фиг. 6.** Избор от достъпни машини и приложения*

На фигура 7 е показана осъществената връзка към отдалечената машина.



***Фиг. 7.** Осъществена връзка към виртуална машина*

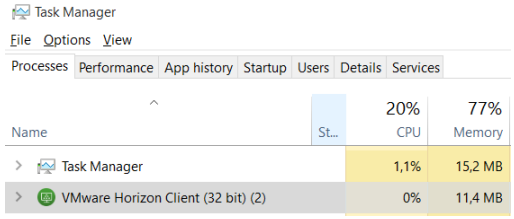
При работа на отдалеченото приложение на пълен екран средното натоварване на мрежовата връзка е около 0,5 Mbit/s за Windows 10 машина, но при рязка смяна на екрана на виртуалната машина, например при превключване към ново активно приложение се наблюдават пикове в мрежовия трафик до около 700 – 800 kbit/s, както е показано на фигура 8.



Фиг. 8. *Натоварване на мрежовата връзка*

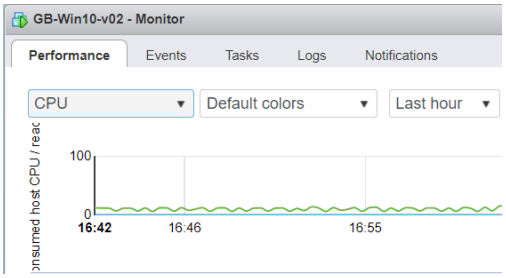
При ограничения на мрежовата свързаност под скорост от 0,5 – 0,8 Mbit/s може да се очакват забавяния и замръзвания на достъпа до отдалечените приложения.

При Windows 10 клиентска машина натоварването на локалния процесор е в рамките на 1%, а заеманата оперативна памет е около 11,5 MB, както е показано на фигура 9.



Фиг. 9. *Натоварване на процесор и памет*

Разбира се консумацията на сървърни ресурси зависи от виртуалната хардуерна конфигурация на машината и стартираните операционна система и приложения. На изследвания пример виртуалната машина е с Windows 10 с 8 GB оперативна памет и два виртуални процесора. При изследването на нея са стартирани симулаторите GNS 3 и Cisco Packet Tracer с по три маршрутизатора във всеки, както и се прави прихващане на локалния трафик с инструмента Wireshark. При това натоварването на виртуалния процесор е в рамките на средно 14%, както е показано на фигура 10.



Фиг. 10. *Натоварване на виртуалния процесор на машината*

Системата е тествана на следните видове клиенти:

- десктоп и лаптоп компютри с Windows 10 и Ubuntu Linux операционни системи;
- умни телефони с операционни системи Android и MacOS;
- тънки клиенти HP t520;
- HP Chromebook 11 G3;
- таблети Lenovo Yoga, Apple Airpad Air 2 и други.

Засега работи успешно на всички платформи при използване на виртуални машини с Windows 7, Windows 10, Windows Server 2012 и 2016, Linux дистрибуции Debian и Ubuntu.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изградената система е тествана с различни клиенти и виртуални машини. Тя може успешно да се използва за провеждане на лабораторни упражнения по компютърно ориентирани дисциплини. Такъв подход ще реши доста срещани в момента проблеми при провеждането на практическото обучение като повреждане на локални приложения и операционни системи, провеждането на упражнения по различни дисциплини в една и съща лаборатория, запазването на резултатите за бъдеща доразработка и други.

Използването на Интернет свързаност към платформата позволява и провеждането на упражнения от произволно място и в произволно време, което ще позволи използването и за дистанционно практическо обучение на студенти по компютърно ориентирани дисциплини.

Недостатък на подхода за момента е, че при отпадане на свързаността към Интернет няма да е възможно провеждането на упражнения. Ограничената скорост на Интернет връзката също може да повлияе негативно на времето за реакция на виртуалната машина.

Предстои разработването на виртуални упражнения по дисциплините „Компютърни мрежи“ и „Бази данни“ от учебния план на специалност „Компютърни системи и технологии“ и експериментирането на подхода в реалния учебен процес, както и сравне-

ние на удовлетвореността на студентите при използването на традиционния и предложения подход.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящият документ е изготвен с финансовата помощ на договор № 1810Е за провеждане на научни изследвания по проект на тема: „Приложение на виртуализационни и облачни технологии в обучението“ към Технически университет – Габрово.

Апаратурата и софтуерните лицензи, използвани в документа са доставени при изпълнение на проект № BG16RFOP002-2.009-0043 „Развитие на капацитета и интернационализацията на продуктите на Клъстер Айтос /ITOS/“ с финансовата подкрепа на ЕС чрез Европейския фонд за регионално развитие.

REFERENCES

[1] VMware, VMware ESXi: The Purpose-Built Bare Metal Hypervisor, https://www.vmware.com/products/esxi-and-esx.html, дата на използване: 04.10.2018 г.

[2] VMWare, vCenter Server is Simplified and Efficient Server Management Software https://www.vmware.com/products/vcenter-server.html, дата на използване 04.10.2018 г.

[3] VMware, VMware Horizon 7 Documentation, https://docs.vmware.com/en/VMware-Horizon-7/index.html, дата на използване: 05.10.2018 г.

[4] VMware, Horizon 7 Architecture Planning, https://docs.vmware.com/en/VMware-Horizon-7/7.6/horizon-architecture-planning/GUID-5CC0B95F-7B92-4C60-A2F2-B932FB425F0C.html, дата на използване: 05.10.2018 г.

[5] Cisco Systems, Cisco AnyConnect Secure Mobility Client, https://www.cisco.com/c/en/us/support/security/anyconnect-secure-mobility-client/tsd-products-support-series-home.html, дата на използване: 05.10.2018 г.

АСПЕКТИ ПРИ ИЗБОРА НА WEB-БАЗИРАНА СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА СЪДЪРЖАНИЕТО

Петър Халачев
Химикотехнологичен и металургичен университет – София, България

ASPECTS OF THE SELECTION OF A WEB-BASED CONTENT MANAGEMENT SYSTEM

Petar Halachev
University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia, Bulgaria

Abstract
This report is dedicated to the web-based content management systems and their role in the business. A description of the nature and types of web content management systems have been made. A comparative analysis of the key features has been performed, and an experiment to compare the query processing speeds with the most common content management systems - WordPress, Joomla! and Drupal was conducted. The advantages and the disadvantages of the systems are outlined and conclusions are drawn. Recommendations for the application of content management systems are proposed.

Keywords: web-based content management system, WordPress, Joomla, Drupal, comparison

ВЪВЕДЕНИЕ

Web-базираната система за управление на съдържанието (Web Content Management System - WCMS) е софтуер за изграждане на динамични сайтове, който позволява публикуване, управление, редактиране, контрол на версиите, индексиране, търсене и извличане на различни видове съдържание (компютърни файлове, изображения, аудио и видео файлове, електронни документи и др.) [1]. Съдържанието включва статии, новини, икономически субекти, наръчници, маркетингови брошури и др. wCMS позволява работа в екип и създава възможности за делегиране на различни административни права и роли на участниците в процеса на създаване и редактиране на съдържание.

ИЗЛОЖЕНИЕ

WCMS имат важно значение за повишаване на ефективността на бизнеса, тъй като подпомагат процеса на управление на информацията. За събирането, използването и съхранението на квалифицирана и специализирана информация от бизнеса са необходими ефективно управление и координация поради високото и комерсиално значение. Използването на WCMS дава следните предимства за бизнеса:

- Позволява бързо и лесно публикуване на съдържанието на сайта, което спестява разходи и време за бизнеса.
- Добавянето на съдържание от потребителите на сайта (форуми, харесвания и др.) подобрява класирането на сайтовете в търсачките, повишава имиджа на фирмата и, конкурентоспособността й.
- Организациите могат самостоятелно да контролират процесите, свързани с управлението на съдържанието на сайта – автоматично публикуване, обновяване на навигацията в сайта, ограничаване на достъпа, оформяне на съдържанието чрез WYSIWYG редактор и др.
- Подпомагане на посетителите на сайта при търсенето на информация. Посредством търсачките, вградени в WCMS новото съдържание се индексира автоматично и може да бъде незабавно намерено. Посетителите могат да използват таксономични приложения, списъци за сортиране, запазени търсения, които персонализират и ускоряват търсенето.

- Чрез WCMS могат да се изучават поведението и предпочитанията на потребителите, което допринася за увеличаването на продажбите на фирмата.

- Маркетинговият екип на фирмата има възможност да поддържа многоканално онлайн управление на рекламни кампании (имейли, брошури, RSS, хипервръзки, динамично управление на съдържанието и др.).

- WCMS може да разширява възможностите си чрез допълнително закупуване на модули и теми, което допринася за развитието на бизнеса.

- Модулите за често задавани въпроси, секциите за помощ и формулярите за поддръжка имат важно значение за повишаване на удовлетворението на потребителите.

- WCMS предлагат мобилна оптимизация - автоматично приспособяване на презентациите и съдържанието за различните устройства, което подпомага бизнеса да работи от всяка точка на света и по всяко време.

WCMS е пакет или самостоятелно приложение за създаване, управление, съхраняване и използване на съдържание в web-страниците. WCMS може да събира и индексира съдържание, да избира, сглобява или да доставя съдържание за различни потребители по определен начин (например на друг език).

WCMS се състои от два основни компонента:

- Приложение за управление на съдържанието (Content management application - CMA) - позволява на потребителя да добавя, актуализира и премахва съдържание от web-сайта без намесата на администратор.

- Приложение за подаване на съдържание (Content delivery application - CDA), което събира информация и актуализира web-сайта.

Съществуващите WCMS се различават по нивото си на функционалност, като някои от тях съдържат мощен инструментариум за управление на процесите, свързани със съдържанието, но изискват задълбочени познания от страна на потребителите. Те са подходящи за големи организации, които имат достатъчен финансов ресурс за поддръжката им. Други WCMS са с максимално опростен и интуитивен интерфейс и позволяват на потребители с минимални знания и умения да създават, управляват и споделят съдържание.

WCMS дават възможност за сътрудничество на различни автори в редакторския процес. WCMS използват хранилища и бази от данни, за да съхраняват съдържанието на страниците, метаданните и други информационни атрибути. Представяното на посетителите на сайта съдържание се композира на основата на набор от шаблони на WCMS. Използва се кеширане, за да се намали времето на зареждане на страницата и за повишаване на производителността.

WCMS позволява на потребителите да правят промени на сайта с малко обучение и обикновено изисква намесата на системен администратор и/или web-разработчик само, когато се налага да се създадат или добавят компоненти. WCMS позволяват на потребителя да контролира HTML-базирано съдържание, файлове документи и web-хостинг планове, въз основа на системата и дълбочината на нишата, която тя обслужва. Общата поддръжка на сайта може да се извърши и от необучен персонал.

WCMS могат да бъдат разграничени според степента си на откритост и наличието на софтуерен лиценз. WCMS е софтуер, обект на авторско право и отношенията между автора и крайния потребител се уреждат чрез софтуерен лиценз, който предоставя на потребителя правото да ползва WCMS при определени условия [2]. Съществуват следните типове WCMS [3]:

-със затворен изходен код - потребителят няма достъп до кода. Комерсиалните WCMS се разпространяват по този начин и обикновено те са патентовани.

- с отворен изходен код – достъпът до изходния код на програмата се получава при определени условия. Сключват се лицензни споразумения, за правата на достъп на потребителя до изходния код.

- със свободен изходен код. Потребителят получава изходния код на програмата и следните права – да изпълнява програмата, да изучава как работи тя, да я променя за своите потребности, да разпространява копия от нея, да я подобрява и да публикува промените.

Според вида си и функциите, които изпълняват WCMS могат да бъдат разграни-

чени като:

Digital Asset Management System (DAM) е софтуер за управление на мултимедийно съдържание, подходящ за приложение от фирми за графичен дизайн, филми и др.

Document Management System (DMS): DMS е фокусирана върху съдържанието на ниво файл (Word или PDF документи). Чрез DMS се контролират правата на достъп до документите – актуализиране, запазване на основното съдържание от неправомерна намеса на персонал на по-ниско ниво.

Enterprise Content Management System (ECM) предлагат глобален подход към управлението на съдържанието. Корпорациите прилагат ECM, за да повишат производителността си при създаване на нови вътрешни документи, на материали за клиентите си и за консолидиране на съдържание.

Component Content Management System (CCMS). Системата е подобна на DMS (Vasont CCMS) [4]. CCMS се фокусира върху информацията в съдържанието на сайта (концептуални теми, процедури, описания на продукти, чувствителна информация, предупреждения и др.), а не върху файловете.

В зависимост от сървъра, на който е инсталирана WCMS съществуват [5]:

- Изцяло облачни (Fully cloud) WCMS. Те част от пакет или услуга и са под контрола на доставчика, така че не винаги е възможно да бъдат персонализирани или променяни, за да отговарят на конкретни потребностите.

- WCMS в частичен облак (Partial cloud). Инсталирани са на web-сървъра на потребителя и осигуряват по-голяма гъвкавост на услугата. Съществуват възможности за модифициране на функционалността чрез добавяне на модули или чрез промяна на изходния код от потребителя.

Облачните WCMS предлагат редица предимства за малките и средни предприятия:

- ниски разходи – обикновено таксата за облачната услуга включва поддържането на всички основни дейности;

- поддръжката, отстраняването на технически проблеми, подобренията на системата се извършват от доставчика;

- софтуерът е достъпен от всеки компютър, лаптоп или мобилен телефон с интернет връзка;

- актуализациите на софтуера се извършват от доставчика в реално време;

- системите са лесно мащабируеми.

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА WCMS

Разнообразието от WCMS позволява на компаниите да избират система, която отговаря на техните потребности и промишлени стандарти. Универсална полза от WCMS е във възможностите им да рационализират фирмените процеси и документи, което повишава ефективността на бизнеса и производителността.

Според последните изследвания на организацията W3Techs през 2018 г. [6] от web-сайтовете в световен мащаб, използващи WCMS, които те наблюдават, с най-широко приложение са: WordPress, Joomla! и Drupal (Табл. 1).

Таблица 1.Приложение на WCMS

CMS	Приложение	Пазарен дял
WordPress	31,8 %	60,0 %
Joomla!	3,1 %	5,8 %
Drupal	2,0 %	3,7 %

WordPress е система за управление на съдържанието с отворен код, базирана на PHP и MySQL [7]. Системата притежава интуитивен интерфейс и административен панел за управление на базовата функционалност. Разработени са многобройни безплатни теми (themes) и модули (plugins).

При разработването на теми в WordPress се използват различни API функции за извличане на информация. Примерен код на PHP, който генерира страница на Wordpress, извлича заглавията и съдържанието на 10 статии и дава като резултат страница с техните заглавия и резюмета е представен в Табл. 2.

Таблица 2. Код на PHP, който генерира страница на WordPress

```
<?php
  $args=array(
     'order'=> 'DESC',
     'posts_per_page'=>
       get_option('posts_per_page')
  );
  $query=new WP_Query($args);
  if( $query->have_posts()):
    while( $query->have_posts()):
    $query-> the_post();
    {
      echo $post->post_title;
      echo $post->post_content;
    }
    endwhile;
  else: endif;
?>
```

Множеството теми и модули обаче често са обект на хакерски атаки и е необходимо потребителите своевременно да актуализират софтуера си с цел ефективна защита. Тези актуализации не винаги са съвместими с всички модули на WordPress. Системата е подходяща за проекти в големи организации, но увеличаване на броя на функциите на WCMS, се повишат разходите за администриране. С увеличаване на сложността на проектите на WordPress се намалява и удобството при работата. Системата поставя сравнително високи изисквания към сървъра, при увеличаване на трафика от потребители. WordPress е добър вариант за начинаещи, тъй като предлага достъпен интерфейс и дори потребители без технически познания могат да добавят и обновяват съдържанието на web-сайта.

Предимства: голяма общност от разработчици; лесно инсталиране и настройка; интуитивен потребителски интерфейс; лесна интеграция на теми и модули.

Недостатъци: функциите на WCMS изискват допълнителни модули; ниска стабилност при висок трафик; рискове в сигурността; честите актуализации с цел повишаване на сигурността водят до допълнителни административни разходи.

Joomla е безплатна система за управление на съдържанието с отворен код на PHP, разработка на CMS Mambo [8]. Системата е популярна в САЩ и се характеризира с обектно-ориентиран софтуерен дизайн. В системата Joomla! съществуват разширения - теми и модули. Използва база данни MySQL и техники на обектно-ориентирано програмиране основано на MVC рамка. Joomla включва функционалностите: кеширане на страници (page caching) за подобряване на изпълнението; RSS четци (RSS feeds); версии на страниците за печат; предаване на кратки новини (news flashes); блогове, анкети (web polls); web-сайт търсачки и възможности за езикови локализации.

Предимства: лесно инсталиране и конфигуриране; голям набор от модули и теми; улеснено използване на шаблони.

Недостатъци: затруднения при управление на правата на потребителите; доработването на модули обикновено е скъпо.

Drupal е система с отворен код, предоставена с лиценз за свободно ползване на General Public License [9]. Според D. Kreiss „Drupal е отворен развоен модел и ентусиасти разработчици постоянно развиват системата, за да осигурят едно от първите места на проекта сред CMS системите на световни ниво“ [10].

Drupal е написан е на езика PHP и за съхранение на съдържанието се използват релационни бази данни (MySQL, PostgreSQL и SQLite) [3]. Администрацията на съдържанието на сайта на Drupal се осъществява онлайн от административната секция и промените се отразяват на сайта незабавно. Базовата функционалност позволява представяне на съдържанието по категории, оптимизация за търсачката, публикуване на новини от сайта в други сайтове с RSS и още много полезни функции. Drupal е подходящ за изграждане на личен или фирмен сайт с блог и форум. Има модули и за електронни магазини. Drupal е подходящ за информативни и интранет web-сайтове, тъй като изисква по-малко ресурси [11], [12].

Drupal предполага по-голяма гъвкавост, но администрацията на сайта е сложна, тъй като обучението на потребителите е сложен, продължителен и скъп процес.

Предимства: компактно ядро на софтуера; голям избор от разширителни модули и предварително дефинирани дистрибуции на Drupal; поддържа управлението на много домейни.

Недостатъци: необходимо е инсталирането на допълнителни модули и теми, тъй като основната инсталация е „орязана“; инсталирането на модул е възможно само чрез FTP.

За целите на изследването е извършен експеримент за сравняване на скоростта на обработка на заявките с трите вида CMS на web-сървър с инсталирана операционна система centos с инструмента CURL. Във всяка от системите са генерирани автоматично по 10000 статии. Страниците които се тестват съдържат заглавията на първите 10 статии и кратко резюме на всяка статия (Табл. 3)

Таблица 3.Обработка на заявки

Вид CMS	Wordpress	Joomla	Drupal
Брой заявки в минути	105	97	75
Време на 1 заявка (s)	1.50	1,75	2.50

*заявките се изпълняват в многозадачен режим.

В Табл. 4 са представени показатели, по които са сравнени системите WordPress, Joomla! и Drupal [13], [14], [15].

Таблица 4. Показатели за сравнение

Показател	Wordpress	Joomla	Drupal
1.Брой сайтове	75 млн.	2,8 млн.	1,1 млн.
2.Брой изтегляния	160 млн.	75 млн.	25 млн.
3.Време за инсталиране	5 мин.	10 мин.	10 мин.
4.Безплатни теми	3000	1000	2000
5.Безплатни модули	44 хил.	5 хил.	26 хил.
6.Честота на обновяване	40 дни	36 дни	30 дни
7.Поддръжка	да	да	да

ИЗВОДИ

WordPress е подходящ за начинаещи потребители, лесен е за управление и служи за разработване на web страници, блогове и новинарски сайтове. Модулите разширяват функционалността на сайта, а темите променят неговия външен вид.

Joomla е подходяща за сайтове за електронна търговия, социални мрежи и позволява изграждането на сайтове с повече гъвкавост по отношение на съдържанието и структурата, отколкото WordPress, но е лек и интуитивен за използване. За интранет сайтове, с множество обекти се препоръчва използването на Joomla, понеже тя се справя с натоварването по-добре от Drupal, особено след кеширане; Joomla има много по-голяма общност от разработчици в сравнение с Drupal.

Drupal е най-сложната, но и най-мощната WCMS. Той изисква познаването и уменията за работа с програмни езици (Javascript, CSS и др.). За сложни и разширени сайтове системата изисква сложна организация на данните, както и за сайтове на платформа на общността с множество потребители.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изборът на най-подходящ WCMC е трудна задача. Съществува голямо разнообразие от системи, които притежават различна функционалност и набор от модули и теми.

Тъй като системите имат различни предимства и недостатъци, избраната WCMC трябва да отразява целите и потребностите на бизнеса. Съществува риск от избор на сложна система, притежаваща характеристики, които няма да бъдат използвани ефективно в последствие. Спазване на някои основни препоръки би могло да подпомогне избора на WCMC с цел ефективно развитие на бизнеса.

- Основна функционалност. Съставя се списък с текущите и бъдещи изискванията към функциите, които WCMS ще изпълнява. Не е необходимо да се инвестира в WCMS с излишна функционалност, тъй като тя ще забавя работата и ще усложни ненужно системата.

- Интерфейс и използваемост. WCMC да дава възможност за лесни актуализации, създаване на съдържание и администриране.

- Първоначално настройване и внедряване. Да се оптимизират разходите за конфигуриране и оптимизиране на CMS, за хостинг и др.

- Гъвкавост и достъпност при представянето на съдържанието и липса на ограничения в дизайна.

- Разширяемост. Възможността на WCMS да включва допълнителни функции чрез разработка по поръчка на допълнителни персонализирани модули и теми (фото галерии, мултимедийни плейъри и др.)

- Възможност за интеграция на WCMS със съществуващите системи на бизнеса сайтове за електронна търговия, системи за обществени поръчки, системи за управление на ресурсите на работното място и др., тъй като липсата на интеграция може да възпрепятства бизнеса да събира, компилира, споделя, анализира и докладва своевременно важна информация.

- Възможност за пълно мащабно търсене на информация с цел увеличаване на индексирането на сайта от търсещи машини (добавяне на тагове към съдържание, включване на заглавието на статията в URL адреси и др.)

- Бюджет и лицензиране. Комерсиалната WCMS предлагат голям набор от функции и постоянна поддръжка, а ползването на WCMS с отворен код спестява средства. Необходимо е обаче да се проучат детайлно разходите за лицензионни такси, тъй като евтиното решение по отношение на първоначалните разходи може да струва скъпо впоследствие.

- Подкрепа от общността на разработчиците на продукта. Има важно значение при избор WCMS с отворен код.

- Перспективи за развитие – необходим е не само избор на WCMS, която работи и удовлетворява потребностите на бизнеса в настоящия момент, но и с перспективи за развитие в бъдеще.

Когато става въпрос за проектиране и разработване на корпоративен web-сайт няма универсално решение. Независимо дали се разработва визитка, фирмено портфолио, електронен магазин или корпоративна платформа web-сайтът създава не само имиджа, но и целия бизнес на организацията. За изграждане и поддържане на имиджа, корпоративната визия трябва да присъства навсякъде - от публикациите в сайта до оформлението му.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Mauthe A., Thomas P., Professional Content Management Systems: Handling Digital Media Assets, John Wiley & Sons, 2004

[2] Classen H., Fundamentals of software licensing, idea: The Journal of Law and Technology 1996, p.355, http://euro.ecom.cmu.edu/program/law/08-732/Transactions/Fundamentals.pdf, Retrieved 15.09.18

[3] CMS Workbook, MichiganTech, April 2016, http://www.mtu.edu/mtu_resources/cmsworkbook/cms-workbook.pdf, Retrieved 10.09.18

[4] https://www.vasont.com/blog/types-content-management-systems, Retrieved 10.09.18

[5]https://www.nibusinessinfo.co.uk/content/different-types-content-management-systems, Retrieved 15.09.18

[6]http://w3techs.com/technologies/overview/content_management/all, Retrieved 07.09.18

[7] https://wordpress.com, Retrieved 25.08.18

[8] https://www.joomla.org, Retrieved 10.09.18

[9] https://www.drupal.org, Retrieved 15.09.18

[10] Kreiss D., Romney D., Drupal: Values and Technological Adoption. Culture Digitally, 2014

[11] Travis B. Pro Drupal 7 for Windows Developers. Berkeley, APress, 2011.

[12] Butcher M., M. Farina, K. Richard, Drupal 7 Module Development. Birmingham, England, Packt Publishing, 2010.

[13]https://makeawebsitehub.com/content-management-system-cms-comparison/ Retrieved 15.09.18

[14] Ghorecha V., Bhatt C., A guide for Selecting Content Management System for Web Application Development, GRIN Verlag, 2014

[15] Mercer D. Drupal 7. Birmingham, England, Packt Publishing, 2010.

ОПТИМАЛЕН ПЪТ В ГРАФ ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕ НА РАЗЛИЧНИ ТОПОЛОГИИ ЗА ОБХОЖДАНЕ НА ОБЕКТИ В ЗОНА ЗА СИГУРНОСТ

Илиян Бойчев
Технически университет Варна

OPTIMAL PATH IN GRAPH WHEN USING DIFFERENT TOPOLOGIES TO OBSERVATION OBJECTS IN A SECURITY ZONE

Iliyan Boychev
Technical university of Varna

Abstract

The article investigates algorithms to find an optimal path by the observation the objects located in a security zone. Unmanned areal vehicles (drones) are used for this observation. Several different topologies are presented to achieve different viewing modes. The algorithms are based on optimum criteria (distance, maneuvers, time).

Keywords: UAV, drones, GPS points, topologies.

ВЪВЕДЕНИЕ

Безпилотните летателни апарати (UAVs) или дронове, навлизат все повече в нашето ежедневие като непрекъснато се разширяват и областите на приложение [1][2][3][4][5][6][7]. Една от областите, където те биха могли да се използват е и осигуряване на сигурност за множество обекти, когато традиционните методи като видеонаблюдение чрез видеокамери и/или човешки ресурси са слабоефективни или скъпоструващи. Дроновете могат да бъдат използвани както сигурност от гледна точка на неоторизиран достъп, но и за сигурност по отношение на повреди по обекти, потенциално възможни бъдещи проблеми (повреди по сгради, опасни предмети и т.н.).

ИЗЛОЖЕНИЕ

В тази статия се представя начин за намиране на оптимален път за обхождане на обекти, разположени в зона за наблюдение и сигурност, базиран на оптимизационна задача от Теория на графите.

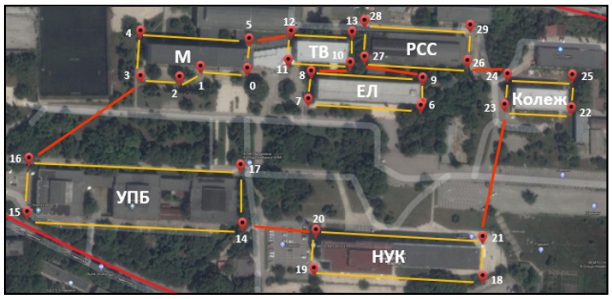
Реализирани са два режима на обхождане на обектите:

- Режим „Пълно обхождане“ – при него трябва всеки обект(всяка сграда) да бъде обходена цялостно, след което да се премине на следваща .

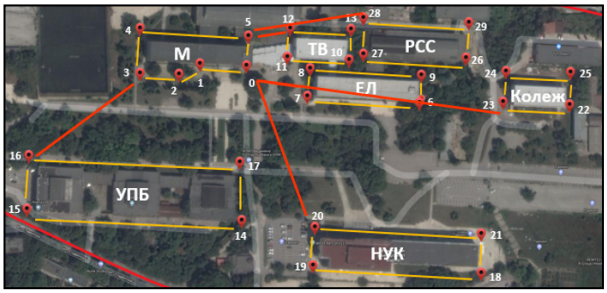
- Режим „Аварийна ситуация“ – при него, трябва да се достигне до мястото на възникналия проблем по най-бързия начин (най-късият път от текущото място до проблемната зона)

За изследването на алгоритмите за намираме на оптимален път при различните топологии, трябва да бъде изграден граф, базиран на GPS точки и разстоянията между тях. За реализирането на графът е използван районът на Технически университет Варна. Процесът на създаване на граф, базиран на реални GPS координати е представен в [8].

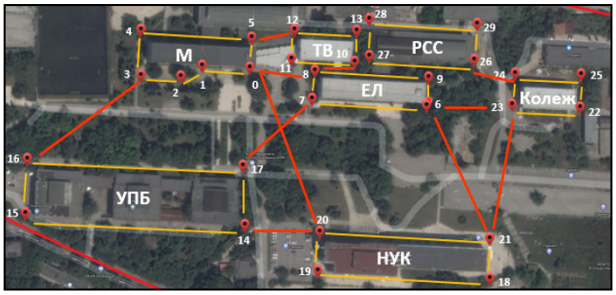
На база избраните обекти, които ще участват в зоната на наблюдение, се формират три топологии: тип кръг (Ring), тип Звезда (Star) и пълна свързаност (Mesh). На фиг. 1 а), б) и в) са представени трите топологии изградени за сградите (обектите) разположени в зоната на ТУ Варна, които на този етап са включени за изследване.



Фиг. 1 а) *Топология Ring*



Фиг. 1 б) *Топология Star*



Фиг. 1 в) *Топология Mesh*

В топологиите участват 7 сгради на Технически университет Варна: М (Машинен Факултет), ТВ (Топла Връзка), ЕЛ (Електрофакултет), НУК (Нов Учебен Корпус), УПБ (Учебно - Производствена База), Колеж и РСС.

Топологиите се описват, предварително във външен файл, където се указват връзките между отделните точки(както за самите сгради, така и между отделните сгради).

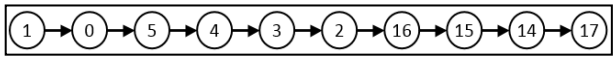
Топология Кръг (Ring), свързва сградите последователно една с друга. При звезда (Star), Сграда М е централата и тя има има връзка с всяка една от останалите.

Топология Пълно свързване “Mesh” свързва всички сгради една с друга, като са показани част от връзките, т.к. не е възможно пълното им визуализиране на фигурата.

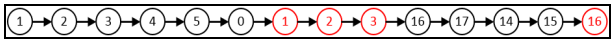
За реализирането на двата режима на сигурност се използват два основни типа обхождане. При първият режим „Пълно обхождане“, всяка сграда се обхожда цялостно, след което трябва да се премине, към следващата. Известните алгоритми за обхождане: в ширина (BFS) и в дълбочина (DFS [9]) не могат да бъдат използвани за този режим. Това е така, поради 2 причини:

- В целият граф точките за всяка сграда образуват цикли
- При изследване на дадена сграда, т.е. завъртане на съответният цикъл, се налага да се премине частично през някои обходени части, за да се стигне до следващата сграда (това основно зависи от избраната текуща топология)

На фиг. 2 а) и б) е показан примерен вариант на обхождане по DFS и Пълно обхождане за сгради М и УПБ:



Фиг. 2 а) *Обхождане чрез DFS.*



Фиг. 2 б) *Пълно обхождане.*

Както може да се види на фиг. 2б, при коректното обхождане, след като се изследва сграда М, се налага да се премине, през част от някои точки (1, 2 и 3) за да се премине към УПБ. При DFS, това не се случва, т.к. при този алгоритъм, се обхожда всеки клон от графа, а не се прави завъртане при цикъл, с цел достигане до следващ връх.

За реализирането на правилно обхождане в Режим „Пълно обхождане“ се предлага следният алгоритъм:

1. Избира се сграда (обект) и началната точка на обхождане.
2. Обхожда се текущата сграда, използвайки Хамилтонов цикъл.
3. Намира се най-краткият съществуващ път до следващата сграда (използвайки някои от изследваните алгоритми на Дийкстра или по минимален брой възли.
4. Ако има още сгради (обекти) за обхождане се преминава на точка 2.
5. След обхождане на всички сгради, се получава пълното обхождане на всички обекти.

За обхождането на сградите се използва алгоритъм за Хамилтонов цикъл [10], т.к. по определение това е цикъл включващ всички възли в графа (което е целта на този режим).

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

За всяка топология са проведени експерименти с двата режима на работа.

1. Режим „Пълно обхождане“

При този режим е избрана начална точка 1 и сграда М.

1.1 Топология Кръг (Ring)

01, 02, 03, 04, 05, 00, 01, 02, 03, 16, 17, 14, 15, 16, 15, 14, 20, 21, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 26, 27, 09, 06, 07, 08, 09, 08, 10, 11, 12, 13, 10, 11, 12, 00, 01

Фиг. 3. *Път при топология Ring*

Пълното обхождане включва 49 възела.

1.2. Топология Звезда:

01, 02, 03, 04, 05, 00, 01, 02, 03, 16, 17, 14, 15, 16, 03, 02, 01, 00, 20, 21, 18, 19, 20, 00, 07, 08, 09, 06, 07, 00, 23, 24, 25, 22, 23, 00, 05, 12, 13, 10, 11, 12, 05, 28, 29, 26, 27, 28, 05, 00, 01

Фиг. 4. *Път при топология Star*

Пълното обхождане включва 51 възела

1.3. Топология Пълно свързване:

01, 02, 03, 04, 05, 00, 01, 16, 17, 14, 15, 16, 20, 21, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 22, 24, 26, 27, 28, 29, 26, 09, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 05, 00, 01

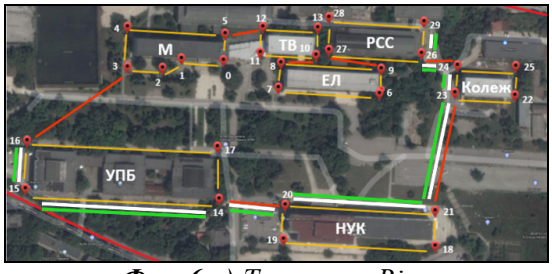
Фиг. 5. *Път при топология Mesh*

Пълното обхождане включва 39 възела.

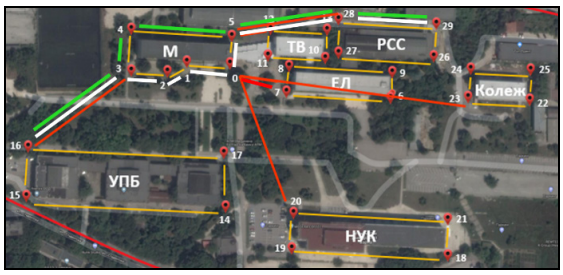
2. Режим „Аварийна ситуация“.

Избрани са няколко варианта от една до друга точка при различните топологии мрежи. На фигурите графично са нанесени резултатните пътища за двата алгоритъма, като зелената линия е за алгоритъм на Дийкстра, а бялата линия за другият

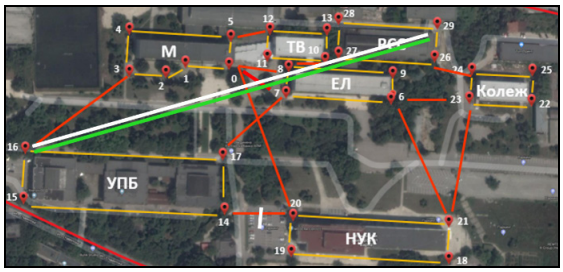
2.1 Експериментален тест 1: начална точка 16 (УПБ) – крайна точка 29 (РСС)



Фиг. 6 а) *Топология Ring*



Фиг. 6 б) *Топология Star*



Фиг. 6 в) *Топология Mesh*

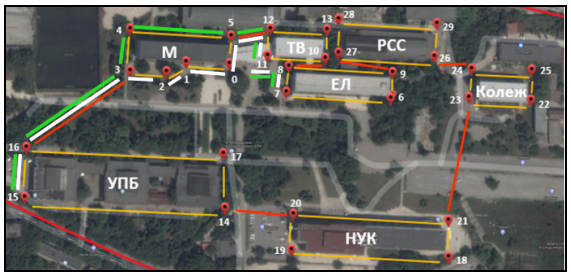
Таблица 1. *Резултати при Експ. тест 1*

При този тест, единствено има разлика

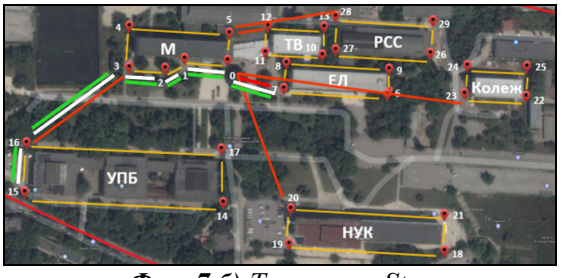
	Дийкстра		
Топ.	**Път**	**Възли**	**Разст.**
Ring	16 15 14 20 21 23 24 26 29	9	611.773
Star	16 3 2 1 0 5 28 29	8	417.248
Mesh	16 29	2	380.478
	Мин. Брой възли		
Топ.	**Път**	**Възли**	**Разст.**
Ring	16 15 14 20 21 23 24 26 29	9	611.773
Star	16 3 4 5 28 29	6	425.044
Mesh	16 29	2	380.478

при топология Star.

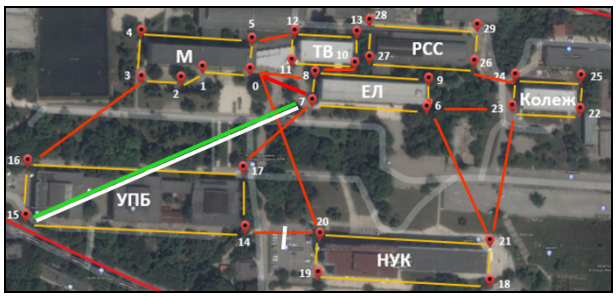
2.2 Експериментален тест 2: начална точка 15 (УПБ) – крайна точка 7 (ЕЛ)



Фиг. 7 а) *Топология Ring*



Фиг. 7 б) *Топология Star*



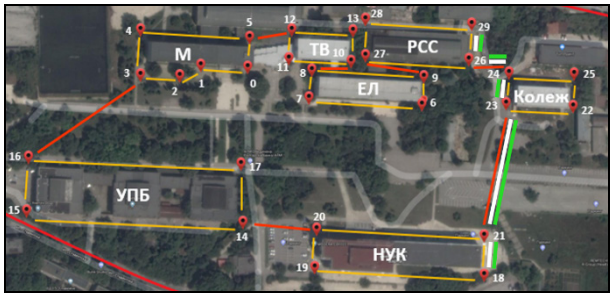
Фиг. 7 в) *Топология Mesh*

Таблица 2. *Резултати при Експ. тест 2*

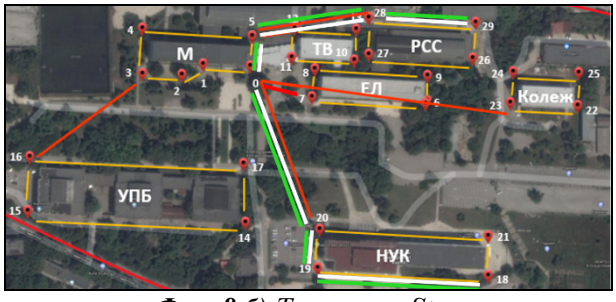
	Дийкстра		
Топ.	**Път**	**Възли**	**Разст.**
Ring	15 16 3 2 1 0 5 12 11 10 8 7	12	442.429
Star	15 16 3 2 1 0 7	7	304.607
Mesh	15 7	2	247.761
	Мин. Брой възли		
Топ.	**Път**	**Възли**	**Разст.**
Ring	15 16 3 4 5 12 11 10 8 7	10	450.225
Star	15 16 3 2 1 0 7	7	304.607
Mesh	15 7	2	247.761

При този тест, разликата е при Топология Ring. При нам намаляване с 3 пъти броя точки при Mesh спрямо Star, разстоянието спада само с около 50 метра.

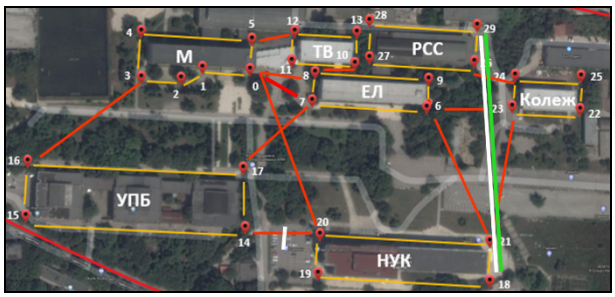
2.3 Експериментален тест 3: начална точка 18 (НУК) – крайна точка 29 (РСС)



Фиг. 8 а) *Топология Ring*



Фиг. 8 б) *Топология Star*



Фиг. 8 в) *Топология Mesh*

Таблица 3. *Резултати при Експ. тест 3*

	Дийкстра		
Топ.	**Път**	**Възли**	**Разст.**
Ring	18 21 23 24 26 29	6	228.899
Star	18 19 20 0 5 28 29	7	520.284
Mesh	18 29	2	203.675
	Мин. Брой възли		
Топ.	**Път**	**Възли**	**Разст.**
Ring	18 21 23 24 26 29	6	228.899
Star	18 19 20 0 5 28 29	7	520.284
Mesh	18 29	2	203.675

При тези възли и двата алгоритъма дават едни и същи резултатни пътища за съответната топология. При Star има 1 възел повече в сравнение със Ring, но почти двойно по-голямо разстояние,

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработеният метод за пълно обхождане на обектите използва метода за най-кратък път по брой възли за преход от една града към друга. т.к. е по-бърз от алгоритъма на Дийкстра [1]. За реализирането на възможно най-оптимален път, за връзка между две сгради, трябва се използва алгоритъм, който да дава минимален път и по други критерии (например, минимално разстояние).

Бъдещи насоки:

- Подобряване на метода за пълно обхождане
- Добавяне на различни критерии за оптимален път (максимален процент видимост на обекта (сградата) при обхождане)
- Автоматично изграждане на връзките между отделните сгради

REFERENCE

[1]. J. Lee, J. Wang, D. Crandall, S.˘Sabanovirc and G.Fox. Real Time Object Detection for Unmanned Aerial Vehicles based on Cloud-based Convolutional Neural Networks, 2017 First IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC), 10-12 April 2017

[2] It Nun Thiang, Dr.LuMaw, Hla Myo Tun. Vision-Based Object Tracking Algorithm With AR. Drone, International Journal of Scientific & Technology Research Vol. 5, Issue 06,June 2016

[3] T. Kryjak, M. Komorkiewicz, M. Gorgon. Real-time Implementation of Foreground Object Detection From a Moving Camera Using the ViBE Algorithm. Computer Science and Information Systems 11(4):1617–1637

[4] Qikai Huang (Bruce Wingo), Mathematical Modeling of Quadcopter Dynamics. Rose-Hulman Institute of Technology

[5] G. Ngoc; Kwang-Seok Moon; Suk-Hwan Lee; Ki-RyongKwon, GIS Map Encryption Algorithm for Drone Security Based on Geographical Features, 2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), Year: 2016 Pages: 1422 – 1423

[6] R.Akram; K. Markantonakis; K. Mayes; O. Habachi; D. Sauveron; A. Steyven; S. Chaumette. Security, privacy and safety evaluation of dynamic and static fleets of drones. 2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC) Year: 2017 Pages: 1 - 12

[7] R. Carlon. Tracking tagged fish using a wave glider. OCEANS

[8] I. Boychev. Research algorithms to optimize the drone route used for security. XXVII International Scientific Conference Electronics - ET2018, September 13 - 15, 2018, Sozopol, Bulgaria

[9] P. Nakov, P. Dobrikov. Programming Book Programming = ++ Algorithms

[10] https://en.wikipedia.org/wiki/Hamiltonian_path

СЛОЖНОСТ НА АЛГОРИТЪМ ЗА ДЕКОМПОЗИЦИЯ

Матьо Динев[1], Валентина Кукенска[1], Петър Минев[1]
[1]*Технически университет - Габрово*

COMPLEXITY OF DECOMPOSITION ALGORITHM

Matyo Dinev[1], Valentina Kukenska[1], Petar Minev[1]
[1] *Technical University of Gabrovo*

Abstract

This paper deals with methodic for determining the complexity of algorithm. Presented are the rules for calculating complexity. They are applied to one of the algorithms for decomposition. For this algorithm, a research conducted on the number of operations used.

Keywords: algorithms; decomposition; complexity.

ВЪВЕДЕНИЕ

Една от основните задачи, чието решение се налага при моделиране на обекти е задачата за декомпозиция. Тя е оптимизационна задача, при която обектите се разделят на функционално обособени модули. Структурата на всеки обект може да се представи чрез графов модел. Задачата за декомпозиция може да се разглежда като задача за разделяне на топологически граф.

При декомпозиция на графови модели се използват следните критерии: минимален брой външни връзки между подграфите; минимален брой подграфи; определен брой елементи в подграфите.

За всеки алгоритъм може да се определи неговата сложност. Чрез нея може да се направи сравнение на алгоритмите. Сложността на алгоритъма се определя по определен критерий. Най-често за определянето й се изчисляват брой операции за съответния алгоритъм.

В настоящия доклад се разглежда методика за определяне сложността на алгоритъм. Представени са правила за изчисляване на сложността. Чрез тях е определена сложността на един от алгоритмите за декомпозиция. За него е проведено изследване по посочения критерий. Като обект на декомпозиция в настоящия доклад се разглеждат графови модели.

СЛОЖНОСТ НА АЛГОРИТЪМ

Сложността на алгоритмите се свързва с измерването на необходимото време и/или памет за изпълнението им, при изменение на размера на входните данни. Акцента на настоящия доклад е определянето на сложност по време. Изчислява се процесорното време необходимо за изпълнение а алгоритъма. То се определя по следната формула (1):

$$T = \frac{N}{P} \qquad (1),$$

където:

N – брой операции необходими за изпълнението на алгоритъма;

P – брой операции които процесорът изпълнява за 1 сек;

За всеки процесор параметърът P е известен. За да се оцени сложността на един алгоритъм, то е необходимо да се определи параметърът N.

Броят на операциите може да се определи за следните случаи:

- Най-лош случай (worst-case);
- Среден случай (average-case);
- Най-добър случай (best-case);

Най-лошият случай дава максималния брой операции, а най-добрият – минималния брой операции. През повечето случаи best – case не се взема под внимание, тъй като е идеален случай, който е почти невъзможен да се случи. Под внимание се взема случая worst – case.

Съществуват няколко асимптотични нотации за сложност на алгоритмите като: Big-O, small-o, theta, omega [1]. В настоящия доклад е разгледана само Big-O нотацията. Тя измерва worst-case. Нейното име идва от начина на отбелязване на сложността като главно О, отваряща скоба, функция и затваряща скоба, т.е. O(f(n)). Броят на необходимите операции за даден алгоритъм се определят от функцията f(n), където n е размера на входните данни. Тя може да бъде константна, логаритмична, линейна, квадратична, кубична, експоненциална и др. [2] [3].

- Константна

Такава сложност има когато f(n) = константа. Означава се O(1). Алгоритмите с такава сложност са най – бързи, тъй като те не зависят от входните данни.;

- Логаритмична

При нея функцията f(n) е логаритмична. Означава се O(log n). Алгоритмите с такава сложност са едни от най-бързите, спрямо тези които зависят от входните данни.

- Линейна

Такава сложност има когато f(n) е линейна функция. Означава се O(n). Алгоритмите с такава сложност са бързи, но не по бързи от логаритмичната, понеже те зависят от входните данни линейно.

- Квадратична

При тази сложност функцията f(n) има вида на квадратно уравнение. Означава се $O(n^2)$. Алгоритмите с такава сложност са по бавни от линейната

- Кубична – При нея f(n) е кубично уравнение. Означава се $O(n^3)$;
- Експоненциална – Когато f(n) е експоненциална функция. Означава се $O(2^n)$;

Кубичната и експоненциалната сложност са едни от най – бавните.

При изчисляването на сложност на алгоритъм за една операция се приемат:

- Дефиниране и присвояване на стойност на променлива;
- Сравняване;
- Аритметична операция;
- Добавяне или вземане на елемент от масив (множество, граф и т.н.);
- Извикване на метод или функция.

ОПРЕДЕЛЯНЕ СЛОЖНОСТТА НА АЛГОРИТЪМА

В този раздел е направена оценка на един от алгоритмите за декомпозиция, а именно алгоритъма с отделяне [4]. За целта са описани стъпките на алгоритъма и начина на изчисляване на сложността. Представена е легенда за използваните означения при стъпките на алгоритъма.

ЛЕГЕНДА

G – граф за декомпозиране;
k – брой подграфи;
G_k – k-тия подграф за графа G;
α – вектор с елементи отговарящи на броя на граничещите ребра за всеки от върховете;
x_i – първи избран връх за съответния подграф;
Γ – множество съхраняващо избраните върхове;
m – брой върхове за един подграф;
r_{ij} – елемент от матрицата на съседство

СТЪПКИ НА АЛГОРИТЪМА

1. Задаване стойност 1 на променливата k, т.е. $k=1$;
2. Образуване на матрицата на съседство на графа G и определяне елементите на вектора α по следната формула (2), където $l=1,2,3,\ldots,n$.
$$\alpha_l = \sum_{i=1}^{n} x_i, \qquad (2)$$
3. Определяне $max(\alpha)$ и върха x_i.Добавяне на x_i в множество Γ.
4. Търсят се съседите на върха или върховете в Γ и те се добавят в него.
5. Проверява се дали броя на върховете в Γ е равен на m. Ако е вярно се преминава към стъпка 8. Ако не към стъпка 6.
6. Проверява се дали броя на върховете в Γ е по – голям от m. Ако да, се преминава към стъпка 7. Ако не, към стъпка 4.
7. Пресмятат се броят външни ребра за върха x_i със всеки от останалите върхове в множеството Γ по формула (3) и се премахва върха с най-голям брой външни връзки. Прави се връщане към стъпка 5.

$$b_{ij} = \alpha_i + \alpha_j - 2 * r_{ij} \qquad (3)$$

8. $G_k=Г$, и $k=k+1$.
9. Проверява се дали броят на останалите върхове в $G>m$, ако да се прави връщане към стъпка 2, ако не то $G_k=G$
10. Извеждат се получените подграфи. Край на алгоритъма

ИЗЧИСЛЯВАНЕ СЛОЖНОСТТА НА АЛГОРИТЪМА

В следващите редове е направена оценка за сложност на отделните стъпки от алгоритъма, като се има в предвид най – лошия случай. За този алгоритъм worst – case има тогава, когато стъпките от 2 до 7 се изпълняват най – много пъти, а именно когато графът се раздели на максимален брой подграфи (т.е. броя на върховете във всеки граф да е 1). Сложността на съответната стъпка е отбелязвана с буквата O и долен индекс за съответната стъпка.

1. В тази стъпка има 1 операция за присвояване на стойност на променлива. Следователно тази стъпка има константна сложност ***O(1).***
2. За всеки n елемента на вектора α се правят събирания с n събираеми. Операциите за събиране са с 1 по малко от събираемите. Необходимо е и 1 операция за присвояване на крайния резултат към съответния елемент на α. Следователно за едно изпълнение на тази стъпка ще са необходими $(n-1+1)^2$ или n^2 операции. Тази стъпка се извършва за всеки подграф т.е. общо $(n-1)$ пъти за най - лошия случай. За всяко следващо повторение на тази стъпка броя на върховете в графа G стават с един по – малко. От това следва, че за да се изчисли броят на операциите за тази стъпка то трябва да се пресметне следната редица:
   $n^2 + (n-1)^2 + (n-2)^2 + \cdots + (n-(n-2))^2$
   Преобразувайки я се получава следната формула (4).
   $$O_2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} - 1 \qquad (4)$$
   От където следва, че тази стъпка има кубична сложност $\boldsymbol{O(n^3)}$.
3. За да се определи $max(\alpha)$ трябва да се сравнят елементите от вектора α. Сравняванията са с 1 по – малко спрямо броя на елементите, следователно $(n-1)$ сравнявания. За добавянето на елемента x_i към множеството се използва 1 операция. Следователно необходимият брой операции за тази стъпка е n. Като се има в предвид най – лошият случай тази стъпка се повтаря $(n-1)$ пъти, като за всяко повторение са необходими с една операция по-малко за сравняване (поради факта че върховете в G намалят с един). Получава се следната редица:
   $n + (n-1) + (n-2) + \cdots + (n-(n-2))$
   Пресмятайки я се получава следната формула (5):
   $$O_3 = \frac{n^2+n-2}{2} \qquad (5)$$
   Следователно тази стъпка има квадратична сложност $\boldsymbol{O(n^2)}$.
4. В най-лошият вариант за тази стъпка е когато всеки връх в графа е свързан със всеки, т.е. съседите на върха x_i ще са $(n-1)$. Следователно броя на операциите за добавяне на съседи в множеството $Г$ е $(n-1)$. Тази стъпка се изпълнява (n-1) пъти и при всяко изпълнение броят на операциите отново ще намаля с едно. Вземайки това в предвид се получава следната редица:
   $(n-1) + (n-2) + \cdots + (n-(n-1))$
   Пресмятайки я се образува формула (6):
   $$O_4 = \frac{n^2-n}{2} \qquad (6)$$
   Следователно тази стъпка също има квадратична сложност $\boldsymbol{O(n^2)}$.
5. За определяне броят на елементите на множество съществуват определени функции. Поради тази причина това се брои за една операция. Освен това в тази стъпка има и 1 сравняване, така че операциите стават 2. Тази стъпка ще се повтаря $(n-1)$ пъти за всеки подграф. За приетия случай броят на подграфите е n като за отделянето на последния не е необходимо да се изпълняват стъпките на алгоритъма. От това следва следната формула (7):
   $$O_5 = 2(n-1)^2 \qquad (7)$$
   От нея се получава, че и тази стъпка има квадратична сложност. $\boldsymbol{O(n^2)}$.
6. При тази стъпка отново са необходими 2 операции. Те се повтарят $(n-1)^2$ (аналогично като стъпка 5). Следователно получената формула тук е:
   $$O_6 = 2(n-1)^2 \qquad (8),$$
   От която се вижда, че стъпката има линейна сложност $\boldsymbol{O(n)}$.

7. Във формула (3) има 4-ри операции: 1 за събиране, 1 за изваждане, 1 за умножение и 1 за присвояване. Тази формула е необходимо да се изчисли за всеки съсед на x_i, които за най – лошия случай са *(n-1)* на брой. Следователно за изчисляването на всички b_{ij} – та за един подграф са необходими *4(n-1)* операции. За определянето и отделянето на максималния b_{ij} са необходими *n* на брой операции (подобно на стъпка 3 за един под граф). Тази стъпка ще се изпълни *(n-1)* на брой пъти за един подграф, като след всяко изпълнение броят на b_{ij} ще намаля с 1. Броя на подграфите в worst case е *(n-1)* като всеки път в общия граф върховете намалят с едно. От това следва следната редица:

$$\{4(n-1)+n+\cdots+4(n-(n-1))+(n-(n-2))\}+$$
$$+\{4(n-2)+(n-1)+\cdots+4(n-(n-1))+(n-(n-2))\}+$$
$$+\cdots+\{4(n-(n-1))+(n-(n-2))\}$$

Преобразувайки я се получава формула (9).

$$O_7 = \frac{n(n-1)(5n+8)}{6} \qquad (9)$$

От нея следва, че сложността на тази стъпка е кубична ***O(n³).***

8. Като се направят аналогични изводи върху стъпка 8 се получава формула (10).

$$O_8 = 3(n-1) \qquad (10)$$

9. Броят на операциите за стъпка 9 се изчислява със формула (11).

$$O_9 = 2(n-1) \qquad (11)$$

Общият брой операции за алгоритъма може да се определи от следната сума:

$O_1+O_2+O_3+O_4+O_5+O_6+O_7+O_8+O_9$,

от която се получава формула (12):

$$O(n) = \frac{7}{6}n^3 + 6n^2 - \frac{25}{6}n - 2 \qquad (12)$$

След направените разсъждения може да се определи че сложността на алгоритъма е кубична ***O(n³).***

РЕЗУЛТАТИ И ИЗВОДИ

Разработено е програмно приложение с потребителски интерфейс. То е реализирано на Borland Delphi 7. Като входни данни за приложението се използват списъчно и матрично представяне на графови модели. Работата с приложението е показана в [5]. Приложението изчислява необходимият брой операции за избран алгоритъм.

С приложението е изследван представеният алгоритъм за декомпозиция. Той е приложен към графови модели с различен брой върхове. Получените резултати са представени в таблици 1 и 2. В тях са отразени и максималният брой операции, пресметнати по формула 12.

Табл.1. *Резултати от изследването на алгоритъма за най-лошия случай*

n	N	O(n)	m
14	2 514	4 317	14
22	10 817	15 233	22
63	235 765	315 271	63
100	986 458	1 226 248	100
600	239 985 439	254 157 498	600

Табл.2. *Резултати от изследването на алгоритъма за среден случай*

n	N	m
14	373	2
22	1029	2
63	5935	4
100	11543	9
600	66365	18

Легенда:

- n – брой на върховете в графа
- N – брой на операциите получени чрез приложението
- *m* – брой на подграфите след декомпозирането
- *O(n)* – максималният брой операции. Пресмятат се по формула (12).

Върховете на тестваните графови модели с приложението не са с максимално тегло, т.е. не всеки връх е съсед със всички останали. Имайки предвид това и от резултатите представени в таблици 1 и 2 могат да се направят следните изводи:

- С нарастване броят на върховете многократно нараства и броят на използваните операции
- Алгоритъмът е по подходящ при разделянето на графа на по - малък брой подграфи;
- Броят на операциите зависи от теглото на върховете в графа. (Вижда се от факта че има разлика между *N* и *O(n)* за най-лошия случай).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разгледана е методика за определяне сложността на алгоритмите. Тя е приложена върху алгоритъма с отделяне. Този алгоритъм е тестван с програмно приложение. Получените резултати могат да се използват при избор на алгоритъма.

Разгледаната методика може да се използва за определяне сложността на алгоритмите за декомпозиция. Чрез получените резултати от нея, може да се прави сравняване на декомпозиционните алгоритми и да се избира по-добрия при различните ситуации.

REFERENCE

[1]. Cormen, Thomas H., Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest., Introduction to Algorithms. Cambridge, MA: MIT Press, 1990.

[2]. Soltys M., An Introduction to the Analysis of Algorithms 2nd Edition, New Jersey: World Scientific, 2012.

[3]. Nakov P., P. Dobrikov, Programming = ++Algorithms, TopTeam Co., Sofia, 2002.

[4]. Dinev M.,V. Kukenska, Matlab application for decomposition of graphs, XII International Conference Strategy of Quality in Industry and Education, Varna, Bulgaria, May 30 – June 02 2016, pp.537-542, ISBN 978-966-2752-71-7.

[5]. Dinev M., V. Kukenska, Software Application for structural decomposition, International Conference on Technics, Technologies and Education" - ICTTE 2017, Yambol, Bulgaria 19-20 October 2017, p. 190-197, ISSN 1314-947

МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСИ В ОПЕРАЦИОННИТЕ СИСТЕМИ

Валентина Кукенска[1], Петър Минев[1], Матьо Динев[1]
[1]*Технически университет - Габрово*

PROCESS MODELING IN THE OPERATING SYSTEMS

Valentina Kukenska[1],Petar Minev[1],Matyo Dinev[1]
[1]*Technical University of Gabrovo*

Abstract

This paper focuses on the processes in the operating systems. It looks at their possible states. The study proposes a probability analytical model based on Markov chains. The model can be used to define the state of a given process in a specific moment of time, and to evaluate the probability of the process entering a certain state.

Keywords:process, modeling, probability analytical model

ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременните операционни системи (ОС) са мултизадачни системи. В тях съществуват много процеси. Всеки процес от създаването до завършването си преминава през различни състояния. Преминаването на процесите от едно в друго състояние се променя във времето и се разглежда като случаен процес с дискретни състояния. Този процес може да се представи с граф на състоянията. Всяко състояние се означава с кръгче, а всеки възможен преход от състояние в състояние със стрелка.

Последователност от състояния на процеса образува верига. Тъй като броят на състоянията е ограничен, то веригата е крайна. Преходите от състояние в състояние се извършват в предварително неизвестни моменти от време. Те не зависят от това, по какъв начин и кога процесът е попаднал в предходното състояние.

В този доклад се разглеждат процеси и техните състояния, като ресурси на операционните системи. Предложен е вероятностен аналитичен модел на процес. Той е базиран на марковски вериги [1,2] . Чрез него е определена вероятността за попадение на процесите във възможните състояния в даден момент от време. Предложеният модел е симулиран с програмната среда GPSS.

СЪСТОЯНИЯ НА ПРОЦЕСИТЕ

В мнопроцесните ОС един процес може да премине многократно през различни дискретни състояния, като прехода от състояние в състояние се определя от настъпването на определени събития.

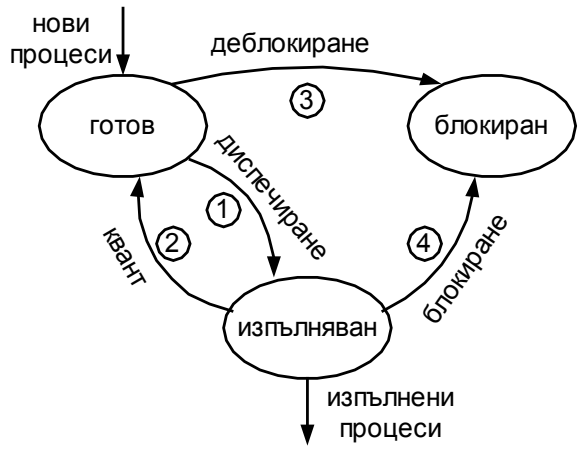
Един процес е изпълняван *(Running)***,** ако заема процесора. В еднопроцесорна система само един процес може да се намира в състояние изпълняван.

В състояние готов *(Ready)* се намира процес, който може да заеме свободен процесор. Операционната система определя на кой процес от списъка на готовите да предостави освободения процесор.

Процесът се намира в състояние блокиран *(Blocked)* при настъпването на събитие (например В/И операция, процес с по-висок приоритет и др.).

Състоянията на процесите се разделят на две групи – активни и пасивни. Тези състояния и условията за преход от едно в друго състояние могат да се представят с диаграми [4,5,6].

Всеки един процес от момента на неговото създаване до момента на неговото завършване се намира в едно от активните състоянияе отразени в диаграмата на фиг.1.



***Фиг. 1**. Диаграма на състояния на процесите*

В еднопроцесорните системи във времето може да се изпълнява само един процес. Останалите са в състояние на готовност или блокиран. Тъй като е възможно няколко процеса да са в състояние на готовност или блокиран, се налага поддържане на списъци на готовите и на блокираните процеси.

Всеки нов процес се включва в списъка на готовите процеси. Той е подреден по определен признак, например приоритет, процесорно време и др., в зависимост от избраната старатегия за диспечиране на процесора.

От опашката на готовите процеси се избира процес за изпълнение. Избраният процес преминава в състояние изпълняван.

Изпълняваният процес заема процесора докато не настъпи едно от следните събития:

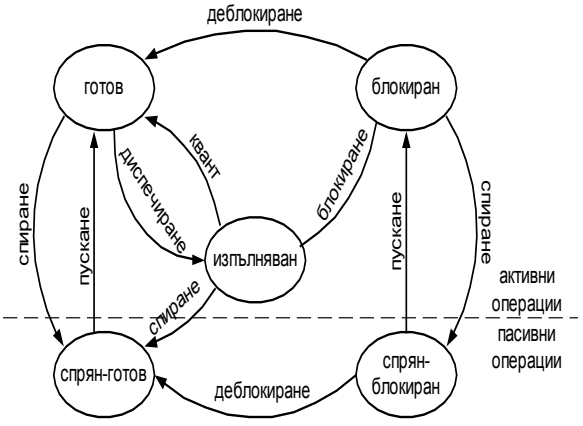
- Изтичане на определения му интервал време (квант, quantum) за използване на процесора. Ако това се случи, операционната система прави изпълнявания процес готов и предоставя процесора на друг от списъка на готовите.
- Процесът, преди да е изтекъл кванта, сам освобождава процесора поради необходимост от изчакване на някакво събитие. Тогава изпълняваният процес преминава в състояние блокиран.
- По време на изпълнение процесът инициализиравходно-изходна операция, той освобождава процесора и блокира сам себе си, чакайки завършването на операцията.

Когато завърши входно-изходната операция (или някое друго събитие, очаквано от процеса), процесът отново преминава в състояние готов. Ако по време на изпълнение един изпълняван процес бъде прекъснат, той преминава от състояние “изпълняван“ в състояние “блокиран“.

Когато очакваното от един блокиран процес събитие настъпи, то процесът преминава в състояние готов.

В някои приложения е желателно да се въведат и други състояния. Например, много операционни системи имат състояние на преустановяване. Процесът преустановява сам себе си или друг процес го преустановява. От такова състояние процесът излиза само, ако друг процес го възобнови.

Ако се добавят пасивните състояния на процесите и операциите за преход по тях се получава разширена диаграма на състоянията (фиг. 2).

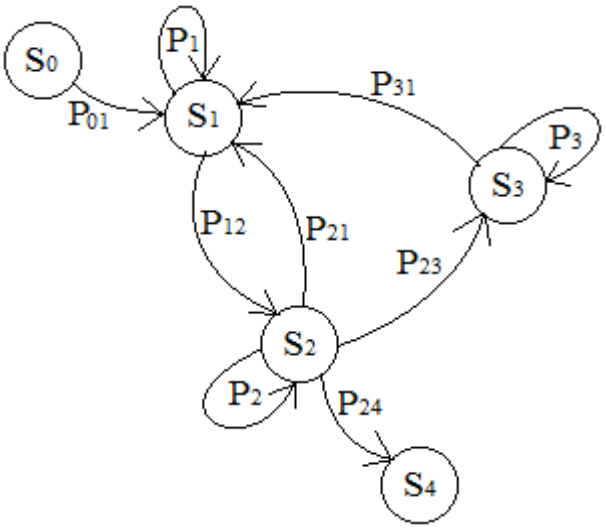


Фиг. 2. *Разширена диаграма на състояния на процесите*

Разширената диаграма на състоянията включва операциите спиране*(suspend)* и пускане*(resume)***.** *В* този случай се добавят и две нови състояния -*спрян_готов* и *спрян_блокиран.* Това са *пасивни* състояния на процесите.

АНАЛИТИЧЕН МОДЕЛ НА ПРОЦЕС

Нека представим с граф диаграмата на активните състояния на процеса (фиг. 3).



Фиг. 3. *Граф на активните състояния на процес*

Приемаме, че събитието $S_0(t)$ съответства на създаване на процеса, $S_1(t)$ – на състоянието готовност, $S_2(t)$ – на състоянието изпълняван, $S_3(t)$ – на състоянието блокиран и $S_4(t)$ - на завършил процес. Процесът винаги се намира в едно от състоянията в даден момент. Следователно във всеки момент от време се осъществява само едно от събитията $S(t) = S_i$, (i=1, 2, …, n). Ако с $p_i(t)$ означим вероятността процесът да се намира в състояние S_i, то е в сила нормиращото условие (1)

$$\sum_{i=1}^{n} p_i(t) = 1 \qquad (1)$$

За всеки два момента от време съществува вероятност процесът да премине в друго състояние, както и да запази текущото си състояние. Тези вероятности могат да се приемат за условни.

Началното сътояние на процеса се задава с вектора на началното разпределение на вероятностите на състоянията:

$$P(0) = |p_1(0), p_2(0), \dots, p_n(0)| = |p_i(0)|_{1\times n}$$

Векторът P(0) може да бъде зададен предварително. Той може да бъде и случаен за даден момент от време.

Състоянието на процеса след к на брой стъпки на изменение на времето може да се представи като разпределение на вероятностите на състоянията:

$$p(к) = |p_1(k), p_2(k), \dots, p_n(k)| = |p_i(k)|_{1\times n}$$

при $к=1,2,3,...$ и $0 \le p_i(k) \le 1$

Преходните вероятности $P_{ij}(k)$ за преминаване на процеса от състояние S_i в състояние S_j се задават с индексна матрица на преходните състояния $P=|P_{ij}(k)|_{n\times n}$, i,j=1,2, …, n.

При зададен вектор на началното разпределение на вероятностите на състоянията P(0) и известна матрица на преходните вероятности P може да се определи векторът на разпределение на вероятностите на състоянията p(к) за всяка стъпка к.

Ако преди к – та стъпка т.е. при (к-1) – ва стъпка процесът е с вероятност $p_i(к-1)$ в състояние S_i, то вероятността, че след к-та стъпка той да е в състояние S_j се определя по формулата за пълна вероятност (2):

$$p_j(k) = \sum_{i=1}^{n} p_i(k-1).p_{ij} \qquad (2)$$

където j=1,2,…,n, а $p_i(к-1)$ са вероятностите на хипотезите за състояния S_i (i=1,2, …., n), а P_{ij}(i=1,2, …., n) са условните вероятности зададени в j - стълб на матрицата P.

Аналитичният модел на процеса може да се представи със следните уравнения и зависимости:

$$\begin{cases} p_1 = p_{11}.p_1 + p_{21}.p_2 + \cdots + p_{n1}.p_n \\ p_2 = p_{12}.p_1 + p_{22}.p_2 + \dots + p_{n2}.p_n \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ p_n = p_{1n}.p_1 + p_{2n}.p_2 + \cdots + p_{nn}.p_n \\ p_1 + p_2 + \cdots + p_n = 1 \end{cases} \qquad (3)$$

Ако матрицата на вероятностите на преходните състояния е известна, то могат да се определят вероятностите за попадение на процеса във всяко от възможните състояния S_i.

При матрица на преходните вероятности

$$P = \begin{bmatrix} 0{,}9 & 0{,}1 & 0 \\ 0{,}4 & 0{,}4 & 0{,}2 \\ 0{,}1 & 0 & 0{,}9 \end{bmatrix}$$

се получават следните резултати $P_1=0{,}67$, $P_2=0{,}11$ и $P_3=0{,}22$.

Предложеният модел е описан на процесно ориентиран език и симулиран с програмната среда GPSS (General Purpose Simulation System).

```
; MS/1/
          GENERATE          90
PS1       QUEUE             QSS1
          SEIZE             SS1
          DEPART            QSS1
          ADVANCE           1
          RELEASE           SS1
          TRANSFER          90,,PS1
PS2       QUEUE             QSS2
          SEIZE             SS2
          DEPART            QSS2
          ADVANCE           1
          RELEASE           SS2
          TRANSFER          40,,PS1
          TRANSFER          40,,PS2
          TRANSFER          0,,PS4
PS3       QUEUE             QSS3
          SEIZE             SS3
          DEPART            QSS3
          ADVANCE           1
          RELEASE           SS3
          TRANSFER          90,,PS3
          TRANSFER          ,PS1
PS4       TERMINATE
          ; MS/1/
          GENERATE          100
          TERMINATE         1
```

При симулация на модела са получени статистически данни за състоянието на процесите за зададен интервал от време.

При изследване на един процес част от получените резултати са:

FACILITY	ENTR.	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER
SS1	4	0.040	1.000	1	0
SS2	4	0.030	0.750	1	1
SS3	3	0.030	1.000	1	0

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT
QSS1	1	0	4	4	0.000
QSS2	1	0	4	4	0.000
QSS3	1	0	3	3	0.000

За зададения временен интервал изследваният процес е бил четири пъти в състояние S_1, четири пъти в състояние S_2 и три пъти в състояние S_3. В края на интервала е в състояние изпълнение (S_2).

При изследване на десет процеса се получават следните данни:

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER
SS1	82	0.810	0.988	1	9
SS2	75	0.740	0.987	1	3
SS3	75	0.740	0.987	1	6

QUEUE	MAX	CONT.	ENT.	ENT.(0)	AV.CONT.	AV.TIME
QSS1	6	6	87	24	0.940	1.080
QSS2	4	3	77	52	0.360	0.468
QSS3	4	0	75	34	0.910	1.213

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен е аналитичен модел на процеси в операционните системи. Чрез него може да се определи състоянието на процесите във всеки момент от време на тяхното съществуване.

Моделът е симулириран с програмната среда GPSS.

Предложеният модел може да се използва за моделиране и изследване на процеси с дискретни състояния.

REFERENCE

[1] Clymer, J. System Analysis Using Simulation and Markov Models, Prentice-Hall, N. J., 1990.

[2] FerreiraF., A. Pacheco, Simulation of semi-Markov processes and Markov chains ordered in level crossing, Next Generation Internet Networks, 2005, pp. 121-128.

[3] Romanski R., Texnologia na computarnoto modelirane, Sofia, 2008.

[4] Tanenbaum A., Modern Operating Systems, International Version, N.Y., 2008.

[5] Stallings W., Operating Systems: Internals and Design Principles, N.Y., 2008.

[6] Tanenbaum A., A. Woodhull, Operating Systems: Design and Implementation, 2008.

[7] Silberschatz A., Operating System Concepts, N.Y., 2009.

АНАЛИЗИ И ИЗСЛЕДВАНИЯ С ОБЛАЧНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА КЛИМАТИЧНИТЕ УСЛОВИЯ ЗА СПЕЦИФИЧНА ОБРАБОТВАЕМА ПЛОЩ

Елица Бакалова
Великотърновски университет „Св. Св. Кирил и методий“

ANALYZES AND RESEARCH WITH CLOUD TECHNOLOGIES OF THE WEATHER CONDITIONS FOR A SPECIFIC ARABLE LAND

Elitsa Bakalova
University of Veliko Tarnovo St. Cyril and St. Methodius

Abstract

This paper examines the possibility of using cloud technologies to conduct analyzes and research for business. The advantages of the cloud technologies offer in this direction are shown. It addresses a concrete solution to a problem posed by the business, related to a survey of the weather conditions for a specific arable land area over the past 50 years, done through cloud services on the Wolfram Cloud platform. It shows how efficient cloud services can be in conducting marketing research for business by analyzing statistical data and their appropriate performance.

Keywords: cloud technologies; analyzes; research; weather historical data.

ВЪВЕДЕНИЕ

Интернет навлезе навсякъде в живота ни и ни даде възможност за достъп до отдалечени ресурси. След като интереса към услугата се покачи много се появиха и облачните услуги. Те предложиха неограничено място за съхранение на данни, специализиран софтуер за обработка на данните и огромна изчислителна мощност. Вече има множество платформи, които предлагат съхранение и обработка на данните, като дават възможност на потребителите да ги използват през интернет чрез подходящ API (Application Program Interfaces) или уеб сайт портали. Подобни платформи са Amazon Elastic Compute Cloud, Google App Engine, Google Compute Engine, Microsoft Azure, Wolfram Cloud и др.

Всичко това ни дава сериозни основания да изградим модели за обработка на статистически данни чрез облачни технологии в полза на бизнеса и да ги предложим за все по честа употреба.

В този документ се разглежда една възможност предоставена от облачната платформа Wolfram Cloud за проучване на метеорологичните условия за конкретен земеделски парцел за 50 години назад, за да се определи дали площтчса е подходяща за засяване на определени земеделски култури. Поставената задача е от съществено значение, защото при закупуването на земеделски площи има 2 основни фактора, които интересуват купувача - съдържанието на почвата и метеорологичните условия. Метеорологичните условия са много важен фактор за отглеждането на земеделски култури. Показателите като - валежи, максимална и минимална температура, облачно покритие, атмосферно налягане, скорост на вятъра и други са от съществено значение, дали определена земеделска площ е подходяща за отглеждане на дадена култура.

Доскоро, за да се извърши такова проучване беше необходимо да се посети Националния метеорологичен институт и да се правят множество справки, след което да се

търси възможност данните да се структурират и обработят, за да се извлече максимална полза от получената информация и да може тя да се представи по подходящ начин. За да се осъществи това проучване по този начин са необходими много средства и време, което често е от значение в бизнес средите и тяхната динамика. Целият този процес вече може да се избегне чрез едно много елегантно решение на платформата Wolfram Cloud. Необходимите данни са налични онлайн по всяко време безплатно, като има предоставен и безплатен софтуер, чрез който данните могат да се обработват и представят по подходящ начин - като графика или таблица. Преимуществата на Wolfram Cloud при решението на поставения проблем са - база със статистически данни обхващаща по-голямата част от света, налични са данни от 1935 година, безплатен достъп до данните и софтуера за обработка. Като сравнение платформата Microsoft Azure която предлага подобни данни, има статистика от 2000-та година и услугите на платформата са платени изцяло.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Платформата Wolfram Cloud използва програмния език Wolfram Language, който е залегнал в основата на математическия софтуер Mathematica. Езикът дава възможност за символното смятане, функционалното и логическото програмиране, като може да работи с произволни структури и данни. В него са включени вградени функции за генериране и изпълнение на Тюринг машини, за създаване на графики и звуци, за анализ на 3D модели, за операции с матрици, за решаване на диференциални уравнения и много други [1].

С помощта на платформата могат да се създават проекти, базирани на езика Wolfram Language, които решават сложни математически задачи или обработват статистически данни, като се използва мощния изчислителен ресурс на самата платформа [2]. Предлагат се и статистически данни - социално-икономически, демографски, финансови, данни за времето и др.

С помощта на програмния език, статистическите данни лесно могат да се обработват и представят по подходящ начин, така че получените резултати да бъдат полезни за различни проучвания [4].

Основната функция за работа с данни за времето е WeatherData (ф.1), която има следния формат:

```
WeatherData                                    (1)
 [location,property,
  {date start, date end}]
```

Параметърът location (ф.1) дава възможност да се задават както имена на населени места така и географски координати, което именно дава възможност да се правят проучвания за земеделски площи разположени на конкретна географска дължина и ширина. Параметърът property (ф.1) дава възможност да се избере показател за времето, като - минимална, максимална и средна температура, влажност, атмосферно налягане, валежи, облачно покритие и др. Третият параметър (ф.1) на функцията дава възможност да се зададе времеви период, за които да се изведат данни.

Резултатът, които функцията връща е представен чрез формата Time series (фиг. 1).

***Фиг. 1**. Представяне на данните с TimeSeries*

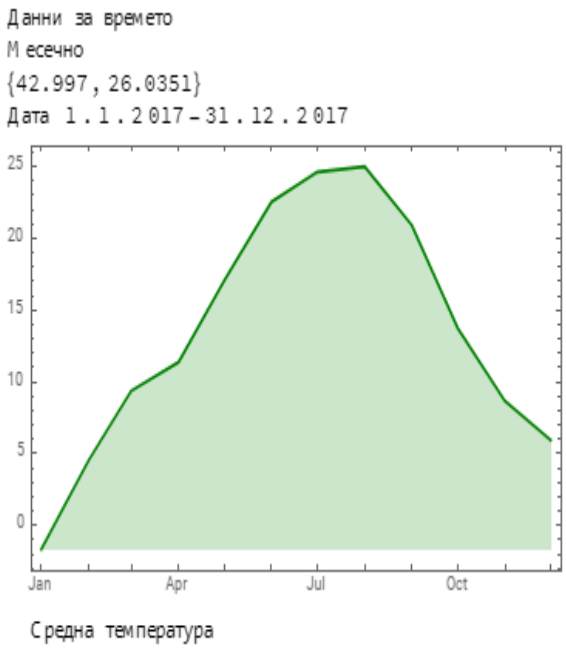
С помощта на програмния език резултатът Time series може да се визуализира под формата на графика или таблица. За тази цел се използват функциите DateListPlot (ф. 2) и Table (ф. 3) [3].

```
DateListPlot[                                  (2)
 WeatherData[location,property, date]

 tsValue = TimeSeries1["Values"];              (3)

 listValue =Table[tsValue [[l]], {l,
Length[tsValue ] }] ;
```

При представянето на резултата като графика с помощта на функцията DateListPlot платформата извежда следния резултат (фиг. 2), който много добре онагледява резултата.



***Фиг. 2**. Представяне на данните с графика*

При представянето на резултата като таблица с помощта на функцията Table може да се използва функцията MatrixForm, която визуализира получената таблица или функцията CloudExport (ф.4), която може да експортира таблицата в Excel файл. При разработката на конкретната задача се използва Excel файл, защото така се осигуряват много по-големи възможности при представянето на информацията.

CloudExport[expr, format, (4)
CloudObject [uri]]

Резултатът от функцията CloudExport е CloudObject (ф.4), т.е. обект във облака, към който се получава линк за изтегляне (фиг.3).

```
CloudExport[DataArrayTransposed , "XLS", "Data table.xls"]

CloudObject[https://www.wolframcloud.com/objects/elitsa.i.ba
```

***Фиг. 3**. Експорт в CloudObject*

Представянето на резултатите като таблица в Excel има своите големи преимущества, докато графиката ни дава лесна визуална представа за резултатите (фиг.2), таблицата в Excel ни предоставя възможност за работа с конкретните стойности (фиг. 4).

1		Средна температура	Минимална температура	Максимална температура
2	Януари 1978	1.61	-8	12
3	Февруари 1978	3.95	-5	20
4	Март 1978	6.87	-2	20
5	Април 1978	10.87	0	21
6	Май 1978	15.56	5	25
7	Юни 1978	20.05	10	33
8	Юли 1978	22.38	10	34
9	Август 1978	21.03	13	32
10	Септември 1978	17	8	28
11	Октомври 1978	13.06	1	28
12	Ноември 1978	6.76	-1	15
13	Декември 1978	3.72	-7	15
14	Януари 1979	1.04	-12	18
15	Февруари 1979	3	-8	19
16	Март 1979	8.92	-3	22

***Фиг. 4**. Представяне на данните с Excel таблица*

Друго удобство което платформата предлага е възможността резултатите да се извеждат за свободен достъп в интернет с помощта на функцията CloudDeploy (ф.5), като се получава линк за преглед на резултата (фиг. 5).

CloudDeploy[expr] (5)

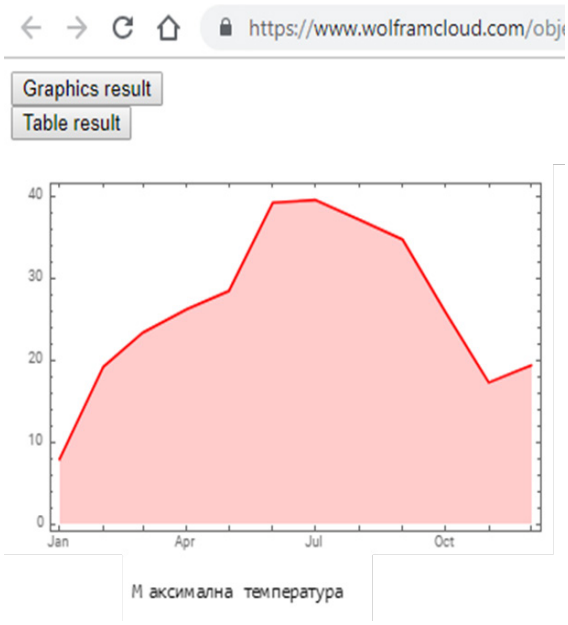
```
CloudDeploy["Result", Permissions → "Public"]

CloudObject[https://www.wolframcloud.com/objects/4a2
```

***Фиг. 5**. Получаване на общодостъпен линк към резултата от изчисленията*

С помощта на тази функция могат да се създават малки уеб-приложения, с помощта на които може да се разглежда само част от резултата или неговото различно представяне като графика или таблица (ф. 6) и (фиг. 6).

CloudDeploy @ Delayed[(6)
HTTPResponse @ TemplateApply[
XMLTemplate["HTML code"],
{result1, result2, ...}]]



***Фиг. 6**. Уеб приложение с CloudDeploy*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Безспорни са ползите от употребата на облачните технологии за извършване на маркетингови проучвания в полза на бизнеса. Предимствата, които предлагат като - скорост, мащаб и подходящ софтуер за обработка ги правят безценен помощник при анализа на статистически данни. Облачни технологии ни дават възможност да изградим модели за обработка и представяне на статистически данни необходими за бизнеса, и да ги предложим за все по честа употреба.

REFERENCE

[1] Wolfram, Stephen, "An Elementary Introduction to the Wolfram Language", 2017.
[2] Hastings, Cliff, Mischo, Kelvin, Morrison, Michael "Hands-on Start to Wolfram Mathematica and Programming with the Wolfram Language", 2016.
[3] Mangano, Salvatore, "Mathematica Cookbook", 2010.
[4] Wolfram, Stephen, “The Mathematica Book”, 2003.

ПОДХОД ЗА АВТОМАТИЧЕН ЗАПИС И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА ДАННИ ОТ АВТОНОМНИ СИСТЕМИ

Делян Генков
Технически университет - Габрово

AN APPROACH FOR AUTOMATIC RECORDING AND VISUALIZATION OF DATA FROM AUTONOMOUS SYSTEMS

Delyan Genkov
Technical University - Gabrovo

Abstract

Internet of Things becomes very popular technology nowadays, not only in home systems, but also in many industrial fields of application. The technology presumes many autonomous systems in form of controllers with sensors attached to measure some data, and to send the measured values for centralized storage and management. There are many possible approaches for this technology – including cloud computing, fog computing and combined approaches.

This paper presents one possible approach for automatic sending, recording and visualization of data from many devices to a central location.

Keywords: Internet of Things, data, centralized management, network.

ВЪВЕДЕНИЕ

Технологията Интернет на нещата (Internet of Things) представлява свързване на сензори и/или изпълнителни механизми към евтини контролери с ограничени ресурси и възможности, които могат да се свързват към компютърна мрежа/Интернет за да бъдат наблюдавани данните, следени от устройството и подавани команди към изпълнителните механизми ръчно от оператор или автоматично чрез вградена логика в софтуера на контролера. Тя е в основата на някои съвременни тенденции за домашна, сградна и промишлена автоматизация и изграждането на т. нар. „умен дом“ (Smart Home), „умен град“ (Smart City) и др. Между 2011 и 2015 г. в Барселона е изградена IoT мрежа, управляваща „цифрови автобусни спирки“, паркинги, градско осветление, напояване на градските паркове и много други. Подобна концепция се използва и в доста индустриални решения, например при наблюдението и управлението на газопроводи, електро и водопреносни мрежи, влакови трасета, производствени поточни линии и други.

Развитието и използването на технологията поставя проблемите за изпращането на данните през компютърната мрежа и/или Интернет, събирането им на централно място (сървър, облачна среда), където те могат да бъдат визуализирани, обработвани и съхранявани.

Най-често се използва един от следните три модела или комбинация от тях:

- Клиент-сървър - този модел е добре познат в Интернет. На сървъра работи програма, която при извикване от страна на клиента извършва определени действия – показва информация или предизивква дейстие. Моделът е подходящ за малък брой контролери. При IoT решенията се използват главно две реализации. При първата сървърър се намира в контролера (най-често web сървър), към който клиентът през локалната мрежа или Интернет се свързва с програма (най-

често web браузър) и наблюдава и/или управлява параметрите на системата. При втората сървърът се намира някъде в мрежата (най-често локалната), а към него се свързват контролерите и предават своите параметри. Клиентът също се свързва към сървъра, наблюдава записаните параметри и може да издава команди към сървъра, които той препраща към контролерите за изпълнение.

- Cloud Computing (облачна среда) – много IoT решения идват с готова облачна услуга – собственикът регистрира акаунт в облачната система на производителя, където регистрира своите устройства и получава интерфейс, чрез който може да наблюдава и управлява контролерите си. За целта разбира се е необходимо и контролерът и клиентът да имат достъп до Интернет. В облачната услуга могат да се комбинират множество контролери, намиращи се на различни места.
- Fog Computing - този модел е подходящ за комбинирането на голям брой сензори, при него в контролера се прави предварителна обработка на данните, приемани от неговите сензори и към централното устройство (сървър или облак) се предава само обобщена информация с цел да се избегне затрупването му с огромен обем данни.

В настоящата разработка е представен клиент-сървър модел за автоматичен запис на данни, изпратени от множество контролери в база данни, възможност за визуализация, обработка на данните и реализация на команди, които да бъдат изпращани обратно към контролера с цел управление при настъпване на предварително дефинирани условия, например включване на охлаждащ компонент при достигане на праг на измерваната температура.

ИЗЛОЖЕНИЕ

За реализация на задачата за автоматичен запис и визуализация на данни от автономни системи е използвана безплатната програмна система с отворен код - ThingsBoard. [2]

Системата предлага възможност за инсталация под управлението на операционни системи Windows и Linux, инсталация върху контролер Raspberry PI 3, в облачна среда – Google Cloud или Amazon AWS EC2 или в контейнерна реализация, използвайки Docker. В настоящата разработка е използвана инсталация под Microsoft Windows 10, но една от основните цели на работата е да се използва инсталация в облачна среда.

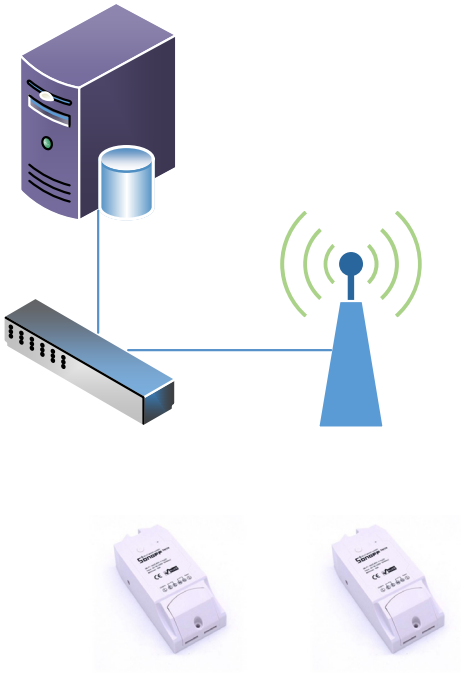
Необходимите условия за стартиране на системата са минимум 2 GB оперативна памет, като е препоръчително поне 4 GB и инсталирана Oracle Java 8. Данните могат да се записват във вградената в системата HSQLDB база данни, което е приложимо за тестови цели. За сериозни приложения се препоръчва използването на външна система за управление на база данни, както препоръчваните от производителя са PostgreSQL или NoSQL база данни Casandra.

Към софтуерната система може да се свърже произволен контролер, който може да изпраща необходимите данни чрез JSON заявки. В разработката са използвани контролери на фирма SONOFF, които имат процесор ESP8266 и вградена безжична свързаност.

Един от използваните контролери е представен на фигура 1.

***Фиг. 1**. Контролер SONOFF TH10*

На фигура 2 е показана постановката на системата.



***Фиг. 2**. Структура на системата*

Използвани са следните компоненти: ролята на сървър изпълнява компютър с процесор Intel Pentium G2120 Dual Core CPU @ 3100 MHz, 8GB RAM, 1 TB HDD, Windows 10 и инсталирана програмна система ThingsBoard с база данни PostgreSQL и Java 8. Мрежовият комутатор е TP-Link TL-SG3210. Ролята на безжична точка за достъп се изпълнява от маршрутизатор TP-Link TL-WR1043ND, към който са свързани по безжичен път два контролера. Единият е SONOFF TH10, към който е свързан сензор за измерване на температура и влажност на въздуха DTH22. Вторият контролер е SONOFF POW, който има вграден сензор за консумирана мощност и захранващо напрежение.

Програмирането на контролерите се извършва с безплатния инструмент Arduino IDE v.1.8.7, където е необходимо да се изтеглят и инсталират следните библиотеки:

- ESP8266 core for Arduino версия 2.4.2 за базовите функции на контролера;
- PubSubClient версия 2.6.0 за комуникацията със сървъра;

Необходимите настройки, които трябва да се направят в програмата на контролера са:

```
//Задаване на SSID на безжичната мрежа
#define WIFI_AP "....."
//Задаване на паролата за мрежата
#define WIFI_PASSWORD "....."
//Парола на конкретното устройство за
//достъп до сървъра
#define TOKEN "SONOFF_POW_55"
//Цифров вход на контролера, на който е
//свързан сензора
#define DHTPIN 14
//Тип на сензора за температура и
//влажност
#define DHTTYPE DHT22
//IP адрес на сървъра
char thingsboardServer[] = "192.168.1.12";
//TCP порт, на който работи сървъра
int serverPort = 1883;
```

Заявката, която изпраща устройството към сървъра е във формат JSON и описва параметрите, които се измерват, заедно с текущите стойности на измерването. Примерна заявка за описание на температура и влажност е показана на фигура 3.

```
{
"temperature": 20,
"humidity": 76
 }
```

***Фиг. 3**. Формат на JSON заявка*

В текущата разработка данните се предават всяка секунда, но честотата на заявките може да зависи от броя контролери и от спецификата на измерваната величина, както и от необходимото време за реакция на системата.

```
WiFiClient wifiClient;
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
PubSubClient client(wifiClient);
int status = WL_IDLE_STATUS;
unsigned long lastSend;
```

Основните редове от програмния код на контролера за показани в следващия фрагмент. Както всяка програма за Arduino и тази съдържа две основни функции – setup(), която се изпълнява при началното включване на системата и loop(), чието изпълнение се повтаря непрекъснато до изключване на захранването на контролера.

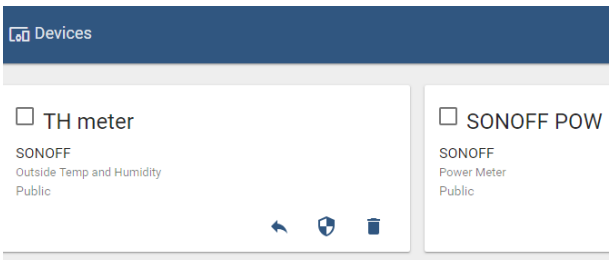
```
void setup()
{
  dht.begin();
  delay(10);
  InitWiFi();
  client.setServer(thingsboardServer,
1883);
  lastSend = 0;
}

void loop()
{
  if ( !client.connected() ) {
    reconnect();
}
if ( millis() - lastSend > 1000 ) {
getAndSendData();
    lastSend = millis();
  }
  client.loop();
}

void getAndSendData()
{
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
  if (isnan(h) || isnan(t)) {
    return;
  }
  String payload = "{";
  payload    +=    "\"temperature\":";
payload  +=  temperature;  payload  +=
",";
  payload += "\"humidity\":"; payload
+= humidity;
  payload += "}";
  char attributes[100];
  payload.toCharArray(     attributes,
100 );
  client.publish(
"v1/devices/me/telemetry",  attributes
);
}
```

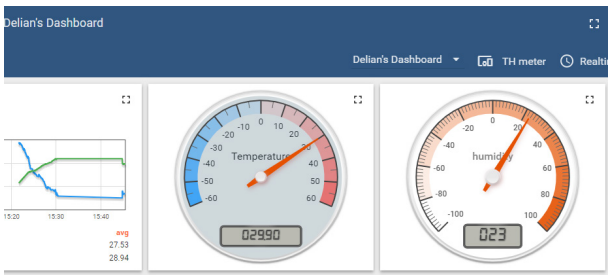
За работата на постановката е необходимо да се настои и софтуера Thingsboard. След първоначалните задачи - регистрирането на потребителско име, парола и други необходими параметри в системата е необходима регистрацията на всеки контролер. Възможните методи за автентикация за Token (парола, която се записва в конфигурацията) или X.509 сертификат, ако използваме активна директория. В текущата разработка се използва token (парола).

На фигура 4 е показана регистрация на устройство в системата.



***Фиг. 4**. Регистрация на устройства*

Резултат от работата на системата е показан на фигура 4.



***Фиг. 4**. Резултати*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изградената система е тествана с два контролера, измерващи различни величини. Предстои тестването на постановка с повече контролери и сензори. Предвижда се използването на платформата да се мигрира към облачни технологии, което да допринесе за по-широкото приложение на подхода за различни ситуации.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящият документ е изготвен с финансовата помощ на договор № 1810E за провеждане на научни изследвания по проект на тема: „Приложение на виртуализационни и облачни технологии в обучението“ към Технически университет – Габрово.

REFERENCES

[1] Ajunament de Barcelona, Barcelona Digital City, https://ajuntament.barcelona.cat/digital/en, дата на използване: 04.10.2018 г.

[2] ThingsBoard, Open-source IoT Platform, https://thingsboard.io/, дата на използване 04.10.2018 г.

WEB SERVICE INTEGRATED MATLAB PARALLEL COMPUTING

Dejan Vujičić, Željko Jovanović, Dijana Stojić, Uroš Pešović, Marina Milošević, Siniša Ranđić

University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences in Čačak, Serbia

Abstract

The possibility of program code parallelization has been studied intensively since the multi-core processors have hit the mainstream scene. Matlab as the programming environment possesses the necessary tools for parallelization and optimization of the code, if it is applicable. However, in the terms of web service native support, it lacks some functionalities, but they have been overcome by third party solution. This paper presents the possibility of web service integration with Matlab, in order to parallelize the program code and provide better results.

Keywords: Matlab, parallel computing, web service.

INTRODUCTION

The problem of the parallel execution of the code has been thoroughly studied in recent times, since the multi-core processors firstly appeared. Nowadays the programmers have to be aware of the parallelism possibilities, whether it is realized in code with special parallel directives, or in compiler. Matlab as a programming tool has support for parallel execution via Parallel Computing Toolbox. It possesses special directives and statements that help in parallelizing loops or making distributed arrays.

Making local parallel programs is fine, but if you need to access a computer with greater processing power remotely, then web services come in handy. They provide the environment for communication between server and clients. In our case, we used third party web service with full support in Matlab. The web service was initiated and started in Matlab, communicating with Apache Tomcat web server. Server application requires some parameters, that are supplied via GET HTTP request, and the processing times of sequential and parallel code is returned to the client.

The paper is organized as follows. The second chapter brings theoretical background on web services. The third chapter describes parallel computing in Matlab. The fourth chapter gives details about web service integration with Matlab. The fifth chapter brings results and discussion. At the end, there are concluding remarks.

WEB SERVICES

Web services are client and server applications that communicate over the World Wide Web's (WWW) HyperText Transfer Protocol (HTTP). They provide a standard means of interoperating between software applications implemented in any language running on a variety of platforms and frameworks. They are classified at the two main types [1]: StateFull and RestFull Web services. StateFull Web services are usually called SOAP services, while RestFull are usually called REST services. SOAP (Simple Object Access Protocol) and REST (Representational State Transfer) are both web service communication protocols. SOAP was long the standard approach to web service interfaces, although it's been dominated by REST in recent years, with REST now representing more than 70% of public APIs.

StateFull Web services require several technologies and protocols to transport and to transform data between consumer and a service. The main ones are [2], [3]:

- Universal Description Discovery and Integration (UDDI) is a registry and discovery mechanism, that is used for storing and categorizing web services interfaces.

- Web Services Description Language (WSDL) defines the web service interface, data and message types, interactions, and protocols.
- Simple Object Access Protocol (SOAP) is a message-encoding protocol based on XML technologies, defining an envelope for web services communication. SOAP messages are exchanged using HTTP.
- Extensible Markup Language (XML) is the basic foundation on which web services (SOAP, WSDL, and UDDI) are built and defined.

With this characteristics web services can be integrated into MVC (Model View Control) or SOA (Service Oriented Architecture) application architecture.

Representational State Transfer (REST) Web services are even easier for integration since they do not need to be registered or described. That's why they are more represented nowadays. Usually, REST services are used for exposing a public API over the Internet, while SOAP exposes even part of logic as a service description.

Some of REST benefits over SOAP are [4], [5]:

- Greater variety of data formats, whereas SOAP only allows XML.
- Thanks to JSON support, REST offers faster parsing and better browser support.
- Faster and uses less bandwidth.

Some of SOAP benefits over REST are:

- Built-in retry logic to compensate for failed communications. REST, on the other hand, doesn't have a built-in messaging system. If a communication fails, the client has to deal with it by retrying.
- SOAP is a standardized protocol, and is provides better support for other standards and is easier for it to operate across firewalls and proxies.

PARALLEL COMPUTING WITH MATLAB

Matlab as a programming tool has native support for running parallel computations [6], [7]. Parallel execution of the code is possible on multicore processors, GPUs, and computer clusters. This toolbox helps in parallelizing Matlab applications with the following high-level constructs [8]:

- Parallel for-loops;
- Special array types, and
- Parallelized numerical algorithms.

Other than this, Matlab has support for distributed computing, as well as interactive Big Data processing tools [9]. Parallel Computing Toolbox can be used to execute applications on multicore processors, creating workers that work in parallel, or to harness the possibilities of modern GPUs with large number of processing units. Also, Matlab with its Distributed Computing Server can execute applications on a computer cluster (Fig. 1 [8]).

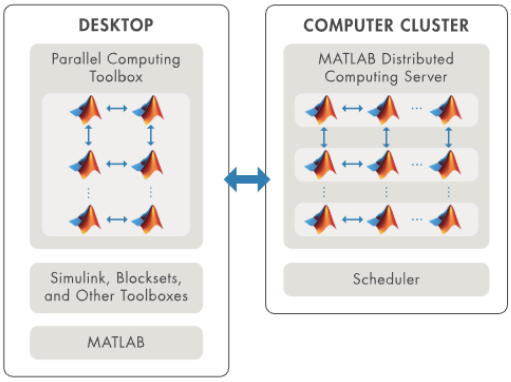


Fig. 1. *Parallel computing with Matlab [8]*

MATLAB WEB SERVICE INTEGRATION

Although Matlab has native support for calling web services, in order to make requests and create web service instances, a third party solutions have to be used. In our case, we used Modelit Matlab Webservice Toolbox [10]. Other than basic functionalities of creating web services, Modelit Matlab Webservice Toolbox provides utilities for [11]:

- Implementation of web services;
- Creation of XML output;
- Encapsulation of Matlab figures in HTML;
- Conversion of JSON strings to Matlab;
- Serialization and deserialization of encoded ASCII;
- Parallelization of tasks by making asynchronous calls to web services.

The deployment options for the Matlab Webservice Toolbox is shown in Fig. 2 [11].

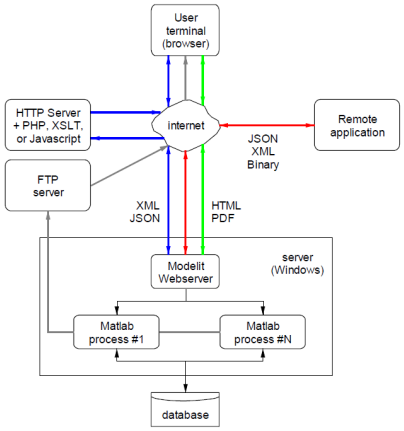


Fig. 2. *Matlab Webservice Toolbox deployment options [11]*

In order to make web service to work with Matlab, the installation of Apache Tomcat is necessary [12]. Before starting Tomcat, in its installations directory, the corresponding JAR file and Matlab executable code is necessary, in order to make a connection between Matlab and Tomcat.

A XML file has to be made in order to establish a connection. This XML file includes servlet name, port, and URL address to the server.

From Matlab command line, the **createMatlabServer()** function has to be called, with port number passed as an argument. After that, the server has to be started and it will automatically execute **HTMLCallback()** function, if there isn't any other argument set. In this function, we implemented code to call the function that runs sequential and parallel code and returns the time required for their completion. The code of the function is as follows:

```
function [time1,time2] = example(n,A)

a = zeros(1,n);

%% Sequential
tic
for i = 1:n
    a(i) = max(abs(eig(rand(A))));
end
time1 = toc;
```

```
%% Parallel
a = zeros(1,n);
tic
parfor i = 1:n
    a(i) = max(abs(eig(rand(A))));
end
time2 = toc;

end
```

As we can see from this code, the function receives two arguments, **n** (number of iterations) and **A** (size of the matrix). It then calculates maximum of the absolute values of eigenvalues of the random matrix in **n** iterations. The parallel code is realized with **parfor** statement, and it automatically creates default number of Matlab parallel workers (usually equal to the number of processor cores). The parameters **n** and **A** are provided via URL in the GET request, for example as follows:

http://localhost:8080/matlabserver/myExample?n=1&A=2

RESULTS AND DISCUSSION

In order to test web service implementation with Matlab, the function for finding eigenvalues of random matrices was called in both sequential and parallel way. The system specifications are given in Table 1.

Table 1. *The system specifications*

CPU:	Intel Core i7-4790K @ 3.6GHz (4 cores, 8 threads)
RAM:	16GB
OS:	Windows 10 Pro x64

With given parameters of **n = 200** and **A = 1000**, the Matlab produces results that are given back to the Tomcat web server. This is shown in Fig. 3. The default number of workers for the used processor is 4.

17-Oct-2018 17:47:01

Query: n=200&A=500

Sequential time: 26.8054 sec

Parallel time: 107.4163 sec

Fig. 3. *Response from Matlab web service*

If the URL GET request is not in the required format, the error message is displayed (Fig. 4).

17-Oct-2018 17:48:30

Query: m=200&A=500

Error: wrong arguments

Fig. 4. *Error message due to wrong URL GET request format*

We can see from Fig. 3 that time for parallel execution is significantly greater than time for sequential execution. This is due to the overhead resulted in the process of starting Matlab parallel pool with desired number of workers. If we run the query again, with parallel pool already created, we get the following response (Fig. 5).

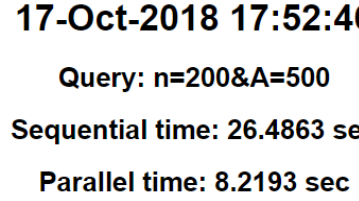


Fig. 5. *Response from Matlab web service with parallel pool already running*

We can see big improvements over time for parallel execution, because now there is not any delay due to parallel pool starting procedures.

Next, we decided to try different number of workers to see how much the speed of execution is dependent on the number of processor cores. So, we started parallel pool with 3, 2, and 1 worker and got the times of parallel execution. The time for sequential execution is approximately the same in all cases. These results are given in Table 2.

Table 2. *Correspondence between number of parallel workers and time of execution*

Number of workers	Time of execution (seconds)
4	8.2
3	9.7
2	13.2
1	25.1

As we can see from Table 2, there are significant improvements in execution times when the number of workers is bigger. Interesting thing is that parallel execution with one worker was less than 1s faster than sequential execution.

Of course, improvements due to parallelization are possible because the data dependencies are not present, i.e. individual cores can get the almost equal portions of the loop iterators to execute, and they don't need to communicate or wait for each other along the way. Only communication is done after the calculations. With different algorithms, data dependencies can occur in greater manner, so this may be an issue.

CONCLUSION

This paper demonstrated successful integration of web service functionalities with Matlab. Other than that, we showed performance improvements of the parallel code execution over sequential, using Parallel Computing Toolbox in Matlab.

Although the example we used was trivial and used just in demonstration purposes, nevertheless it showed significant improvements with parallel code execution and possibility to pass the data via web service.

We also tested the performance of the parallel execution with different number of workers and showed that the processing time is lower if there are more workers involved. This is a natural assumption, but only with the programs that don't possess data dependencies between different parts of the parallel pools. If that is not the case, i.e. there are data dependencies and low possibility of parallelism, then the possible solution lays in the different approaches in parallelization, primarily by implementing different algorithms that support parallelism.

ACKNOWLEDGMENT

The work presented in this paper was funded by grant TR32043 for the period 2011-2018, by the Ministry of Education, Science, and Technological Development of the Republic of Serbia.

REFERENCE

[1] Pautasso, C., Zimmermann, O., & Leymann, F. (2008, April). Restful web services vs. big'web services: making the right architectural decision. In *Proceedings of the 17th international conference on World Wide Web* (pp. 805-814). ACM.

[2] Wagh, K., & Thool, R. (2012). A comparative study of soap vs rest web services provisioning techniques for mobile host. *Journal of Information Engineering and Applications*, 2(5), 12-16.

[3] Curbera, F., Duftler, M., Khalaf, R., Nagy, W., Mukhi, N., & Weerawarana, S. (2002). Unraveling the Web services web: an introduction to SOAP, WSDL, and UDDI. *IEEE Internet computing*, 6(2), 86-93.

[4] Richardson, L., & Ruby, S. (2008). *RESTful web services*. "O'Reilly Media, Inc.".

[5] Rodriguez, A. (2008). Restful web services: The basics. *IBM developerWorks*, 33.

[6] *Sharma, G., & Martin, J. (2009). MATLAB®:* a language for parallel computing. *International Journal of Parallel Programming*, 37(1), 3-36.

[7] Choy, R., & Edelman, A. (2005). Parallel MATLAB: Doing it right. *Proceedings of the IEEE*, 93(2), 331-341.

[8] *Perform parallel computations on multicore computers, GPUs, and computer clusters*, available at: https://www.mathworks.com/products/parallel-computing.html (accessed on: October 2018)

[9] Hashem, I. A. T., Yaqoob, I., Anuar, N. B., Mokhtar, S., Gani, A., & Khan, S. U. (2015). The rise of "big data" on cloud computing: Review and open research issues. *Information Systems*, 47, 98-115.

[10] Modelit Webserver Toolbox for Matlab, available at: https://www.modelit.nl/index.php/webserver-toolbox-for-matlab (accessed on: October 2018)

[11] Van der Zijpp, N. J., Hoogland, K. J. (2016). User Guide for the Modelit Matlab Webservice Toolbox. *Modelit*

[12] *Apache Tomcat*, available at: http://tomcat.apache.org/ (accessed on: October 2018)

НАПРАВЛЕНИЕ 6

АВТОМАТИКА

SESSION 6

AUTOMATION

STATE ESTIMATION OF A SUMMER TOBOGGAN USING THE EXTENDED KALMAN FILTER

Christoph Menz, Silvio Bachmann
Schmalkalden University of Applied Sciences

Abstract

In this paper an approach for estimating the state of a rail-bound summer toboggan is presented. Usually those vehicles are accelerated by downhill force and controlled manually by moving a brake lever. To avoid accidents, an automatic brake system for controlling speed and distance was developed. In order to design a controller based on a given sensor configuration, a state estimation making use of not only sensor data but also a model of the plant could be useful. To accomplish that, a simplified physical model of a sled, including sensors and the brake actuator, was derived. Based on the model and a given sensor configuration, an observer in the form of an extended Kalman filter was designed. Both, the model and the observer, were implemented and tested using Simulink software. The simulation results show that the extended Kalman filter could be a useful approach for estimating the state of the system and furthermore be a suitable base for running the controller on a time critical embedded system.

Keywords: state estimation, observer design, extended Kalman filter

INTRODUCTION

Summer toboggan rides are one type of amusement rides, where one or two riders sit on a sled, which is accelerated by downhill force. A lever can be used to brake the sled by moving it towards the body, while when the lever is pushed forward, the brake is disabled and the sled accelerates. In the past, these toboggan rides worked without any electronics and the user was responsible to brake and avoid accidents. Because of regulations the maximum speed of these vehicles should be restricted. To accomplish that, mechanical systems were integrated in the sleds. These systems work well for a fixed maximum speed, but have large tolerances and are maintenance-consuming.

In order to avoid collisions, a system was required, which can detect and control the distance and a variable maximum speed. To achieve this goal, an automated system consisting of sensors, an embedded control unit and an automatic brake actuator was developed. First results have shown, that these components work well. By implementing a simple controller, the system is able to control the speed and can avoid accidents.

To improve the comfort for the riders, a more sophisticated control algorithm has to be developed. An improvement of the control algorithm may be achieved by including an observer, which is able to reconstruct the state of the plant at each time step and so form a basis for designing a smooth controller, which is optimally not perceptible for the riders.

In this work, the extended Kalman filter (EKF) is applied on the system with a given sensor configuration for estimating the state of one sled. The distance between two sleds is supposed to be available to the controller by wireless communication. The controller design is not part of this work.

EXPOSITION

In the next part, a simplified physical model of the plant including the brake actuator of the sled is derived. In the subsequent part, the EKF is adopted to the problem. After that, the implementation of the model in Simulink is introduced followed by showing some simulation results. A discussion and conclusion including a view to further work mark the end of this report.

MODEL

A sled of the toboggan ride is accelerated by a downhill force F_D which depends on the

track slope α and the mass m of the sled including the riders. This force is calculated by

$$F_D = m\, g\, \sin\alpha\,, \tag{1}$$

where g is the acceleration of gravity. If there is no brake active, two relevant friction forces can be identified. First is the rolling resistance

$$F_R = c_R\, m\, g\, \cos\alpha\,, \tag{2}$$

with the coefficient of rolling friction c_R. The second one is the drag force

$$F_A = \tfrac{1}{2}\, \rho\, c_w\, A\, v^2\,, \tag{3}$$

where ρ is the density of the fluid, c_w the drag coefficient, A the cross sectional area and v *is* the speed of the sled.

The automatic brake system consists of a DC-motor which is connected to a permanent magnet. When the magnet is driven downwards over a conductive material, which is situated between the rails, eddy currents are generated and the sled is deaccelerated. The brake force can be approximated by the equation [1]

$$F_B = k_b\, b^2\, v\,. \tag{4}$$

In this equation the constant k_b summarizes the electrical and mechanical parameters of the eddy current brake.

The resulting force F_{res} is given by the sum of forces:

$$F_{res} = F_D - F_R - F_A - F_B \tag{5}$$

The resulting acceleration can now be determined by inserting formulas 1-4. By replacing the term $\tfrac{1}{2}\, \rho\, c_w\, A$ with the parameter k_l, this leads to

$$a_{res} = g\, \sin\alpha - c_R\, g\, \cos\alpha - m^{-1} k_l\, v^2 - m^{-1} k_b b^2 v. \tag{6}$$

Because both, the manual brake and the motor, act on the brake magnet, the maximum is taken to model its position. Rewriting this system in state space form

$$d\underline{x}/dt = \underline{f}(\underline{x},\underline{u}) \tag{7}$$

leads to the state equations

$$\begin{aligned} dx_1/dt &= x_2 \\ dx_2/dt &= g\, \sin x_3 - c_R\, g\, \cos x_3 - m^{-1} k_l\, x_2^2 \\ &\quad - m^{-1} k_b \max^2(x_4, u_2)\, x_2 \\ dx_3/dt &= d\alpha(x_1)/dt \\ dx_4/dt &= u_1 \end{aligned} \tag{8}$$

where x_1 is the position s of the sled and x_2 is its velocity. The slope α and the magnet depth are modeled as x_3 and x_4 respectively. The model inputs are the brake movement speed u_1 and the manually forced position of the brake magnet u_2.

EXTENDED KALMAN FILTER

The realized system contains a position sensor on the bottom of the sled, which is able to detect binary position marks, which are placed all over the track in fixed distances. The velocity is not directly measurable. Because the track profile stays constant all the time, information about the slope is also available. The depth of the magnet is only measurable, when the lever is not manipulated, because it is loosely coupled to the motor. When a rider brakes manually, the magnet could be in a lower position than the motor position feedback suggests.

So the state vector is not always available only by using measurements. To reconstruct the state vector or even the speed of the sled, which is the primary control variable, an observer has to be implemented. In this case the extended Kalman filter is used for this purpose [2]. In contrast to other kinds of observers, i.e. the Luenberger observer [3], the EKF can use the unlinearized system without further approximations for its prediction step. Also the uncertainties can be modelled by adding process noise w or measurement noise v to the discrete state equations:

$$\begin{aligned} \underline{x}_{k+1} &= \underline{f}(\underline{x}_k, \underline{u}_k) + w_k \\ \underline{y}_k &= \underline{f}(\underline{x}_k, \underline{u}_k) + v_k\,. \end{aligned}$$

For state estimation, the EKF uses a prediction and an update step. In the prediction step the next state of the system is estimated by using the current estimation and calculating the next state using the nonlinear but time discretized model.

IMPLEMENTATION

The plant and the EKF were both modeled using Simulink software. For implementing the EKF the Control System Toolbox was used [4]. This toolbox contains a block (Fig. 1), which implements a version of the EKF, where measurement inputs can be enabled or disabled to model sensors inputs, which are not available all the time. For the modelled system, this is very useful because the position measurements are not available in a continuous time interval. Also the measurement of the brake magnet is only assumed to be reliable when the brake lever is not manipulated. The manipulation of the lever can be detected by a sensor in binary form and this signal is used to disable the measurement of the motor feedback.

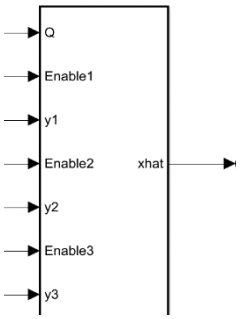


Fig. 1. *The EKF block of the Simulink Control System Toolbox consists of an input for the covariance Q, measurement inputs y and Enable inputs. The output xhat represents the state estimation.*

For simulating the plant, the state equations (8) were modeled using standard Simulink blocks. Because in the real system the brake magnet position is restricted due to mechanical boundaries, a limited integrator was used. As control input a signal with a defined motor velocity was generated.

To emulate the position sensor signal, the first component of the continuous state vector from the model is used. In discrete position distances, a short high level signal is generated, which is detected using a rising edge detection block. This can be viewed as an emulation of an interrupt triggered capture.

The two remaining measurements (the slope angle and the brake position) are taken directly from the state vector, because they are assumed to be directly detectable. To each emulated sensor signal, measurement noise is added. Furthermore, all sensor signals are fed through a rate transition block (zero order hold), which generates time discrete signals from continuous data.

For each sensor signal, an enable line for activating measurements in the EKF-block is generated. The position measurement is only available when a rising edge is detected. Also the slope angle is assumed to be available only on those track points. A manual brake action disables the measurement of the brake position.

Figure 2 shows the model including the EKF.

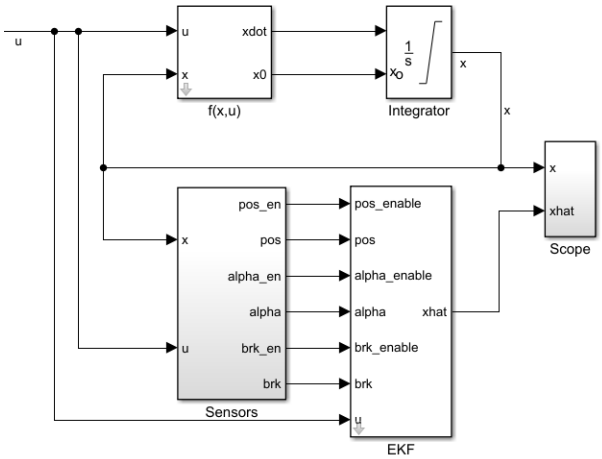


Fig. 2. *The enhanced model with added sensor emulation and the EKF*

SIMULATIONS AND RESULTS

For checking the plausibility of the model, the plant was simulated using three different track profiles, which can be analytically modelled: an inclined plane with constant slope, a varying slope using a cosine function and an exponentially falling function. The slopes were set regarding real track profiles. For checking the brake force, the parameter k_b was adopted to real data from test bench trials. Friction parameters were set to plausible values regarding comparable systems and materials. Figure 3 shows the simulation results for a constant slope with parameters set to m = 200kg, $c_R = 0.01$, $k_l = 0.36$ and $k_b = 10000$.

To prove the state estimation using the EKF, the simulation was carried out using different parameters in the simulated plant and the discretized model of the observer. Figure 4 shows the results for using the EKF. The plant parameters are equal to figure 3, but the EKF uses a parameter set of $m = 150$kg, $c_R = 0.02$,

$k_l = 0.54$ and $k_b = 8000$. The process covariance was set to diag(0.01, 0.01, 1e-4, 1e-6) and the measurement covariance to diag(0.01, 0.0001, 0.0001).

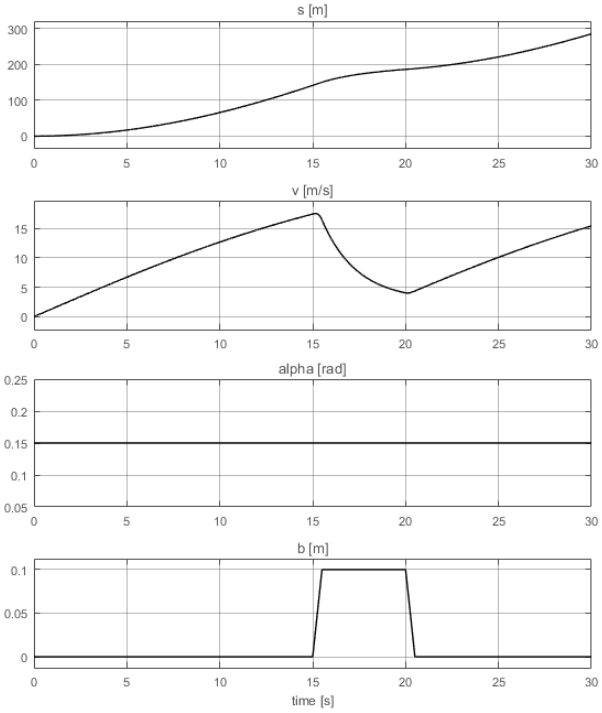


Fig. 3. *Simulation of the plant model: A sled is driving down a track with constant slope. After 15 seconds the brake magnet is driven to maximum depth. After 20 seconds the brake is released. The graph shows the components of the state vector.*

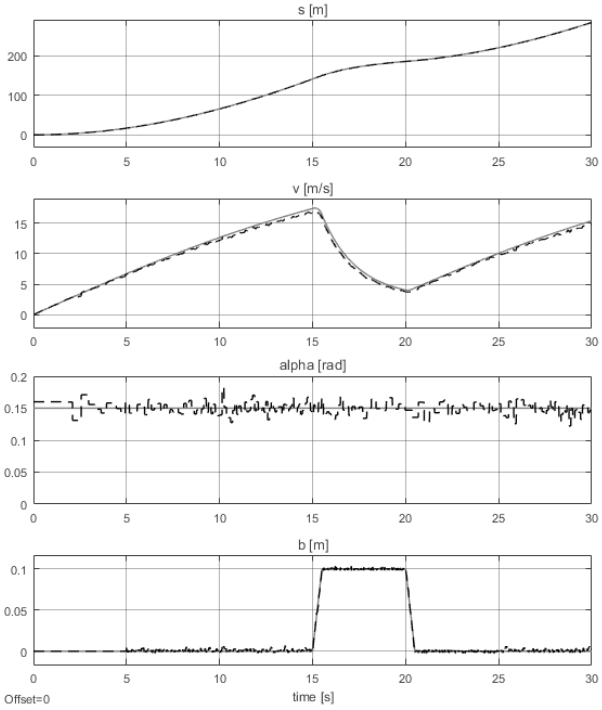


Fig. 4. *Simulation of the plant (grey solid line) and the estimated state (black dashed line) using the EKF.*

DISCUSSION AND CONSLUSIONS

Simulation results show, that the EKF seems to be an appropriate method to reconstruct the state vector from measurements with a given sensor configuration. Despite of using model generated data, the variation of parameters in a realistic range shows, that this approach could also work for real data. The plant was adopted to real data from brake measurements and friction parameters were used regarding similar systems and materials. The covariance matrix was estimated regarding expected variations of the sensor and plant data.

FURTHER WORK

The next step is to validate the model using real data recorded on a real track. To accomplish that, an embedded system with the possibility of storing raw data is being developed. After that, a controller for this nonlinear system has to be designed and tested.

REFERENCE

[1] Universität Stuttgart: Physikalisches Praktikum I, E45 Wirbelstrombremse. URL: http://www3.physik.uni-stuttgart.de/studium/praktika/ap/pdf_dateien/E45.pdf (24.09.2018)

[2] R.E. Kalman, B. Bucy: New results in linear filtering and prediction theory. In: Trans ASME, Series D, Journal of Basic Engineering(ASME). 83D, 1961, S. 98–108.

[3] D. G. Luenberger: Observing the state of a linear system. In: IEEE Transaction on Military Electronics. Band 8, 1964, S. 74–80.

[4] Mathworks. (2017). Control System Toolbox: User's Guide (r2017a).

SYNCHRONIZING of GENERATORS and SIMPLE APPLİCATION TO HOSPITAL

Ozgur MERCANLI [1], Hilmi KUSCU [2]
[1] *Trakya University, Mechanical Engineering Department, Edirne, TURKEY*
ozgurmercnlı@trakya.edu.tr
[2] *Trakya University, Mechanical Engineering Department, Edirne, TURKEY*
hilmi@trakya.edu.tr

Abstract
Synchronizing between power system and the generator must be set on time and carefully to prevent the damages on the system. By using the technology, we will see that cost is reduced therewithal can gain the time and prevent the faults of the technician. Technology improves the reliability, beneficial applicatıon of automation, and remote control of the system. We need to analyze our own system and make our choices according to economical costs and sustainability.

Keywords: Synchronizing, Phase difference, Power system, Electrical grid, Network

INTRODUCTION

Synchronizing between power system and the generator must be set on time and carefully to prevent the damages on the system. Both the frequency and the voltage of generator must be matched to system's previous frequency and the the voltage closely by the help of the rotor velocity and the exciting voltage provided around the rotor. Then generator's circuit breaker would be signaled by the control device to close the generator on to power system and at the same time open the breaker of the main. After isolating the generator from the main (network) it operates the take the load on to generator. That is the simple and traditıonal definition of the synchronous systems which is based on the discussion of this study applicate to the hospital.

Poor synchronizing cause damage the prime mover (diesel machine). Mechanical stress cause of rapid acceleration or deceleration while set the frequency (speed) to the power system. It causes the distortions such as power oscillations and voltage deviations than the nominal. Short circuits provide a high current which cause damages on the generator and the transformers. Also it prevents generator to stay online and pick up the load. Relays are affected by this condition and evaluate the system as in abnormal and trip the generator.

In this paper discusses about the technology whether it will reduce the cost or not and put approaches to interpret the beneficial advantages at the same time it helps us to find out the disadvantages of the complex automation systems.

Most of the generators systems have own control devices placed on the devices which used to control both the system and generator parameters until the optimum level to operate the breakers for synchronizing. Hence this paper interprets the generator, fault backup; co-aging, control of coupling switch and unloading were done with the help of PLC. Synchronization is done with microprocessors devices (synchronization devices) which are detailed in this study. Remote monitoring is

possible and technician mistakes are minimized.

1.1 CONSEQUENCES OF FAULTY SYNRONIZATION

Synchronous speed determined by the number of poles wound on the stator. The rotor creates a rotating magnetic field when the rotor turning and a field is applied [1]. When generator picks up the load electrical and mechanical system must be matched to each other and move together. Mechanical system is the primary mover as diesel device and frequency of voltage induced in the stator governed by rotor speed. Then the governor on the generator adjusts the speed of the primary mover so the rotor then connects the generator to system at the certain time.

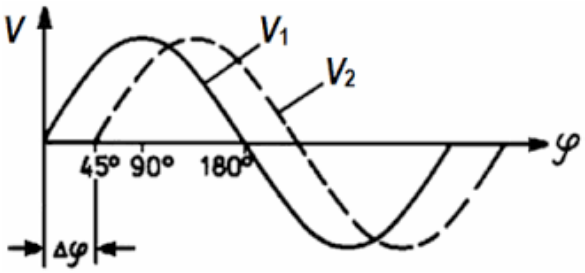


Figure 1. *Phase Angle Difference*

Fig. 1 shows the phase difference between 2 generators V1 the voltage of the generator 1 and V2 the voltage of the generator 1.Afi is the angle between 2 voltages.

IEEE standards C50.12 an C50.13 is about the refer the specifications for the construction of cylindrical-rotor and salient-pole synchronous generators that specify “Generators shall be designed to be fit for service without inspection or repair the synchronizing that is within the limits listed [2] [3].

- Angle +- 10 degrees
- Voltage 0 to 5 percent
- Slip +- 0,067 Hz

If the synchronization angle is more than 0 degrees’ breakers might close late and the governor triggers the primary mover to drive the rotor quıckly that will cause the transients torque on the mechanical system when erase the fault to set the lash. Transients torque in mechanical system is oscillation in electrical system.

Reactive power system has side effects on the generator system when the exciters are at manual. If the capacitors are online and the exciter is in manual mode they cause the distortion on the exciter which allows and set the magnitude of the voltage in wrong regulation way.

Another issue might occur in system is reverse power. If that might happen the primary mover stops to produce mechanical energy. Then the generators continue to turn synchronously as motor among the persisting conditions.

The phase sequence of the three phases of the alternator which is being connected to the power system bus must be same as the phase sequence of the three phases of the bus bar (or electric grid). This problem occurs mostly in the event of initial installation or after maintenance.

The RMS (root mean square-average) voltage of the incoming alternator should be same as the RMS voltage of the bus bar or electric grid. If the incoming alternator voltage is more than the bus bar voltage, there will be a high reactive power that flows from the generator into the grid.

If the incoming alternator voltage is lower than the bus bar voltage, generator absorbs the high reactive power from the bus bar.

1.2 SYNCHRONIZING SYSTEM COMPONENTS

The synchronizing system must assure the functions below

- Controlling governor to match the speed
- Control the exciter to match voltage
- Close the breaker almost zero-degree angle.
- Control phase sequence

These functions can be provided by the operator as manual, with the help of automation or both combined system as applied.

2. SYNCHRONİZİNG TECNIQUES

There are many techniques for synchronization. Typical and most common techniques listed below.

2.1 THREE DARK LAMP METHOD

This method based on the potential difference between the bus bar and the generator's source. Simply, first generator connected to bus bar. Lamps connect as parallel to each phase which also ends up with the load bar. Voltage observed by the help of the voltmeters which measure the voltage between two phases on each bus bar and generator2 line. If lamps go ON and OFF concurrently, referring that the phase sequence of generatoror-2 matches with bus bar. When all these parameters are set, the lamps become dark and then the synchronizing switch can be closed to synchronize generator-2 with genarator-1.Fig 2 shows the phase difference between 2 generators when both phases matched all lamps get dark.

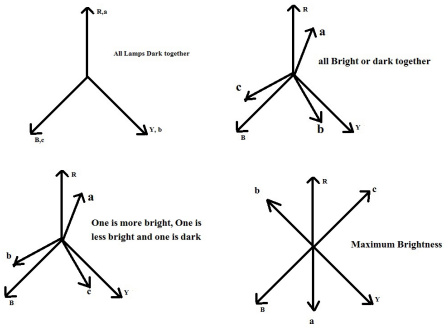


Figure 2. *Phase in Dark Lamp Method*

2.2 TWO BRIGHT AND ONE DARK LAMP METHOD

Here, the lamp L1 is connected across the pole in the middle line of synchronizing switch as similar to the dark lamp method, whereas the lamps L2 and L3 are connected in a transposed manner

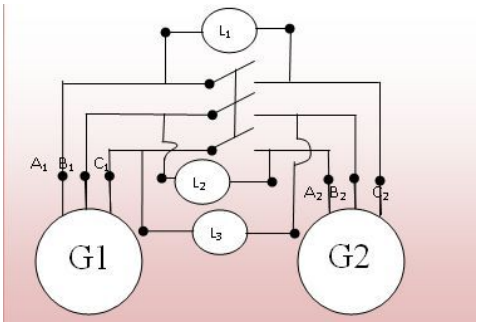


Figure 3. *2 Bright 1 Dark Lamp Method Connections*

Speed of the rotor is increased by the prime mover until the rate of flickering is brought down to as small as possible. The synchronizing switch is then closed at the instant when lamps L2 and L3 are equally bright and lamp L1 is dark. Connection of lamps is shown in the figure3.

2.3 SYNCHROSCOPE METHOD

The synchro scope evaluates the angle difference so that when the two voltages are in phase, the pointer points straight up (12 o'clock position). When the one of generator is running faster than the bus, the pointer rotates in the clockwise direction; when the generator is running slower than the system, the pointer rotates in the counterclockwise direction and set the speed to the ideal and optimizes frequency of system. However, the synchro scope cannot measure the voltage therefore voltmeters must be used to check the voltage. In figure 4 shows the simple synchro scope.

Figure 4. *Synchro scope*

3. AUTOMATİC SYNCHROZİNG SYSTEMS

An automatic synchronizer often includes generator control functions for frequency and voltage matching.

Modern synchronization equipment operates and fix synchronization procedure with the help of microprocessor based systems against manual lamps and synchro scope methods. These methods are easier to manage and more reliable. It's shown in fig4.

Designed for the most demanding applications, the device provides synchronization, load share, mains synchronization, soft transfer,

microprocessor control device AMF (uninterrupted transfer), ATS, remote start, engine control and remote display panel functionalities in a single unit. It is provided multifunctional combination and wide communication ability with low cost and reliability. Also the mustimeters contribute the device to measure and compare the voltage, frequency, current, reactive power of the bus bar, generator (1 to generator 32) lines. Its proven that this kind of devices able to synchronize the 32 generators at the same time.[4]. Modern automatic transfer panel is shown in fig 6 which synchronizes two generators with micro process devices and mustimeters.

Figure 5. *An example of microprocessor control device*

Two generators with 1000KVA self-excited, brushless 231/400 V internal combustion diesel engine located as electricity supplier of part of Trakya University Hospital is synchronized and will be plug in when general network will cut off. Furthermore, despite general electrical system power is not cut off, when the mains fluctuations will be out of allowed limits this system would transfer the load on to itself then contınue to work with the required value for the hospital equipment until system turns to normal parameters. Thus, it provides a sustainable energy in the system.

Generator, fault back up, co-aging, control of coupling circuit breaker and load disposal (unloading) and load sharing are done with this control system. Synchronization between the network and the generators is provided by the synchronization devices.

Figure 6. *Transfer Panel*

The power failure in the hospital is undesirable and the building's electrical infrastructure needs to be improved in order to avoid this problem.

Although the cost of investment is high, it is much more than the fact of human's fault. Improper operations and overloads on a single generator are shown as examples for those failures. There are many ways to reduce the cost. One of them is, instead of assembling a huge powerful single generator, it is also possible to put low-power generators in a synchronous provides to reduce this cost. This is due to the limited availability of large-scale internal combustion engines have limited production volume. Because the diesel engines up to 600kW, construction machinery, cranes, generators, fire pumps are used in applications such as the mass production band is produced. For this reason, because the production costs are low, the prices of the generators are cheaper than the larger power generators. Save the fuel and extend the mechanical life. In fig 5 shows that the optimum cost scale is between 200 and 715kVA for the generators.

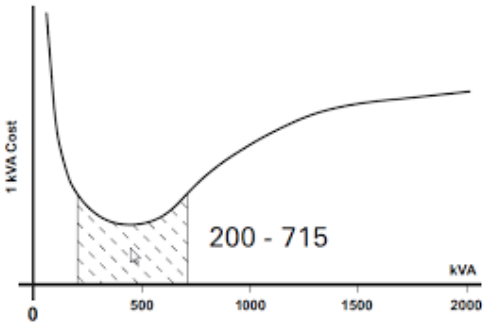


Figure 7. *Cost Graphic per kVA*

In that application both 2 of generators are 1000kVA. Since the system load generally consumes at a rate of %70 of the generator power, it is selected as 1000 kVA due to this ratio. And also not enough proper place to put the more generators together to reduce the cost and ıncrease the number of synchronized devices. As it's known convenient place need that the winding and cooling conditıons need to fit for generators to work permanently and persistently also.

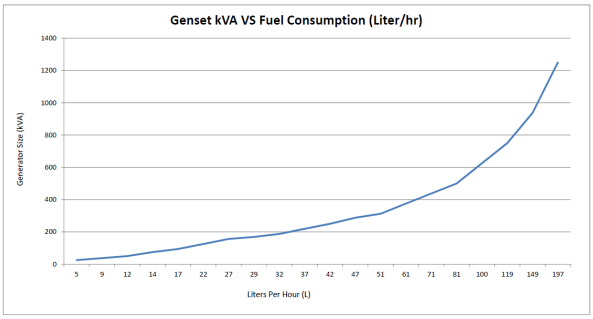


Figure 8. *Fuel Consumption lt/hr*

3. CONCLUSİON

If we do the synchronization correctly, we will avoid the destruction caused by systemic errors. By establishing the technical infrastructure, we can establish a suitable realistic and efficient working enterprise, facility, factory or hospitals. It should be ensured that automation is utilized by utilizing technology.

This study clarified that if the synchronization is correct, both investment costs and long-term operating costs can be reduced. For this, we have to use manpower and automation systems. Its advantages are more than its disadvantages and pave the way for its applicability.

We have to know our electrical system well and we have to transfer the systems and applications that provide suitable solutions to this system.

Synchronous generators must be connected to the power system only when the frequency difference, voltage difference, and angle difference and phase sequences are within acceptable parameters as like closer to zero.

REFERENCE

[1] M. J. Thompson, "Fundamentals and Advancements in Generator Synchronizing Systems" 3rd Annual Protection, Automation and Control World Conference Budapest, Hungary June 25–28, 2012

[2] IEEE Standard for Salient-Pole 50 Hz and 60 Hz Synchronous Generators and Generator/Motors for Hydraulic Turbine Applications Rated 5 MVA and Above, IEEE Standard C50.12-2005.

[3] IEEE Standard for Cylindrical-Rotor 50 Hz and 60 Hz Synchronous Generators Rated 10 MVA and Above, IEEE Standard C50.13-2005

[4] Datacom Synchronization Unit, Gen-set Synchronization Controller http://www.datakom.com.tr/d-700-advanced-genset-synchronization-controller/64/136/ProductDetails?lang=5 Reference source. Reference source. Reference source.

PID CONTROLLER WITH NOISE FILTER DESIGN BASED ON PSO OPTIMIZATION ALGORITHM–SISO SYSTEM WITH INTEGRATOR CASE

Aleksandar D. Micić[1], Jordan N. Radosavljević[1],
[1] *Faculty of Technical Sciences, University of Priština, K. Mitrovica, Serbia*

Abstract
The PID controller with noise filter design using PSO optimization based on the frequency response of a process model Gm(jω), and maximization of the proportional gain, under constraints on the desired sensitivity to measurement noise, desired maximum sensitivity and desired maximum complementary sensitivity. The effectiveness of this method was illustrated by the simulation SISO process with integrator in the loop with the optimized PID controllers with the first-order and second-order noise filters. The set-point and load disturbance step responses are fast with small overshoot.

Keywords: PID control optimization, Noise filter, Measurement noise, Integrator, Robustness.

INTRODUCTION

For design PID controller with the different-order noise filter, based on optimization, a new effective optimization algorithm, named PSkO, was proposed under constraints on the sensitivity to measurement noise and robustness [1]. The PSkO algorithm is used here to analyze the impact of the noise filtering on the performance/robustness tradeoff. Algorithm and simulation results are presented.

EXPOSITION

The model of process $G_p(s)$, named $G_m(s)$, used in the present paper, is defined in [2] by the four parameters k_u, ω_u, φ, A,

$$G_m(s)=\frac{A\omega_u e^{-\tau s}/k_u}{s^2+\omega_u^2-A\omega_u e^{-\tau s}},$$
$$A=\frac{\omega_u k_u G_p(0)}{1+k_u G_p(0)},\quad \tau=\frac{\varphi}{\omega_u} \qquad (1)$$

where φ is the angle of the tangent to the Nyquist curve $G_p(i\omega)$ at the ultimate frequency ω_u, and k_u is the ultimate gain of the process $G_p(s)$. The model $G_m(s)$ is an effective extension of the Ziegler-Nichols process dynamics characterization, guaranteeing an excellent approximation of the Nyquist curve $G_p(i\omega)$ in a large region around the ultimate frequency ω_u, presented in Fig. 1.

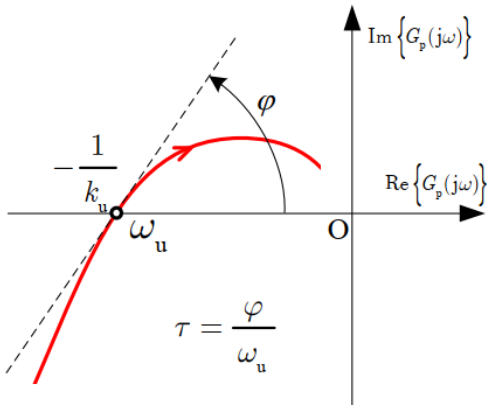


Fig. 1. *Illustration of tangent rule.*

The PID controller $C(s,q)$, are defined here by parameters $q=\{k,k_i,k_d,T_f\}$ and the following implementation

$$U(s)=k\big(bR(s)-Y_f(s)\big)+\frac{k_i}{s}\big(R(s)-Y_f(s)\big)-k_d s Y_f(s),$$
$$Y_f(s)=F(s)Y(s) \qquad (2)$$

with b=0 if not stated otherwise. The LP filter $F(s)=F_n(s)$ is defined by the

$$F_n(s)=\frac{1}{(T_f s+1)^n},\ n=1,2 \qquad (3)$$

The optimal performance/robustness tradeoff is defined by the two performance indices, IAE and M_n, and by the two robustness indices, M_s and M_p. The load step disturbance and the IAE are defined by

$$Y_{\mathrm{d}}(s,q)=\frac{G_{\mathrm{x}}(s)}{1+C(s,q)G_{\mathrm{x}}(s)}\frac{1}{s}$$

$$IAE(q)=\int_0^{\infty}\left|y_{\mathrm{d}}(t,q)\right|dt \qquad (4)$$

The effect of the load step disturbance is defined by the index [3]

$$J_{\mathrm{d}}(q)=\max_{\omega}\left|Y_{\mathrm{d}}(\mathrm{i}\omega,q)\right| \qquad (5)$$

For the loop-transfer function defined by $C_{\mathrm{L}}(s)$,parameters M_{s} and M_{p}, and if the first-order noise filter is applied in the PID controller, parameter $M_{\mathrm{nz}}=M_{\mathrm{n}\infty}$, are given by:

$$C_{\mathrm{L}}(i\omega,q)=C(i\omega,q)G_m(i\omega)$$

$$S(i\omega,q)=\frac{1}{1+C_{\mathrm{L}}(i\omega,q)} \qquad (6)$$

$$M_S=\max_{\omega}\left|S(i\omega,q)\right|,\ M_p=\max_{\omega}\left|1-S(i\omega,q)\right| \qquad (7)$$

$$M_{\mathrm{n}}=\max_{\omega}\left|C(\mathrm{i}\omega,q)S(\mathrm{i}\omega,q)\right| \qquad (8)$$

For the PID controller $C(\mathrm{i}\omega,q)$ with first-order noise filter $F(s)$, M_{n} can be defined as the sensitivity to the high frequency measurement noise

$$M_{\mathrm{n}\infty}=lim_{s\to\infty}C(s,q) \qquad (9)$$

But, $M_{\mathrm{n}\infty}=0$ when the second-order or higher order noise filter $F(s)$ is applied in the PID controller (2). In this case, the sensitivity to measurement noise $M_{\mathrm{n}}=M_{\mathrm{n}2}$ is defined by the integral

$$M_{n2}=\sqrt{\frac{1}{\omega_C}\int_{\varepsilon}^{\omega_c}C_{\mathrm{u}}(\mathrm{i}\omega,q)C_{\mathrm{u}}(-\mathrm{i}\omega,q)d\omega}\ ,$$

$$C_u(i\omega,q)=C(i\omega,q)S(i\omega,q) \qquad (10)$$

Measurement noise can be modelled as band-limited white noise $n_{\mathrm{w}}(t)$ with the cutoff frequency ω_{c}. The noise $n_{\mathrm{w}}(t)$ is obtained from the Band-Limited white noise generator defined by the "noise power" b_{w}=PSD and sample time T_{s}, discussed in detail in Appendix. The cutoff frequency ω_{c} of this band-limited white noise is defined by

$$\omega_C=\frac{\pi}{T_s},\ T_s\approx\frac{T_{\mathrm{f}0}}{N_{\mathrm{C}}},\ N_{\mathrm{C}}=2 \qquad (11)$$

where $T_{\mathrm{f}0}$ is the value of the noise filter time constant in the PID controller. Sensitivity to measurement noise $M_{\mathrm{n}2}$ can be interpreted as

$$M_{\mathbf{n2}}=\sqrt{\sigma_{\mathbf{u}}^{\mathbf{2}}/\sigma_{\mathbf{n}}^{\mathbf{2}}} \qquad (12)$$

where $\sigma_{\mathbf{u}}^2$ i $\sigma_{\mathbf{n}}^2$ are variances of controler output signal and measurement white noise on band-limited frequency range[1, Appendix A].

Sensitivity $M_{\mathrm{n}2}$ in (9) is calculating using numerical integration with ε=0.001.

PID controller design based on PSkO optimization algorithm is defined by [1]

$$q=\arg\left\{\min_{q}\left(\frac{1}{|k|}+\lambda_0\sum\nolimits_1^4\psi_i(\chi_i-\chi_{i\mathrm{d}})\right)\right\} \qquad (13)$$

$$\psi_{\mathrm{i}}(\chi_{\mathrm{i}}-\chi_{\mathrm{id}})=\begin{cases}0 & for\ \chi_{\mathrm{i}}\le\chi_{\mathrm{id}} \quad i=1,2,3\\ 0 & for\ 1<\chi_{\mathrm{i}}<1.01 \quad i=4\\ \chi_{\mathrm{i}}-\chi_{\mathrm{id}} & for\ \chi_{\mathrm{id}}<\chi_{\mathrm{i}} \quad i=1,2,3\\ 1 & \chi_{\mathrm{i}}\le 1\ or\ 1.01\le\chi_{\mathrm{i}} \quad i=4\end{cases} \qquad (14)$$

where $G_{\mathrm{p}}(\mathrm{i}\omega)$ is the frequency response of the process, $\lambda_0=10^{10}$, $\chi_1=M_{\mathrm{s}}$, $\chi_{1\mathrm{d}}=M_{\mathrm{sd}}$, $\chi_2=M_{\mathrm{p}}$, $\chi_{2\mathrm{d}}=M_{\mathrm{pd}}$, $\chi_3=M_{\mathrm{n}2}$, $\chi_{3\mathrm{d}}=M_{\mathrm{n}2\mathrm{d}}$, and $|Y_{\mathrm{d}}(\mathrm{i}\omega,q)|=|G_{\mathrm{p}}(\mathrm{i}\omega)S(\mathrm{i}\omega,q)/\mathrm{i}\omega|$. Where with subscript d is denoted the desired values of $M_{\mathrm{n}2\mathrm{d}}$, M_{sd} and M_{pd}. Parameters defined in [1, Appendix B] are applied as initial values $q_0=\{k_0, k_{\mathrm{i}0}, k_{\mathrm{d}0}, T_{\mathrm{f}0}\}$ for optimization (12)-(13), and define $\mathrm{PID_{tun}}$ controller with first-order noise filter. From $\mathrm{PID_{tun}}$ controller increasing filter order and increasing filter time constant T_{f} in (3) we reduce the control signal (controller output signal) activity to the desired level.

An good performance measure about a reduction of the control signal activity is obtained by the visual inspection of the control signal derivatives, defined by $\Delta\mathrm{u}(k)=\{u(kT_{\mathrm{s}})-u((k-1)T_{\mathrm{s}})/T_{\mathrm{s}}$, for the sample time T_{s} and $k=1,2,...,K$, $K=T_{\mathrm{sim}}/T_{\mathrm{s}}$, where T_{sim} is the time of simulation. Another measure of control signal activity is the variance of the difference of control signal $\Delta u(k)=\mathrm{u}(kT_{\mathrm{s}})-u((k-1)T_{\mathrm{s}})$ is defined by $\sigma_{\Delta u}^2=\sum_{k=1}^{K}\left(\Delta u(k)\right)^2/K$ for $K=T_{\mathrm{sim}}/T_{\mathrm{s}}$. When the desired reduction of the control signal activity is obtained, the desired $M_{\mathrm{n}2\mathrm{d}}$ is calculated and defined together with the desired values M_{sd} and M_{pd}.

Next, we applied PSkO constrained optimization procedure (13)-(14) to obtain final $\mathrm{optPID_f}$ controller.

The proposed procedure is analyzed here by simulation of the integrating $G_{\mathrm{p}2}(s)$ processes $G_{\mathrm{p}}(s)$. The satisfactory reduction of the control signal activity is obtained for the $\mathrm{PID_f}$ controller, with n=2, defined by gains k_0, $k_{\mathrm{i}0}$, $k_{\mathrm{d}0}$ and $T_{\mathrm{f}}=gT_{\mathrm{f}0}$, g=1. Further improvement a performance of control system was obtained applying PSkO constrained optimization

procedure. Additionally reduction of control signal activity is possible with increasing parameter g, i.e. filter time constant, but this leads to deterioration other performance measures of control system, like speed of response to reference step and elimination of load step disturbance. This is clearly presented in Table 1 on a next page.

It is important to highlight here a fact that constrains in PSkO optimization procedure have clear physical interpretation. This is also important form engineering point of view. If designer want fast rejection of the load disturbance signal and fast tracking of reference signal, then designer set higher values of M_{sd} and M_{pd}. If greater variation of the dead-time or the process gain is expected, the designer will specify the desired performance with lower values of M_{sd} and M_{pd}, to obtain a robust tuning. If designer set higher values of M_{n2d}($M_{n\infty d}$), then result is faster rejection of the load disturbance and higher control signal activity, and vice versa. If the actuator requires the small control signal variation, the PID controller with n=2 must be applied. PID with small filter time constant and low filter order can tolerate significant control signal activity.

SIMULATION ANALYSIS

In this section the set-point and load disturbance step responses of integrating processes $G_p(s)$ and the corresponding models model $G_m(s)$, in the loop with different type of controllers, are compared. It is demonstrated that almost the same performance/robustness tradeoff is obtained if the model $G_m(s)$ is used instead of the process $G_p(s)$. The integrative process is analyzed

$$G_p(s) = \frac{e^{-0.5s}}{s(1.2s+1)^3} \tag{15}$$

Parameters defining the model (15) are given by: k_u=0.5640, ω_u=0.4080, τ=1.7647, A=0.4080. PID_{tun} controller parameters was obtained applying tuning formulae in [1]. PID_f controller parameters are same as PID_{tun} except filter order is increased to n=2, in order to reduce controller output signal variance. Finally, PSkO algorithm was applied, with initial values of PID controller parameters in previous case, and $optPID_f$ controller was obtained. Performance/robustness indices and parameters of PID controllers are presented in Table 1.

CONCLUSION

In this paper we analyzed proposed PID controller with filter noise design. In order to reduce control signal activity, with small degradation performance/robustness trade-off, design goal was to find a parameters of regulator and filter noise order and time constant. Design is based on Particle Swarm Optimization. Reducing a control signal activity will reduce actuator wear a prolong service intervals for actuator change. In order to further reducing a control signal activity. Research efforts in future investigation will be implementation a more complex noise filters, with small degradation of control system performance/robustness. Fig.2 represents response and control signal derivatives of three proposed PID controllers.

ACKNOWLEDGEMENTS

A.D. Micić gratefully acknowledge the financial support from Serbian Ministry of Science and Technology (Project III 47016).

Table 1. Parameters and performance/robustness tradeoff obtained by the PID controllers used to obtain closed-loop responses in Fig. 2 , PSD=3e-4, and b=0 in (2).

G_p(s)/PID	n	T_s	$M_{n\infty}$	M_{n2}	M_s	M_p	IAE	k	k_i	k_d	T_f
G_p/PID_{tun}	1	0.1	3.36	-	2.23	1.62	32.2	0.3712	0.0313	0.8240	0.2451
G_p/PID_f	2	0.1	0	1.08	2.55	1.91	32.1	0.3712	0.0313	0.8240	0.2451
$G_p/optPID_f$	2	0.1	0	1.28	1.99	1.56	39.7	0.3008	0.0305	0.7878	0.2062

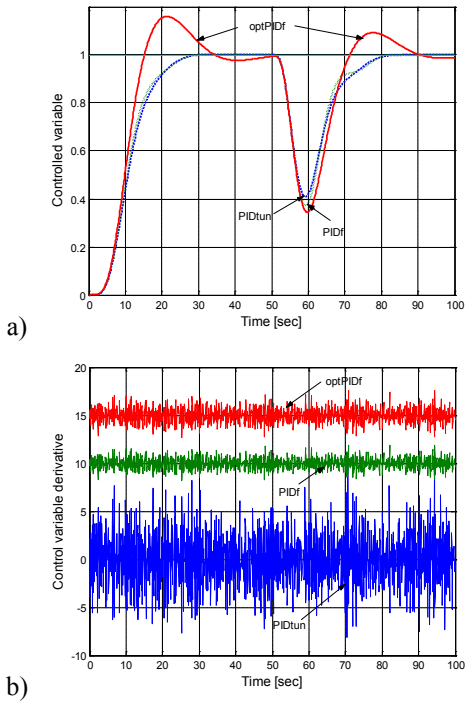


Fig. 2. *Responses of the integrating process $G_p(s)$ in the loop with PID_{tun}, PID_f, $optPID_f$ in Table 1: a) Set-point and load step disturbances, the load step D(s)= -0.2exp(-50s)/s; b) control signal derivative (biases are inserted for PID_f, $ptPID_f$), PSD=0.0003 and T_s=0.1.*

REFERENCE

[1] A. D. Micić, M.R. Mataušek, "Optimization of PID controller with higher-order noise filter", *Journal of Process Control*, Vol.24, Issue 5, May 2014, pp 694-700.

[2]T.B. Šekara and M.R. Mataušek, "Revisiting the Ziegler-Nichols process dynamics characterization", J. Process Control Vol. 20, Issue 3, pp. 360-363, 2010.

[3] Kristiansson, B. Lennartson, Evaluation and simple tuning of PID controllers with high-frequency robustness, J. Process Control 2006; 16:91-102.

УПРАВЛЕНИЕ НА МАНИПУЛАТОР С 3 СТЕПЕНИ НА СВОБОДА С RASPBERRY PI И CODESYS

Станимир Йорданов[1], Веселин Митев [2] , Теодор Ковачев[3]
[123]*Технически Университет Габрово*

CONTROL OF A MANIPULATOR WITH 3 DEGREES OF FREEDOM WITH RASPBERRY PI AND CODESYS

Stanimir Yordanov[1], Veselin Mitev[2] , Teodor Kovachev[3]
[1 2 3] *Technical University of Gabrovo*

Abstract

The given article covers the general formulations forward and inverse kinematic problems for robot motion control systems. We have discussed the difficulties how to solve such problems using analytical and numerical methods. The developed algorithms have been tested in the management of a laboratory model of a robotic arm with 3 axles in freedom.

Keywords: realtime control, raspberry pi, CoDeSys, robot arm.

ВЪВЕДЕНИЕ

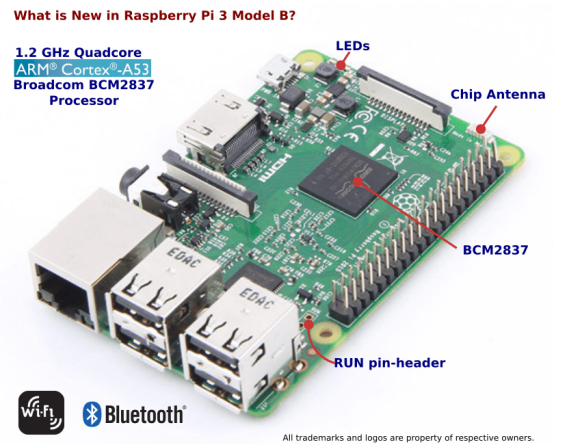
Роботизираните системи намират все по-голямо приложение в машиностроенето, автомобилостроенето и други отрасли на индустрията. Те заместват човека в все по-тежки, опасни или повторяеми операции. Намират приложение в дейности като заваряване, асемблиране, боядисване, обслужване на машини и др.

Работата с по-висока скорост и по-високите съотношения между полезния товар и теглото изискваха по-добро разбиране на сложната, взаимосвързана нелинейна динамика на роботите. Тази динамика в развитието на робототехниката изисква търсенето на нови методи и подходи от теорията на нелинейните и адаптивни системи за управление на сервозадвижванията в роботите. Един от тези подходи е управлението на базата на модели, включително компенсацията на кинематичната грешка, оптималното управление на сервосистемите и захранването. В настоящата статия се разглежда един подход за управление на робот-манипулатор с помощта на PLC изградено на базата на вградена система Raspberry Pi и програмирано с CoDeSys.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Raspberry Pi [4] е едночипов компютър разработен във Великобритания за популяризиране на обучението по компютърни науки. Той се състои от процесор, графичен процесор и RAM памет. Тя е различна за различните модели като започва от 256MB за първите версии и достига до 1GB за последния модел Raspberry Pi 3 Model B. Последната версия е изградена с процесор Broadcom BCM2837 с четири ядрено ARM Cortex A53 (ARMv8) ядро. Тактовата честота е 1.2 GHz и RAM памет от 1GB. Мрежовият интерфейс се състои от 10/100 MBit/s адаптер както и с вграден 802.11n wireless модул.

Чрез софтуерният продукт CODESYS Control for Raspberry Pi SL‘, RaspberryPi се превръща в програмируем логически контролер (PLC).



Фиг. 1. *Едноплатков компютър Raspberry Pi 3*

Controller Development System – CoDeSys

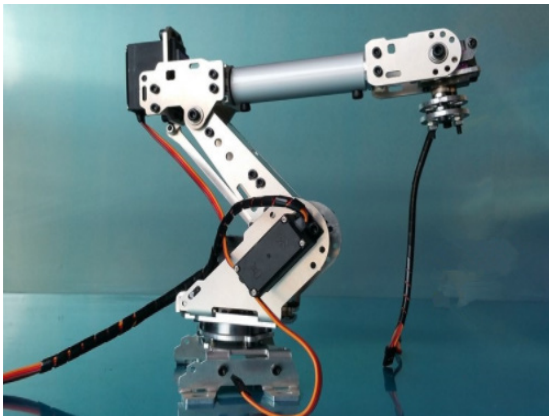
CoDeSys е софтуерна платформа за разработване на приложения за програмируеми логически контролери (PLC). Системата е базирана на международен индустриален стандарт IEC 61131-3. Поддържат се всичките езици за програмиране дефинирани в стандарта.

За програмиране на Raspberry Pi чрез CoDeSys е необходимо инсталиране на софтуерен пакет CODESYS Control for Raspberry Pi SL [5].

Обект за управление

Като обект за управление е избрана роботизирана ръка с 3 степени на свобода. Тя се задвижва от 4 серво двигателя MG996R за управление на основа, рамо. Серводвигателите, използвани в макета представляват постояннотокови двигатели със свързан потенциометър в изходния вал. Така изходната позиция постоянно се сравнява със зададената от контролера за управление. Всяка разлика между двете стойности поражда грешка в съответната посока, която кара серводвигателя да коригира позицията си. MG996R е стандартно сервозадвижване с висок въртящ момент и с ъгъл на завъртане от 120° (по 60° във всяка посока). Захранващото напрежение на двигателя е от 4,8-7,2 VDC. Управлението на позицията се извършва чрез широчинно-импулсна модулация.

Към двигателя се подават сигнали с честота 50Hz (20ms период). В зависимост от ширината на импулса (Duty cycle) двигателя променя ъгъла си на завъртане.



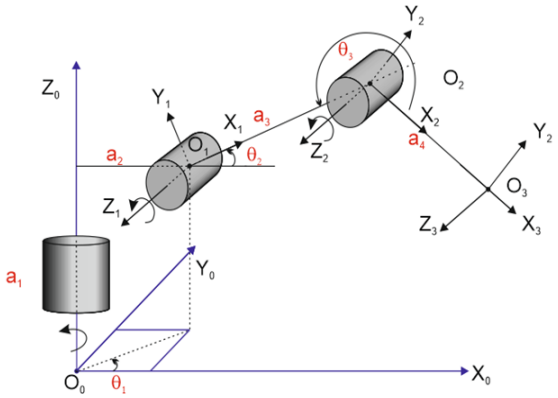
Фиг. 2. *Манипулатор с три степени на свобода*

Пълният обхват на завъртане от -60° до 60° се получава при ширина на импулса от 1ms до 2ms. Така при 1ms има завъртане на -60°, при 1,5ms оста се завърта на 0°, а при 2ms на 60°.

Фиг. 3. *серво двигател MG996R*

Изработването на импулсите за управление на всеки двигател се осъществява от драйвер на фирмата Adafruit. Той представлява 16-канален 12-битов I2C – PWM контролер, базиран на LED Controller PCA9685.

Кинематика на обекта



Фиг. 4. *Кинематична схема на манипулатора*

На фигура 4 е показана кинематичната схема на манипулатор с три степени на сво-

бода. На схемата с 0, 1 и 2 са обозначени базовата, раменната и лакетната става. Инструментът се намира на фрейм с номер 3. Трите звена имат ъгъл на завъртане съответно θ_1, θ_2 , θ_3. За управлението на една роботизирана ръка, от гледна точка на кинематиката, трябва да се решат две основни задачи, описващи движението:

- При зададени ъгли на завъртане на звената на манипулатора (основа, рамо, лакът), да се намери положението на инструмента в пространството – *Кинематика в права посока*.

- При зададена позиция на инструмента (X,Y,Z), да се намерят съответните ъгли на завъртане на звената на манипулатора – *Кинематика в обратна посока*.

Кинематика в права посока

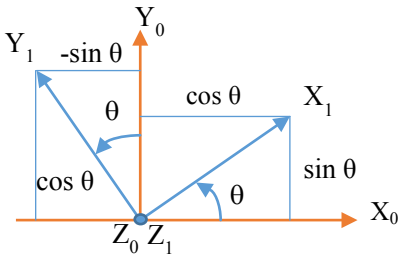
За да се намери позицията на инструмента в пространството е необходимо съставяне на математически модел описващ движението [1,2,3]. Той се представя с матрица, описваща ротацията и преместването на звената, наречена **хомогенна трансформираща матрица.**

$$H_n^m = \begin{bmatrix} R_n^m & d_n^m \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (1)$$

Където: R_n^m е ротационна матрица - даваща информация как едното звено е завъртяно спрямо предходното, а d_n^m е вектор на отместване – показващ, отместването на звено спрямо предходното звено.

Ротационна матрица

В роботиката ротационната матрица дава представата как една координатна система (фрейм) е завъртяна спрямо друга. Тя представлява квадратна матрица с 3 реда и три колони (3x3). Всяка колона е проекцията на съответната ѝ ос, спрямо предходния фрейм.



***Фиг. 5**. Графично разположение на два фрейма*

$$R_1^0 = \begin{matrix} \\ x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{matrix} \begin{matrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ \lceil \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare \rceil \\ \lfloor \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare \rfloor \end{matrix} \qquad (2)$$

На фигура 5 са представени два фрейма, завъртени един спрямо друг на ъгъл θ. За да се попълни матрицата се приема, че дължината на всяка ос е равна на 1. Така всяка проекция може да се определи с тригонометрични функции. Проекцията на X_1 спрямо X_0 е cos θ. Проекцията на X_1 спрямо Y_0 е sin θ. X_1 е перпендикулярна на Z_0. Това означава, че проекцията и е равна на нула.

$$R_1^0 = \begin{matrix} \\ x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{matrix} \begin{matrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ \lceil \cos\theta & \blacksquare & \blacksquare \rceil \\ \lfloor \sin\theta & \blacksquare & \blacksquare \rfloor \\ \lfloor 0 & \blacksquare & \blacksquare \rfloor \end{matrix} \qquad (3)$$

Y_1 също е завъртян с ъгъл θ спрямо Y_0. Така проекцията на Y_1 спрямо X_0 е $\sin\theta$, но тъй като посоката на завъртане е отрицателна, се получава $-\sin\theta$. Проекцията на Y_1 спрямо Y0 е cos θ. Y_1 е перпендикулярна на Z0, проекцията ѝ е 0.

$$\begin{matrix} \\ x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{matrix} \begin{matrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ \lceil \cos\theta & -\sin\theta & \blacksquare \rceil \\ \lfloor \sin\theta & \cos\theta & \blacksquare \rfloor \\ \lfloor 0 & 0 & \blacksquare \rfloor \end{matrix} \qquad (4)$$

За последната колона се спазва същото правило. Z_1 е перпендикулярна на X_0 и на Y_0, за това проекцията и е нула. Z_1 е успоредна на Z_0, нейната проекция е пълната дължина на оста Z_1 т.е. 1.

$$\begin{matrix} \\ x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{matrix} \begin{matrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ \lceil \cos\theta & -\sin\theta & 0 \rceil \\ \lfloor \sin\theta & \cos\theta & 0 \rfloor \\ \lfloor 0 & 0 & 1 \rfloor \end{matrix} \qquad (5)$$

Получената матрица R_1^0 показва, че всички оси се завъртат на ъгъл θ, спрямо оста Z. Така могат да се съставят три елементарни ротационни матрици, при ротация само по една ос:

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix},$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix},$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

При ротация на повече от една ос, трансформацията се опростява до завъртане по основните оси. Съставят се съответните елементарни ротационни матрици. Общата ротационната матрица се получава, като се умножат съответните матрици.

$$R_1^0 = R_x * R_y * R_z \quad (6)$$

За да се намери ротационната матрица на цялата система т.е. да се намери матрицата от фрейма на инструмента към базовият фрейм е необходимо да се намерят ротационните матрици на всички звена. Общата ротационна матрица, показваща как последното звено е завъртяно спрямо базовото, се намира като се умножат ротационните матрици на всички звена, започващи от базовото и завършващи с инструмента.

$$R_3^0 = R_1^0 R_2^1 R_3^2 \quad (7)$$

Важен момент при определяне на матриците е определяне ориентацията на всички оси. Има 4 правила, по които се извършва това:

Правило 1: Оста Z е оста на въртенето във въртящо се звено или посоката на движението в движещо се звено.

Правило 2: Оста X трябва да е перпендикулярна на оста Z на текущото звено и перпендикулярна на Z оста на предходното звено.

Правило 3: Всеки фрейм трябва да спазва правилото на дясната ръка както следва: с изпъната дясна ръка и пръсти, сочещи по оста X, палец, сочещ по оста Z, а дланите сочат оста Y.

Правило 4: Всички X оси трябва да пресичат Z осите на предходния фрейм.

Общата ротационната матрица на звеното е съставена от две части. Първата част показва каква е позицията на звеното, спрямо предходното при ъгъл на завъртане 0°. Втората част е съответната ротационна матрица Rx, Ry или Rz.

За трите звена се получава:

$$R_1^0 = R_{Z_0} * R_0^1 0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_1^2 = R_{Z_1} * R_1^2 0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$R_2^3 = R_{Z_2} * R_2^3 0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Вектор на изместване (Displacement Vector)

Ротационната матрица показва как е завъртян инструмента на манипулатора, спрямо координатната система на базовото звено. Но в движението на инструмента освен ротацията, той променя и своята позиция. Ротационната матрица не дава информация как се променя тя. Тази задача се изпълнява от вектора на изместване d и представлява матрица с 3 реда и една колона.

$$\mathrm{d}_\mathrm{n}^\mathrm{m} = \begin{bmatrix} \mathrm{X}_\mathrm{n}^\mathrm{m} \\ \mathrm{Y}_\mathrm{n}^\mathrm{m} \\ \mathrm{Z}_\mathrm{n}^\mathrm{m} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Първият ред на матрицата показва каква е относителната позиция на звено m към звено n по оста X, втория ред – по оста Y и третия ре – по оста Z. Векторите на изместване на изследвания обект са:

$$\mathrm{d}_1^0 = \begin{bmatrix} \mathrm{a}_2 * \cos\theta_1 \\ \mathrm{a}_2 * \sin\theta_1 \\ \mathrm{a}_1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\mathrm{d}_2^1 = \begin{bmatrix} \mathrm{a}_3 * \cos\theta_2 \\ \mathrm{a}_3 * \sin\theta_2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$d_3^2 = \begin{bmatrix} a_4 * \cos\theta_3 \\ a_4 * \sin\theta_3 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Homogeneous Transformation Matrix

За всяко звено, след базовото, се съставя хомогенна трансформираща матрица (1) даваща информация за положението на звеното спрямо предходното. Така за манипулатор с три оси на свобода (три звена) се получават три отделни матрици.

$$H_1^0 = \begin{bmatrix} R_1^0 & d_1^0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, H_2^1 = \begin{bmatrix} R_2^1 & d_2^1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, H_3^2 = \begin{bmatrix} R_3^2 & d_3^2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

За възел 1 матрицата се получава:

Ротационна матрица Вектор на преместване

$$H_1^0 = \begin{bmatrix} R_1^0 & d_1^0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & a_2 * \cos\alpha\theta_1 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & a_2 * \sin\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 & a_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

За възел 2

$$H_2^1 = \begin{bmatrix} R_2^1 & d_2^1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & a_3 * \cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & a_3 * \sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

За възел 3

$$H_3^2 = \begin{bmatrix} R_3^2 & d_3^2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & a_4 * \cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & a_4 * \sin\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Общата матрица се получава при умножение на матриците на всички звена. Получава се матрица с четири реда и четири стълба, даваща информация за положението на инструмента (последното звено) спрямо базовата координатна система.

$$H_3^0 = H_1^0 * H_2^1 * H_3^2 \quad (16)$$

След умножението на трите матрици се получава квадратна матрица с 4 реда и 4 колони. Позицията на инструмента се намира на 4 колона, както следва:

$$X = H_0^3\ [1,4],\ Y = H_0^3\ [2,4],\ Z = H_0^3\ [3,4] \quad (17)$$

Програмна реализация на правата задача

Поради повишения брой математически уравнения с помощта, на които се управляват серво двигателите, задвижващи звената на роботизираната ръка, е избран език за програмиране Structured text. Той позволява лесна работа със сложни математически функции.

Кинематиката в права посока е решена по два метода. За намиране на позицията на инструмента е необходимо съставянето на хомогенни трансформиращи матрици за трите звена.

Функцията *ForwardKinematic_V1* приема като параметър структура от моментното състояние на ъглите, сключени между звената на манипулатора и връща координатите на инструмента в координатната система на базата. Като променливи за функцията се декларират трите ротационни матрици (R01, R02, R03), трита вектора на изместване (d01, d02, d03) и трите хомогенни трансформиращи матрици (H01, H02, H03). Ротационните матрици се декларират като двумерен масив с размер 3x3. Вектора на изместване се декларира като двумерен масив от 3 реда и 1 колона - 3x1. Кодът реализиращ правата киниматична задача в среда на CodeSys е:

```
FUNCTION ForwardKinematic_V1:
                        Coordinates
VAR_INPUT
    inputs   :   ArmAngles;
END_VAR
VAR
    inputsRadians  : ArmAngles;
    R01: ARRAY[1..3,1..3] OF REAL;
    R02: ARRAY[1..3,1..3] OF REAL;
    R03: ARRAY[1..3,1..3] OF REAL;
    d01: ARRAY[1..1,1..3] OF REAL;
    d02: ARRAY[1..1,1..3] OF REAL;
    d03: ARRAY[1..1,1..3] OF REAL;
    H01: ARRAY[1..4,1..4] OF REAL;
    H02: ARRAY[1..4,1..4] OF REAL;
    H03: ARRAY[1..4,1..4] OF REAL;
    H12: ARRAY[1..4,1..4] OF REAL;
    H  : ARRAY[1..4,1..4] OF REAL;
END_VAR
inputsRadians.Base:=
     DegToRad(Val:=inputs.Base);
inputsRadians.Elbow:=DegToRad(
     Val:=-180.0+inputs.Elbow);
inputsRadians.Shoulder:=
   DegToRad(Val:=inputs.Shoulder);
// Ротационна матрица на основата
R01[1,1]:=COS(inputsRadians.Base);
R01[1,2]:=0;
R01[1,3]:=SIN(inputsRadians.Base);
R01[2,1]:=SIN(inputsRadians.Base);
R01[2,2]:=0;
R01[2,3]:=-COS(inputsRadians.Base);
R01[3,1]:=0; R01[3,2]:=1;R01[3,3]:=0;
// Ротационна матрица на рамото
R02[1,1]:=COS(inputsRadians.Shoulder);
R02[1,2]:=-SIN(inputsRadians.Shoulder);
R02[1,3]:=0;
R02[2,1]:=SIN(inputsRadians.Shoulder);
R02[2,2]:=COS(inputsRadians.Shoulder);
R02[2,3]:=0; R02[3,1]:=0;
R02[3,2]:=0; R02[3,3]:=1;
// Ротационна матрица на китката
R03[1,1]:=COS(inputsRadians.Elbow);
R03[1,2]:=-SIN(inputsRadians.Elbow);
R03[1,3]:=0;
R03[2,1]:=SIN(inputsRadians.Elbow);
R03[2,2]:=COS(inputsRadians.Elbow);
R03[2,3]:=0; R03[3,1]:=0;
R03[3,2]:=0; R03[3,3]:=1;
// Вектор на отместване на основата
d01[1,1]:= GVL.a2*
COS(inputsRadians.Base);
d01[2,1]:= GVL.a2*
SIN(inputsRadians.Base);
d01[3,1]:= GVL.a1;
// Вектор на отместване на рамото
d02[1,1]:= GVL.a3*
COS(inputsRadians.Shoulder);
d02[2,1]:= GVL.a3*
SIN(inputsRadians.Shoulder);
d02[3,1]:= 0;
// Вектор на отместване на китката
d03[1,1]:= GVL.a4*
COS(inputsRadians.Elbow);
d03[2,1]:= GVL.a4*
SIN(inputsRadians.Elbow);
d03[3,1]:= 0;
// Съставяне на хомогенна трансфор-
// мираща матрица за всяко звено
H01:=FillTransformationMatrix(
                    Ro:=R01,d:=d01);
H02:=FillTransformationMatrix(
                    Ro:=R02,d:=d02);
H03:=FillTransformationMatrix(
                    Ro:=R03,d:=d03);
//Умножение на матриците
MatrixMUL( 4, 4, ADR(H01),
           ADR(H02), ADR(H12));
MatrixMUL( 4, 4, ADR(H12),
           ADR(H03),ADR(H));
//Резултат
ForwardKinematic_V1.X:=H[1,4];
ForwardKinematic_V1.Y:=H[2,4];
ForwardKinematic_V1.Z:=H[3,4];
```

Всяка трансформираща матрица се състои от две части: Ротационна матрица и вектор на изместване. Попълването на трансформиращите матрици се извършва от функцията *FillTransformationMatrix*. Тя приема като параметри масив с размер 3x3 (три реда, три стълба) за ротационната матрица и масив с размер 3x1 за вектора на изместване. Върнатия резултат от функцията е масив с размер 4x4, представляващ съответната хомогенна трансформираща матрица. След като се умножат трите хомогенни трансформиращи матрици се получава общата трансформираща матрица за модела. В последната колона редове 1, 2 и 3 на тази матрица се намират стойностите, показващи позицията на инструмента в координатната система на базата съответно X, Y, Z. Функцията връща структура Coordinates, попълнена с координатите на инструмента.

```
ForwardKinematic_V1.X:=H[1,4];
ForwardKinematic_V1.Y:=H[2,4];
ForwardKinematic_V1.Z:=H[3,4];
```

Кинематика в обратна посока

Кинематиката в обратна посока [1,2,3] решава следния проблем: При известна позицията на инструмента (Координатите му X,Y,Z), методът връща ъглите на всички въртящи се звена или дължината на рамото при призматични звена.

В текущата точка е представен графичен метод за намиране на неизвестните промен-

ливи (ъглите на звената на манипулатора). За да се намерят те се използват три основни закона в геометрията:

- *Питагорова теорема*

$$\boldsymbol{a^2 + b^2 = c^2\ ;}$$

- *Косинусова теорема.*

$$a^2 = c^2 + b^2 - 2 * \cos \propto * b * c$$

- *Тригонометричните функции:*

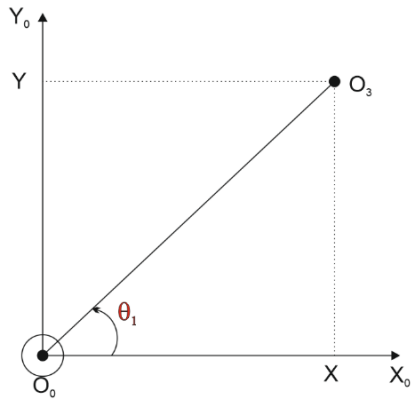
$$\sin \propto, \cos \propto, \tan \propto, \tan^{-1} \propto, \cos^{-1} \propto$$

За даденият модел известните величини са позицията на инструмента в координатното пространство: X, Y, Z ориентирана спрямо основата на манипулатора. Търсените величини са: ъгълът на завъртане на базата θ_1, ъгълът на рамото θ_2 и ъгълът на лакътя θ_3. Уравненията за трите ъгъла се намират като се представи модела в два изгледа: поглед от горе(фиг. 6) и поглед от страни (фиг. 7).

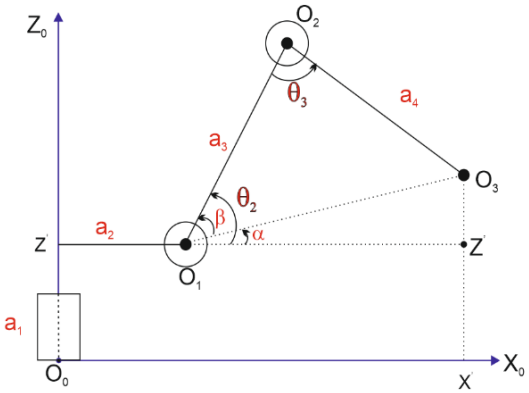
Важен момент при графичният метод е ъглите на манипулатора да не са 0°, 90°, 180°, 270°. Това води до по-ясен изглед и до съставяне на верни уравнения.

$$O_0O_3 = \sqrt{X^2 + Y^2} \qquad (18)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\frac{Y}{X} \qquad (19)$$



Фиг. 6. *Манипулатор поглед отгоре*



Фиг. 7. *Манипулатор поглед отстрани*

От първият изглед, който показва манипулатора, погледнат отгоре, се съставят две уравнения: за θ_1 и за отсечка O_0O_1, която е проекцията на манипулатора в равнината X_0Y_0.

От вторият изглед се съставят и останалите уравнения от модела.

Отсечката $O_0X' \equiv O_0O_3$ (12) от предишният изглед $\Rightarrow O_1Z' = O_0X' - a_2, O_3Z' = Z - a_1$

$$O_1O_3 = \sqrt{(O_3Z')^2 + (O_1Z')^2} \qquad (20)$$

Ъгъл θ2 представлява сбор от ъглите α и β.

$$\theta_2 = \propto + \beta \qquad (21)$$

Ъгъл α може да се намери от правоъгълния триъгълник O_1O_3Z', като съотношение между срещулежащия катет към прилежащия катет:

$$\frac{O_3Z'}{O_1Z'} = \tan \propto \ \Rightarrow \propto = \tan^{-1}\frac{O_3Z'}{O_1Z'}$$

$$\propto = \tan^{-1}\frac{O_3Z'}{O_1Z'} \qquad (22)$$

Ъгъл β се намира по Косинусова теорема от триъгълник: $O_1O_2O_3$:

$$a_4^2 = a_3^2 + (O_1O_3)^2 - * a_3 * O_1O_3 * \cos\beta \Rightarrow$$

$$\beta = \cos^{-1}\frac{a_3^2 + (O_1O_3)^2 - a_4^2}{2 * a_3 * O_1O_3} \qquad (23)$$

$$\theta_2 = \propto + \beta = \tan^{-1}\frac{O_3Z'}{O_1Z'} + \cos^{-1}\frac{a_3^2 + (O_1O_3)^2 - a_4^2}{2 * a_3 * O_1O_3} \qquad (24)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1}\frac{a_3^2 + a_4^2 - (O_1O_3)^2}{2 * a_3 * a_4} \qquad (25)$$

Уравнения (19), (24) и (25) дават ъглите на манипулатора при съответната позиция на инструмента.

Програмна реализация на правата задача

В програмния код функцията, намираща ъглите на манипулатора отговарящи за позицията е *InverseKinematik_V1*. Тя приема като входящ параметър структура с позицията на инструмента и връща структура с ъглите на манипулатора.

Изчисляване на проекцията на манипулатора O_0O_3 в равнината XY на базовия фрейм се определя чрез Питагорова теорема. Ъглите θ_2 и θ_3 се изчисляват по косинусова теорема.

Кодът реализиращ обратната кинематична задача в среда на CodeSys е:

```
FUNCTION InverseKinematik_V1:ArmAngles
VAR_INPUT
    Coordinate      : Coordinates;
END_VAR
VAR
    T1,T2,T3 :  LREAL;
    C, tmp   :  LREAL;
    Xp, Zp,Cp:  LREAL;
END_VAR
// Намиране на ъгълът на завъртане
// на базата
IF Coordinate.X=0 THEN
     T1:=DegToRad(90);
ELSE
   T1:=ATAN2LREAL(x:=Coordinate.X,
                  y:=Coordinate.Y);
END_IF
// Проекция на манипулатора по XY на
// базовия фрейм
C:=SQRT(EXPT(Coordinate.X,2)+
      + EXPT(Coordinate.Y,2));
// Изчисляване на ъглите
// на рамото и лакътя
    Xp:=C-GVL.a2;
// изчислява дължината на отсечка O1Z'
    Zp:=Coordinate.Z-GVL.a1;
// изчислява дължината на отсечка O3Z'
    Cp:=SQRT(Zp*Zp+Xp*Xp);
// изчислява дължината на отсечка O1O3
// изчислява ъгъл θ2
    T2:=ATAN2LREAL(x:=Xp,y:=zp) +
       ACOS((GVL.a3*GVL.a3 + Cp*Cp -
       GVL.a4*GVL.a4)/(2*GVL.a3*Cp));
    // изчислява ъгъл θ3
    tmp:=(2*GVL.a3*GVL.a4);
T3 :=ACOS((GVL.a3*GVL.a3 +
          GVL.a4*GVL.a4-Cp*Cp)/tmp);
InverseKinematik_V1.Base :=
    LREAL_TO_REAL(Rad_To_Deg(T1));
InverseKinematik_V1.Shoulder :=
    LREAL_TO_REAL(Rad_To_Deg(T2));
InverseKinematik_V1.Elbow :=
    LREAL_TO_REAL(Rad_To_Deg(T3));
InverseKinematik_V1.GripperUpDown:=
  (180-(InverseKinematik_V1.Elbow +
      InverseKinematik_V1.Shoulder))+
      Coordinate.GripperUpDown ;
InverseKinematik_V1.Gripper :=
              Coordinate.Gripper;
InverseKinematik_V1.ElbowRotate:=
    (90-InverseKinematik_V1.Base)+
     Coordinate.ElbowRotate;
InverseKinematik_V1.GripperRotate:=
    (90-InverseKinematik_V1.Base)+
        Coordinate.GripperRotate;
```

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията е представено управлението на манипулатор с три степени на свобода от PLC изградено на базата на едноплатков компютър Raspberry Pi 3. Решени са правата и обратна кинематични задачи. Разработен е софтуер за управление на манипулатора в среда на CodeSys. В заключение софтуерната среда за програмиране CoDeSys успешно превръща вградената система Raspberry Pi в контролер, управляващ технологични процеси. Чрез нея могат да се автоматизират различни дейности в индустрията, като товароразтоварни, асемблиращи, палетизиращи комплекси и др. Въпреки малкия си размер, тя не отстъпва по възможности на специализираните технологични контролери.

Недостатък е ниското напрежение на входовете и изходите, които не могат да се използват директно в индустриалната автоматизация, но със съгласуващи схеми и този проблем може да бъде решен.

REFERENCE

[1] Kucuk S. , Z. Bingul, Robot Kinematics: Forward and Inverse Kinematics, INTECH Open Access Publisher, 2006, ISBN 3866112858, 9783866112858

[2] Kim, J. H. & Kumar, V. R. Kinematics of robot manipulators via line transformations, J. Robot. Syst.,1990, Vol. 7, No., 4, pp. 649–674

[3] Sam Cubero, Industrial Robotics.Theory, Modelling and Control, Advanced Robotic Systems International 2007, ISBN 3-86611-285

[4] Raspberry Pi — Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi, https://www.raspberrypi.org, . 04.10.2018

[5] CODESYS Control for Raspberry Pi SL, https://store.codesys.com/codesys-control-for-raspberry-pi-sl.html. 04.10.2018

БЛАГОДАРНОСТ

1. Докладът се публикува във връзка с проект № 1710E/2017
2. Резултатите публикувани в доклада са свързани с НИР по проект № 1710E/2017 към ФЕЕ

СИСТЕМА ЗА ОТЧИТАНЕ ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА ТРУДА В РЕАЛНО ВРЕМЕ

Станимир Йорданов[1], Стефан Иванов[2], Георги Михалев[3]
[1 2 3] Технически Университет Габрово

SYSTEM FOR AUTOMATIC REPORTING A LABOUR PRODUCTIVITY IN REAL TIME

S. Yordanov[1], S. Ivanov[2], G. Mihalev[3]
[1 2 3] Technical University of Gabrovo,

Abstract

In this paper, an ESP32 application in implementing systems for automated reporting of the utilization rate of production capacities in real time is considered. A technical solution of remote control and monitoring of the production process in a textile company, through a dedicated module for sending the time spent on a remote server via Wi-Fi, Lan or Bluetooth is proposed. The obtained information is used to control the production process in real time and determination of the remuneration of workers.

Keywords: Internet of Things (IoT), Wi-Fi module ESP32, Arduino IDE development environment, LPWAN technologies, electronic accounting technologies

ВЪВЕДЕНИЕ

Повишаването на производителността на труда е основен фактор за подобряване на икономическите показатели, финансовото състояние и ефективността на производствено-стопанската дейност на фирмата. От друга страна производителността на труда е съставен икономически показател, който съпоставя постигнатия резултат (новосъздаден продукт) с вложения трудов фактор при осъществяването на определена икономическа активност на определена икономическа територия за определен период [1]. Един от компонентите му е оптималното използване на машините и съоръженията в процеса на производство.

Използването на производствената мощност, както и използването на дълготрайните материални активи се характеризира основно с три показателя [2]:

- **Коефициент за екстензивно използване или използване на производствената мощност по време**. Той представлява отношението на фактическия фонд отработено време към ефективния фонд работно време;
- **Коефициент за интензивно използване на производствената мощност**. Той характеризира използването на производствената мощност в единица време и се определя като отношение на фактически изпълнената работа за единица отработено време към проектната техническа норма;
- **Показатели за интегрално използване.** Характеризират най-пълно използването на производствените мощности. Определят се като произведение на коефициента за екстензивно използване и коефициента на интензивно използване.

Особен интерес за менажерите на предприятията представлява коефициента за интензивно използване на производствените мощности. Той носи информация както за реалното натоварване на производствените ресурси, така и за състоянието на технологичното оборудване, трудовата дисциплина, материално-техническата снабденост на

предприятието и не на последно място квалификацията на обслужващия персонал. Настоящата разработка е следствие на техническо задание възложено от текстилна фирма. Статията е продължение на [6] и описва сървърната част на разработката.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Накратко системата за мониторинг е разработката на базата на техническо задание със следните основни пункта:

• Разработената на автономна интегрирана система отчитаща работното състояние на текстилни машини;

• Информация за състоянието на машините се получава от индуктивни сензори;

• Системата да има възможност за разширение;

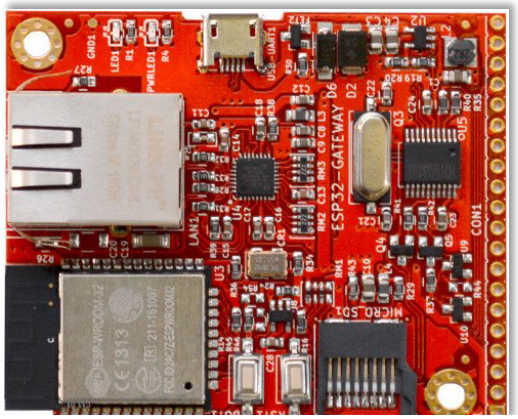
• Връзката на контролерите с базата от данни да бъде през Ethernet или WiFi;

• При отпадане на захранването или връзката със сървъра, данните от измерванията да се съхраняват и изпратят до сървъра в подходящ момент;

• Наличие на специализиран софтуер за обработка и визуализация на получените входни данни от всяка една текстилна машина и др.

За реализирането на заданието е стъпено на основата на мрежово свързано смарт устройство чиято архитектура и функционалност е описана в [6].

Смарт контролера е изграден на базата на развойната система ESP32-GATEWAY development board with WiFi BLE Ethernet, micro SD card UEXT and GPIO производство на фирмата OLIMEX Ltd. Пловдив (фиг. 1).

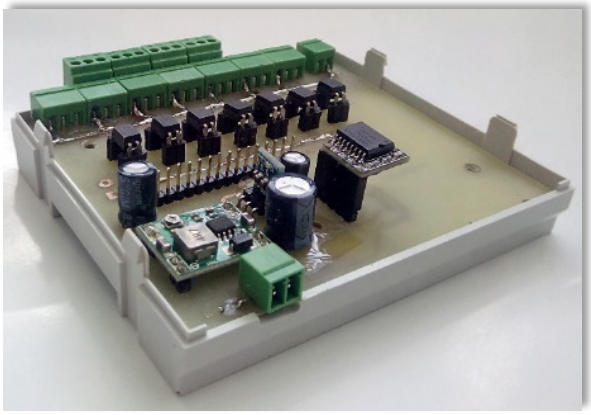


Фиг. 1. *Развойна система Olimex ESP32-GATEWAY*

Тя е изградена на базата на микроконтролера ESP-WROOM-32 и притежава Ethernet 100Mb интерфейс, Micro USB конектор за връзка по UART с контролера, Micro SD карта.

Този тип системи намират приложение при експериментиране и изграждане на Internet of Things (IoT) [3,5], проекти и прототипи. В софтуерно отношение платформата е силно развита. Освен основният системен софтуер на Espresiff, който е AT базиран (сериен с AT команди) са налични други методи за програмиране. На ниско ниво SDK на Espressif - в два варианта Non OS и Free RTOS. За любителите на LUA NodeMcu. В настоящата разработка за програмирането на Wi-Fi модула въз основа на чипа ESP32 е използвана средата за разработване Arduino IDE [4]. и тулчейна Arduino ESP master, който може да бъде свален от сайта https://github.com/espressif/arduino-esp32. Ардуино тулчена е изграден върху Espressif IoT Development Framework.

За реализиране на връзката със сензорите е разработена допълнителна разширителна интерфейсна платка показана на (фиг. 2).



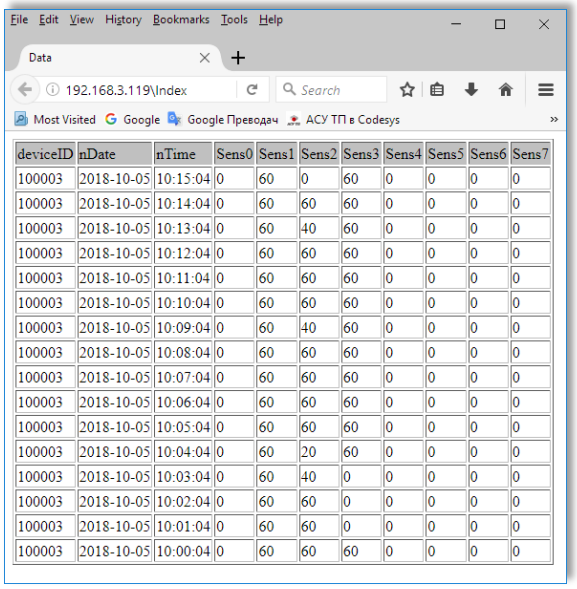
Фиг.2. *Разширителна интерфейсна платка*

Функциониране на системата

Разработената система е изградена на три нива: Ниво контролери, Сървърно ниво и конфигуриращ софтуер.

Първото ниво представлява мрежа от смарт контролери събиращи информация за отработеното време на машините. На всяка минута контролерите изпращат информация за отработеното време от машините към базата с данни разположена на отдалечен сървър. Връзката със сървъра се осъще-

ствява по Ethernet и WiFi мрежа, като е възможна едновременната работа на двете мрежи. Ако са включени и двете мрежи, данните до базата данни се предават по по-сигурната жична линия Ethernet. В тази ситуация WiFi мрежата се използва за параметриране на контролера и за следене състоянието на процесите свързани към контролера чрез локална WEB страница (Фиг.3.). В тази страница се визуализира информацията за работата на машините за последните 30 минути.



deviceID	nDate	nTime	Sens0	Sens1	Sens2	Sens3	Sens4	Sens5	Sens6	Sens7
100003	2018-10-05	10:15:04	0	60	0	60	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:14:04	0	60	60	60	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:13:04	0	60	40	60	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:12:04	0	60	60	60	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:11:04	0	60	60	60	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:10:04	0	60	60	60	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:09:04	0	60	40	60	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:08:04	0	60	60	60	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:07:04	0	60	60	60	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:06:04	0	60	60	60	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:05:04	0	60	60	60	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:04:04	0	60	20	60	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:03:04	0	60	40	0	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:02:04	0	60	60	0	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:01:04	0	60	60	0	0	0	0	0
100003	2018-10-05	10:00:04	0	60	60	60	0	0	0	0

***Фиг. 3.** Web приложение*

Времето за визуализация на данните съобразено с буфера на цикличната опашка отговаряща за изпращане на данните към сървъра. Параметрирането на контролерите се извършва през UART или UDP посредством командни низове от вида !WIP:192.168.1.152. На всяка минута данните от измерванията се съхраняват във файлове разположени на micro MMC карта памет и се изпращат към базата с данни на сървъра. Данните от файлове разположени на SD картата се достъпват автоматично от SQL сървъра посредством съхранена процедура или постъпили запитвания по UDP или UART, или през FTP сървър изграден на контролера.

Второто ниво (Система за управление на базата с данни) на системата е разположено на отдалечен сървър. На него е инсталирана релационна база от данни в която се съхраняват данните от измерванията и данните за конфигуриране на контролерите.

Използвана е релационна база от данни MySQL 5.3. Посредством SQL заявки контролерите добавят в таблица measures информация за седем машини свързани към определен контролер. Добавянето на запис инициран от контролерите в базата задейства тригери и съхранени процедури, които оценяват данните и попълват автоматично таблици с информация за работата по смени на отделните машини.

Тригерът задействан при постъпване на данните актуализира таблица measuresHour.

Всеки един запис от таблицата съдържа информация за отработеното време за определен час от машините подключени към контролер с идентификационен номер записан в полето deviceID. Тригерът вмъква нов запис в началото на всеки час или прави update на полетата от таблицата measuresHour при всяко добавяне на запис в таблица measure. Ето и едно примерно решение на тригера:

```
DELIMITER $$
drop TRIGGER if EXISTS measures_INSERT $$
CREATE TRIGGER `measures_INSERT`
AFTER INSERT ON `measures` FOR EACH ROW
BEGIN
  if minute(new.nTime) = 0
  or (not EXISTS (SELECT 1 FROM
measuresHour WHERE nDate = new.nDate and
nTime = MAKETIME(HOUR(new.nTime),0,0)))
  then
     INSERT INTO measuresHour ( deviceID,
         nDate,  nTime,  Sens0,  Sens1)
     values ( new.deviceID, new.nDate,
        MAKETIME(HOUR(new.nTime),0,0),
                 new.Sens0, new.Sens1);
    ELSE
      UPDATE measuresHour
      SET
        Sens0 = Sens0 + new.Sens0 ,
        Sens1 = Sens1 + new.Sens1
      WHERE deviceID = new.deviceID AND
           nDate = new.nDate and nTime =
           MAKETIME(HOUR(new.nTime),0,0);
 END IF;
END $$
DELIMITER ;
```

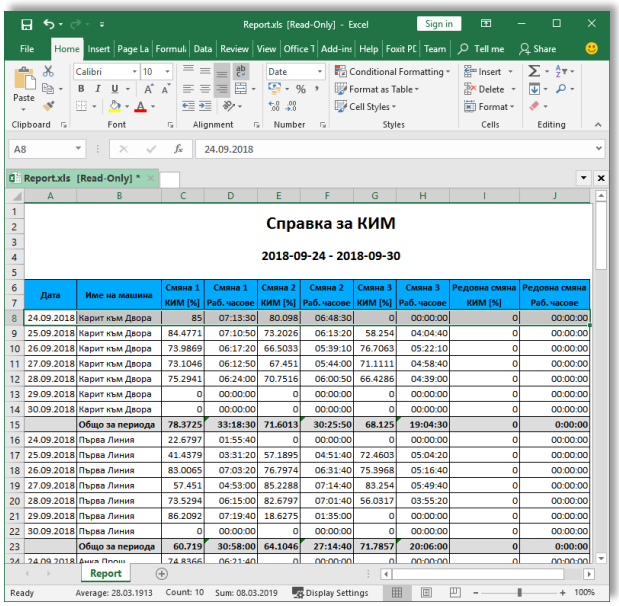
При отсъствие на връзка с даден контролер за период по-голям от 5 минути се генерира заявка и се изпраща e-mail до определена група лица описани в таблица users. Проверката на връзката се извършва от събитие изпълнявано на всяка минута. Структурата на едно подобно събитие е следната:

```
DELIMITER $$
SET GLOBAL event_scheduler = ON $$
DROP EVENT IF EXISTS eventCheckConnect $$
CREATE EVENT eventCheckConnect
    ON SCHEDULE EVERY 1 minute
    STARTS '2018-04-09 04:30:00'
    DO begin
        CALL checkConnect( );
    END $$
DELIMITER ;
```

Имейла се генерира от PHP скрипт задействан от съхранена процедура. Кодът на задействане на PHP скрипта е следният:

```
SET cmd = CONCAT('php.exe -f
          "/sendMail.php"',' ' );
SET result = sys_eval(cmd);
```

На определен период от време автоматично се генерират дневни, седмични и месечни отчети в Exel формат. Тези отчети се изпращат чрез e-mail към оторизираните лица от PHP скрипт активиран от базата данни Месечния отчет се генерира веднъж на първо число, а седмичния всеки понеделник. На фигура 4 е показан един седмичен отчет.



***Фиг. 4**. Седмичен отчет.*

Отчета съдържа отработеното време по смени за всеки ден, както и коефициента за използване на машината (КИМ) за всеки ден от седмицата. На края се прави обобщение за периода. Коефициента за използване на машината се изчислява без да се вземат в предвид регулярните почивки.

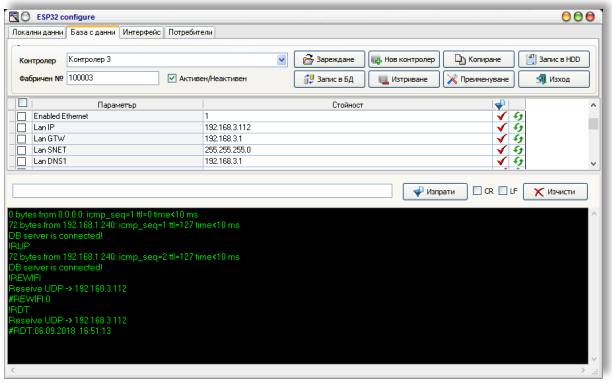
PHP скриптът отговорен за изпращане на e-mail съобщения с отчетите до оторизираните лица има приблизително следният код:

```
function sendReportMail()  {
 if(!$this->DBLogin()){
  $this->HandleError("DB login failed!");
            return false;
 }
 $sqlMails = "select * from Reports..";
 $retval =
   $this->connection->query( $sqlMails );
  if($row = $retval->fetch(
PDO::FETCH_ASSOC)){
     $mailer = new PHPMailer();
     $mailer->CharSet = 'utf-8';
     $mailer->isSMTP();
     $mailer->SMTPDebug = 0;
     $mailer->Debugoutput = 'html';
     $mailer->Host = 'smtp.abv.bg';
     $mailer->Port = 465 ;
     $mailer->SMTPSecure = 'ssl';
     $mailer->SMTPAuth = true;
     $mailer->Username = "sys@abv.bg";
     $mailer->Password = "12345";
     $mailer->setFrom(sys@abv.bg');
     $mailer->addReplyTo('sys@abv.bg',');
     $mailer->From = 'sys@abv.bg';
     $mailer->Subject = $mSubject;
     $mailer->Body = "Здравейте г-не\n
На вашето внимание предодставяме\n"
 .$row['mBody'] ."\n генериран на "
 . $row['added_date']
 ."\n\n    С уважение,\n\t\t admin\n";
  $mailer->addAttachment('Report.xls');
  if(!$mailer->Send()){
   $this->HandleError("Err send email");
   return false;
  }
   unset($mailer);
   return true;
 }
```

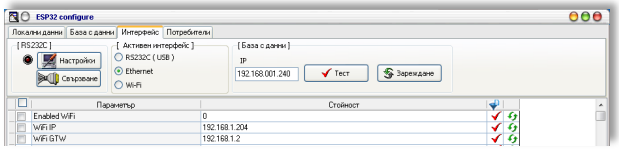
Информацията за отработеното време се съхранява в динамични таблици (view) генерирана от следния скрипт.

```
delimiter $$
drop view  IF EXISTS shiftTimeView $$
create view  shiftTimeView as
select  hw.deviceID,hw.sensorID,
dv.Titles as devTitle, sn.Titles as
sensTitle, hw.nDate  ,
  SEC_TO_TIME(hw.WorkShift_0) as
shiftTime_0, hw.WorkShift_0/288.0 as KP0,
  SEC_TO_TIME(hw.WorkShift_1) as
shiftTime_1, hw.WorkShift_1/288.0 as KP1,
  SEC_TO_TIME(hw.WorkShift_2) as
shiftTime_2, hw.WorkShift_2/288.0 as KP2,
  SEC_TO_TIME(hw.WorkShift_3) as
shiftTime_3, hw.WorkShift_3/288.0 as KP3
from hoursWorked_new hw, devices dv,
sensors sn
where  hw.deviceID = dv.deviceID and
dv.Enabled = true and sn.deviceID =
dv.deviceID and sn.sensType > 0 and
hw.sensorID = sn.sensorID;
$$
delimiter ;
```

Освен информацията за отработеното време в базата с данни се съхранява и информация за работните графици по машини, информация за настройка на контролерите и сензорите и др.. За управлението на тази информация се грижи „Софтуер за конфигуриране и диагностика“ (фиг. 5) представляващ третото ниво от системата. Разработен е в средата C++ Builder 6.0 като 32 битово приложение с възможност за работа под всички версии на Windows след Windows 98. Програмата комуникира с контролера по интерфейсите RS232 и Ethernet, а със сървъра посредством ODBC драйвери за връзка с MySQL (фиг. 6).



Фиг. 5. *Софтуер за конфигуриране и диагностика*



Фиг. 6*. Избор на протокол за връзка с контролерите*

Командите са текстови със следният формат:

!WIP:192.168.1.152

При правилно приета команда контролера отговаря с телеграма във формат:

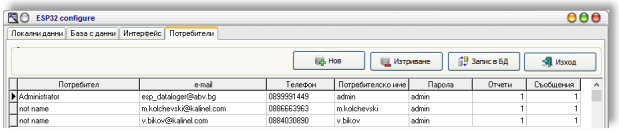
#WIP:192.168.1.152

При възникване на грешка контролера отговаря с телеграмата:

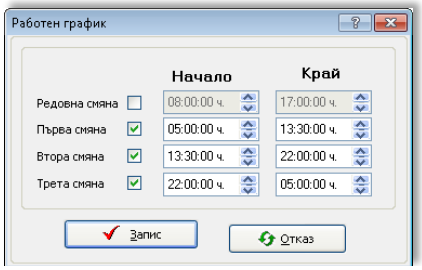
#WIP:ERROR

Настройват се следните групи параметри:

- Параметри за връзка по WiFi и Ethernet;
- Параметри за връзка със сървъра;
- Настройка на броя активни канали;
- Настройване на видът на канала броячен и по ниво;
- Настройване на работните периоди;
- Сверяване часовника на контролери (RTC).Ако контролера е свързан с интернет часовника се сверява автоматично от сървъра pool.ntp.org;
- Тестване на комуникацията;
- Тестване на SD картата;
- Рестартиране на контролер;
- Активиране на процес по четене на данни от SD картата.
- Начална инициализация на контролера;
- Задаване на лица и адреси за получаване на служебни съобщения, отчети и известяване за прекъсване и възстановяване на комуникацията с контролерите (фиг. 7) и др.



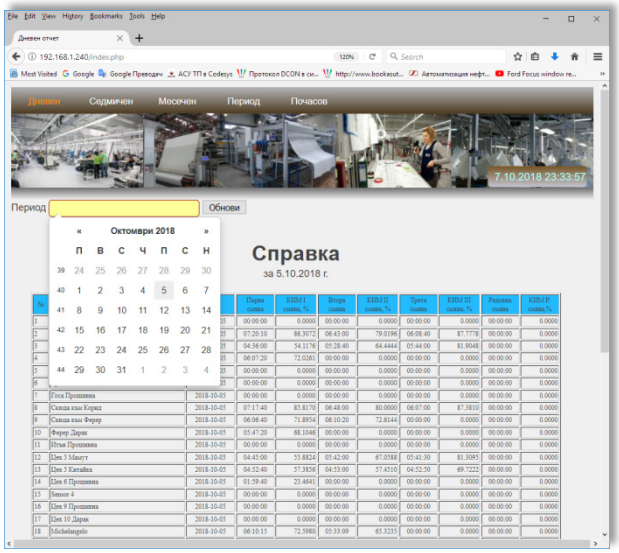
Фиг. 7. *Адреси за получаване на съобщения и отчети*



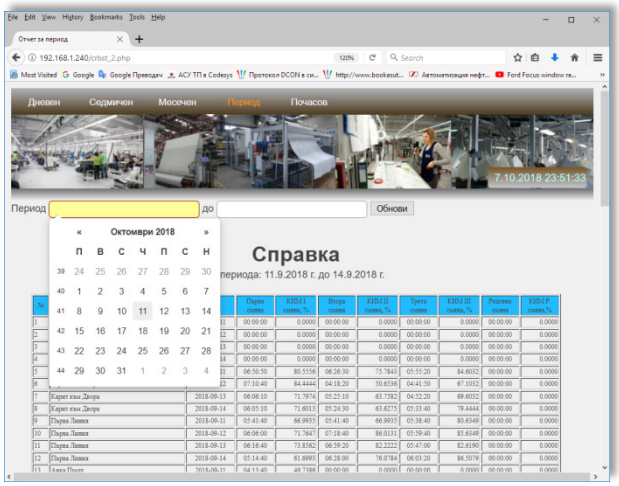
Фиг. 8*. Работни графици*

Част от изброените параметри се отнасят за конкретната работа на контролерите, друга част например работните смени (фиг. 8) е необходима за сървърното приложение. Информацията за настройките може да се съхранява локално на компютъра от който се извършва настройката или в базата с данни. Позволено е синхронизиране на локалните и сървърните настройки.

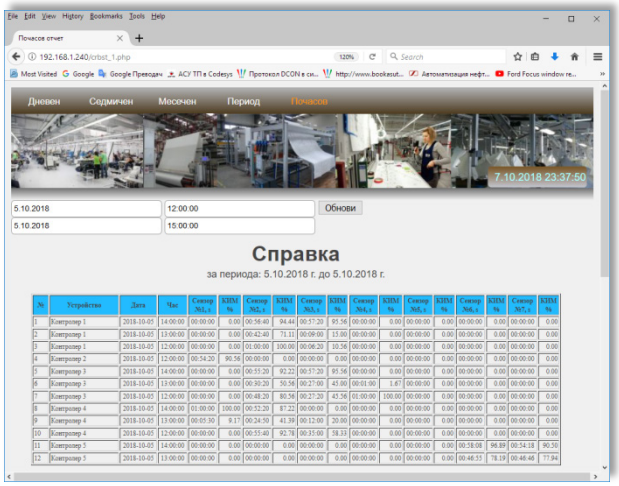
За улесняване работата на ръководителите и служителите на фирмата, е изградено WEB приложение позволяващо генериране освен на дневен, седмичен и месечен отчет (фиг. 9) и на справка за период (фиг.10), и почасова справка (фиг. 11). Тези две допълнителни справки могат да се използват при оптимизиране на работните графици и разпределението на работниците в смените.



***Фиг. 9**. Дневен отчет*



***Фиг. 10**. Справка за период*



***Фиг. 11**. Почасова справка*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целта на направеното изследване се заключава в решаването на проблеми по разработване на система за автоматизирано отчитане коефициента на използване на производствените мощности в реално време. Предложеното техническо решение за дистанционен контрол и мониторинг на производствения процес е апробирано и внедрено в текстилно предприятие. Получената информация се използва за контрол на производствения процес в реално време и определяне на трудовите възнаграждения на работниците.

REFERENCE

[1] Shaul, L., D. Tauber, Critical Success Factors in Enterprise Resource Planning Systems: Review of the Last Decade. ACM Computing Surveys 45(4), 2013, 35 pages.

[2] Dochev D., M.Velev, I. Iliev, Company Economy, Marinel,Sofia, 2002, in bulgarian

[3] Internet_Things [Electronic Resource]. Available at: https: //en.wikipedia.org/wiki/Web_web.

[4] Platform with iOs and Android Apps to Control Arduino, ESP8266, Raspberry Pi and Similar Microcontroller Boards over the Internet [Electronic Resource]. Available at: https://github.com/blynkkk/blynk-server.

[5] Internet Of Your Things system Blynk [Electronic Resource]. Available at: https://www.blynk.cc/

[6] Yordanov S. G.Mihalev, Application of esp32 in automated real-time production capacity utilization systems, Inernational Conference Automatics and Informatics'18, 04-06.10.2018. Sofia, Bulgaria, ISSN 1313-1869,1313-1850, pp. 157-161

БЛАГОДАРНОСТ

1. Докладът се публикува във връзка с проект № 1710E/2017
2. Резултатите публикувани в доклада са свързани с НИР по проект № 1710E/2017 към ФЕЕ

НАПРАВЛЕНИЕ 7

КОНСТРУИРАНЕ НА МАШИНИ И УРЕДИ И ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНЕТО

SESSION 7

DESIGN OF MACHINES AND INSTRUMENTS AND TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

ПРАКТИЧЕСКИ ПРИЛОЖЕНИЯ НА CAD/CAM СИСТЕМИТЕ В МЕТАЛОРЕЖЕЩИТЕ МАШИНИ

PRACTICAL APPLICATIONS OF THE CAD/CAM SYSTEMS IN THE MACHINE TOOLS

PhD Madlena Zhilevska
Technical College of Lovech

PhD Marin Zhilevski
Technical University of Sofia

Abstract

The architecture of the machine tools with digital program control is presented. The main stages in the design of the workpiece are formulated. Some practical possibilities of CAD / CAM systems in details with complex geometric form are presented. The research held as well as the results obtained can be used in the practical study of different classes of machine tools with digital program control.

Keywords: CAD/CAM; geometric model, milling machine, turning machine.

ВЪВЕДЕНИЕ

Автоматизацията е един от основните пътища за повишаване на ефективността и качеството на машиностроителното производство при механичната обработка на детайлите. Тенденция в световен мащаб е към комплексна автоматизация на всички дейности, свързани с разработването, производството и експлоатацията на различни машиностроителни изделия. Наред с непрекъснатото увеличаване на степента на автоматизация на заетите в производството машини, все по- голямо внимание се отделя и на автоматизацията на инженерния труд [1, 2].

Основен елемент при автоматизацията на инженерния труд се явяват CAD/ CAM системите, използвани при етапа на проектирането и производство на детайлите. Производителността и възможностите на CAD системите непрекъснато се увеличават. Днес те предлагат силно развит интерактивен графичен диалог между системата и потребителя, разширена кинематична симулация и възможности за интегриране на актуални стандарти и добри индустриални практики. Проектантите се стремят към постигането на по-интерактивно представяне на проектите с цел максимално доближаване на виртуалния продукт до реалните експлоатационни условия. Всички тези новости дават на потребителите най- краткия път до производството на конкурентни продукти с висока добавена стойност [3, 4, 5].

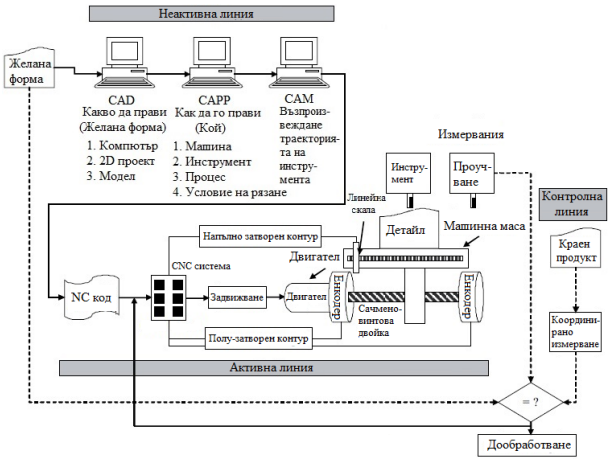
Геометричните модели, използвани в CAD системите могат да бъдат: двумерни – представляват проекциите на обекта в декартова координатна система; две и половина мерни - моделът се задава чрез равнинна фигура и нейната ротация или транслация по третата координатна ос; тримерни - тези модели представляват обекта в тримерното пространство [6].

В настоящата статия е представена архитектурата на металорежещите машини с ЦПУ и са формулирани основните етапи, през които се преминава до достигане до процеса на реална обработка на детайла от металорежещата машина. Показани са някои практически възможности на CAD/CAM системите при разработката на детайли със сложна геометрична форма с използване на специализирани софтуери.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Основното изискване към металообработващите машини е да бъде обработен детайл със зададена точност и гладкост за максимално кратко време със зададени оптимални режими на рязане. За целта е необходимо да бъдат отчетени всички етапи, през които се преминава до получаването на готовия продукт.

На фиг. 1 е представена архитектурата на металообработваща машина с ЦПУ, като тя отчита процеса на протичане на операциите до получаване на обработения детайл [7, 8, 9].



Фиг. 1. *Архитектура на металорежеща машина с ЦПУ.*

До получавани на готовия продукт се преминава през следните три етапа:

1. Проектантска част - след уточняване на формата на детайла, се създава геометричен модел чрез 2D или 3D компютърни модели на проектиране (CAD). След завършване на геометричното моделиране, се извършва компютърното проектиране на технологични процеси (CAPP). Компютърното производство (CAM) е изпълнението на финалната фаза за генериране на частта от програмата, необходима да бъде въведена в машината.

2. Реална машинна обработка – чрез системата за ЦПУ се осъществява позиционно управление на системата за електрозадвижване. Въртеливото движение на двигателя се преобразува в линейно чрез механични предавки - сачмено- винтови двойки, заготовката или инструмента се позиционира на желаното място и се оформя желания контур [10, 11].

3. Контролен орган – извършване на „Компютърна инспекция“, тоест проверка на крайната част. В този етап „Блока за координирано измерване“ извършва сравнение между резултата и геометричния модел, за да се извърши необходимата компенсация.

Чрез тези три етапа, металообработващите машини с цифрово- програмно управление могат да осигурят изискванията за висока точност и производителност при обработката на детайлите.

В практиката съществуват различни софтуери, които се използват за реализацията на CAD/ CAM системите при металорежещите машини, като например ESPIRE VECTRIC, AUTOCAD, SprutCAM, SolidWorks и други. Общото при тях е, че до процеса на реална обработка на детайла от машината се преминава през следните етапи:

- създаване на геометрична форма на детайла;
- конфигурация на класа машина и дефиниране на съответните параметри;
- анализ на детайла и определяне на необходимите инструменти за обработка;
- изчисляване на съответните параметри, като скорост на рязане, скорост на подаване, подаване за радиан, скорост на вретеното;
- генериране траекторията на инструмента;
- симулация на процеса при обработка;
- генериране на програмната част, необходима за машината;
- въвеждане в машината.

Като практически примери са разгледани механични обработки при фрезови и стругови машини.

2D машинна обработка

Представените примери се отнасят за 2D механична обработка на детайли с фрезова и стругова машина.

Разработването на геометричен модел на детайла, представен на фиг. 2 чрез използване на специализиран софтуер – в случая AUTOCAD. Генерирането на коректна „програмна част“ за машината изисква изчисляването на:

- скоростта на вретеното:

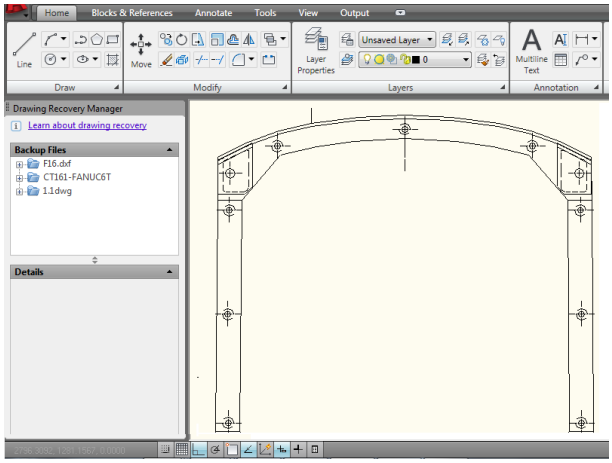
$$(1) \quad \omega = \frac{V_c \times 2}{D_c} \approx 102.05 \text{ rad/s} \approx 975 \text{ rev/min},$$

където V_c е скорост на рязане, D_c – диаметър на инструмента;

- скоростта на подаване:

$$(2) \quad V_f = \frac{f_z \times \omega \times z}{2 \times \pi} \approx 0.015 \text{ m/s} \approx \approx 900 \text{ mm/min},$$

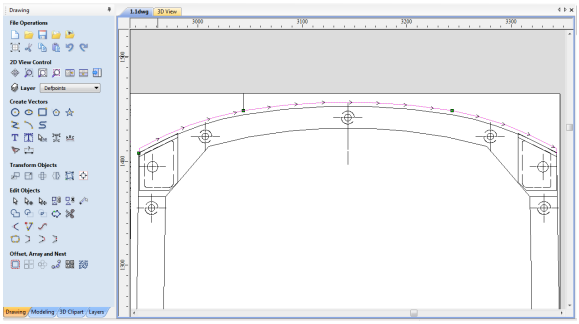
където f_z е подаване за зъб на инструмента, z - брой зъби на инструмента.



Фиг. 2. *Геометричен модел на детайла за обработка с фрезова машина.*

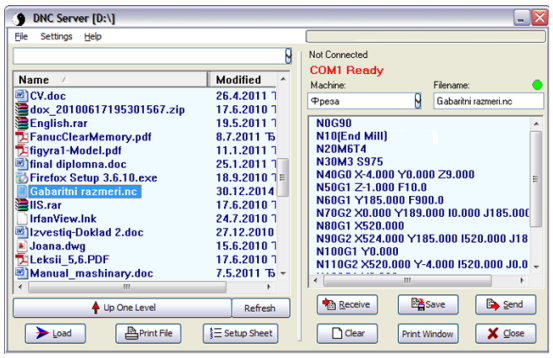
Разработеният в AUTOCAD модел се въвежда в специализиран софтуер, като в случая това е ASPIRE VECTRIC. За генериране траекторията на инструмента се преминава през няколко последователни етапа, които се изискват от използваната програма:

- задават се вида на обработвания материал и габаритните му размери;
- задават се вида на операцията и параметрите на инструмента;
- избира се желания контур, който ще се обработва;
- задава се команда за генериране на траектория на инструмента;
- генериране на траектория на инструмента, показана на фиг. 3 с червена линия.



Фиг. 3. *Софтуер за генериране траекторията на инструмента.*

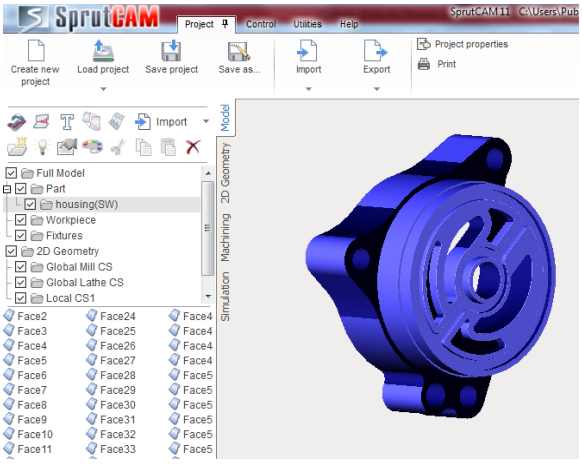
Следващата стъпка е да се въведе програмната част в машината, като това става чрез софтуера, показан на фиг. 4.



Фиг. 4. *Софтуер за въвеждане на „програмната част”*

След въвеждането в машината може да бъде извършена и реалната обработка.

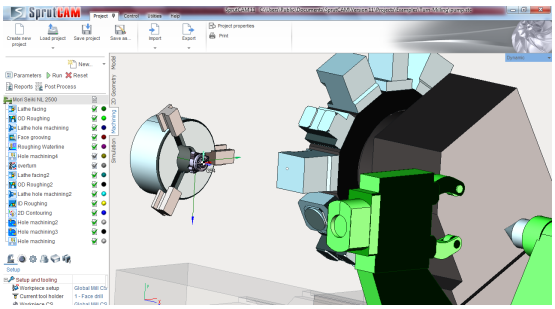
Вторият пример с 2D обработка се отнася за комбинирана фрезо- стругова машина с използване на специализирания софтуер SprutCam11.



Фиг. 5. *Геометрична форма на детайла за обработка със струго- фрезова машина.*

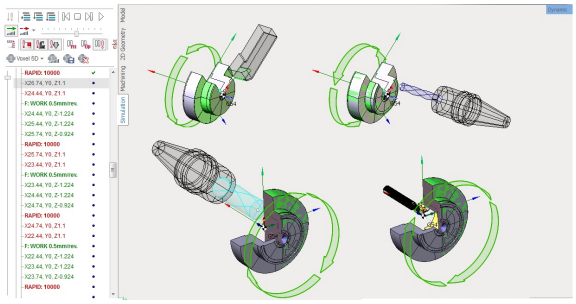
На фиг. 5 е представен геометрична форма на детайла за обработка със струго- фрезова машина.

На фиг. 6 е дадена подготовката за обработка, като е избран класа машина, инструменти, уточнени са необходимите операции, изчислени са скоростите на рязане и подаване.



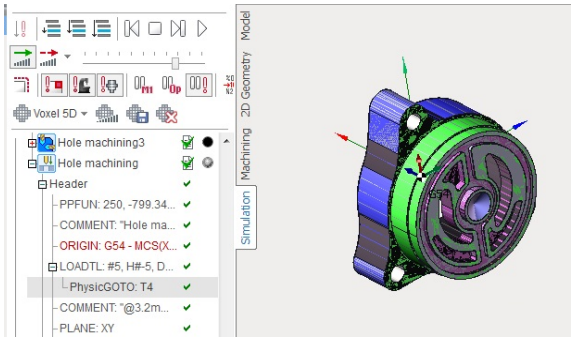
Фиг. 6. *Подготовка за симулация на обработка със специализиран софтуер.*

След разработването на геометричната форма на детайла, дефиниране параметрите на инструментите и режимите на рязане, се извършва симулация на процеса на обработка със специализирания софтуер. Част от симулационните резултати при процеса на механична обработка са показани на фиг. 7.



Фиг. 7. *Симулационни резултати.*

На фиг. 8 е даден получения симулационно обработения детайл.

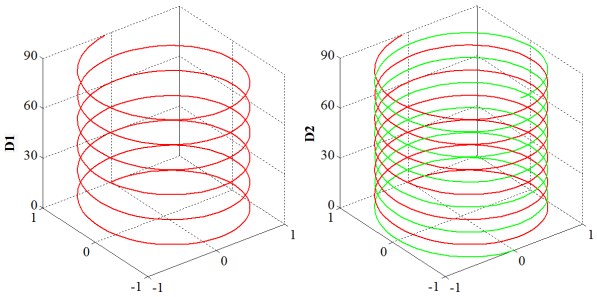


Фиг. 8. *Обработен детайл.*

3D Машинна обработка

Представени са два конкретни примери за 3D фрезова обработка на детайли с фрезови машини. Тяхното предназначение е като валове с едноходова и двуходова резба със стъпка 15 mm.

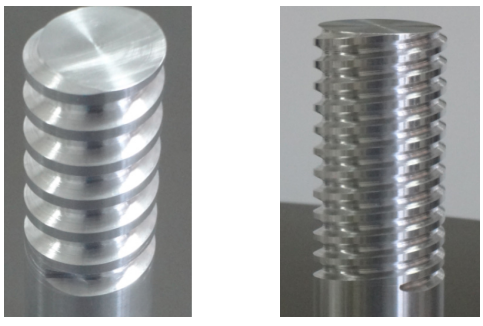
На фиг. 9а с червена линия е представена описваната траектория на движение от инструмента при разработването на едноходовата резба, където D1 – обработваемата част от първия детайл. На фиг. 9б е представена описваната траектория на движение от инструмента при разработването на двуходовата резба, където D2 – обработваемата част от втория детайл. С червена линия е представена единия ход от резбата, а със зелена – втория ход, като неговото начало е дефазирано на 180° от първата част.



а) *б)*

Фиг. 9*. Траектории на движение на инструмента при 3D обработка.*

На фиг. 10 са представени обработените детайли след извършване на механична обработка с фрезовите машини. На фиг. 10а е представен обработения детайл с едноходова резба, а на фиг. 10б е представен детайл с двуходова резба, като двата хода са дефазирани на 180°.



а) *б)*

Фиг. 10. *Обработени детайли с фрезови машини.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представена е архитектурата на металорежещата машина с цифрово- програмно управление.

Формулирани основните етапи, през които се преминава до достигане до процеса на реална обработка на детайла от металорежещата машина.

Проектирани са детайли със сложна геометрична форма на базата на използвани специализирани софтуери и са практически обработени на фрезови и стругови машини.

REFERENCE

[1] http://www.engineering-review.bg/bg/cad-cam-tehnologii-v-razvitie/2/3247/

[2] Atanasov, I., Overview of the technological features and new trends in CAM systems development, XXIV МНТК „АДП-2015", 519-525, ISSN-1310-3946.

[3] Lazov, L., *Application of CAD in machine building*, Technical University of Sofia, 2004, ISBN 954-438-421-9.

[4] Radhakrishnan, P., S. Subramannyan, V. Raju, *CAD/ CAM/ CIM, Third edition*, New Age International, ISBN 978-81-224-2711-0.

[5] Krar, S., A. Gill, P. Smid, P. Wanner, *Machine Tool Technology Basics*, ISBN 978-0831-131340.

[6] Sarfraz, M., *Geometric Modeling: Techniques, Applications, Systems and Tools*, 2004, ISBN 978-90-481-6518-6.

[7] Joshi, P. H., *Machine Tools Handbook*, Tata McGraw-Hill Education, ISBN 9780071331500.

[8] Smid, P., *CNC Programming Handbook*, Industrial Press, 2007, ISBN 9780831192372.

[9] Suh, S., S. - K. Kang, D. – H. Chung, I. Stroud, *Theory and Design of CNC Systems*, 2008, ISBN 978-1-84800-335-4.

[10] Zhilevski., M. M. Mikhov, Methodology for selection of feed drives for turning machines, *Technics. Technologies. Education. Safety.*, vol. 2 (5), № 2, 166-169, 2018, ISSN 2535-0315.

[11] Mikhov M., **M. Zhilevski**, Performance Improvement of a Type of Milling Machines, *Proceedings of the International Conference "Research and Development in Mechanical Industry"*, Vol. 1, pp. 218-227, Kopaonik, Serbia, 2013, ISBN 978-86-6075-042-8.

АНАЛИЗ НА ФУНКЦИОНАЛНИ ИЗПИТАНИЯ НА ШИЛА И ДЛЕТА ЗА ПЕРФОРАТОРИ

Милко Дочев[1], Цветан Найденов[2]
[1]*Технически колеж - Ловеч*
[2]*Спарки – Елтос ЕАД - Ловеч*

ANALYSIS OF FUNCTIONAL TESTS OF POINT CHISEL AND FLAT CHISEL FOR ROTARY HAMMER

Milko Dochev[1], Cvetan Naidenov[2]
[1] *Technical College - Lovech*
[2] *Sparky - Eltos EAD - Lovech*

Abstract
Presented are the results of functional tests of scissors and chisels with different grippers for perforators. The methodology used is based on company normals. Operational tests and categorization of the quality of different company models were made. On the basis of a comparative analysis of the test results in a certified factory laboratory is chosen a supplier of shaving and chisel for the assembly of manual electric perforators. The development was applied in the activity of a company producing hand-held power tool

Keywords: point chisel, flat chisel, rotary hammer;

ВЪВЕДЕНИЕ

Утвърждаването на пазара на фирма „Спарки“ ЕАД – Ловеч, като водещ производител на ударно – пробивни електроинструменти – перфоратори, къртачи, ударно-пробивни бормашини, изисква окомплектоването им с набори от шила, длета, каналокопачи. По този начин се разширява асортимента и пряко се подпомага купувача, спестявайки му време и средства при покупката на готови комплекти „ръчен електроинструмент – инструментариум“, предлагани в куфари.

Изборът на инструментариум за окомплектоване се прави на базата на сравнителен анализ от резултатите на функционални и надежностни изпитания в заводските лаборатории въз основа на нормативната база (стандарти, нормали, методики). Това позволява да се вземе решение за избор на фирма- производител (доставчик) на такива шила, длета, каналокопачи.

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Цел на изпитването

Да се определи качеството на изпитваните образци за утвърждаване на нов доставчик и да се определи към коя категория на качество са предоставените шила, плоски длета и каналокопачи.

2.Брой на изпитваните образци: 2÷5 бр.

2.1. За изпитване на експлоатация по 2 броя от тип. За провеждане на изпитания е необходимо предварително специфициране на предназначението на всеки един аксесоар от производителя.

3.Контролирани показатели.

3.1. Маркировка – ФН – 220.

3.1.1. Всички шила, длета и каналокопачи да имат маркировка, знак за присъединяване SDS plus или SDS max и надпис SPARKY.

Контрола на маркировката се извършва на 100% визуално.

3.2.Геометрични измервания - съгласно каталожни данни или чертеж.

4.Експлоатационни изпитвания и категоризация на качеството

4.1. Използвани означения :

δL, mm –износване на работната част.

L , mm – разстоянието от нанесеният в началото белег до работния връх, след отработените цикли.

4.2 Режими на изпитване на шило, плоско длето и каналокопачи SDS plus и SDS MAX.

4.2.1 Режим на изпитване на шило, плоско длето и каналокопачи SDS plus (Приложение - табл. 1)

4.3 Работни условия за изпитание на шила, длета и каналокопачи SDS plus и SDS max.

4.3.1 Работни условия за изпитание на шила и длета SDS plus и SDS max.

Преди започване на изпитанието върху шилото и/или длетото да се нанесе траен белег на разстояние 80 mm от работния му връх. Изпитването да се провежда при къртене (разбиване) на бетонни блокчета марка М 350 с размер 0.5x0.5x0.25 , m . Режимите на работа са посочени в т.4.2.1 и 4.2.2. След осъществяване на посочената заработка се измерва разстоянието от нанесеният в началото белег до работният връх на шилото L , mm.

4.3.2 Работни условия за изпитание на каналокопач SDS plus и SDS max.

Преди започване на изпитанието върху каналокопача да се нанесе траен белег на разстояние 80 mm от работният му връх. Изпитването да се провежда при осъществяване на канал с дълбочина 25mm. в бетон марка "М 350". Режимите на работа са посочени в т.4.2.1. и 4.2.2. След осъществяване на посочената заработка се измерва разстоянието от нанесеният в началото белег до работният връх на каналокопача L, mm.

Заб. Трайния белег да бъде на дълбочина max 3 mm и с широчина max 1,3 mm. Заобляне на белега към основата не се допуска.

4.3.3 Критерии за прекратяване на изпитанията.

Изпитанието на всеки образец продължава до осъществяване на посочените цикли.

Изпитанието се прекратява и при появата на някой от следните дефекти:

- Счупване на изпитвания образец.
- Изкривяване на изпитвания образец.
- Невъзможност за реализиране на надеждно присъединяване.
- Заобляне (подбиване) на работната част, водещо до загуба на функционалност.
- Нарушаване на цялостта и геометрията на опашката на образеца.

Допълнителни условия: Работните параметри (консумирана мощност, осов натиск, еднороден материал) по време на отделните изпитания трябва да са еднакви.

4.4 Оценявани показатели.

Като оценявани показатели се отчитат разстоянието от нанесеният в началото белег до работния връх след отработване на посочените цикли и пресметнатото износване на работната част δL [mm].

4.4.1 Пресмятане на износването на работната част δL „mm.

Пресмятането се извършва съгласно следната формула:

$$\delta L = 80 - L, \text{ mm}, \quad (1)$$

където: δL, mm – износване на работната част.

L ,mm – разстоянието от нанесеният в началото белег до работния връх, след отработените цикли.

5. Критерий за оценка.

Изчисленото износване на работната част **δL,** mm след реализиране на зададените цикли се сравнява със стойностите посочени в таблица 3 и служещи за база за оценка на качеството на изпитвания образец съгласно същата таблица [1].

6. Документиране на резултатите.

6.1. Резултатите от контрола на линейните и ъгловите размери да се документират в протокол

6.2. Резултати от експлоатационните изпитвания се документират в протокол.

7. Анализ на резултатите.

7.1. Анализ на геометричните размери.

7.2. Анализ на твърдоста HRC.

7.3. Анализ относно функционалното присъединяване на образеца към съответния електроинструмент (SDS Plus, SDS MAX).

7.4. Анализ на извършените изпитания от „Лаборатория за изпитване на ръчни електроинстументи“

8. Оценяване на качеството.

Оценяването на качеството се извършва чрез Сравнителен анализ на получените резултати от функционалните изпитатия на мострените образци. В зависимост в коя колона от табл. 3 попада износването δL [mm] на образеца, се определя и качеството.

9. Одобрение на нов доставчик.

Ако анализите по т.7 са положителни и образеца е оценен със стандартно или HD качеството, предоставените мостри се приемат и фирмата доставчик може да бъде одобрена, като същата бъде записана във фирмена нормала.

Резултати от изпитвания на шила и плоски длета, взети под внимание за определяна на критериите за оценка на качеството са показани на фиг. 1, фиг. 2 и фиг. 3. Резултатите са от изпитване на шила SDS + от фирма “HAWERA”, от склад „Готова продукция Спарки” и от комплектация на машина „Спарки“.

Режим на изпитване:

12 цикъла – 10 мин. работа, 5 мин. Престой. Общо 120 мин. работа на шилото. Преди започване на изпитването шилото е с дължина L.

- Шило SDS + “HAWERA”.

Първоначалната дължината на шило “HAWERA” е L = 250 [mm]. След 120 мин. експлоатация, шилото е намаляло с 3.1 mm (фиг.I.1). С шилото се работи добре.

- Шило SDS +, от склад „Готова продукция”. Шилото е с първоначална дължина L = 244.3 mm, след 60 мин. експлоатация, шилото се счупва при прехода от опашката към тялото на шилото. По време на работа шилото поражда механични вибрации в машината, които са с голяма продължителност. В следствие на голямото затъпяване

Като основен критерий за определяне на качеството се взема на база, функционалното изпитание.

на шилото и недопустимо високи вибрации, шилото се счупва.

- Шило от „Комплектация на машини”

Първоначалната дължина L = 252 mm. След 120 мин. Експлоатация шилото е намаляло с 6 mm. Шилото също поражда вибрации в машината, но с по малка продължителност, дължаща се на теглото му, което е по малко от шило „Готова продукция”

И при двете шила (от склад „Готова продукция” и „Комплектация на машини”) бойника на машината удря шилото на малка площ, поради неперпендикулярната челна повърхност на опашката контактуваща с бойника и от неравности получени при механичната обработката на челото на опашката. Също така намалена площ на челото на опашката може да се получи и при перпендикулярност на челото на опашката спрямо аксиалната дължина на шилото, но поради голямата фаска площта за контакт между бойника и шолото също може да се намалява. Това е следствие дължащо се на липса на краен качествен контрол при производството на шилата.

От значение са също така, геометричните показатели по които се изработва захвата SDS +, те задължително трябва да бъдат в граничните отклонения по чертеж. В противен случай дори и малко отклонение в диаметъра на опашката от порядъка на 0.040 mm води до разбиване на вретеното на BPR – 241 E, което разбиване довежда от своя страна до започване на изтичане на смазващото вещество. В съчетание с температурата на редуктора, която е около 65 ºC, изтичането на греста се благоприятства допълнително. Намаляването на греста в редуктора е предпоставка за повреда в машината, която повреда може да доведе до сериозен отказ и финансови разходи за нейния ремонт.

От направените изпитания може да се въведат следните размери за шила SDS+:

А) За геометрични размери :

- Перпендикулярност на челото на опашката спрямо аксиалната дължина на шилото: , фаска 0,5 ÷ 0,3x45º

- Твърдост на работната част 55 ±5 HRC.

Б) Износване на работната част, на шилото.

До 4 mm: при 120 мин. работа и тегло от 0.225 до 0.255 kg, и по изключение с стегло ≈ 0.160 [kg], 1 – во качество. От 4 ÷ 8 mm : при 120 мин. работа и от 0.225 до 0.255 kg , 2 – ро качество.

- Длето SDS + "HAWERA" .

Първоначалната дължината на длетото "HAWERA" е L = 252 mm. След 120 мин. Експлоатация, длетото е намаляло с 2.2 mm (фиг.1).

- Длето SDS +, от склад „Готова продукция" .

Длетото е с първоначална дължина L = 247.4 mm, след 120 мин. експлоатация длетото е намаляло с 2.1 mm. По време на работа длетото поражда механични вибрации в машината. Длетото е силно захабено.

- Длето от „Комплектация на машини" Първоначална дължина L = 249 mm. След 120 мин. Експлоатация длетото е намаляло с 2.8 mm. Длетото също поражда вибрации в машината, но с по малка продължителност, дължаща се на теглото му, което е по малко от длето „Готова продукция"

И при двета шила (от склад „Готова продукция" и „Комплектация на машини") бойника на машината удря шилото на малка площ, поради неперпендикулярната челна повърхност на опашката контактуваща с бойника и от неравности получени при механичната обработката на шилото. Това поради липса на краен контрол при производството на шилата. От направените изпитания може да се въведат следните размери за длета с SDS+.

А) За геометрични размери:

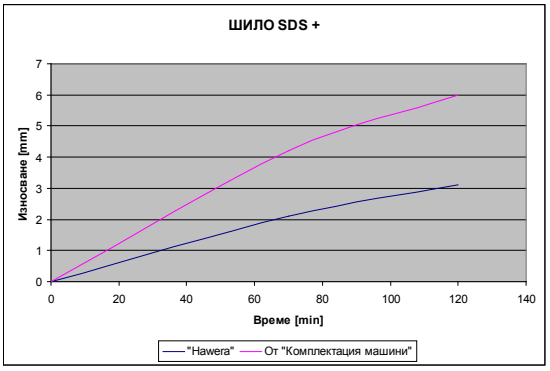
- Перпендикулярност на челото на опашката спрямо аксиалната дължина на шилото: фаска 0,5 ÷ 0,3x45º
- Твърдост на работната част 55 ±5 H_{RC}.

Като основен критерий за определяне на качеството се взема на база, функционалното изпитание.

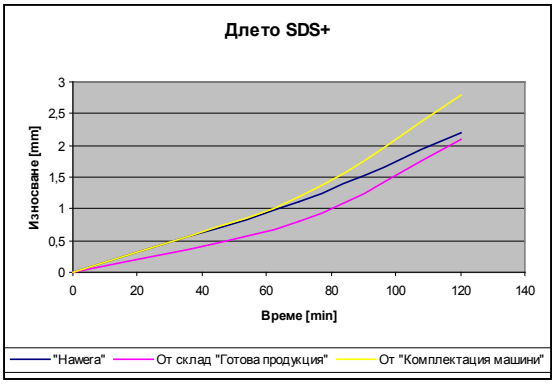
Б) Износване на работната част, на длетото.

До 2.5 mm при 120 мин. работа и тегло: ≈ 0.225 ÷ 0.255 kg стандартно качество и от 2.5 ÷ 4 mm : при 120 мин. Работа и тегло: ≈ 0.225 ÷ 0.255 kg HD качество.

Фиг. 1. *Износване на шило SDS+ - „Hawera".при твърдост на работната част 53 H_{RC}*



Фиг. 2*. Износване на шило SDS+, „Спарки", при твърдост на работната част 53 H_{RC}*



Фиг. 3*. Износване на длето SDS+,-„Hawera" „Спарки", при твърдост на работната част 57 H_{RC}*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на получените резултати са изведени основни критерии за приемни оценки и избор на доставчик на шила и длета за нуждите на фирма „Спарки" – ЕАД – Ловеч. Разработената методика е внедрена във фирмата[1].

REFERENCE

[1] "Sparky-Eltos" EAD – Lovech, Methods №166895 and 167406, 2011.

Приложения:

Табл.1 Режими на работа на къртачи

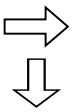
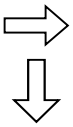
№	Използван инструмент	Машина	Осов натиск N	Материал	Положение на превключвателя за режим	Положение на работния инструмент	Работен цикъл *[min]*	Брой работни цикли		Отработено време
							Работа	Престой		**min**
1	Шило SDS +	BPR **K306**	**40÷70**	**Бетон "М 350"**			**20**	**10**	**6**	**120**
2	Длето SDS +	BPR **K306**	**40÷70**	**Бетон "М 350"**			**20**	**10**	**6**	**120**
3	Канало копач SDS +	BPR **K306**	**40÷70**	**Бетон "М 350"**			**20**	**10**	**6**	**120**

Табл.2 Режими на работа на къртачи

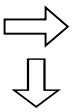
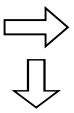
№	Използван инструмент	машина	Осов натиск N	материал	режим на работа	Положение на работния инструмент	Работен цикъл *[min]*		Брой работни цики	Отработено време
							Работа	Прес-той		**min**
1	Шило SDS max	**BP750CE**	**70-100**	**Бетон "М 350"**	**G чук**		**20**	**10**	**6**	**120**
2	Длето SDS max	**BP750CE**	**70-100**	**Бетон "М 350"**	**G чук**		**20**	**10**	**6**	**120**
3	Каналокопач SDS max	**BP750CE**	**70-100**	**Бетон "М 350"**	**G чук**		**20**	**10**	**6**	**120**

Табл.3 Допустимо износване на работната част

№	Вид на образеца	Износване на работната част δL [mm]		
		Лошо качество	Стандартно качество	HD
1	Шило	$\delta L > 8$ [mm]	$4 < \delta L \leq 8$ [mm]	$\delta L \leq 4$ [mm]
2	Длето плоско	$\delta L > 5$ [mm]	$3 < \delta L \leq 5$ [mm]	$\delta L \leq 3$ [mm]
3	Каналокопач	$\delta L > 5$ [mm]	$3 < \delta L \leq 5$ [mm]	$\delta L \leq 3$ [mm]

Забележка: Данните са изготвени на база извършени функционално изпитания във SPARKY.

DEVELOPMENT OF 3-D PRECAUTIONS FOR THE PRODUCTION OF RESPONSIBLE STRUCTURAL ELEMENTS

Salenko A.F., Orel V.N., Shchetinin V.T., Titarenko A.N. Gabuzyan G.V.[1] Samusenko A.N., [2]

[1] Kremenchug National University named M.Ostrogradsky, Kremenchug, Ukraine
[2] State Design Bureau "Yuzhnoe"named M.K. Yangel, Dnipro, Ukraine

Abstract

The issues of use of 3-D print media for manufacturing structural elements of machines and apparatuses are considered. The analysis of the printing features of PLA-Carbon and PEEK (PEEK-Carbon) plastics is given. It is shown that REEC plastics printing is accompanied by a number of problems associated with high residual thermal stresses when cooling the material, and also with the problem of adhesion to the surface of the lining, which should retain its properties to a temperature of 420^0C. Detailed analysis of the causes of the occurrence of defects in the printing of products, statistical data on the number and frequency of failures (parametric or functional) of the 3-D printing process are given in creating products requiring a significant length of process (over 12 hours).

Examples of marriage when working with PEEK materials are given, the reasons of their occurrence are clarified. It is shown that the problem of interlayer adhesion remains the most acute, which determines the anisotropy of the properties of the finished product. Recommendations for preventing the marriage due to the bundle, the errors of the geometric parameters of the product are formulated, the conclusion is made on the expediency of introducing these processes into production.

A new concept of 3-D printing is formulated, based on the principle of continuous formation of various compatible functional clusters, the set of which will determine the properties of the finished product.

Keywords: *3-D printing, additive processes, PEEK-filament, clusters print*.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время наблюдается активное развитие научных исследований, направленных на изготовление различных деталей и их прототипов средствами 3-D печати. Используемые аддитивные технологии, как правило, предусматривают точечное, непрерывно-линейное или послойное нанесение материала на плоскую основу, благодаря чему формирование объекта осуществляется поэтапно, слой за слоем, до полного воспроизведения заданной формы. Сами объекты изготавливают как из полимеров (которые изначально поставляются в виде филаментов или фотополимерных смол), так и из металлов (порошков различной дисперсности и состава).

В настоящее время появляется много работ, посвященных исследованиям аддитивных технологий, перспективе их использования в различных отраслях, в том числе в биологии, хирургии, строи-тельстве и тому подобное. Практически все эти процессы объединяет главный принцип формирования изделий: из подготовленного материала формируется единичный слой поверхности путем экструзии (FDM-процесс), поверхностного расплава (LS) или фотохимического превращения. Так, работа [1] отмечает, что FDM-процесс является наиболее простым, для его реализации используется пластиковая нить (филамент), которая расплавляется в экструдере и дальше механически экструдируется на поверхность рабочего стола (основания). Подобный процесс положен в основу многих современных 3-D принтерив как профессионального, так и бытового назначения [2]. И именно поэтому рынок печатающих средств предлагает большое количество принтеров, отличающихся прежде всего компоновкой и сервисными функциями.

Принтеры, использующие фотополимеры в расплаве и формирующие слой путем лазерной засветки [3], имеют ограниченную рабочую зону, значительно большую стоимость (поскольку используют специальные оптические системы, лазерную головку, а фото полимерные смолы являются достаточно дорогостоящими), и используются преимущественно для изготовления высокоточных моделей в стоматологии, ювелирном деле. Размеры рабочих столов составляют от 60х60 мм до 200х200 мм, однако высокая стоимость и ограниченность номенклатуры фотополимерных смол не позволяют активно применять такие принтеры для решения производственных задач.

Принтеры лазерного спекания [4] является промышленным оборудованием, которое требует специальных помещений, коммуникаций, соответствующего электрического питания и т. п. Для спекания используются порошки различ-ных металлов; получаемое качество сопоставимо с качеством слоев после получистовой механической обработки, точность воспроизведения модели - не хуже IT9 ... 10, разрешение - до 0,05 мм.

Вместе с тем, исходя из того, что современное производство все больше ориентируется на использование пластических масс, именно FDM-процессы следует считать наиболее перспектив-ными. Об этом свидетельствует не только растущее количество новых технических решений печатающих устройств (головок), схем и компоновок оборудования для печати [5], но и поиск новых материалов, которые обладали бы лучшими физико-механическими свойствами, стойкостью к агрессивным средам, устойчивостью к циклическим и знакопеременным нагрузкам.

Следует отметить, что в настоящее время традиционно распространены компоновки принтеров, использующие печатающие головки и полимерные материалы, ориентированные преимуще-ственно на создание моделей с точностью воспроизведения размеров по IT 10-12, и печать более точных деталей (например, IT7-9), способных нести определенные технологические нагрузки, затруднен. Такое положение дел обусловливает необходимость поиска новых приемов и методов ведения печати на основе анализа явлений, происходящих как в экструдере, так и после выхода расплава и укладки его на поверхность.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Известно, что процесс послойного экструдирования филаментов, независимо от используемого пластика, состоит в том, что расплав экструдируется из сопла и укладывается на поверхность, формируя слой из застывшего материала. При этом объем выдавливаемого материала, обусловленный скоростью экструзии, расстояние до поверхности выкладки влияют на форму выложенной части расплава, а также на силу прижима к поверхности ([6], [2]).

Таким образом, создание готового изделия является многофакторным многоэтапным процессом, варьирование факторами которого может существенно влиять не только на показатели точности, но и на прочность, твердость изделия, его упругие свойства.

Среди большого разнообразия пластиков, для изготовления конструкциионных изделий можно отдать предпочтение нескольким: PLA, ABS, PET, PLA-carbon, PEEK. Первый является наиболее распространенным, простым в печати и дешевым, однако деградация пластика с течением времени не позволяет его использовать в чистом виде для различных конструкционных элементов. В отличие от него PLA-carbon является не только более прочным, но и износостойким материалом, выдерживающим длительную эксплуатацию. Однако имеющийся в составе армировщик (рубленное углеволокно) быстро изнашивает сопло экструдера, и печать сложных изделий, требующих длительной работы экструдера, затруднена. ABS применяют для более ответственных изделий, а способность этого материала легко расплавляться кетонами (например, ацетоном), делает его незаменимым для изделий, требующих склейки. PET является одним из пластиков, выдерживающих повышенные температуры. Так, изделия из этого материала способны работать .при температурах до 95 ^{0}C, а после закалки – до 125 ^{0}C.

Однако наиболее перспективным для получения конструкционных изелий является РЕЕК материал (полиэфир-эфир-кетон). Недостатком можно считать высокую стоимость материала (около $1000,00 за кг), а также необходимость в специальном оборудовании.

Нами выполнен комплекс теоретико-экспериментальных исследований процесса печати типовых конструкциионных элементов и определены их основные физико-механические свойства на предмет использования в жестких эксплуатационных условиях.

Поскольку к готовому изделию выдвигались требования по прочности, а также геометичности в целом, печатание выполнять со 100% заполнением слоев поверхностей, и 90% заполнения сердцевины. Тем самым достигали определенной экономии веса при сохранении механических характеристик и плотности поверхности.

Опытные образцы и изделия печатали на принтере типа PRUSA (рис. 1), который был оснащен высокотемпературной головкой с жидкостным охлаждением для работы с реек пластиком (температура плавления 420...430^{0}С). Головка была изготовлена из материала АЛ16, а управление процессом экструзии осуществлялось путем привлечения дополнительных каналов управляющего устройства RUMBA.

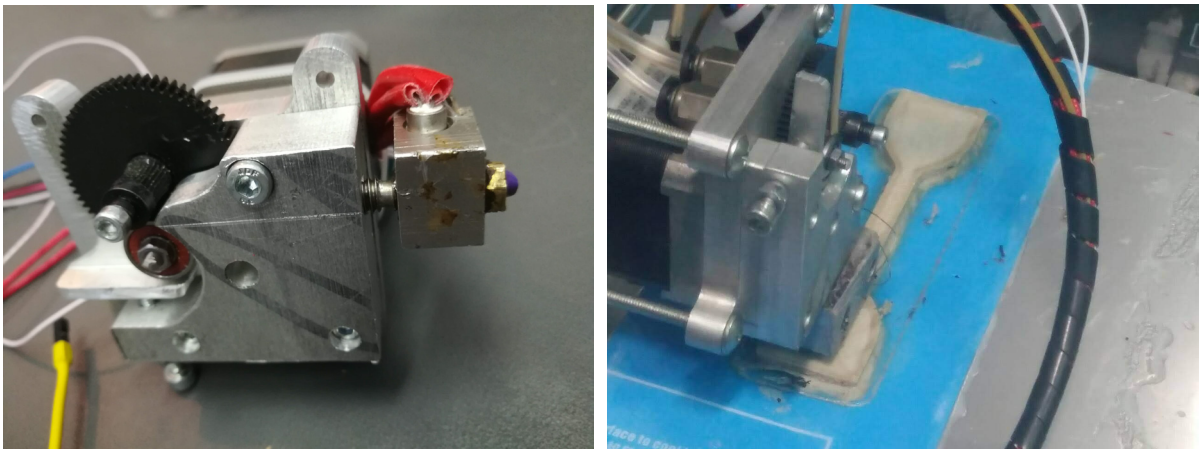


Рис. 1 *– Высокотемпературная рабочая головка*

В качестве рабочего материала был принят РЕЕК пластик, армированный углеродным волокном. Этот пластик на сегодня является одним из наиболее прочных и стабильных материалов. Дополнительно изделие изготавливали из материала PLA-carbon.

После нескольких неудачных попыток выполнить формирования простых объектов (в виде пластины-образца для испытания на изгиб и круга для испытания на межслойной разрыв) выполнен следующие доработки оборудования:

- выполнен защитный экран, способный стабилизировать температуру на рабочем столе, а также предупреждающий попа-дание химических летучих соединений и паров в рабочее помещение;
- установлен дополнительный драйвер для нагрева стола (с отдельным блоком питания), который обеспечивал нагрева стола в пределах 110 ^{0}С - 120 ^{0}С;
- установлен отдельный драйвер для нагрева хотенда (применены два нагревателя общей мощностью 250 Вт, позволяющие нагревать рабочую камеру до температуры 420-435 ^{0}С. Отработка технологи выполнялась на болем сложном образце – лопатке для механических испытаний в соответсвии с ДСТУ. Толщина лопатки – 5,0 мм$_{-0,21}$ мм. Отработку программы выполняли после достижения температуры стола 112 ^{0}С, температуры в экструдере – 420…435 ^{0}С.

При этом было установлено, что печать РЕЕК пластиком сопровождается рядом дефектов, которые можно разделить на следующие группы: 1) нарушение адгезии с основанием; 2) расслоения (скрытое локальное расслоение) 3) пригары на поверх-

ности и торцах; 4) сдвиги слоев; 5) выжимание пластика; 6) неравномерная выкладка; 7) деформация вследствие высоких остаточних термических напряжений. Однако главной проблемой печати оказалась проблема обеспечения высокой адгезии к рабочему столу заготовки.

Нами показано, что PEEK-пластик может удовлетворительно выкладываться исключительно после тщательного удаления влажности с поверхности филамента (например, в сушильных шкафах в течение 10-12 часов и относительной влажности в помещении не более 45%). Наличие влаги вызывает появление зон внутренних дефектов в виде каверн. Механизм их образования можно объяснить тем, что накопленный на поверхности мультимолекуляний слой воды при нагревании образует полость с пресыщенным паром, которая остается замкнутой в результате действия давления от филамента, подающегося в горячую зону и сопла, которое формирует расплавленный пластик.

В дальнейшем, после экструдирования, внешнее давление резко падает, и полость начинает расти, одновременно с охлаждением пластика и снижением его вязкости (сгущением). Если за время охлаждения полость возрастет больше критического размера, произойдет ее разрыв с характерным звуком схлопывания, сопровождающим процесс печати. Именно тогда возникает разрыв на границе адгезионного сцепления, то есть на поверхности, имеющей максимальный градиент температуры. Так формируется микроразрывы, которые в дальнейшем уже не заполняются пластиком; следующая укладка слоев увеличивает касательные напряжения и еще больше ослабляет поверхность адгезии.

Установлено, что рабочая зона должна быть абсолютно закрытой. Даже незначительное движение воздуха вызывает сбои при печати, проявляющиеся в определенных деформациях элементов поверхности.

Полученные образцы (рис.2) подвергали последующим механическим испытаниям (на разрыв).

а)

б)

Рис. 2 *– Образцы из PLA carbon (а) и PEEK пластиков*

Печать опытных образцов показала, что при отсутствии дефектов прочность образца при растяжении достигает 85 МПа (неудачные и образцы с внутренним расслоением показали гораздо худший результат - 45...52 МПа), что сравнимо с пределом прочности самого материала (88-90 МПа). Однако способ выкладки филамента и схема приложения нагрузки оказывает существенное влияние на показатели прочности.

Таким образом, изготовление конструктционных элементов из PEEK материала является перспективным и целесообразным.

Более дешевой альтернативой указанному материалу является армированный рубленным углеродным волокном PLA пластик. Несмотря на то, что этот пластик

имеет ограниченный температурный диапазон эксплуатации, он также может использоваться для изготовления мелких менее нагруженных деталей, а также деталей из лимитированным временем эксплуатации. Максимальная прочность изделий, полученных из PLA-carbon материала составляет 52,4 МПа (при прочности филаментов 55,0 МПа).

Нами также установлено, что использование соответствующего программного обеспечения, использование средств дозирования филаментов существенно влияет на качество печати не только на макро-, а и на макроуровне. Детальное микроэлектронное исследования влияния управляемых факторов на формирование микрообемов заготовки позволило выдвинуть идею о возмож-ности печатания любого изделия в виде соединенных кластеров, проявляющих различные свойства, однако могущих быть соединенными в элементарных объемах или плоскостях. Такая кластеризация позволяет обеспечить функтиональный подход к изготовлению изделий, а в дальнейшем вообще перейти к созданию так называемых старт-материалов аддитивными технологиями.

Таким образом, предлагаемая концепция кластерного формирования материала методами 3-D печати позволяет вариативные свойства локализовывать на макро- или микроуровнях, тем самым обеспечивая требуемые функциональные свойства в пределах элемента детали, отдельного слоя, поверхности или микрообъема.

Например, чередование кластеров с постоянным или переменным, в зависимости от деформации (наргрузки) электрическим сопротивлением путем введения специальных добавок, позволяет создавать своеобразные тензорезистивные цепи. Их подключение к регистрирующим приборам обеспечит надежный контроль состояния конструкции в целом.

Формирование поверхностных резистивных кластеров, чередующихся с токопроводящими кластерами, позволит получать комбинированный нагреватель, который при пропускании электрического тока будет способен регулируемо разогревать именно поверхностный слой; при этом все нижние слои, владея повышенной твердостью и прочностью, обеспечат надежное выполнение разметов формируемого изделия. А сочетание направляемых в специальный экструдер различных компонентов дает возможность непрерывного адаптивного формирования требуемых свойств изделия в процессе самой аддитивной технологии.

Методология данной концепции базируется на том, что в отличие от существующих способов печать морфологически совместимых кластеров материала идет непрерывно, требуемый состав материала готовится непосредственно в рабочей камере экструдера, а после выкладки материал дополнительно подвергается определенному высокоэнергетическому воздействию (действию магнитного или электростатического поля, действию луча лазера, действию иных источников.

Так, в камере перед экструдером протекают физические (реже – физико-химические) явления, которые активизируются или наоборот, фиксируются в момент выкладки на рабочий стол рабочего расплава, вследствие чего формируется определенный кластер изделия. Последовательно меняя условия воздействия высокоэнергетическим потоком, состав компонентов материалов перед рабочей камерой, а также скорость и направление выкладки, получаем требуемую функциональную структуру изделия (конструкции), строго соответствующую требованиям работы изделия в узле или в аппарате.

Дальнейшие исследования изложенной концепции планируется реализовать в специальных проектах.

CONCLUSION

Нами показано, что средства 3-D ечати имеют значительные преимущества перед другими способами производства изделий машиностроения. Так, применение высокопрочных PEEK материалов позволяет получать изделия, обладающие значительной прочностью и другими важными механическими характеристиками.

В то же время процесс печати требует совершенствования, что связано с недоста-

точной отработкой технологии печати высокотемпературными материалами.

Также нами сформулирована концепция кластерной печати готовых конструкционных изделий, заключающаяся в формировании кластера как основного структурного элемента изделия в целом.

REFERENCE

[1] T. Prabhu (2016), Modern Rapid 3D printer - A Design Review, International Journal of Mechanical Engineering and Technology, pp. 29–37.

[2] Shchetynin V.T., Orel V.M., Chencheva O.O., Pavlyuchenko A.P.Pro dotsil′ nist′ vykorystannya zasobiv 3D druku dlya pidvyshchennya tochnosti statychnykh i dynamichnykh doslidzhen′ vazhil′ no-obertovykh mekhanizmiv // Visnyk KrNU imeni Mykhayla Ostrohrads′ koho. – Vyp. 1/2015(90). Chastyna 2.

[3] 3D printing and its applications //Verfasser des Aufsatzes: Gebhardt, Andreas; Fateri, Miranda: Fachhochschule Aachen University, Aachen, Germany. - © 2013 Andreas Gebhardt; Lizenznehmer RTejournal, weitere Informationen sind zu finden unter: http://www.dipp.nrw.de/service/dppl/ URN: urn:nbn:de:0009-2-35626

[4] Vishal N. Patel, Kamlesh P. Kadia (2014), Parametric Optimization of the process of Fused Deposition Modelling in Rapid Prototyping Technology – A Review, International Journal for innovative Research in Science and Technology (IJIRST), pp. 80–82.

[5] Kaufui V. Wong and Aldo Hernandez (2012), A Review of Additive Manufacturing, International Scholarly Research Network, pp 1–10

[6] Helena N Chia, Benjamin M Wu (2015), Recent advances in 3D printing of biomaterials, Journal of Biological Engineering, pp. 1–14

ОСОБЕНОСТИ ПРИ ЛЕГИРАНЕ НА ЖЕЛЯЗНА МАТРИЦА В ПРАХОВАТА МЕТАЛУРГИЯ

Иван Винев
ТУ-Габрово

FEATURES WHEN ALLOYED OF IRON MATRIX IN POWDER METALLURGY

Ivan Vinev
TU - Gabrovo

Abstract

The report examines the peculiarities of alloying the iron powder metallurgical matrix. There are presented the ways of alloying, as well as the main alloying elements. There is a special place for alloying elements not found in conventional metallurgy - copper and phosphorus.

Keywords: powder metallurgy; alloy powders; mechanical mixtures; nickel; molybdenum; copper; phosphorus.

INTRODUCTION

Конструктивните изделия в праховата металургия аналогично на тези в конвенционалната се изработват като правило от сплави. Метали в чисто състояние се употребяват само ако от изделията се изискват специални физични свойства. Получаването на определени физико-механични свойства налага използването на легирани железни прахове. Голяма част от легиращите елементи, които се използват в черната металургия за подобряване свойствата на желязото, се употребяват по аналогия и в праховата металургия. Съществуват обаче и някои съществени особености: [7, 9, 11]

- *прилагането на някои широко употребявани в черната металургия легиращи елементи – хром, манган, силиций, титан и ванадий – е затруднено поради силния им афинитет към кислорода;*
- *повърхностният слой от съответния окис, който се образува при окисляване се редуцира много трудно при обикновените условия на спичане, нещо повече, в резултат на реакции със средата на спичане и присъствия в железния прах кислород често протича допълнително окисляване и в самия процес на спичане, поради което дифузията се затруднява и се получава материал с ниски физико-механични свойства, поради това окисите на легиращите добавки, които се смесват с железния прах, трябва при спичане да се редуцират по-лесно от окисите на самото желязо;*
- *в праховата металургия намират широко приложение за легиране някои елементи, които се използват ограничено в черната металургия – например мед и фосфор;*
- *при спичане невинаги се достига пълна хомогенизация на сплавите;*
- *в сравнение с класическата металургия тук са необходими по-големи количества от сплавящите добавки, за да се получат желаните свойства;*
- *много важен фактор при подбиране на вида и количеството на легиращия елемент е влиянието му върху точността на размерите на спечените изделия.*

Поради тези причини химичният състав на голяма част от спечените стомани се различава значително от състава на обикновените стомани със същата област на приложение.

ИЗЛОЖЕНИЕ

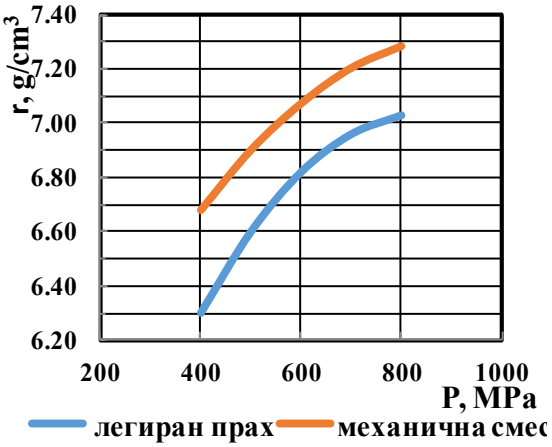
Окончателният комплекс от физико-механични свойства на спечените материали зависи в голяма степен от начина на въвеждане на легиращите елементи в тях. В праховата металургия се използват няколко начина на легиране: *механична смес; легиран прах и частично легиран прах* - фиг. 1.

***Фиг. 1**. Схеми на легиране в праховата металургия:*
а – механична смес; б – легиран прах;
в – частично легиран прах.[7,9]

От фиг. 1, се вижда, че най-подходящ за употреба в производството изглежда готовият легиран прах, защото отделните прахови частици имат еднакъв състав с крайното изделие. Такива прахове се получават чрез разпрашаване, механично смилане, съвместна редукция и др., като най-широко промишлено приложение намира методът на разпрашаване на метални стопилки. [5,7] По този начин се получават сплави от много цветни метали – бронз, месинг, алуминиеви сплави, а също от ниско- и високолегирани стомани.

Използването на легирани прахове дава възможност максимално да се оползотворят легиращите елементи, да се получат сплави с висока хомогенност на структурата, а от там и с най-голяма еднородност на свойствата и точност на геометричните параметри на изделията. Поради по-голямата си твърдост обаче легираните прахове имат сравнително лоша уплътняемост, което има голямо значение при пресоването на детайли с по-сложна конфигурация. В такива случаи са подходящи високоенергетичните методи на формоване – горещо динамично пресоване, висококоростно пресоване и др.[1,7]

Досега по-широко приложение в праховата металургия намира пресоването на механични смеси от необходимите компоненти, като желаните сплави се образуват чрез дифузия по време на спичането. [7]



***Фиг. 2.** Уплътняемост на легирани прахове и механични смеси със състав Fe+2%Ni+0,5%Mo+0,5%C*

На фиг. 2 е показана много по-добрата уплътняемост на механична смес в сравнение с легиран прах със същия състав.

Употребата на механични смеси изисква много по-добро смесване на компонентите преди пресоване, по-висока емпература и по-голяма продължителност на процеса спичане, за да се хомогенизира сплавта. В някои случаи, за да се получат материали със специални свойства– например с висока износоустойчивост, се прибягва до създаването на неравновесни структури.

Компромис между легираните прахове и механичните смеси представляват предварително частично легираните прахове. При спичане легиращите елементи дифундират сравнително бързо в основния метал, което дава възможност процесът да се извършва при по-благоприятни технологични условия. Термичното обработване се контролира внимателно, така че взаимодействие между легиращите елементи и железния прах да бъде в начален етап.

За разлика от конвенционалната металургия в праховата металургия медта се явява основен легиращ елемент, като предимствата й се свеждат до следното: [2,6]

- *добро смесване с железния прах;*
- *лесна редуцируемост на медните оксиди;*
- *образуване на течна фаза при спичане при сравнително ниски температури.*

Легирането на желязото с мед или с мед в комбинация с други елементи дава възможност да се получат сплави с много добри физико-механични свойства. Желязо-медните сплави се получават обикновено от механични смеси. Специфичен метод на легиране е пропиването на порест железен скелет с разтопена мед или нейните сплави. Медта се използва също и при получаване предварително на дифузионно легирани прахове и значително по-рядко при готови легирани прахове.

Формирането на структурата на сплавта при спичане на механична смес от железен и меден прах представлява както теоретичен, така и практически интерес. Системата желязо–мед е с ограничена разтворимост на компонентите в твърдо състояние - при температура 1094ºС желязото разтваря около 8 % мед., а медта от своя страна може да разтвори около 4% Fe. С понижаване на температурата взаимната разтворимост намалява. При 850ºС настъпва евтектоидно разпадане и при стайна температура се наблюдава смес от **α-** и **ε-** смесени кристали. В твърд разтвор с желязото остава по-малко от 0,15% мед, а над това количество медта в структурата е в свободен вид. Размерът и формата на медните включвания зависят от: *скоростта на охлаждане; общото количество мед; температурата и продължителността на синтероване.*

Процесите, които настъпват при нагряване на прахова смес от желязо с 5÷10% мед до температура 1200ºС, се извършват в следната последователност:

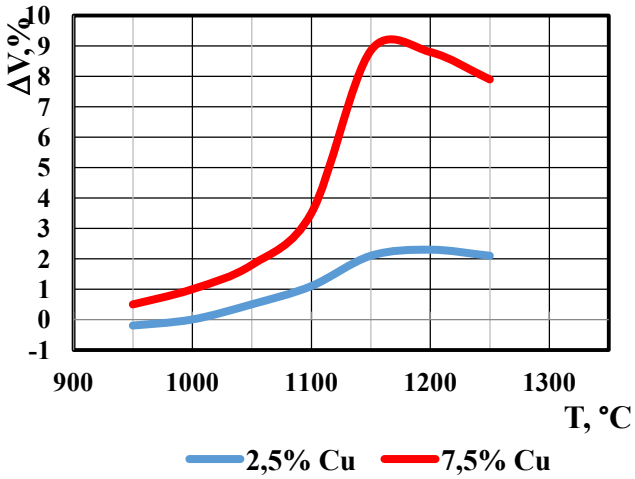
- *при температура над 300ºС започва частично спичане на Cu с Fe и Cu с Cu;*
- *над 600ºС медта дифундира в желязото, а желязото – в медта.*

При обикновена скорост на синтероване тези процеси не се извършват интензивно Колкото по-голямо развитие получават дифузионните процеси до началото на топене на медта – 1083ºС, толкова по-малък е ефектът, предизвикан от това топене.

При нагряването протича процес на синтероване на желязото, съпроводен със „свиване" особено при температура над 800ºС. Характерен момент е достигането на температурата на топене на медта или на сплавта мед – желязо, образувала се в резултат на дифузия. С появата на течна фаза рязко се интензифицира процесът на синтероване. Течната мед бързо се придвижва във всички открити пори на материала, като едновременно с това дифундира в желязото. Времето, необходимо за дифундиране на цялото количество мед в желязото, зависи от размера на частиците прах, химичния състав и температурата на синтероване. В повече от случаите на промишлено спичане дифузията протича почти до края, което е свързано с общо увеличаване обема на спичаното тяло.

Основен въпрос при изучаване на системата Fe-Cu е механизмът на т.н. компенсиращо действие на медта. Известно е, че пресованите тела, изработени от нелегирани железни прахове, се свиват при спичане. Добавянето на мед води не само до компенсиране на това свиване, но и до разширяване, т.е. до нарастване на обема. Увеличаването на обема при легиране с мед се дължи на неравенството на парциалните коефициенти на дифузия на медта в желязото, което обуславя и неравенството в потоците на отделните компоненти при спичане. Коефициентът на дифузия на Cu в Fe е по-голям от този на Fe в Cu, следствие на което в частиците на медта се образуват излишни ваканции, които коалесцират в пори, а частиците на желязото увеличават обема си поради преобладаващия приток на медни атоми. Този процес се наблюдава както без, така и в присъствие на течана фаза. Появата на течна фаза интензифицира процеса, без да е необходимо условие за протичането му.

Установено е, че при достигане температурата на топене на медта обемът нараства почти скокообразно, като следващото повишаване на температурата до 1250ºС не води до съществени промени – фиг. 3. [4,5]



Фиг. 3. *Изменение обема на детайли от Fe прах съдържащи и несъдържащи мед след 1h спичане в зависимост от температурата*

При изследване влиянието на продължителността на спичане върху обемните изменения в системата Fe-Cu се установи извънредно бързо нарастване на обема в областите над температурата на топене на медта, като процесът почти не зависи от температурата на синтероване. Максимален обем се регистрира при продължителност на спичане около 45 min, като при удължаване на процеса нарастването на обема намалява.

При теоретичното обяснение на наблюдаваните зависимости се обобщава, че изменението в обема при спичане на Fe-Cu смеси се дължи на два взаимнопротивоположни процеса:

- *дифундиране на медта в железния скелет, при което той се „раздува" до определена стойност, съответстваща на обема на дифундиралата в него мед;*
- *разтваряне и обратно отлагане на Fe чрез медната стопилка, при което решетка на Fe се свива повече, колкото по-дребнозърнест е Fe прах и колкото по-голямо е количеството на добавения Cu прах.*

Стръмното покачване на дилатометричната крива при стопяването на медта, което се явява показател за нарастване на обема, се обяснява с перитектично появяване на твърда **ε**-фаза. При повишаване на температурата над 1094ºC**,** **ε**-фазата се превръща перитектично в наситено **γ**-желязо и богата на мед остатъчна стопилка. В този момент процесът на раздуване е вече завършил. Настъпващите в последствие изменения в системата водят до свиване на спичаното тяло.

Нарастването обема на Fe-Cu пресовани материали може същевременно да се намали чрез добавяне на неголеми количества от волфрам, волфрамов триоксид, въглерод или фосфор. Така например нарастването на размерите с 1,4% при добавяне на 5%мед се намалява до 0 при въвеждане на 1% волфрам, до 1% при добавяне на 1% графит и до 0,2% при добавяне на 1% фосфор. Макар и по-рядко, в практиката се използват също легирани и частично предварително легирани желязо – медни сплави.

В праховата металургия след медта, следващият най-разпространен легиращ елемент е никелът. Подобно на медта и той има слаб афинитет към кислорода. Въвеждането му дава възможност да се получат подходящи стойности за якостта и пластичността. Системата Fe-Ni се отнася към случая на неограничена разтворимост на компонентите в твърдо състояние.[7] Желязото и никелът образуват непрекъснат ред от твърди разтвори без крехки съединения. За разлика от системата Fe-Cu, тук парциалните коефициенти на дифузия се различават в незначителна степен и ефектът от нарастване на обема е почти незабележим. Никелът има голяма активираща способност при спичане, която се проявява при сравнително високи температури – над 1150ºC, и по-голяма продължителност на процеса. Легирането на желязото с никел забавя растежа на кристалите при спичане, което спомага за увеличаване на свиването през време на крайните стадии на процеса.

Начинът на легиране оказва голямо влияние върху структурата на Fe-Ni изделия. При работа с готови легирани прахове при спичане структурата остава еднородна, еднофазна и външно е сходна със структурата на изделия от нелегиран железен прах. При употреба на механични смеси от железен и никелов прах крайната структура зависи изключително от режима на спичане. При температура до 850ºC независимо от продължителността на спичане практически не настъпва взаимодействие между ни-

келовите частици и железните частици на матрицата.

С повишаване на температурата никелът се разтваря в желязото. За сплавите, получени при такива условия, е характерна петниста, неоднородна структура. Едва при повишаване на температурата до 1250ºС и продължителност на спичане над 120 min сплавта придобива еднофазен строеж.

Въглеродът и никелът се използват много често за съвместно легиране на желязото, при което свойствата на получените стомани се изменят в широки граници и се получават подходящи съчетания между якостните и пластичните свойства. С въвеждането на мед размерите на изделията при спичане нарастват, докато никелът спомага за намаляването им. При подходящо подбрано съдържание на мед и никел размерите на изделията при спичане може да не се изменят.

Напоследък в практиката на праховата металургия все по-широко приложение намира легирането на желязната матрица с фосфор. За разлика от летите желязо-въглеродни сплави, където фосфорът е нежелан елемент, използването му в праховата металургия е особено примамливо, както от икономическа, така и от техническа гледни точки. При добавянето му в малки количества в желязната матрица води до чувствително повишаване на якостните свойства на крайното изделие без да влошава пластичността, както при другите легиращи елементи. [3]

В практиката фосфор се прибавя в количества не надвишаващи 1,0%. Голямо значение за промишлеността има стабилизиращото действие на фосфора върху ферита. Той стеснява значително аустенитното поле при което стоманите съдържащи фосфор в количества по-големи от 0,55%, са феритни през целият си температурен интервал на спичане, до достигане температурата си на топене. Понеже скоростта на дифузия във феритните стомани при еднакви температури на спичане превишава значително тази в аустенитните, процесът на спичане протича много интензивно, като се наблюдава чувствително намаляване на общият обем на порите и изразена тенденция към сфероидезиране на желязната матрица Стоманите със съдържание на фосфор в границите 0,25÷0,55%, които имат най-голямо приложение в практиката при обикновените температури на спичане се намират в двуфазната област на диаграмата Fe-P. При използваните в практиката скорости на охлаждане в много от случаите в крайната структура на изделията се наблюдават и смесени кристали.

Значително увеличение на плътността при спичане на Fe-P сплави, а оттам и на механичните свойства може да се постигне при повишаване температурата на синтероване на образците.[4] Това обаче е съпроводено със силно изменение в размерите на крайните изделия. Поради това температурата на спичане на този вид сплави не надвишава 1200ºС.

Молибденът също е подходящ елемент за легиране на желязо, защото неговите окиси при спичане се редуцират лесно. Той често се използва в съчетание с никел особено при материали подложени на термична обработка. [12]

Употребата на легиращите елементи Cr и Mn, които значително повишават якостните свойства и подобряват закаляемостта на стоманите, в известна степен е затруднена в праховата металургия поради силният им афинитет към кислорода и образуването на трудно редуцируеми окиси. [10]

При използването им се налага да се вземат предпазни мерки спрямо честотата на изходните материали и качеството на защитните среди при спичане.

Праховометалургичните стомани съдържащи манган и хром се получават изключително по метода на разпрашаване.

През последните години все по-голямо приложение в практиката на праховата металургия намира комплексното легиране на железните прахове, което дава възможност да се получат материали с високи физико-механични показатели, както след спичане, така и след термично обработване. Такива възможности предлагат комбинациите: Fe–Cu–Ni; Fe–Cu–Ni–Mo; Fe–Cu –Ni–Mo; Fe–Cr–Ni–C; Fe–C–Ni–Mo; Fe–C–N–W; Fe–C–Ni–Mn-Cr; Fe–C–Ni–Mo-Mn; Fe–Mo–V и др. подобни**.** По своя химичен състав те в голяма степен са аналогични на плътните стомани със същото предназначение.

ИЗВОДИ

Праховата металургия е технологичен процес позволяващ получаването на уникални материали, които е невъзможно да се получат при прилагане на конвенционалните металургични технологии. Механичното смесване в твърдо състояние на компонентите позволява като легиращи елементи да се използват мед и фосфор, които на практика не намират приложение в конвенционалните металургични технологии.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Manukyan, N., Technology Powder Metallurgy. Yerevan, Aystan, 1986, p.232.

[2] Mitev I. Tensile strength after sintering and aging iron-copper cermet. Yearbook of TU-Varna, 2001, p.104 ÷ 110.

[3] Mitev, I., I. Vinev, Properties of Iron Powder Materials Alloyed with 0.45% Phosphorus, Machine Building and Machine Science, Vol. 9, 2009, p.61 ÷ 64, ISSN 1312-8612.

[4] Mitev, I., I.Vinev, Sintering Powder Metallurgy Materials from Iron-phosphorus System, International Conference "Unitech, 10", Gabrovo, 2010, Volume II, s.178 ÷ 184, ISSN 1313-230X

[5] Stepanchuk, A., I. Blick, P. Boiko. Technology Powder Metallurgy. Kiev, High School, 1989, p.415. ISBN 5-11-001378-0

[6] May, I., L. Schetky, Cooper in iron and steel, John Wiley and sons. Toronto, 1988, p.307, ISBN 0-471-05913-7

[7] Mitev, I., Powder Metallurgy – part I (Receive powder metallurgy materials and products, University Press „V. Aprilov", Gabrovo, 2004, ISBN 954-4683-233-2

[8] Mitev, I., Powder Metallurgy – part II (Powder Metallurgical Products with Sructural and Instrumental Purpose, University Press „V. Aprilov", Gabrovo, 2004, ISBN 954-4683-234-0.

[9] Mitev, I., Modern Industrial Technology - part III, (Progressive methods of mechanical shaping), EX-PRESS, Gabrovo, 20016, ISBN 978-954-490-511-8

[10] Mitev, I., M. Georgieva, Influense of Mn over the Structure after Sintering of Fe-C-Cr-Mn–Mo Powder-Metallurgic Materials, "Unitech – 04", 18÷19 November, 2004, volume II, p. 197÷203, ISBN 954 – 683 – 304 – 5

[11] Mitev, I. Determining Carbon Diffusiviti in Copper Alloyd Austenite of Structure Cermet, RaDMI- 2004, 31.08÷04.09.2004, Zlatibor, Serbia and Montenegro, p. 232÷239.

[12] Todorov, R and other, Materials and Equipment for Powder Metallurgical Construction Products, Publishing BAS, Sofia, 1988.

КОМПЮТЪРНА СИМУЛАЦИЯ НА РАЗЛИЧНИ ВИДОВЕ БИОРАЗГРАДИМИ ПЛАСТМАСИ

Емил Велев
Пловдивски Университет «Паисий Хилендарски»

COMPUTER SIMULATION OF DIFFERENT TYPES OF BIODEGRADABLE PLASTICS

Emil Velev
UNIVERSITY OF PLOVDIV PAISII HILENDARSKI

Abstract

Plastic blanks and articles of different sizes, shapes and colors are they penetrate widely both in industry and in the world, which creates problems in their recycling. The European Pact adopted a directive on their replacement with biodegradable plastics. It is therefore necessary to carry out an analysis of the possibility of switching existing injection molding dies to biodegradable plastics and how this will affect the business. The use of biodegradable plastics will reduce pollution and emissions.

Keywords: PLA, biosphere, biodegradation, bioplastics

ВЪВЕДЕНИЕ

Широкото използване на пластмасови детайли и заготовки в промишлеността и в бита доведе до проблеми с рециклирането им. Европейският парламент прие директива за премахване или заменяне на изделия за еднократна употреба, като например лъжички, вилички, сламки и други, с цел да се намали замърсяването на околната среда. Едно от решенията е да се използват добавки към пластмасите за тяхното разпадане или биопластмаси. Друго решение е тези изделия да се изработват от дървесина, което не винаги е възможно и удачно.

При първия подход с използване на добавки пастмасите се разграждат за определен период от време и проценти. В зависимост от процентното съдържание на добавките се променя и времето за разграждане. Съществуват фирми за производство на добавки като например Biosphere, Siemens, Bio-Tec Environmental.

При използването на гранулат на органична основа получените пластмасови детайли за еднократна употреба се разграждат напълно в околната среда, което намалява замърсяването й.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Използваните добавки към пластмасата са различни в зависимост от вида й. Фирмите производителки предоставят информация както за процентното съотношение така и вида пластмаса, към която се прилагат.

За изпитанията има разработени методики, на базата на които се извършва тестове за доказване до колко и за какво време се биоразграждат пластмасите, в които има добавки за биоразградимост.

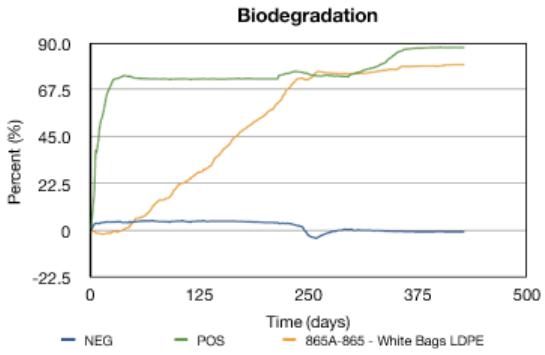
From: Thomas Poth

Number of pages including cover: 1

Regarding: ASTM D 5511-11 test update for White Bags LDPE- 429 days

	Inculum	Negative	Positive	865 - White Bags LDPE
Cumulative Gas Volume (mL)	2298.2	2233.4	11002.2	13565.7
Percent CH_4 (%)	43.7	41.1	41.5	53.7
Volume CH_4 (mL)	1005.4	917.8	4561.6	7290.0
Mass CH_4 (g)	0.72	0.66	3.26	5.21
Percent CO_2 (%)	40.5	38.9	42.0	35.6
Volume CO_2 (mL)	931.2	868.8	4623.7	4829.4
Mass CO_2 (g)	1.83	1.71	9.08	9.49
Sample Mass (g)	1,000	10	10	8.0
Theoretical Sample Mass (g)	0.0	8.6	4.4	6.9
Biodegraded Mass (g)	1.04	0.96	4.92	6.49
Percent Biodegraded (%)		-0.9	87.9	79.6

***Фиг. 1**. Резултати от тест за биоразградимост*



***Фиг. 2**. Диаграма за биодеградация (материал LDPE)*

На фигури 1 и 2 са представени времето и процентното разграждане на торбички, произведени от LDPE с добавка на фирма Biosphere. От диаграмата на фиг. 2 е видно, че след 429 дни имаме близо 90% биоразграждане. Теста е направен съгласно ASTM D 5511-11 на ASTM (American Society for Testing and Materials) [3].

To: BioSphere

Date: April 17, 2014

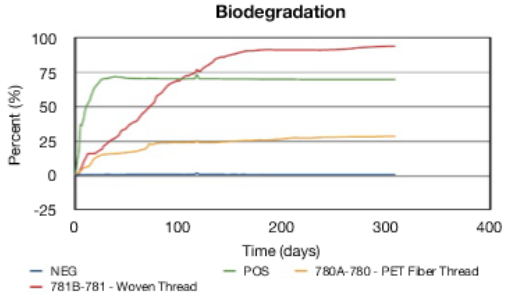
From: Thomas Poth

Number of pages including cover: 2

Regarding: Testing under D5511 of Biosphere Pet Fiber Samples (309 Days)

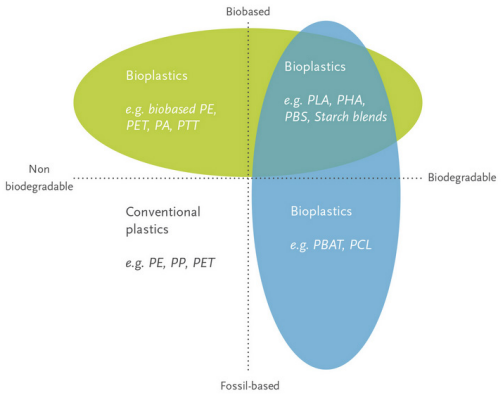
	Inculum	Negative	Positive	780 - PET Fiber Thread	781 - Woven Thread
Cumulative Gas Volume (mL)	1206.2	1508.5	8420.2	7329.7	18245.5
Percent CH_4 (%)	30.9	31.3	36.1	41.8	50.4
Volume CH_4 (mL)	372.9	472.6	3036.6	3064.0	9188.1
Mass CH_4 (g)	0.27	0.34	2.17	2.19	6.56
Percent CO_2 (%)	45.6	41.4	44.2	38.8	37.9
Volume CO_2 (mL)	549.5	624.7	3721.7	2844.2	6910.5
Mass CO_2 (g)	1.08	1.23	7.31	5.59	13.57
Sample Mass (g)	1.000	10	10	15.0	13.9
Theoretical Sample Mass (g)	0.0	8.6	4.4	9.3	8.6
Biodegraded Mass (g)	0.49	0.59	3.62	3.17	8.62
Percent Biodegraded (%)		1.1	70.7	28.8	94.5

***Фиг. 3**. Резултати от тест за биоразградимост*



***Фиг. 4**. Диаграма за биодеградация (материал PET Fiber Thread)*

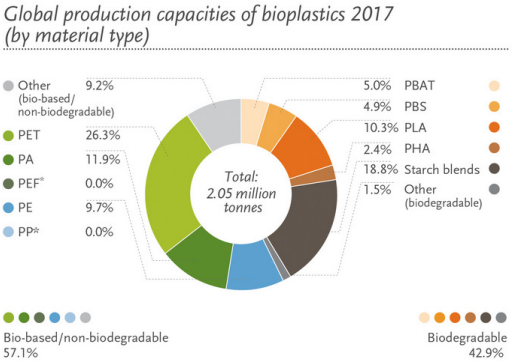
На фигури 3 и 4 са показани времето и процентното разграждане на нетъкан текстил от PET. От диаграмата на фиг. 4 е видно, че след 309 дни имаме близо 89% биоразграждане. Теста е направен съгласно D5511 на ASTM [3].



***Фиг. 5**. Видове пластмаси*

На фиг. 5 са показани възможите форми на произход и разградимост използваните пластмаси: от фосилните до биобазираните и от бионеразградимите до биоразградимите. Може да се види, че единствено биопластмасите като PLA, PHA, PSB са на органична основа и са биоразградими [4].

С използване на органичен гранулат, като например полилактична киселина (polylactic acid - PLA) се намаляват вредните последствия върху околната среда. Този материал е биоразградим, биоактивен, термопластичен, алифатен полиестер, извлечен от възобновяеми източници. В САЩ и Канада се добива от царевично нишесте. В Европа се добива от захарна тръстика. Произведеното количество през 2010 г. на PLA беше на второ място по обем на потребление на биопласмаса в света. Площите, отделени за тези култури, с всяка година се увеличават, като по този начин се увеличава и производството на биопластмаси.



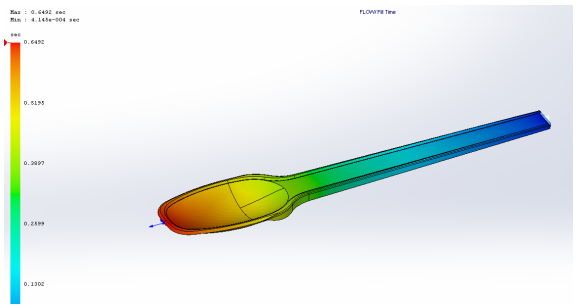
***Фиг. 6**. Годишно производство на биопластмаси за 2017*

От фиг. 6 може да се види какво е процентното съотношение на биоразградимите и бионеразградимите пластмаси, които възлизат съответно на 42.9% и 57.1% през 2017 г. в световен мащаб. На фигурата може да се види същота така и какъв е процентния дял на различните биопластмаси по вид материал.

Производителите на изделия за хранително-вкусовата промишленост, като например опаковки, лъжички, вилички, чаши и тарелки, ще трябва плавно да преминат към използването на тези материали.

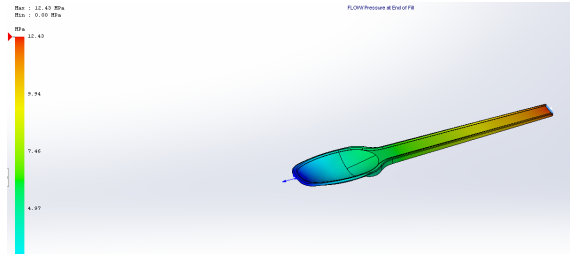
Ето защо е необходимо да се извърши симулация на процесите на шприцване с цел установяване пригодността на съществуващите инструменти.

За компютърните симулации на лъжичка за сладолед е използвано приложението Plastics на програмата SolidWorks, което позволява да бъдат изследвани много величини от процеса на шприцване, като например времето за запълване, налягането в различни зони от детайла, местата където ще има вероятни недозапълвания на формата и други.



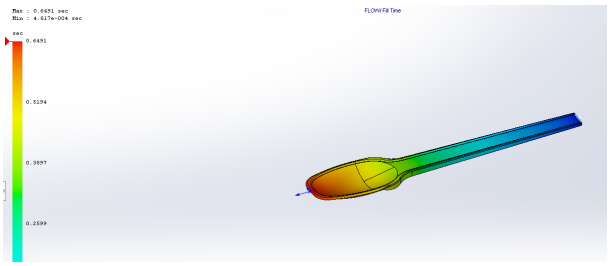
***Фиг. 7**. Разпределение на температурата (материал PP)*

На фиг. 7 е показано температурата в зависимост от времето за запълване на кухината в шприцформата. Времето, необходимо за запълване, е 0.6492 сек.



***Фиг. 8**. Разпределение на налягането (материал PP)*

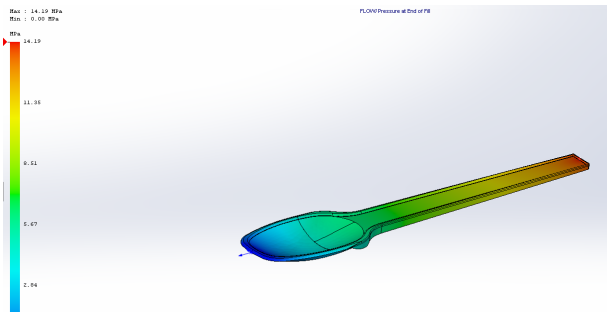
Разпределението на налягането е показано на фиг. 8. За материал полипропилен (PP), максималното налягане е 12.43 MPa.



***Фиг. 9**. Разпределение на температурата (материал PP+1% добавка)*

На фиг. 9 е показано време-температурната зависимост за полипропилен с добавен 1% добавка за биодеградация. Необходимото време е 0.6491 сек.

Симулация е извършена при генериран материал с 1% влошаване на неговите качества, колкото е процентното съотношение на добавката към основния материал (PP).



***Фиг. 10**. Разпределение на налягането (материал PP+1% добавка)*

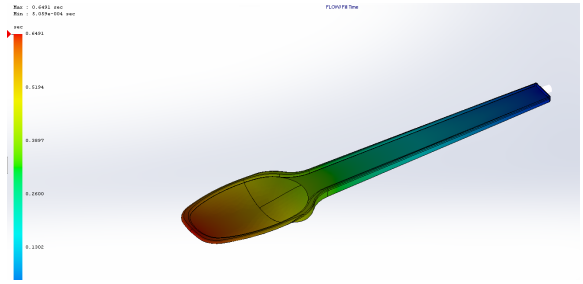
На фиг. 10 се вижда разпределението на налягането. Необходимото налягане е 14.19MPa.

За извършване на на компютърната симулация беше генериран PLA материал в базата данни на SolidWorks на базата на данните от фиг. 11[5].

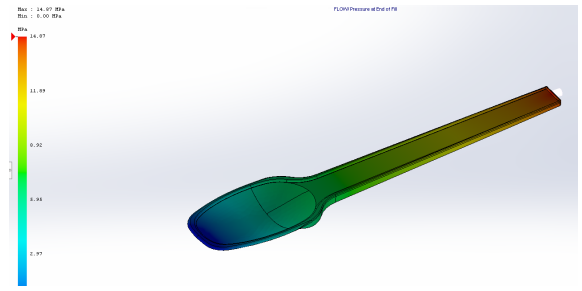
Polylactide Injection molding grades are compatible with the use of hot runner systems. Typical conditions for injection molding are:

- **Adapter Temperature:** 185 - 200°C
- **Dew Point:** (-)40 - (-)35°C
- **Die Temperature:** 185 - 200°C
- **Drying Temperature:** 45 - 100°C
- **Feed Temperature:** 165 - 185°C
- **Melt Temperature:** 154.4 - 243.3°C
- **Mold Temperature:** 10 - 105°C
- **Nozzle Temperature:** 171.1 - 220°C
- **Back Pressure:** 0.345 - 1.724 MPa
- **Injection Pressure:** 55.16 - 137.9 MPa
- **Moisture Content:** 0.01 - 0.025%
- **Screw Speed:** 20 - 200 rpm
- **Drying Air Flow Rate:** 14.16 l/pm

***Фиг. 11**. Данни за материала PLA*



***Фиг. 12**. Разпределение на температурата (материал PLA)*



***Фиг. 13**. Разпределение на налягането (материал PLA)*

След извършената симулация са получени резултатите за промяната на температурата и налягането в детайла показани на фиг. 12 и фиг. 13. Необходимото време за запълване на детайла е 0.6491 сек, а налягането е 14.35MPa.

Видно е, че промените в параметрите на процеса на шприцване, са минимални. Цената на изделието ще бъде факторът за тяхното налагане на пазара. Теглото на лъжичката е 1.8 g.

Таблица 1

	PP	PP+1% добавка	PLA
Време, sec	0.6492	0.6491	0.6491
Налягане, MPa	12.43	14.19	14.35
Цена, лв	0.0043	0.0193	0.0879

В табл. 1 са показани себестойността на лъжичката като материал и необходимото време и налягане за нейното производство. Може да се види, че единствено разликата в цената на изделието е съществена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Като заключение може да се каже, че биопластмасите мога да бъдат шприцвани в съществуващите шприцформи без да е необходимо тяхната преработка.

Acknowledgement

The author would like to acknowledge the support of the "Research & Development" division of

UNIVERSITY OF PLOVDIV PAISII HILENDARSKI in the project: СП17-ТК-021/ 25.04.2017.

REFERENCE

[1] Lombard M. Solidworks 2013 Bible. New York: John Wiley and Sons Inc., 2013.

[2] Plastics, SolidWorks.

[3] http://www.biosphereplastic.com/(02.10.2018)

[4] https://www.european-bioplastics.org/.(01.10.2018)

[5] https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polylactide-pla-bioplastic.(02.10.2018)

НАПРАВЛЕНИЕ 8

ХИДРАВЛИКА, ПНЕВМАТИКА И ТОПЛОТЕХНИКА

SESSION 8

HYDRAULICS, PNEUMATICS AND HEAT ENGINEERING

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В РАБОЧЕМ ЗАЗОРЕ ИМПУЛЬСНОГО УПЛОТНЕНИЯ

Кузнецов Э. Г., Нагорный В. В.
Украина, г. Сумы, Сумской государственный университет, факультет „Электроника и информационные технологии”

DISTRIBUTION OF PRESSURE IN AN OPERATING GAP OF PULSE SEAL

Kuznetsov E. G., Nahornyi V. V.
Ukraine, Sumy, Sumy State University, Faculty of Electronic and Information Technologies

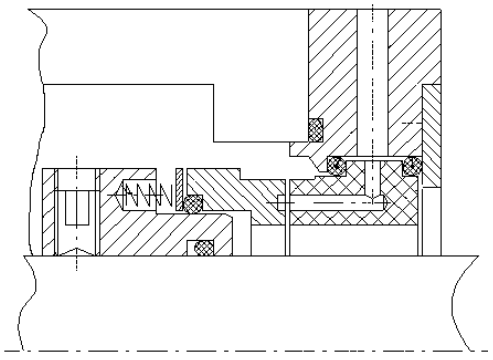
Abstract
In article the relevance and results of researches of pulse face seal with buffer gas suply into an operating gap. Features of working process of seal are revealed and the analysis of results of experimental researches is given. The technique of definition of pressure distribution in an operating gap of seal is offered.

Keywords: distribution of pressure, face gap, Reynolds's equation, method of physical analogy, method of boundary elements, pulse seal, flow of gas.

ВВЕДЕНИЕ

Насосное оборудование широко применяется практически во всех отраслях промышленности для перекачивания разнообразных по своим химическим свойствам сред, характеризующихся высокой коррозионной активностью, токсичностью, взрыво- и пожароопасностью. На практике для отсечения утечки уплотняемой среды по валу насоса широко применяются двойные торцевые уплотнения с буферной жидкостью. Однако, за последнее десятилетие эти уплотнения заметно потеснены двойными бесконтактными, в которых в качестве буферной среды используется нейтральный к перекачиваемому продукту газ [1 - 3]. Несмотря на преимущества, эти уплотнения не получают достаточно широкого распространения в превую очередь из-за их значительной дороговизны по сравнению с уплотнениями других типов и сложности изготовления профиллированных колец торцевой пары.

В результате поиска альтернативной конструкции уплотнения, в которой отсутствуют перечисленные недостатки, было создано торцевое импульсное газозатворное уплотнение, в котором запирание утечки уплотняемого продукта достигается с помощью одной торцевой пары (фиг. 1). По конструкции оно похоже на описанное в [4, 5] импульсное уплотнение на жидкостной смазке, однако, в нём в качестве рабочего тела в торцевом зазоре используется не уплотняемая жидкость, а подводимый через специальные каналы (питатели) в зазор затворный буферный газ.



***Фиг. 1**. Торцевое импульсное газозатворное уплотнение*

ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проектировании импульсных уплотнений на жидкостной смазке принимают, что при достаточно большом количестве камер на рабочих поверхностях уплотнения расстояния между ними в окружном направлении невелико, поэтому давление на кольцевом участке зазора между камерами можно считать равным осредненному давлению в камерах.

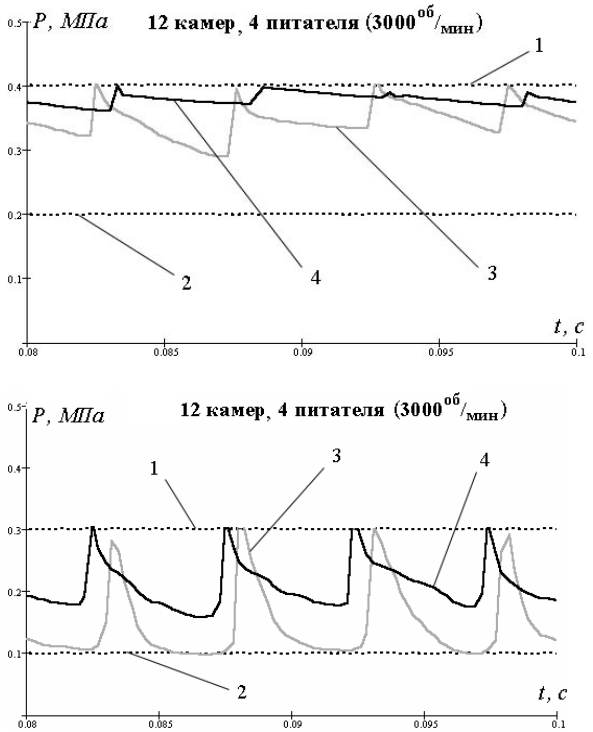
Проведенные ранее экспериментальные исследования импульсного уплотнения на газовой смазке с целью изучения влияния на характеристики уплотнения количества питателей и камер показывают, что расходная характеристика уплотнения не только количественно, но и качественно зависит от количества камер и питателей на рабочих поверхностях уплотнения, что отражается на жесткости газового слоя в рабочем зазоре, определяющей надежность работы уплотнения.

С учетом этого, а также того, что вязкость и сжимаемость газового смазочного слоя значительно отличаются от вязкости и сжимаемости жидкостного, указанное допущение о распределении давления на межкамерном участке зазора становится неприменимым для проектирования газозатворных уплотнений и встаёт вопрос об изучении истинного распределения давления газового слоя в рабочем зазоре уплотнения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПЛОТНЕНИЯ

Для детального исследования процессов, происходящих в торцевом зазоре работающего уплотнения спроектирован и собран специальный стенд, позволяющий во время испытаний экспериментального уплотнения специальными пьезо-резистивными датчиками производить замер давления в замкнутой камере и в межкамерном промежутке торцевого зазора Для отображения, обработки и записи поступающих с датчиков сигналов использовался компьютер С помощью описанного оборудования проведено большое количество испытаний, во время которых варьировались сочетание значений уплотняемого давления (от 0,05 до 0,45 МПа), давления затворного газа (от 0,1 до 0,5 МПа) и частоты вращения приводного вала (от 1000 до 3000 об/мин). В качестве уплотняемой среды использовались вода и воздух.

В результате исследований изучено влияние режимных параметров на изменение эпюры распределения давления затворного газа непосредственно в камерах и на кольцевом участке рабочего зазора между соседними камерами. Данные исследований показывают, что при неизменной величине перепада между затворным и уплотняемым давлениями с ростом частоты вращения ротора или величины уплотняемого давления амплитуда колебаний давления затворного газа в камере и в пространстве между камерами уменьшается. Увеличение перепада между уплотняемым и затворным давлениями приводит к увеличению амплитуды колебания давления в камерах и между камерами, что может стать причиной прорыва уплотняемой среды через торцевый зазор (фиг. 2). Применение торцевых колец с уменьшенным количеством камер позволяет уменьшить амплитуду колебания давления в местах установки датчиков при одинаковых рабочих параметрах.



Фиг. 2. *Графики изменения давления в местах установки датчиков: 1 – давление затворной среды; 2 – давление уплотняемой среды; 3 – давление в межкамерном промежутке; 4 – давление в камере импульсное газозатворное уплотнение*

Полученные экспериментальные данные показывают, что при достаточно большом количестве камер (т.е. когда окружное расстояние между соседними камерами меньше окружной протяжённости собственно камеры) работа уплотнения может быть описана традиционной матмоделью жидкостных импульсных уплотнений, адаптированной для газовых сред, что и подтверждается удовлетворительным совпадением экспериментальных данных с расчётными. При использовании в уплотнении колец с уменьшенным количеством камер (когда расстояние между отдельными камерами значительно больше окружной протяжённости самих камер) в математическую модель газозатворного импульсного уплотнения необходимо необходимо вводить учёт окружных течений газа в рабочем зазоре. Для этого целесообразно получить решение задачи о распределении давления в рабочем зазоре уплотнения. [6].

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА В УПЛОТНЕНИИ

Построение математической модели торцевого импульсного газозатворного уплотнения основано на численном решения задачи о нахождении распределения давления в газовом слое, заключённом в рабочем зазоре между торцевыми кольцами уплотнения. Для нахождения распределения давления затворного газа $p(y,z)$ в торцевом зазоре рассматривается уравнение течения газовой смазки – уравнение Рейнольдса:

$$\frac{\partial}{\partial y}\left(\rho x^3 \frac{\partial p}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\rho x^3 \frac{\partial p}{\partial z}\right)= = 6\mu\frac{\partial(pxU)}{\partial y}+12\mu\frac{\partial(px)}{\partial t}, \quad (1)$$

где p – давление, x – толщина газового слоя; U – скорость движения одной из поверхностей, ограничивающих смазочный слой, ρ – плотность и μ – вязкость газа.

Решение этого уравнения выполнено численным методом граничных элементов [7]. Согласно сути применяемого метода исходная краевая задача для (1) – уравнения Пуассона в частных производных – приводится к интегральному по границе исследуемой области. В общем виде интегральное уравнение для области с границей Γ имеет вид:

$$c(\xi)P(\xi)+\int_{\Gamma}P(\eta)\,q^*(\xi,\eta)\,d\Gamma(\eta)= = \int_{\Gamma}q(\eta)\,P^*(\xi,\eta)\,d\Gamma(\eta)- - \int_{\Omega}W(y)\,P^*(\xi,\eta)\,d\Omega(\eta) \quad . \quad (2)$$

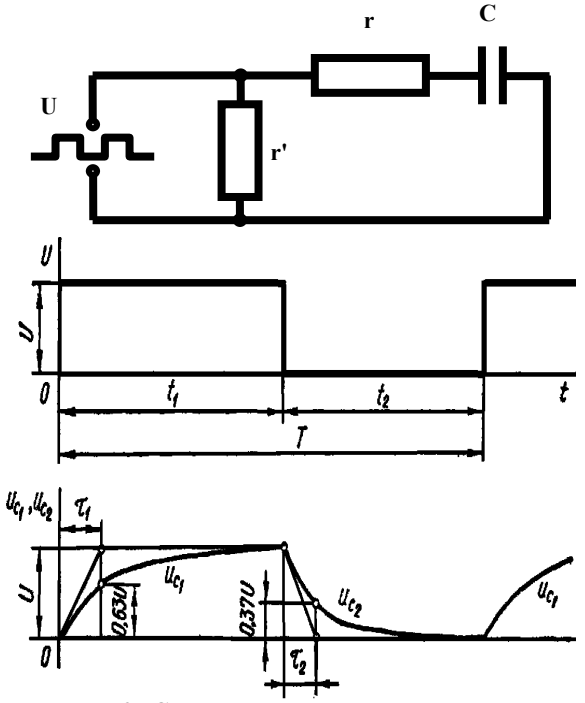
Здесь ξ – произвольная точка на границе области; $c(\xi)$ – функция, учитывающая особенности, возникающие при интегрировании по границе области; $P^*(\xi,\eta)=\frac{1}{2\pi}\ln\frac{1}{r}$ – фундаментальное решение уравнения Лапласа для двумерного случая; $q^*(\xi,\eta)=\frac{\partial P^*(\xi,\eta)}{\partial n(\eta)}$; r – расстояние между точками ξ и η на границе области; $W(y)=6\mu\left(\frac{1}{\kappa}+1\right)\frac{\partial}{\partial y}\left(Up^{\frac{1}{\kappa}}x\right)$.

В качестве области для определения поля давления смазки выбран объём газа на участке торцевого зазора уплотнения ограниченном наружным и внутренним радиусами торцевых колец и радиальными секущими, проходящими через середины соседних камер. В ходе решения граница области разбивается на отдельные элементы, на каждом из которых задаются граничные условия типа Дирихле – значение давления P. Численное интегрирование по границе выполняется методом механических квадратур Гаусса.

Величина торцевого зазора x находится из условия равновесия подвижного в осевом направлении торцевого кольца под действием рабочих давлений и усилия со стороны упругих элементов уплотнения [8].

Задание граничных условий на границе в местах расположения камер сопряжено с определёнными трудностями, так как со временем давление в камерах изменяется. Приведенные на фиг. 2 графики изменения давления в местах установки датчика в общем случае аналитически описать довольно

сложно. С точки зрения физики процесса, форма кривых на графиках характеризует величину и интенсивность истечения накопленного в замкнутой камере (или в канале датчика давления) затворного газа через рабочий зазор уплотнения в уплотняемую полость роторной машины и в атмосферу. Причём, чем зазор больше, тем истечение газа из камеры (падание давления газа в камере) происходит быстрее, так как сопротивление самого рабочего зазора меньше. Подобный процесс в физике называется переходным и хорошо изучен, например, в электротехнике в разделе линейных электрических цепей. С целью приведения задачи о нахождении закона истечения затворного газа из камер уплотнения к известным в физике процессам найдены соответствия между физическими величинами механики газа и электротехники и построена следующая физическая аналогия процесса.



***Фиг. 3**. Схема электрического аналога переходного процесса и график изменения переходного напряжения на обкладках конденсатора*

Наиболее близким к рассматриваемому представляется процесс заряда-разряда электрического конденсатора C и характер изменения напряжения U на его обкладках (фиг. 3). График изменения переходного напряжения на обкладках конденсатора приводится в соответствие с графиками на фиг. 2, если учесть, что время заполнения камеры затворным газом в момент её совмещения с питателем (время $t1$ и участок $uc1$ на фиг. 3) значительно меньше времени её последующего опорожнения (время $t2$ и участок $uc2$ на фиг. 3).

Переходные процессы в электрических цепях с сосредоточенными параметрами описываются уравнениями Кирхгофа применительно к мгновенным напряжениям и токам. В данном случае переходное напряжение на обкладках конденсатора изменяется по закону:

$$u_{c1} = U \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}\right), \qquad u_{c2} = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}} \tag{3}$$

где $\tau_1 = rC$ и $\tau_2 = (r + r`)C$ – постоянные времени системы.

Применить этот закон для определения давления затворного газа в камерах уплотнения позволили следующие физические соответствия:

– в электротехнике физической величиной взаимодействия является заряд; в газовой механике ему соответствует $\rho \cdot dV = dm$ (или dV в механике жидкости);

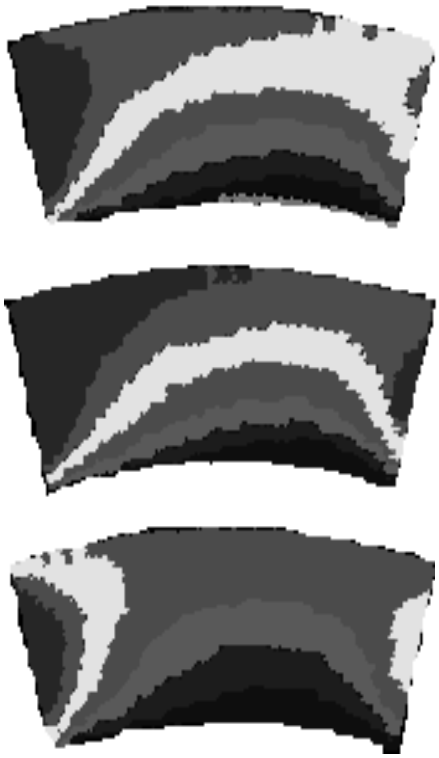
– аналогами разности потенциалов U и тока I в электротехнике являются аэродинамический потенциал $\Delta P/\rho$ и расход газа Q в газодинамике;

– аналогом электрического сопротивления R является гидравлическое сопротивление дросселей (каналов и зазоров), по которым протекает затворный газ.

Использование данной физической аналогии и метода граничных элементов позволило получить аналитические зависимости для нахождения давления затворного газа в каждой замкнутой камере торцевого кольца и определить распределение поля давления в рабочем зазоре уплотнения в любой момент времени.

На фиг. 4 представлена тоновая визуализация результатов численного решения уравнения Рейнольдса и моделирования найденного поля давления в рабочем зазоре

уплотнения для трёх различных режимов работы.



***Фиг. 4**. Визуализация поля давления в рабочем зазоре уплотнения*

Приведенный алгоритм численного нахождения поля давления позволяет:

а). находить несущую способность газового слоя в рабочем зазоре уплотнения и определять его основные характеристики;

б). проводить численные исследования распределения давления газа в рабочем зазоре с целью проверки работы уплотнения с точки зрения прорыва уплотняемой среды через участки торцевого зазора между отдельными камерами, не прибегая к натурным экспериментам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, описанные выше экспериментальные исследования и полученные с их помощью результаты позволили получить картину рабочего процесса в торцевом импульсном газозатворном уплотнении. Благодаря выявленным особенностям течения газа в рабочем зазоре уплотнения установлена необходимость разработки математической модели уплотнения, отличной от существующих.

Использование в матмодели уплотнения численного решения уравнения Рейнольдса для течения газа в тонких зазорах позвляет прогнозировать работу уплотнения на номинальных и нештатных режимах работы.

Интервал частот вращения вала, в котором уточнённая методика расчёта характеристик уплотнения проверена и дает приемлемые результаты расчетов, находится в границах до 3000 об/мин; диапазон давлений затворной и уплотняемой сред – до 0,6 МПа.

REFERENCE

[1] Dry-running double seal for process pumps.\ BW/IP, Sealing Technology Newsletter No. 16, April, 1995, pp.2-3.

[2] William V. Adams. Innovative technology uses gas in place of liquid to lubricate double mechanical seals.\ Sealing Technology Newsletter No. 11, November, 1994, pp. 9-12.

[3] Patrick M. Flatch. Dry-running seal technology for emission containment.\ Sealing Technology Newsletter No. 10, October, 1994, pp. 8-11.

[4] Martsynkovskyj V. A. Beskontaktnye uplotneniya rotornyh mashyn. Moskva: Mashinostroenie, 1980. – 200 p.

[5] Martsynkovskyj V. A. Vorona V. P. Nasosy atomnyh electrostantsij. Moskva: Energoatomizdat, 1987.– 256 p.

[6] Kuznetsov E. G. Raschyot staticheskih harakteristik gazozatvornogo tortsovogo uplotneniya impulsnogo tipa. // Izvestiya OryolGTU №4 (282) 2010, Seriya Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, – 2010. – pp. 28-35.

[7] Metody granichnyh elementov: perevod s anglijskogo yazyka. / Brebbia C., Telles J., Wrobel L. Moskva: Mir, 1987. – 524 p.

[8] Issledovanie davleniya v rabochem zazore gazozatvornogo impulsnogo tortsovogo uplotneniya. // Effektivnost i kachestvo v mashinostroenii i priborostroenii. – Oryol: OryolGTU, 2010 – 200 p.

THE INLET FLUID TEMPERATURE INFLUENCE ON THE MULTI-MODE HYDRAULIC DRIVE OPERATING

Oleksandr Gubarev[1], Konstantin Belikov[1], Oksana Hanpantsurova[1], Alyona Muraschenko[1]

[1] *Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine*

Abstract

The possibility of implementation of controlled temperature changing, cooling processes, in cyclic hydraulic system via computing simulation was considered. The features of load and the Power changes during operating modes influence on fluid temperature. The algorithm of calculation and its implementation to control cooling processes were presented. The simplified thermal dynamic cyclic calculation of hydraulic system was developed. Obtained simulating results and insuring by experiment were presented,

Keywords: cyclic hydraulic drive system, operating mode, thermal flow, fluid temperature.

INTRODUCTION

Using of mechatronic devices in hydraulic units with sensitivity to temperature changes, which causes changes of viscosity and density of fluid, gives possibility to raise operating efficiency of hydraulic systems. For example, stabilization of the rational temperature height (value) in several operating modes [1-4]. Instead of the direct temperature stabilization, controlling via computer simulations makes possible to create systems with pre-adjustment [5-7]. Predefined technological cycles and operating modes in industrial hydraulics are pre-conditions for creating such systems. The main idea is to preset heat-transfer circuit configuration by throttles, valves and additional devices adjustment, according to the following system operating mode.

EXPOSITION

The researching goals are to set up the method of calculation the fluid temperature change in operating modes and development of numerical model, to find out time of temperature stabilization, of cyclic hydraulic drives. In case of denoted goals, were been considered: diagrams of multi-mode systems, with throttling, and their features; developing of simplified algorithm, to find out time of the fluid temperature stabilization, and its using in case of the multi-mode cyclic system. Also, the comparison of simulation results, via algorithm, and experimental data was been made and analyzed.

As boundary conditions, the calculating model includes analyzed operating processes of hydraulic systems these can be represented by several cycle charts, among which system are switching [1, 2, 4, 8, 9]. Additionally, pumping system is considered as constant displacement pump (n=const, [rpm]).

The proposed method and the algorithm includes middle values of Power for each operating tact, instead of middle Power per cycle, for using in the heat-calculation. As assumption, the hydraulic Power of pumping system N_p separates on three main parts:

N_A - Power consumed by drives;

N_{Hyd} - Power, used to overcome the hydraulic line resistance (incl. orifices, throttles, valves, etc.);

$N_{\Delta Q}$ - (over)Power, returned to tank through pressure relief valves.

The Power per tact:

$$N_p = N_A + N_{Hyd} + N_{\Delta Q} = p_p \cdot Q_p = \\ = F_{ext} \cdot Q_A / S_{ef} + \Delta p_{l,\varsigma} \cdot Q_A + p_p \cdot (Q_p - Q_A), \quad (1)$$

herein p_p - pressure at the pump outlet, Q_p - pump flow rate, F_{ext} - middle external load for tact, Q_A - consumed flow, S_{ef} - drive cross-

section area, $\Delta p_{l,\varsigma}$ - sum of pressure drops in channels.

According to assumption - the input Power are constant, so external load value and output drive velocity Q_A / S_{ef} have main influence on the fluid temperature, due to changes of heat-flow Power N_{heat}:

$$p_p \cdot Q_p = const = F_{ext} \cdot Q_A / S_{ef} + \Delta p_{l,\varsigma} \cdot Q_A + \\ + p_p (Q_p - Q_A) \quad (2)$$

or

$$p_p \cdot Q_p - F_{ext} \cdot Q_A / S_{ef} = \Delta p_{l,\varsigma} \cdot Q_A + \\ + p_p (Q_p - Q_A) = N_{heat} \quad . \quad (3)$$

The Power of heat-flow in fluid is a instantaneous energetic characteristic, when the fluid temperature is integral criterion of this Power. Increment heat quantity $\theta_i, [J]$ per operating tact makes possible to see heat spreading over chart, obtained from the Power spreading among tacts:

$$\begin{cases} F_{\max} : \theta_i = [\Delta p_{l,\varsigma}(t_{oil}) \cdot Q_A + p_p (1 - \Delta \widetilde{Q}) Q_p] \cdot T_{takt} \\ (Q_A / S_{ef})_{\max} : \theta_i = [\Delta p_{l,\varsigma}(t_{oil}) \cdot Q_p] \cdot T_{takt} \end{cases} . \quad (4)$$

Another assumption says, that heat-flow Power at the moment of devices switching and/or load disappearing, including inertia, might being changed from min to max value, in range of the system Power. However, in the most cases, tact duration are determined by technological processes. But average value of useful load can change, though the input Power still is constant. Further, for any tact, in which two or several drives are active, its duration can be changed and as average load, so as average Power, can changes in tens times.

The decrement of heat quantity in fluid is defined by several factors. One of the most using is convective heat-transfer between system and environment [10 - 13]. For any tact, decrement can be described by thermal flow q_{mni}, between fluid and environment, and heat-transfer surface area F_i:

$$q_{moi} = F_i \cdot q_{mni} = \alpha \cdot F_i \cdot (t_1 - t_2) , \quad (5)$$

herein $t_1, [^0C]$ - fluid temperature; $t_2, [^0C] = const$ - environment temperature, α - thermal diffusivity.

Because of drives, which are active in tact and works in the same cycle over and over again, the hydraulic line lines and system structure, hence the heat-transfer surface area, for the same tact, is set up as constant value. So, the heat-transfer has main depend on temperature difference [13]:

$$q_{mni} = (\lambda_k / \delta_k) \cdot (t_1 - t_2) , \quad (6)$$

herein $\delta, [м]$ - heat-conductor thickness.

Considering (5) and (6), several factors were set as constant for a tact duration such as $(F, t_2, \lambda, \delta)$. Fluid temperature raising, main source of the heat-transfer Power, is negative factor, and depends on fluid features and operating conditions [9, 14].

As result of analyses, the heat-transfer equilibrium cannot be reached in acting system due to dynamic processes, such as heating by resistances, valves, external load, etc.

For example, increment heat quantity per cycle is 5 kW, and heat-transfer surface area is 0.5 m^2. For typical design devices and conditions, for thermal flow between the surface and environment, thermal diffusivity is $\alpha = 0.02\ kW/m^2 \cdot K$ [13]. The fluid temperature might increase up to 500 ℃, theoretically, but it depends on tact duration, system precondition at tact beginning, and the Power spreading over chart.

In addition, there can be used controlled heat-transfer processes to provide less dynamic difference between input thermal energy and thermal loss to environment. Taking in account thermal features of fluid, the rational structured chart of cooling processes with pre-adjustment opportunity can be developed.

The data for the cooling chart calculation are system and drives condition in defined operating mode:

$$q_i = \sum_{i=1}^{j} q_{\Gamma A_i} + \sum_{i=1}^{k} q_{l_i} + \sum_{i=1}^{m} q_{м_i} - \sum_{i=1}^{n} q_{mo_i} , \quad (7)$$

herein $\sum_{i=1}^{j} q_{\Gamma A_i} = \sum_{i=1}^{j} N_{\Gamma A_i}$ - thermal flow due to the Power drops on hydraulic devices;

$\sum_{i=1}^{k} q_{l_i} = \sum_{i=1}^{k} N_{l_i}$ - thermal flow due to line resistance; $\sum_{i=1}^{m} q_{м_i} = \sum_{i=1}^{m} N_{м_i}$ - thermal flow due to orifices; $\sum_{i=1}^{n} q_{mo_i} = q_{mo_1} + q_{mo_2} + ... + q_{mo_n}$ - thermal losses over cycle.

Simplified calculation of thermal loss to environment includes conductivity of hydraulic pipes, valves and tank. Calculation of thermal losses based on [13] is:

$$q_{moi} = F_i \cdot q_{mni}, [W], \quad (8)$$

herein $F, [m^2]$ - surface area of thermal flow to environment; $q_{mn}, [W/m^2]$ - thermal flow through homogeny flat conductor.

Quantity of $q_{mn}, [W/m^2]$ calculated in condition of stable environment temperature:

$$q_{mn_i} = \frac{\lambda_i}{\delta_i}(t_1 - t_2), \left[W/m^2\right], \quad (9)$$

herein $\lambda, \left[W/m.^0C\right]$ - thermal conductivity; $\delta, [м]$ - homogeny flat conductor thickness; $t_1, [^0C]$ - fluid temperature; $t_2, [^0C] = const$ - environment temperature.

Thermal conductivity of hydraulic devices are taken as average value of thickness, according to equivalent mass of housing.

Thermal energy $\theta_i, [J]$, that is received by fluid at fixed period:

$$\theta_i = q_i \cdot t_i, \quad (10)$$

herein $t_i, [\text{sec}]$ - period of the fluid over shifting in hydraulic lines on current operating mode.

According to number of active drives and hydraulic lines, the quantity of obtained thermal energy was defined by [7]. This energy leads to increase the temperature of devices and fluid, which existing in working channels [15]:

$$\theta_i = c \cdot m_i \cdot \Delta t_i, \quad (11)$$

herein $c, [J/(kg \cdot \text{sec})]$ - fluid thermal capacity; $m, [kg]$ - mass of over shifted fluid in channels; $\Delta t_i = t_2^i - t_1^i, [^o C]$ - increment value of temperature, since it inlet to and till it leaves channels .

Temperature increment is obtain by recalculation the [11]:

$$\Delta t_i = \theta i / (c \cdot m_i), \quad (12)$$

Heated fluid, when it left the channels, goes to tank, and fluid thermal energy diffusing into tank content and effects on its temperature. Hence, fluid temperature at sucking channel of pump is changed and goes to system. This temperature was obtained by:

$$t_T = ((t_T^{init} + \Delta t_i) + ((n-1) \cdot t_T^{init}))/n, \quad (13)$$

herein t_T - current temperature in tank, t_T^{init} - initial temperature of fluid at sucking channel.

Calculation was made according to (7) – (13) and it was based on cyclic recalculation of the system steady condition on tact, according to algorithm (Fig.1).

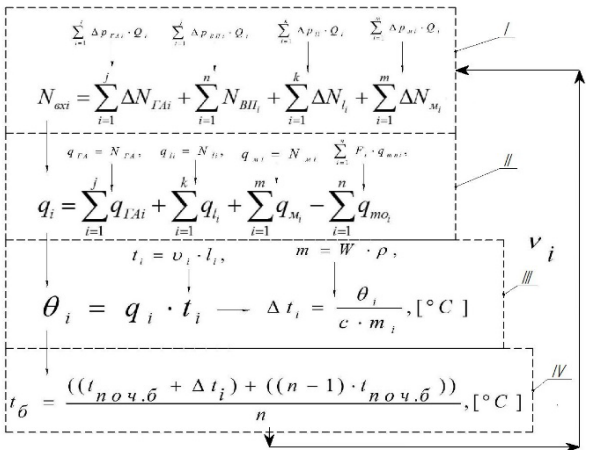


***Figure 1**. Algorithm chart of the cyclic calculation of stabilization time and fluid temperature on one operating mode*

The test simulation of hydraulic system of the stamp-machine was made. It consists of 5 hydraulic cylinders: the 1st and 2nd cylinders are stamping actuators; the 3rd – distributor; the 4th and 5th - lifting cylinders. Data, which was used in simulation, are presented in Table 1.

The system chart is the same on each mode. The modes duration is 40 minutes, it's average value of every mode. The chart consists of 11 tacts and operating duration about 48…50 seconds. Difference among modes due to different stamping force, that is provided by the 1st and 2nd cylinders.

Table 1. *Hydraulic system data of operating stamping-machine chart*

Mode	Number of tacts	Mode duration, sec	Number of actuators	Cycle time, sec	The Power, W
1	11	2500	5	49±1	2921,216
2	11	2500	5	49±1	3827,968
3	11	2500	5	49±1	4734,72

Simulation series were made for each operating mode, without mode shifting. Results of simulation represented on Fig.2.a, initial temperature range - +15…+30 ℃. The difference of stabilization period among modes corresponds to different Power losses in hydraulic lines due to viscosity changes. So the income thermal energy quantities are different too.

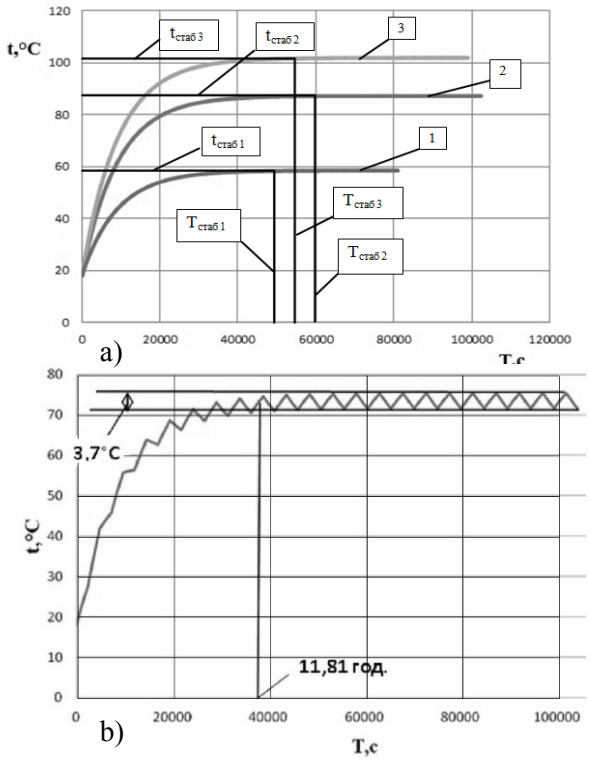


Figure 2. *Simulation series results: a) – fluid temperature characteristics on each operating mode; b) – fluid temperature characteristics of system operating on two modes.*

Hence, results show that on each mode there is linear incrementing of temperature. The average duration of this region on each mode of the system is about 5% of temperature stabilization period.

Another simulation series are made for operating system work with mode switching (Fig.2.b). Presets for simulation were been: at first - 50 cycles on the 1st mode (about 40 minutes), hence – 50 cycles on the 3rd mode (40 minutes too), and repeat. Each mode duration is chosen to provide linear temperature incrementing, according to Fig.2.a.

Results of the system simulation with switching between two modes show that duration of the temperature stabilization period is co-equal to higher value of mode durations. Also the character of stabilized temperature non-linear, however it is periodical, due to different thermal losses and income thermal Power and processes of reaching thermal equilibrium during the mode.

Results of simulations were ensured by experimental series. Differences between: temperature increment quantities are less than 12 ℃; periods of stabilization – less than 20%; stabilized temperature quantities – 6 ℃.

CONCLUSION

It is shown that the simplified thermodynamic calculation algorithm in multi-mode cyclic systems allows to simulate and determine the stabilized fluid temperature and the time of stabilization.

Longitude periodic changes of operating modes in the hydraulic system, go to the constant fluctuations of temperature. The amplitude of the temperature fluctuations is close to the linear dependence on the Power changes and depends on the mode duration.

The proposed algorithm for a simplified thermo-hydraulic calculation can be used to develop an algorithm for controlling and implementing a chart of adjustment for cooling. diagram a pre-connecting/ disconnecting heat exchangers based on the calculation of the speed of temperature changes, the initial temperature value and the duration of next operating mode of hydraulic drives.

REFERENCE

[1] Buryennikov, Yu.A., I.A. Nemirovs`ky`j, L.G. Kozlov. Gidravlika, gidro- ta pnevmopry`vody`: navchal`ny`j posibny`k. Vinny`cya: VNTU. 2013. Print.

[2] Avrunin, G.A., I.V. Gricaj, I.G. Kirichenko, I.I. Moroz, O.V. Shherbak. Ob'emnyj

gidroprivod i gidropnevmoavtomatika: uchebnoe posobie. Har'kov: HNADU. 2008. Print.
[3] Bocharov, V.P., M.M. Glazkov, G.J. Zajonchkovs`ky`j, T.V. Tarasenko, V.A. Trofimov. Gidravlika ta gidropnevmopry`stroyi aviacijnoyi texniky`: Navchal`ny`j posibny`k. K.: «NAU-druk». 2011. Print.
[4] Cherkashenko, M.V. Gidropnevmoavtomatika. Pod obshh.red. K.V.Savel'eva. Har'kov: GIDROELEKS. 2002. Print.
[5] Uzunov, A.V. and A.A. Balagurin. "Eksperimental'noe issledovanie elektrogidroprivoda so vstroennoj model'ju", Visnik Kremenchuc'kogo derzhavnogo politehnichnogo universitetu imeni Mihajla Ostrograds'kogo, No. 2/2008 (49), ch.2. 28-32. Print.
[6] Repin, A.I., A.N. Maksimov, N.I. Smirnov, V.R. Sabanin i dr. "Identifikacija i adaptacija avtomaticheskih sistem regulirovanija s ispol'zovaniem imitacionnyh modelej", IMMOD 2007: sb. tr. konf. – Sankt-Peterburg: FGUP CNII tehnologii sudostroenija, 2007. 178 – 182. Print.
[7] Kozlov, L.H., S.M. Lozovs'kyy, S.L. Kozlov. "Hidropryvod z proportsiynym rehulyuvannyam shvydkosti paralel'no pidklyuchenykh hidrotsylindriv", Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu, No. 3. 2010. 38-43. Print.
[8] Jeksner, H., R. Frejtag i dr. Gidroprivod. Osnovy i komponenty. Uchebnyj kurs po gidravlike. Tom 1. Jerbah: Bosh Rekstrot AG. 2003. Print.
[9] Dreksler, P., H. Faatc, F. Fajht i dr. Uchebnyj kurs po gidravlike Tom 3: proektirovanie i sooruzhenie gidroustanovok. Manesmann Rexsroth GmbH, Lor na Majne. 1988. Print.
[10] Kutateladze, S.S. Osnovy teorii teploobmena. Izd. 5-e pererab. i dop. M.: Atomizdat, 1979. Print.
[11] Petuhov, B.S., V.A. Kurganov, V.B. Ankudinov. "Teploobmen i gidravlicheskoe soprotivlenie v trubah pri turbulentnom techenii zhidkosti okolokriticheskih parametrov sostojanija", TVT, No. 1(21). 1983. 92–100. Print.
[12] Petuhov, B.S. Teploobmen i soprotivlenie pri laminarnom techenii zhidkosti v trubah. M.: Jenergija, 1967. Print.
[13] Miheev, M.A., I.M. Miheeva. Osnovy teploperedachi. Izd. 2-e, stereotip. M., «Jenergija». 1977. Print.
[14] Trofimov, V.A., O.M. Jahno, A.P. Gubarev, R.I. Solonin. Rabochie zhidkosti sistem gidroprivoda. K.: NTUU «KPI». 2009. Print.
[15] Murashchenko A., O. Yakhno, A. Gubarev. "Simplified calculation of lines for hydraulic drive considering the change temperature of fluid", Motrol. Vol. 15, №5, Lublin. 2013. 173-179. Print.

ПРОГНОЗИРАНЕ НА РАБОТОСПОСОБНОСТТА НА ПОЛИАМИДНИ ВЪЗДУХОВОДИ В ПНЕВМАТИЧНИ СИСТЕМИ

Николай Стефанов
Технически Университет-Габрово

FORECASTING WORKING CAPACITY OF POLYAMID AIR PIPE IN PNEUMATIC SYSTEMS

Nikolay Stefanov
Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, Bulgaria

Abstract

This paper presents the results of predicting the working efficiency of polyamide air ducts in pneumatic systems.

The problem of improving strength and durability of poliamid air pipes is the thermoflucation approach of fracture. Based on the results of the experiment we can predict the performance of poliamid air pipes taking into account external load force.

The calculation results are in accordance with the experimental data oblaited by other authors who have investigated the fracture of pipes.

In this paper it is also is developed methodology which investigates the reliability of pneumatic drive systems. A mathematical model is presented to calculate the reliability characteristics.

Keywords: pneumatic systems; durability; activation energy; thermo-fluctuation theory.

ВЪВЕДЕНИЕ

Пневматичните системи намират широко приложение в различните производства на дървообработващата, металообработващата, хранителната и химическа промишленост, както и на редица други места изискващи механизация и автоматизация на различните дейности.

Различните задачи по автоматизирането на производствените процеси могат да се решат със стандартни пневматични управляващи и спомагателни устройства и елементи. Към спомагателните елементи изграждащи пневматичните системи се отнасят и пневматичните линии за връзка между елементите (Schlauch). Обикновено материалът от който те се произвеждат е полиамид тип PA-11 или PA-12 с търговско наименование Rilsan.

Надеждността е основно свойство на пневматичните системи, изразяващо се в способността за запазване на експлоатационните показатели на системата при зададени функционални изисквания за определен интервал от време.

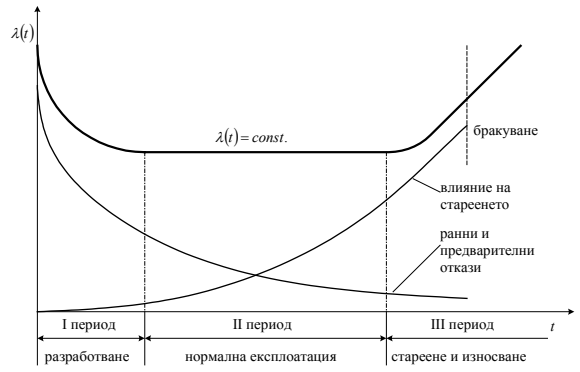
В този смисъл, за използваните полиамидни калибровани тръби за въздух в пневматичните системи, явяващи се невъзстановими изделия, е необходимо определянето на тяхната дълговечност, т.е. съхраняване на работоспособността им до настъпване на пределно състояние, изразяващо се в техническо обслужване или ремонт.

Един от основните показатели на надеждността за невъзстановими изделия е интензивността на отказите $\lambda(t)$.

При разпределението на интензивността на отказите се наблюдават три периода (фиг. 1): I-разработка; II-нормална експлоатация ($\lambda \approx const.$); III-процеси на ускорено износване и стареене.

В третия период се проявяват предимно постепенните откази, получени в резултат на процесите на стареене, износване и умора в материалите.

Целта на разработката е да се приложат съществуващите методики за оценка на основните показатели на надеждността на полиамидна калибрована тръба за въздух, подложена на естественно стареене в продължение на 35 години при средного-дишна температура на обкръжаващата среда $T = 23^{\circ}C$ и се направи оценка на надеждността при нейното използване в пневматична система.



Фиг. 1. *Интензивност на отказите*

ИЗЛОЖЕНИЕ

За прогнозирането на дълговечността на полиамидните тръби за въздух е целесъобразно да се подходи от позиция на термофлуктуационната концепция на деформация и разрушаване на твърдо тяло. Процесите могат да бъдат описани със зависимост, с помощта на която е възмож-но да се прогнозира дълговечността и времето за експлоатация на материала в широк диапазон на натоварване и изменение на температурата. Тази зависимост се записва във вида:

$$\tau = \tau_m \exp\left[\frac{U_0 - \gamma\sigma}{RT}\left(1 - \frac{T}{T_m}\right)\right], \qquad (1)$$

където:

τ_m -минимална дълговечност (период на колебание на кинетичните единици), s;

U_0 -максимална енергия на активация на разрушаване при отсъствие на напрежение, J/mol или J;

γ - константа, $J/mol\,MPa$, m^3/mol или m^3;

T_m -пределна температура на съществуване на твърдото тяло, K;

R -универсална газова константа, $R = 8.314\,J/mol\,K$;

σ -напрежение, MPa;

T -температура, K. За работна среда-сгъстен въздух в съответствие с ISO 8573-1-2010 се приема $T = 293\,K$.

Стойностите на параметрите от зависимост (1) могат да се вземат от различните литератури [1,2,5], като най-често за тях се приема:

$\tau_m = 10^{-13} \div 10^{-12}$ s,

$\gamma = 0.12 \div 0.76\,m^3/k\,mol = 20 \div 128 \times 10^{-23}\,cm^3$

или в общия случай $\gamma = 10^{-28} \div 10^{-27}\,m^3$.

Зависимост (1) може да се представи и във вид чрез използване на връзката $\frac{R}{N_A} = k$,

където $k = 1.38 \times 10^{-23}\ J/K$ е константа на Болцман, а $N_A = 6.022 \times 10^{23}\,1/mol$ е константа на Авогадро и изразява броя на молекулите в един мол.

Разрушаването на твърдите тела под действието на натоварващи сили се разглежда като времеви процес на постепенна деструкция на структурните връзки. Механичната сила приложена върху телата не предизвиква разпада на всички междуатомни връзки, а ги деформира и увеличава амплитудната флуктуация. В този смисъл енергията на активация за различните материали се явява физична константа и не зависи от състоянието на материала.

Зависимост (1) при $T << T_m$ и $U = U_0 - \gamma\sigma$ може да бъде структурирана във вида:

$$\tau = \tau_m e^{\frac{U}{RT}}, \qquad (2)$$

или

$$\tau(N) = C\,e^{b \times \varepsilon_\alpha}, \qquad (3)$$

където:

b, C -константи, характеризиращи процеса на разрушаване;

ε_α -натрупване на остатъчна деформация;

N -брой цикли до разрушаване.

За оценка на основните показатели на надеждността на полиамидна калибрована тръба за въздух, подложена на естествено

стареене, е извършено изпитване чрез Т-образно огъване (ISO 17132:2007). За целта е реализиран изпитвателен стенд с пневматични елементи от фирма Festo [12]. Циклите на натоварване чрез огъване се осъществяват с пневматичен цилиндър с осцилиращо действие тип X-35-200B. Цилиндърът е куплиран с блок регулираща апаратура тип A-5-1/4, и има възможност за регулиране дължината на хода на буталото, както и възможност за промяна скоростта на движение на буталото в права и обратна посока. За управление на цилиндъра се използва лентов програматор тип PNS-10B. Дължината на лентата се определя от броя на включените щанги и гърбици. В зависимост от реализираната програма, времето за един пълен оборот на лентата е от 9s до 24h. Към пистите на програматора са включени и пневматични броячи тип PZA-E-B за отчитане на броя реализирани цикли и обороти на лентата. Проведените експериментални наблюдения са направени при настройки отговарящи на 32s за един пълен оборот на лентата, за което време се реализират 16 цикъла на натоварване. Захранването на системата е $0.8\,MPa$.

Обект на изпитване са полиамидни тръби (Schlauch) с геометрични размери $\varnothing 6\times 1\,mm$ и дължина $150\,mm$, при които има естествено стареене в продължение на 35 години. Радиусът на огъване на тръбите е $14\,mm$, като тази стойност е съобразена с изискванията поставени в [9] за минимален радиус на огъване.

При огъването на тръбите се наблюдава участък където кръглото им напречно сечение преминава в овално.

Овалността на тръбите се определя по зависимост:

$$\alpha = 2(a-b)/(a+b), \qquad (4)$$

където a и b са размерите на голямата и малка ос на овалното сечение, измерени чрез електронен микрометър по външната повърхнина.

Експерименталните наблюдения се свеждат до определяне на зависимостта между броят цикли до разрушаване и натрупването на остатъчна деформация $N = f(\varepsilon_\alpha)$. За ε_α се използва зависимост:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\alpha_0 - \alpha_2}{\alpha_0 - \alpha_1}, \qquad (5)$$

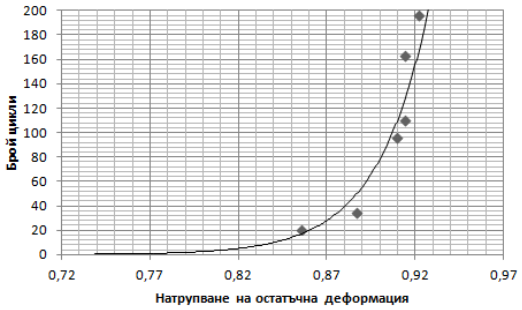
където:

α_0 -овалност преди деформацията;

α_1-овалност, определена в края на процеса на разрушаване;

α_2 - овалност, определена в края на процеса на разрушаване след задържане в границите на $3\,\min$.

Обобщените експериментални резултати са представени на фиг. 2.



Фиг. 2. *Зависимост* $N = f(\varepsilon_\alpha)$

След като се отчете честотата на реализираните цикли, времето τ може да се изрази по зависимост (3) с корелационен коефициент $r_{\varepsilon_\alpha,\tau} = 0.96$, отчитащ взаимносвързаността между параметрите, или:

$$\tau = 6\times 10^{-12} e^{34.286\varepsilon_\alpha}. \qquad (6)$$

При логаритмуването на зависимост (3), се построяват графични зависимости от вида $\ln\tau = f(b)$ при $\varepsilon_\alpha = const$. Графичните зависимости представляват прави линии с различни наклони. Всички прави се пресичат в точка лежаща на ординатната ос (полюс) при $b = 0$. Тогава $\ln\tau = \ln\tau_m$, или $\ln\tau = \ln C$. За линията $\ln\tau = f(b)$ при $b = 34.286$, $\tau_m = 6\times 10^{-12}\,s$ и $\varepsilon_\alpha = 1$ се получава ъгъл φ, отстоящ между ординатата и правата линия. По тангенса от този ъгъл се определя дълговечността на тръбата при стареене, максималната стойност на коефициента b и енергията на активация $U = b_{\max}\,\varepsilon_\alpha R T$.

От анализа, за b се получава: $b_{\max} = 34.286\,tg\,\varphi = 45.46$. При $\varepsilon_\alpha = 1$

(отсъствие на деформация) и температура $T = 293\,K$, максималната стойност на енергията на активация при отсъствие на действащи напрежения е:

$U = U_0 = 110.74\,kJ/mol\ \left(1.84\times10^{-19}\,J\right).$

Дълговечността τ е 10.68 години. Тази стойност е близка до посочената в [9] стойност от 10 години минимум експлоатационен живот.

Като обобщаваща зависимост за определяне на дълговечността, може да се използва зависимост (1), отчитаща влиянието на напрежението от действащото налягане на въздуха в тръбата. Напрежени-ето σ се определя по зависимост 9, дадена в [7] за тръба с единична дължина, след въвеждането на редица допускания, или:

$$\sigma = p\left[\frac{(2+\alpha)d}{4\delta} - 1\right], \qquad (7)$$

където:

p -налягане, Pa;

d -външен диаметър;

δ -дебелина на стената.

Така например, при повишаване на температурата с $5^{\circ}C$, $\alpha = 0.003$ и налягане $p = 0.8\,MPa$ и параметри: $\tau_m = 6\times10^{-12}\,s$, $U_0 = 1.84\times10^{-19}\,J$, $\gamma = 10^{-27}\,m^3$, $T_m >> T$, за дълговечността се получава $\tau = 3.52$ години.

При изследване на дълготрайността и безотказността на еднократно употребявани (невъзстановяеми) изделия най-често се използува законът на разпределение на Weibull. За двупараметричното разпределение на Weibull , плътността на разпределение има вида:

$$f(\tau) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{\tau}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{\tau}{\eta}\right)^{\beta}}, \qquad (8)$$

където:

η -параметър на мащаба;

β -параметър на формата;

Ако се положи $\lambda = 1/\eta^{\beta}$, се получава следната зависимост:

$$f(\tau) = \lambda\beta\tau^{\beta-1}e^{-\lambda\tau^{\beta}}, \qquad (9)$$

където λ е интензивността на потока събития;

За функцията на разпределение се записва:

$$F(\tau) = 1 - e^{-\lambda\tau^{\beta}}. \qquad (10)$$

Точковите оценки на показателите на надеждност се записват със зависимостите:

-вероятност за безотказна работа до първи отказ

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau^{\beta}}; \qquad (11)$$

-интензивност на отказите;

$$\lambda(\tau) = \lambda\beta\tau^{\beta-1}; \qquad (12)$$

-средна отработка до отказ;

$$T_0 = \frac{\Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right)}{\lambda^{\frac{1}{\beta}}}. \qquad (13)$$

Параметърът на формата се определя по метода на последователните приближения с използването на зависимост [4]:

$$\beta = 0.111186 + 0.835597\frac{\bar{\tau}}{s} + 0.0759898\left(\frac{\bar{\tau}}{s}\right)^2, \qquad (14)$$

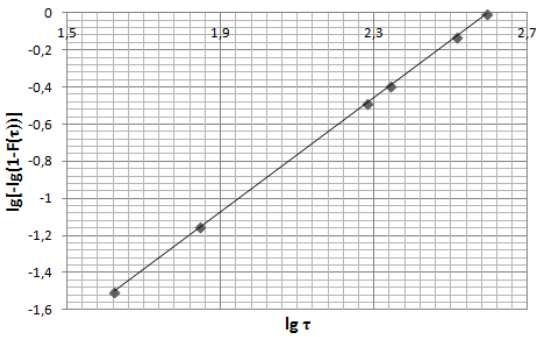
а параметърът на мащаба по зависимост:

$$\eta = \frac{\bar{\tau}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right)}, \qquad (15)$$

където $\bar{\tau}$ е математичното очакване, а s е средноквадратичното отклонение.

От експерименталните наблюдения при $\bar{\tau} = 207\,s$ и $s = 138\,s$, за параметрите на разпределението се получават стойностите: $\beta = 1.54$ и $\eta = 230\,s$.

Проверката на хипотезата, че емпиричното разпределение се съгласува с разпределението на Weibull, се извършва с критерия на съгласуваност- χ^2, или по графичен начин. Графичният начин се изразява в линейност между величините $\lg\tau_i$ и $\lg\left[-\lg\left(1-F(\tau_i)\right)\right]$, при което се твърди, че е налице съгласуваност между емпиричното и теоретично разпределение. На фиг. 3. е представена линейната зависимост изразяваща съгласуваност между величините.



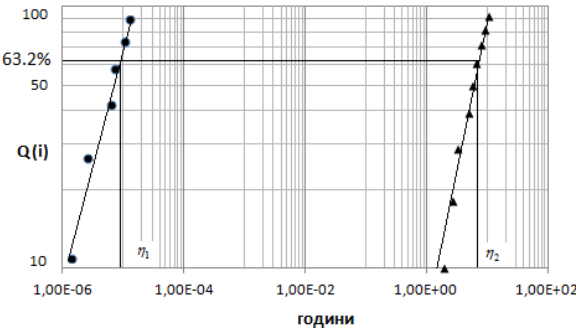
Фиг. 3. *Зависимост* $\lg\left[-\lg\left(1-F(\tau)\right)\right]=f\left(\lg\tau\right)$

Параметърът β се приема за константа при различни нива на натоварващите въздействия, а параметърът η за характеристика на дълготрайността.

На фиг. 4 е показана вероятностната мрежа на Weibull, където са дадени резултатите от експеримента и теоретични-те резултати получени по зависимост (2) при различни стойности на температурата на работната среда, изменяща се в границите на $5\ ^{\circ}C$.

На абсцисната ос са поместени стойностите на τ, а на ординатната ос –вероятността за отказ $Q(i)$.

За $Q(i)$ се използва зависимостта за апроксимиране по рангове медиани, т. е. $Q(i)=(i-0.3)/(n+0.4)$, където i е ранг на всеки отказ, а n е обемът на извадката. Получени са две успоредни прави, което се явява гаранция за еднакви стойности на параметъра β.



Фиг. 4. *Вероятностна мрежа* на *Weibull*

При използването на Arrhenius-Weibull модел се приема, че $\eta=\tau(T)$ [10]. Тогава $\lambda=\left(\tau_m\, e^{\frac{U}{RT}}\right)^{-\beta}$, или за интензивността на отказите се получава:

$$\lambda(\tau,T)=\left(\tau_m\, e^{\frac{U}{RT}}\right)^{-\beta}\beta\,\tau^{\beta-1}. \qquad (16)$$

След като са определени стойностите на τ_m, U, β, окончателно за зависимост (16), може да се запише:

$$\lambda\left(\tau, T=293\,K\right)=3.5\times10^{-8}\,\tau^{0.54}, h^{-1}. \qquad (17)$$

В [6] за средна стойност на интензивността на отказите, без да са посочени минимални и максимални стойности, е дадено $\lambda=3.66\times10^{-6}, h^{-1}$

При експоненциално разпределение $\beta=1\left(\eta=T_0\right)$, или $\lambda(\tau,T)=\lambda$.

В случая може да се приеме, че $\beta=1$. Тогава, за $T_0=1/\lambda$, се получава 31.6 години живот, която стойност е значителна по отношение стареенето на материала, т. е. три пъти по-дълъг живот. От същия порядък, но като максимална стойност се получава стойността $\lambda=10.8\times10^{-6}, h^{-1}$ при $\beta=1$ по зависимост (16). Тази стойност може да се приеме като начална за III период от фиг.1.

За анализа на изменението на надеждностните показатели на обект, представляващ техническа система от отделни елементи и възли, се използва т. нар. метод на структурните схеми. Същността на този метод се състои в преобразуването на реалния физически обект в еквивалентна структурна схема на надеждност, която представлява логически модел на функциониране на изследвания модел**.** Пневматичните задвижващи системи могат да се представят като система от последователно съединени елементи. Физическият смисъл на последователното съединение изразява необходимостта от безотказна работа на всички елементи, за да е възможно функционирането на системата.

Вероятността за безотказна работа на системата за изследвания период от време τ е:

$$P_C(\tau) = P_1(\tau)P_2(\tau).....P_i(\tau).....P_n(\tau) = \prod_{i=1}^{n} P_i(\tau), \quad (18)$$

където:

n-брой на последователно съединените елементи;

$P_i(\tau)$-вероятността за безотказна работа на i-тия елемент.

В таблица 1. са дадени точковите оценки на показателите на надеждност на примерна пневматична задвижваща система.

Таблица 1. Оценки на показателите на надеждност

Елементи от пневматична система	Вероятност за безотказна работа $P_i(\tau)$
Въздухо-подготвителна група	$P_1(\tau) = e^{-7.8\times10^{-6}\times\tau}$
Пневмати-чен разпределител	$P_2(\tau) = e^{-4.64\times10^{-6}\times\tau}$
ДРОКП	$P_3(\tau) = e^{-0.5\times10^{-6}\times\tau}$
Пневматичен цилиндър	$P_4(\tau) = e^{-0.004\times10^{-6}\times\tau}$
Schlauch	$P_5(\tau)$ Зависимост 11

За вероятността за безотказна работа, по данните от таблица 1, за време $\tau = 43{,}2\times10^3\ h$ се получава: $P_{1-4} = 57.51\%$, $P_5 = 73.25\%$ и $P_C = 41.75\%$.

За време $\tau = 86.4\times10^3\ h$ се получава: $P_{1-4} = 32.57\%$, $P_5 = 40.45\%$ и т. н.

От литературата е известно, че вероятността за безотказна работа на системата намалява с увеличаване на броя на последователно съединените елементи и също така вероятността за безотказна работа на системата е винаги по-малка от тази на елемента с най-ниско ниво на надеждност. Тези твърдения се потвърждават от представените по-горе пресмятания.

С най-ниско ниво на надеждност се явяват тръбите за въздух и въздухопод-готвителната група. Вероятността за безотказна работа рязко намалява с увеличаване на времето за експлоатация следствие влияние на стареенето на материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Представена е теоретична методика за определяне дълговечността на тръби за въздух в пневматични системи.

2. Определени са част от параметрите при използването на модели на Arrhenius и Weibull.

3. Направена е оценка на надеждността на примерна пневматична система.

REFERENCE

[1] Asheichik A. A., V. I. Polonsky. Definition of energy of activation of elastomers by the experimentally-theoretical method. St. Petersburg State Polytechnical University. University publisting hous-St. Petersburg, 2015.

[2] Azadov M. A. The analysis of the influence of parameters of distribution laws for dependability of technical system elements. Tashkent State Technical University. University publisting hous-Tashkent, 2014.

[3] Dimitrov K., D. Danchev. Reliability of construction machines and systems. Technique. Sofia, 1994.

[4] Georgiev I. A. Application of Mathematical Statistics in Mechanical Engineering. Technique Sofia, 1982.

[5] Goriyanov G. I., D.D. Karov. Breaking durability parameters estimation for elastomers. St. Petersburg State Polytechnical University. University publisting hous-St. Petersburg, Vol.1 (165), 2013.

[6] GOST 12.1004-91 /standard/.

[7] Stefanov N. S., I. Angelov. Methodology evaluating the reliability of oval section tubes in the presence of a flat elliptical defect. International Scientific Conference UNITECH 09, Technical University of Gabrovo, Vol. II, Gabrovo,2009.

[8] Yartsev V.P., M. A. Zagorodnikova. Prediction of durability of asbestos pipes. Tambov State Technical University. . University publisting hous-Tambov, Vol. 2 (51), 2014.

[9] www. festo .com/catalogue/ Plastic tubing,standard O. D.

[10] www.weibull.com/hotwire/issue17/hottopics17.htm

[11] www. polympart.com

[12] 14/4a Lieferprogramm Pneomatic Festo /catalog/

НАПРАВЛЕНИЕ 9

МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

SESSION 9

MATHEMATICS AND INFORMATICS

COMPLEX HOMOGENEOUS DIFFERENTIAL EQUATION OF FIRST AND SECOND ORDER THROUGH ITERATIONS

Jelena Vujaković[1], Nataša Kontrec[1], Stefan Panić[1]
[1] *University of Priština, Faculty of Sciences and Mathematics*
Lole Ribara 29, Kosovska Mitrovica, Serbia
jelena.vujakovic@pr.ac.rs ; natasa.contrec@pr.ac.rs ; stefan.panic@pr.ac.rs

Abstract

The theory of complex differential equations represents an important mathematical discipline both from the theoretical point of view and from numerous applications. Its development was equally encouraged by mathematicians, physicists and engineers. By using the series-iterations method we have explained how the obtained results could be applied to the complex linear homogeneous first order and canonical complex linear second order differential equations. We have also formulated some conclusions about the determination of zero solutions of these equations. Even if that equation had no solutions we have found a particular integral which had zero for some choices of the integration constants.

Keywords: a series-iteration method, differential equation, zero of solutions.

INTRODUCTION AND PRELIMINARIES

The ordinary differential equations have been applied in many fields such as physics, engineering, technology, biology, chemistry and other sciences. This is a very powerful mathematical tool for analyzing the relationship between various phenomena in nature. Techniques to solve differential equations or systems of differential equations are not always straightforward.

The iterations are mainly used to solve differential equations with completely determined, relatively elementary and continuous coefficients. We noticed that there is no theorem on the existence of a solution which requires that the coefficients of the equation must be specifically determined. They only require continuity and Lipschitz's condition. This created a common practice that the coefficients in the differential equation must be very concrete, and with well-established operations therein. In fact, this is just a psychological deception, because iterations can be performed well even when the equation coefficients are general. Then, for the linear differential equations, nice symmetric iterations are obtained, which are transformed into series. This classic method of iterations is called a series-iteration method.

Differential equation of first order. The complex canonical first order differential equation, with an analytical coefficient $a(z)$

$$\frac{dw}{dz} = a(z)w(z) \tag{1}$$

is equivalent to an integral equation

$$w(z) = \int_{z_0}^{z} a(z)w(z)dz + w_0 \ , \tag{2}$$

which means that $w(z)$ is the solution of the starting equation if and only if it is the solution of the integral equation (2).

Based on the integral equation (2) we define a iteration sequence $\left\{w^{[n]}(z)\right\}$:

$$w^{[n]}(z) = w_0 + \int_{z_0}^{z} a(z)w^{[n-1]}(z)dz, n = 1,2,3,... \tag{3}$$

with initial conditions $w^{[0]}(z_0) = w(z_0) = w_0$. We choose the initial approximation arbitrarily, but so that $w^{[0]}(z)$ is a continuous

function in the domain of iterations and that it approximately satisfies the equation. For members of the sequence we have

$$w^{[1]}(z)=\int_{z_0}^{z}a(z)w^{[0]}(z)dz+w_0=w_0\left[1+\int_{z_0}^{z}a(z)dz\right],$$

$$w^{[2]}(z)=\int_{z_0}^{z}a(z)w^{[1]}(z)dz+w_0=$$

$$=w_0\left[1+\int_{z_0}^{z}a(z)\,dz+\int_{z_0}^{z}a(z)\int_{z_0}^{z}a(z)\,dz^2\right],$$

$$\vdots$$

$$w^{[n]}(z)=w_0\sum_{k=0}^{n}\underbrace{\int_{z_0}^{z}a(z)\int_{z_0}^{z}a(z)\ldots\int_{z_0}^{z}a(z)dz^k}_{k\text{-integrals}}. \qquad (4)$$

and so on.

This mathematical construction makes sense if a series of iterations $\left\{w^{[n]}(z)\right\}$ converges. It is easy to check that integral operator (3) is a contraction. We will use a modulus apparatus, because it is only possible to make estimates in the set of complex numbers.

First of all, assume that in the domain G, in the z-plane, there is a finite curve L on which we integrate. Since $a(z)$ is an analytic function in G, its modulus is bounded, that is, there exists a real $M>0$ such that $|a(z)|\le M$ for all $z\in G$. To facilitate calculations, we translate the coordinate system by assuming that $z_0=0$. Since

$$\left|w^{[1]}(z)-w^{[0]}(z)\right|=\left|w_0\int_0^{z}a(z)dz\right|$$

$$\le|w_0|\left(\max_{z\in G}|a(z)|\right)|z|\le M|w_0||z|$$

by mathematical induction it is easy to prove that

$$\left|w^{[n]}(z)-w^{[n-1]}(z)\right|=\left|w_0\underbrace{\int_0^{z}a(z)\int_0^{z}a(z)\ldots\int_0^{z}a(z)dz^n}_{n\text{-integrals}}\right|$$

$$=|w_0|\frac{\left|\int_0^{z}a(z)dz\right|^n}{n!}\le|w_0|\left(\max_{z\in G}|a(z)|\right)^n\frac{|z|^n}{n!}$$

$$\le|w_0|\frac{\left(M|z|\right)^n}{n!}.$$

Now we construct a functional series

$$w^{[0]}(z)+\sum_{n=1}^{\infty}\left[w^{[n]}(z)-w^{[n-1]}(z)\right] \qquad (5)$$

which is majored by series $\sum_{n=0}^{\infty}|w_0|\frac{\left(M|z|\right)^n}{n!}$. Based on d'Alembert criterion he converges, and according to Weierstrass criterion the functional series (5) converges absolutely and uniformly to the function $w^*(z)$. Thus, the functional series (5) converges. It follows that to the same limit function converges a series of its partial sums, the nth partial sum is nth iteration $w^{[n]}(z)$. Hence $\lim_{n\to\infty}w^{[n]}(z)=w^*(z)$. From the definition of a sequence of iterations (3), taking limit as $n\to\infty$ we obtain

$$\lim_{n\to\infty}w^{[n]}(z)=w_0+\int_0^{z}a(z)\lim_{n\to\infty}w^{[n-1]}(z)dz,n=1,2,3,...$$

i.e. $w^*(z)=w_0+\int_0^{z}a(z)w^*(z)dz,n=1,2,3,...$.

Therefore, $w^*(z)$ is the solution of the integral equation (2), and because of the equivalence it is also solution of the starting complex differential equation (1). Since, according to Picard's theorem, the limit of a series of iterations $\left\{w^{[n]}(z)\right\},n=1,2,...$ is unique, the solution $w(z)$ is equally unique. This means that $w^*(z)=w(z)$ for all $z\in G$. Based on this, it follows that the solution of complex differential equation (1) has the series-iteration form of multiple integrals, i.e.

$$w(z)=w_0\sum_{k=0}^{+\infty}\underbrace{\int_{z_0}^{z}a(z)\int_{z_0}^{z}a(z)\ldots\int_{z_0}^{z}a(z)dz^k}_{k\text{-integrals}}. \qquad (6)$$

Note that the function $w(z)$ is analytic solution of (1) in G.

Complex differential equation of second order. Complex canonical linear homogeneous differential equation of second order

$$\frac{d^2w}{dz^2}+a(z)w(z)=0, \qquad (7)$$

with analytical coefficient $a(z)$, according to Picard-Poincarré principle, has an analytical solution $w(z)$, which is a continuous function and satisfies Cauchy-Riemann conditions. In

order to determine the solution of the equation (7) and then the number of zeros and the location of the zero solutions (this is very important in engineering), the equation (7) is solved by the series-iterations method by determining the first integral from the normal

form $\frac{dw}{dz} = c_1 - \int_0^z a(z)w(z)dz$. Hence

$$w(z) = c_1 z + c_2 - \int_0^z \int_0^z a(z)w(z)dz^2, \qquad (8)$$

where the integration constants c_1 and c_2 are complex number. If this solution is normalized, for $w(0)=1, w'(0)=0$ we obtain $c_1=1$ and $c_2=0$, we got one particular integral $w_1(z)$. For $w(0)=0, w'(0)=1$ we have $c_1=0$ and $c_2=1$, that is, we obtain another particular integral $w_2(z)$. The integrals $w_1(z)$ and $w_2(z)$ are linearly independent, since, it is well known, a complex second order differential equation has two linearly independent particular solutions. We mark them by

$$w_1(z) = 1 - \int_0^z \int_0^z a(z)w_1(z)dz^2, \qquad (9)$$

$$w_2(z) = z - \int_0^z \int_0^z a(z)w_2(z)dz^2. \qquad (10)$$

If with

$$w_1^{[n]}(z) = 1 - \int_0^z \int_0^z a(z)w_1^{[n-1]}(z)dz^2,\ n=1,2,.., \quad (11)$$

$$w_2^{[n]}(z) = z - \int_0^z \int_0^z a(z)w_2^{[n-1]}(z)dz^2,\ n=1,2,.., \quad (12)$$

we define a sequences of iterations $\left\{w_1^{[n]}(z)\right\}$ and $\left\{w_2^{[n]}(z)\right\}$, with initial approximations $w_1^{[0]}(z)$, $w_1^{[0]}(0) = w_1(0) = 1$ and $w_2^{[0]}(z)$, $w_2^{[0]}(0) = w_2(0) = 0$, then, completely analogously to the differential equation (1), it can be shown that the equation (7) has two linearly independent particular integrals in the form

$$w_1(z) = \sum_{k=0}^{\infty}(-1)^k \underbrace{\int_0^z \int_0^z a(z)dz^2 \ldots \int_0^z \int_0^z a(z)dz^2}_{k-\text{ double integrals}} \qquad (13)$$

$$w_2(z) = z + \sum_{k=1}^{n}(-1)^k \underbrace{\int_0^z \int_0^z a(z)dz^2 \ldots \int_0^z \int_0^z a(z)dz^2 \int_0^z \int_0^z za(z)dz^2}_{k-\text{ double integrals}}. \qquad (14)$$

Functions (13) and (14) are the sums of the series-iterations of multiple double integrals. These are analytic solutions of equation (7) in the domain G.

We have shown in [1,2] that these functions are very similar to Euclidian's sine and cosine, naming them oscillatory complex sine and cosine with base $a(z)$, i.e. $w_1(z) = \cos_{a(z)} z$, $w_2(z) = \sin_{a(z)} z$ and we approximated them by formula

$$w_1(z) = \cos_{a(x)} z \approx \cos\left(z\sqrt{a(z)}\right),$$

$$w_2(z) = \sin_{a(z)} z \approx \frac{\sin\left(z\sqrt{a(z)}\right)}{\sqrt{a(z)}}.$$

Further, with $F(z) = z\sqrt{a(z)}$ we denoted a function of the frequency and shown that the zero solutions of $w_1(z)$ and $w_2(z)$ are approximately in solutions of equations $z\sqrt{a(z)} = (2n-1)\frac{\pi}{2}, n=1,2,...$ for cosine and $z\sqrt{a(z)} = n\pi, n=0,1,...$ for sine solution.

EXAMPLES

For complex functions, $w(z)>0$ and $w(z)<0$ are not defined, the functions $w(z)$ and $-w(z)$ are somehow equal, they don't have a graph, but they have a common modular surface

$$F(x,y) = |w(z)| = |u(x,y) + iv(x,y)| = \sqrt{u^2(x,y) + v^2(x,y)}.$$

It can only be zero if $|w(z)| = 0$. If $w(z) = u(x,y) + iv(x,y)$ is analytical and has a zero, then they are isolated, so $|w(z)| = 0$ implies $u(x,y) = 0$, $v(x,y) = 0$. Then there is a possibility for some partial oscillation, at least some of the parts $u(x,y)$ or $v(x,y)$.

Existence of zeros in a complex area is a substitute for oscillatory in the real case. The importance of zeros of complex function is not only in the replacement of oscillatory, but

more so in the fact that the number of zeros is equivalent to the rank growth. This is known from real oscillations (see [3,4,5,6,7]). Namely, the real differential equations of second order $y''(x)+a(x)y=0$, under conditions: $a(x)>0$, $a(x)$ is continuous on $[0,+\infty)$ and satisfies Lipschitz condition, integral $\int_0^{\infty} a(x)dx$ diverges, defines oscillatory function.

In a canonical complex second order differential equation (7), if $a(z)$ is a polynomial, we can expect n oscillations depending on the degree of polynomial $a(z)$. If $a(z)$ is an exponential function, then there are countless zeroes throughout the z-plane.

In the following examples, by series-iteration method, for some special cases of complex equations of the second order, we have tried to determine the zeroes of the solution. Even if that equation had no solutions we have found a particular integral which had zero for some choices of the integration constants.

Example 1. Consider the canonical complex differential equation

$$\frac{d^2w}{dz^2}+k^2w(z)=0 \qquad (15)$$

for which $a(z)=k^2$ is a real constant. By series-iteration method we obtain two particular solutions

$$w_1(z)=1-\int_0^z\int_0^z k^2dz^2+\int_0^z\int_0^z k^2dz^2\int_0^z\int_0^z k^2dz^2-\ldots$$

$$=1-\frac{(kz)^2}{2!}+\frac{(kz)^4}{4!}-\frac{(kz)^6}{6!}+\ldots=\cos(kz)$$

$$w_2(z)=z-\int_0^z\int_0^z zk^2dz^2+\int_0^z\int_0^z k^2dz^2\int_0^z\int_0^z zk^2dz^2-\ldots=$$

$$=\frac{1}{k}\left[(kz)^1-\frac{(kz)^3}{3!}+\frac{(kz)^5}{5!}-\ldots\right]=\frac{1}{k}\sin(kz).$$

Hence, according Euler's formula

$$w_1(z)=\cos(kz)=\frac{e^{ikz}+e^{-ikz}}{2}=$$

$$=\frac{1}{2}\left[e^{-ky}(\cos kx+i\sin kx)+e^{ky}(\cos kx-i\sin kx)\right]$$

$$=\cos kx\frac{e^{ky}+e^{-ky}}{2}+i\sin kx\frac{e^{-ky}-e^{ky}}{2}$$

$$=\cos kx\cosh ky-i\sin kx\sinh ky$$

and

$$w_2(z)=\frac{1}{k}\sin(kz)=\frac{1}{k}\frac{e^{ikz}-e^{-ikz}}{2i}$$

$$=\frac{1}{2ki}\left[e^{-ky}(\cos kx+i\sin kx)-e^{ky}(\cos kx-i\sin kx)\right]$$

$$=\frac{1}{ki}\left[\cos kx\frac{e^{-ky}-e^{ky}}{2}+i\sin kx\frac{e^{-ky}+e^{ky}}{2}\right]$$

$$=\frac{1}{k}(\sin kx\cosh ky+i\cos kx\sinh ky)$$

The question here is whether $w_1(z)$ and $w_2(z)$ have zeros? From $w_1(z)=0$ follows $u_1(x,y)=0=v_1(x,y)$, that is, $\cos kx\cosh ky=0$ and $\sin kx\sinh ky=0$. We conclude that solution $w_1(z)$ has only isolated zeros on x-axis and in points $x=\frac{(2n-1)}{k}\frac{\pi}{2}, n=1,2,\ldots$, $k=const$. For zeros of second solution $w_2(z)$ should apply, $u_2(x,y)=0=v_2(x,y)$, i.e. $\sin kx\cosh ky=0=\cos kx\sinh ky$. Hence, $x=\frac{n\pi}{k}$, $n=0,1,2,\ldots$ and $y=0$. Therefore, the zeros of solution $w_2(z)$ are again on the x-axis and in points $x=\frac{n\pi}{k}, n=0,1,2,\ldots$. Obviously, the (15) particular solutions of the canonical complex second order differential equation (7) have no common zeros.

Remark. A very important issue is the zero of the general solution

$$w(z)=c_1w_1(z)+c_2w_2(z)=0.$$

This problem has many possibilities because it depends on integration constants.

For example, let us find the solution of the equation (15) in the form $w(z)=e^{rz}$, where r is the complex constant to be determined. Substituting $\frac{dw}{dz}=re^{rz}$, $\frac{d^2w}{dz^2}=r^2e^{rz}$ in (15) we obtain the characteristic equation $e^{rz}(r^2+k^2)=0$. It follows that $r=\pm ki$. We got a new system of particular integrals

$$w_1^*(z)=e^{ikz}, w_2^*(z)=e^{-ikz}.$$

Since $w_1^*(z)=e^{-ky}(\cos kx+i\sin kx)\neq 0$ and $w_2^*(z)=e^{ky}(\cos kx-i\sin kx)\neq 0$, it follows that

$w_1^*(z)$ and $w_2^*(z)$ have no zeros. However, we can determine a linear combination that would have zeros. From $c_1e^{ikz}+c_2e^{-ikz}=0$, i.e. $e^{2ikz}=-\frac{c_2}{c_1}$, we get $z=\frac{1}{2ik}\ln\left(-\frac{c_2}{c_1}\right)$. Hence, $z=0$ for $c_1=-c_2$. So, from a linear combination $w^*(z)=c_1e^{ikz}-c_1e^{-ikz}=2ic_1\sin kz$ we get a solution that obviously has zeros.

Example 2. Let $a(z)=z=x+iy$. For canonical complex differential equation (7), that is from (8), we obtain equation

$$w(z)=c_1z+c_2-\int_0^z\int_0^z zw(z)dz^2.$$

By choosing the constants c_1 and c_2 from the particular integrals, i.e. solutions (9) and (10), by series-iteration method we obtain

$$w_1(z)=1-\int_0^z\int_0^z z\,dz^2+\int_0^z\int_0^z zdz^2\int_0^z\int_0^z zdz^2-\ldots,$$

$$w_2(z)=z-\int_0^z\int_0^z z^2\,dz^2+\int_0^z\int_0^z zdz^2\int_0^z\int_0^z z^2\,dz^2-\ldots.$$

Solving these integrals we get

$$w_1(z)=1-\frac{z^3}{3\cdot2}+\frac{z^6}{(6\cdot5)(3\cdot2)}-\frac{z^9}{(9\cdot8)(6\cdot5)(3\cdot2)}+\ldots$$

$$w_2(z)=z-\frac{z^4}{4\cdot3}+\frac{z^7}{(7\cdot6)(4\cdot3)}-\frac{z^{10}}{(10\cdot9)(7\cdot6)(4\cdot3)}+\ldots.$$

We note that in the denominator of fractions we have incomplete factorials. This raises the questions: what are the functions $w_1(z)$ and $w_2(z)$, whether they have anything to do with functions $\sin z,\cos z$, or e^z, e^{iz}, because, our goal is to determine the number of zero and the location of zero solutions. When the series-iterations method can't determine the zeros of the solutions and their locations, we go to another way of solving this equation.

Since the canonical complex differential equation of second order (7) has an analytic solution, its second derivative is also analytic, and then follows

$$\frac{d^2w}{dz^2}=\frac{\partial^2u}{\partial x^2}+i\frac{\partial^2v}{\partial x^2}$$
$$=-xu(x,y)+yv(x,y)-i\big(xv(x,y)+yu(x,y)\big).$$

Hence we obtain real system of partial differential equations of second order

$$\frac{\partial^2u}{\partial x^2}=-xu(x,y)+yv(x,y),$$
$$\frac{\partial^2v}{\partial x^2}=-xv(x,y)-yu(x,y)$$

which is not easy to solve. Viewed particular, only for $y=0$, we have ordinary derivates $\frac{\partial^2u}{\partial x^2}=\frac{d^2u}{dx^2}=u''(x)$ and $\frac{\partial^2v}{\partial x^2}=\frac{d^2v}{dx^2}=v''(x)$, and from here the equations $u''(x)=-xu(x)$ and $v''(x)=-xv(x)$. These equations are identical to the real canonical equation of the second order $y''(x)+xy=0$, and the solutions obtained by the series-iteration method are

$$y_1(x)=1-\frac{x^3}{3\cdot2}+\frac{x^6}{(6\cdot5)(3\cdot2)}-\frac{x^9}{(9\cdot8)(6\cdot5)(3\cdot2)}+\ldots$$

$$y_2(x)=x-\frac{x^4}{4\cdot3}+\frac{x^7}{(7\cdot6)(4\cdot3)}-\frac{x^{10}}{(10\cdot9)(7\cdot6)(4\cdot3)}+\ldots.$$

It is known (see [3,4,5,6,7]) that for $x\ge0$ these solutions define non-elementary functions $y_1(x)=\cos_x x$, $y_2(x)=\sin_x x$, which are oscillatory according to Sturm's theorems. Zero of $y_1(x)$ and $y_2(x)$ are respectively in the solutions of the equations $x\sqrt{x}=(2n-1)\frac{\pi}{2}, n=1,2,\ldots$ and $x\sqrt{x}=n\pi$, $n=0,1,2,\ldots$ Since $a(x)=x\to+\infty$, when x grows, then the sine and cosine graphs with a base x have a Prodi character.

Example 3. Let $a(z)=e^z$. If we solve equation (7) by iterations, we have for a particular integral

$$w_1(z)=\cos_{e^z}z=1-\int_0^z\int_0^z e^z dz^2+\int_0^z\int_0^z e^z dz^2\int_0^z\int_0^z e^z dz^2-\ldots$$
$$=1-\frac{e^z}{1!}+\frac{e^{2z}}{2^2}-\frac{e^{3z}}{2^23^2}-\frac{e^{4z}}{2^23^24^2}+\ldots.$$

We see that this series converges rapidly because $(n!)^2$ is in the denominator. As we can no longer conclude, we solve the differential equation in other way. Substituting $w''(z)=\frac{d^2u}{dx^2}+i\frac{d^2v}{dx^2}$, $a(z)=e^{x+iy}$ and $w(z)=u(x,y)+iv(x,y)$ in (7), we obtain system of equations

$$\frac{d^2u}{dx^2}+e^x\left[u(x,y)\cos y-v(x,y)\sin y\right]=0,$$
$$\frac{d^2v}{dx^2}+e^x\left[u(x,y)\sin y+v(x,y)\cos y\right]=0.$$

Hence, for $y=0$ we get

$$\frac{d^2u}{dx^2}+e^xu(x,y)=0,\ \frac{d^2v}{dx^2}+e^xv(x,y)=0.$$

Since partial derivations are ordinary, we have mathematically identical ordinary canonical differential equations of second order for $u(x)$ and $v(x)$. The coefficient e^x, which grows rapidly, is continuous, and from the first equation of the system, by the series-iterative method for particular integrals

$$u_1(x)=1-\int_0^x\int_0^x e^x dx^2+\int_0^x\int_0^x e^x dx^2\int_0^x\int_0^x e^x dx^2-\ldots,$$
$$u_2(x)=x-\int_0^x\int_0^x xe^x dx^2+\int_0^x\int_0^x e^x dx^2\int_0^x\int_0^x xe^x dx^2-\ldots,$$

we obtain frequency oscillations. For functions $u_1(x)$ and $u_2(x)$ approximate formulas apply

$$u_1(x)=\cos_{e^x}x\approx\cos\sqrt{e^x},$$
$$u_2(x)=\sin_{e^x}x\approx\frac{\sin x\sqrt{e^x}}{\sqrt{e^x}}.$$

It follows that the zero of oscillations are in the solutions of the equations $x\sqrt{e^x}=(2n-1)\frac{\pi}{2}$, $n=1,2,...$ and $x\sqrt{e^x}=n\pi$, $n=0,1,...$.

CONCLUSION

The purpose of learning the theory of differential equations is to solve practical problems in which differential equations are used. A good researcher or scientist is more interested in mathematical modeling of a practical problem, i.e., using the easiest methods for solving and finding solutions of equations.

We believe that the idea of further elaboration of our method is very useful and can be purposefully applied to the case of complex non-homogeneous linear, homogeneous linear higher order differential equations with oscillatory solutions, then on Bernoulli, Riccati etc. Based on our knowledge, the problem of solving differential equations for which the coefficients in normal form are interrupted remains open. All these are ideas that we will deal with in the future.

REFERENCE

[1] Vujaković J, Rajović M. The number of zero solutions for complex canonical differential equation of second order with constant coefficients in the first quadrant. University Thought, Publication in Natural Sciences 2016; 6(2):41-46.

[2] Vujaković J. The mean value theorem of line complex integral and Sturm function. Applied Mathematical Sciences 2014; 8(37): 1817-1827.

[3] Dimitrovski D, Mijatović M. A series- Iteration Method in the Theory of Ordinary Differential Equations. Florida: Hadronic Press, 1998.

[4] Лекић М, Цвејић С, Димитровски Д. Штурмове теореме кроз итерације. Природно-математички факултет, Косовска Митровица, 2012// Lekić M, Cvejić S, Dimitrovski D. Šturmove teoreme kroz iteracije, Prirodno-matematički fakultet, Kosovska Mitrovica, 2012.

[5] Vujaković J, Rajović M, Dimitrovski D. Some new results on a linear equation of the second order. Computers and Mathematics with Applications 2011; 61: 1837-1843.

[6] Vujaković J, Rajović M. Envelopes and Prodi's theorem at single amplitude non-harmonic and non-Sturm's oscillations of the second order. Far East Journal of Mathematical Sciences 2014; 85(2):151-164.

[7] Vujaković J, Lalović LJ, Rajović M. Equation of oscillations with one common cause of oscillations and with variable amplitudes. Journal of Advanced Mathematical Studies 2016; 9(2): 258-264.

ХИБРИДНА КОМБИНАЦИЯ МЕЖДУ ЛАКОМ И ГЕНЕТИЧЕН АЛГОРИТЪМ ЗА РЕШАВАНЕ НА ЗАДАЧАТА ЗА ЕДНОМЕРЕН РАЗКРОЙ

Тодор Балабанов[1], Иван Благоев[1], Зорница Атанасова[1]
[1]Институт по информационни и комуникационни технологии
Българска академия на науките
ул. „акад. Георги Бончев“, блок 2, кабинет 514, град София 1113, България
todorb@iinf.bas.bg
http://www.iict.bas.bg/

GREEDY-GENETIC ALGORITHM HYBRID SOLUTION OF 1D STOCK CUTTING PROBLEM

Todor Balabanov[1], Ivan Blagoev[1], Zornitsa Atanassova[1]
[1] Institute of Information and Communication Technologies
Bulgarian Academy of Sciences
acad. Georgi Bonchev Str, block 2, office 514, 1113 Sofia, Bulgaria
todorb@iinf.bas.bg
http://www.iict.bas.bg/

Abstract

One-dimensional stocking cut problem is a very well know industrial problem. The main idea behind it is that there are stock size beams provided by the steel factory for example. Beams should be cut in smaller pieces, according requirements given by the designers and the engineers. This is a pure combinatorial problem and the goal is minimization of the total stock size beams wastage. In this research stock size beams can be with different length, according steel factory specifications. The article proposes hybrid solution as combination between genetic and greedy algorithms. All experiments are done with custom made software solution based on JavaScript which was required by an industrial partners.

Keywords: One-dimensional cutting stock problem, genetic algorithms, greedy algorithms.

ВЪВЕДЕНИЕ

Задачата за едномерен разкрой е добре известна в различни индустриални производства. Това е класическа комбинаторна задача, при която материал оформен като пръти (например стоманени греди) трябва да бъде нарязан на предварително зададени парчета [1]. В общия случай прътите имат една и съща дължина, но в това изследване се разглежда вариация при която прътите имат няколко стандартизирани дължини. Задачата е оптимизационна и целта на оптимизацията е рязането на парчетата така да бъде подредено, че остатъците неизползван материал да се минимизира [2]. Задачата е важна за множество индустрии, като металургия, стъкларство, текстил, гледане на пчели [3,4] и други. Дори при оформянето на рекламните блокове по масовите медии задачата се решава на принципа на едномерния разкрой, така че рекламни клипове с различна дължина да бъдат поместени в определен времеви отрязък. Настоящото изследване е провокирано от нуждите на строителната архитектура, при която стоманени пръти биват нарязвани по такъв начин, че да послужат за скелет на стоманени конструкции. Поради тази причина изложението се базира на терминологията изпол-

звана в металургията и архитектурата. В настоящото изследване, използването на лаком алгоритъм от [5] е надградено с комбинация от генетичен алгоритъм. Експерименте са извършени с JavaScript програма и са използвани примери от реалната индустриална практика. Предложеният хибриден алгоритъм е стохастичен (основно заради генетичния алгоритъм) и представлява интерес за производителите на софтуер, под формата на заместител за алгоритми, като „пълно изчерпване“ или „динамично оптимиране“.

ФОРМУЛИРАНЕ НА ЗАДАЧАТА

Добре известно е, че задачата за едномерен разкрой (one-dimensional cutting stock или 1D-CSP) е комбинаторна и попада в класа NP-Hard задачи [6]. По своята същина задачата е от целочисленото линейно програмиране. Когато броят на парчетата, които трябва да се нарежат е малък, то са приложими общоизвестните точни числени методи. Сложността идва при голям брой и разнообразни по дължина парчета за нарязване.

Класическият вариант на 1D-CSP представлява нарязване на стандартизиран размер пръти, на парчета с размер зададен от проектанта. Основната цел при рязането е да се минимизира общия остатък от всеки прът, след нарязването.

За стандартната дефиниция на проблема се използват следните означения:
c - фабрични дължини на прътите;
w_i - подредба на дължините за елемент i;
v_i - желано количество от елемент i;
x_{ij} - брой елементи i отрязани от прът j;
y_j - индикация дали j прът се ползва;
t_j - остатък от прът j;

$$min \sum_{j=1}^{m} t_j \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} w_j + t_j = c.y_j, \ \ j = 1,...,m. \tag{2}$$

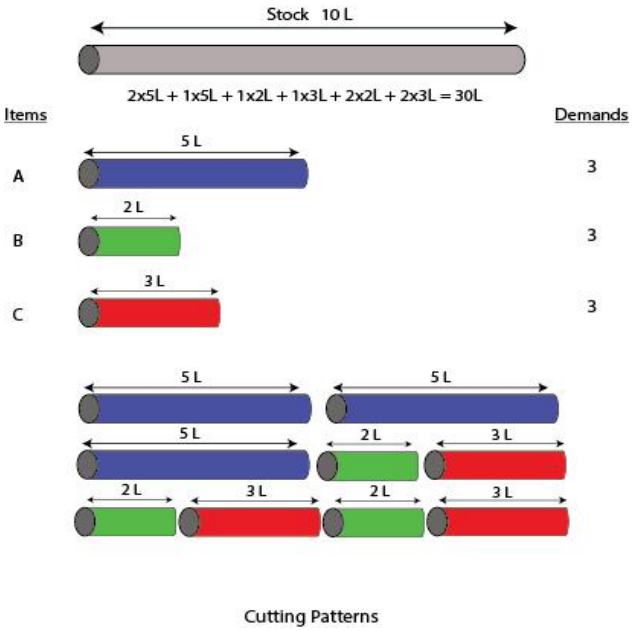
$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = \mathrm{v}_i, \ \ j = 1,...,m. \tag{3}$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ integer}, i = 1,...,n; \ j = 1,...,m.$$

$$t_j \geq 0 \text{ integer}, j = 1,...,m.$$

$$y_j \in \{0,1\}.$$

Целевата функция е минимизиране на сумата от остатъците на използваните пръти (1). Ограниченията в модела са, че всички парчета трябва да бъдат нарязани и всички остатъци трябва да бъдат отчетени.



Фиг. 1. *Визуално представяне на задачата [6]*

На Фиг. 1 е визуално представен пример за нарязване на три вида елементи (items), от които трябва да има по три броя (demands), при фабрична дължина на пръта от 10 единици. В този пример е възможно нарязване без остатъци, като за целта се използват три пръта. В първия прът две парчета с дължина 5. Във втория едно парче с дължина 5, едно парче с дължина 2 и едно парче с дължина 3. В третия прът две парчета с дължина 2 и две парчета с дължина 3.

Приема се, че задачата е коректно поставена и всички елементи са по-малки или равни на прътите с фабрична дължина. Също така, се приема, че доставката на пръти е неограничена.

КОМБИНАЦИЯ МЕЖДУ ЛАКОМ И ГЕНЕТИЧЕН АЛГОРИТЪМ

Настоящото научно изследване предлага хибридна комбинация между лакоми и генетични алгоритми. Такова хибридно решение е полезно в ситуации, където броят на парчетата е толкова голям, че класическите точни методи работят с неприемливо за практиката изчислително време.

При разглеждания случай са възможни пръти с няколко различни производствени дължини (използваните примери са с 4 различни производствени дължини). Така формулирана задачата се разделя на две отделни комбинаторни задачи – за избор на комбинация от възможните пръти с производствена дължина и за избор на реда, в който ще бъдат рязани отделните парчета.

За първата подзадача предложението е да се използва генетичен алгоритъм, който да избере реда на прътите, които могат да бъдат с различна производствена дължина. За втората подзадача предложението е елементите за нарязване да бъдат подреждани според стъпките на лаком алгоритъм (greedy algorithm).

Генетични алгоритми

Популацията на генетичния алгоритъм се състои от индивиди (решения) представляващи масив от цели числа. Всеки индивид кодира (на случаен принцип при инициализацията) поредица от стойности, избрани от дължините на прътите с производствена дължина. За да се гарантира валидност на първоначалните хромозоми, за всеки елемент се заделя отделен прът, като се следи елементът да е по-къс или равен от елемента за който е отделен. Теоретичната обосновка за генетичните алгоритми не предлага универсални стойности за размера на популацията и поради тази причина този параметър се определя емпирично, чрез експерименти. В настоящото изследване е избрана стойността 37, на база няколкократни опити.

Операцията за селекция е случайна, с елемент на състезателен принцип и допълнителни мерки за опазване на елита в популацията. Дадена е възможност на потребителя да избира размера на елита, като подразбиране стойността е 1% от общата популация.

Като операция за кръстосване е предложено равномерно случайно кръстосване (uniform crossover).

Операцията за мутация променя случайно избран прът в хромозомата, като го замества с дължина от списъка на възможните производствени дължини на прътите.

Тъй като е възможно кръстосването и мутацията да доведат до индивид, представляващ невалидно решение, то по време на оценката (evaluation) са взети допълнителни мерки за коригиране на индивида, така че той да представлява валидно решение на задачата.

Жизнеността (fitness) на новополучените индивиди се изчислява чрез прилагане на процедурата за рязане на пръти с лаком алгоритъм. Общата сума от остатъците на всички използвани пръти се присвоява като жизнена стойност на индивида. Колкото по-малка е тази сума, толкова по-добър е индивида, по-добро е решението, респективно.

Лакоми алгоритми

Жизнеността на индивидите в популацията на генетичния алгоритъм бива оценена с помощта на лаком алгоритъм за нарязване на прътите с производствена дължина.

Лакомите алгоритми са клас точни числени алгоритми, за търсене на оптимални решения при комбинаторни проблеми. За разлика от алгоритми като пълното изчерпване и динамичното програмиране, лакомите алгоритми не гарантират откриването на глобален оптимум, но гарантират субоптимални решения, близки до глобален оптимум.

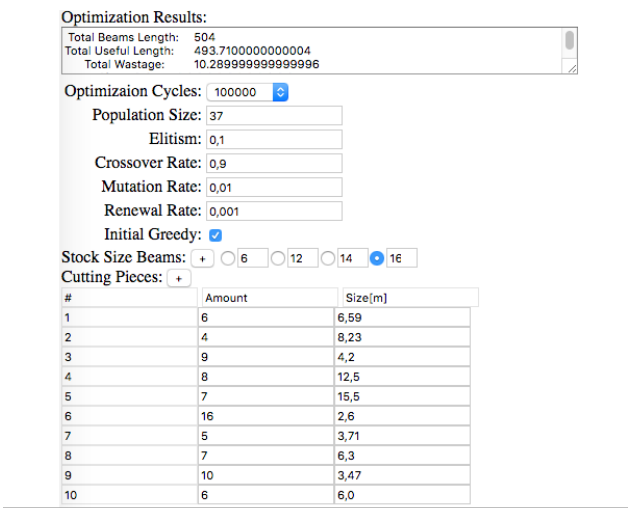
Виртуалното нарязване на прътите става по реда подаден от генетичния алгоритъм. Започва се с първия прът в подредбата на съответната хромозома. Всички елементи, които трябва да бъдат нарязани, се сортират в низходяща последователност, като на първо място се поставя най-дългият елемент. От все още ненарязаните елементи се избира най-дългото парче, което се вмества в текущо рязания прът. Парчето се вади от множеството на ненарязаните елементи, а текущо рязаният прът се намалява с дължината на парчето. Тази процедура се повтаря с първия прът, подаден от генетичния алгоритъм, докато в множеството на ненарязаните парчета има такива елементи, които да се вместват в пръта. Когато цялата дължина на пръта бъде изчерпана и вече няма парчета, от ненарязаните елементи, това е остатъкът от първия прът и той се записва в общата сума на остатъците.

След нарязване на първия прът от списъка в хромозомата се пристъпва към втория и така докато бъдат нарязани всички планирани парчета и бъдат използвани всички предвидени пръти.

В процеса на виртуалното рязане с лакомия алгоритъм са възможни две нежелани ситуации, в следствие на кръстосването и мутацията - наличие на ненужни пръти с производствена дължина и недостиг на пръти с производствена дължина. За първата ситуация, при наличие на излишни пръти, те просто се отстраняват от опашката на хромозомата и това служи за корекция на самото решение. При втората ситуация, на случаен принцип се добавят пръти с производствена дължина, докато не бъде нарязан и последният елемент. Добавянето на пръти в опашката на хромозомата модифицира решението, но това позволява то да бъде трансформирано във валидно решение.

ЕКСПЕРИМЕНТИ И РЕЗУЛТАТИ

Предложената комбинация от лаком и генетичен алгоритъм е приложена над серия индустриални примери, като практическата реализация на алгоритмите е на езика JavaScript, по задание.



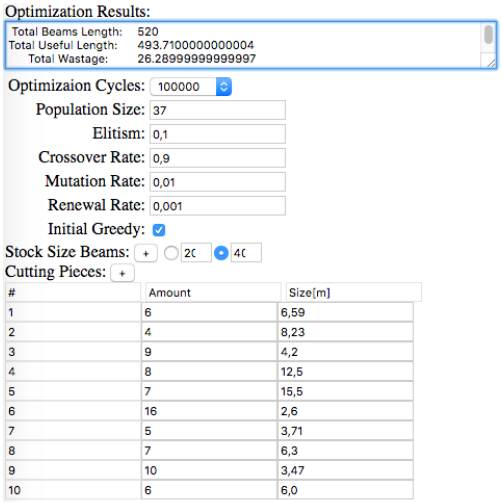
***Фиг. 2**. Първи пример*

При първия пример (Фиг. 2) са налични десет различни размера елементи и четири различни производствени дължини на прътите.

```
 Total Beams Length:       504
Total Useful Length:       493.7100000000004
      Total Wastage:       10.289999999999996
Beam Size: 16 Cuts: 2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6
Beam Size: 16 Cuts: 4.2,4.2,4.2,2.6
Beam Size: 16 Cuts: 6.59,6.59,2.6
Beam Size: 16 Cuts: 6.59,6.59,2.6
Beam Size: 16 Cuts: 6.59,6.59,2.6
Beam Size: 16 Cuts: 6.3,6.3,2.6
Beam Size: 16 Cuts: 6.3,6.3,2.6
Beam Size: 16 Cuts: 6.3,6.3,2.6
Beam Size: 16 Cuts: 6.3,6,3.47
Beam Size: 16 Cuts: 6,6,3.71
Beam Size: 16 Cuts: 12.5,3.47
Beam Size: 16 Cuts: 12.5,3.47
Beam Size: 16 Cuts: 12.5,3.47
Beam Size: 16 Cuts: 12.5,3.47
Beam Size: 16 Cuts: 12.5,3.47
Beam Size: 16 Cuts: 12.5,3.47
Beam Size: 16 Cuts: 12.5,3.47
Beam Size: 16 Cuts: 12.5,3.47
Beam Size: 16 Cuts: 15.5
Beam Size: 16 Cuts: 15.5
Beam Size: 16 Cuts: 15.5
Beam Size: 16 Cuts: 15.5
Beam Size: 16 Cuts: 15.5
Beam Size: 16 Cuts: 15.5
Beam Size: 16 Cuts: 15.5
Beam Size: 14 Cuts: 4.2,4.2,2.6,2.6
Beam Size: 12 Cuts: 4.2,4.2,3.47
Beam Size: 12 Cuts: 4.2,4.2,2.6
Beam Size: 12 Cuts: 8.23,3.71
Beam Size: 12 Cuts: 8.23,3.71
Beam Size: 12 Cuts: 8.23,3.71
Beam Size: 12 Cuts: 8.23,3.71
Beam Size: 6 Cuts: 6
Beam Size: 6 Cuts: 6
Beam Size: 6 Cuts: 6
```

***Листинг 1**. Резултати от нарязването в първи пример*

Листинг 1 демонстрира по какъв начин хибридният алгоритъм решава поставената задача.



***Фиг. 3**. Втори пример*

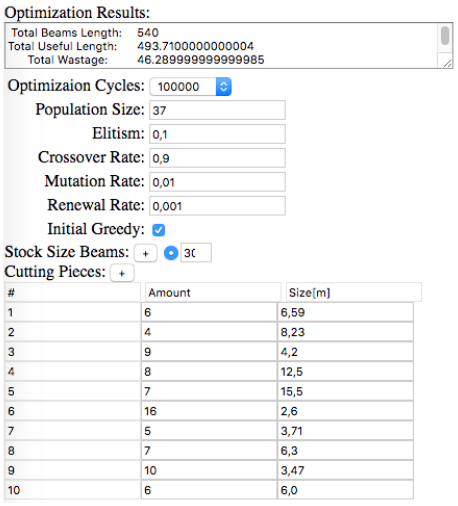
Във втория пример (Фиг. 3) са използвани пръти с две различни производствени дължини.

```
    Total Beams Length:       520
   Total Useful Length:       493.7100000000004
         Total Wastage:       26.28999999999997
   Beam               Size:              40              Cuts:
2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6
   Beam               Size:              40              Cuts:
4.2,4.2,4.2,4.2,4.2,3.71,3.71,3.71,3.47,3.47
   Beam Size: 40 Cuts: 8.23,8.23,6.59,6.59,6.59,3.71
   Beam Size: 40 Cuts: 6.59,6.3,6.3,6.3,6.3,6.3
   Beam Size: 40 Cuts: 15.5,15.5,8.23
   Beam Size: 40 Cuts: 15.5,15.5,8.23
   Beam Size: 40 Cuts: 12.5,12.5,12.5
   Beam Size: 40 Cuts: 12.5,12.5,12.5
   Beam Size: 20 Cuts: 3.47,3.47,3.47,3.47,3.47,2.6
   Beam Size: 20 Cuts: 3.47,3.47,3.47,2.6,2.6,2.6
   Beam Size: 20 Cuts: 6,6,4.2,3.71
   Beam Size: 20 Cuts: 6.3,6.3,6
   Beam Size: 20 Cuts: 6,6,6
   Beam Size: 20 Cuts: 15.5,4.2
   Beam Size: 20 Cuts: 15.5,4.2
   Beam Size: 20 Cuts: 15.5,4.2
   Beam Size: 20 Cuts: 12.5,6.59
   Beam Size: 20 Cuts: 12.5,6.59
```

***Листинг 2**. Резултати от нарязването във втори пример*

Листинг 2 показва разпределението на парчетата и как влияе наличието на пръти със значително по-голяма производствена дължина в сравнение с дължината на отделните елементи.

При третия пример (Фиг. 4) е зададен прът само с една производствена дължина. При ситуация, в която има само един прът със стандартизирана производствена дължина, популацията на генетичния алгоритъм се инициализира и с поне един индивид, който би дал оптимално решение след прилагане на лаком алгоритъм, дори и ако процедурата по оптимизация с генетичен



алгоритъм не бъде изпълнена.

***Фиг. 4**. Трети пример*

Съществено е да се отбележи, че при всичките примери изпълнението на хибридния алгоритъм отнема само няколко секунди.

```
    Total Beams Length:       540
   Total Useful Length:       493.7100000000004
         Total Wastage:       46.289999999999985
   Beam               Size:              30              Cuts:
2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6,2.6
   Beam               Size:              30              Cuts:
3.47,3.47,3.47,3.47,3.47,3.47,2.6,2.6,2.6
   Beam Size: 30 Cuts: 3.71,3.71,3.71,3.71,3.71,3.47,3.47,3.47
   Beam Size: 30 Cuts: 4.2,4.2,4.2,4.2,4.2,4.2,4.2
   Beam Size: 30 Cuts: 6.59,6.59,6.59,6.59,3.47
   Beam Size: 30 Cuts: 6.3,6.3,6.3,6.3,4.2
   Beam Size: 30 Cuts: 6.3,6.3,6.3,6,4.2
   Beam Size: 30 Cuts: 6,6,6,6,6
   Beam Size: 30 Cuts: 8.23,8.23,6.59,6.59
   Beam Size: 30 Cuts: 12.5,8.23,8.23
   Beam Size: 30 Cuts: 15.5,12.5
   Beam Size: 30 Cuts: 15.5,12.5
   Beam Size: 30 Cuts: 15.5,12.5
   Beam Size: 30 Cuts: 15.5,12.5
   Beam Size: 30 Cuts: 15.5,12.5
   Beam Size: 30 Cuts: 15.5,12.5
   Beam Size: 30 Cuts: 15.5,12.5
   Beam Size: 30 Cuts: 2.6,2.6
```

***Листинг 3**. Резултати от нарязването в трети пример*

Както е видно от Фиг. 2-4, генетичният алгоритъм се изпълнява със следните параметри:

Брой генерирани решения: 100000
Размер на популацията: 37
Размер на елита: 10%
Вероятност за кръстосване: 90%
Вероятност за мутация: 1%
Добавяне на случайност: 0.1%
Начално лакомо решение: Да

Изброените параметри са подбрани след множество експерименти. Тъй като уеб базираният JavaScript код позволява въвеждането на различни примери, с различен размер на елементите за нарязване и различен по брой или дължини производствени пръти, то вариации в параметрите за оптимизация с генетичния алгоритъм може да доведе до по-бърза сходимост на оптимизационния процес.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложената комбинация между лаком и генетичен алгоритъм е продиктувана от нуждите на индустриално уеб базирано софтуерно приложение, предназначено за извършване на едномерен разкрой. Извършените експерименти потвърждават полезността на предложения хибриден алгоритъм. Евентуално бъдещо развитие би могло да се търси в посока за подмяна на лакомия алгоритъм с динамично оптимиране. По отношение на генетичния алгоритъм могат да

се направят интересни изследвания, в посока той да бъде подменен с друга глобална оптимизационна евристика, каквато е колонията на мравките [1].

БЛАГОДАРНОСТИ

This work was supported by private funding of Velbazhd Software LLC.

REFERENCE

[1] Evtimov, G., Fidanova, S.: Ant Colony optimization algorithm for 1D Cutting Stock Problem. Proceedings of 11th Annual Meeting of the Bulgarian Section of SIAM, FASTUMPRINT, Sofia, Bulgaria, 24--25 (2016)

[2] Evtimov, G.: Project 2: Optimal cutting problem. STOBET Ltd., 120th European Study Group with Industry, Sofia, Bulgaria (2016)

[3] Dineva, K., Atanasova, T.: Computer System Using Internet of Things for Monitoring of Bee Hives, Vienna, SGEM.GeoConference, vol. 17, Issue 63, 169--176 (2017)

[4] Dineva, K., Atanasova, T.: Model of Modular IoT-based Bee-Keeping System, ESM'2017, Lisbon, EUROSIS-ETI, 404--406 (2017)

[5] Avdzhieva, A., Balabanov, T., Evtimov, G., Kirova, D., Kostadinov, H., Tsachev, Ts., Zhelezova, S., Zlateva N.: Optimal Cutting Problem. Problems & final reporst of 113-th European Study Group with Industry, FASTUMPRINT, Sofia, Bulgaria, 49--61 (2015)

[6] Tanir, D., Ugurlu, O., Guler, A., Nuriyev, U.: One-dimensional Cutting Stock Problem with Divisible Items, arXiv preprint, arXiv: 1606.01419 (2016)

РАЗРАБОТВАНЕ НА ПРОГРАМНИ ПРИЛОЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМИ ПРИ ОЦЕНЯВАНЕТО ИМ

Петър Халачев
Химикотехнологичен и металургичен университет – София, България

DEVELOPMENT OF SOFTWARE APPLICATIONS AND PROBLEMS IN THEIR EVALUATION

Petar Halachev
University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia, Bulgaria

Abstract

The assessment of the costs for design and development of software products is one of the most important stages in the process of their creation. This report explores the methods for evaluation of the software application and the amount of work to assess the labor and time required for its creation. The advantages and disadvantages of the presented models have been outlined and guidelines to improve the accuracy of the evaluation are given.

Keywords: evaluation, cost of labor, software applications, models

ВЪВЕДЕНИЕ

Оценяването на разходите при проектиране и разработване на програмни продукти е един от най-важните етапи в процеса на създаването им. От една страна определянето на по-ниска прогнозна стойност на разходите за трудови и материални ресурси, води до увеличаване на времето за разработване на програмния продукт и влошаване на качеството му. Определянето на по-висока предварителна стойност води до оскъпяване на програмния продукт, намалява ефективността и прави нецелесъобразно разработването му. В стандарта ISO12207, оценката на разходите е посочена като една от най-важните дейности при създаване на програмни продукти.

1.МЕТОДИ ЗА ОЦЕНЯВАНЕ НА ОБЕМА НА ПРОГРАМНОТО ПРИЛОЖЕНИЕ

Оценката на стойността на програмните продукти се съставя с цел определяне на ресурсите, необходими за проектирането, разработването, внедряването и по-нататъшното поддържане на програмното приложение. Общата стойност на проекта включва стойността на разработване на програмния продукт, стойността на съпътстващите и други видове разходи. Най-голям дял в общата стойност на продукта има стойността на разходите за труд, което изисква максимално точното им оценяване. При оценяване на разходите за труд при разработване на програмни приложения възникват проблеми, свързани с:

- избор на метрики за оценяване на обема на програмния продукт;
- избор на модел и метод за оценяване на разходите на труд;
- определяне на критерии за точността на оценката [1].

Преодоляването на посочените проблеми зависи от етапа на процеса на разработване на програмното приложение и изисква прилагането на разнообразни методи за оценяване на стойността. Разработването на програмни продукти преминава през следните етапи [2]:

1. Определяне и анализ на функционалните и програмни изисквания;
2. Определяне на етапите на разработката и отговорностите;

3. Оценяване на размера на програмния код;
4. Планиране на трудоемкостта на програмата;
5. Определяне на сроковете за изпълнение на проекта;
6. Изчисляване на стойността на проекта;
7. Оценка на рисковете при изпълнението на проекта;
8. Утвърждаване на сроковете, оценките и бюджета на проекта;
9. Сравнение на оценките с реалните показатели и определяне на степента им на точност.

Оценяването на обема на работите, необходими за изпълнение на проекта има важно значение при определяне на трудоемкостта. В практиката са известни различни методи за оценяване. Според Kan размера на изходния код на софтуера, обикновено се изразява в „реда код“ (Lines Of Code - LOC) [3].

При метода за оценяване *Lines Of Code,* обемът на работа се определя по количеството изходни редове код (с изключение на празните редове, коментари и специфични оператори), които съдържа програмния продукт. От гледна точка на мерната единица за обем съществуват:

Физически редове код, които са общият брой редове код в програмата;

Логически редове код, които са броя изпълними инструкции, от които се състои програмата.

Предимство на използването на *Line of Code*, като единица за обема на програмния продукт е бързото и лесно приложение, а недостатък е, че размера на проекта може да бъде определен само след завършването му. При използване на готови софтуерни компоненти (шаблони) приложението на *Line of Code* не е удачно, тъй като кода се създава автоматично. Оценяването при метода *Line of Code* зависи от програмния език и при него не се отчита качеството на кода (т.е. големия обем на кода не е показател за качеството му). В проекти, в които се използват повече от 1 програмен език оценяването на обема на кода също е затруднено. Така например при създаване на примерна програма за извеждане на съобщение „Hello world“ при код, написан на програмен език Assembler обемът е 11 реда, а при програмен език C++ броят на редовете е 3.

Код на Assembler:

```
.model tiny
.code
org 100h

main  proc

      mov    ah,9
      mov    dx,offset hello_message
      int    21h

      retn

hello_message db 'Hello, world!$'

main  endp
end   main
```

Код на C++:

```
#include <iostream.h>

void main() {
    cout<<"Hello, World!"<<endl;
}
```

Според Barry Boehm's [4] времето за разработване на даден програмен продукт може да бъде определено по следната формула:

$$T = k * (SLOC)^{(1+x)} \qquad (1)$$

където:

T – човеко-години за разработване на програмата;

k – може да бъде изведен при повече от 1 KLOC;

x – дроб от вида на 0.1 или 0.25

Според закона на Brooks (Brooks's law) „добавянето на повече хора към проекта, може да забави изпълнението му“ [5]. Увеличаването на времето за разработване на проекта се обяснява с 2 основни фактора:

Времето за обучение на новия служител и за приспособяването му към колектива (т.нар. „рампа на времето“) е загуба на време не само за новите, но и за работещите вече по проекта разработчици;

С увеличаване на броя на членовете в екипа на проекта се увеличава и времето за комуникация между тях. Според J. Taylor [6] броят на комуникационните канали се увеличава в по-голяма степен, отколкото

броя на разработчиците в проекта по следната формула:

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (2)$$

където: N – брой комуникационни канали;
n – брой разработчици

Производителността на разработчиците може да бъде оценена чрез следната формула:

$$ПП = \frac{LOC}{T} \quad (3)$$

където:
ПП – производителност на програмиста;
LOC – брой редове код;
T – време на работа на програмиста.

Единицата за определяне на обема на кода при метода *Line of Code* не отразява функционалните и качествени характеристики на кода. Ако разработчикът се стреми да оптимизира кода на приложението, като намали броя на редовете код (с цел поефективното поддържане на кода по време на експлоатацията му), производителността му като показател би намаляла. Времето изразходвано за оптимизиране на кода би намалило производителността още по-вече.

Function Point е въведен като алтернатива на *Line of Code* и е разработен от A. Albrecht [7] за компанията IBM през 70-те години на миналия век. От 1986 г. разработката продължава като International Function Point User Group (IFPUG), която представява практическо ръководство по приложението на *Function Point Counting Practices Manual* (FPCPM), което по-късно е официално признато като стандарт за оценяване на размера на кода на програмния продукт [8]. При метода *Function Points* обемът на работа по създаване на програмния продукт се определя по броя на функционалните елементи. Функционални елементи на програмния продукт са:

- екрани за въвеждане на информация;
- брой изходни справки (отчети, документи, екранни форми);
- заявки - двойка „въпрос/отговор“;
- логически файл (съвкупност от записи данни, използвани в приложенията);
- интерфейс приложения (записи данни, предавани към друго приложение или получавани от него).

При метода *Function Point* програмата се подразделя на класове компоненти според техния формат и тип на логическите операции, като в основата на това делене е предположението, че областта на взаимодействие на програмата се подразделя на вътрешно (взаимодействие на приложенията) и външно (взаимодействие с други приложения).

Резултатът от метода *Function Point* може да бъде коригиран с помощта на фактор за корекция на стойността Value Adjustment Factor (VAF) [9]. Коефициентът на корекция на стойността (VAF) се основава на 14 общи характеристики на системата (General system characteristics - GSC's), които оценяват общата функционалност на разработваните приложения и показват производителността, възможностите за разпределена обработка и повторно използване на кода. Степените на влияние обхващат скала от 0 до 5. Общите характеристики на модела включват:

1.Обмен на данни. Брой комуникационни средства за обмен на данни.

2. Разпределена обработка на данните. Възможност на програмата за работа в разпределена среда или с разпределени данни.

3. Изпълнение. Време за реакция или пропускателна способност, изисквана от потребителя.

4. Хардуерни ресурси. Степен на ефективно използване на хардуерните ресурси.

5. Транзакции. Честота на изпълнение на транзакциите (ежедневно, ежемесечно

6. Въведена информация On-Line. Обем информация, която се въвежда On-Line от оператора.

7. Ефективност на потребителя. Възможност за ефективна работа чрез потребителския интерфейс.

8. On-Line актуализация. Брой вътрешни логически файлове, актуализирани чрез On-Line транзакция.

9. Процес на обработка на данните. Вграден в приложението голям математически или логически апарат.

10. Многократно използване. Възможност за работа на приложението като софтуерен продукт за определена фирма или е предназначен за софтуерния пазар.

11. Лекота на инсталиране. Затруднено ли е инсталирането и прехода към нова версия.

12. Лекота на поддръжка. Степен на автоматизиране на процедурите по стартиране, спиране и архивиране.

13. Скалируемост на приложението. Възможност за приспособяване на приложението към размера и дейността на организацията.

14. Преходност на приложението. Възможност за лесна промяна на архитектурата и свойствата на приложението.

След отчитане на 14-те основни характеристики на системата се изчислява фактора за регулиране на стойността по формулата [9]:

$$VAF = 0.65 + \left[\left(\sum_{i=1}^{14} C_i \right) / 100 \right] \quad (4)$$

Където Ci – степен на влияние на i-тата характеристика от 14 GSC.

Приложението на *Function Points* притежава следните предимства:

-Точно определяне на размера на кода, като важен показател за производителността от гледна точка на вход/изход;

-Може да се използва както от технически специалисти, така и от неспециалисти, от потребители и клиенти.

-Чрез *Function Points* може да определи дали даден инструмент, език за разработка или среда за програмиране е по-производителна от друга.

Методът *Function Points* е в сътветствие с ISO 14143 - Functional size measurement.

Съществуват обаче програмни продукти, при които оценяването на обема на кода прилагането на метода *Function Points* е неефективно [11], например: управление на процесите в реално време; математически изчисления; симулации; системни приложения; инженерни приложения, тъй като те са характеризират с алгоритми с повишена сложност. За решаването на този проблем организацията Software Productivity Research (SPR) разработва методика за анализ на характерните точки (feature points - FP) [11]. При изчисляване на FP се оценява броя на алгоритмите в програмата и се модифицира степента на значимост (weighting values).

При оценяване на обема на програмния код се използва и метода PERT, който включва експертна оценка на 3 възможни размера на кода: възможно най-голям; възможно най-малък и най-вероятен. Методът PERT се използва успешно и за оценяване на стойността на отделни компоненти на програмния продукт.

2. ПРОБЛЕМИ ПРИ ОЦЕНЯВАНЕ НА СТОЙНОСТТА НА ПРОГРАМНИ ПРИЛОЖЕНИЯ

Методите за оценка на стойността на програмното осигуряване в зависимост от вида на оценката се подразделят на неалгоритмични и алгоритмични.

При неалгоритмичните методи се прилагат определени принципи, схеми и модели за оценяване и те включват: Price-to-win, оценка по Паркинсон, експертна оценка, оценка по аналогия. Алгоритмични методи са SLIM, COCOMO и др. и основа за определяне на стойността при тях е математически апарат.

Методът *Price-to-win* [4] се основава на принципа „клиентът винаги има право“ и независимо от прогнозираните разходи за разработване на даден проект в организацията, оценката се коригира в зависимост от желанието на потребителя на базата на договаряне. Недостатъци на метода са: планиране на недостатъчно количество ресурси за изпълнението на проекта, неспазване на сроковете, отказ от поръчката.

Според първия закон на *Паркинсон* „Работата се разраства до запълване на наличното време.“ При разработване на програмни проекти законът на Паркинсон може да бъде перифразиран „за да се повиши производителността на разработчиците е необходимо да бъде намалено времето за работа“ [4]. Недостатък на метода е, че при намаляване на времето за разработване би се намалило качеството на програмния продукт.

При *метода експертна оценка* се привличат специалисти, които на базата на опита си дават своите оценки за обема на работа и на основата на консенсус се взема решение. Прилага се в проекти с нови технологии, нови процеси или решаващи иновационни задачи [12].

Оценката по аналогия [13] е разновидност на експертната оценка, при която се използват данни за вече завършени програмни продукти.

Моделът *SLIM (Software Lifecycle Management)* се основава на анализа на Putman за продължителността на жизнения цикъл на програмния продукт, в който зависимостта между броя редове код, производителността, времето за разработване на проекта се определя по следната формула:

$$\frac{B^{1/3}.S}{P} = E^{1/3}.T^{4/3} \qquad (5)$$

където:

S - брой редове код - Putnam използва ESLOC (Effective Source Lines of Code).

B - скалиращ фактор и е функция на размера на проекта;

P - продуктивността на процеса на разработка в организацията;

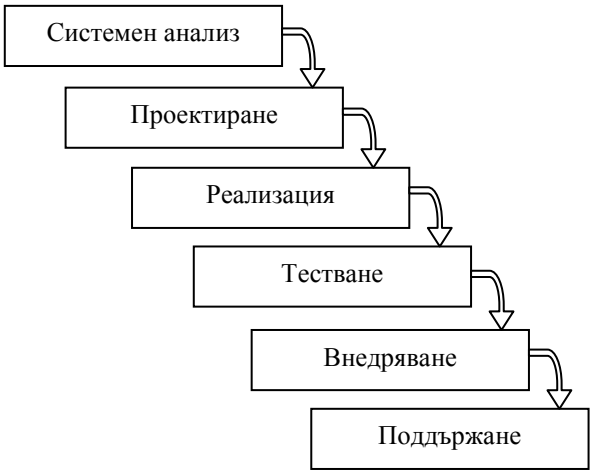
E - усилието вложено в проекта, и измерено в човекогодини;

T - времето за разработване на проекта (в години);

В изследване, проведено от PENGELLY се посочва, че SLIM не е приложим за оценяване на малки проекти. Според [14], [15], [16] SLIM е подходящ за оценяване на софтуерни проекти, които отговарят на следните критерии:

- S по-голям от 5000 реда;
- T по-дълъг от 1,5 години;

Моделът COCOMO (Constructive Cost Model) е статистически модел, разработен от Barry Boehm. Използвани са фактически данни за 63 програмни проекта, като за всеки проект са определени стойностите на 42 параметъра, характеризиращи програмния продукт и условията на работа. Чрез методите на статистическия анализ е получена аналитична зависимост на влиянието на 17 основни параметъра на показателите за разходи. Моделът COCOMO се основава на каскадния модел (Waterfall) за жизнен цикъл на продукта (Фигура 1), при който всички оценки на стойността и разходите за ресурси на етапите на програмния проект се отнасят към етапите на жизнения цикъл. Видовете и съдържанието на работите също се определят от каскадния модел, при който не се предвижда обратна връзка при изпълнението на етапите на разработване на приложението.



Фигура 1. *Каскаден модел на жизнения цикъл при разработване на програмно приложение*

Моделът COCOMO е йерархия от 3 модела в ред на нарастване на детайлността и точността им.

В COCOMO Model 1 (Basic) се изчисляват трудоемкостта и стойността на разработката като функция на размера на програмния продукт, който се изразява в оценъчни хиляди реда код (KLOC - *kilo lines of code*). При COCOMO Model 1, в зависимост от обема на работа и разработващия екип се разграничават 3 типа разработки:

- Organic mode – малки екипи разработчици с опит в работата със средно големи изисквания към разработката;
- Intermediate/Semi-detached mode – средни по големина екипи разработчици с различен опит в работата при разработки със средни изисквания;
- Intered/Embedded mode – разработки с високи изисквания към програмното, операционното и апаратното осигуряване.

Оценяването на трудоемкостта, срокът за изпълнение и необходимия брой разработчици в COCOMO Model 1 могат да бъдат изразени по следния начин [4]:

$$E = a_b(KLOC)^{Bb} \qquad (6)$$

$$T = c_b E^{Db} \qquad (7)$$

$$N = \frac{E}{T} \qquad (8)$$

където: E е трудоемкост на разработваното приложение в човекомесеци;

T - срок на изпълнението в месеци

N - брой разработчици.

Стойностите на коефициентите a_b, b_b, c_b и d_b са в зависимост от типа на проекта и са дадени в Таблица 1.

Таблица 1. Коефициенти на модела COCOMO 1 (Basic)

Тип на проекта	a_b	b_b	c_b	d_b
Organic mode	2.4	1.05	2.5	0.38
Intermediate/Semi-detached mode	3.0	1.12	2.5	0.35
Intered/Embedded mode	3.6	1.20	2.5	0.32

COCOMO Model 1 е подходящ за бърза оценка на стойността на разработката. При него обаче не се отчитат различията в програмните и апаратните ограничения, в качеството и опита на разработчиците, използването на съвременната техника и средства за разработка.

В COCOMO Model 2 (Intermediate) трудоемкостта на разработката се изчислява като функция от размера й и от 4 основни фактора, влияещи върху стойността, включващи субективна оценка на:

-Характеристики на продукта – изискана надежност, размер на базата данни и приложенията, сложност на продукта.

-Характеристики на проекта - използване на инструменти за разработване, прилагани методи за разработване на програмния продукт, спазване на графика за разработване.

-Характеристики на апаратното осигуряване – ограничение на бързодействието при изпълнение на програмата; ограничение на паметта; неустойчивост на обкръжението на виртуалната машина; изисквано време за възстановяване.

-Характеристики на персонала – аналитични способности; опит при разработки, при използване на виртуални машини и на езика за програмиране.

Общият брой на факторите е 15 с шестобален рейтинг, разграничени по степен на важност на фактора от „много нисък” до „много висок”

В COCOMO Model 3 (Advanced/Detailed) трудоемкостта на разработката се определя на всеки етап от процеса и включва всички характеристики от предишните модели.

Моделът COCOMO позволява да се оцени трудоемкостта, независимо от различните равнища на изисквания при създаване на програмни продукти. Лесен е за приложение. Основен недостатък е необходимостта от значителен обем информация за предишни разработки.

Повечето от представените модели се основават на обема на програмния код, което при съвременните технологии не напълно точно и адекватно отразява трудоемкостта при създаването на програмния продукт. Отсъстват показатели, необходими за отчитането на редица параметри, поради което направена на ранни етапи предполагаемата оценка може да е грешна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При оценяване на обема на програмния продукт и планиране на разходите за труд на разработчиците се наблюдават сложни взаимовръзки, както в първия етап на жизнения цикъл на разработването на проекта, така и на всеки следващ етап от създаването му. Процесът на оценката често е затруднен тъй като проекта трябва да удовлетворява взаимоизключващи се изисквания (конкурентна цена, високо качество, спазване на графика на работа, функционалност на приложението). Големият брой ограничения водят до усложняване на процеса на оценяване и намаляват точността на оценката. Тези проблеми биха могли да бъдат избегнати чрез спазването на някои изисквания като:

Оценяване на разходите на всеки етап от жизнения цикъл при разработване на програмното приложение;

Точно определяне на размера на работата, както от гледна точка на броя на редовете код, така и на функционалните точки чрез подходящи методи;

Използване на стандарта UML като унифициран език за описание на изискванията и структурата на програмното приложение;

Набиране и анализиране на максимално голям обем информация от разработване на предшестващи проекти;

Спазване на изискванията, както на разработчиците, така и на потребителите и др.

За точно и адекватно оценяване на трудоемкостта на процеса на проектиране и разработване на програмни продукти е необходимо разработване на такава методика, която да отчита комплексното влияние на всички взаимозависими фактори, ускоряващи или забавящи процеса на разработване.

ЛИТЕРАТУРА

[1]Rois W., Upravlenii preoktami po sozdamiiu programnova obespechenia, Moskva, LORI, 2002.

[2] Leung H., Zhang F., Software Cost Estimation :fttp://cs.pitt.edu/chang/handbook/42b.pdf, Retrieved 10.09.18.

[3] Kan St., Metrics and Models in Software Quality Engineering, 2nd Edition, Addison-Wesley Professional, 2003.

[4] Boehm B., Software Engineering Economics. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1981.

[5] Frederick P., Brooks Jr., The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering, Anniversary Edition 2nd Edition, Addison-Wesley, 1995.

[6] Taylor J., A Survival Guide for Project Managers, 2nd edition, AMACOM, 2006.

[7] Albrecht A., J. Gaffney, Software function, source lines of codes, and development effort prediction: a software science validation, IEEE Transactions on Software Engineering, 1983.

[8]ISO/IEC 20926:2003, Software engineering - IFPUG 4.1 Unadjusted functional size measurement method, Counting practices manual

[9] Longstreet D., Function Point Analysis Training Course, Longstreet Consulting Inc., 2004

[10] Rethinking and Restarting Software Development, Free Online book Introduction To Function Point Analysis, http://www.softwaremetrics.com/fpafund.htm, Retrieved 10.09.18.

[11] Fenton N., Pfleeger S., Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach 2nd edition, PWS, 1998.

[12] Coates J., Technological Forecasting and Social Change, Elsevier Science Inc., 1999

[13] Shepperd M., C. Schofield, Estimating software project effort using analogy, IEEE Trans Software Engineering, 1997.

[14] Londeix B., Cost Estimation for Software Development. Addison-Wesley: Workingham, 1987.

[15] Londeix B., Aspects of estimation practice in software development, in Proc. Software Engineering 88, ed. Pyle, IC, Liverpool: IEE/BCS, 1988.

[16] http://www.ecfc.u-net.com/cost/slim.htm, Retrieved 10.09.18

THE SECOND MEAN VALUE THEOREM FOR COMPLEX LINE INTEGRAL

Jelena Vujaković[1], Stefan Panić[1], Nataša Kontrec[1]
[1] *University of Priština, Faculty of Sciences and Mathematics*
Lole Ribara 29, Kosovska Mitrovica, Serbia
jelena.vujakovic@pr.ac.rs; stefan.panic@pr.ac.rs; natasa.kontrec@pr.ac.rs.

Abstract

In real iterations, several types of mean value theorems for definite integrals are used. In complex domain, we cannot specifically formulate the mean value theorem of a particular complex line integral $\int_L f(z)dz$ *, since we are unable to give an appropriate geometric interpretation of the integral over the surface below a curve* L *(from* z_0 *to* z_1*). Based on the mean value theorems for a complex line integral in [Vujakovic J., The mean value theorem of line complex integral and Sturm function. Applied Mathematical Sciences 2014; 8 (37): 1817-1827.], we got the idea to formulate the second mean value theorem in complex domain for the product of two analytic functions.*

Keywords: mean value theorem, analytic function, power series, iteration.

INTRODUCTION AND PRELIMINARIES

In real iteration several types of mean value theorems for definite integrals are used. We will mention only two.

Theorem 1. (The first mean value theorem [1]). Let $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ be a continuous function. Then there exists $\xi\in(a,b)$ such that

$$\int_a^b f(x)\,dx = f(\xi)(b-a). \tag{1}$$

Theorem 2. (The second mean value theorem [2]) If $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ is a continuous function on $[a,b]$ with $x\in(a,b)$, $m\le f(x)\le M$ and $g:[a,b]\to\mathbb{R}$ is an integrable function, then there exists ξ in (a,b) such that

$$\int_a^b f(x)g(x)\,dx = f(\xi)\int_a^b g(x)\,dx. \tag{2}$$

It is usual to use the term of mean values for complex integral and closed contours, according to which $f(z)$ is analytical or continuous while inside contour it can be discontinuous and even non-analytical [3] This was suggested by Cauchy's fundamental theorem

$$\oint_L f(z)\,dz = 0. \tag{3}$$

If z is interior point of contour L then Cauchy's integral formula is valid

$$f(z) = \frac{1}{2\pi i}\oint_L \frac{f(\xi)}{\xi - z}\,d\xi. \tag{4}$$

If $f(z)$ is analytical on L, then L can be replaced by the simplest closed contour, circle $K = K(z,R)$, so standard formula (4) is also valid for $L\equiv K$.

The mean value of function was obtained from (4), for $\xi = z + Re^{i\varphi}, 0\le\varphi\le 2\pi$, according to the following formula

$$f(z) = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(z+Re^{i\varphi})d\varphi. \tag{5}$$

However, in solving complex differential equations and for the needs of iterations, we could not use the formulas from (3) to (5). It was necessary to find a simple formula of mean value, as in a real case [4], where ξ is a certain kind of mean value between points z_0 and z, and $a(z)$ is an analytic function. In [5] we have shown that formula

$$\int_{L:z_0}^{z} a(z)dz = a(\xi)(z - z_0) \qquad (6)$$

where $a(z)$ is analytical function in area G, where is placed curve L on which integration is conducted, z and z_0 are initial and final limits of integral, ξ is certain point from G, does not have to be L but which satisfies certain standards of approximation, can be adopted as some kind of mean value for complex integral if integration path is open line L.

In the further work we need the following statements.

Theorem 3 ([5]). The integral of power function $a(z) = z^n, n \geq 0$, on Jordan curve L, inside the circle $|z| \leq R$ can be replaced by integral on the shortest path, that is, on direction Oz,

$$\int_{L:0}^{z} a(z)dz = a(\xi)z \qquad (7)$$

where

$$\xi = \frac{z}{\sqrt[n]{n+1}} \qquad (8)$$

is the midpoint on the path and

$$a(\xi) = a(\frac{z}{\sqrt[n]{n+1}}) = \frac{z^n}{n+1}. \qquad (9)$$

Formula (7) is the mean value formula for complex integral.

Theorem 4. [5] For arbitrary polynomial $P_n(z) = \sum_{k=0}^{n} a_k z^k$ applies formula (7), for mean value of integral, where ξ is certain mean value of z with module lesser than $|z| = R$ and which depends on z, that is on $P_n(z)$.

MAIN RESULTS

For the needs of iterations, for solving a complex differential equation, we found important to find the complex line integral on the open path

$$I = \int_{L:0}^{z} za(z)dz \qquad (10)$$

where $f(z) = a(z)$ and $g(z) = z$.

Based on the theorems 1 and 2, together with the theorems 3 and 4, we got the idea to formulate the second mean value theorem for complex line integrals of product of analytical functions $f(z)$ and $g(z)$.

Theorem 5. For integrals of the type (10), where $a(z)$ is the analytical function in the circle $|z| \leq R$, the formula of the mean integral value is valid

$$\int_{L:0}^{z} za(z)dz = z^2 a(\xi) \qquad (11)$$

where ξ is the interior point of the circle $|\xi| < |z| = R$.

Proof. For simplicity, let analytical function $f(z) = a(z)$ be given by power series

$$a(z) = \sum_{k=0}^{+\infty} a_k z^k = a_0 + a_1 z + \cdots + a_k z^k + \cdots \quad . (12)$$

Since

$$za(z) = \sum_{k=0}^{+\infty} a_k z^{k+1}$$
$$= a_0 z + a_1 z^2 + a_2 z^3 + \cdots + a_k z^{k+1} + \cdots,$$

for the sake of analyticity, this series can be integrated term by term. Hence, we obtain series $z^2 \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{a_k}{k+2} z^k$.

On the other hand, using the mean value Theorem 3, that is formula (7), we obtain equality

$$z^2 \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{a_k}{k+2} z^k = z^2 \sum_{k=0}^{+\infty} a_k \xi^k \quad . \qquad (13)$$

Now, we try to find the relationship between the mean value ξ and the argument z, for each coefficient a_k. From equality (13)

$$z^2 \left[\frac{a_0}{2} + \frac{a_1 z}{3} + \frac{a_2 z^2}{4} + \cdots + \frac{a_k z^k}{k+2} + \cdots \right] =$$
$$= z^2 \left[a_0 + a_1 \xi + a_2 \xi^2 + \cdots + a_k \xi^k + \cdots \right]$$

follows

$$\frac{a_0}{2} = a_0, \frac{a_1 z}{3} = a_1 \xi, \frac{a_2 z^2}{4} = a_2 \xi^2, \ldots, \frac{a_k z^k}{k+2} = a_k \xi^k,$$

that is $a_0 = 0, \xi = \frac{z}{3} = \frac{z}{2} = \cdots = \frac{z}{\sqrt[k]{k+2}}$.

Since this is contradictory, we must observe the sums of analytic series $\sum_{k=0}^{+\infty}\frac{a_k}{k+2}z^k$ and $\sum_{k=0}^{+\infty}a_k\xi^k$. If we evaluate these series, we see that the coefficients of the modular series $\sum_{k=0}^{+\infty}\frac{|a_k|}{k+2}|z^k|$ are smaller than the coefficient of series $\sum_{k=0}^{+\infty}|a_k||\xi^k|$. The same can be expected for the sum, because the coefficients a_k directly affect the radius of convergence.

In order to maintain the equality of the modules of n th partial sums, as in the proof of Theorem 4, we conclude that between ξ and z there is a connection $|z|>|\xi|$, which was to be proven. ■

Theorem 6. The mean value for integral $\int_{L:0}^{z} z^k a(z)dz, k\in\square$, where $a(z)$ is the analytical function in the circle $|z|\le R$, ($|\xi|\le R$) is given by

$$\int_{L:0}^{z} z^k a(z)dz = z^{k+1}a(\xi). \tag{14}$$

Proof. From the development of analytical function $a(z)$ in power series (12) we have

$$\int_{L:0}^{z} z^k a(z)dz =$$

$$= z^{k+1}\left[\frac{a_0}{k+1}+\frac{a_1 z}{k+2}+\frac{a_2 z^2}{k+3}+\cdots+\frac{a_n z^n}{k+n+1}+\cdots\right]$$

$$\overset{(7)}{=} z^{k+1}\sum_{n=0}^{+\infty}a_n\xi^n .$$

Dividing by $z^{k+1}\neq 0$ and equating multipliers with a_k, we have $a_0=0$, and

$$\xi=\frac{z}{k+2}=\frac{z}{\sqrt{k+3}}=\ldots=\frac{z}{\sqrt[n]{k+n+1}}.$$

Since this is contradictory, by repeating the procedure as in the proof of Theorem 5, we conclude that formula (14) is valid for $|\xi|<|z|=R$. ■

Note that the last property also applies to multimorphic analytical functions $\sqrt{z},\sqrt[n]{z}$, $\ln z, \mathrm{Artanh} z$ ... which are to a certain extent unambiguous because the mean values are inside the circle $|\xi|<|z|=R$.

For iterations it is also important to find a formula for the integral $\int_{L:0}^{z} f(z)g(z)dz$, of the product of two analytical functions. Assume that $a(z)=f(z)g(z)$. Then, according to formula (7), we have

$$\int_{L:0}^{z} f(z)g(z)dz = f(\xi)g(\xi)z, \tag{15}$$

for $|\xi|<|z|=R$.

However, if part of the integral in formula (15) is solved, for example integral $\int_{L} g(z)dz$, then we need some kind of Second mean value theorem for a complex integral.

Theorem 7 (The second mean value theorem for a complex integral) For an integral of the product of two analytical functions $f(z)$ and $g(z)$, along the open path L which connects points $z_0=0$ and z and which is contained in the circle of radius $|z|\le R$ valid formula

$$\int_{L:0}^{z} f(z)g(z)dz = f(\xi)\int_{L:0}^{z_1} g(z)dz = \\ = g(\xi)\int_{L:0}^{z_2} f(z)dz, \tag{16}$$

where the modules $|\xi|,|z_1|,|z_2|$ are inside the circle $|z|\le R$.

Proof. If in (15) we perform a grouping in the following way

$$\int_{L:0}^{z} f(z)g(z)dz = f(\xi)\big(g(\xi)\cdot z\big), |\xi|<|z|$$

in brackets, we again have the case from Theorem 3, but with some ξ which is different from z. Without loss of generality, we can assume that $f(z)=1$. Then

$$g(\xi)z=\int_{L:0}^{z_1} g(z)\,dz,|\xi|<|z_1|,$$

so

$$\int_{L:0}^{z} f(z)g(z)\,dz=f(\xi)\int_{L:0}^{z_1} g(z)\,dz$$

where $|\xi|,|z_1|<|z|=R$. Analogously, if in (15) we make a grouping

$$\int_{L:0}^{z} f(z)g(z)\,dz=g(\xi)\big(f(\xi)z\big),|\xi|<|z|$$

we again have in brackets structure of the mean value for integral, but now to some point z_2 for which also applies

$$\int_{L:0}^{z} f(z)g(z)\,dz=g(\varsigma)\int_{L:0}^{z_2} f(z)\,dz,$$

where $|z_2|<|z|=R$. ■

Note that the same is true for multiple products

$$\int_{0}^{z} f(z)g(z)h(z)\,dz=f(\xi)g(\xi)h(\xi)z=$$

$$=f(\xi)\int_{0}^{z_1} g(z)h(z)\,dz=$$

$$=f(\xi)g(\mu)\int_{0}^{z_2} h(z)\,dz=$$

$$=f(\xi)g(\mu)h(\eta)z_2=\ldots$$

where all intermediates $\xi,\mu,\eta,z_1,z_2\ldots$ per module are less than $|z|\le R$.

CONCLUSION

When we solve the integrals used in iterations, using the above theorems, we can calculate successive double integrals.

- For a constant $a(\xi)$ we have

$$\int_{L:0}^{z}\int_{L:0}^{z} a(z)\,dz^2=\int_{L:0}^{z}\left(\int_{L:0}^{z} a(z)\,dz\right)dz=$$

$$=\int_{L:0}^{z} a(\xi)z\,dz=a(\xi)\frac{z^2}{2},$$

$|\xi|<|z|\le R$.

- Based on the previous case, we have

$$\int_{L:0}^{z}\int_{L:0}^{z} a(z)\,dz^2\int_{L:0}^{z}\int_{L:0}^{z} a(z)\,dz^2=$$

$$=\int_{L:0}^{z}\int_{L:0}^{z} a(z)a(\xi)\frac{z^2}{2!}\,dz^2.$$

If we do not change the upper limit z of integral, then ξ is constant, $a(\xi)$ is also constant and according to the second mean value theorem, for $|\xi|,|\mu|<|z|\le R$ we get

$$\int_{L:0}^{z}\int_{L:0}^{z} a(z)a(\xi)\frac{z^2}{2!}\,dz^2=$$

$$=a(\xi)\int_{L:0}^{z}\int_{L:0}^{z} a(z)\frac{z^2}{2!}\,dz^2$$

$$=a(\xi)a(\mu)\int_{L:0}^{z}\int_{L:0}^{z}\frac{z^2}{2!}\,dz^2$$

$$=a(\xi)a(\mu)\frac{z^4}{4!}.$$

In this way, the double integrals in the iterations are treated as in the real region, only that the arguments of the mean values are not on the segment $[0,x]$, but are in some circle $|z|\le R$.

REFERENCE

[1] Rudin W. Principles of Mathematical Analysis Third Edition, Mc Graw-Hill, International Edition, Singapure, 1976.

[2] Hui-Ru C., Chan-Juan S. Generalizations of the Second Mean Value Theorem for Integrals. Electronics and Signal Processing. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 97. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.

[3] Rudin W. Real and Complex Analysis, Third Edition, Mc Graw-Hill, International Edition, Singapure, 1987.

[4] Dimitrovski D, Mijatović M. A series- Iteration Method in the Theory of Ordinary Differential Equations. Florida: Hadronic Press, 1998.

[5] Vujaković J. The mean value theorem of line complex integral and Sturm function. Applied Mathematical Sciences 2014; 8(37): 1817-1827.

MLP СЪС СТОХАСТИЧНО МАНИПУЛИРАН СКРИТ СЛОЙ

Тодор Балабанов[1], Румен Кетипов[1], Зорница Атанасова[1]
[1] Институт по информационни и комуникационни технологии
Българска академия на науките
ул. „акад. Георги Бончев“, блок 2, кабинет 514, град София 1113, България
todorb@iinf.bas.bg
http://www.iict.bas.bg/

MLP WITH STOCHASTIC MANIPULATED HIDDEN LAYER

Todor Balabanov[1], Rumen Ketipov[1], Zornitsa Atanassova[1]
[1] Institute of Information and Communication Technologies
Bulgarian Academy of Sciences
acad. Georgi Bonchev Str, block 2, office 514, 1113 Sofia, Bulgaria
todorb@iinf.bas.bg
http://www.iict.bas.bg/

Abstract

Artificial neural networks are very popular in many areas for different problems solving. There are many different types of artificial neural networks, but one of the most popular is the multilayer perceptron. Invention of the multilayer perceptron was a keystone in the artificial neural networks evolution. It was used to prove that learning of XOR function is possible with adding layers and extending the idea of the regular perceptron. This research proposes training speed up of a regular multilayer perceptron by stochastic switching of some weights between the input and the hidden layer. All experiments are done with 2-10-1 topology of multilayer perceptron, which is used to learn the XOR function. The results of the experiments clearly show that the proposed stochastic modification speeds up the training.

Keywords: artificial neural networks, backpropagation, machine learning.

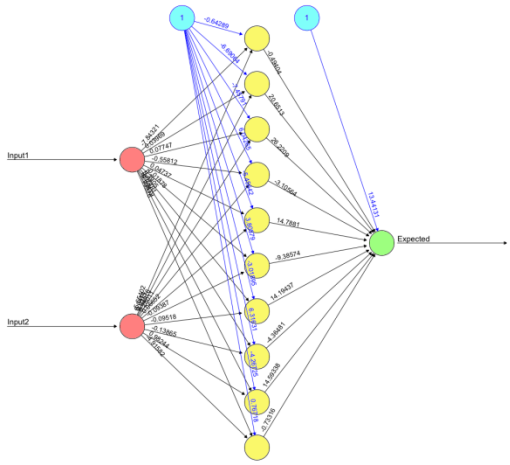
ВЪВЕДЕНИЕ

Изкуствените невронни мрежи са добре познат инструмент от областта на изкуствения интелект. Най-честата им употреба е в задачи за класификация или в задачи за прогнозиране [1,2]. Съществуват множество видове невронни мрежи [3], като най-популярният сред тях е многослойния перцептрон. Класическият перцептрон се оказва неприложим за обучение на изкуствени невронни мрежи, които трябва да работят с линейно неразделими множества (например функцията XOR). Тази трудност води до леко забавяне в развитието на изкуствените невронни мрежи, докато не бива предложен многослойният перцептрон, който успешно решава проблемите с линейната неразделимост. Най-често използваният подход за обучение на многослоен перцептрон е точния числен метод с обратно разпространение на грешката [4]. Точните числени методи най-често са градиентни и това налага определени ограничения към вида на активационната функция [5]. Някои от ограниченията на точните числени методи биват преодолявани с помощта на глобални еволюционни евристики, каквато е еволюция на разликите (Differential Evolution) [6]. Из-

ползването на евристики за глобална оптимизация дава и допълнителна възможност изкуствените невронни мрежи да се обучават в разпределена среда на множество изчислителни машини [7,8].

ФОРМУЛИРАНЕ НА ЗАДАЧАТА

Многослойният перцептрон се състои от неврони (възли на граф) и връзки (ребра в графа с тегла). Невроните са организирани в слоеве, като всеки неврон е свързан, чрез тегловна връзка с всеки неврон от следващия слой (Фиг.1). Информацията постъпва от външната среда във входния слой, предава се през вътрешния (може да е повече от един) слой и напуска невронната мрежа през изходния слой. Освен входни, изходни и обикновени неврони, в многослойния перцептрон се обособява по един допълнителен отместващ неврон (bias), който винаги емитира единична стойност и към него няма входни ребра.



Фиг. 1 *Трислойна мрежа*

Като най-разпространен и един от най-ефективните алгоритми за обучение на изкуствени невронни мрежи, обратното разпространение на грешката, има за основна задача да изчисли такива стойности за теглата в мрежата, че мрежата успешно да научи функционалната зависимост между входните и изходните данни. Обратното разпространение на грешката е точен градиентен оптимизационен метод. Състои се от две основни фази – пас в права посока и пас в обратна посока. При изчислението в права посока, сигналите се предават от входа на мрежата към изхода . На изхо мрежата се определя грешката, допусната при паса в права посока. На база изчислената грешка, следва пасът в обратна посока, при който грешката се разпространява обратно по слоевете. Благодарение на това обратно разпространение се изчислява частичната грешка, допусната от всеки неврон. С така изчислената частична грешка се взема решение с каква разлика да бъдат коригирани теглата, свързващи неврона с невроните от предходния слой.

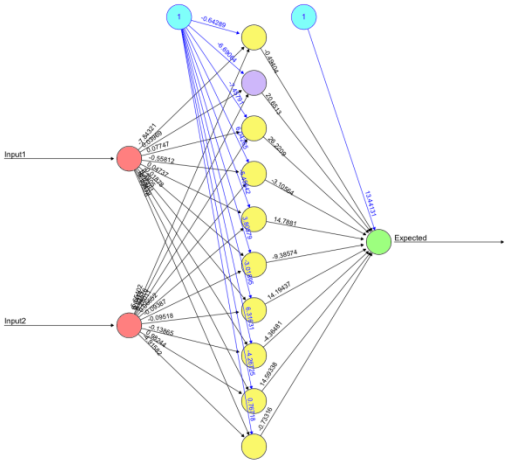
Основната задача при обучението на изкуствени невронни мрежи, по метода с обратно разпространение на грешката, е достигане до такива стойности на теглата в мрежата, че мрежата да допуска минимална обща грешка, когато се подават тренировъчните и проверочните примери. Основен стремеж на учените, работещи в областта на изкуствените невронни мрежи, е да търся алгоритми, подходи и методи за максимално ускоряване на процеса по обучението на изкуствените невронни мрежи.

МНОГОСЛОЕН ПЕРЦЕРПТРОН СЪС СТОХАСТИЧНО МАНИПУЛИРАН СКРИТ СЛОЙ

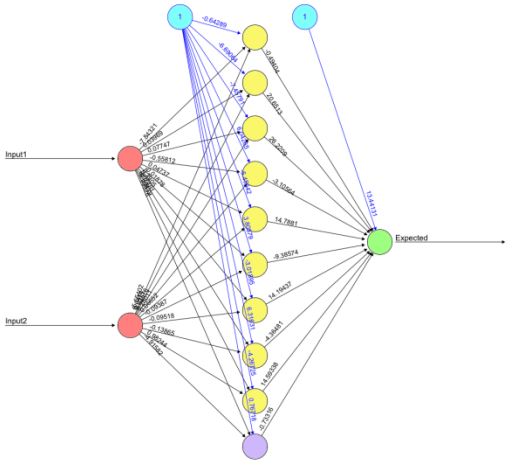
Стъпвайки на изследванията и резултатите публикувани от Занкински [9], настоящото изследване надгражда идеята с модификация на алгоритъма за обратно разпространение на грешката. Модификацията се състои в изключването на случайно избран неврон при корекцията на теглата (Фиг. 2-4), по време на обратния пас в алгоритъма за обратно разпространение на грешката.

При корекцията на теглата невронът, който е избран по случаен принцип не участва в обратния пас. Това позволява част от теглата в мрежата да останат непроменени до изпълнението на обратния пас от следващата епоха.

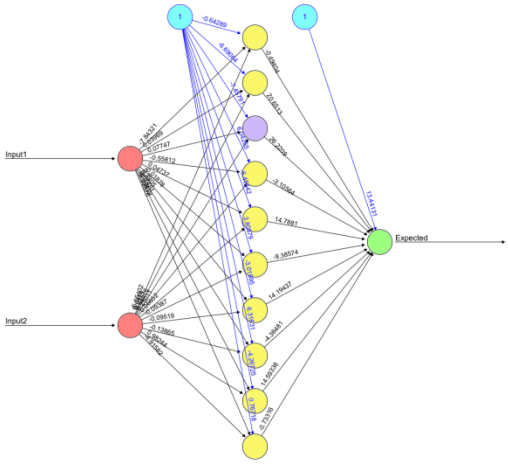
Съществено е да се отбележи, че всички неврони участват в правия пас и формират изходните сигнали на мрежата, дори случайно избраният, който не участва при обратното разпространение.



Фиг. 2 *Първа епоха на обучение*



Фиг. 3 *Втора епоха на обучение*

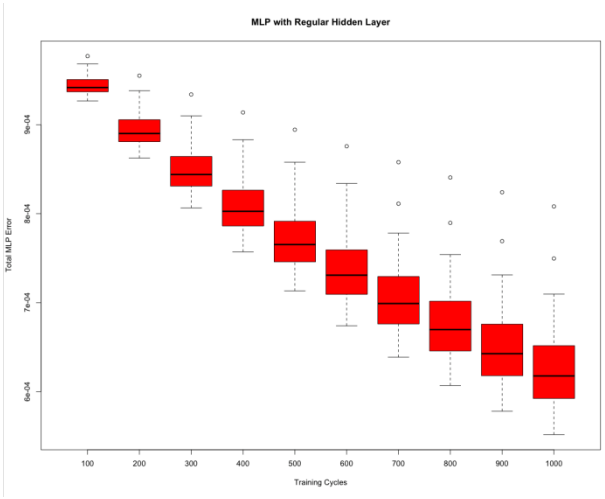


Фиг. 4 *Трета епоха на обучение*

В основата на това предложение стои факта, че в реалните нервни системи, част от нервните клетки умират или биват претоварени със сигнали.

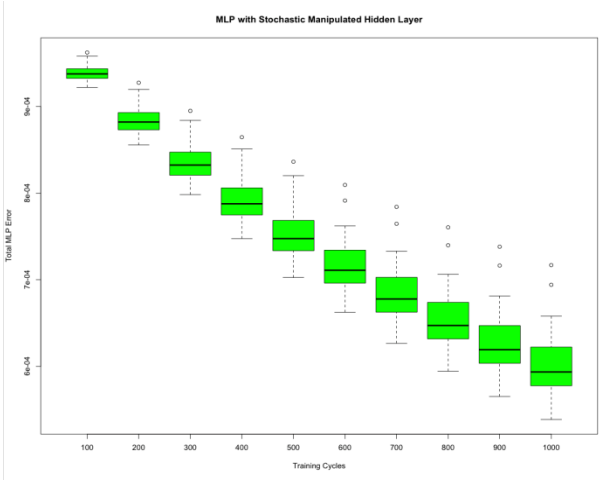
ЕКСПЕРИМЕНТИ И РЕЗУЛТАТИ

Всички проведени експерименти са достъпни под формата на програмен код с лиценз за свободно разпространение [9]. Експериментите са реализирани с програмния език Java, като за основа е използван съществуващ вече проект за работа с многослоен перцептрон.

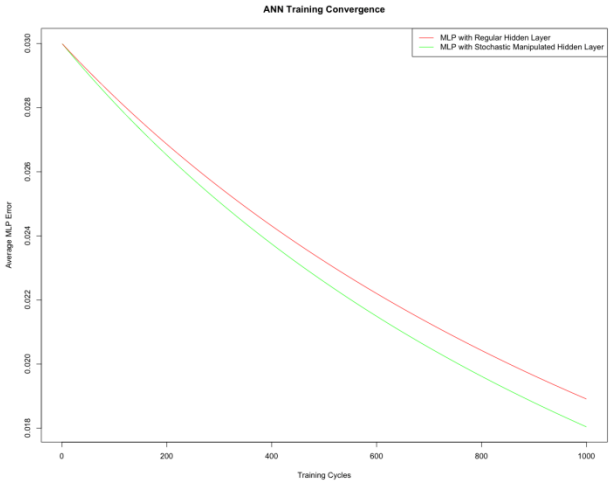


Фиг. 5 *Сходимост при обучението на трислойна мрежа*

Изследването е проведено с трислойна мрежа, чиято топология е от тип 2-10-1. Задачата на мрежата е да научи функцията XOR, по зададени входно-изходни примери. Сравняват се две мрежи – класическа трислойна и трислойна с манипулиран скрит слой.



Фиг. 6 *Сходимост при обучението на трислойна мрежа с манипулиран скрит слой*



***Фиг. 7** Средна стойност на допусната грешка от двата типа мрежи*

Обучението с обратно разпространение на грешката е извършено за 1000 епохи, като измервания са направени на всеки 100 (Фиг. 5-6). Двете графики показват boxplot диаграми на резултатите от 30 независими стартирания на алгоритъма за обучение. Всяка кутия от двете графики показва грешката допускана от мрежата. На диаграмите са представени медианата и квартилите. На Фиг. 6 ясно се вижда, че трислойната мрежа със стохастично манипулиран скрит слой има много по малко разсейване в процеса на обучението.

На Фиг. 7 е представена графика на усреднените стойности (от 30 независими изпълнения) за общата грешка, която двата вида мрежи допускат. При тази графика измерване е направено на всяка епоха от обучението. Графиката ясно показва, че мрежата със стохастично манипулиран скрит слой допуска по-малка обща грешка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените експерименти ясно се вижда, че процесът по обучение на многослоен перцептрон схожда по-бързо, когато бъде приложена стохастична манипулация на невроните в скрития слой. Като бъдещо развитие на изследването е интересно да се проучи възможността за сходна манипулация в изходния слой. Също така, предложената стохастична манипулация е интересно да се изследва при евристични алгоритми за обучение и при обучение на невронни мрежи в разпределена среда.

БЛАГОДАРНОСТИ

This work was supported by private funding of Velbazhd Software LLC.

REFERENCE

[1] Atanasova, T., Barova, M., Balabanov, T.: Use of neural patterns to analyze time lines in large amounts of data. Publishing complex Vasil Levski, 193--198, ISSN:1314-1937, (2016)

[2] Tomov, P., Monov, V., Artificial Neural Networks and Differential Evolution Used for Time Series Forecasting in Distributed Environment, Proceedings of International conference Automatics and Informatics, ISSN 1313-1850, 129--132, Sofia, Bulgaria, (2016)

[3] Tashev, T., Hristov, H., Modeling of synthesis of information processes with generalized nets. In: Drinov, M. (ed.) Cybernetics and Information Technologies, vol. 2, Academic Publishing House, Sofia, 92–104, (2003)

[4] Zankinski, I., Tomov, P., Balabanov, T., Alternative Activation Function Derivative in Artificial Neural Networks, Proceedings of XXV International Symposium Management of Energy, Industrial and Environmental Systems, ISSN 1313-2237, Bankya, Bulgaria, 79--81, (2017)

[5] Balabanov, T., Avoiding Local Optimums in Distributed Population based Heuristic Algorithms (in Bulgarian), Proceedings of XXIII International Symposium Management of energy, industrial and environmental systems, John Atanasoff Union of Automation and Informatics, Sofia, Bulgaria, 83–86, (2015)

[6] Balabanov, T., Zankinski, I., Dobrinkova, D., Time Series Prediction by Artificial Neural Networks and Differential Evolution in Distributed Environment, International Conference on Large-Scale Scientific Computing, Sozopol, Bulgaria, Lecture Notes in Computer Science, vol. 7116, no. 1, 198–205, (2011)

[7] Balabanov, T., Zankinski, I., Barova, M., Strategy for Individuals Distribution by Incident Nodes Participation in Star Topology of Distributed Evolutionary Algorithms, Cybernetics and Information Technologies, Sofia, Bulgaria, vol. 16, no. 1, 80–88, (2016)

[8] Keremedchiev, D., Barova, M., Tomov, P., Mobile application as distributed computing system for artificial neural networks training used in perfect information games, Proceedings of 16th International scientific conference UNITECH16, Gabrovo, Bulgaria, vol. 2, 389--393, (2016)
[9] Zankinski, I., Stoilov, T., Effect of the Neuron Permutation Problem on Training Artificial Neural Networks with Genetic Algorithms in Distributed Computing, Proceedings of XXIV International Symposium Management of Energy, Industrial and Environmental Systems, ISSN 1313-2237, Bankya, Bulgaria, 53--55, (2016)
[10] Balabanov, T., Multi Layer Perceptron implemented in Java, https://github.com/Coding-Sunday-Sofia/multi-layer-perceptron , (2018)

НАПРАВЛЕНИЕ 10

МЕХАТРОНИКА, МЕТРОЛОГИЯ И УПРАВЛЕНИЕ НА КАЧЕСТВОТО

SESSION 10

MECHATRONICS, METROLOGY AND QUALITY MANAGEMENT

ОПТИМИЗИРАНЕ НА ЕЛАСТИЧНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА ПРЕЖДА В СЪСТАВ 100% ПАН ПРОИЗВЕДЕНА НА ПРЕДАЧНА МАШИНА ПСК-225

Борислав Цонев Стоянов[1], Красимир Илиев Друмев[1], Добрин Ненчев Генов[1]
[1] Технически университет – Габрово, катедра „ИДТТ“

OPTIMIZE THE ELASTICITY OF 100% ACRYLIC YARN WORKED ON PSK-225 SPINNING MACHINE

Borislav Tzonev Stoyanov[1], Krasimir Iliev Drumev[1], Dobrin Nenchev Genov[1]
[1] Technical university of Gabrovo, department "IDTE"

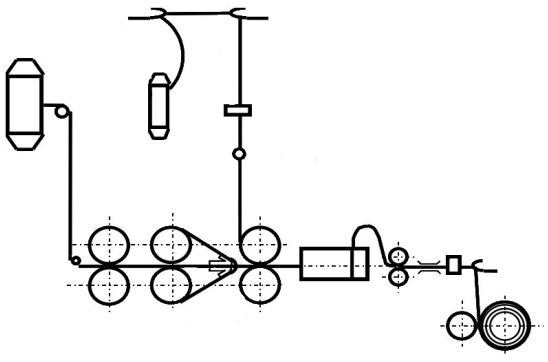
Abstract
In this paper the influence of the pressure in the spinning and coupling chamber upon elongation of produced on machine PSK-225 acrylic yarn are investigated. All another known factors are fixed on constant level during prepared examinations. Through the planned experiment is determined the effect of the pressure in the spinning and coupling chamber on the elongation of the yarn. The regression equation for studied parameter is worked out.

Keywords: quality indicators of yarn; optimization; spinning.

ВЪВЕДЕНИЕ

В направената литературна справка [1, 2, 3] не са открити данни за технологични изследвания свързани с оптимизиране на качествения показател разтегливост на прежди произведени по метода на самоусукване. Технически съществуват две области на изпълнение на метода със самоусукване за получаване на прежди. Първата област е използване на механични устройства за усукване вложени в предачни машини за самоусукване „Repco“ [3, 4]. Втората се основава на използването на усукващи аеродинамични устройства [1]. Тази област се осъществява чрез предачна машина със самоусукване ПСК-225. Предачната машина е проектирана да преработва вълнени или в смес с химични влакна материали [1]. На фиг. 1 е показана принципната схема на работа на машина ПСК-225. Конструктиво машината се състои от гатер за бобини, изтеглителен апарат с механизъм за самоусукване и навиващ апарат.

Цел на настоящата разработка е изследване влиянието на факторите въздушно налягане в предачната и съединителната камери на машина ПСК-225 върху разтегливостта на получената прежда в състав 100% ПАН, с линейна плътност 32x2tex. В изследването не е взета под внимание честотата на въртене на въздушния разпределител. За целта е установена оптимална стойност от 600 min^{-1}, според направени предварителни изследвания. За изпълнение на целта се използват методите на регресионния анализ [5, 6].



***Фиг. 1**. Принципна схема на работа на машина ПСК-225*

ИЗЛОЖЕНИЕ

Избор на параметри, фактори и факторно пространство. Тъй като целта на изследването е оптимизационна, за изходен параметър на експеримента е избран качествен показател, който технолога подбира във връзка с последваща обработка на преждата:

y_ε - еластичност на преждата ε, %.

Изборът на входните фактори и факторното пространство е извършен въз основа на значимостта им, базирайки се на литературни анализи [1, 2, 3, 8] и мнението на експерти в съответната област. Това са:

X_1 - налягане в съединителната камера, bar;

X_2 - налягане в предачната камера, bar;

Натуралните и кодираните стойности на съответните фактори при различните нива са представени в табл. 1.

Табл. 1. *Граница на вариране на факторите в зависимост от технологичните възможности на машината*

Стойност на фактора	X_1, **p_1, bar**	X_2, **p_2, bar**	x_i **код.ст-ст**
X_{oi}	1.1	1.55	0
$X_{oi}+J_i$	1.7	2.2	+1
$X_{oi}-J_i$	0.5	0.9	-1
J_i	0.6	0.65	-
$X_{oi}+\alpha J_i$	2	2.49	+1.41
$X_{oi}-\alpha J_i$	0.2	0.6	-1.41

Проведен е ротатабелен централно-композиционен експеримент [5, 6, 7, 8]. Експериментите се провеждат според изчислителната матрица от табл.2 където са записани и получените резултати. Експерименталната средна стойност се постига чрез усредняване на три последователни опита. Търси се математичен модел във вид на линеен полином от втора степен:

$$y_\varepsilon = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \\ + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 \qquad (1)$$

Означенията и последователността при обработване на резултатите от експеримента са подробно представени в специализираната литература [5, 6].

Изчислени са регресионните коефициенти и е направена проверка на значимост на коефициентите на регресия по критерия на Стюдент - табл. 3. При проверката се установява че получените коефициенти са значими.

Табл. 3. *Изчислени коефициенти на регресия*

b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}
5.64	-2.73	0.99	1.85	0.40	-0.28

Табл. 2. *Изчислителна матрица на експеримента*

№	**Фактори**			**Факторни взаимодействия**			**Експер. средна стойност**	**Дисперсия**	**Изчисл. стойност**
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	x_1^2	x_2^2	$\overline{y_\varepsilon}$	$S_\varepsilon^2\{y\}$	$\hat{y}_\varepsilon$
1	+	+	+	+	+	+	5.61	1.33	5.86
2	+	+	-	-	+	+	1.13	0.83	0.18
3	+	-	+	-	+	+	9.13	1.60	7.62
4	+	-	-	+	+	+	12.04	1.44	9.34
5	+	+1.41	0	0	2	0	2.49	1.09	2.58
6	+	-1.41	0	0	2	0	7.74	1.65	10.28
7	+	0	+1.41	0	0	2	6.01	1.39	6.47
8	+	0	-1.41	0	0	2	1.50	0.48	3.68
9	+	0	0	0	0	0	6.35	1.69	5.64
10	+	0	0	0	0	0	5.36	1.56	5.64
11	+	0	0	0	0	0	4.95	1.19	5.64
12	+	0	0	0	0	0	5.86	1.06	5.64
13	+	0	0	0	0	0	5.67	1.05	5.64

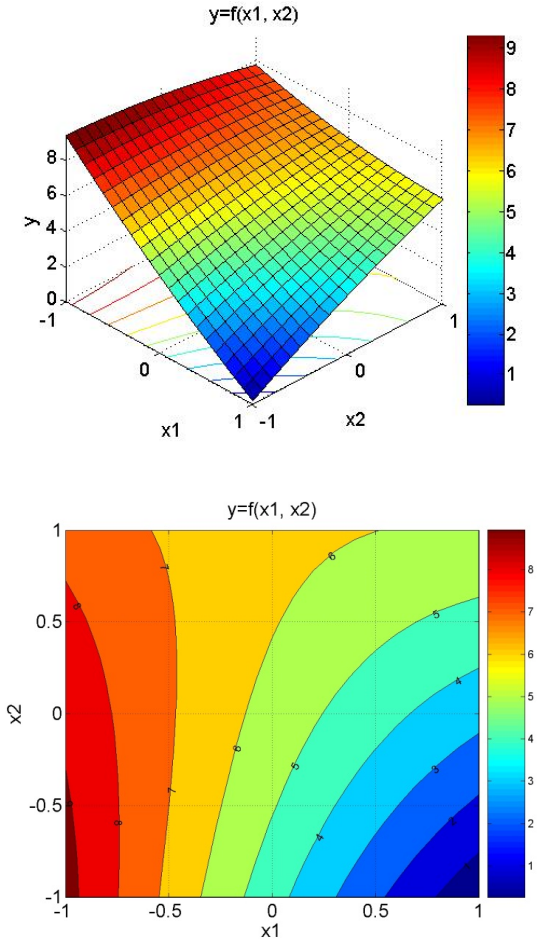
Полученият математичен модел придобива следния вид:

$$y_\varepsilon = 5.64 - 2.73x_1 + 0.99x_2 + \\ + 1.85x_1x_2 + 0.4x_1^2 - 0.28x_2^2 \qquad (2)$$

Адекватността на математичният модел е проверена по критерия на Фишер, както и е извършена проверка за еднородност на дисперсиите по критерия на Кохрен – табл. 4.

Табл.4. *Проверка адекватността на мат. модел*

Дисперсия на изх. параметър		Проверка за еднородност на дисперсиите			
$S^2_{АД}(y)$	$S^2(y)$	F_R	F_T	G_R	G_T
3.13	1.258	2.49	4.12	0.103	0.373



Фиг. 2*. Графично представяне на изменението на изследвания параметър разтегливост във факторното пространство*

За графичното представяне на аналитичното уравнение от математичния модел (2) е използван програмния продукт MATLAB7. Получените криви в тримерното пространство са представени на фиг. 2. На фигурите са обозначени координатните системи с кодираните стойности на входните фактори и натуралните стойности на изходните параметри.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От представените на фиг. 2 резултати могат да се направят следните изводи:

1. Нарастването на налягането в съединителната камера (X_1) води до намаляване на еластичността на преждата при всички стойности на налягането в предачната камера (X_2);
2. Нарастването на налягането в предачната камера (X_2) води до по-силно нарастване на еластичността на преждата при максимални стойности на налягането в съединителната камера (X_1) и почти незначителни при минимални.
3. Максимални резултати за изходния параметър еластичност на преждата (Yε) се постигат при минимални стойности на параметрите X_1 и X_2.
4. Ниските стойности на коефициентитех b_{11} и b_{22} подсказват за почти правопропорционална зависимост на параметрите на влияние x_1 и x_2 върху еластичността на преждата. Коефициентът b_2 показва по слабо въздействие в сравнение с коефициентите b_1 и b_{12}.

Прегледа на графиките от фиг. 2 показва, че оптималната област се намира във втори и трети квадрант. Прежди с най-голяма еластичност се произвеждат в интервала на вариране на $x_1 = -1 \div -0.5$ и $x_2 = -1 \div 1$.

При заместване на натуралните единици на входните фактори в регресионния модел се достига до следното уравнение:

$$y_\varepsilon = 16.127 + 0.358X_1 - 1.645X_2 + \\ + 4.743X_1X_2 + 1.11X_1^2 - 0.663X_2^2 \qquad (3)$$

REFERENCE

[1] Movshovich P.M. dr. "Pryadilynaya samokrutochnaya mashina PSK-225-ShG dlya vыrabotki pryazhi dlya trikotazhnogo proizvodstva", Tekstilynaya promыshlennosty,

№ 7, 1978g., s.34-36.
[2] Chervendiev A., M. Terzieva, „Tehniko-tehnologichni aspekti na predeneto chrez samousukvane“, Tekstil i obleklo br.1, 2001g.
[3] Ellis B. C., Walls G. W. Technological aspect of twisted self-twist yarn, Journal of the Textile institute, V61, № 6. 1970
[4] Henshow D. E. Twist Distribution in Self-twist yarn, Journal of the Textile institute, V61, № 6. 1970, pp 269-278.
[5] Angelov I.A., M.S. Petrov, Teoria na inzhenernia eksperiment, TU-Gabrovo, 2002.
[6] Damyanov, G., Matematicheski metodi za planirane na eksperimenta pri izsledvaniyata v tekstilnata promishlenost, MLP-Institut po obleklo i tekstil, Sofia, 1977.
[7] Stoyanov B., “Determine of optimal parameters of drafting mechanism BP-IM of ring spinning machine” , Vol. II’2014, page 186-192, ISSN 1314-5371.
[8] Stoyanov B., S. Aleksandrov, „Determining physical characteristics and correlation between elongation and absolute strength of carded wool yarn 120 tex 80/20 RW/PA”, Mechanical engineering and mechanics, TU-Varna, Year VIII, Book 1, 2013, page 50-53, ISSN 1312-8612.

RELIABLE IMPLEMENTATION OF SERIAL PSEUDORANDOM/NATURAL CODE CONVERTER

Goran Miljković, Dragan Denić, Milan Simić, Aleksandar Jocić
University of Niš, Faculty of Electronic Engineering
Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Serbia

Abstract

Serial pseudorandom/natural code converters are used in pseudorandom absolute position encoders and participate significantly in the total time required to determine the absolute position. The paper presents an improved and reliable implementation of serial converter with reduced conversion time by simultaneously activating two PRBS generators based on direct and reverse generation law. A basic serial pseudorandom/natural code converter based on an PRBS generator with reverse generation law, as well as presented converter, are implemented using LabVIEW FPGA software and R series multifunction acquisition card PCIe-7841R with Virtex-5 LX30 FPGA. The presented serial converter has significantly less conversion time, but a slightly more complex implementation.

Keywords: pseudorandom/natural code converter, absolute pseudorandom position encoder, LabVIEW FPGA

INTRODUCTION

The pseudorandom absolute position encoders are digital transducers used for angular position determination which is needed in many industrial applications. Accurate, reliable and fast measurement of angular position can directly affect the quality of the end products in the industry. These encoders use properties of n-bit pseudorandom binary sequence (PRBS), and most of all, if *n* adjacent bits are read, a code word that has a unique position is obtained [1, 2]. Also, compared to conventional absolute encoders, these encoders enabled the use of a smaller number of code reading sensors due to a smaller number of code tracks, as well as the application of detection methods for reading code errors. Then these encoders can be designed to be easier to mount on the motor shaft. They can be applied in industry for motorized linear stages, robotics, computer peripherals, antennas, etc.

Functioning of the encoder would not be possible without the following constituent components: code reading, code scanning, pseudorandom/natural code conversion and code reading error detection. Code reading of longitudinally arranged pseudorandom binary code can be realized serial using one [1] or two [4] code reading heads, or in parallel using sensor array. Very important for reading the pseudorandom code is the accurate and reliable definition of the reading moment, and this can be realized in different ways, but usually synchronization track is added next to the code track [5]. The pseudorandom code has enabled the application of various methods for detecting code reading errors that can be exploited to increase the reliability of the encoder itself. In order to obtain a natural code that is easier to handle in digital electronics, conversion of pseudorandom / natural code is required.

The conversion of the pseudorandom into a natural code can be implemented using three methods: parallel [2], serial [1, 6] and combined serial-parallel [8]. The serial conversion is the hardware simplest, but the conversion time is the longest. On the other hand, the parallel conversion is the fastest but hardware expensive, as it requires large memory elements for high-resolution encoders. Serial-parallel conversion is a compromise solution that combines the previous two methods and the hardware is the most complex.

The first part of the paper describes a basic serial converter based on the Fibonacci generator of PRBS with reverse generation law on the example of an 8-bit pseudorandom binary code. An upgraded serial converter solution that uses two Fibonacci PRBS generators, one with direct and the other with reverse generation law, is then described. Both solutions are implemented in the FPGA device using LabVIEW FPGA software. Finally, the properties of realized serial pseudorandom/ natural code converters are discussed and their advantages and disadvantages are highlighted.

SERIAL PSEUDORANDOM/ NATURAL CODE CONVERTER WITH FIBONACCI GENERATOR

The serial pseudorandom/natural code converter is based on the application of the PRBS Fibonacci generator with appropriate feedback for reverse generation law and counting the steps necessary to reach the initial state. The higher the resolution of the code, the required number of steps for converting any read code word increases. The serial converter based on Fibonacci generator of PRBS for resolution of n = 8 is shown in Fig. 1. A 255 bits long pseudorandom binary sequence is obtained by Fibonacci generator with feedback set for direct generation law [6, 5, 4, 0]. There must be an assembly register to form a code word based on the read bits from pseudorandom code track. The formed code word is after each read bit loaded into shift register of Fibonacci generator. The feedback sets for any resolution can be found in the literature [7]. The 8-bit counter is used to count the necessary number of steps for one conversion cycle. The additional logic for initial state $X(0)$ identification is also needed.

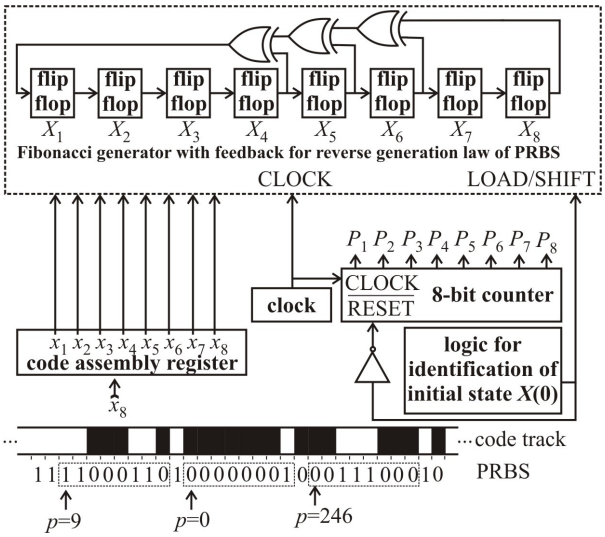


Fig. 1. *Serial pseudorandom/natural converter based on Fibonacci generator*

This serial pseudorandom / natural code converter is implemented in the LabVIEW FPGA software, compiled and executed in hardware, that is, in the FPGA device of the PCIe-7841R card, Fig. 2. In the block diagram, there are additional circuits for measuring conversion times that are not necessary in the final encoder realization. In this converter, the Fibonacci generator of PRBS is consisted from the 8-bit shift register with reverse XOR feedback configuration according to feedback set [7, 5, 4, 3] for reverse generation law. LabVIEW FPGA implementation is easier to design, can be easily modified and upgraded, compared to using VHDL programming. The compilation process for FPGA devices can last minutes to hours.

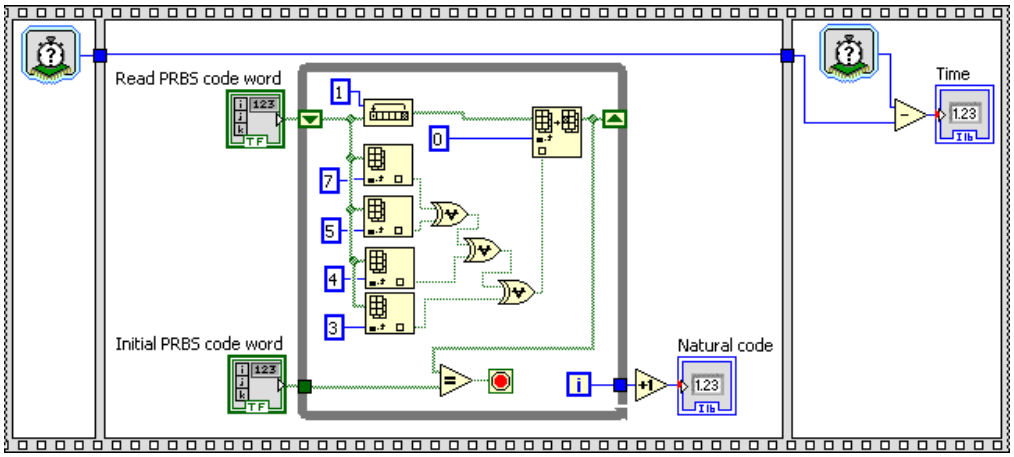


Fig. 2. *Serial pseudorandom/natural converter in LabVIEW FPGA*

One technique to reduce the amount of compilations is to simulate application on the development computer and resolve any programming errors before going to hardware.

UPGRADED SERIAL PSEUDORANDOM/ NATURAL CODE CONVERTER

Presented serial pseudorandom/natural code converter is based on the application of two Fibonacci generators of PRBS with direct and reverse generation law, Fig. 3. In both generators, the read code word is loaded at the start of the conversion process, and then the generator that first reaches to the initial code word ends the conversion process. In this way, the conversion time is reduced approximately twice. Also, in this realization are needed register for forming of read code word, 8-bit counter, and logic for identification of initial state. In this particular example of the 8-bit code, there are 255 positions, or 255 different code words. When obtained position is greater than 2^{n-1}-1 = 2^7-1=127, generator with feedback for direct generation law will first reach the initial state. On the other hand, if the position is less than 127, the initial state will first reach the generator with feedback for reverse generation law.

This upgraded serial pseudorandom /natural code converter is also implemented in LabVIEW FPGA and its functionality and properties are tested in hardware, Fig. 4. This converter utilizes 911 slice registers and 956 slice LUTs in FPGA device, compared to basic serial converter which utilizes 836 slice registers and 872 slice LUTs.

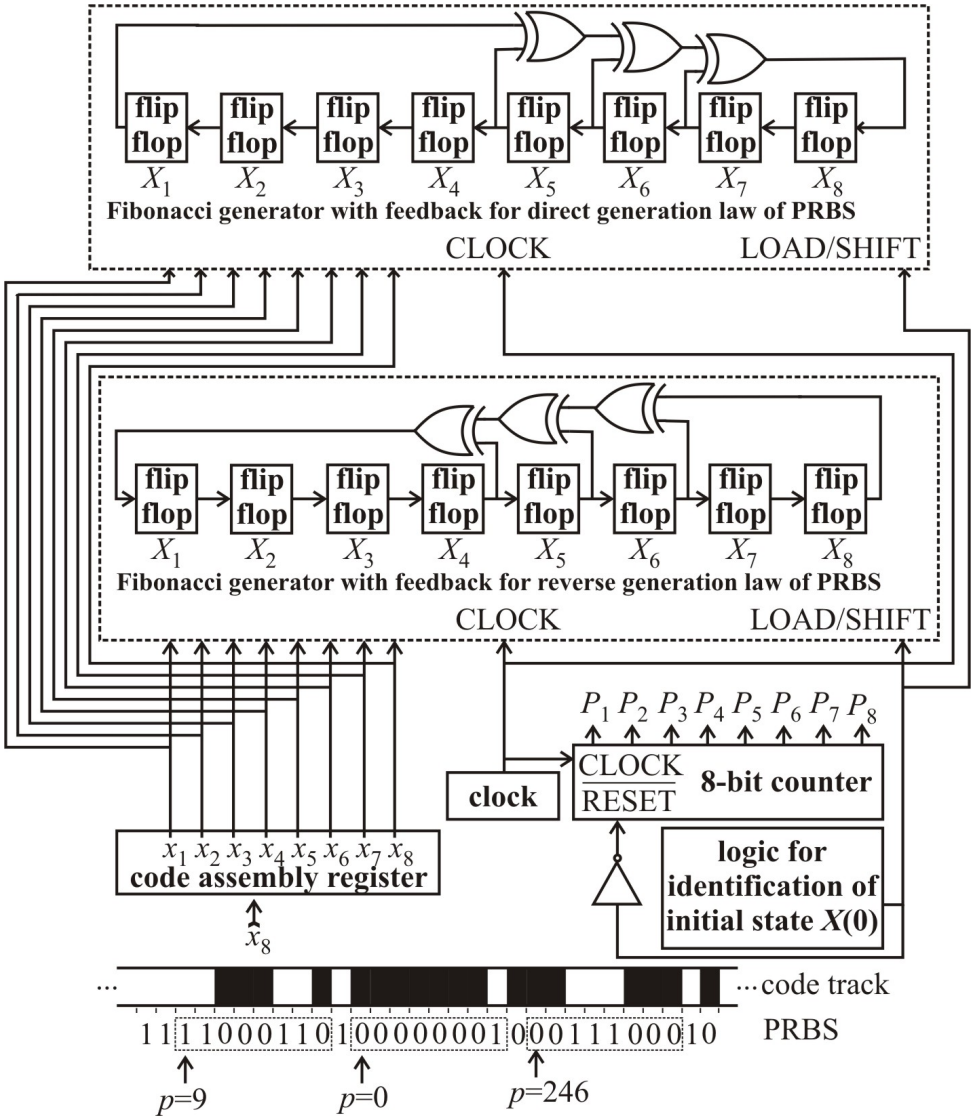


Fig. 3. *Upgraded serial pseudorandom/natural code converter*

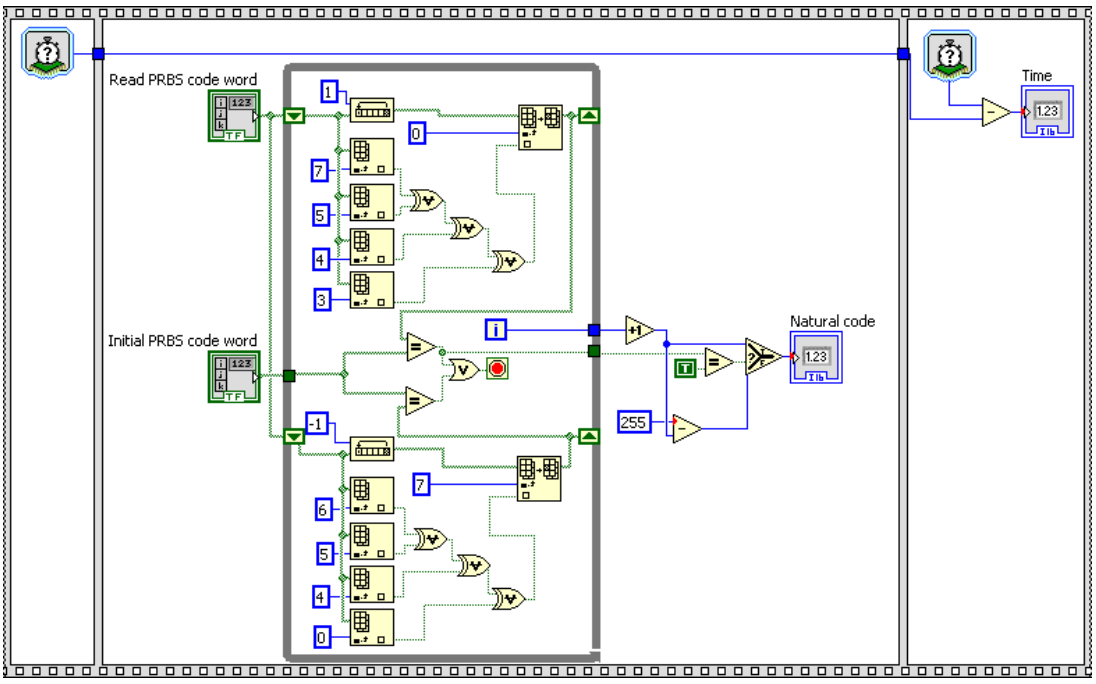


Fig. 4. *Upgraded serial pseudorandom/natural converter in LabVIEW FPGA*

For the initial code word is used 10000000, and converter are tested for the read code words 01100011 (P=9) and 00011100 (P=246). For both of these positions, the upgraded serial converter gives the same conversion time of 4 μs. On the other hand, the serial converter of Fig. 2 gives for the position 9 the conversion time 2 μs, and for position 246 the conversion time is 74 μs. A significant decrease in conversion time in case of position 246 can be seen.

CONCLUSION

Two different implementations of serial pseudorandom/natural code converters are presented and implemented in hardware, FPGA device. The upgraded serial converter has much better features regarding the conversion time compared to the basic version, but it is a bit more complex in hardware. Converters are implemented using LabVIEW FPGA and PCIe-7841R card to test functionalities and features.

ACKNOWLEDGEMENT

Research activities presented in this paper, are supported by funds of the Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development, having the reference project number TR32045.

REFERENCES

[1] E.M. Petriu, J.S. Basran, On the position measurement of automated guided vehicles using pseudorandom encoding, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 38. no. 3, pp. 799–803, 1989.

[2] E.M. Petriu, J.S. Basran, F.C.A. Groen, Automated guided vehicle position recovery, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 39, no. 1, pp. 254–258, 1990.

[3] J.C. Rau, P.H. Wu, J.F. Ho, A novel reseeding mechanism for improving pseudo-random testing of VLSI circuits, Tamkang Journal of Science and Engineering, vol. 11, no. 2, pp. 175-184, 2008.

[4] M. Arsić, D. Denić, New pseudorandom code reading method applied to position encoders, Electron. Lett., vol. 29, no. 10, pp. 893–894, 1993.

[5] D. Denić, G. Miljković, Code reading synchronization method for pseudorandom position encoders, Sensor. Actuat. A-Phys., vol. 150, pp. 188–191, 2009.

[6] D. Denić, I. Stojković, Pseudorandom/natural code converter with parallel feedback logic configuration, Electron. Lett., vol. 46, no. 13, pp. 921–922, 2010.

[7] Linear feedback shift registers: Implementation, M-sequence properties, feedback tables, New Wave Instruments, 2004 online: http://www.newwaveinstruments.com/resources/articles/m_sequence_linear_feedback_shift_register_lfsr.htm

[8] D. Denić, G. Miljković, M. Simić, D. Živanović, Advanced serial-parallel pseudorandom /natural code converter applied to position encoders, UNITECH ’12, Technical University of Gabrovo, Gabrovo, Bulgaria, 16-17 November 2012, Vol. II, pp. 323-327, 2012.

PECULIARITIES OF METROLOGY IN MILLIMETER RANGE COMMUNICATION SYSTEMS

Aleksey Yanenko [1], Mikhail Prokofiev[1], Sergey Peregudov[1], Valentina Ovod[2]
[1] *Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute*
[2] *Kyiv electromechanical college*

Abstract
The main advantages of the equipment of the millimeter range in perspective communication systems are considered. Here, usage the method of microwave radiometry is used for measuring of radiation level and carrying out radio monitoring in the telecommunication channel. The functional diagram of the modulation radiometer with the transformation of the input signal and the parameters of the developed and certified radiometric systems are given.

Keywords: millimeter frequency range, communication channel, radiometric method, modulation radiometer.

INTRODUCTION

In modern technologies there is a tendency of steady increase of information signals frequency. With increasing data traffic, the range used for their transmission (3-38 GHz) has become overloaded, and the mm range of 40 to 100 GHz is currently still practically unoccupied now. It is exactly that part of the electromagnetic spectrum the leading specialists in the field of communication pay attention to [1,2]. The advantages of the waves of the millimeter range are: possibility of increasing the data transfer speed (up to 10 Gbit / s) and channel noise protection, reduction of dimensions and mass of radio frequency devices.

It should be noted that the range of the millimeter waves is perspective for their usage also in medical technologies and biological research [3-5], as well as in the latest methods and means of contactless research of the structure of materials and control of their properties [6].

For today's communication systems, the V-band (57-64 GHz) is most intensively used, for which several industry standards (Wireless HD, ECMA-387, IEEE 802.15.3c and IEEE 802.11ad) and the E-band (71 -76, 81-86 and 92-95 GHz) are adopted [1, 2, 7].

The nature of propagation of radio waves of the millimeter range is determined by the influence of climatic (seasonal) conditions, resonant and non-resonant attenuation of radio waves in the troposphere.

Resonant attenuation is due to the property of molecules to absorb and emit the electromagnetic field of their own absorption spectra. Energy absorption occurs when the frequency of the electromagnetic field of the propagating wave coincides with one of the discrete frequencies of intramolecular transitions. The reverse transition from a higher energy level to a lower one is accompanied by electromagnetic radiation field at its own resonant frequency, which is one of the noise fields in the radio band.

Non-resonant attenuation is due to thermal energy losses during the propagation of an electromagnetic wave in various meteorological conditions. These conditions mean heavy rain, fog, snow, hail, clouds and other meteorological phenomena in the lower layers of the troposphere [8].

Features of the attenuation of millimeter waves for vertical and inclined trac are as follows: the equivalent thickness of the atmosphere does not exceed 1.5 km, which corresponds to all-weather transparency in almost the entire millimeter range [9].

With strong rain or monsoons, the attenuation factor for most of the millimeter

range can be taken at about 50 dB / km, with an average of 10 dB / km in the rain. Atmospheric attenuation is 0.5 dB / km (even for fog) [10].

The use of millimeter waves also increases the noise protection, concealment of communication channels, transmission reliability information and reduces the power consumption of used systems [7].

The use of signals from the millimeter range is accompanied by processes of measuring signal parameters and conducting monitoring of the radio channel, which is connected with the measurement of sufficiently weak signals, whose integral power can be within 10-12 - 10-16 W, which is a significant metrological problem. Due to the wide band of operating frequencies in communication systems, traditional tools used at low frequencies in a millimeter range require significant hardware and time resources. In addition, measuring instruments of this type have a great price.

EXPOSITION

At present, the V-band (59-64 GHz) is considered to be perspective for the creation of microsatellite and picoset lines in urban territories. It is defined that under the most unfavorable conditions of signal propagation, the length of the communication line at a frequency of 60 GHz is always greater than 500 m, and under favorable conditions it reaches up to 800 m (maximum is less than 2 km). At the same time, it is possible to provide information transfer at speed up to 1 Gbit / s through optical (1000 Base-SX / LX) or electric (10/100/1000 BASE-T) interfaces with hundreds of mW of radiation and antenna gain of 35-38 dBi of the antenna amplification . Communication equipment has a compact design and easy for the installation and adjustment.

Radoimetric systems (RS) are widely used in various fields of science for measuring of low-intensity signals, the level of which may be lower than the level of noise of their own systems. For the construction of radiometric apparatus, three basic methods of measurement are used: compensation, correlation and modulation.

Usually, MS are used to measure signals from sources of radiation located at significant distances from receiving devices (although for a millimeter wavelength range of this distance can be only 800 - 2000 m). The analysis of the possibilities of classical schemes for the construction of highly sensitive RS showed the perspective usage of the method of modulation transformations (by periodic comparison) taking into account the features of the range of millimeter waves and due to the high sensitivity and accuracy of measurements, as well as the availability of functional capabilities and flexibility of constructing a structural scheme construction [6, 11]. Broadband modulative PCs of the direct amplification (without incoming frequency conversion) are mainly used in the frequency range up to 30 GHz [3, 5], and in the shorter wavelength range, narrow bandwidths with single or double input frequency transformations are more often used, since broadband amplification of incoming signals is quite complicated [11].

The consideration of the theoretical basis for measuring signals with periodic comparison of signals at the input of the RS was made for schemes of direct transformation of harmonic signals of the microwave band [6], but the features of the transformation of noise signals in an extremely high frequency range were not taken into consideration.

To the opinion of the authors, for solving problems of metrological support of communication systems, it is expedient to use the radiometric method that provides measurement of parameters of low intensity information signals. This method allows you to determine the intensity and other parameters of broadband noise-like signals, including low spectral density.

For the construction of radiometric apparatus, three basic methods of measurement are used: compensation, correlation and modulation. The high sensitivity and accuracy of measurements is provided by the modulation method. The advantages of this method include the possibility of compensating the hardware noise of the radiometric channel, which increases the sensitivity of such apparatus on 1-2 higher degree of magnitude.

In addition, this method is quite simple for apparatus implementation [6]. FIG. 1 shows a functional scheme of a highly sensitive RS of millimeter range.

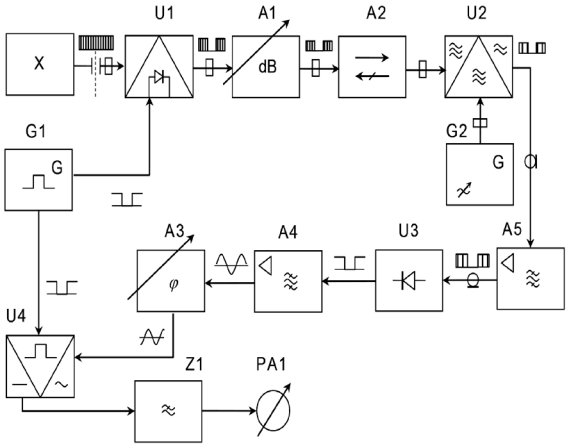


***Fig. 1**–Scheme of modulative radiometer with transformation of input signal*

A microwave signal from the source X, which is modulated by an electrically controlled modulator U1 under the control of the rectangular pulse generator G1, enters the RS input. In case of exceeding the level of the input signal, the attenuator A1 provides its attenuation to the level of 10^{-9} W. Also, this attenuator is used to measure the power of the input signal by the substitution method.

From the output of the attenuator A1 microwave signal comes to one of the inputs of the converter U2, the second input of which receives the signal of the heterodyne G2. The valve A2 provides an electrodynamic isolation of the transducer with the input path of the PC. From the U2 output, the intermediate frequency signal is amplified by A5 and is given to the U3 quadratic detector. The received signal in the form of rectangular pulses with the frequency of 1 kHz passes through the bi-square filter A4, on the output of which the generated sinusoidal signal passing through the phase rotator A3 enters one of the inputs of the synchronous detector U4. A signal from the generator G1 is given to the other input U4. The spectrum of the signal at the output of the synchronous detector U4 has a constant component that is proportional to the power of the source of the microwave signal X and the noise dispersion in the passband of the A4 filter at the output of the radiometric channel, and is described by the formula:

$$U_{U4} = K_{\Sigma}\left[\frac{U_0^2}{\pi}\sum_{n=1}^{k}\frac{\sin(2n-1)\Omega\, t}{2n-1} + \Delta U_w^2(t)\right]. \quad (1)$$

Where U_0 - amplitude of the input signal

Ω - switching frequency

K_{Σ} - total conversion rate of the measuring channel to the Z1 filter,

$\Delta U_w^2(t)$ - dispersion of noise passing in the band pass of the A4 filter.

The constant component of the U4 output signal is proportional to the power (intensity) of the input signal of the source of the UHF X signal , and the low frequency fluctuations, which can significantly distort the measurement result and reduce the sensitivity of the radiometric system. To eliminate this shortcoming, the scheme of a bi-square filter on the operative amplifiers, which has the operating frequency of 1 kHz, an adjustable bandwidth and amplifier coefficient of 15-20 dB, is used. The Z1 filter allocates the constant component which level (determined by the RA1 indicator) is proportional to the power of the input microwave signal. For calibrating the RS, worked out and metrologically certified reference signal generator is used.

According to the described scheme, RSs are constructed in the frequency bands: 26-38 GHz, 37.5-54 GHz and 53.5-78 GHz, which have the sensitivity threshold (10^{-14} - 10^{-13}) W, and allow to measure of broadband signals in the dynamic range of 70 dB.

One of the developed radiometric systems for the range of working frequencies 37-53 GHz at the threshold of sensitivity is no more than $\mathbf{3 \cdot 10^{-14}}$W and has the following characteristics [12]:

- range of measured power $\mathbf{10^{-13} - 3 \cdot 10^{-6}}$ W;
- relative errors of power measurement up to $\pm$ 3.0 dB and frequency up to $\pm$ 3.0%;
- the band of analyzed frequencies, up to 100MHz.

The worked out generator of the reference signal (noise) has got the working frequency range of 37-78 GHz and is used for periodical

calibration of the PC. Its application has given possibility to reduce the measurement error by means of RS in 2,5-3 times.

CONCLUSION

1. Use of the millimeter band for the transmission of signals in telecommunication systems requires the development and improvement of methods and means of measuring parameters of transmitted signals. One of them can be a radiometric method that allows you to determine the parameters of low-intensity as deterministic and broadband signals.

2. The modulatory radiometers of the millimeter range worked out by the authors have the threshold of sensitivity 10 W and a dynamic range of 70 dB. This allows us to solve tasks concerning with the metrological support of the millimeter range communication systems and to monitor them.

REFERENCE

[1] Zhouyue Pi, Farooq Khan, An introduction to millimeter-wave mobile broadband systems, IEEE Communications Magazine 49 (6) (2011), pp. 101-107.

[2] Ted S. Rappaport. Millimeter Wave Wireless Communications for 5G Cellular, Proceedings IEEE, 1 (10) (2013), pp. 335-349.

[3] S.P. Sitko, Yu.A. Skripnik, A.F. Yanenko. Apparaturnoe obespechenie sovremennyih tehnologiy kvantovoy meditsinyi. S. P. Sitko (red). Kiev, 1999. 199 s.

[4] N. D. Devyatkov, M. B. Golant, O. V. Betskiy. Millimetrovyie volnyi i ih rol v protsessah zhiznedeyatelnosti. Moskva, 1991. 182 s.

[5] Yu. A. Skripnik, A. F. Yanenko, V. F. Manoylov, V. P. Kutsenko, Yu. B. Gimpilevich, Mikrovolnovaya radiometriya fizicheskih i biologicheskih ob'ektov, Volyn, Zhitomir, 2003. 408 s.

[6] V. P. Kutsenko, Yu. O. Skripnik, N. F. Tregubov, K. L. Shevchenko, O. P. Yanenko Metodyi i sredstva sverhvyisokochastonoy radiometrii. Donetsk, 2011. 324 s.

[7] Pirogov, YU. A. Mikrovolnovyye sistemy telekommunikatsii / YU. A. Pirogov // Vestnik Mosk. un-ta.— 1994.— № 4.— S. 92–99.— (Ser. 3.Fiz. Astron).

[8] Petrov B.M. Elektrodinamika i rasprostraneniye radiovoln: Uchebnik dlya vuzov. 2-ye izd., ispr. 2007, M.: Goryachaya liniya Telekom, 250 s.; il.

[9] Pirogov, YU. A. Mikrovolnovyye sistemy telekommunikatsii / YU. A. Pirogov // Vestnik Mosk. un-ta.— 1994.— № 4.— S. 92–99.— (Ser. 3.Fiz. Astron).

[10] Pi, ZH. Vvedeniye v shirokopolosnyye sistemy svyazi millimetrovogo diapazona / Zhouyu Pi (Zhouyue Pi), Faruk Khan (Farooq Khan).— Samsung Electronics, 2012.

[11] N. Skou, D. Le Vine. Microwave radiometer systems: design and analysis. 2nd ed. Boston, London: Artech House, 2006. 223 p.

[12] Ukrayinskiy tsentr standartizatsiyi ta metrologiy. Svidotstvo pro derzhavnu metrologichnu atestatsIyu "Ustanovka dlya vimiryuvannya malih rivniv potuzhnostI milimetrovogo diapazonu hvil NU-2 № 1" № 26-008 vid 26.12.2000.

НАПРАВЛЕНИЕ 11

ОБРАЗОВАТЕЛНИ ТЕХНОЛОГИИ

SESSION 11

EDUCATIONAL TECHNOLOGIES

COMPARATIVE ANALYSIS OF IT SUBJECTS' TEACHING QUALITY IN HIGH SCHOOLS

Nebojša Stanković, *University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences, Čačak, Serbia, e-mail: nebojsa.stankovic@ftn.kg.ac.rs*
Marija Blagojević, *University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences, Čačak, Serbia, e-mail: marija.blagojevic@ftn.kg.ac.rs*
Miloš Papić, *University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences, Čačak, Serbia, e-mail: milos.papic@ftn.kg.ac.rs*

Abstract:
Paper presents the research which authors conducted in the school year 2016/17. The research sample included 1504 pupils from 10 different educational profiles: 4 in high schools (natural mathematics, informatics, mathematics, computer science) and 6 in secondary vocational schools from which 4 were electrical professions (computer technician, multimedia engineer, computer network administrator and electrical engineer of information technology) and 2 mechanical professions (machine technician for computer engineering and computer control technician). Results have shown that there was significant difference between profiles in teaching quality of IT subjects. Future work is related to analysis of current IT knowledge in high schools.

Keywords: research, high schools, IT knowledge

1. INTRODUCTION

Contemporary education in Serbia directs its users to get grades and finish the class in the most efficient way. Later on, they attempt to find a job as quickly as possible and try to solve the problem of existence. It is necessary for education system to be reformed once and for all so that users develop critical opinions, interests and creative abilities, and to be motivated to continue their education.

In Lisbon in 2000, the European Union adopted the Lisbon Development Strategy [1]. As knowledge is one of the basic resources of progress and development, education has become one of the central themes of the Lisbon Strategy, so the Lisbon Strategy implies greater investment in education and professional development, scientific and technological research and innovation [2].

In 2006, the European Union defined eight key competences of the Lifelong Learning Concept [3]. Today they are widely accepted in most European countries and play an important role in educational reforms. The need for improving the quality and importance of skills and competences is further emphasized by the current situation in which Europe faces a high unemployment rate, which is often due to skills mismatch [4].

Digital competencies, as one of those 8 key competences, include managing basic IT skills:

- Safe and critical use of electronic media at work, in leisure and communication;
- Connection with logical and critical thinking, high level of information management skills and well-developed communication skills and
- At the lowest level, the use of multimedia technology for finding, receiving, storing, producing, presenting and sharing information and communication and use in the Internet.

In Serbia, over the past fifteen years, the reform of primary and secondary education has been implemented separately from the reform of higher education. The reform of primary and secondary education is carried out more centrally, while higher education reform is implemented by the higher education institutions themselves. The Government of the Republic of Serbia adopted in 2012 the Strategy for the Development of Education in Serbia

until 2020 [5]. The strategy is defined so that the education system should provide the basic foundation of life and development of each individual, society and state based on knowledge. The Action Plan for the implementation of the Strategy for the Development of Education in Serbia by 2020 specifies individual actions and as one of the key parts of this plan is the Strategy for the Development of Primary and Secondary Education.

It's long ago that the literate man is just the one who uses the computer and runs the computer. It is therefore essential that students at the end of elementary education be informally/digitally literate. It is also essential that students acquire appropriate knowledge at the end of secondary education which will enable them to independently learn and use new technologies in accordance with their evolution during the whole working life. Bearing in mind the continuation of technological development and the potential lack of qualified IT experts, the lack of adequate access to their education can have very adverse consequences.

Information technology is being taught in all analyzed secondary schools, through one or more subjects, and it should provide knowledge to students in three dimensions - on the conceptual plan and acquired skills. Depending on the educational profile, there is more or less IT content in appropriate subjects, with more or less practice.

There are many related researches about analyzing quality of teaching [6, 7, 8], but few of them analyzed IT subjects and comparative analysis of pupils.

In this paper, the evaluation of high school' pupils and secondary vocational schools has done in order to analyze difference between profiles in teaching quality of IT subjects, which is goal of research.

2. METHODOLOGY

Research was done in in the school year 2016/17. The research sample included 1504 pupils from 10 different educational profiles: 4 in high schools (natural mathematics, informatics, mathematics, computer science) and 6 in secondary vocational schools from which 4 were electrical professions (computer technician, multimedia engineer, computer network administrator and electrical engineer of information technology) and 2 mechanical professions (machine technician for computer engineering and computer control technician).

For the purpose of this particular research authors chosen to analyse and compare teaching quality in IT subjects in several highschools in Serbia. Following types of highschools were analyzed:

1 - Electrotechnical school;
2 - Electrical-traffic technical school
3 - Highschool
4 - Machine traffic school
5 - Mechanical-electrical engineering
6 - Mechanical-technical school
7 - Technical school
8 - ITHS (Highschool for IT)

Hypothesis of this research was defined in the following manner: "Pupils in different types of highschools have different teaching quality from IT subjects."

Research tasks were set in the following order:

1. Choosing a sample;
2. Creating a questionnaire;
3. Conducting the research and
4. Analyzing the results.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In order to get results about characteristics of different groups one factor of variance analysis was performed (ANOVA).

Table 1 shows data about every group (every school). The table shows number of participants in every school, mean, standard deviation, standard error, confidence interval for mean and min, max.

Table 1. *Descriptives*

	N	Me-an	Std. Devia-tion	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min	Max
					Lower Bound	Upper Bound		
1	527	3.83	1.083	.047	3.73	3.92	1	5
2	46	3.91	1.132	.167	3.58	4.25	1	5
3	399	3.95	1.097	.055	3.84	4.06	1	5
4	34	3.94	1.071	.184	3.57	4.32	1	5
5	72	3.72	1.213	.143	3.44	4.01	1	5
6	84	3.96	1.124	.123	3.72	4.21	1	5
7	576	3.93	1.120	.047	3.84	4.02	1	5
8	56	4.41	0.565	.075	4.26	4.56	3	5
Total	**1794**	**3.91**	**1.098**	**.026**	**3.86**	**3.96**	**1**	**5**

Table 2 gives sum of squares, number of degrees of freedom… The column Sig. is the

most significant. In the research Sig. is less than 0,05 which means that there is significant difference between groups.

Table 2. *Anova*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	21.261	7	3.037	2.535	.013
Within Groups	2139.647	1786	1.198		
Total	**2160.908**	**1793**			

Table 3 present test of homogeneity of variance and for Levenue test Sig. is higher than 0.05, so the the assumption about the homogeneity of variance has not been violated.

Table 3. *Test of Homogeneity of Variances*

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.985	7	1786	.054

Table 4 present exact difference between group. According to Table 4 there are significant difference between these groups: 1 and 8; 5 and 8; 1 and 7; 7 and 8.

Table 4. *Multiple Comparisons*

Dependent Variable: Odgovor
Tukey HSD

(I) Skola	(J) Skola	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-.086	.168	1.000	-.60	.42
	3	-.123	.073	.696	-.34	.10
	4	-.114	.194	.999	-.70	.47
	5	.105	.138	.995	-.31	.52
	6	-.137	.129	.964	-.53	.25
	7	-.100	.066	.801	-.30	.10
	8	-.583*	.154	.004	-1.05	-.12
2	1	.086	.168	1.000	-.42	.60
	3	-.037	.170	1.000	-.55	.48
	4	-.028	.248	1.000	-.78	.72
	5	.191	.207	.984	-.44	.82
	6	-.051	.201	1.000	-.66	.56
	7	-.014	.168	1.000	-.52	.49
	8	-.498	.218	.302	-1.16	.16
3	1	.123	.073	.696	-.10	.34
	2	.037	.170	1.000	-.48	.55
	4	.009	.196	1.000	-.58	.60
	5	.228	.140	.736	-.20	.65
	6	-.014	.131	1.000	-.41	.38
	7	.023	.071	1.000	-.19	.24
	8	-.461	.156	.064	-.93	.01
4	1	.114	.194	.999	-.47	.70
	2	.028	.248	1.000	-.72	.78
	3	-.009	.196	1.000	-.60	.58
	5	.219	.228	.980	-.47	.91
	6	-.023	.222	1.000	-.70	.65
	7	.014	.193	1.000	-.57	.60
	8	-.470	.238	.500	-1.19	.25
5	1	-.105	.138	.995	-.52	.31
	2	-.191	.207	.984	-.82	.44
	3	-.228	.140	.736	-.65	.20
	4	-.219	.228	.980	-.91	.47
	6	-.242	.176	.868	-.78	.29
	7	-.205	.137	.809	-.62	.21
	8	-.688*	.195	.010	-1.28	-.10
6	1	.137	.129	.964	-.25	.53
	2	.051	.201	1.000	-.56	.66
	3	.014	.131	1.000	-.38	.41
	4	.023	.222	1.000	-.65	.70
	5	.242	.176	.868	-.29	.78
	7	.037	.128	1.000	-.35	.43
	8	-.446	.189	.260	-1.02	.13
7	1	.100	.066	.801	-.10	.30
	2	.014	.168	1.000	-.49	.52
	3	-.023	.071	1.000	-.24	.19
	4	-.014	.193	1.000	-.60	.57
	5	.205	.137	.809	-.21	.62
	6	-.037	.128	1.000	-.43	.35
	8	-.484*	.153	.035	-.95	-.02
8	1	.583*	.154	.004	.12	1.05
	2	.498	.218	.302	-.16	1.16
	3	.461	.156	.064	-.01	.93
	4	.470	.238	.500	-.25	1.19
	5	.688*	.195	.010	.10	1.28
	6	.446	.189	.260	-.13	1.02
	7	.484*	.153	.035	.02	.95

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Diagram for means for different groups (schools) is presented in Figure 1. Diagram shows that school 8 has the best rated quality of informatics subjects, while the school 5 has the lowest rates regarding quality of informatics subjects.

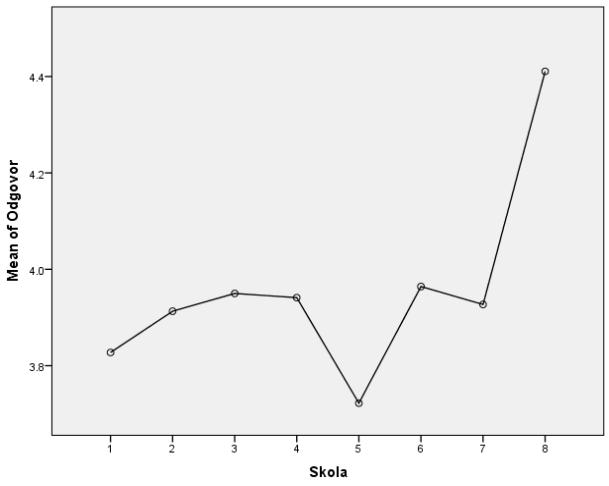


Figure 1. *Diagram of means*

ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by the Serbian Ministry of Education and Science, Project III 44006 and Project III 41007.

4. CONCLUSION

Bearing in mind the presented results of this research, it can be concluded in different directions:

- About the possibility of applying ANOVA technique in retracing the quality of teaching from a certain group of subjects – IT subjects in the case of this research. The mentioned technique determined a significant statistical difference, as specific groups between which there were differences.
- The study on the quality of teaching gives the opportunity to improve it, especially in schools 1 and 5

The future work relates to the analysis of the same issue, from the teaching aspect, through the answers obtained from teacher education in the same schools.

REFERENCES

[1] European Council, Presidency conclusions, Lisbon, 23-24 March, 2000, http://www.europarl.europa.eu/summits/lis1_en.htm (accessed in september 2017)

[2] Kronja, J. et al (2011). Vodič kroz strategiju Evropa 2020, Evropski pokret Srbija, Fund for an open society, Serbia http://www.mpn.gov.rs/wp-content/uploads/2015/08/EU-2020.pdf (retrived on September 2017)

[3] European Reference Framework of Key Competences for Lifelong Learning, http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32006H0962 (accessed in September 2017)

[4] Developing Key Competences at School in Europe: Challenges and Opportunities for Policy. Eurydice Report. Luksemburg, 2012. https://eacea.ec.europa.eu/national-policies/eurydice/ (accessed in October 2017)

[5] http://www.mpn.gov.rs/strategije-2020/ (accessed in August 2017)

[6] Ingvarson, L., Schwille, J., Tatto, MT., Rowley, G., Peck, R., and Senk, S. An Analysis of Teacher Education Context, Structure, and Quality- Assurance Arrangements in TEDS-M Countries, http://www.iea.nl/fileadmin/user_upload/Publications/Electronic_versions/TEDS-M_Findings.pdf (retrived on August 2017)

[7] Darling-Hammond, L. Teacher quality and student achievement: A review of state policy evidence, https://bdgrdemocracy.files.wordpress.com/2011/08/teachereducation1.pdf (retrived on August 2017)

[8] Subroto, WT. Analysis Influence Of Teacher Empowerment Performance Within Improving The Quality Of Education In Elementary School In Surabaya City, http://www.iosrjournals.org/iosr-jhss/papers/Vol3-issue5/H0353946.pdf (retrived on August 2017)

SEMANTIC APPROACH TO SCRIPT CONCORDANCE TEST

Maja Radović[1], Milorad Tošić[2], Danijela Milošević[1], Marjan Milošević[1], Marina Milošević[1]
[1] *Faculty of Technical Sciences Cacak, University of Kragujevac, Serbia*
[2] *Faculty of Electronic Engineering, University of Nis, Serbia*

Abstract
Clinical reasoning is a core competence of a physician and therefore a very important part of medical education. Application of the Script Concordance Test (SCT) in the assessment of clinical reasoning is present over the last two decades. Because of its high discriminatory quality, its application increases. With the rise of Semantic Web and ontologies in the fine-grain knowledge management and reasoning, the new possibilities for automatic question generations emerge. Creating a significant number of SCT question with the help of ontologies can reduce the workload of teachers in the construction of the SCT. This paper describes a concrete development of an ontology for the Script Concordance test assessment method, called SCTonto. Ontology testing shows that SCTonto is suitable for the purpose.

Keywords: Semantic Web, Ontology, Script Concordance Test, Medical education

INTRODUCTION

Clinical reasoning ability is probably the most core characteristic of any physician since it touches all aspects of patient care [1]. It can be said that clinical reasoning is a hypothetical-deductive process characterized by the early generation of hypotheses, oriented data collection, and decision-making judgment, using collected data to confirm or reject hypotheses [2].

Over the last two decades, the Script Concordance Test (SCT) proven to be one of the most appropriate assessment tools to measure clinical reasoning. Its application is spread in the various field of medicine [2-5] and several studies confirmed its feasibility, reliability, and validity [2,6].

Although some studies claim that SCT is relatively easy to construct and administer [2,3] it still needs a panel of at least 10 experts to decide on the different degrees of probability of a certain diagnosis [7]. Since the SCT method is suitable for computer-based assessment [8], there have been attempts to create question database in order to reduce the workload of teachers [9]. However, it still needs a number of experts to create each question in database and that is a time-consuming task. On the other hand, Semantic Web technologies facilitated the emergence of a new trend in question generation that is based on the use of ontologies [10,11]. Consequently, with the usage of Semantic Web, the SCT method can be significantly improved in terms of automatic question generation. Although several studies explored the generation of objective questions over ontologies, they are related to multiple choice question, its variations [10,12,13] and comprehensive integrative questions [14].

Research conducted to date provides no records of adoption of ontologies suitable for automatic generation of SCT assessment method specifically. Thus, the primary goal of this research was the development of SCTonto ontology that will be suitable for automatic generation of questions for the SCT assessment method.

SCT DESCRIPTION

Script Concordance Test first presents students with a brief clinical scenario (clinical vignette) in which the information provided is insufficient to reach a decision (Figure 1) [8]. Students are then faced with three columns table. In the first column, there are several diagnostic hypotheses (usually, but not necessary, three) concerning the given scenario. The second column presents new

information (e.g. clinical data, an imaging study or a laboratory test result) that might have an effect on the diagnostic hypothesis. The third and final column gives a five-point Likert-type scale (see an illustration of three columns table in Figure 1). By selecting an appropriate number on the scale students judge the change in the likelihood of a diagnostic given a new piece of information. The five-point Likert scale ranges from –2 (the hypothesis is almost eliminated) through 0 (the information has no effect on the hypothesis) to +2 (it can only be this hypothesis) [2].

For each item, the students' response is compared with the composite judgment of a panel of experts, and credit points are assigned in accordance with the proportion of experts selecting the same response when test norms are constructed. If the student selects the same response as the majority of experts, he/she obtains the maximum number of credit points. If the student sides with a minority of experts, points are detracted. Otherwise, no points are awarded at all [15].

Because the clinical scenario presented is ambiguous, script-concordance items may provide insight into clinical judgment in the real world [16].

Clinical vignette: A 30-year-old male patient is admitted to the emergency room after a fall from a motorcycle with a direct impact on the pubis. Vital signs are normal. The X-ray reveals a fracture of the pelvis with a disjunction of the pubic symphysis.

If you were thinking of	And then you find	This hypothesis becomes
Urethral rupture	Urethral bleeding	-2 -1 0 +1 +2
Retroperitoneal bladder rupture	Bladder distension	-2 -1 0 +1 +2
Intra-peritoneal bladder rupture	Spontaneous micturition after the accident	-2 -1 0 +1 +2

Notes: -2 = the hypothesis is almost eliminated
-1 = the hypothesis becomes less probable
0 = the information has no effect on the hypothesis
+1 = the hypothesis is becoming more probable
+2 = it can only be this hypothesis

Fig. 1: *Script Concordance Test adapted from [2]*

SCTONTO DEVELOPMENT

SCTonto ontology development was conducted following guidelines, given by [17]. The main goal of SCTonto is to support automatic SCT question generation. Users who will benefit from SCTonto are teachers whose workload will be significantly reduced, medical practitioners for self-assessment and researcher for further research purpose.

In order to define the scope of the SCTonto, several competency questions were identified. Some of them are: "Can each question have more than one clinical vignette?", "Can each question have more than one hypothesis?", "Does every new information item describe exactly one case description item?", "How many possible effects can one new information have on the hypothesis?", "How many responses can each question have?", etc.

Since SCTonto is an application ontology it needs domain ontology in order to be populated. Throughout our research, we have come to the conclusion that the Electronic Health Record (EHR) ontologies are best suited for this purpose. Although different in some elements, EHR ontologies have most of the concept that matches the main concepts in SCTonto ontology i.e. Symptoms and Signs (Case description in SCT), Diagnosis (Hypothesis in SCT), Laboratory and other analysis (New information in SCT), etc.

Based on the conducted analysis, several concepts and relations between them were identified that may be represented as classes and properties in the SCTonto ontology. Main classes are sct:Question, sct:CaseDescription, sct:Hypothesis, sct:NewInformation and sct:Response. Each individual instance of the sct:Question class is in a containment relation

with only one instance of the sct: CaseDesciption class, several instances of the sct:Hypothesis class, several instances of the sct:NewInformation class and several instances of the sct:Response class. In other words, each question consists of one case description, several hypotheses, several new information and several responses. This is modeled with properties sct:hasCaseDescription, sct:hasHypothesis, sct:hasNewInformation and sct:Response classes.

Each instance of sct:CaseDescription class is in containment relation with several instances of sct:NewInformation class. This means that case description can have several important information that are not presented in the clinical vignette. This is modeled with property sct:hasMissingPart. On the other hand, information that is not presented at the beginning belongs to only one clinical vignette. This is way each instance of sct:NewInformation is in a relationship with exactly one instance of the sct: CaseDescription class.

Since each new information may or may not have the effect on exactly one proposed hypothesis, this relationship is modeled with property sct:hasPossibleEffect. And vice versa, property sct:isPossibleEffectedBy represents relation where each instance of the sct:Hypothesis class is in a relationship with exactly one instance of the sct:NewInformation class.

Because students judge each hypothesis by selecting an appropriate number on the Likert scale, this relation is modeled with two properties: sct:hasResponseOfMajority and sct:hasResponseOfMinority. The first property represents the fact that maximum credit points are given if the majority of panel experts chose that same option. Similarly, property sct:hasResponseOfMinority represents the response of a minority of panel experts that chose that particular option. In order to achieve question automation, the response of a panel of experts is represented with a single diagnosis that matches the case description.

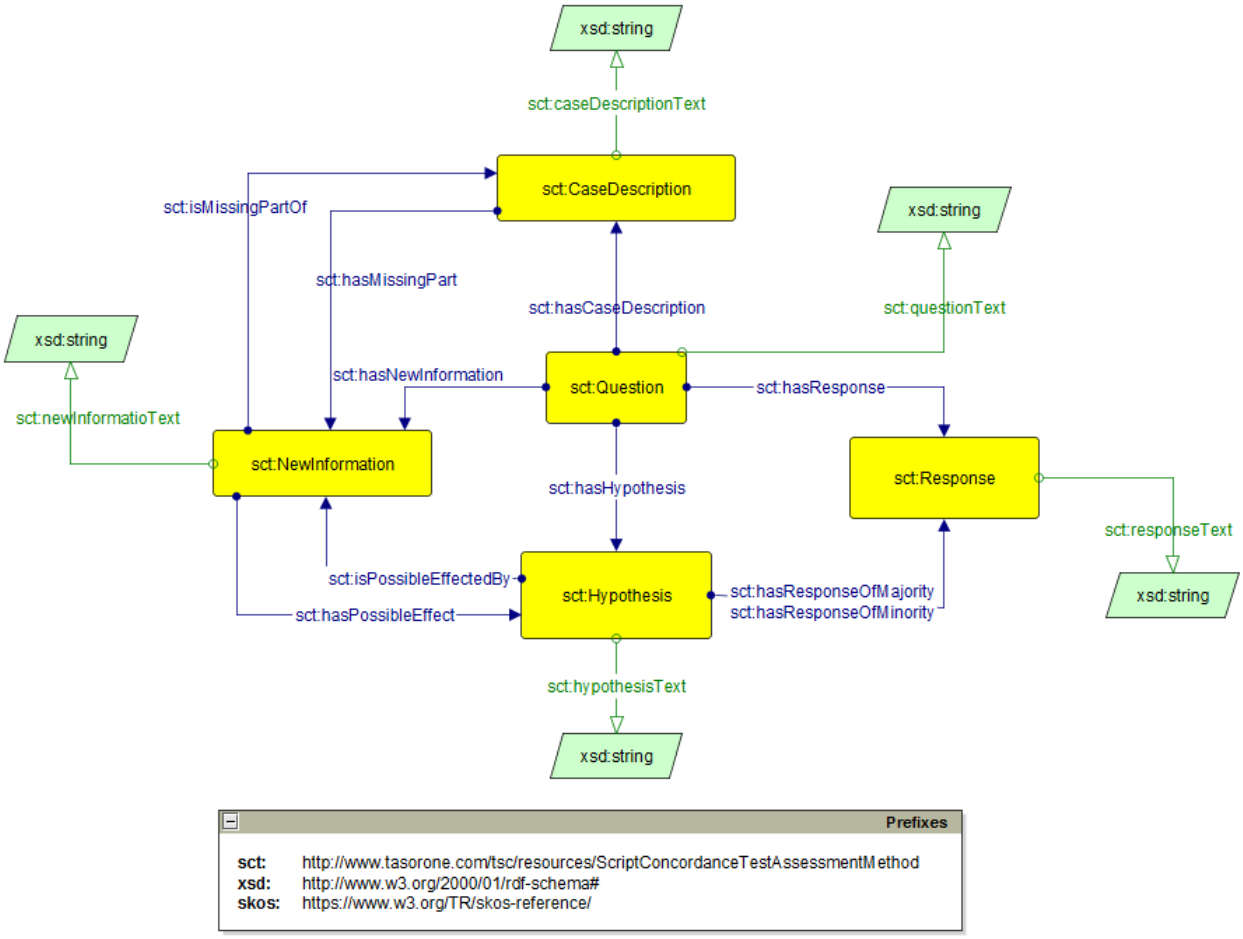


Figure 2: *SCTonto ontology*

ONTOLOGY TESTING

Ontology testing consists of the dynamic evaluation (through running code) of the behavior of an ontology on a finite set of test cases, against the expected behavior regarding the competency questions [17]. The following is the example of testing regarding competency question: ”Does every new information item describe exactly one case description item?“

```
PREFIX rdf:
<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-
ns#>
PREFIX rdfs:
<http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX sct:
<http://www.tasorone.com/tsc/resources/Script
CorcondanceTestAssessmentMethod/>
# single_case_describtion_rule: returns true
if broken ASK {
FILTER (?number_of_new_information>
1)
{
SELECT ?q (count(?s) as
?number_of_new_information) WHERE {
?s rdf:type sct:NewInformation.
?q rdf:type sct:CaseDescription .
?q sct:isMissingPartOf ?s .
}
GROUP BY ?q
}
}
```

This query checks if the single caseDescription rule is broken (we use ASK type of SPARQL query that returns TRUE if query body returns a result). Since inspection of the query, as well as its test run, proven that query is efficient and simple enough, the conclusion can be made that using SCTonto for development of user-friendly and effective automatic assessment generation process is a promising approach. It should be noted that comprehensive evaluation followed by FOCA [18] methodology is one of the main tasks in future.

CONCLUSION

The Script Concordance Test (SCT) assessment method has been proven to have high feasibility, reliability, and validity for clinical reasoning [7]. The wide adoption of this assessment method in different fields of medical education highlights the importance of its automatic generation. We have presented the process of developing ontology (SCTonto) for Script Concordance Test method, which supports automatic question generation. The in-depth analysis of concepts and relations in SCT assessment method is performed thus enabling the creation of ontology. Ontology testing was performed by SPARQL queries, which demonstrate that SCTonto is suitable for the development of user-friendly and effective automatic assessment generation process.

The future work will be focused on a software application that implements the automatic question generation process and measures the software complexity together with the application usability.

ACKNOWLEDGMENT

The research leading to these results was partially supported by the EU Horizon 2020 project under grant agreement no 687860, named SoftFIRE, and by the Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development (projects III41007 and III47003).

REFERENCE

[1] O. ten Cate and S. J. Durning, *Principles and practice of case-based clinical reasoning education: A method for preclinical students*, vol. 15. 2018.

[2] L. Sibert, B. Charlin, J. Corcos, R. Gagnon, P. Grise, and C. Van der Vleuten, ‘Stability of clinical reasoning assessment results with the Script Concordance test across two different linguistic, cultural and learning environments’, *Medical Teacher*, vol. 24, no. 5, pp. 522–527, 2002.

[3] S. Lubarsky, C. Chalk, D. Kazitani, R. Gagnon, and B. Charlin, ‘The Script Concordance Test: a new tool assessing clinical judgement in neurology’, *The Canadian journal of neurological sciences*, vol. 36, no. 3, pp. 326–331, 2009.

[4] N. O. Chime, M. V. Pusic, M. Auerbach, R. Mehta, D. J. Scherzer, W. Van Ittersum, B. McAninch, D. M. Fein, E. Seelbach, P. Zaveri, J. M. Jackson, D. Kessler, and T. P.

Chang, 'Script Concordance Testing to Determine Infant Lumbar Puncture Practice Variation', *Pediatric Emergency Care*, vol. 34, no. 2, pp. 84–92, 2018.

[5] R. S. Atayee, K. Lockman, C. Brock, D. T. Abazia, T. L. Brooks, J. Pawasauskas, K. P. Edmonds, and C. M. Herndon, 'Multicentered Study Evaluating Pharmacy Students' Perception of Palliative Care and Clinical Reasoning Using Script Concordance Testing', *American Journal of Hospice and Palliative Medicine*, pp. 1–8, 2018.

[6] M. S. H. Wan, E. Tor, and J. N. Hudson, 'Improving the validity of script concordance testing by optimising and balancing items', *Medical Education*, vol. 52, no. 3, pp. 336–346, 2018.

[7] J. P. Fournier, A. Demeester, and B. Charlin, 'Script concordance tests: Guidelines for construction', *BMC Medical Informatics and Decision Making*, vol. 8, pp. 1–7, 2008.

[8] L. van Bruggen, M. Manrique-van Woudenbergh, E. Spierenburg, and J. Vos, 'Preferred question types for computer-based assessment of clinical reasoning: a literature study', *Perspectives on Medical Education*, vol. 1, no. 4, pp. 162–171, 2012.

[9] L. Sibert, S. J. Darmoni, B. Dahamna, M. F. Hellot, J. Weber, and B. Charlin, 'On line clinical reasoning assessment with Script Concordance test in urology: Results of a French pilot study', *BMC Medical Education*, vol. 6, pp. 1–9, 2006.

[10] M. Cubric and M. Tosic, 'Towards automatic generation of e-assessment using semantic web technologies', *International Journal of e-Assessment*, 2011.

[11] F. Jelenković and M. Tošić, 'Semantic Multiple-Choice Question Generation and Concept-Based Assessment', no. White 2012, pp. 1–11, 2012.

[12] E. Holohan, M. Melia, D. McMullen, and C. Pahl, 'The Generation of E-Learning Exercise Problems from Subject Ontologies', *Sixth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'06)*, pp. 20–22, 2006.

[13] M. Al-Yahya, 'Ontology-based multiple choice question generation', *The Scientific World Journal*, vol. 2014, 2014.

[14] M. Radovic, M. Tosic, D. Milosevic, and D. Jankovic, 'OntoCIP - an ontology of comprehensive integrative puzzle assessment method suitable for automatic question generation', *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 716, no. September 2017, pp. 394–399, 2018.

[15] E. J. F. M. Custers, 'The script concordance test: an adequate tool to assess clinical reasoning?', *Perspectives on Medical Education*, vol. 7, no. 3, pp. 145–146, 2018.

[16] R. M. Epstein, 'Medical education - Assessment in medical education', *New England Journal of Medicine*, vol. 356, no. 4, pp. 387–396, 2007.

[17] R. D. A. Falbo, 'SABiO: Systematic Approach for Building Ontologies An Overview of SABiO', *1st Joint Workshop Onto.Com/ODISE on Ontologies in Conceptual Modeling and Information Systems Engineering*, 2014.

[18] J. Bandeira, I. I. Bittencourt, P. Espinheira, and S. Isotani, 'FOCA: A Methodology for Ontology Evaluation', *Applied Ontology*, vol. 3, no. 2003, pp. 1–24, 2015.

ИЗСЛЕДВАНЕ И ПРЕПОДАВАНЕ НА ИНДУКТИВНО СВЪРЗАНИ КРЪГОВЕ С ПОМОЩТА НА ПРОГРАМНИ СРЕДИ

Велислава Райдовска, Величко Манев, Диляна Кашокова
Пловдивски университет „Паисий Хилендарски", Физико-технологичен факултет

RESEARCH AND TEACHING OF INDUCTIVELY COUPLED CIRCUITS WITH MODELLING IN VIRTUAL ENVIRONMENT

Velislava Raydovska, Velichko Manev, Dilyana Kashokova
UNIVERSITY OF PLOVDIV PAISII HILENDARSKI
FACULTY OF PHYSICS AND TECHNOLOGY

Abstract

The paper considers to study and teaching the system of two inductively coupled RLC circuits in direction with the trend for innovative learning through simulations in different programming environments. The programme is developed to calculate the basic parameters of the oscillating circles and as a result is plotted curve of the dependency in the Matlab programming environment. The work of the same system is simulated in virtual environment.

The program which is presented in the paper may be used in the educational process in the "Electrical Engineering" or "Analog Devices" course, included in the curriculum of the specialty "Electricity technology" or "Computer and Communication Systems" for the Bachelor educational degree.

Keywords: *inductively coupled RLC circuits, frequency response*.

ВЪВЕДЕНИЕ

Използване на симулациите в практическото обучение по всички учебни технически дисциплини е основа за модернизиране на образователната система е съществен елемент от образователна политика. Използването на виртуални програмни среди в обучението и компютърното симулиране повишава интереса на обучаваните и качеството на придобитите инженерни знания. Моделирането на електронни схеми чрез различни програмни среди дава възможност да се изследват процесите в тях, да се експериментира тяхната работа без да се създават рискови ситуации за студентите и за реалните устройства. Провеждането на виртуални лабораторни упражнения позволяват на студентите да натрупат опит и добият увереност, преди да се реализират в практиката [1].

MatLab е диалогова програмна система специално създадена за научно-технически и инженерни изчисления. MatLab е обектно ориентиран език за програмиране, в който основният обект е масив от данни - вектор, матрица, многомерен масив, масив от записи. По този начин системата предлага възможности с един оператор да се обработят едновременно всички елементи на масива. Това я прави подходяща за обработка на експериментални данни и за построяване на инженерна графика – двумерна и тримерна [2].

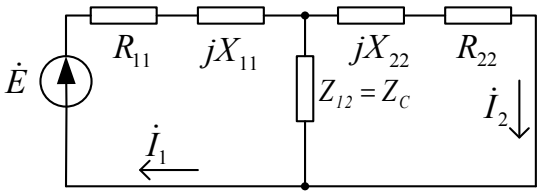
Виртуалната среда Multisim притежава удобен и разбираем интерфейс. В нея могат да се планират и изпълняват симулации на електронни схеми, да се проектират печатни платки и тяхното автоматично опроводяване. Тя позволява бързо проектиране и тестване на схеми, притежава инструментариум за обучение по схемотехника. Дава възможност за сравнение на реални и симулирани измервания [3].

Свързаните трептящи кръгове с индуктивна връзка са обект на изучаване и из-

следване в курса по електротехника или аналогови устройства. Чрез тях може да се подобрява честотния обхват на филтри. Трябва да се вземат под внимание и паразитния ефект на взаимодействието между кръговете. В статията се предлага освен теоретичното запознаване с материала и експериментални изследвания като междинно звено е да се включи и симулационно провеждане на упражнението. В разглежданото упражнението се моделира свързан кръг с индуктивна връзка и изследването на честотните му характеристики при различни фактори на връзката. Използват се програмните среди MatLab и Multisim на NI.

Основни зависимости при индуктивно свързани кръгове

Свързаните кръгове се наричат системи от два или повече трептящи кръгове, електромагнитните процеси в които си оказват взаимно влияние [4]. Фактически двата кръга винаги имат някакъв общ с импеданс Z_C, който се нарича елемент на връзката и от чиято големина зависи степента на свързаност на двата кръга.



Фиг. 1. *Обобщена електрическа схема на два свързани кръга*

Всяка система от два свързани кръга може да бъде представена с обобщената схема, показана на фиг. 1. При електрически и магнитно свързани кръгове импедансът на връзката е чисто реактивен.

$$Z_C = Z_{12} = jX_{12} \qquad (1)$$

Основни величини, характеризиращи свързаните кръгове са: коефициент на връзка, фактор на връзката, обобщени разстройки, еквивалентни импеданси на всеки от кръговете, честотни характеристики [4], [5] и [6].

Коефициентът на връзката при индуктивно и капацитивно свързани кръгове се дава със зависимостите:

$$k = \frac{X_{12}}{\sqrt{X_{10}X_{20}}}\ , \qquad (2)$$

където X_{10} и X_{20} са обходните реактивни съпротивления на първия и втория кръг, имащи еднакъв характер с импеданса на връзката.

Факторът на връзката A се изчислява по зависимостта

$$A = \frac{X_{12}}{\sqrt{R_1R_2}} \qquad (3)$$

При A<1 връзката е подкритична, при A=1 връзката се определя като критична, а при A>1 – надкритична.

Обобщените разстройки на двата кръга се дават със зависимостите:

$$\xi_1 = \frac{X_1}{R_1} \approx \frac{2\Delta f_1}{f_{rez1}}Q_1,$$
$$\xi_2 = \frac{X_2}{R_2} \approx \frac{2\Delta f_1}{f_{rez2}}Q_2, \qquad (4)$$

където Δf_1 и Δf_2 са абсолютните разстройки като $\Delta f_1 = f_1 - f_{1rez}$, $\Delta f_2 = f_2 - f_{2rez}$, а Q_1 и Q_2 са качествените фактори на двата кръга.

Реактивните съпротивления X_1 и X_2 включват освен X_{11} и X_{22} и съответните, отнасящи се към всеки от кръговете, съставни на импеданса на връзката X_{12}. Приблизителните равенства (4) са достатъчно точни за честоти близки до резонансните на двата кръга.

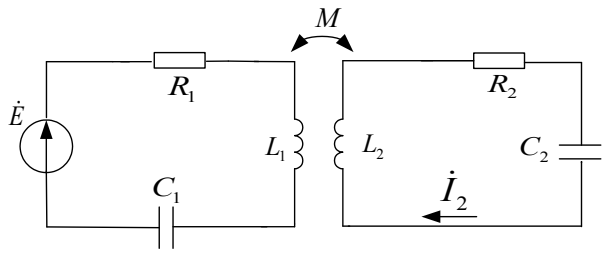
Характеристиката $I_2=I_2(f)$ се изчислява по зависимостта

$$I_2 = \frac{A.E}{\sqrt{R_1R_2}\sqrt{(A^2+1-\xi_1\xi_2)^2+(\xi_1+\xi_2)^2}} \qquad (5)$$

Изследване на два индуктивно свързани кръгове във виртуални среди.

Да се изследва система от два индуктивно свързани кръга (фигура 2), който има следните параметри: $L_1=L_2=200\mu H$; $C_1=C_2=500pF$; $M=10\mu H$. И двата кръга имат една и съща резонансна честота $f_{01}=f_{02}=497kHz$. Стойностите на резисторите $R_1=R_2$ са съответно 10Ω, 32Ω или 100Ω.

Необходимо е да се изчислят факторът на връзката, Q-факторът, да се изчертае характеристиката $I_2=I_2(f)$. Да се симулира работата на кръга в програмна среда и да се изчертае характеристиката $I_2=I_2(f)$ за виртуално снетите данни. Да се направи анализ на получените резултати.



Фиг. 2. *Верига от два индуктивно свързани кръга*

За да се изследват двата кръга в програмната среда MatLab е разработена програмата *couplingcircuits.m*. Част от сорс кода, свързан с изследването на кръгове с индуктивна връзка, е:

```
disp('програма за изчертаване на честотна характеристика на ')
disp('система от два свързани кръга с индуктивна връзка')
disp('**************************')
f0=input('Резонансната честота, в Hz: f0=');
E=input('Ефективна стойност на захранващо напрежение, във V: E=');
R1=input('Съпротивление на първи кръг в Омове R1=');
R2=input('Съпротивление на втори кръг в Омове R2=');
L11=input('Индуктивност на първи кръг в Хенри L11=');
L22=input('Индуктивност на втори кръг в Хенри L22=');
C2=input('капацитет на втори кръг във Фаради C2=');
M=input('Взаимна индуктивност в Хенри M=');
L10=L11+M;
L20=L22+M;
R=sqrt(R1*R2);
A=(2*pi*f0*M)/R;
disp(['Факторът на връзката A=',num2str(A)])
Q1=(2*pi*f0*L11)/R1;
disp(['Q-Факторът Q1=',num2str(Q1)])
Q2=(2*pi*f0*L22)/R2;
disp(['Q-Факторът Q2=',num2str(Q2)])
f=input('задайте интервал за изменение на честота във формат fmin:стъпка на изменение:fmax f=');
deltaf=f-f0;
raztroika11=(2.*deltaf).*Q1;
raztroika12=raztroika11./f0;
raztroika21=(2.*deltaf).*Q2;
raztroika22=raztroika21./f0;
raztroikat=raztroika12.*raztroika22;
Y11=(A^2)+1-raztroikat;
Y21=Y11.^2;
Y31=raztroika12+raztroika22;
Y311=Y31.^2;
Y41=sqrt(Y21+Y311);
Y51=A*E/R;
 I2=Y51./Y41;
% Изчертаване на графиката
plot(f,I2)
title('Зависимост на тока I_{2} от честотата')
xlabel('честота f, Hz');
grid on
ylabel('I_{2},A')
```

Разработената програма е универсална. При стартирането ѝ се появява прозорец, от който трябва да се избере вида на връзката. След това се вкарват данните от заданието. Програмата изчислява търсените величини, изписва ги в работното поле и изчертава графиката на зависимостта $I_2=I_2(f)$.

При стартирането на екрана се получава следната информация:

програма за изчертаване на честотна характеристика на
система от два свързани кръга с индуктивна връзка

Следват команди за задаване на параметрите на веригата. Програмата се стартира три пъти за всяка от зададените стойности на резисторите $R_1=R_2$: 10Ω, 32 Ω и 100Ω. Стойностите на резисторите са подбрани, за да се наблюдават трите вида връзки – надкритична, критична и подкритична.

А. Резултати при надкритична връзка:

Резонансната честота, в Hz: f0=497000
Ефективна стойност на захранващо напрежение, във V: E=1

Съпротивление на първи кръг в Омове R1=10

Съпротивление на втори кръг в Омове R2=10

*Индуктивност на първи кръг в Хенри L11=200*10^-6*

*Индуктивност на втори кръг в Хенри L22=200*10^-6*

*капацитет на втори кръг във Фаради C2=500*10^-12*

*Взаимна индуктивност в Хенри M=10*10^-6*

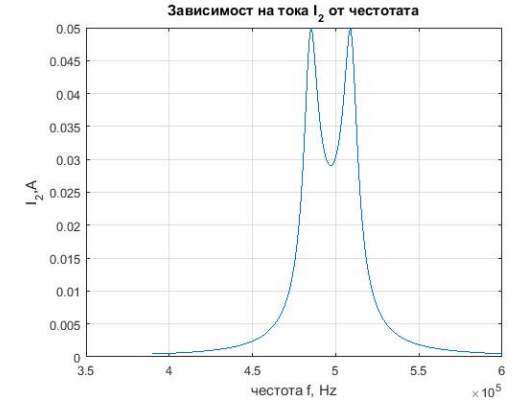
Факторът на връзката A=3.1227

Q-Факторът Q1=62.4549

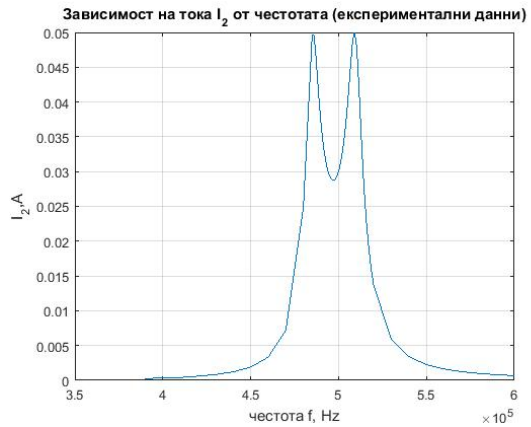
Q-Факторът Q2=62.4549

задайте интервал за изменение на честота във формат fmin:стъпка на изменение:fmax f=390000:1000:600000

Графичният резултат е показан на фиг. 3а.



а.)



б.)

Фиг. 3. *Зависимост $I_2=I_2(f)$ при надкритична връзка. а.) в програмна среда MatLab; б.) при симулация в Multisim*

Б. Резултати при критична връзка:

Резонансната честота, в Hz: f0=497000

Ефективна стойност на захранващо напрежение, във V: E=1

Съпротивление на първи кръг в Омове R1=32

Съпротивление на втори кръг в Омове R2=32

*Индуктивност на първи кръг в Хенри L11=200*10^-6*

*Индуктивност на втори кръг в Хенри L22=200*10^-6*

*капацитет на втори кръг във Фаради C2=500*10^-12*

*Взаимна индуктивност в Хенри M=10*10^-6*

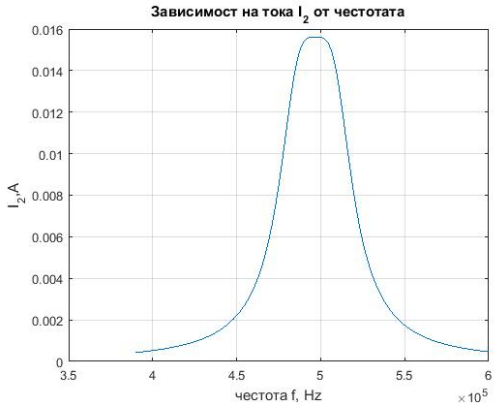
Факторът на връзката A=0.97586

Q-Факторът Q1=19.5171

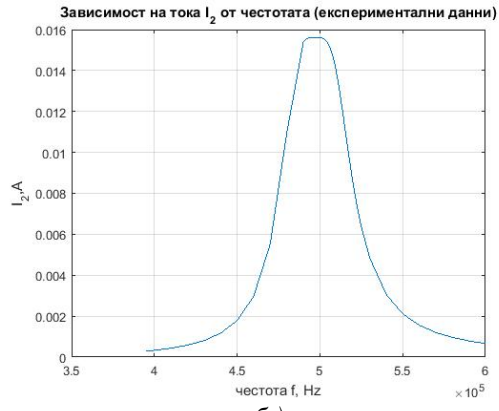
Q-Факторът Q2=19.5171

задайте интервал за изменение на честота във формат fmin:стъпка на изменение:fmax f=390000:1000:600000

Графичният резултат е показан на фиг. 4а.



а.)



б.)

Фиг. 4. *Зависимост $I_2=I_2(f)$ при критична връзка. а.) в програмна среда MatLab; б.) при симулация в Multisim*

В. Резултати при подкритична връзка:

Резонансната честота, в Hz: f0=497000

Ефективна стойност на захранващо напрежение, във V: E=1

Съпротивление на първи кръг в Омове R1=100

Съпротивление на втори кръг в Омове R2=100

Индуктивност на първи кръг в Хенри L11=200*10^-6

Индуктивност на втори кръг в Хенри L22=200*10^-6

капацитет на втори кръг във Фаради C2=500*10^-12

Взаимна индуктивност в Хенри M=10*10^-6

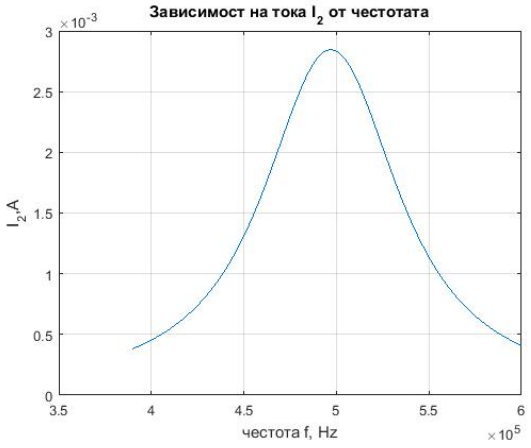
Факторът на връзката A=0.31227

Q-Факторът Q1=6.2455

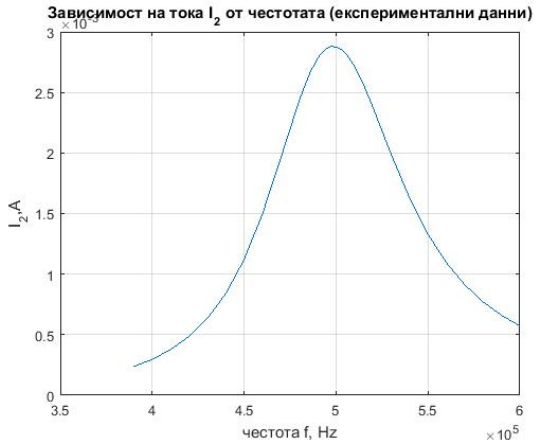
Q-Факторът Q2=6.2455

задайте интервал за изменение на честота във формат fmin:на изменение:fmax f=390000:1000:600000

Графичният резултат е показан на фиг. 5а.



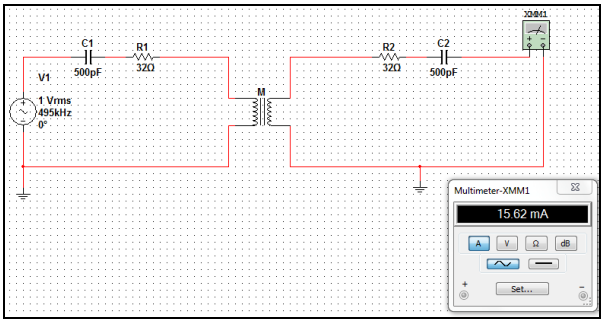
а.)



б.)

Фиг. 5. *Зависимост $I_2=I_2(f)$ при критична връзка. а.) в програмна среда MatLab; б.) при симулация в Multisim*

След това студентите реализират изследваната схема в програмната среда Multisim на NI както е показано на фигура 6. Провеждат се изследвания за честотния диапазон от 395 до 595 kHz. По получените данни се построяват характеристиките за трите разглеждани стойности на съпротивленията (фиг. 3б, 4б и 5б).



Фиг. 6. *Симулация на работата на разглежданата верига в Multisim*

Анализът на получените по изчислителен и по опитен път графики показва, че те са с еднакъв характер на изменение. При увеличаване на степента на връзката резонансната крива е едногърба, като стойността на максимума расте, а кривата се разширява. Качествено ново поведение се наблюдава при повишаване на степента на връзката над критичната. Кривата вече е с два максимума, отговарящи за две нови резонансни честоти. При резонансната честота се наблюдава минимум.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Съобразно с тенденциите за иновативното обучение чрез симулации в различни програмни среди е разработено упражнение за изследване на система от два трептящи кръга с индуктивна връзка. В програмната среда MatLab е разработена програма за изчисляване на основните величини на трептящите кръгове и като резултат се построява кривата на зависимостта Работата на същата система се симулира във програмната среда Multisim на NI. Сравнителният анализ показва съвпадение на изчислените и полу-

чените данни, при изследване на схемата във виртуална среда.

Симулациите позволяват обучение чрез правене, знанията и уменията се придобиват по активен начин. Разработената програма се прилага при обучението на студенти от инженерни специалности и би могла да послужи като основа за провеждането на проектно-базирано обучение по дисциплината „Електротехника" или „Аналогови устройства".

Acknowledgement

The authors would like to acknowledge the support of the "Research & Development" division of UNIVERSITY OF PLOVDIV PAISII HILENDARSKI in the project: СП17-ТК-004/16.05.2017.

REFERENCE

[1] Raydovska Velislava, D. Shehova, Sl. Lyubomirov, Research of the coupled tank circuits in programming environments, 15th International Scientific Conference "Renewable Energy & Innovative Technologies", Conference Proceedings, Smolyan – Bulgaria, Volume 1, 2016, pp. 184-187.

[2] Лазарев Юрий, Начала программирования в среде MatLab, Киев, НТУУ "КПИ", 2003.

[3] Shehova Daniela, Software Environments Applicable in Teaching Analog and Mixed Signals Circuits Design, ANNUAL JOURNAL OF ELECTRONICS, 2015, pp. 88-91.

[4] Kyurkchieva R., Komunikacionni verigi, Rakovodstvo za uprajnenia i kursov proekt, TU - Varna, 2001.

[5] Farhi C, S. Papazov, Teoretichna elektrotechnika, Part I, Ed. Technika, Sofia, 1990.

[6] Genov Lyudmil, Teoretichni osnovi na elektrotechnikata, Ed. Technika, Sofia, 1991.

LABORATORY SETUP FOR MEASUREMENTS BASIC PUMP SYSTEM CHARACTERISTICS

Milos Bozic[1], Marko Sucurovic[2], Marko Rosic[3], Vojislav Vujicic[4], Miroslav Bjekic[3]
University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences in Cacak
[1]Department of Mechatronics, [2]Department of Industrial Engineering, [3]Department of Power Engineering, [4]Department of Mechanical Engineering
Svetog Save 65, 32000 Cacak, Serbia

Abstract

This paper presents the laboratory pump system realized at the Faculty of Technical Sciences, Cacak. The aim of the realized pump system is to use it primarily for educational and scientific purposes. It is designed as an open system in which water is taken and returned from a 400 liters capacity tank. 4 kW centrifugal pump with 3-phase induction motor was used. For pressure (p) and water flow (Q) control through motor-pump system the commercial frequency converter was used. The operating pressure of the pump system is going up to 6 bar with a maximum flow rate of 5 l / s. The system contains pressure valves and bypass control. With the available pressure sensors, flow meters and acquisition equipment, the characteristic quantities of pump system are measured. LabVIEW software was used for process and graphical visualization of measured flow and pressure rates. Pressure and flow rates, as well as the diagrams of measured functions p=f (Q) and η=f (Q) are shown as the experimental results at the end.

Keywords: pump system, water flow measurement, pressure measurement, data acquisition, LabVIEW.

INTRODUCTION

Setup for education about the principles of hydraulic and pumping systems operation can easily be realized in laboratory conditions. One such system can be made with components such as water tank, pump with motor and system with pipes and valves. For mechanical parameters measurement, in order to determine the characteristics of the pump system, it is necessary to measuring the pressure and the flow of water. This can be done with analogue barometers and flowmeters or using acquisition equipment, pressure and flowmeter sensors. Example of determining the pipe system and centrifugal pumps performance is given in [1].

Pump system can be used to determinate the characteristics of hydraulic components such as turbines, (pump as turbine), valves, etc. Measured characteristics and characteristics of pump given by the manufacturer can be compared with this laboratory setup. For determination of the hydraulic power (or power losses) of hydraulic component it is necessary to measuring the inlet and outlet pressure and flow, what this laboratory pump system makes possible.

The used equipment and results of pressure and flow measurement are presented in this paper. The *p-Q* (pressure-flow) and *P-Q* (power-flow) characteristics describing the system and the centrifugal pump at different speeds are graphically presented. These characteristics define maximum hydraulic power in the system. One of the additional goals of the realized laboratory system is to provide better understanding of the pump system principles to the students and provide a platform for further testing and research.

PRESSURE, FLOW AND POWER IN THE PUMP SYSTEM

To determine the operating point, it is necessary to define the curve of the pressure-flow dependence of the pump and the hydraulic pipe system. Measured values of pressure and flow can be used to define following hydraulic characteristic: pump speed (*n*) vs pump flow rate (*Q*), pressure (*p*) vs outlet pump power (*P*). Mathematically

relations describing the pump speed impact on the system flow rate, pressure and power are given by (1) [2, 3].

$$Q = Q_n \left(n / n_n \right)$$
$$p = p_n \left(n / n_n \right)^2 \quad (1)$$
$$P = P_n \left(n / n_n \right)^3$$

In the previous equation nominal values are indexed with n. Hydraulic power of the centrifugal pump can be determinate using measured values of the system's pressure and flow by following equation:

$$P = 100\, Q \cdot p \quad (2)$$

where: Q –water flow in l/s, p –pressure in bar.

EXPERIMENTAL SETUP

At the Laboratory for Process Engineering at Faculty of Technical Sciences Cacak, pump system was implemented for the teaching and scientific research purposes. Figure 1 shows the pump system, while Figure 2 shows the diagram of its hydraulic part. The maximum system pressure that can be make is 6 bar, with a maximum flow rate of 5 l/s.

The system consists of a 400 liters capacity circulation tank (1) from which the system is supplied with water. The pipe system is made with 6/4" PVC pipes, which are connected by compatible couplings and valves. The pump unit (3) consists of a centrifugal pump ran by induction motor. Pump is located below the water level in the tank. For water movement makes six section centrifugal pump *Grundfoss* type CM10-6 A-R-I-E-AQQE F-A-A-N was used [4]. The pump nameplate data are following: flow rate Q = 10 m^3/h (2.78 l/s), head H = 78.3 m (pressure ≈7.7 bar), speed of rotation n = 2900 min^{-1} and MEI ≥ 0.52. The pump is run by a three-phase 4 kW induction motor, with power factor of 0.87-0.84, and efficiency of 85.5% (IE2 class).

In order to obtain different system flow and pressure (i.e. pump speed of rotation) Danfoss VLT Aqua Drive FC 202 frequency converter [5] was used. This frequency converter was designed for operation in pumping systems for water supply. Speed reference was realized by a potentiometer placed on the door of electrical cabinet (9). The frequency converter with other electrical control equipment is located in the cabinet (9).

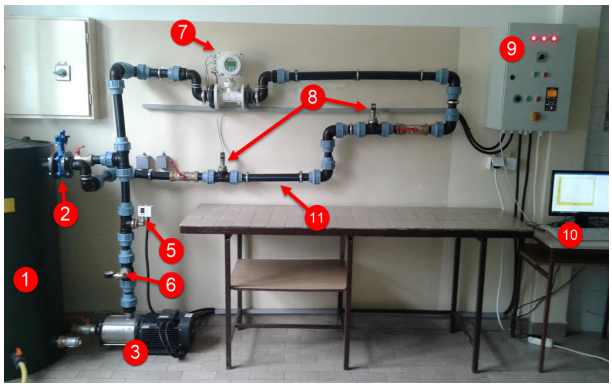


Fig. 1. *Components of the pump system*

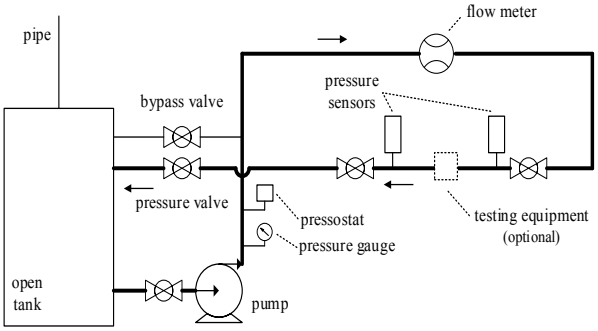


Fig. 2. *Hydraulic diagram of the pump system*

For measurement of water flow in the pipes the electromagnetic flow meter (7) was used. This flow meter can measure the flow rate in the range of 0 – 60 m^3/h (16.6 l/s). Flowmeter provides a 4 – 20 mA current signal at its output. In addition, the flow meter has an LCD display on which the current values of flow can be read.

For pressure measurement, *Danfoss* two sensors (8) was used. Measuring range of this type of sensor is 0 – 10 bar with current output signal in the range of 4 – 20 mA. Between these two pressure sensors (11) equipment for testing can be installed (turbine - PAT system, valve, etc.). In this paper testing of hydraulic components was not considered. Therefore, between two pressure sensors only a pipe was installed and sensors provides identical value of the pressure. In that sense measurement of one pressure value is used for determination of the system and pump characteristics.

Current signals from the flowmeter and pressure sensors are measured by using NI

6009 acquisition card and its analog inputs. All current signals from sensors are converted into a voltage signals. The acquisition card is galvanically isolated from the computer. The measured signals are processed in LabVIEW software. In this way measured signals are numerically and graphically presented. Functions $p=f(Q)$ and $P=f(Q)$ are graphically presented using this software.

Pressure valve (2) is used for changing the position of the working point of system. In this way the characteristics of pump and pipe system was measured. The pressure valve has a handle with marked positions.

From the safety reasons pressure switch (5) was used. Pressure limit is necessary to avoid pipe damage or damage of any other element in the system. If the pressure exceeds permitted value, pressure switch will react and turn off the induction motor. Beside pressure sensor, analog barometer (6) was used for visual monitoring of pressure value.

EXAMPLES OF MEASUREMENT RESULTS

One of the base characteristics of pump system is pressure (or head) depends on the flow. Each pump system has an operating point, which can be determined as the cross section of the two characteristics: *p-Q* characteristic of hydraulic system and *p-Q* characteristic of pump.

Figure 3 shows the pressure values depending on the water flow in the system. In this way, the characteristics of the centrifugal pump at different speeds of rotation (motor frequency) are obtained. The measuring of these characteristics was carried out by gradually closing the pressure valve for each frequency. In this way, the pressure in the system was increase, with decrease of flow. For example, at a frequency of 50 Hz, with the gradual closing of the pressure valve, the flow rate decreased from 4.4 to 3.2 l/s with the pressure increase from 0.7 to 6.2 bar.

Figure 4 show the results of measurement for *p-Q* characteristic of hydraulic system. These characteristics are obtained for set precept of closing (position) of the pressure valve, with the gradual change in the pump speed (i.e., the motor frequency change). As expected, the minimum pressure (0.5 bar) and the maximum flow rate (4.4 l/s) was realize with the fully open of valve. If the valve gradually closes, the pressure increases in the pipe. Thus, at a 90% valve closed, water flow was reduced to 0.6 l/s, and pressure was increased to 6.3 bar.

The operating point of the hydraulic system is obtained by cross-section of two characteristics from Figures 3 and 4. In fact, the operating point will determine the pump speed (frequency) and the pressure valve close position.

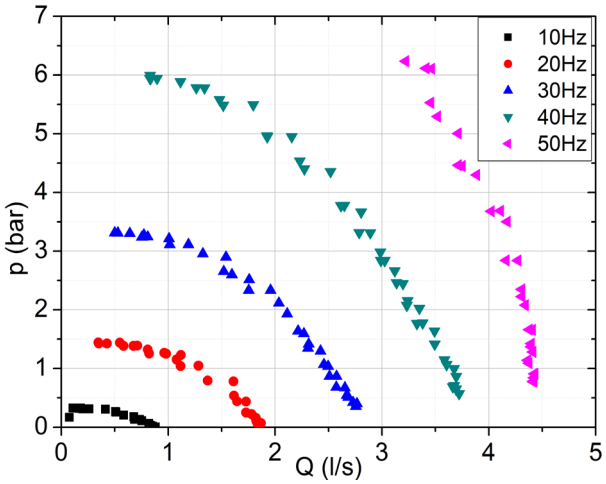


Fig. 3. *Pressure-flow characteristic of centrifugal pump for different speeds of rotation (motor frequency)*

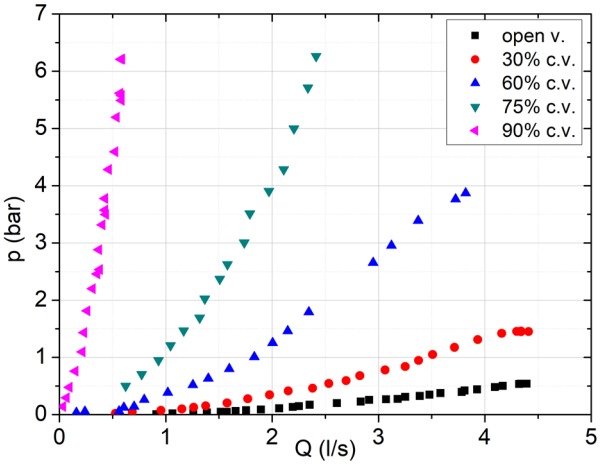


Fig. 4. *Pressure-flow characteristics of hydraulic part of the system for different openness of valve*

Values of hydraulic power of the centrifugal pump for different speeds of the pump rotation (motor frequency) are shown on figure 5. Thus, the *P-Q* characteristics for the used pump are obtained. Values of power are calculate using equitation (2), pressure and flow values are given in Figure 3. It is noticed

that the pump power is greater at higher speeds. Also, the measuring show that the maximum power is realized for the singular value of flow. The maximum hydraulic powers for specific frequencies are: 13.6 W (0.51 l/s) at 10 Hz; 137.5 W (1.1 l/s) at 20 Hz; 456.4 W (1.95 l/s) at 30 Hz; 1097.3 W (2.52 l/s) at 40 Hz; 2115.8 W (3.46 l/s) at 50 Hz. Measuring the maximum power at 50 Hz was not possible due to limited value of pressure in the pipe system.

Figure 6 shows the power of the hydraulic system for different pressure valve close position. Values of power are calculate using equitation (2) and values of the pressure and flow given in Figure 4. Power of the hydraulic system exponential rise with flow. Maximum power (1500 W) was achieved at 75% of pressure valve close position and flow rate of 2.4 l/s. A significantly higher power can be achieved with a 90% closed pressure valve, but the limitation of pressure does not allow the power more than 365 W.

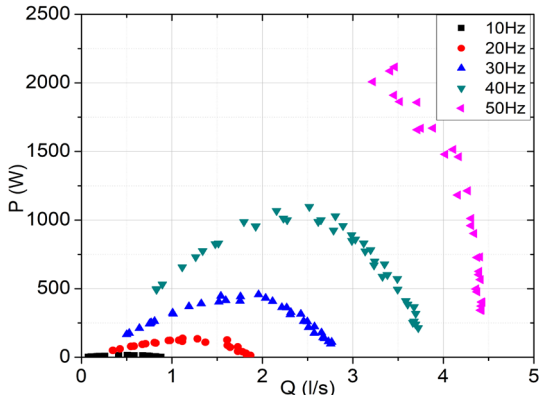


Fig. 5. *Power-flow characteristic of centrifugal pump for different speeds of rotation (motor frequency)*

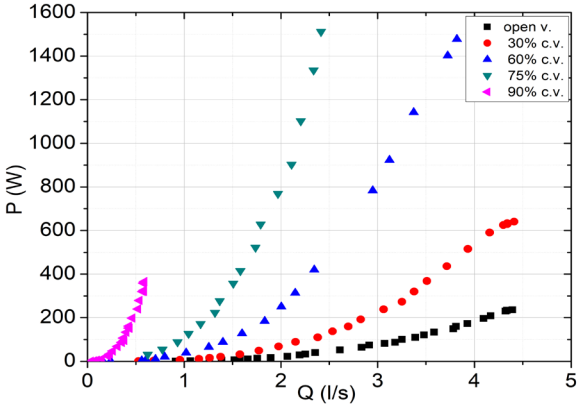


Fig. 6. *Power-flow characteristics of hydraulic part of the system for different pressure valve close positions*

CONCLUSION

The paper presents the realized educational setup for measuring the characteristics of the pump system. The used equipment and the results of measured pressure and water flow in the system are described. Working on this system allows:

- determination the characteristics of a centrifugal pump and the pipe system,
- measurement of flow and pressure using the sensors,
- determination of the operating point of the pump system,
- relation between pump rotation speed and pump efficiency or hydraulic power,
- use the frequency converter for optimal operation of the pump system by adjusting the operating point, etc.

In further work the pump system can be used for the input (electrical) power measurement, with purpose to determine the efficiency of motor-pump system. Also, measurements of *p-Q* characteristics of individual valves or turbine can be performed.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is a result of the project TR33016 which is supported by Ministry of Education, Science and Technological Development of Republic of Serbia.

REFERENCE

[1] Đ. Čantrak, M. Banjac, N. Janković, D. Ilić, "Pump system in the energy manager training center at the Faculty of mechanical engineering University of Belgrade", Proc. of regional conference: IEEP in South Eastern European countries, Zlatibor, Serbia, 21-24. jun 2017.

[2] *Centrifugal Pump Handbook*, Sulzer Pumps, 3ed edition, Elsevier, 2010.

[3] *The Centrifugal Pump*,Grundfos Available: http://machining.grundfos.com/media/16620/the_centrifugal_pump.pdf

[4] Grundfos Pump, data sheet. Available on: https://www.lenntech.com/uploads/grundfos/97644355/Grundfos_CM10-6-A-R-I-E-AQQE.pdf

[5] Danfoss VLT® AQUA Drive FC 202. Data sheet. Available on: https://www.danfoss.com/en/products/ac-drives/dds/vlt-aqua-drive-fc-202/#tab-overview

NEW TRENDS IN SOFTWARE TESTING COURSE IN HIGHER EDUCATION

Olga Ristić, Marjan Milošević, Maja Radović, Sandra Milunović-Koprivica, Milan Vesković
Faculty of Technical Science in Čačak, University of Kragujevac, Serbia

Abstract

Software Testing is a fundamental course that is being studied at most IT faculties. However, in recent years, this subject is change because a large number of different types of software application have appeared (web, Android, iOS, ...). Nowadays, there are over a hundred types of software testing. Software Testing course becomes more important because production owner requests high-quality software. As this subject is studied at some IT faculties in Serbia, it is necessary to continually innovate the subject, but in some faculties is not in the curriculum. These faculties must take the initiative to make changes to the study program, in order for the students to be adequately educated and able to find a job in any stage of software development. This paper presents a review of faculties in Serbia that also have this course and faculties that do not have the Software Testing course in their curriculum. New trends need to be included in education so that IT students can be employed immediately after graduation.

Keywords: Software Testing course, education, students.

INTRODUCTION

The principle of software testing today differs greatly when it compared with those used a few decades ago. Employees who develop software application earlier performed tests on their own. Testing was based only on debugging the application. Later, in companies were employed software testers whose job was only based on testing. The test teams were formed within larger firms with more developers. Today, there are so many software firms that are exclusively dealing with software testing. Testing has become a significant process in the development of software products and is no longer the last stage in the software development life cycle (SDLC), but it is used in all developing stages. This means that the testers are included from the first phase of SDLC (user requirements), through the design and all other phases to the delivery and maintaining. It is therefore important to follow trends related to testing [1].

All that means, Software Testing (ST) must be even elective course in Information Technology (IT) higher education. In Serbian faculties who educate IT engineers in many curricula this course does not exist. That is the main disadvantage of our IT education.

HISTORY OF SOFTWARE TESTING

Software testing was starting to use when the first computer application was created. The word "testing" can be explained as an examination of whether something works properly, and whether the input values get the corresponding output values. Software testing was previously performed at the end of the code writing or in cases where the application written by the developer is complex the programmer most often implemented it after writing a particular module (function). However, in recent years with the rapid development of various types of applications (web, Android iOS, IoT ...) and different kind of devices running these applications, testing has become increasingly important. In the application development, the key role of the test bench is through all stages of SDLC. The software quality must be as good as it is in terms of the application functionality, as well as the satisfaction of the application users. This will be achieved only by proper testing.

In the last decade software testing becomes an important part of SDLC. Currently there are more than 100 different types of software testing [2]. What kind of testing will be carried out depends on many factors such as: the

complexity of the application, the type of application, whether it is necessary to be implemented on one type of device or on several different devices, etc. In simple applications, manual testing is dominant. With the increasing applications complexity, the automation of the testing process is becoming more intense, so the number of employees who will be employed on software testing increases every year.

NEW TRENDS IN SOFTWARE TESTING

Nowadays, testing has a lot of new flexible methodologies, deep integration with the development process, extensive use of test automation, an enormous set of technologies and tools, cross-functionality of the team (when the programmer and tester can do each other's work).

The quality assurance (QA) professionals have to rapidly adopt changes in the software testing industry to stay relevant. All this has contributed to the emergence of new trends presented in Figure 1 [3]. These trends must be including and learning in ST courses in higher education.

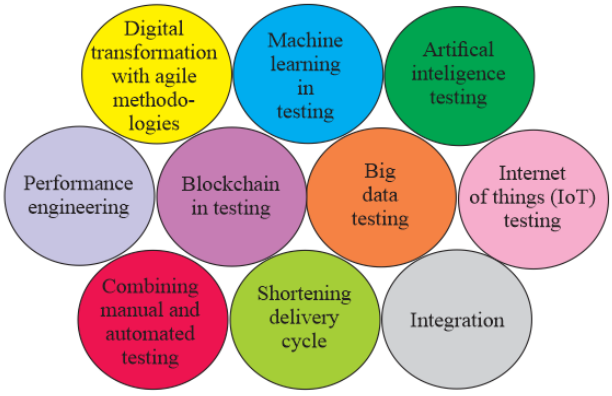


Fig. 1. *Software testing new trends*

With the advent of Agile and DevOps development technologies, the software development industry is undergoing major disruptions.

DIGITAL TRANSFORMATION WITH AGILE METHODOLOGIES

Business is undergoing digital transformation ever since data has become valuable in gaining insights. The latest addition to this trend is the adoption of agile methodology to undergo a digital transformation. Agile methodology helps to align digital transformation initiatives with business needs.

The agile team defines business challenges, objectives and use cases. In the agile approach, new features are delivered incrementally with each sprint. As digital transformation is an ongoing process, agile helps to deliver valuable outcomes (part of the software application) frequently for the business rather than waiting for a long time.

Main strategies in the digital world will be:

- Focus on customer experience, not on functional validation.
- Provide a different aspect of testing and end-to-end validation.
- Focus on innovation and continuous learning.
- Optimization and acceleration of testing.

MACHINE LEARNING IN TESTING

Machine learning is bringing revolutionary changes in software testing processes. Many mobile applications are difficult to test. Tester needs more time for testing on different devices, so the greater chance that testing will not properly be finished and bugs will be later found in the software. Consumers don't like these bugs, and they will not use it, which negatively affects their reputation. Machine learning teaches systems to learn and apply that software testing knowledge in the future. That's why machine learning makes software testers come up with more accurate results than traditional testing ever could. The probability of error is getting reduced and the time needed to perform a software is shortened. The amount of data that needs to be handled in the future application will increase. In software testing, machine learning can be used for:

- Test suite optimization – To identify redundant and unique test cases.
- Predictive analytics – To predict the key parameters of software testing processes on the basis of historical data.
- Log analytics – To identify the tests cases which need to be executed automatically.
- Defect analytics – To identify high-risk areas of the application for the prioritization of regression test cases.

ARTIFICAL INTELLIGENCE TESTING

The goal of using machine intelligence is to make testing easier and faster, just like with the traditional use of tooling to support any activity. Some tasks that couldn't be done before are now possible by using intelligent machines. Testing is used for gathering information about achieved benefits and remaining quality risks that is used to determine the confidence of stakeholders' system. This final judgment about confidence still has to be made by a human being, because the accountability for business processes can't be delegated to a machine, no matter how intelligent they may seem to be.

In the decision-making process, which includes standards, decisions can be based on facts rather than feelings and opinions. To believe that decisions made by machines powered by AI are correct, we need to test these systems. Such systems are already in use. Google, for example uses them to improve their products. The company is rethinking and has applied AI across all products to solve problems. For example, its Streetview automatically recognizes restaurants with the help of machine learning. Google is continuously testing and improving its machine learning using AI.

BIG DATA TESTING

Big Data is the high volume of data generated fast. In Big Data testing, testers have to challenge with automation, virtualization and large dataset. Tester works, usually, with an unstructured huge amount of data set. This type of testing focuses on performance testing and functional testing.

The quality of data is also a critical factor in big data testing. It is verified before the testing begins. The data quality is checked on the basis of various characteristics such as conformity, accuracy, consistency, validity, duplication, data completeness, etc.

INTERNET OF THINGS (IoT) TESTING

The rapid growth of products associated with IoT is having consequences in systems design. Many systems we now develop are parts of an IoT solution. Combining new properties together with all the connectivity options bring an infinite number of situations that IoT solution can be in.

There are more connected devices than ever before as IoT technology is gaining traction. IoT testing is conducted to test IoT technology based devices. The various types of testing for IoT systems are as follows:

- Usability Testing – To test the usability of an IoT system.
- Compatibility Testing – To check the compatibility of devices in the IoT system.
- Reliability and Scalability Testing – Simulation of sensors utilizing virtualization tools.
- Data Integrity Testing – To validate the integrity of data.
- Security testing – To validate the user authentication process and data privacy controls.
- Performance Testing – To test the performance of the connected devices in an IoT network.

PERFORMANCE ENGINEERING

Performance engineering soon will replace performance testing. The focus will be on analyzing how all the elements of the system work together. Executing performance test scripts will be changed. The elements of the system include hardware, software, performance, security, usability, configuration, business value and the customer. The main goal of performance engineering is collaborating and iterating all elements and delivering quickly high-quality software.

BLOCKCHAIN IN TESTING

Blockchain technologies make possible a digital asset unique and safely transfer ownership. With smart contracts, the conditions for the transaction are automated. Transaction history is kept in an audit trail and is immutable. What is stored in Blockchain is very safe: there is not one database that may be hacked to commit fraud. The individual blocks are all cryptographically secured, just like the identification of both the sending and the receiving party of every transaction.

There are many different Blockchain platforms available with different characteristics. The first step in a successful Blockchain implementation should, therefore, be to make the right choice:

Which platform with what characteristics will be the best enabler in reaching certain goals.
The first step in Blockchain implementation is to choose a Blockchain platform. Next step is to created software for interacting with the Blockchain solution such as mobile apps. Also, determine which services are proper for allowing connectivity from apps or external systems.

COMBINING MANUAL AND AUTOMATED TESTING

More and more quality assurance professionals are using a combination of manual and automated testing approaches to harness the benefits of both as well as to overcome their respective shortcomings. The manual testing is still dominating the testing industry. Although automated testing brings about efficiency in the testing process there are still certain areas such as usability and design which requires manual efforts.
The test automation helps the testing team to track and manage all testing needs and helps to delivered high-quality software. Specialized tools are used to control the execution of tests to compare the actual results against the expected results. Mainly the regression tests which require repetitive actions are automated.
Automation tools are used for both functional and non-functional testing. Nowadays, there are more than 50 free automation software tools [4]. Sometimes it is difficult to choose the right one.

SHORTENING DELIVERY CYCLE

Rapid changes in technologies, platforms, and devices are putting pressure on software development teams to deliver the finished products faster and more frequently. Testing must be integrated with development to facilitate delivery. Software organizations are ready to invest more in improving their development and delivery processes by employing the right set of tools. The need for test management tools will increase to match up with shortening delivery cycles.

INTEGRATION

With shortening delivery cycles, there is a greater need for integration of various elements of a product development. To facilitate smart testing and analytics, the data is collected from disparate sources such as requirement management systems, change control systems, task management systems, and test environment. This implicates that there is a need for integrated tools which help in requirement management, task management, bug tracking and test management.

REVIEW OF IT UNDERGRADUATE PROGRAM IN SERBIA

The number of IT students at Serbian colleges is rapidly increasing. These occurrences barely have an impact on ST course, so in many faculties it remains aside. Most of the courses are based on software development, while mistakes and bugs in code are not being properly handled. No matter how experienced the programmer is mistakes can always occur. Software testing is crucial for software quality since costumer wants his product to be optimized and to work without errors.
List of all faculties in Serbia with corresponding undergraduate studies which provide ST course is presented in Table 1. In column No. of Students there is given a number of students who enrolled faculties in 2017 [5]. It can be concluded that only about 30% of all students who are studying undergraduate IT studies have ST course.
Therefore, most of the faculties cannot provide graduate students with knowledge in both software development and testing. Larger companies usually make separate sectors for software testing, which are better known as Quality Assurance (QA) sectors. The need for QA engineers (software testers) still continues to increase since there is a lack of qualified people for that position. Consequently, including ST course in as many as possible faculty programs will result in a greater number of QA engineers, which is beneficial for both companies and graduate students.
Increasing demands of end users and the complexity of applications created for them, the quality of software must be exceptional. Graduate students of IT studies must have abilities required for working at any stage of SDLC. Although ST course is a part of the curriculum at many faculties in Serbia for more than 20 years, there are still a lot of faculties where ST course is not being studied as a

separate subject. These faculties are displayed in Table 2. This can be a big disadvantage of the study program because proper knowledge of software testing cannot be achieved by learning as a part of other courses.

Approximately 3700 students attend undergraduate IT studies in Serbia [5]. About 50% of those students are graduating within the program completion deadline. Out of the total number of IT students, about a third of them have ST course included in their studies.

Authors of this paper propose that, due to the importance of this field, all IT study programs should have ST course at least as an elective subject. The above mention new trends in software testing must be included in the ST course program. Thus, graduate students would have the opportunity to apply for positions in the area of software testing. This would be beneficial for students and employers because students would be able to find a job in the field of software testing without additional training, and employers could hire qualified engineers without difficulties.

Table 1. *List of faculties which have ST course in IT undergraduate studies*

No.	Faculty name and place	Undergraduate academic studies	No. of Students
1.	Faculty of Electrical Engineering in Belgrade	Software Engineering	180
2.	ICT in Belgrade	Internet Technology	40
3.	Faculty of Technical Science in Novi Sad	Engineering of Information Systems	80
		Software Engineering and IT	80
4.	Faculty of Science and Math in Novi Sad	Information Technology	80
5.	Technical Faculty "Mihajlo Pupin" in Zrenjanin	IT-Software Engineering	40
6.	Faculty of Science in Kragujevac	Informatics	100
7.	University of Novi Pazar	Software Engineering	40
8.	Department of Economics of the State University in Novi Pazar	Business Informatics	40
9.	Faculty of Information Technology in Belgrade, Metropolitan in Belgrade	Software Engineering	84
		Game Development	20
10.	RAF in Belgrade	Computer Science	25
11.	Faculty of Informatics and Computing, University Singidunum in Belgrade	Computer Science and Informatics	80
		Software and Information Engineering	50
12.	FINTECH, University Educons in Belgrade	Information Technology	60

CONCLUSION

To satisfy customer needs, the QA professionals' needs to stay updated on the latest testing trends. The only way to be immune to the disruptions in the software industry is to prepare for the future. The above-mentioned software trends will help testers in investing their time and efforts in acquiring the rights skills and testing tools.

Many changes have been made to the ST course in IT undergraduate studies. The challenge was to ensure that all these improvements and new trends met the objectives of the ST course. The main goal of this paper is to show the shortage of IT studies in Serbia without ST course.

ACKNOWLEDGMENT

The work presented in this paper was funded by grant III46001 and III47003 for the period 2011-2018 by the Ministry of Education, Science, and Technological Development of the Republic of Serbia.

Table 2. *List of faculties which do not have ST course in IT undergraduate studies*

No.	Name and Place	Undergraduate academic studies	No. of Students
1.	Faculty of Electrical Engineering in Belgrade	Computer Engineering and Information Theory	250
2.	Faculty of Organization Science in Belgrade	Information Systems and Technology	330
		Information Systems and Technology-Distance Learning	100
3.	Faculty of Mathematics in Belgrade	Informatics	160
4.	Faculty of Electronic Engineering in Nis	Computers and Information Technology	250
5.	Faculty of Science and Mathematics in Nis	Computer Science	55
6.	Faculty of Technical Science in Novi Sad	Computing and Automatic	240
		Information Engineering	60
		Applied Software Engineering	160
		Animation in Engineering	60
		Information Technology	35
7.	Technical Faculty "Mihajlo Pupin" in Zrenjanin	Information Technology	80
		Information Technology Management	25
8.	Faculty of Science in Kragujevac	Computer and Software Engineering	60
9.	University of Novi Pazar	Computer Engineering	109
10.	Faculty of Science in Kosovska Mitrovica	Informatics	40
11.	Faculty of Technical Science in Kosovska Mitrovica	Electrical and Computer Engineering	80
12.	**Faculty of Technical Science in Cacak**	**Information Technology (from 2014 accreditation)**	**80**
		Electrical and Computer Engineering	80
13.	Faculty of Information Technology in Belgrade, Metropolitan	Information Technology	84
		Information Systems	66
		Computer Engineering	25
		Computer Design	20
14.	Faculty of Informatics and Computing, University Singidunum in Belgrade	Information Technology	50
15.	Faculty of Economics and Engineering Management in Novi Sad	Informatics	50
16.	Faculty of Information technology – ALFA, University in Belgrade	Information Technology	25
17.	Faculty of Mathematics and Computer Science –ALFA, University in Belgrade	Informatics	25
18.	Faculty of Computer Science, Megatrend	Informatics	75

REFERENCE

[1] Tom van de Ven, Rik Marselis, Humayun Shaukat: Testing in digital age, 2018, ISBN 978-90-75414-87-5

[2] https://www.guru99.com/types-of-software-testing.html [Access 5 October 2018]

[3] https://www.ijirset.com/upload/2016/april/99_Software.pdf [Access 6 October 2018]

[4] https://www.guru99.com/testing-tools.html [Access 5 October 2018]

[5] Šošić Stefan, Ristić Olga, Mitrović Katarina, Milošević Danijela: Software Testing Course in IT Undergraduate Education in Serbia, Proceedings of 7th International Scientific Conference Technics and Informatics in Education - TIE2018, Čačak, Serbia, 25-27th May 2018, ISBN: 978-86-7776-226-1, pp. 224-229.

ОБУЧЕНИЕ ПО АВТОМАТИЗИРАНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ЦИФРОВИ СХЕМИ

Петър Борисов Минев, Валентиина Стоянова Кукенска[1], Матьо Стефанов Динев[1]
[1]Технически университет - Габрово

TEACHING FOR AUTOMATION DESIGN OF DIGITAL CIRCUITS

Petar Borisov Minev, Valentina Stoyanova Kukenska[1], Matyo Stefanov Dinev[1]
[1] Technical University of Gabrovo

Abstract

This report presents a methodology for practical training of students in disciplines related to automated design of digital circuits and systems from the curriculum of department "Computer Systems and Technologies". The methodology is based on the principle of hierarchical design of digital hardware designs with VHDL language. This project is realized on school boards with FPGA, using the accompanying software development environments. The methodology is demonstrated by creating a sample project of a digital circuit with VHDL.

Keywords: Teaching; VHDL programming; FPGA; Automation design tools; Digital circuits.

ВЪВЕДЕНИЕ

Автоматизираното проектиране на цифрови схеми се изучава в група от избираеми и задължителни дисциплини от бакалавърската и магистърска програми на специалност "Компютърни системи и технологии" в Технически университет – Габрово.

Студентите получават знания по основните методи за функционално, логическо и структурно проектиране на цифрови схеми и системи, включително езици за хардуерно описание на електронни схеми, като VHDL, особености при проектирането с програмируеми логически интегрални схеми (FPGA) и тяхното приложение, както и умения за работа със системи за автоматизирано проектиране на цифров хардуер.

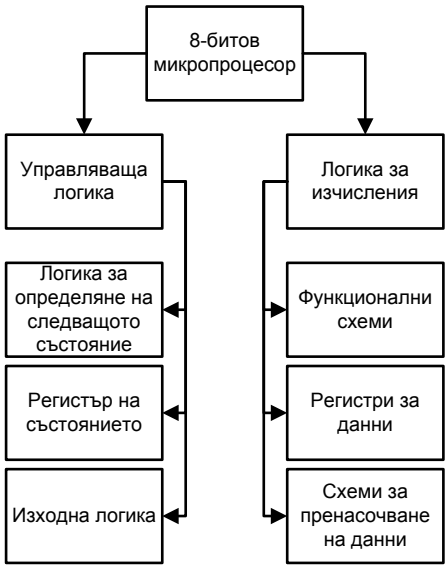
На студентите са необходими предварителни знания по следните дисциплини: Анализ и синтез на логически схеми, Цифрова схемотехника, Автоматизация на инженерния труд, Микропроцесорна техника, Компютърна периферия.

За подпомагане на обучението е създадена библиотека от модели на стандартни цифрови схеми, като броячи, шифратори и дешифратори, мултиплексори, различни видове регистри, суматори, умножители, компаратори и др. Тя се използва от студентите при разработването на йерархични проекти в лабораторните упражнения. Така в процеса на тяхното обучение се прилага един от основните принципи при проектиране на цифрови схеми – йерархичното проектиране.

Йерархичното проектиране е методология, при която една схема се разделя рекурсивно на по-малки модули, след което всеки модул се проектира независимо от останалите. При необходимост процесът на разделяне може да продължи с декомпозиране на вече разделените модули. Така, една сложна схема последователно се разделя на подсхеми, позволявайки на студента да се фокусира върху една малка и лесна за проектиране част от схемата. [1]

Рекурсивното разделяне на една схема на модули и последващото декомпозиране на вече разделените модули, позволяващо проектиране на всеки модул независимо от останалите е представено на фиг. 1. Микропроцесорът е разделен на логика за управление и логика за изчисления [2]. Логиката за управление се подразделя на: логика за определяне на следващото състояние; регистър на състоянието и изходна логика. Логиката за изчисления се разделя на: схеми за пренасочване на данните; функционални схеми и регистри за данни. Функционалните схеми се представят с аритметико-логическо устройство, регистрите за данни

– с регистров файл, а схемите за пренасочване на данните се заменят с мултиплексори. В управляващата логика един програмен брояч заменя регистъра на състоянието, а изходната логика се заменя с памет за инструкции и декодираща инструкциите логика. Ако е необходимо процесът на декомпозиция може да продължи, за да се намали още повече сложността на модулите. Например, АЛУ може да се раздели на суматор, умножител, схема за сравнение и пр.

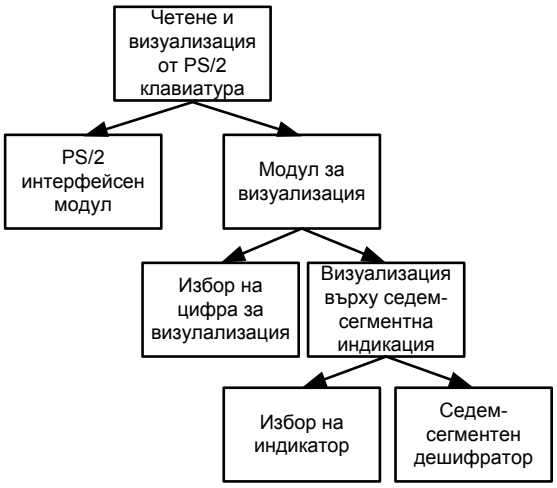


***Фиг. 1**. Йерархично описание на 8-битов микропроцесор*

ИЗЛОЖЕНИЕ

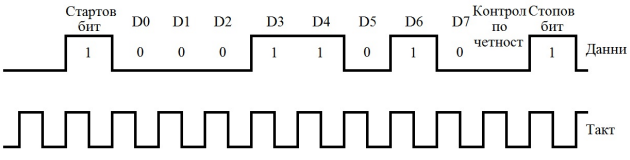
Използването на принципа на йерархичната декомпозиция в процеса на обучение по автоматизирано проектиране на цифрови схеми е демонстрирано чрез представянето на учебен проект на схема за приемане на данни за натиснат клавиш от клавиатура и визуализацията им върху седемсегментна индикация.

Разделянето на проекта на модули е представено на фиг. 2. Първоначално схемата е разделена на интерфейсен модул, който да приема постъпващите данни по PS/2 интерфейса на клавиатурата и модул за визуализация на приетите данни върху седемсегментна индикация. Модулът за визуализация от своя страна може да бъде разделен на две подсхеми. Една за избор на цифра, която да се визуализира и друга за преобразуване на цифрата в код за визуализация върху седемсегментен индикатор. Обикновенно седемсегментната индикация се състои от два, четири или повече индикатора. Това налага модулът „Визуализация върху седемсегментна индикация" да се раздели на схема за избор на индикатор и седемсегментен дешифратор, преобразуващ двоичния код на цифрата в седемсегментен код.



***Фиг. 2**. Йерархично описание на схема за четене и визуализацията на данни за натиснат клавиш*

Интерфейсът на клавиатурата се състои от две комуникационни линии: линия за тактов сигнал и линия за данни. Един байт с данни се изпраща в единайсет битов пакет, който съдържа: стартов бит; осем информационни бита; бит за проверка по четност и стопов бит. Формата за предаване на данните и съответстващите им тактови импулси са показани на фиг. 3.



***Фиг. 3**. Времедиаграма на преноса на PS2 данни*

PS/2 интерфейсният модул осигурява връзката между клавиатурата и останалата част от проектираната схема. Той поддържа комуникационния протокол с клавиатурата и осигурява преобразуването на последователния код в паралелен [3]. За неговата реа-

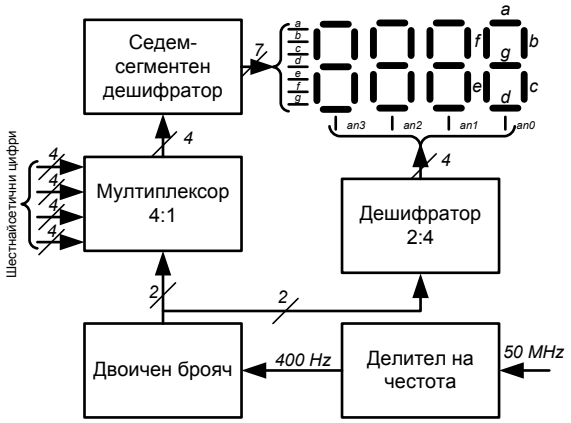
лизация може да се използва преместващ регистър. Част от програмния код на VHDL на преместващ регистър за четене от PS/2 клавиатура е представен на фиг. 4.

```
5
6   ENTITY SR IS
7     PORT ( rst : in  STD_LOGIC;
8          PS2c : in  STD_LOGIC;
9          PS2d : in  STD_LOGIC;
10         keycode : out  STD_LOGIC_VECTOR(7 downto 0));
11  END SR;
```

Фиг. 4. *VHDL описание на PS/2 инетрфейсен модул за клавиатура*

Модулът за визуализация на приетия от клавиатурата байт с данни може да се реализира като стандартна схема за динамична седемсегментна индикация. Модулите, от които се изгражда динамична седемсегментна индикация са: седемсегментен дешифратор; схема за избор на цифра, която да се визуализира върху индикаторите в даден момент; схема за избор на индикатор, който да бъде включен в същия момент, в който е избрана и съответната цифра; схема, осигуряваща необходимата честота за синхронно превключване на индикаторите и цифрите.

Схемата на динамична седемсегментна четири разрядна индикация е представена в блоков вид на фиг. 5.



Фиг. 5*. Схема на четириразрядна 7-сегмантна идникация*

Мултиплексорът в схемата от фиг. 5 превключва между подадените на входовете му цифри, така че на входа на седемсегментния дешифратор в даден момент е подадена само една от тях. Дешифтаторът преобразува двоичния код на подадената цифра в позиционен седемсегментен код, показващ кои светодиоди от индикатора ще светят. Превключването между индикаторите се извършва от стандартен дешифтарор, който е синхронизиран с превключването на цифрите от мултиплексора. За тази синхронозация се използва изхода на двубитов брояч, който генерира последователно двоичните стойности на числата от нула до две. Скоростта с която работи броячът определя и скоростта на превключване. За получаване на образ без трептене е удачно да се използва тактова честота от няколко стотин херца. Такава честота може да се получи чрез делител на честота, който да намали честотата на тактовия сигнал от вградения кварцов генаратор върху учебните развойни платки с програмируема логика, използвани в лабораторните упражнения. Делителят на честота може да се реализира чрез многоразреден брояч, както е показано в [4].

Интерфейсните части на програмните кодове на VHDL за представените модули, изграждащи схемата на описаната динамична индикация са представени на фигури 6, 7, 8, 9 и 10.

```
32  entity mux is
33    Port ( sel : in  STD_LOGIC;
34         dig_0 : in  STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
35         dig_1 : in  STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
36         dig_2 : in  STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
37         dig_3 : in  STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
38         hex_dig : out  STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0));
39  end mux;
40
```

Фиг. 6*. VHDL описание на интерфейс на мултиплексор*

```
23  entity seven_seg_dec is
24    Port ( hex_dig : in  STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
25         ssd_an : out  STD_LOGIC_VECTOR (6 downto 0));
26  end seven_seg_dec;
```

Фиг. 7*. VHDL описание на интерфейс на 7-сегментен дешифратор*

```
32  entity dec2to1 is
33    Port ( a : in  STD_LOGIC_VECTOR (1 downto 0);
34         b : out  STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0));
35  end dec2to1;
```

Фиг. 8*. VHDL описание на интерфейс на стандартен дешифратор 2:4*

```
33  entity counter2 is
34    Port ( clk : in  STD_LOGIC;
35         rst : in  STD_LOGIC;
36         count : out  STD_LOGIC_VECTOR (1 downto 0));
37  end counter2;
```

Фиг. 9*. VHDL описание на интерфейс на двоичен брояч*

```
33  entity reg_div is
34      Port ( mclk : in  STD_LOGIC;
35             rst : in  STD_LOGIC;
36             clk_div : out  STD_LOGIC);
37  end reg_div;
```

***Фиг. 10**. VHDL описание на интерфейс на делител на честота*

За изграждане на йерархичния проект във VHDL, свързващ представените VHDL модули се използва шаблон, който е показан на фиг. 11.

Различните модули, участващи в йерархичния проект се декларират като компоненти с техните имена и портове. За свързване между компоненти се декларират сигнали, като за всяка връзка се използва отделен сигнал. Декларираните компоненти се включват във VHDL архитектурата, като се указва какво е свързването между портовете на включения компонент, портовете на общата структура и вътрешните сигналите за свързване.

```
32  entity compreg is
33      Port ( a : in  STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
34             ena : in  STD_LOGIC;
35             rst : in  STD_LOGIC;
36             clk : in  STD_LOGIC;
37             b : in  STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
38             eq : out  STD_LOGIC;
39             lt : out  STD_LOGIC;
40             gt : out  STD_LOGIC);
41  end compreg;
42
43  architecture Behavioral of compreg is
44
45  component reg
46  port (d : in  STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
47             clk : in  STD_LOGIC;
48             rst : in  STD_LOGIC;
49             ena : in  STD_LOGIC;
50             q : out  STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0));
51             end component;
52
53     component comparator1
54     Port ( a : in  STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
55             b : in  STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
56             eq : out  STD_LOGIC;
57             lt : out  STD_LOGIC;
58             gt : out  STD_LOGIC);
59             end component;
60
61     signal t1,t2: STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
62
63  begin
64  u1: reg port map( d=>a, ena=>ena, rst=>rst, clk=>clk, q=>t1);
65  u2: reg port map( d=>b, ena=>ena, rst=>rst, clk=>clk, q=>t2);
66  u3: comparator1 port map( a=>t1, b=>t2, eq=>eq, lt=>lt, gt=>gt);
67  end Behavioral;
```

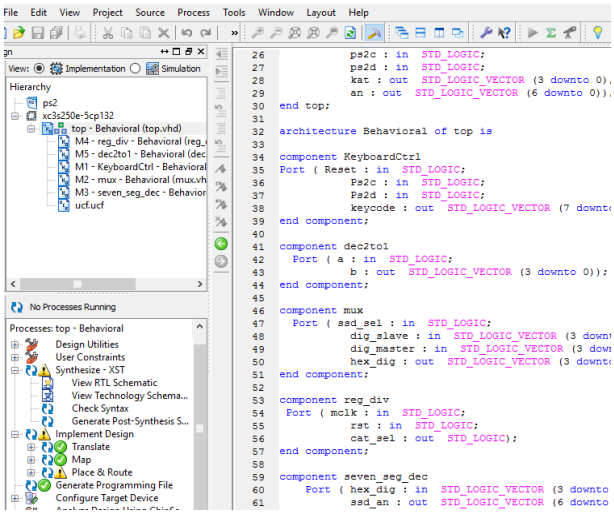
Декларирване на компонент

Деклариране на сигнал

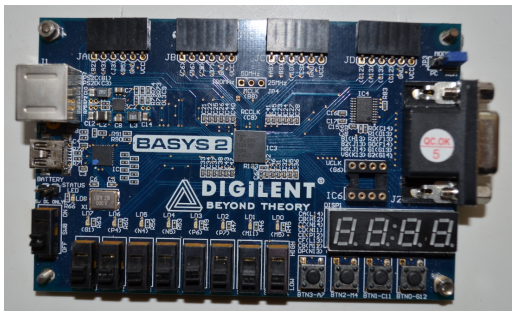
Включване на компонент

***Фиг. 11**. Общ вид на йерархичен проект във VHDL*

След завършване на VHDL описанието на общата структура студентите могат да тестват проекта, като синтезират и имплементират кода, чрез системата за автоматизирано проектиране Xilinx ISE Design Suite 14.7, която е представена на фиг. 12 и учебните развойни платки с програмируема Digilent Basys2 (фиг. 13).



***Фиг. 12**. САПР Xilinx ISE Design Suite 14.7*



***Фиг. 13**. Развойна платка Digilent Basys2*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на йерархичния принцип при проектиране с VHDL предлага две съществени предимства: справяне с нарасналата сложност на цифровия хардуер и многократно използване на вече проектирани подсхеми.

В доклада бе представен един учебен проект, следващ принципа на йерархичното проектиране. В проекта се засяга работата на PS/2 интерфейса, изучаван по дисциплината Компютърна периферия. За реализация на представения проект са използвани само стандартни комбинационни и последователностни схеми, които се изучават по дисциплината Анлиз и синтез на логически схеми. В проекта е реализирано динамично управление на 7-сегментни индикатори, което е включено в обучението по дисциплината Микропроцесорна техника. Така с прилагане на йерархичния принцип в обучението по VHDL и автоматизирано проектиране на цифрови схеми се постига: 1)

обединяване и използване по нов начин на знания от вече изучени дисциплини; 2) многократно използване на вече проектирани стандартни модули с еднакви или подобни функции, които са включени в библиотека с VHDL модели или които студентите сами са разработили по дисциплината Автоматизация на инженерния труд; 3) Съвместна работа на двама или трима студента, всеки от които работи по различни модули от проектната йерархия.

REFERENCE

[1] Chu P., RTL Hardware Design Using VHDL: Coding for Efficiency, Portability, and Scalability. Wiley-IEEE Press, 2006, 694 pages, ISBN 978-0-471-72092-8.

[2] Hwang E., Digital Logic and Microprocessor Design with Interfacing. 2nd edition. Cengang Learning, 2016, ISBN 1305859456.

[3] Kukenska V., P. Minev, I. Varbov. Modeling and Analysis of Interface Module for Keyboard. International Scientific Conference 16 – 17 November 2012, Gabrovo, Vol.1, pp 419–422, ISSN 1313-230X.

[4] Petrov B., P. Minev, I. Varbov. Universal Frequency Divider Based on Programmable Logic Device. 15th Science Conference „Days of Science 2011", 27 May 2011, V. Tarnovo.

ЕКСПЕРИМЕНТИРАНЕ НА МЕТОДИКА ЗА ПРЕДВАРИТЕЛЕН МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА НА ПРОЕКТИ, ФИНАНСИРАНИ ЧРЕЗ ЕВРОПЕЙСКИ СРЕДСТВА

маг. ик. Мария Иванова
Стопански Факултет, Технически Университет София, София 1756, mdelova@tu-sofia.bg

EXPERIMENTATION OF THE METHODICS FOR INITIAL MONITORING AND EVALUATION OF PROJECTS, FUNDED BY EUROPEAN COMISSION

Maria Ivanova, MSc
Faculty of Management, Technical University of Sofia, Sofia, 1756, Bulgaria, mdelova@tu-sofia.bg

Abstract
The test evaluation of the project capacity of the TU Sofia for the implementation of projects funded through European funds using a team of experts from all the main units of the TU showed good adequacy and validity of the obtained assessments in comparison to the successful finished projects in the Technical University of Sofia and definitely proved that it is applicable to all types of European projects that are being implemented. A complete correspondence between the ranking of the project proposals in the test and the real results obtained as a result of the real projects evaluated was demonstrated. The results of the experimental implementation show that the methodology is adequate and applicable in effective and efficient management making decisions for the ranking of potential project proposals.The mathematical toolki, using automated computational procedures in MS Excel was worked out, allows the correct collection of the necessary information, its rapid and efficient processing and summarization as well as easy archiving and the possibility of effective auditing as well as the accumulation of statistical information for future analyzes, , as well as the basis for making efficient management decisions when evaluating project proposals while minimizing the risks in their implementation.
Keywords: project capacity evaluation; project proposals ranking; project evaluating; minimizing the projects risks

ВЪВЕДЕНИЕ

В условията на бюджетен дефицит значително се увеличава значението на усвояемостта на финансовите средства от европейските структурни фондове за реализация на целите и стратегиите за развитие на българските държавни висши училища. Редица автори [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] разглеждат критичните фактори, влияещи на успеха и провала на проектните дейности. Факторите, които подпомагат успеха на проекта са ясно дефинирани цели и приоритети, удовлетвореност на заинтересованите страни, достъп до ресурси, рентабилност, организация и управление, адекватни механизми и др. Факторите, които възпрепятстват проектите са погрешни цели и задачи, липса на подкрепа от ръководството, липса на ресурси, слаба или никаква ангажираност към проекта, съпротива, технически и организационно-управленски проблеми, неподходящи екипни структури, неразчетен бюджет и др. В тази връзка се търси отговор на въпросите, свързани с възможностите за финансиране на проекти по различни програми като се изследва степента на влияние и взаимна обвързаност на различни фактори върху процесите напредварителен мониторинг и оценка, изпълнение, контрол и разходване на средства от фондове и програми на ЕС в условията на държавно висше училище /ДВУ/. Целта е да се изяснят и анализират вътрешните за университетите фактори, влияещи на ефективността и ефикасността на проектното финансиране. Направен е анализ на данни получени от анкетиране и са проверени различни хипотези, свързани с влиянието на различните съставляващи на проектния капацитет върху ефективността и ефикасността на процесите на управление на европейски проекти в ДВУ [8].

На основата на идентифицираните и ранжирани фактори и под фактори в предходно изследване, в което са анкетирани над 160 водещи специалисти в различни орга-

низации и дирекции работещи пряко като управляващи или бенефициенти по европейски структурни фондове е създадена методика за предварителен мониторинг и оценка на проекти, способстваща за повишаване на ефективността и ефикасността при кандидатстване и изпълнение на проекти по фондове и програми на ЕС. Основните елементи на методиката са изложени в [9,10]. Тази методиката предоставя надежден инструментариум за извършване на предварителен мониторинг и оценка на проектни предложения с потенциал да бъдат финансирани чрез програми на Европейския съюз.

Целта на това изследване е да се осъществи апробация на гореспомената методика върху реални проекти, успешно осъществени и приключили с верификация в ТУ София (ТУС) ретроспективно на етапа на тяхното проектно предложение.

ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ ПОДХОД И ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Използваният научен подход за апробация на предложената методика за предварително оценяване се основава на изграждане на две експертни групи – една за оценяване на текущия капацитет на ТУС по отношение на изпълнение на проекти в определени стратегически за университета области и втора група експерти за оценяване на самите проектни предложения.

Обект на изследването са четири реално изпълнени проекти в ТУС.

АПРОБАЦИЯ НА МЕТОДИКАТА

Методиката е структурирана в три модула, обхващащи логически по-горе направените разсъждения:

1. Модул на оценка на проектния капацитет на ДВУ;
2. Модул за оценка на съответствие на проектното предложение с минимални качествени изисквания, позволяващи неговото изпълнение проверка за реалистичност на дейностите;
3. Модул за определяне на проектните предложения, с които ДВУ ще кандидатства за финансиране пред донорски програми и фондове на ЕС.

До този етап на оценка трябва да достигат проекти, за които едновременно е изпълнено, да са реализируеми в условията на конкретното ДВУ (първия модул) и отговарят на минимални качествени изисквания (втория модул).

Апробацията на методиката дава възможност за вземане на управленско решение за класиране на проектни предложения, с които бенефициента ще кандидатства пред договарящи органи, и които имат потенциална възможност да бъдат класирани и одобрени.

Дефинираният проектния капацитет определя по еднозначен начин областта на потенциалните успешни видове проекти.

Обхватът на възможните проекти на ДВУ се определя след две проверки:

Първа проверка:

1. Проверка за минимум допустим капацитет по отделни подфактори табл. 1 и фактори табл. 2 на административния, финансовия, екипния, имиджовия и инфраструктурния капацитет на ДВУ.
2. Проверка за достатъчност на административния, финансовия, екипния, имиджовия и инфраструктурния капацитети за участие в няколко предварително дефинирани направления проекти.

Втората проверка включва:

1. Определянето на обобщените факторни капацитети и съпоставянето им с допустимите по предварително дефинирани видове проекти;
2. Определяне на обобщена стойност на административния, финансовия, екипния, имиджовия и инфраструктурния капацитет;
3. Окончателно определяне на потенциалните насоки на проектна изява на ТУС.

Последователността на дейностите при експерименталното прилагане на методиката. включва следните етапи:

1. Първи етап: Изготвяне на списък с потенциални проекти, които биха могли да бъдат оценени по методиката. Включва изготвяне на списък на реализираните проекти от ДВУ от 2007 досега по видове.

Таблица 1. *Първа проверка на проектния капацитет на ДВУ*

Код подфактор	Име на подфактор Резултат от проверката (отговаря/неотговаря на изискванията) четири реално изпълнени проекти в ТУС	Получена средна бална оценка от експертите	Мин. допуст. оценка	Резултат
А1	Качество на процедурите и правилата	5,24	4	ДА
А2	Ниво на обучение и квалификация на персонала свързано с кандидатстване, ефективното и ефикасно изпълнение на проекти финансирани по фондове и програми на ЕС	4,84	4	ДА
А3	Осигурена достатъчност на персонал за изпълнение на проекти финансирани по фондове и програми на ЕС	5,26	4	ДА
А4	Мотивация на персонала изпълняващ дейности по изпълнение на проекти финансирани по фондове и програми на ЕС	5,13	4.5	ДА
А5	Административен капацитет – специфичен опит на персонала свързан с управление и изпълнение на проекти финансирани по фондове и програми на ЕС	5,78	4.5	ДА
А6	Достатъчност на техника необходима за управление на проекти финансирани по фондове и програми на ЕС	4,96	3	ДА
А7	Ниво на ръководство на проекти финансирани по фондове и програми на ЕС	5,64	4	ДА
А8	Ниво на финансово управление на проекти финансирани по фондове и програми на ЕС	6,10	4,5	ДА
А9	Съгласуване между ръководител на проект и финансов координатор на поемането на финансово задължение	6,18	5	ДА
А10	Избор на изпълнители на дейности по проекта	6,29	6	ДА
А11	Отчет на изпълнението дейностите на проекта	5,78	5.5	ДА
Ф1	Осигуряване на достатъчно оборотни финансови средства по време на изпълнение на проекта	6,27	5.5	ДА
Ф2	Осигуряване на достатъчно финансови средства за осигуряване на съфинансирането на дейности свързани с изпълнение на проекта	5,58	6	ДА
Ф3	Осигуряване на достатъчно финансови средства за гарантиране на устойчивост на резултатите по проекта	5,51	5	ДА
Ф4	Осигуряване на достатъчно финансови средства за обезпечаване на потенциални рискове от финансови корекции и непризнати средства	6,19	5.5	ДА
Е1	Генериране на идеи за проектни предложения с висока добавена стойност/ефективност за бенефициента и обществото	6,48	6	ДА
Е2	Обучение и квалификация	6,61	5	ДА
Е3	Предишен опит в изпълнението на проекти, финансирани със средства от ЕС	6,50	6	ДА
Е4	Брой членове на екип, изпълнявали съвместно проекти, финансирани със средства от ЕС с доказани положителни резултати	6,50	5	ДА
Е5	Силно развито чувство на работа в екип	6,54	6	ДА
Е6	Ясно разбиране на ролите и отговорностите	6,59	5.5	ДА
Е7	Мотивация на екипа	6,64	6	ДА
Р1	Имидж в страната на ДВУ	4,35	4	ДА
Р2	Имидж в чужбина на ДВУ	4,61	4	ДА
Р3	Способност да бъдат осигурявани партньорства	4,78		ДА
И1	Научна инфраструктура на ДВУ	4,90	4	ДА
И2	Образователна инфраструктура на ДВУ	4,80	3.5	ДА
И3	Инфраструктура необходима за осъществяване на дейности по информация и публичност.	5,05	4	ДА

Таблица 2. *Обобщени факторни капацитети*

№	Код	Наименование	Мин. доп. стойност	Текуща стойност	Теглови коефициент	Управл. действие
1.	А	Административен капацитет	4.5	6	0.224199	ДА
2.	Ф	Финансов капацитет	5	5.8	0.231317	ДА
3.	Е	Екипен капацитет	5	6	0.209964	ДА
4.	Р	Рейтингов капацитет	4	4.5	0.160142	ДА
5.	И	Инфраструктурен капацитет	4	6	0.174377	ДА
	К	Обобщен стойност	4.5	5.66	4.262062	ДА

2. Втори етап: Предварително проучване и анализиране на проектите от етап 1. Разделяне в три групи: много успешни, успешни и неуспешни. Събиране на данни за проектите.

3. Трети етап: Избор на четири проекта, по един от всяка група, които ще бъдат оценени по методиката. Тези четири проекта трябва по безспорен начин да попадат в изброените по-горе групи.

4. Четвърти етап: Оценяване, съгласно етапите на методиката, на четирите проекта от по двама независими и компетентни експерти.

5. Пети етап: Събиране и обобщаване на получените данни. Извършват се съответните изчисления и се попълват формулярите.

6. Шести етап: Анализиране на получените данни. Вземане на решение за приложимост на методиката, съобразно получените резултати.

Ако е налично пълно съвпадение между получените резултати от методиката и действителното положение с реализирания вече проект, то за методиката се приема, че е минала през успешна експериментална проверка.

За да отговарят най-пълно на определените условия, за експериментиране на методиката, са избрани следните четири проекта:

1. Проект към ОП Региони в растеж: Подобряване качеството на образователната среда в ТУ София за водещите приоритетни професионални направления 5.3 "Комуникационна и компютърна техника" и 5.13 "Общ инженерство" чрез цялостно обновяване на Блок 3 и Блок 1, с номер BG16RFOP001-3.003-0012.

2. Проект към ОП Развитие на конкурентоспособността на българската икономика 2007-2013: Инфраструктура за бързо дигитално изграждане и материализиране на персонални костни и зъбни импланти, с номер BG161PO003-1.2.04-0037.

3. Проект към ОП „Развитие на човешките ресурси": Актуализиране на учебните програми във висшето образование в съответствие с изискванията на пазара на труда, с номер BG051PO001-3.1.07-0022.

4. Проект към ЕРАЗМУС + по дейност KA103: Повишаване на мобилността на студентите и персонала на Технически университет – София в университети от ЕС през 2017-2018 учебна година, с номер 2017-1-BG01-KA103-035461.

Проведена е оценка на съответствие на четирите проектни предложения с минимални качествени изисквания, позволяващи тяхното изпълнение и проверка за реалистичност на дейностите. И за четирите проектни предложения тя е положителна и те преминават на следващ етап на оценка.

На следващия етап на експериментиране на методиката четирите проектни предложения са оценени от двамата независими експерти, като получените оценки са обобщени в таблица 3.

Извършени са две проверки, при които се установява от една страна съответствие с качествените изисквания, а от друга - липса на дисперсия в оценките. Като резултат от тези проверки се констатира:

1) Оценките подадени и от двамата експерти са над 60 % от общия брой точки, поради което не се налага оценяване на проектните предложения от трети експерт. Те отговарят на качествените критерии.

2) Не се наблюдава значима разлики (повече от три единици според методиката), поради което не се налага определяне на трети експерт. Извършва се определяне на оценката по всеки един показател [11] според (1-1).

$$К = \kappa_А А + \kappa_Ф Ф + \kappa_Е Е + \kappa_Р Р + \kappa_И И \quad (1\text{-}1)$$

където:

$К$ е стойността на обобщена стойност на административния, финансовия, имиджовия и инфраструктурния капацитет;

$\kappa_А$, $\kappa_Ф$, $\kappa_Е$, $\kappa_Р$ и $\kappa_И$ са тегловните коефициенти определени на базата на отговорите на респондентите от втора глава.

Таблица 3. *Оценки по критерии и подкритерии при предварителна оценка на проектното предложение*

№	Код	BG16RFOP001-3.003-0012		BG161PO003-1.2.04-0037		BG051PO001-3.1.07-0022		2017-1-BG01-KA103-035461	
		Експерт 1	Експерт 2	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 1	Експерт 2
	Е	5,75		6,5		5,25		6,79	
1.	Е1	6	4	6	7	6	5	7	7
2.	Е2	5	6	6	7	6	5	6,5	7
3.	Е3	7	6.5	6	7	5	4,5	6,5	6,75
	П	5,50		5,50		6,125		6,79	
4.	П1	5	6	7	5	6,5	7	7	7
5.	П2	5	6	6	4	6	6,25	6,75	6,5
6.	П3	5	6	5	6	6	5	6,75	6,75
	Ф	5		6,50		5,92		6,96	
7.	Ф1	5	5	7	6	6	6	7	7
8.	Ф2	5	6	7	6	5,5	6	7	7
9.	Ф3	5	4	7	6	6	6	7	6,75

При това е изпълнено условието:

$\kappa_A + \kappa_\Phi + \kappa_E + \kappa_P + \kappa_И = 1$

Подадените оценки са по-големи от определените минималните качествени изисквания по всеки един от критериите, когато е проверено при повече от двама експерти се извършва проверка (1-2) и ако не е в сила неравенството, то се назначава допълнителен експерт за преглед на проектното предложение, като неговата оценка, наравно с останалите се използва при определяне на средната по формула (1-1).

$$\max(z_{ji}) > 0,2 \cdot \overline{Z}_j > \min(z_{ji}) \qquad (1\text{-}2)$$

където: $\max(z_{ji})$ е максималната по стойност оценка подадена от всички оценили проектното предложение на j-то базово изискване;

$\min(z_{ji})$ е минималната по стойност оценка подадена от всички оценили проектното предложение на j-то базово изискване. След успешното преминаване на всички проверки се определя общата оценка според (1-2). И се извършва сравнение с минималните качествени изисквания по всеки един от критериите (1-3).

$$\overline{Z} > C \qquad (1\text{-}3)$$

където:

$C = \left| C_1 \quad .... \quad C_f \right|$ е матрица на минималните качествени изисквания;

C_f е минимална бална оценка на f-тия критерий;

$\overline{Z}$ е матрица на осреднените оценки по критериите на минималните качествени изисквания.

Всяко ДВУ, в зависимост от своята взискателност по отношение на качеството на проектите с европейско финансиране, може да определи свои минимални стойности на бални оценки по критерии. Стойностите не могат да бъдат по-малки от 4, но за определени критерии и при отделни видове проекти със засилен риск от допускане на нередности е оправдано те да бъдат чувствително увеличени спрямо коментираното възможно минимално ниво.

Резултатите от качествената оценка на проектните предложения са обобщени в таблица 4. При експериментирането на методиката се извършва ранжиране на оценяваните проекти, като е избран подходът с отворен срок за подаване. В този случай проектите, за да бъдат класирани, трябва да имат оценка по-голяма от 80 % от максималния брой точки.

Таблица 4. *Резултати от оценката на качествените характеристики на проектните предложения*

Код	Е1	Е2	Е3	П1	П2	П3	Ф1	Ф2	Ф3	Обща
BG16RFOP001-3.003-0012	5	5.5	5.75	5.5	5.5	5.5	5	5.5	4.5	5.417
BG161PO003-1.2.04-0037	6.5	6.5	6.5	6	5	5.5	6.5	6.5	6.5	6.167
BG051PO001-3.1.07-0022	5,5	5,5	4.75	6.75	6,13	5,5	6	5,75	6	5,76
2017-1-BG01-KA103-035461	7	6,75	6,65	7	6,65	6,75	7	7	6,87	6,85

Между 60 и 80 % попадат в резервния списък, който се финансира при наличие на остатъчен финансов ресурс. В конкретния случай и четирите проекта попадат в одобрените за финансиране, което е обобщено в Таблица 5. С това апробирането на методиката бе приложено върху четирите различни по вид проекти, успешно реализирани в ТУС.

За експериментирането на методиката е разработен математически инструментариум чрез автоматизирани изчислителни процедури в MS Excel.

Таблица 5. *Одобрените проектни предложения при експериментиране на методиката (с отворен срок за подаване)*

Дата на постъпване	Код на проектното предложение	Обща оценка	Необходими оборотни средства за периода	Необходимо съфинансиране
2018	2017-1-BG01-KA103-035461	6,85	няма	няма
2018	BG161PO003-1.2.04-0037	6,167	няма	има
2018	BG051PO001-3.1.07-0022	5,76	има	няма
2018	BG16RFOP001-3.003-0012	5,417	има	няма

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати могат да бъдат обобщени по следния начин:

1. Тестовото оценяване на проектния капацитет на на ТУ София за изпълнение на проекти, финансирани чрез европейски средства, чрез екип от експерти, показа добра адекватност и валидност на получените оценки съотнесени към реално осъществените проекти.

2. Експерименталното прилагане доказва адекватност и достоверност при оценяване на конкретни реални проекти, изпълнени в ТУ София и че тя е приложима за всички видове европейски проекти. Постигнато е пълно съответствие между класиране на проектните предложения и действително полученото оценяване. Резултатите от експерименталното въвеждане показват, че методиката е адекватна и приложима при вземане на ефективни и ефикасни управленски решения за класиране на потенциалните проектни предложения.

3. Експериментирането доказа, че разработения към методиката математически инструментариум чрез автоматизирани изчислителни процедури в MS Excel позволява коректно събиране на нужната информация, нейното бързо и ефективно обработване и обобщаване, както и лесно архивиране и създава възможност за ефективно одитиране, а също така натрупване на статистическа информация за бъдещи анализи, прогнози, както и основа за вземане на ефикасни управленчески решения при оценяване на проектни предложения с минимизиране на рисковете при тяхното изпълнение.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Gido, J., Clemens, J. (2014). Successful Project Management, 6th Ed. South-Western College.

[2] Meredith, J., Mantel, S., Shafer, S., Sutton, M. (2013). Project Manage-ment in Practice. 5th Ed., Wiley. American Economic Review, 4., pp. 409–414.

[3] Myres, G. (2015). Project Management: Efficient and Effective. Create Space.

[4] Newton, R. (2016). Project Management Step by Step: How to Plan and Manage A Highly Successful Project, 2nd Ed. FT Press.

[5] Pinto, J. (2015). Project Management: Achieving Competitive Advantage, 4th Ed., Pearson.

[6] Pinto, J., Slevin, D. (1988). Project success: Definitions and measurement techniques. // Project Management Journal, 19, pp. 67-72.

[7] Weiffer, M. (2015). Project Management. Everything You Need to Start, Get Trough and Finish Projects Successfully. Create Space.

[8] Anguelov, K., M. Ivanova, Impact factors in implementation of EU-funded projects in Bulgarian Higher Education Institutions, 2018 International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech), IEEE, Indexed by Scopus.

[9] Angelov, K., M. Ivanova, Metodika za opredelyane na faktorite vliyaesthi na efektivnostta na evropeyskite proekti, Spornik dokladi ot Mezhdunarodna nauchna konferenciya, Menidzhmant i inzhenering, 2015

[10] Anguelov, K., Ivanova, M., "Mathematical model for research and analyze EU project in university", 44th Conference Applications of Mathematics in Engineering and Economics (AMEE'17), 2018.

FROM FOAMED SUSPENSIONS TO FUNCTIONAL POROUS MATERIALS

N. Denkov, S. Tcholakova, I. Lesov
Department of Chemical and Pharmaceutical Engineering,
Faculty of Chemistry & Pharmacy, Sofia University, Sofia, Bulgaria

Abstract

Direct foaming of suspensions of solid particles, followed by drying of the obtained foams, is a highly efficient method for production of ultralight porous materials for various applications. Among the key factors in the application of this method is the appropriate choice of surfactant, as well as the optimization of its concentration. These two factors play a crucial role in the processes of suspension foaming and of foam stabilization upon drying. In this talk we summarize briefly our recent results in this area, published in a series of four preceding original papers, as explained below.

We established that there are several common macroscopic properties which control the suspension foaminess and the foam stability, independently of the specific mechanism of foam stabilization (via particle adsorption or via gelation of the continuous phase in the foam): (1) The foaminess is controlled exclusively by the suspension viscosity under shearing conditions which closely mimic the foaming process; (2) The stability of the wet foam is controlled exclusively by the suspension yield stress; (3)The foam stability upon drying is controlled by the homogeneous particle distribution (ensured by mild particle aggregation) and the related homogeneous propagation of the receding water front in the drying foam.

The above set principles allowed us to formulate optimal conditions for preparation of materials of various chemical compositions, such as silica, carbonate, alumina, gypsum, etc. These materials could incorporate different functionalities, including high performance thermal insulation, sound insulation, as catalysts support, tissue scaffolds, and others.

Keywords: functional porous materials, particle suspension, foaminess, foam stability, transport in porous media, thermal insulation.

1. INTRODUCTION

The studies of concentrated suspensions in presence of foaming agents have first been reported in mineral flotation industry [1]. Soon after, first attempts to prepare solid materials from surfactant-particle mixtures were made and patented [2]. Unfortunately, the latter materials never found real applications due to their complexity and to the lack of physicochemical control of their properties.

In the beginning of the 90's, the re-invention of particle containing foams started with the development of gel-casting method [3-4]. Protein- or monomer-containing suspensions were foamed and then settled via wet foam sintering or polymerization [3-5]. These processes provided opportunity for preparation of porous materials of various nature and complexity. However, the fine tuning of the materials' porosity and bubble size distribution was inaccessible at the time, as foams tended to coarsen fast in the wet state. Any optimization of the microstructure was based on trials-and-errors.

In 2006, the group of Ludwig Gauckler in ETH-Zurich re-discovered the particle surface modification using oppositely charged short-chain surfactants and started producing particle-stabilized foams [6-8]. The obtained wet foams were stable against coarsening, but for unknown at that time reasons most of them failed to dry into large-scale materials without cracking [9]. Therefore, these authors continued to study and to use the gel-casting modifications via proteins and enzymes [9,10].

Although their discovery allowed some optimization of the foam air content and pore-size distribution, based on the suspension properties, some of the observed phenomena lacked clear physicochemical explanations: 1) why should only oppositely charged short-chain surfactants be used; 2) which is the key factor to control the suspension foaminess; 3) what prevents the water drainage in these suspensions; 4) why do the materials crack upon drying; 5) what is the relation between the air content in the wet foams and the mass density of the final porous material, etc?

2. FOAMINESS OF SUSPENSIONS

To answer the above questions, we performed several related studies [11-15]. Thus, to clarify the role of surfactant type, we used two different types of surfactants for surface modification of negatively-charged silica particles [11-13]: a) the long-chain cationic surfactant *tetradecyl trimethyl ammonium bromide* (TTAB); and b) the amphoteric *cocamidopropyl betaine* (CAPB).

We found that the cationic TTAB adsorbs fully on the silica surface at low concentrations, whereas the CAPB adsorbs only partially, allowing most of the surfactant molecules to remain dissolved in the aqueous phase of the suspensions. As a result, during foaming with a kitchen mixer, the two surfactants provided two qualitatively different mechanisms of foam stabilization:

A) TTAB adsorbed on the particle surface, thus partially hydrophobizing it. Therefore, the particles adsorbed at the surface of the bubbles and stabilized the foam (see Fig. 1A);

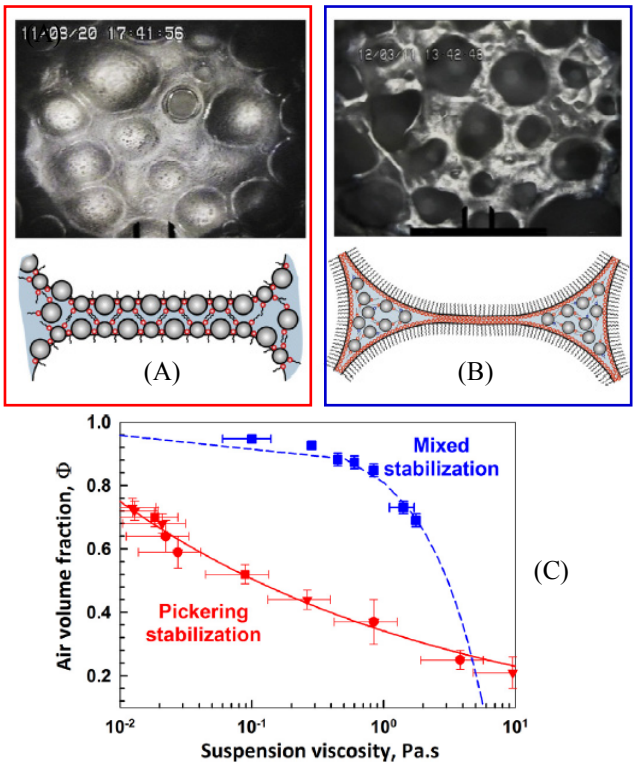


Fig. 1. *Reflected light microscope image and illustrative scheme of the mechanism of stabilization of the foams, prepared from suspensions of silica particles and containing (A) cationic surfactant and (B) amphoteric surfactant. (C) Air volume fraction in foamed suspensions, as a function of the viscosity of the silica-surfactant mixtures for cationic surfactant (Pickering stabilization) and amphoteric surfactant (Mixed stabilization). This figure is adapted from Ref. [12].*

B) CAPB molecules predominantly adsorbed on the surface of the bubbles, while the modified solid particles remained in a gelled state in the aqueous Plateau channels and nodes of the foams (Fig. 1B).

We found that the air content in the foamed suspensions decreased with the increase of suspension viscosity (Figure 1C). We observe two distinct master curves, depending on the mechanism of foam stabilization. The viscosity of the suspensions depended on the concentration of particles and surfactant, and generally increased with the increase of both ingredients.

3. STABLITY OF THE FOAMS

Besides the difference in the foaminess, these two types of surfactants showed significant differences in their wet foam stability and drying behavior. Based on their composition, i.e. concentration of particles and surfactant, most foams were unstable to coarsening and drying. Figure 2A shows illustrative results for silica particles in the presence of TTAB – foams at low concentration of surfactant and particles (θ is particles surface coverage by the surfactant) suffered from drainage of the liquid phase from the wet foam, whereas the high concentrations of surfactant and particles led to formation of severe cracks during drying.

Experimental results showed that the stability against drainage depended exclusively on the ratio between the yield stress of the particle suspensions and the bubble size in the foams:

$$\tau_0 / R_b \geq 2\Delta\rho g \qquad (1)$$

Here τ_0 is yield stress, R_b is the mean radius of the bubbles, $\Delta\rho$ is the mass density difference between the suspension and the air, and g is the gravitational acceleration constant.

As the surfactant adsorbed on the surface of the particles, the latter attracted each other due to hydrophobic forces, created by the hydrophobic tails of the adsorbed surfactant molecules. This attraction manifested as a gradually increasing yield stress of the suspension. Once the yield stress became higher than the hydrostatic pressure at a bubble scale, the liquid drainage stopped and the foams could be dried to porous materials (see Fig. 2B).

The yield stress increased with the increase of surfactant and particle concentrations, which was a clear indication of the formation of larger number of hydrophobic bridges between the particles. Once we reached a threshold particle aggregation, the particles started forming large clusters inside the suspensions (see Fig 2C) which prevented the homogeneous drying of the foams and led to formation of cracks in the drying materials.

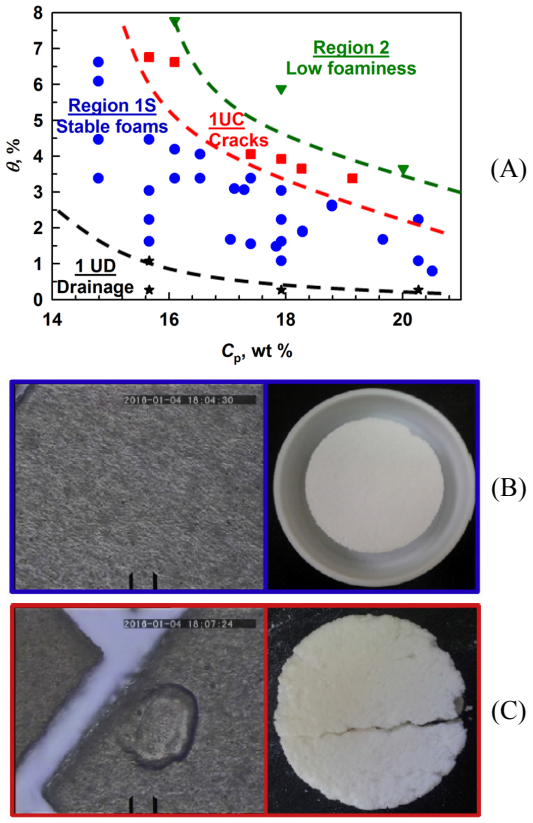


Fig. 2. *(A) Foam formation and stability diagram of silica+TTAB mixtures. Diagram is plotted as surface coverage of the particles by surfactant vs concentration of particles. Different topological regions are color coded and noted. Microscope observation of suspension wetting film in reflected light and macroscopic material from region 1S are shown in Figure (B) and from region 1UC - in Figure (C). Figure is adapted from Ref. [12].*

Similar results were obtained with CAPB, despite the differences in the mechanism of foam stabilization. Additional process of bubble Ostwald ripening was observed in the wet CAPB foams, which was also counteracted by the yield stress of the suspensions, once the yield stress became higher than the bubble capillary pressure:

$$\tau_0 > \sigma/R_b \qquad (2).$$

The formation of cracks in the drying foams could also occur as a result of particle migration during drying or inhomogeneous water distribution. Such is the case of carbonate foams in the presence of different anionic surfactants [13]. We found that weakly interacting particles, which do not aggregate, could migrate during drying. This migration leads to inhomogeneous distributions of the particles and to worse mechanical performance of the final materials (see Ref. 13 for details).

4. DRYING AND FOAM STRUCTURE

Along the drying process, the foams typically shrink which results in a significant decrease of their volume. We developed a theoretical model, allowing us to predict the shrinkage of the materials, their final mass density and the change in their bubble size (provided that there is no Ostwald ripening) [14]. This model requires single experimental parameter, ρ_{susp}, that could be determined by drying a non-foamed suspension and measuring its mass density:

$$\rho_{PM} = \rho_{susp}(1-\Phi) \qquad (3)$$

$$K = 1 - \frac{\rho_{SiO_2}}{\rho_{susp}} \frac{1}{\left(1 + \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{susp}}\left(\frac{1-\varphi_p}{\varphi_p}\right)\right)} \qquad (4)$$

Here ρ_{PM} and ρ_{susp} are the mass densities of the porous material and of the dry suspension, Φ is the air volume fraction of the wet foam, K is the shrinkage volumetric ratio, ρ_{SiO2} is the mass density of the particle material, and φ_P is the particle volume fraction in the suspension.

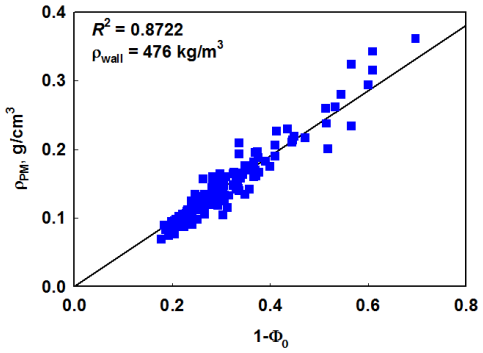


Fig. 3. *Mass density of dried porous materials, obtained from wet Pickering foams, as a function of the bubble volume fraction in the wet foam. Figure is adapted from Ref. [14].*

The experimental results showed very good agreement between the experiment and the model without using any adjustable parameters (Fig. 3). The experiment confirmed also the theoretical prediction for the bubble shrinkage along the drying process, which turned out to be proportional to the macroscopic shrinkage of the foam, determined by Eq. (4).

5. FUNCTIONAL MATERIALS

The final porous materials could be used as efficient thermal insulators, with desired mechanical properties and low thermal conductivity (see Fig 4A and B).

Non-sintered TTAB containing foams at 120 kg/m^3 outperform the commercial expanded polystyrene insulations by 5-10% in thermal resistance, while having similar mechanical strength (60-100 kPa). In addition, they provide the highest possible class of fire safety.

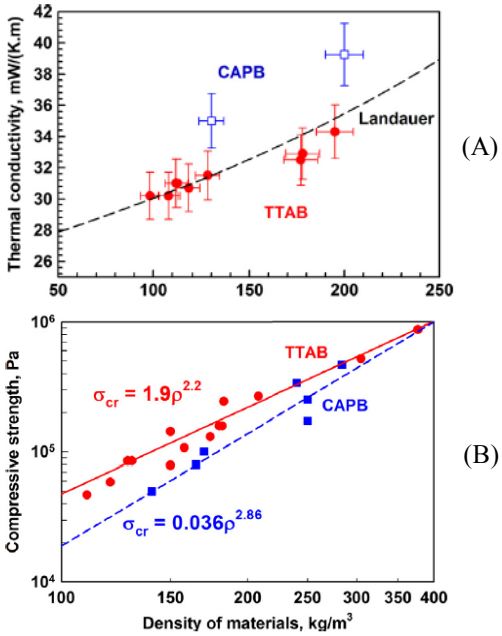


Fig. 4. *(A) Thermal conductivity and (B) Compressive strength of porous silica materials, as functions of the material density. Figure is adapted from Refs. 12 & 15.*

CONCLUSION

Suspension foaming is a highly efficient method for production of ultralight porous materials with various applications. Key factors for optimal application of this method are the appropriate choice of surfactant, as well as its concentration optimization.

We established [11-15] that there are common macroscopic properties which control the suspension foaminess and foam stability, independently of the specific mechanism of foam stabilization: (1) Foaminess is controlled exclusively by the suspension viscosity under shearing conditions, which closely mimic the foaming process; (2) Foam stability to bubble coarsening and foam drainage is controlled exclusively by the suspension yield stress; (3) Foam stability to drying is controlled by the homogeneous particles distribution (ensured via mild particle aggregation) and the related homogeneous propagation of the receding water front in the drying foams.

The above principles allowed us to formulate [11-14] optimal conditions for preparation of materials of various chemical nature, such as silica, carbonate, alumina, gypsum, etc. These materials could incorporate different functionalities, including high performance thermal insulation, noise insulation, as catalyst supports, tissue scaffolds, and others [15].

REFERENCES

[1] Zhang, R.; Somasundaran, P. Advances in Adsorption of Surfactants and Their Mixtures at Solid/Solution Interfaces. Advances in colloid and interface science 2006, 123-126, 213–29

[2] Binner, J. Ceramic foams, in: M. Scheffler, P. Colombo (Eds.), Cellular Ceramics: Structure, Manufacturing, Properties and Applications, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005, pp. 33–56.

[3] Young, A.; Ornatete, O.; Janney, M.; Menchhofer, P. Gelcasting of alumina, J. Am. Cer. Soc. 18 (1991) 612–618,

[4] Sepulveda, P.; Binner, J.G. Processing of cellular ceramics by foaming and in situ polymerisation of organic monomers, J. Eur. Ceram. Soc. 19 (1999) 2059–2066

[5] Dhara, S.; Bhargava, P. Influence of slurry characteristics on porosity and mechanical properties of alumina foams, Int. J. Appl. Ceram. Technol. 3 (2006) 382–392

[6] Gonzenbach, U.; Studart, A.; Tervoort, E.; Gauckler, L. Ultrastable particle-stabilized foams, Angew. Chem. Int. Ed. 45 (2006) 3526–3530.

[7] Gonzenbach, U.; Studart, A.; Tervoort, E.; Gauckler, L. Stabilization of foams with

inorganic colloidal particles, Langmuir 22 (2006) 10983–10988.
[8] Gonzenbach, U.; Studart, A.; Tervoort, E.;Gauckler, L., Tailoring the micro structure of particle-stabilized wet foams, Langmuir 23 (2007) 1025–1032.
[9] Gonzenbach, U. T.; Studart, A. R.; Steinlin, D.; Tervoort, E.; Gauckler, L. J. Processing of Particle-Stabilized Wet Foams Into Porous Ceramics. J. Am. Ceram. Soc. 2007, 90 (11), 3407–3414.
[10] Gonzenbach, U. T.; Studart, A. R.; Steinlin, D.; Tervoort, E.; Gauckler, L. J. Processing of Particle-Stabilized Wet Foams Into Porous Ceramics. J. Am. Ceram. Soc. 2007, 90 (11), 3407–3414.
[11] Lesov, I.; Tcholakova, S.; Denkov, N. Factors Controlling the Formation and Stability of Foams Used as Precursors of Porous Materials. J. Colloid Interface Sci. 426 (2014) 9-21.
[12] Lesov, I.; Tcholakova, S.; Kovadjieva, M.; Saison, T.; Lamblet, M.; Denkov, N. Role of Pickering Stabilization and Bulk Gelation for the Preparation and Properties of Solid Silica Foams. J. Colloid Interface Sci. 2017, 504.
[13] Hristova, M.; Lesov, I.; Tcholakova, S.; Goletto, V.; Denkov, N. From Pickering Foams to Porous Carbonate Materials: Crack-Free Structuring in Drying Ceramics. Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp. 2018, 552 (February), 142–152.
[14] Lesov, I.; Tcholakova, S.; Denkov, N. Drying of Particle-Loaded Foams for Production of Porous Materials: Mechanism and Theoretical Modeling. RSC Adv. 2014, 4 (2), 811.
[15] Dekoninck, A.; Denkov, N.; Lesov, I.; Tcholakova, S.; Golemanov, K. WIPO Patent "High-performance thermal insulation materials"., WO 2013/007958 A1.

НАПРАВЛЕНИЕ 12

ХИМИЯ И ЕКОЛОГИЯ

SESSION 12

CHEMISTRY AND ECOLOGY

PRACTICAL APPLICATION OF UV-LED IN ENVIRONMENTAL PROTECTION

Beletskaya Evgeniya[1], Garmash Bogdan[1], Hovorova Katerina[2], Diumin Eduard[2] Govorov Pilip[2]
[1]*Ukrainian State University of Railway Transport*
[2]*O.M.Beketov National University of urban Economy in Kharkiv*

Abstract
It is well known that water is one of the main resources for a person. The production and supply of clean drinking water is always an urgent and strategically important issue with regard to national security. The issue of water purification is the first in the protection of the environment, as the amount of polluted water as a result of human activities is rapidly growing.

Keywords:Environment, maintenance water, UVC LED, bactericidal efficiency.

INTRODUCTION

In most cases, contamination of surface sources of drinking water supply is invisible, because pollutants are soluble in water. But there are exceptions: surface-active substances (foaming detergents), as well as oil products floating on the surface and unpurified drains. There are also several natural pollutants, but their volume is negligible compared to human pollution. Every year, thousands of chemicals with unpredictable effects enter the water basins, many of which are new chemical compounds.

Surface waters are protected from pollution, depletion and destruction of their living inhabitants, due to the introduction of sanitary and hygienic and sanitary and anti-epidemic vaccines and standards, the implementation of which is monitored at the state level. By water depletion, it is worth understanding the reduction of surface and groundwater reserves, i.e. reduction within a certain area (for groundwater) or a decrease in the minimum allowable surface runoff (for surface water). Water is a fundamental resource in human life, the demand for water consumption with the growth of human development increases every year. Water consumption is growing without taking into account the time spent on compensation for resources expended, and although there is a sufficient amount of fresh water sources in Ukraine, the amount of water bodies polluted as a result of human activity is increasing, which becomes a big problem for our state.

EXPOSITION

The most effective way to protect surface waters from pollution by their sewage is the development and implementation of anhydrous and non-waste production technology, the creation of circulating water supply. All methods of protecting surface water include the process of water purification, which consists of two stages: purification from organic and mineral pollution and purification from biological and bacterial pollution. Currently, the most popular in Ukraine, but outdated, are water purification methods using chlorine and ozonation [1].With the modernization of enterprises, with the development of technology - technologies that are related to water disinfection (purification of biological and bacterial contamination) are being modernized. At the moment there are already a number of new methods: UV radiation, processing in a magnetic field, irradiation with gamma radiation, processing with electric charges. It should be noted that water treatment with ozone or ultraviolet rays almost completely supplanted chlorination at drinking water treatment plants in many countries of Western Europe [2]. In our country, the use of these environmentally

efficient technologies is limited due to the high cost of retooling drinking water treatment plants.

The above methods were considered for compliance with the 4 criteria: no side effects, complete inhibition of the viability of pathogens and fungi, efficiency of the method, ease of implementation. The results are shown in table 1.

Table1 – Comparison of water disinfection methods

Method name decontamination / Compliance method criterion	Chlorination	Ozonation	Useofsilverions	UV-radiation	MagneticfieldprocessingGammaRadiationTreatment
Noside effects		+	+	+	+
Complete inhibition of the viability of pathogens and fungi		+		+	+
Economic effect				+	
Ease of implementation	+			+	

As can be seen from the table, water disinfection with the help of UV radiation meets all the criteria. Although this method is more economical than the other ones, the radiation source (mercury lamp) is no longer considered energy efficient besides high power consumption, mercury is included in this radiation source, which affects the cost of disposal and is not environmentally friendly. . Therefore, the method of water disinfection using UV irradiation in our can be upgraded by changing the radiation source to the LEDs [3].

As is known [4], the UVC region (λ = 200-280 nm) is characterized by the suppression of the vital activity of pathogens, which is why it is called bactericidal. However, the reaction of a living microbial cell to ultraviolet radiation is different for different wavelengths, therefore, over time, studies of its properties have built a curve of the relative spectral bactericidal efficiency of ultraviolet radiation, which is shown in Figure 1 [5].

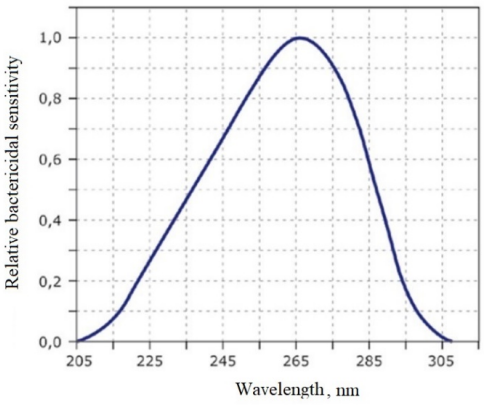


***Fig. 1** - Curve of the relative spectral bactericidal efficiency of ultraviolet radiation*

It was found [2] that the highest bactericidal efficiency has the radiation range of wavelengths λ = 254-275 nm. The main criterion for the effect of UV radiation on a substance is the coefficient of bactericidal efficiency [5], which is found as the ratio of the bactericidal flux to the total flux of the source of study:

$$K_{effect} = \left[\int_{200}^{280} \Phi_{relative}(\lambda)d\lambda / \int_{200}^{500} \Phi_{relative}(\lambda)d\lambda\right] * * 100\% (1)$$

where, $\int_{200}^{280} \Phi_{relative}(\lambda)d\lambda$ - bactericidal flux of radiation source, lm;

$\int_{200}^{500} \Phi_{relative}(\lambda)d\lambda$ – all radiation source flux, lm.

To assess the practical applicability of UV LEDs in bactericidal installations [3], an LED radiation source TH-UV265A-3535 with a wavelength λ = 265 nm was acquired. Measurements of its bactericidal characteristics were carried out: the relative spectral characteristics of the LED in Fig. 2 and the energy illumination.

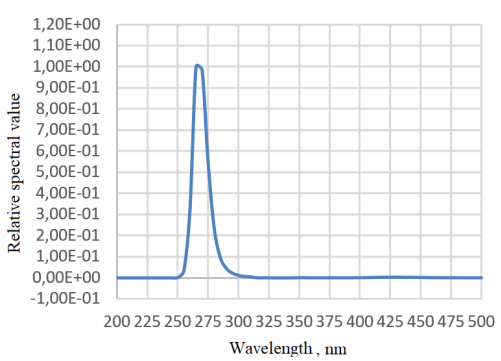


***Fig. 2** - Relative spectral characteristics of the LED*

Table 2 *– Energy Illumination TH-UV265A-3535*

Length, sm	0,001	5	10	15	20
Energy Illumination, mW/sm^2	0,2892	0,00769	0,00249	0,001279	0,000807

When calculating the energy illumination, the factor of actinicity (correction factor) was also taken into account, which is equal to k_{act} = 1.4115 with the used measuring device.

According to formula 1, the coefficient of bactericidal efficiency of the LED source of UV radiation was calculated for the first time and amounted to$К_{effect} = 90.28$.

CONCLUSION

This article has analyzed in practice the possibility of using LED sources of UV radiation for water disinfection. Water purification is one of the main issues of labor protection, which is getting more and more aggravated every year. According to the measurement results and calculations, the bactericidal efficiency of LEDs is the highest in the world among UVC sources (for low-pressure mercury lamps, 0.85, for high-pressure mercury lamps, 0.42).

REFERENCE

[1] Resource-saving technologies for wastewater treatment: monograph / S. S. Dushkin, A. N. Kovalenko, M. V. Degtar`, T. A. Shevchenko;Kharkiv National Academy of Municipal Economy. – Kh. :KNAME, 2011.– 146 p.

[2] Water treatment manual: Disinfection / Environmental Protection Agency (EPA) – 2011 – 200 p.

[3] Energy-saving led water purification system based on uvleds / F. Govorov, P. Neeshmakov, K. Govorova, Y. Tereshchenko, I. Ivanova, E. Beletskaya // International scientific conference Unitech'17 – Gabrovo: Technical University of Gabrovo, 2017 – V.1 - P. 64 -68.

[4] Methodological indications 2.3.975-00 Application of ultraviolet bactericidal radiation for disinfection of the air environment of premises of organizations of the food industry, catering and trade in food products.

[5] Evaluation of the combined effect of UV radiation and chlorine on the survival of microorganisms in water / N.G. Potapchenko, I.P. Tomashevskaya, V.V. Illyashenko// Chemistry and water technology. - 1993. - v. 15, № 9 - 10. - p. 678 - 682.

WATER QUALITY DETERMINATION of THE LAKES MOGAN and CERNEK (TURKEY) BY USING MACROINVERTEBRATES ACCORDANCE WITH WATER FRAMEWORK DIRECTIVE

Naime ARSLAN[1*], Deniz MERCAN[1]

[1] *Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Eskişehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey*
**e-mail: oligo2009@gmail.com*

Abstract

Turkey is one of the most important zoogeographical regions in Palearctic with having inland water sources and paleogeographic and hydrogeographic structure of these sources. Lakes Mogan and Cernek are also important aquatic habitats located in different geographic regions of Turkey. Studies about invertebrates' fauna in both of lakes are very few. This study was carried out between May and August on 2013 in Lakes Mogan and Cernek to determine; diversity of invertebrate fauna, ecological status of the lakes by using macroinvertebrates accordance with WFD. For this purpose, benthic invertebrate samples were collected at totally 8 stations, at the same time, some environmental parameters also were measured in situ. Only Clitellata samples were identified to species level (because, among the benthic invertebrates community, Clitellata species' existence and distribution have the most important signs not only faunistic data but also water quality situation for inland freshwater ecosystems). In addition, some metrics were calculated, Shannon Index values of lakes were between 1.031-1.722 and 1.49-2.104, respectively Lakes Mogan and Cernek. Totaly 11 Clitellata species were determined in Lakes of Mogan and Cernek. Nais communis and Potamothrix hammoniensis were common in these lakes. Water quality class of Mogan and Cernek Lakes is III according to results of environmental parameters.

Keywords: Freshwater Oligochaeta, water quality.

INTRODUCTION

Turkey is one of the most important zoogeographical regions in Palearctic with having inland water sources and paleogeographic and hydrogeographic structure of these sources [1]. As well, it has high potential in respect to fresh water sources. Benthic organisms take an important place in inland water fauna. Within benthic organisms, Clitellata species which can found almost every aquatic system are one of the most important factors using in biological examination of surface waters [2]. Oligochaeta sensu stricto, namely clitellates, occur in marine, estuarine, freshwater and terrestrial environments. About 1.700 valid species of aquatic oligochaetes are known to date; of these, about 1.100 are freshwater [3]. The Palaearctic region, which also covers our country, supports the most abundant and diverse freshwater Oligochaeta fauna, with more than 600 valid species described to date; 80% of these are considered endemic.

Lakes Mogan and Cernek are also important aquatic habitats located in different geographic regions of Turkey. Although Lake Mogan is declared as B class wetland [4], presence of small scale industries in Lake Basin, untreated sewage effluent of Gölbaşı Municipality and TEAŞ, uncontrolled fishing technics and used as picnic area and recreational activities by people of lake basin are the main threats on lake. In addition to this, though Lake Cernek has many protection status (Ramsar Sites, Natural Protected Area, Wildlife Improvement Area), lake is deteriorated rapidly with pressure of hunting, pollution and agricultural activity.

Wetlands like Lakes Mogan and Cernek are aquatic ecosystems which are needed both provided their ecological balances and protected their biological diversity, having regard to also economical values, beside their important ecological functions. However, detailed studies about invertebrate fauna (especially Clitellata) in both of lakes are very few. Previous study which was the only

research related to the clitellat fauna of Cernek Lake, 4 tubificin (*Tubifex tubifex*, *Potamothrix hammoniensis*, *Potamothrix bavaricus* and *Potamothrix bedoti*) were identified and discussed ecology of species [5]. Despite the identification at species level of Clitellata that can be found in almost any aquatic systems and exact species used as pollution indicator, is extremely difficult, but studies about Clitellata fauna in Turkey have accelerated in recent years [6, 7, 8, 9, 10, 11]. In addition, according to the Water Framework Directive, the use of Clitellata in biological monitoring studies has also increased [12, 13, 14].

As mentioned above, negative environment conditions in both of the lakes are gradually increased and their water quality, natural benthic and littoral vegetation structure have been changing. It is a known fact that these negative changing are limited to habitat of aquatic organisms or caused extinct of aquatic organisms. These reasons by taking into consideration this study is aimed to determine the diversity of Clitellat fauna and ecological status of the lakes based on some metrics of Water Framework Directive (such as BMWP). In addition, by comparing the clitellata fauna of both lakes, the morphological differences among the populations of the same species were also revealed.

MATERIALS AND METHODS

Study Area

Lake Mogan is a shallow one (area 6.35 km^2), located 20 km south of Ankara (39º47′ N; 32º47′ E) within Gölbaşı (Figure 1). Its altitude is 972 m and its depth, on average, 2-2.5 m throughout length, reaching 3-4 m at its deepest point. The length and width of Mogan Lake is 6 km and 900 m, respectively. The average depth is 3.5-4 m. The lake outlet empties directly into Lake Eymir through an alluvial channel. More than 80% of the surface area of the lake is covered by submersed macrophytes [15].

Cernek Lake is located in the Kızılırmak Delta ($41^0$40' N and $35^0$46' E) which is one of the most valuable wetland systems in the Northern Turkey (Figure 1). The surface area of the lake is 370 hectare and shallow, 1-3 m depth. Cernek Lake, located at the sea level, is a typical lagoon lake which is separated from Black Sea by narrow dune barrier. The lake water is slightly saline (average 0.75-1.28 ppt) and the lake is also non-stratified as a result of continuous mixtures. Despite its small size, Cernek Lake is one of the most valuable wetlands in Turkey, because the lake and surrounding wetlands are characterized by a high degree of biodiversity with reference to the species and natural habitats, so it has been recognized as a "Ramsar Site" [4, 16].

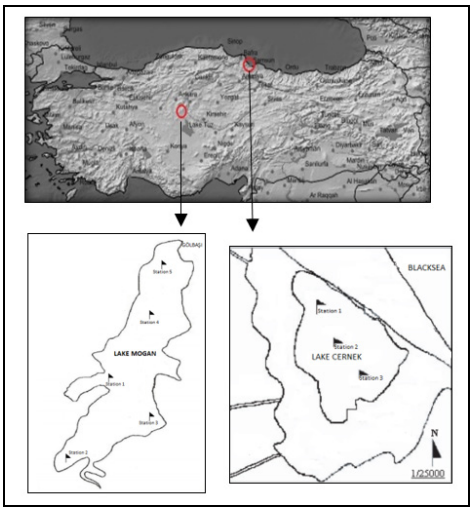


Figure 1. *Location of Lakes Cernek and Mogan in Turkey and samplig sites in lakes*

Sampling

Clitellata samples were collected at totally 8 stations (5 stations in Lake Mogan, 3 stations in Lake Cernek) (Figure 1) between May and August on 2013. Clitellata samples were collected from different habitat types in the lakes by a bottom kick net with 500 µm mesh size and then sieving. All collected sieving samples were immediately fixed in 80% ethyl alcohol. In the laboratory, collected samples were sorted and counted by using a stereomicroscope and then Clitellata samples identified to species level by using different identification keys [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24]. Three environmental parameters of bottom water were measured all the sampling stations in each lake. Water temperature, pH and dissolved oxygen (DO) were measured during sampling in situ by Hach Lange HQ40D.

In each certain stations, Bellan-Santini's (1969) quantitative dominance index [25], Shannon index, Margalef's richness index, Pielou (Evenness) index and Bray Curtis

similarity index according to UPGMA (Unweighted Pair Group Average) algorithm as well as Bray-Curtis measurements were calculated using PAST 1.75b [26].

RESULTS and DISCUSSION

Water Quality

The measured environmental variables of the stations during the study period, the average values of the parameters and water quality classes (WQC) are shown in Table 1. According to our results (Table 1), Lake Mogan has Class III, Lake Cernek has Class II water quality. It is seen that especially value of dissolved oxygen in Lake Mogan was low. It is indicated that nutrition and other pollutants input to Lake Mogan that is important recreational area for Ankara with carried materials from streambed and agricultural area, in addition to domestic and industrial wastewater discharge [28, 29]. In addition, the latest study by Manav and Yerli (2008) indicated the Lake Mogan was meso- to eutrophic, according to water quality criteria [30]. In this study, only four environmental parameters were measured and reported that especially dissolved oxygen level of Lake Mogan was low. Also Lake Cernek has similar situation. It is indicated that eutrophic Lake Cernek has muddy and clay bottoms, macrophyte vegetation of lake is abound in littoral and lake is exposed to pollutant. Also, it is stated that the main reason of pollution in lake is nitrogen and phosphorus compound that input to lake from chemical fertilizer [31]. In many water quality studies, it is implied that the lake has high eutrophication potential and nutrition level of lake progress to hypertrophic [31, 32].

Table 1. *Some environmental parameters of Lakes Mogan and Cernek (*CWQ: Classes of water quality according to Surface Water Quality Management Regulation in Turkey).*

	Lake Mogan		**Lake Cernek**	
Paramaters	**Mean value**	**CWQ***	**Mean value**	**CWQ***
Temperature (^oC)	12.34	II	15.46	II
pH	8.59	III	8.27	II
Dissolved oxygen (mg O_2/L)	6.58	II	8.4	I

The zoobenthos samples from Lake Mogan consisted of six invertebrate groups: Clitellata (39.49%), Chironomidae (41.75%), Gastropoda (13.46%), Bivalvia (4.24%) and, in few numbers Hirudidae and Odonata. According to the number of individuals, Clitellata is the dominant taxon in the Lake Mogan. However, dominant taxon is Gastropoda with the mean dominancy 50.14% in Lake Cernek. The second dominant taxa Bivalvia (27.01%) and third one is Clitellata (20.78%) and in very few numbers Chironomidae, Ostracoda, Trichoptera, Ephemeroptera, Plecoptera and Odonata.

Although the zoobenthos of Lake Cernek seems to have higher taxon diversity, the number of individuals is few, except Gastropoda, Bivalvia and Clitellata. During this study, only Clitellata samples were identified to species level. A total of 11 clitellat species representing 6 genera were identified. The dominancy and distribution of clitellat species by stations in Lakes Mogan and Cernek are shown in Table 2.

Our results indicated that species richness and diversity of Clitellat fauna of the lakes were not high. Seven Clitellata species (*Nais communis*, *Nais elinguis*, *Tubifex tubifex*, *Psammoryctides albicola*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Limnodrilus udekemianus* and *Potamothrix hammoniensis*) were identified in Lake Mogan, whereas nine species (*Nais communis*, *Nais elinguis*, *Nais pardalis*, *Nais barbata*, *Stylaria lacustris*, *Tubifex tubifex*, *Psammoryctides albicola*, *Potamothrix hammoniensis* and *Limnodrilus hoffmeisteri*) were identified in Lake Cernek (Table 2). It looks like that species diversity in Lake Cernek was higher and *Nais* species were consisted of 34.05% of Cilitellata fauna in the Lake. It is indicated that most naidid species occurring throughout the world are also cosmopolitan [33] and they have clearly adapted to a wide range of environmental conditions [18]. It is reported that the salinity of the lake homogenous throughout the year, ranged from 0.75 to 1.28 ppt and Lake Cernek can be characterized as a mixooligohaline brackish water [32]. Some Clitellates, especially pollution-tolerant naidids can withstand exposure to high salinity. Rodriguez

Table 2. *Dominancy and distribution of benthic invertebrates species and values of some indices in the stations in Lakes Mogan and Cernek (Numbers given in parentheses indicate classes of water quality according to Surface Water Quality Management Regulation in Turkey).*

	Lake Cernek			Lake Mogan					Mean D%	
Taxa / Stations	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Cernek**	**Mogan**
Gastropoda	62,41	49,50	11,90	23,75	2,50	0,00	18,85	0,00	50,14	13,46
Bivalvia	19,76	28,85	47,14	15,00	5,00	0,00	0,00	0,00	27,01	4,24
Oligochaeta									20,78	13,46
Nais communis Piguet, 1906	12.50	13.79	17.07	17.65	7.35	12.70	0.00	9.68	14.08	8.05
Nais elinguis Müller, 1974	6.94	0.00	7.32	35.29	0.00	7.94	0.00	0.00	5.63	4.66
Nais pardalis Piguet, 1906	4.17	0.00	17.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.04	0.00
Nais barbata Müller, 1774	9.72	13.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.75	0.00
Stylaria lacustris (Linnaeus, 1767)	8.33	13.79	21.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.38	0.00
Tubifex tubifex (Müller, 1774)	9.72	0.00	0.00	0.00	0.00	9.52	8.77	22.58	4.93	7.63
Psammoryctides albicola (Michaelsen, 1901)	19.44	10.34	0.00	0.00	13.24	0.00	5.26	12.90	11.97	6.78
Limnodrilus hoffmeisteri Claparède, 1862	9.72	13.79	0.00	0.00	23.53	33.33	29.82	19.35	7.75	25.42
Limnodrilus udekemianus Claparède, 1862	0.00	0.00	0.00	0.00	35.29	25.40	36.84	25.81	0.00	29.24
Potamothrix hammoniensis (Michaelsen, 1901)	19.44	34.48	36.59	47.06	20.59	11.11	19.30	9.68	27.46	18.22
Hirudidae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,35	0,00	4,60	0,00	0,76
Chironomidae	0,15	0,57	0,24	28,75	15,00	24,32	60,77	48,28	0,28	41,75
Trichoptera	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	0,08	0,15
Ephemeroptera	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
Plecoptera	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
Odonata	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	0,12	0,15
Ostracoda	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00

Values of some indices in the stations of Lakes Mogan and Cernek

	Lake Cernek			Lake Mogan					Mean	
Stations / **Paramaters**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	Cernek	Mogan
Temperature (^oC)	15.6	16.3	15.9	14.3	11.2	13.1	12.1	11.5	15,93 (II)	12,44 (II)
pH	8.01	7.89	8.24	8.0	8.6	8.3	8.7	8.2	8,04 (II)	8,36 (III)
Dissolved oxygen (mg O_2/L)	8.24	8.64	8.12	4.42	7.14	5.23	6.44	6.82	8,33 (I)	6,01 (II)
Shannon	2.10	1.69	1.49	1.03	1.48	1.65	1.41	1.72	1,76	1,45
Simpson	0.86	0.79	0.752	0.62	0.75	0.78	0.72	0.81	0,80	0,73
Evenness	0.91	0.910	0.88	0.93	0.88	0.87	0.82	0.93	0,86	0,88
Margalef	1.73	1.08	0.86	0.43	0.86	1.08	0.86	1.08	1,22	0,86
BMWP	III	II	II	III	IV	III	III	IV	II	III

and Reynoldson indicated that *Nais communis* can survive up to 6‰ salinity and between 3.9-9.9 pH [34]. In addition, *Stylaria lacustris* was found in in brackish water with salinity less than 7%, also in open water and even in the profundal by Timm [35].

Nais elinguis's echophysiology study has shown that the nutritional ratio remains unchanged from fresh water to 20‰ salinity, and it was shown to be a good osmoregulator, remaining hyperosmotic below 7‰ S, and hypo-osmotic above this [36].

As seen in Table 2, in Cernek Lake four *Nais* species have been identified. Salinity variation is limiting factor for diversity and distribution for several benthic invertebrates. But, it is clear that five naidid and other tubificin species (Table 2) identified in the Cernek Lake can tolerate this salinity value.

For the Lake Mogan, values of Shannon, Simpson and Margalef Diversity Index, varied between 1.031 and 1.722; 0.8103 and 0.624; 0.4343 and1.086; for Lake Cernek varied between 1.49 and 2.104; 0.752 and 0.868; 0.868 and 1.737, respectively (Table 3). The highest taxa number was identified in Lake Cernek station 1 and 2 and values of Shannon diversity index were 2.104 and 1.698, respectively. The lowest value of Shannon diversity index was identified in Lake Mogan station 1 (as 1.031). The values of BMWP varied between III-III in Lake Cernek and III-IV in Lake Mogan. When the BMWP indices were examined in terms of water quality classes, Lake Cernek was determined as clean but slightly impacted (Class II), but Lake Mogan was determined as impacted (slightly polluted Class III).

In Lake Mogan, *Limnodrilus udekemianus* and *Limnodrilus hoffmeisteri* have the highest abundance (29.24% and 25.42%, respectively). However *Nais elinguis* has lowest dominancy (Table 2). Although population density was not high *Potamothrix hammoniensis* occurred in all sampling stations in the lake (Table 2) among the identified Clitellata species. In general, three species *Limnodrilus hoffmeisteri, Limnodrilus udekemianus* and *Tubifex tubifex* were found together.

It is known that existence and abundance of clitellat species in aquatic systems based on diverse environmental parameters such as substrate structure, water temperature, flow rate, oxygen concentration and availability of nutrients [37]. Although the subfamily Tubificinae originated in the Northern Hemisphere it is distributed everywhere in the world [18]. Members of this subfamily are adapted for entrenchment in a soft substrate. They live in muddy substrates, tolerate organic pollution, and are indicators of an alpha-mesosaprobic or polysaprobic zone [38]. In addition, freshwater euryhaline form *Potamothrix hammoniensis* was dominant and the most abundant species, and has been reported in many surveys from eutrophic lowland lakes in Europe. Timm was detected that *Potamothrix hammoniensis* is the climax species in eutrophic lakes [39]. It is found in this study that *P. hammoniensis* is dominant species in Lake Cernek and often accompanied by *L. hoffmeisteri* and some others tubificids. Tubificin members were dominant in Lake Mogan that is going to be eutrophic according to results of previous studies [30, 31, 32] and our results are supported the other previous studies.

Prior to the present study which was performed by Yıldız et al. in the Lake Cernek, four Tubificin (*Tubifex tubifex, Potamothrix hammoniensis, Potamothrix bavaricus* and *Potamothrix bedoti*) had been recorded [5]. The last two species which were not found in the present study, brackish-water species tolerating also slightly mineralized fresh water [40]. In addition, there is no record of five naidids (*Nais communis, Nais elinguis, Nais pardalis, Nais barbata* and *Stylaria lacustris*) in Lake Cernek. It was shown in the previous study that Tubificin species were also dominant groups but it was seen that the dominancy composition changed along ten years. With these two results, we can conclude that if environmental factors change, ecosystem structure often is influenced and alterations occur. These alterations take place in species composition, distribution and (or) biodiversity as well as ecosystem function. In the previous study tubificin species were also shown to be dominant group, but dominancy and composition changed over a decade.

One of the most important results in this study is morphological differentiation between population of *Nais communis* and *Potamothrix*

hammoniensis which are distributed in both of lakes. *P. hammoniensis* which is originated Ponto-Caspian was commonly identified in both of lakes. Prostomium of *P. hammoniensis* samples in Lake Mogan was conical and sharp, dorsal bundles were rigid and pectinate chaeta was thicker. Widening rate in distal of spermathecal chaetae in these samples was higher and more bent. Prostomium of samples in Lake Cernek is less conical and there is no differentiation between hair and pectinate chaetae in anterior and posterior dorsal bundles. *P. hammoniensis* population in both of lakes were showed some taxonomical differentiations. The same situation was present in *N. communis* samples. Samples of this species collected in Lake Cernek and Mogan were identified as *N. communis* based on valid identification keys (such as [20, 23, 24]) because of not yet revising identification keys. The largest difference between the two species can be observed when the worms are alive, because *N. variabilis* swims with spiral movements with the oesophagus abruptly dilating to the midgut while *N. communis* is not able to swim and the oesophagus gradually dilates to the midgut. According to these morphological identification keys, the only taxonomical character in fixed samples for *Nais communis/variabilis* complex is that differentiation between anterior and posterior ventral chaetae is much distinct in *N. variabilis* than *N. communis*. Envall, Gustavsson and Erséus were conducted a study with eighty-one Nais individuals and identified that five or probably more morphotypes were comprised morphologically differentiation variations of *Nais communis/variabilis* complex and indicated that there is some relationship between genetical differentiation and chaetal morphology in this genus [41]. These differentiations can be related to geographical isolation. It is obvious that this is a morphological differentiation between populations having same species in these two lakes which are located in different parts of Turkey and seperated with natural barriers. However, differentiation for both *P. hammoniensis* and *Nais communis/variabilis* complex must be searched genetically with molecular analyses. Because, one species has two reasons for live in its habitat; one is ecological reasons and second is its evolutionary history [42]. When considered in this respect, probability of observation is considerably higher both old fauna inhabitant and effects of geographical isolation in our aquatic ecosystems which are old concerning their histories and connections. For this reason, both of populations showing differentiations (*N.communis* and *P. hammoniensis*) in Lakes Mogan and Cernek must be examined with molecular analysis.

CONCLUSION

Our results indicate that species richness and diversity of Clitellat fauna of lakes Mogan and Cernek are not high. In the present study, it was shown that clitellat fauna of Lake Mogan was dominated by tubificin species (*Limnodrilus hoffmeisteri, Limnodrilus udekemianus* and *Potamothrix hammoniensis*) known as pollution tolerant organisms, which is typical of many freshwater habitats. While, Lake Cernek Clitellat fauna more diverse than Mogan and was dominated by Naidid species (more than 30% in total clitellat fauna). But, common characteristic of both lakes has pollutant tolerant species. Large numbers of pollution-tolerant clitellats are often indicative of poor water quality and prior water quality studies conducted at both lakes also support these taxonomical results. Because benthic macroinvertebrates are the most useful biological indicators for surface water quality and they have often been used to evaluate the degree of anthropogenic impacts to aquatic ecosystems [43, 44]. Among them Clitellata are tolerant to high levels of organic pollution, and have been observed to replace other benthic macroinvertebrates that cannot tolerate high concentrations of nutrients [45, 46]. According to previous studies about water quality of Lake Mogan, it appear to be in an euthrophic status (such as [30, 31, 32, 47]). Although, Lake Cernek is one of the most valuable wetlands in Kızılırmak Delta, several studies indicated that the lake has a strong eutrophication potential owing to hypertrophic capacity [48, 49, 50]. The results of the studies on water quality overlap with the clitellat fauna structure in both lakes. In lake ecosystems, the composition and distribution of zoobenthos is known to be highly influenced by short and long term environmental

changes. Comparing the results of recent studies with results obtained ten years ago may have important consequences for lake Clitellat fauna changes over time [5].

One of the most important results in this study was morphological differentiation between population of *Nais communis* and *Potamothrix hammoniensis* which were distributed in both of lakes. These differentiations can be ecophenotypically variations as a result of adaptation or subspeciation and (or) speciation. Taxonomical part of these differentiations can be determined with molecular analysis (DNA taxonomy and associated molecular markers could be the only way to reveal the true level of differences on taxonomical character for these two species). Because, several molecular studies have revealed the existence of cryptic species within aquatic oligochaetes. It is obvious that populations of *P. hammoniensis* and *N. communis* in both of lakes are required to examined in molecular level.

Acknowledgements: This study was supported by ESOGU BAP (Project Number is 2013/19A106).

REFERENCE

[1] Demirsoy A. Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası "Hayvan Coğrafyası". Ankara: Meteksan A.S., 1996, 630 pp.

[2]Klemm DJ. A Guide of The Frehwater Annelida, 1985, 198 pp.

[3]Martin P, Martinez-Ansemil E, Pinder A, Timm T, Wetzel M. Global Diversity of Oligochaetous Clitellates ("Oligochaeta"; Clitellata) in Freshwater. Hydrobiologia 2008; 595:117-127.

[4] Magnin G, Yarar M. Important Bird Areas in Turkey. Dhkd, Istanbul, Turkey, 1997.

[5] Yıldız S, Ustaoğlu MR, Balık S. Türkiye'deki Bazı Lagünlerin Oligochaeta (Annelida) Faunası Hakkında Bir Ön Araştırma. Türk Sucul Yaşam Dergisi 2007; 5-8:217-223.

[6]Yıldız S. Habitat Preferences of Aquatıc Oligochaeta (Annelida) Species in the Lake District (Turkey). Fresenius Environmental Bulletin 2016; 25(10):4362-4373.

[7]Yıldız S, Ustaoğlu MR. Denizli'deki Dağ Göllerinin Oligochaeta (Annelida) Faunası Üzerine Gözlemler, (İn Turkish With English Abstract). Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2016; 33(2):89-96.

[8] Yıldız S, Ustaoğlu MR. Two New Records for the Brackishwater Oligochaeta (Annelida: Naididae: Tubificinae) from the Aegean Coastal Ecosystem (Turkey). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2016; 16:395-399.

[9] Timm T, Arslan N, Rüzgar M, Martinsson S, Erséus C. Oligochaeta (Annelida) of the Profundal of Lake Hazar (Turkey), with Description of Potamothrix alatus hazaricus n. ssp. Zootaxa 2013; 3716(2):144-156.

[10] Yıldız S, Özbek M, Ustaoğlu MR, Sömek H. Distribution of Aquaic Oligochaetes (Annelida: Clitellata) of High Elevation Lakes in the Eastern Black Sea Range of Turkey. Turkish Journal of Zoology 2012; 36(1):59-74.

[11] Çamur-Elipek B, Arslan N, Kirgiz T, Öterler B, Güher H, Özkan N. Analysis of Benthic Macroinvertebrates in Relation to Environmental Variables of Lake Gala (Edirne/Turkey). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2010; 10(2):235-243.

[12] Arslan N, Salur A, Kalyoncu H, Mercan D, Barışık B, Odabaşı DA. The Use of Bmwp and Aspt Indices for Evaluation of Water Quality According to Macroinvertebrates in Kucuk Menderes River (Turkey). Biologia 2016; 71(1):117-227.

[13] Zeybek M, Kalyoncu H, Karakaş B, Özgül S. The Use of Bmwp and Aspt Indices for Evaluation of Water Quality (According to Macroinvertebrates) in Değirmendere Stream (Isparta, Turkey). Turkısh Journal of Zoology 2014; 38:603-613.

[14] Kalyoncu H, Kılçık F, Gülboy Akyıldırım H, Özen A, Acar M, Yoluk N. Water Quality Determination of River Systems in Antalya Basin by Biomonitoring. World Academy of Science, Engineering And Technology International Journal Of Environmental, Chemical, Ecological, Geological And Geophysical Engineering 2016; 10(7):697-703.

[15]DSİ. Mogan Gölü Limnolojik Etüt Raporu. DSİ, Ankara, 1993, 212 pp.

[16]Demirkalp FY. Some of The Growth Characteristics of (Cyprius carpio L., 1758) in Çernek Lake (Samsun, Turkey). Hacettepe Journal Of Biology And Chemistry 2007; 35(1):57-65.

[17]Brinkhurst RO. A Guide for Identification of British Aquatic Oligochaeta, vol 22. Scientific Publications of the Freshwater Biological Association, Windermere, 1971, 55 pp.

[18]Brinkhurst RO., Jamieson BGM. Aquatic Oligochaeta of The World. University Of Toronto, 1971, 860 pp.

[19]Brinkhurst RO, Wetzel MJ. Aquatic Oligochaeta of the World: Supplement A Catalogue of New Freshwater Species, Descriptions and Revisions,

No: 44, Canadian Technical Report Of Hydrography And Ocean Sciences, Canada, 1984, 101 pp.
[20] Kathman RD, Brinkhurst RO. Guide to the Freshwater Oligochaetes of North America. Aquatic Resources Center, Tennessee, Usa, 1998, 264 pp.
[21]Nielsen CO, Christensen B. The Enchytraeidae Critical Revision and Taxonomy of European Species, (Studies On Enchytreidae Vıı). Naturhıstorısk Museum-Aarhus, 1959, 160 pp.
[22] Sperber C. A Taxonomical Study of The Naididae. Zoology, Bidrag, Uppsala Bd 1948; 28:1-296.
[23] Sperber C. A Guide for the Determination of European Naididae, Zoology, Bidrag, Uppsala Bd 1950; 29:45-78.
[24] Timm T. A Guide to the Estonian Annelida. Naturalist's Handbooks 1, Tart-Tallin, 1999, 208 pp.
[25] Bellan-Santini D. Contribution `a l'étude des peuplements infralittoraux sur substrats rocheux (étude qualitative et quantitative de la frange supérieure). Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoum 1969;63(47):9–294.
[26]Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. Past: palaentological statistical software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica 2001; 4(1):4-9.
[27] Republic of Turkey Ministry of Forestry and Water Affairs General Directorate of Water Management. Regulation on the Management of Surface Water Quality, 2015.
[28]Burnak L, Beklioğlu M. Macrophyte – dominated Cearwater State of lake Mogan. Turkish Journal of Zoology 2000; 24:305–313.
[29]ÖÇKK. Mogan Gölü Havzası Biyolojik Zenginlikleri ve Ekolojik Yönetim Planı. Çevre Bakanlığı Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı., Ankara, 2002, 167 pp.
[30] Manav E, Yerli SV. The Determination of the Trophic Status of Lake Mogan (Ankara, Turkey). Fresenius Environmental Bulletin 2008; 17(1):3-8.
[31] Yeniyurt C, Çağırankaya S, Lise Y, Ceran Y. (eds.) Kızılırmak Deltası Sulak Alan Yönetim Planı: 2008-2012. Çevre ve Orman Bakanlığı Ankara (KDYP), 2008.
[32] Demirkalp FY, Çağlar SS, Saygı (Başbuğ) Y, Gündüz E, Kaynaş S, Kılınç S. Preliminary Limnological Assessmenton The Shallow Lagoon Lake Çernek (Samsun, Turkey): Plankton Compotition and in Relation to Physical and Chemical Variables. Fresenius Environmental Bulletin 2004; 13(6):508-518.
[33] Wetzel MJ, Kathman RD, Fend SV, Coates KA. Taxonomy, systematics, and ecology of freshwater Oligochaeta. Workbook prepared for North American Benthological Society Technical Information Workshop, 48th Annual Meeting, Keystone Resort, CO., 2000, 120 pp.
[34] Rodriguez P, Reynoldson TB. The Pollution Biology of Aquatic Oligochaetes. New York: Springer Science and Business Media, 2011.
[35] Timm T. On the fauna of the Estonian Oligochaeta. Pedobiologia 1970; 10:52-78.
[36] Little C. Ecophysiology of Nais elinguis (Oligochaeta) in a brackish-water lagoon. Estuarine, Coastal and Shelf Science 1984; 18(2):231-244.
[37]Jakovcev D, Kalafatic V, Martinovic-Vitanovic V. The diversity of Oligochaeta in Yugoslavia's land water with the survey of internationally important species. In V. Stevanovic and V. Vasic (Eds.), The biodiversity of Yugoslavia with a survey of species of international significance. (pp. 279-284). Faculty of Biology and Ecolibri, Belgrade, 1995.
[38] Timm T. Aquatic Oligochaeta of the North Western part of the USSR (in Russian). Akademiya nauk Ehstonskoi SSR, Valgus, Tallin, 1987, 299 pp.
[39]Timm T. Profundal Oligochaete Assemblages in Palaearctic Lakes. Turkish Journal of Zoology 2012; 36(1): 121-131.
[40] Timm T. The genus Potamothrix (Annelida, Oligochaeta, Tubificidae): a Literature Review. Estonian Journal of Ecology 2013; 62(2): 121-136.
[41] Envall I, Gustavsson LM, Erseus C. Genetic and Chaetal Variation in Nais Worms (Annelida, Clitellata, Naididae). Zoological Journal of the Linnean Society 2012; 165(3): 495-520.
[42] Freemann S, Herron JC. Evrimsel analiz. (B. Çıplak ve ark., Çev.). Ankara: Palme Yayıncılık, 2002.
[43]Braccia A, Voshell JR. Jr. Benthic Macroinvertebrate Responses to Increasing Levels of Cattle Grazing in Blue Ridge Mountain Streams, Virginia, USA. Environmental Monitoring and Assessment 2007; 131:185-200.
[44] Herbst DB, Bogan MT, Roll SK, Safford HD. Effects of Livestock Exclusion on in-stream Habitat and Benthic Invertebrate Assemblages in Montane Streams. Freshwater Biology 2011; 57:204-217.
[45] Schenkova J, Helesic J. Habitat Preferences of Aquatic Oligochaeta (Annelida) in the Rokttná River, Czech Republic - a Small Highland Stream. Hydrobiologia 2006; 564:117-126.
[46]Lin KJ, Yo SP. The Effect of Organic Pollution on the Abundance and Distribution of Aquatic Oligochaetes in an Urban Water Basin, Taiwan. Hydrobiologia 2008; 596: 213-223.
[47]Tokatlı C, Atıcı T. Algal Diversity and Water Quality Assessment with Cluster Analysis of Four

Freshwater Lakes (Mogan, Abant, Karagöl and Poyrazlar) of Turkey. Vulfenia 2014; 21(4):155-169.
[48]Taş B, Gönulol A. An Ecologic and Taxonomic Study on Phytoplankton of a Shallow Lake, Turkey. Journal of Environmental Biology 2007; 28(2):439-445.
[49] Isbakan-Taş B, Gönulol A, Taş E. A Study on the Phytoplankton of Lake Cernek (Samsun Turkey). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science 2002; 2:121-128.
[50] Can Ö, Taş B. Ramsar Alanı İçinde Yer Alan Cernek Gölü Ve Sulak Alanının (Kızılırmak Deltası, Samsun) Ekolojik Ve Sosyo-Ekonomik Önemi. Tübav Bilim Dergisi 2012; 5(2):1-11.

CHIRONOMIDAE POTAMOFAUNA of EMET, ORHANELI and MUSTAFA KEMAL PAŞA STREAMS, CATCHMENT AREA of LAKE ULUABAT

Sevgi ULUKÜTÜK[1], Naime ARSLAN[2*]

[1]AKU, TUAM, Campus of ANS Gazlıgöl Road, 03200 Afyonkarahisar, Turkey

[2]Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Eskişehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey

**e-mail: oligo2009@gmail.com*

Abstract

In order to determine the benthic invertebrate fauna of Emet, Orhaneli and Mustafa Kemal Paşa Streams which is constituent of catchment area of lake Uluabat, samples were collected at November 2004, April and July 2005 at 19 stations by using hand net. Also some environmental parameters of the sterams' water were analyzed (water temperature, pH, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, NO_2–N, NO_3–N, NH_4–N, PO_4–3). In total 19,684 individuals were collected and 82 taxa detected (only Chironomidae samples were identified at species level).

In the benthic invertebrate fauna Oligochaeta (40.05%) and Chironomidae (18.8%) were found to be dominant and the other groups were found to be below 10% dominancy rate (Gammaridae, Hemiptera, Ephemeroptera, Gastropoda, Ceratopoganidae, Nematoda, Odonata, Bivalvia, Hirudinea, Hydracarina, Neuroptera, Trichoptera, Plecoptera, Tabanidae, Gerridae and Asellidae). Chironomid larvae were the second dominant group consisting on average 18.8% of the total zoobenthic fauna. Chironomus (Camptoch.) tentans (5.52%) was the most abundant chironomid species in the basin, other dominant Chironomid species were Cryptochironomus defectus, Micropsectra notescens, Acricotopus lucens, Cardiocladius capucinus and Orthocladius thienemanni. The values of Diversity Indices (Shannon-Wiener and Margalef) varied between 0.70 and 3.07; 0.65 and 2.42 respectively.

Keywords: Chironomidae, Emet, Orhaneli and Mustafa Kemal Paşa Streams.

INTRODUCTION

Benthic invertebrate communities react rapidly to pollution-affected in freshwater systems. They are one of the most important biologic indicators for ecological status of both rivers and lakes and their abundance, species composition and distributions' are shown inland water quality. Because of this characteristic, benthic invertebrate communities are useful tools in detecting pollution, freshwater ecosystem health. Among the benthic community Chironomidae larvae is the most widely distributed and frequently the most abundant group of insects in freshwater environments [1]. They occur in all zoogeographical regions of the world, including Antarctica. Chironomidae larvae constitutes almost half of the total benthic invertebrate community species in several aquatic ecosystems. They may even be present in puddles and in damp places between yellowing leaves. Given the ecological importance of the Chironomidae in the dynamics of aquatic ecosystems, they were often used as bioindicators in studies monitoring water quality [2]. Turkey is the country not only covered almost entirely by three of the world's 34 biodiversity hotspots (Caucasus, Irano-Anatolian, and Mediterranean) but also it has important bird areas (IBA) and wetland and in the Palearctic Region [3]. Among them Lake Uluabat has tectonic origins, shallow and eutrophic freshwater lake on the South side of the Sea of Marmara [3]. In 1998, Lake Uluabat and its surrounding area were included in the Ramsar List that was established in response to Article 2.1 of the Convention on Wetlands held in Ramsar, Iran in 1971. Emet, Orhaneli and Mustafa Kemal Paşa Streams are most important river systems in Turkey and they constitutes catchment area of Lake Uluabat.

Although there are many studies on water quality and fish fauna about both in Lake Uluabat and its basin, but there are few studies on benthic invertebrates community (especially

Chironomidae). The Ephemeroptera fauna of Lake Uluabat basin was reported in detail by Tanatmış [4]. Ertorun and Tanatmış [5] were published Hydraenidae species diversity of South Marmara Region in Turkey (Coleoptera); Kazancı [6] identified *Agnetina werneri* (Plecoptera) in Orhaneli Stream, Dalkıran [7] reported a new species of Prosopistoma (Ephemeroptera), Odabaşı and Arslan [8] described a new *Bithynia* species (*B. timmii*) from lake Uluabat.

The studies on the Chironomidae fauna in Lake Uluabat basin are not sufficient at present. For this reason the Chironomidae fauna of Lake Ulubat basin, which has been located in an important transitional area between Europe and Anatolia since the glacial age, was studied in order to contribute to the knowledge of the Chironomidae fauna of Turkey.

MATERIAL and METHOD

The shallow and eutrophic Lake Uluabat is located in the western part of Turkey (40°10' N, 28°35' E) at an altitude of 9 m above sea level with a surface area of 156 km^2 (Figure 1) [3]. Lake is fed principally by the Mustafakemalpaşa River formed by the conflux of two streams, Emet and Orhaneli, in the vicinity of the village of Camandar. The waters flowing out of the lake outlet join the Susurluk (Simav) stream, to the north of Karacabey, and empty into the Marmara Sea [9].

Water and zoobenthic samples were collected from November 2004, April 2005 to July 2005 at 19 sampling stations in catchment area of Lake Uluabat (Figure 1). The bottom samples were washed in situ using a 200 μm mesh size, the material was preserved in 4% formalin, in the laboratory all samples were removed from the debris, sorted under a stereoscope and transfered to 70% ethanol. In the present study total 19,684 benthic invertebrate samples were collected and All samples were identified to family, ordo or classis level preserved in 70% alcohol and 82 taxa detected. Only Chironomidae samples were identified at species level and the identification of the chironomidae samples was done using references [10-16].

During each sampling period, the water temperature, pH and DO were measured in the field with a water quality checker (TOA WQC 22A). The water samples were analyzed in the laboratory for biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), phosphate-phosphorus (PO_4–3), NH_4–N, NO_3–N and NO_2–N. The minimum, maximum, and average values of the environmental parameters in the period of investigations from November 2004 to July 2005 are shown in Table 3. Mean value of measured environmental parameters were classified by Turkish Standards [17] in Table 3.

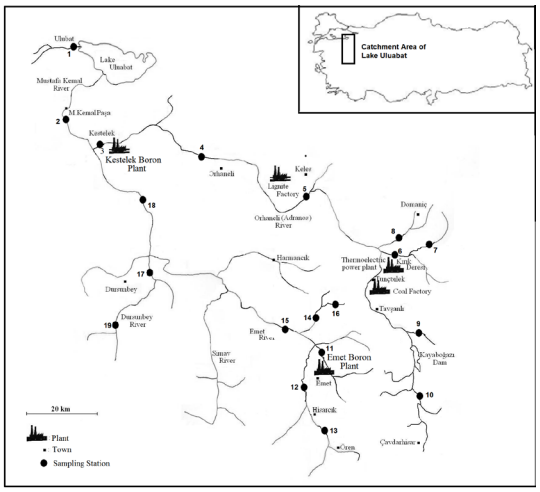


Figure 1. *Catchment area of Lake Uluabat and sampling stations*

RESULTS and DISCUSSION

In total 19,684 individuals were collected and 82 taxa detected (only Chironomidae samples were identified at species level). In the benthic invertebrate fauna Oligochaeta (40.05%) and Chironomidae (18.8%) were found to be dominant and the other groups were found to be below 10% (Gammaridae, Hemiptera, Ephemeroptera, Gastropoda, Ceratopoganidae, Nematoda, Odonata, Bivalvia, Hirudinea, Hydracarina, Neuroptera, Trichoptera, Plecoptera, Tabanidae, Gerridae and Asellidae). Chironomid larvae were the second dominant group consisting on average 18.8% of the total zoobenthic fauna.

Taxonomic composition of zoobenthos differed significantly among the studied stations and sites (Table 1). The average dominancy of identified species was shown in Table 1. It was found that the Uluabat basin's

zoobentos was dominated by Oligochaeta and Chironomidae (according to average dominancy were 40.5% and 18.8%, respectively). These two groups known as pollution tolerant species. According to Shannon-Wiener and Margalef diversity index, species diversity for zoobenthos of the lake basin was found as 1.60-3.72 at average respectively. While the second station was determined to has the highest diversity (H'=3.73; Margalef 5.53), the sixth station was determined to has the lowest (H'=0.706; Margalef 1.312) (Table 1 and 2).

Table 1. *Values of indices of the sampling sites in the catchment area of Lake Uluabat*

Stations	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Diversity Indic.										
Shannon_H	2.88	3.07	1.12	1.75	1.18	0.70	1.93	1.35	2.55	2.38
Evenness_e^H/S	0.66	0.86	0.12	0.52	0.21	0.28	0.36	0.38	0.51	0.43
Margalef	2.42	1.53	1.53	1.31	1.09	0.65	1.08	0.65	1.97	1.97
Taxa	28	26	26	12	16	8	20	11	26	26
Stations	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	
Diversity Indic										
Simpson_1-D	2.19	0.71	2.26	2.17	2.46	0.75	2.75	1.54	1.05	
Evenness_e^H/S	0.59	0.092	0.68	0.46	0.450	0.096	0.36	0.42	0.17	
Margalef	1.30	1.30	0.65	1.74	1.30	1.30	2.19	0.87	0.65	
Taxa	16	23	15	20	27	23	44	12	17	

When the indices were examined in terms of environmental parameters (as water quality classes), 10th, 11th and 19th stations were determined as clean (class I); 4th, 5th, 8th, 9th, 12th and 15th were determined as clean but slightly impacted (Class II), 2nd, 3rd, 6th, 7th and 13th were determined as polluted (Class III) and while the other stations (1st, 11th, 16th and 17th) were determined as polluted or impacted (Class IV) based on Turkish Surface Water Quality Management Regulation (2015). Only water temperature and pH did not present significant differences between the sampling sites.

In the present study, aimed at determining the Chironomidae fauna in the basin of Lake Uluabat, 65 species of of Chironomidae were determined. *Chironomus (Camptoch.) tentans* (5.52%) was the most abundant chironomid species in the basin, other dominant species were *Cryptochironomus defectus* (2.33%), *Micropsectra notescens* (2%), *Acricotopus lucens* (1.19%), *Cardiocladius capucinus* (1.35%) and *Orthocladius thienemanni* (1.04%).

In the recent study which is dealing with Chironomidae fauna of Lake Uluabat [18], reported that Chironomus (Camptochironomus*)* *tentans* was the most abundant chironomid species contributing with about 66.2% of the total chironomid limnofauna in the lake. *Chironomus (Camptoch.) tentans* which is common in Palearctic region, is frequently referred to in the literature as being positive indicators of organic pollution. In the study which was published by Bazzanti (2000) *Chironomini* species were the dominant tribe in the organically polluted lowland river of Central Italy with the highest density at the most polluted stations [19]. In addittion author also reported that densities of *Micropsectra*, *Polypedilum*, *Cryptochironomus*, *Harnischia* and *Cricotopus* species generally showed a positive correlation with the orthophosphate and biological oxygen demand contents and a negative correlation with the oxygen content. In the present study *Chironomus (Camptoch.) tentans* was found to has the highest dominancy at the 16th and 18th stations 86.5% and 5.6%, respectively. Station 16 is one of the stations showing the lowest average dissolved oxygen and the highest BOD value in the basin (Table 3). According to the environmental parameters, this station has organic pollution and our results indicating that the *Chironomus (Camptoch.) tentans* can adapt to changing environmental conditions and become dominant taxon in the zoobenthic community. In addition, *Cryptochironomus defectus* was the second most abundant chironomid species in the basin. *Cryptochironomus defectus* is also tolerant to organic pollution such as *Chironomus (Camptoch.) tentans* and can live in different types of aquatic systems.

Acricotopus lucens was identified in only 4 stations in the lake basin (4th, 12th, 13rd and 15th). It is the only one species detected at the 4th station and has a highest dominancy at the 15th station (Table 1). The 4th station is Orhaneli and the other three stations are located on the Emet River. No organic pollution was detected in these four stations, and the general feature of the four stations is the relatively high flow rate and small creeks with aquatic vegetation. This species was recorded several times from different part of Turkey. And it was reported as eurythermic taxa inhabiting small bodies of still water and the littoral of lakes [20].

Table 2. *Taxonomical list and dominancy value (%) of Chironomidae species which are determined from sampling stations (A: Average)*

The highest dominance rate of *Cardiocladius capucinus*, which was detected at six stations in the basin, was found at the 13th station (13.1%). This species previously been reported from western part of Turkey [21] and Gümüldür Stream [22], and it has been reported in the usually under gravel and muddy substratum. The dissolved oxygen values of the stations where *Cardiocladius capucinus* was detected in this study are relatively high, the water temperature is between 15.1-19.3 and the substrate of most of them is sand and gravel. As we mentioned before this species has one of the highest dominancy in the basin, and we may conclude that *Cardiocladius capucinus* may have a wider distribution in Turkey.

Micropsectra notescens is another species with a high average dominancy value (2%) in the basin. It was detected at 8 stations in the basin and the highest dominancy value was observed at 11th station (20.5%). It is know that species of the genus *Micropsectra* Kieffer, 1909 are abundant in many lotic and lentic freshwater habitats throughout the Holarctic region. Many *Micropsectra* species have specific habitat preferences and appear to be stenoecious [23]. Therefore *Micropsectra* species' contain numerous potential environmental indicators to be used in biomonitoring of both running and standing water. Even, recent study which was performed by Stur and Wiedenbrug, 2006, has been revealed high abundance and diversity of *Micropsectra* species in invertebrate communities of groundwater springs [24]. In this study, the environmental parameters of the stations where the species was determined are in a wide range (Table 3). *Micropsectra notescens* is collected from different environments ranging from 1st quality water class to 4th quality water class. Especially, in the 11th station, where the highest dominancy value of *M. notescens* is determined, nitrogen values (NO_3^-N and NH_4^+N) are the highest in the basin. This result shows that *M. notescens* can adopt in very different aquatic habitats and its tolerance range to changing environmental variables is wide.

Table 3. *Some environmental variables as average and water quality classes for stations in the catchment area of Lake Uluabat (WQC: Water Quality Class; ADL: Above detection limit). Number in paranthes indicated water quality classes.*

It is known that larvae of *Orthocladius*, inhabit all types of flowing water. In addition, representatives are found in lakes, ponds, swamps, thermal waters, hygropetric rock faces, and moist soil [25]. However, several species of orthocladiinae members are considered to be cool-water adapted [26] they expected to be richer during periods of low water temperature in lotic temperate habitats. According to our result *Orthocladius (E.) thienemanni* is the dominant species at the station 10th which has one of the lowest water temperature in the basin. The low dominancy rate in other stations where the species was detected (stations 15th, 16th and 17th) can be related to the relatively high water temperature in these stations. And similar result was also obtained in a study conducted on the Tigris River [27].

The diversity and taxa richness of the zoobenthic communities found in the whole area were not quite diverse. The impression gained from the water-quality measurements made and considering the Turkish Standard, study area is generally slightly polluted by organic wastes. It was found that Oligochaeta and Chironomidae larvae, were dominant, while some taxa were low as is typical of lotic systems, such as Plecoptera, Trichoptera and Ephemeroptera

REFERENCE

[1] Epler JH. Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina. version 1.0, Crawfordwille, 2001, 53 pp.

[2] Cortelezzi A, Paggı AC, Rodríguez M, Rodrıgues Capítulo A. Taxonomic and nontaxonomic responses to ecological changes in an urban lowland stream through the use of Chironomidae (Diptera) larvae. Science of the Total Environment 2011;409(7):1344-1350.

[3] Yarar M, Magnin G. Türkiye'nin Önemli Kuş Alanları. Doğal Hayatı Koruma Derneği, ISBN: 975-96081-6-2, 1997, 313 pp.

[4]Tanatmış M. The Ephemeroptera (Insecta) Fauna of Lake Ulubat Basin. Turkish Journal of

Zoology 2002;26:53-61.
[5]Ertorun N, Tanatmış T. Hydraenidae species diversity of south marmara regıon in Turkey (Coleoptera). Mun. Ent. Zool. 2010;5(2):608-622.
[6]Kazancı N. Plecoptera (Insecta) records from Turkey. Review of Hydrobiology 2012;5(2):85-95.
[7]Dalkıran N. A new species of Prosopistoma Latreille, 1833 (Ephemeroptera: Prosopistomatidae) from northwestern Turkey. Aquatic Insects 2009; 31(2):119–131.
[8]Odabaşı DA, Arslan N. A New Species of Bithynia (Gastropoda: Bithyniidae) from an Eutrophic Lake Uluabat (South Marmara Region), Northwest of Turkey. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2015;15:365-369.
[9]Torunoğlu T, Erbil A, Göllü S, Şentürk E, Öner H. Örnek Çalışma: Uluabat Gölü ve Havzası. T.C Bayındırlık ve iskan Bakanlığı, Devlet, Su İşleri Genel Müdürlü¤ü, Su Kalitesi Gözlem ve Denetimi Semineri 1989; 301- 387,
[10]Fittkau EJ. Die Tanypodinae (Diptera: Chironomidae) (Die Tribus Anatopyniini, Macropelopiini und Pentaneurini). Abhandlungen zur larvalsystematik der Insekten 1962;6:1-453.
[11]Sæther OA. Taxonomic studies on Chironomidae: Nanocladius, Pseudochironomus and the Harnischia complex. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada 196, 1977, 143 pp.
[12] Moller-Pilot HKM. De Larven der Nederlanse Chironomidae (Diptera), Nederlandse Faunistische Mededelingen. Leyparkweg 37, Leiden, Netherlands, 1978-1979, 276 pp.
[13] Moller-Pilot HKM. De larven der Nederlandse Chironomidae (Diptera) Orthocladiinae, Nederlandse Faunistische Mededelingen. Leiden, Netherlands, 1984, 277 pp
[14] Şahin Y. Türkiye Chironomidae Potamofaunasi (The Chironomidae potamofauna of Turkey). Tubitak, project no: TBAG-869, VHAG-347, TBAG-669, TBAG-792, Ankara, 1991, 88 pp.
[15] Fittkau EJ, Roback SS. The larvae of Tanypodinae (Diptera: Chironomidae) of the Holarctic Region (Keys and Diagnoses). Entomologica Scandinavica 1983; 19:33-110.
[16] Armitage P, Cranston PS, Pinder LCV. The Chironomidae. The biology and ecology of non-biting midges. Chapman & Hall, London, 1995, 572 pp.
[17] Republic of Turkey Ministry of Environment and Forest. Surface Water Quality Management Regulation. 2015.
[18]Arslan N, Ayık Ö, Şahin Y. Diversity and Structure of Chironomidae (Diptera) Limnofauna of Lake Uluabat, a Ramsar Site of Turkey, and their Relation to Environmental Variables. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2010;10:315-322.
[19]Bazzanti M. Ecological Requirements of Chironomids (Diptera: Chironomidae) on the Soft Bottom of the River Arrone, Central Italy, Journal of Freshwater Ecology 2000;15(3):397-409.
[20]Hamerlík L. Classification of Water Bodies of the Lower Hron River Based on Chironomid Assemblages (Diptera: Chironomidae). Acta Universitatis Carolinae Environmentalica 2007;21:73–81.
[21]Şahin Y. Marmara, Ege Bölgeleri ve Sakarya Sistemi Akarsuları Chironomidae (Diptera) Larvaları ve Yayılışları. Doğa TU Zooloji Dergisi 1987;11(3):179-188.
[22]Ustaoğlu MR, Balık S, Taşdemir A. Chironomidae Fauna (Diptera-Insecta) of Gümüldür Stream (Izmir).Turkish Journal of Zoology 2005;29:269-274.
[23]Stur E, Ekrem T. A revision of West Palaearctic species of the Micropsectra atrofasciata species group (Diptera:Chironomidae). Zoological Journal of the Linnean Society 2006;146:165–225.
[24]Stur E, Wiedenbrug S. Chironomidae. In: Gerecke R, Franz H, eds. Quellen im Nationalpark Berchtesgaden. Faunistisch-Ökologische Untersuchungen und Perspektiven für die Langfristige Umweltbeobachtung. Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsbericht, 2006.
[25]Sæther Ole A. A new subgenus and new species of Orthocladius van der Wulp, with a phylogenetic evaluation of the validity of the subgenera of the genus (Diptera: Chironomidae). Zootaxa 2005;974:1–56.
[26]Ferrington LC. Hibernal emergence patterns of Chironomidae in lotic habitats of Kansas versus ambient air and water temperatures. In: Hoffrichter O, editor. Late 20th Century Research on Chironomidae. Aachen, Germany: Shaker Verlag, 2000, p. 375-382.
[27]Çetinkaya F, Bekleyen A. Spatial and temporal distribution of aquatic insects in the Dicle (Tigris) River Basin, Turkey, with new records. Turkish Journal of Zoology 2017;41:102-112.

Table 2. *Taxonomical list and dominancy value (%) of Chironomidae species which are determined from sampling stations (A: Average)*

	Sampling Stations																			
Taxa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	A.
Oligochaeta	36.1	37.8	11.4	16.7	84.2	96.4	17.4	23.5	36.7	17.9	19.3	18.3	69.8	56.1	37.6	5.0	34.8	66.2	83.7	40.5
Chironomidae (in total)																				18.8
Tanypus punctipennis	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	1.0	-	0.8	0.13
Procladius(Psilotanypus) sp.	0.6	-	-	-	-	-	4.3	1.8	0.4	-	13.6	-	-	-	-	0.6	-	5.6	-	1.42
Ablabesmyia monilis	-	-	-	1.7	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11
Krenopelopia sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	0.02
Clinotanypus sp.	-	-	-	-	-	-	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06
Larsia curticalcar	0.6	-	-	-	-	-	1.1	-	-	-	-	-	-	-	2.6	-	-	-	-	0.23
Larsia decolorata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	1.9	-	-	-	-	-	-	0.10
Apsectrotanypus trifascipennis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	1.5	-	-	-	-	0.09
Nanocladius rectinervis	0.6	-	0.3	-	1.7	-	-	-	0.4	-	-	0.1	-	-	0.5	1.0	1.0	4.2	-	0.52
Nanocladius bicolor	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	1.9	-	-	-	-	-	0.8	0.17
Brillia modesta	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
Thienemanniella clavicornis	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	0.03
Thienemanniella vittata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	0.5	-	-	-	0.8	0.08
Thienemanniella sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	0.02
Cardiocladius capucinus	-	-	0.6	-	-	-	2.2	-	-	-	-	-	13.0	-	7.7	1.2	5.5	-	-	1.58
Chaetocladius sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5	-	-	-	-	0.08
Synorthocladius semivirens	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
Eukiefferiella clypeata	-	-	-	-	-	-	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06
Eukiefferiella sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	1.5	0.2	0.3	-	-	0.13
Acricotopus lucens	-	-	-	1.7	-	-	-	-	-	-	-	0.1	3.7	-	2-	-	-	-	-	1.35
Rheocricotopus gouini	-	-	-	-	-	-	1.1	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08
Rheocricotopus exiquus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	-	-	-	-	-	-	0.10
Lymnophyes transcaucasicus	-	-	-	-	-	-	-	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10
Corynoneura validicornis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	0.02
Hydrobaenus pilipes	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	0.19
Metriocnemus cubitalis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	0.3	-	-	0.04
Cricotopus tremulus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	-	-	0.2	1.9	-	-	0.21
Parametriocnemus stylatus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5	-	-	-	-	0.08
Orthocladius thienemanni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.5	-	-	-	-	1.5	0.8	1.0	-	-	1.04
Psilometriocnemus sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	0.02
Prodiamesa olivacea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	0.5	-	-	-	-	0.03
Prodiamesa sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-	-	-	0.03
Potthastia sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
Dicrodentipes sp.	-	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.07
Dicrodentipes tritomus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.7	-	-	-	-	0.35
Chironomus thummi	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	0.03
Polypedilum scalaenum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	-	-	-	-	-	-	0.10
Polypedilum nubeculosum	-	2.7	-	-	-	-	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	0.21
Polypedilum pedestre	-	-	0.3	-	-	-	-	1.8	0.4	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.13
Polypedilum sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	0.01
Paradentipes demirsoyus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	0.02
Cryptotendipes holsatus	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	0.06
Cryptochironomus defectus	0.6	4.1	-	-	2.4	-	1.1	-	-	0.2	26.1	0.1	-	-	-	-	0.3	8.5	0.8	2.33
Chironomus (Camptoch.) tentans	0.6	2.7	-	-	2.1	1.8	3.4	-	-	-	-	-	-	1.0	-	86.3	1.0	5.6	-	5.50
Cryptocladopelma laccophila	-	-	-	-	-	-	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-	-	0.11
Acalcarella nucus	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	0.8	0.08
Einfeldia dissidens	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Fleuria lacustris	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.01
Harnischia fuscimana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	0.02
Microdentipes pedellus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	0.02
Omisus sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Pentapedilum exectum	-	-	-	-	-	-	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06
Procladius conversus	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.07
Paracladopelma camptolabis	-	-	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	0.06
Micropsectra curvicornis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
Micropsectra notescens	0.6	4.1	0.6	-	-	-	2.3	7.3	0.4	-	20.5	-	-	-	1.0	-	1.3	-	-	2.00
Micropsectra praecox	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Micropsectra sp.	-	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.07
Virgotanytarsus arduennensis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	-	-	0.09
Sublettea sp.	-	1.4	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09
Tribelos fuscicorne	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
Stempellina sp.	-	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	0.09
Other groups (in total)	Gammaridae, Hemiptera, Ephemeroptera, Gastropoda, Ceratopoganidae, Nematoda, Odonata, Bivalvia, Hirudinea, Hydracarina, Neuroptera, Trichoptera, Plecoptera, Tabanidae, Gerridae and Asellidae																			41,15

Table 3. *Some environmental variables as average and water quality classes for stations in the catchment area of lake Uluabat (WQC: Water Quality Class; ADL: Above detection limit). Number in paranthes indicated water quality classes.*

	Sıcaklık °C	pH	DO mg/l	BOD mg/l	KOI mg/l	NO_3^-N/L mg/l	NO_2^-N/L mg/l	NH_4^+N/L mg/l	WQC
1	19.83(I)	8.37 (I)	8.20 (II)	11.50 (III)	70.3 (III)	0.40 (I)	0.03 (II)	0.09 (II)	IV
2	18.90(I)	8.33 (I)	1-7 (I)	8.33 (II)	67.33 (III)	0.76 (I)	0.03 (II)	0.09 (II)	III
3	19.37(I)	8.35 (I)	9.13(I)	9.92 (III)	68.9 (III)	0.58 (I)	0.03 (II)	0.09 (II)	III
4	16.90(I)	8.07 (I)	10.10 (I)	2.33(I)	6.67(I)	1.14 (I)	0.09 (III)	0.02 (II)	II
5	15.13 (I)	8.06 (I)	9.40 (I)	4.50 (I)	11.33 (I)	2.84 (I)	0.06 (II)	0.06 (II)	II
6	15.33 (I)	7.73 (I)	3.67 (III)	6.67 (II)	20.67 (I)	1.43 (I)	0.04 (II)	1.25 (III)	III
7	17.00 (I)	8.55 (I)	9.90 (I)	2.67 (I)	2- (I)	0.60 (I)	0.07 (III)	0.27 (II)	III
8	14.53 (I)	8.37 (I)	10.33 (I)	3.0 (I)	1- (I)	0.97 (I)	0.02 (II)	0.03 (I)	II
9	14.23 (I)	7.87 (I)	10.67 (I)	3.67 (I)	86.0 (IV)	1.20 (I)	0.02 (II)	0.05 (I)	II
10	14.10 (I)	7.90 (I)	1-3 (I)	3.33 (I)	3.67 (I)	1.25 (I)	0.01 (I)	0.07 (I)	I
11	17.67 (I)	8.13 (I)	7.17 (II)	1.33 (I)	7.33 (I)	ADL(IV)	0.04 (II)	ADL (IV)	IV
12	12.10 (I)	7.80 (I)	8.63 (I)	2.0 (I)	17.0 (I)	1.70 (I)	0.04 (II)	0.04 (I)	II
13	16.57 (I)	7.80 (I)	8.70 (I)	2.33 (I)	2- (I)	1.35 (I)	0.09(III)	0.10 (I)	III
14	16.70 (I)	8.13 (I)	8.90 (I)	4.0 (I)	10.3 (I)	2.85 (I)	0.02 (II)	0.04 (I)	II
15	18.33 (I)	8.10 (I)	9.67 (I)	1.67(I)	17.0 (I)	1.8 (I)	0.02 (II)	0.10 (I)	II
16	15.53(I)	7.90 (I)	5.5 (III)	12.50 (III)	36.67 (II)	ADL (IV)	0.19 (III)	1.04 (III)	IV
17	17.77 (I)	8.67 (I)	8.63 (I)	1.67 (I)	51.67 (III)	0.708 (I)	0.03 (II)	ADL (IV)	IV
18	19.70 (I)	7.90 (I)	7.90 (II)	2.0 (I)	1 (I)	0.08 (I)	0.01 (I)	0.02 (I)	I
19	15.60 (I)	8.20 (I)	7.10 (II)	0.5 (I)	12.50 (I)	0.708 (I)	0.01 (I)	0.02 (I)	I

УВЕЛИЧАВАНЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА МИКРОБИОЛОГИЧНА ГОРИВНА КЛЕТКА ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА МОДИФИЦИРАНИ ВЪЗДУШНИ КАТОДИ

Благовеста Мидюрова[1], Александър Димитров[1]
[1]Университет „Проф. д-р Асен Златаров”

AUGMENTATION OF MICROBIAL FUEL CELL PERFORMANCE USING MODIFIED AIR CATHODES

Blagovesta Midyurova[1], Aleksandar Dimitrov[2]
[1] Prof. D-r Asen Zlatarov University

Abstract

In the present work, simultaneous power generation and wastewater treatment in the single chamber air cathode microbial fuel cell (MFC) have been enhanced by introducing modified electrode as an efficient air cathode. The performance of the air cathode was evaluated by cyclic voltammetry (CV) analysis. Determined is the operating stability of the cell with the carbon brush (anode) and modified air cathodes by measuring the voltage and permanganate oxidation (PO) in the experiment.

The MFC with the modified air cathode VITO/PANI achieved a maximum voltage of about 53.3mV, which is comparatively higher than air cathode VITO (45.7mV). The final results for removal of organic compounds in MFC are from 451.34mgO_2/L to 85.23 - 96.67mgO_2/L for both air cathodes. These results revealed the potential of modified air cathode VITO/PANI to be used in MFC.

Keywords: Microbial Fuel Cell, Air cathode, Wastewater

ВЪВЕДЕНИЕ

Екологичните биотехнологии в последните години имат значителна роля при пречистването на води, утилизацията на отпадъчни потоци, редукцията на някои метални йони и др. [1, 2]. Първоначално интересът в тази област е насочен предимно към двукамерните биоелектрохимични системи разделени с протон- обменна мембрана. В последствие тези експерименти са заменени с асамблирането на мембрана и електрод с цел намаляване на вътрешното съпротивление в клетката и оптимизирането на процесите [3].

В последните години се наблюдава тенденция за използване на различни конструкции и дизайн на микробиологични горивни клетки (МГК), с което се цели да се увеличи ефекта на пречистване на отпадъчни флуиди и добива на енергия. Сериозно предизвикателство пред учените е създаването на биоелектрохимични системи с въздушен катод [4, 5], анализиране на влиянието на различните компоненти в системата и увеличаване на производителността на МГК [6]. Основните им усилия са концентрирани върху подобряване потенциала на електродите чрез нанасянето на различни катализатори от електропроводими полимери. Поради това са необходими по- задълбочени и последователни проучвания по отношение на електрохимичния потенциал на катода и неговото оптимизиране [7].

Въздушния катод трябва да осигури непрекъснат достъп на електрон- акцептор-кислород от въздуха и едновременно с това да бъде в добър контакт с анода, на който е закрепен формирания микроорганизмов биофилм от анодния електролит. Експерименти от такъв тип провежда Wang и колектив, които използват потенциометрични методи и в частност циклична волтаметрия за нанасянето на електропроводими полимери върху повърхността на катода, с цел

подобряване на електрохимичните му параметри [8, 9]. Те са анализирали влиянието на модификацията на катода върху производителността на биоелектрохимичната система. За целта колективът използва катод от въглеродно платно с полианилин - polyaniline (PANI) и наблюдава подобряване на биоелектрохимичните процеси в еднокамерна МГК, вследствие на модификацията. Получената мощност при катод с PANI е 32.2 mW/m^2, стойности от 1.8 до 6 пъти по- високи при използване на немодифицирани катоди от въглеродно платно с катализатор сулфониран кобалтов фталоцианин [10-12].

Целта на настоящото изследване е увеличаване на производителността на микробиологична горивна клетка чрез използване на модифицирани въздушни катоди.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Въздушни катоди - модификация

Модификацията на катода е от особено значение за увеличаване на производителността на МГК чрез интензифициране на процесите на катализиращия слой. Използван е търговски катод VITO 40:60 (Belgium) като базов, на който е направена модификация от Nafion 5%-ен разтвор като свързващо вещество и електропроводим материал. Поради добрите си електронпроводящи свойства са използвани материалите - полианилин, поликарбазол и полинитросилкарбазол на Sigma-Aldrich в съотношение 2:0.1.

Разработените модифицирани катоди са със следния състав:

- VITO- немодифициран катод като базисен;
- VITO / Nafion- катод №1;
- VITO / PANI - катод №2;
- VITO / Carbazole- катод №3;
- VITO/Polynitrotosylcarbazole- катод №4;

След хомогенизиране на суспензията, композитната смес е нанесена с помощта на шпатула на равномерен слой по цялата повърхност на електрода от страна на течната фаза. Модифицираните въздушни катоди се сушат на стайна температура за 24часа. Работната площ на електродите е $8.9.10^{-4}m^2$.

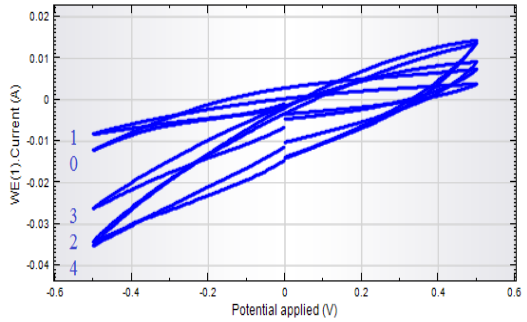
Електрохимичен анализ чрез циклична волтаметрия

За провеждане на електрохимичния анализ е използвана тестова клетка. Тя представлява трикомпонентна конфигурация от 250mM воден разтвор на NaCl, въглеродно платно, модифицирания електрод и сребро-сребърен хлориден електрод: Ag/AgCl/KCl (наситен воден р-р). Цикличните волтамограми са снимани със стъпка 0.00244 и скорост на сканиране 0.1Vs-1 при стайна температура (25 ± 2° C).

Микробиологична горивна клетка – дизайн на реактора

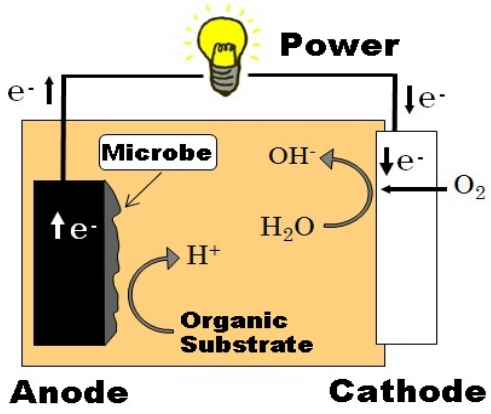
За целта на експеримента е изработен реактор на МГК от PVC елемент - анодна камера с вместимост 20ml. В нея е разположен анод от графитна четка, която е предварително конструирана спрямо вътрешния капацитет на камерата. Влакната на графитната четка са разположени така, че да се осигури максимална повърхност на контакт с катода. Анодната камера е заредена с електролит в състав: електрогенни микроорганизми, които са изолирани от дънен седимент на яз. „Ясна поляна”. Проба от седимента е пренесена на богата течна хранителна среда със състав (g/dm^3): казеинов триптон -10; дрождев екстракт - 5; NaCl – 5; глюкоза – 20. След 72 часа култивиране при температура от 16 до 20ºC, получения електролит е зареден в анодната камера на лабораторната МГК. Във външната верига между графитната четка (анода) и въздушния катод има съпротивление от 100Ω.

Поради факта, че всеки електропроводим материал има специфични функционални особености се използва първичен скрининг с метода циклична волтаметрия за предварителен подбор на въздушните катоди. В експериментално получените волтамограми (фиг. 1), се наблюдават доста сходни данни за потенциалите на електродите. От фиг.1, можем да направим следния анализ: катодът, който е използван за базисен има ниска максимална (пикова) стойност на тока I_0= 14mA; I_1= 10mA; I_2 = 35mA; I_3 = 26mA; I_4 = 36mA.



***Фиг. 1**. Криви на CV на въздушни катоди*

Катодът с модификация от PANI – катод №2 и катод №4 (Polynitrotosylcarbazole), имат близки стойности, но поради наличие на нехомогенна структура по повърхността на катод №4 в конструираната МГК ще бъде приложен катод №2. Получените данни са потвърждение за подобрена проводимост, голяма специфична повърхност и повишена редукционна активност при модификацията на електрода с полианилин [11]. Това е от особена важност за увеличаване на производителността на МГК и поради тази причина са сравнени и приложени два от въздушните катоди – базисния и модифицирания VITO/PANI. На фиг.2 е даден схематичен изглед на протичащите процеси в анодната камера на МГК с въздушен катод.

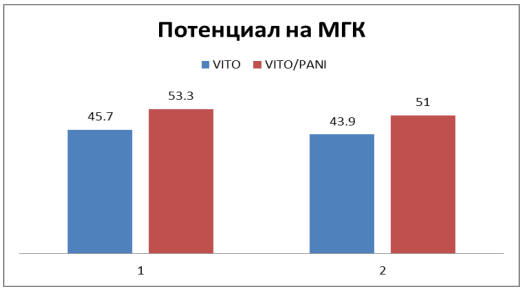


***Фиг. 2**. Схема на микробиологична горивна клетка* [13]

Операционната стабилност на клетката с е проучена на база измерване на напрежението и анализ на съдържанието на органика чрез показателя перманганатна окисляемост (ПО). Напрежението е измервано в хода на експеримента с Auto ranging digital Multi-meter Model MY-66 при затворена верига. Периодично са вземани проби от анодната камера за анализ на ПО по методиката на Добревски и съавт, 2003. [14]

***Фиг. 3.** Лабораторна МГК*

Получените стойности на напреженията при МГК с катод VITO са в диапазон от 45.7mV до 43.9mV при стабилна експлоатация на клетката от 168 часа. От графичната зависимост на фиг. 4 се наблюдава увеличаване на напрежението от 53.3mV до 51mV при катод VITO/PANI - катод №2, което най-вероятно се дължи на подобрени биоелектрохимични процеси в клетката.



***Фиг. 4**. Потенциал на МГК в периода на експлоатация*

Частичната асимилация на органична материя в електролита е потвърдена чрез направени анализи на средата с показателя перманганатна окисляемост (Метод на Кубел), който е с начални стойности 451.34mgO_2/L и крайни стойности 96.67mgO_2/L за VITO и 85.23mgO_2/L за VITO/PANI – катод №2.

***Фиг. 5**. Съдържание на органични вещества изразени чрез показателя перманганатна окисляемост*

От графичната зависимост на фиг. 5 се наблюдават сравнително близки стойности на съдържанието на органика и по- висок процент 81% на асимилация на органика в клетката с катод VITO/PANI. Това най-вероятно се дължи на ускоряването на катодните процеси чрез модификацията с PANI.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Правилният дизайн на реактора, подходящите електроди и познаването на електрохимичните им характеристики са от особена важност за ефективното протичане на процесите в МГК.

С електрохимични тестове в частност циклична волтаметрия е направен първоначален скрининг на различните електроди. При модифициран въздушен катод №2 (VITO/PANI), бе установен пик на потенциала при 35mA, в резултат на което е приложен в лабораторната МГК.

Експериментално е доказано, че при модификацията на катода генерираното напрежение в МГК е нарастнало от 45.7 mV на 53.3mV. Получените резултати ни демонстрират, увеличаване на производителността на МГК, доказателство за което е и увеличения ефект за отстраняване на органика от 78% на 81%.

REFERENCE

[1]Mohan S., Velvizhi G., Modestra J., Srikanth S. Microbial fuel cell: Critical factors regulating bio-catalyzed electrochemical process and recent advancements. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 40, pp. 779–797.

[2]Freguia S., Rabaey K., Yuan Z., Keller J. Sequential anode–cathode configuration improves cathodic oxygen reduction and effluent quality of microbial fuel cells. Water Research, 2008, 42, pp. 1387–1396.

[3]Behera M., Jana P., Ghangrekar M. Performance evaluation of low cost microbial fuel cell fabricated using earthen pot with biotic and abiotic cathode. Bioresource Technology, 2010, 101, pp. 1183–1189.

[4]Ghangrekar M., Shinde B. Performance of membrane-less microbial fuel cell treating wastewater and effect of electrode distance and area on electricity production. Bioresource Technology, 2007, 98, pp. 2879–2885.

[5]Venkata Mohan, S., Srikanth, S., Veer Raghuvulu, S., Mohanakrishna, G., Kiran Kumar, A., Sarma, P.N., Evaluation of the potential of various aquatic ecosystems in harnessing bioelectricity through benthic fuel cell: effect of electrode assembly and water characteristics. Bioresource Technology,2009, 100, pp. 2240–2246.

[6]Liang P., Fan M.Z., Cao X.X., Huang X., Huang Z.H., Wang C., Electricity Generation Using the Packing-Type Microbial Fuel Cells. Environ. Sci. 2008, 29, pp. 512–517.

[7] Jin T., Luo J.M., Yang J., Zhao Y.Y., Zhou L., Zhou M.H. Coupling of anodic and cathodic modification for increased power generation in microbial fuel cells. J. Power Sources, 2012, 219, 358–363.

[8] Wang P., Lai B., Li H., Du Z., Deposition of Fe on graphite felt by thermal decomposition of $Fe(CO)_5$ for effective cathodic preparation of microbial fuel cells. Bioresource Technology, 2013, 134, pp. 30-35.

[9]Wang P., Li H., Du Z., Polyaniline Synthesis by Cyclic Voltammetry for Anodic Modification in Microbial Fuel Cells, Int. J. Electrochem. Sci., 2014, 9, 2038 – 2046.

[10]Yong C., Dong C., Chan-Park B., Song H., Chen P., Macroporous and Monolithic Anode Based on Polyaniline Hybridized Three-Dimensional Graphene for High-Performance Microbial Fuel Cells. ACS Nano., 2012, 6, 2394–2400.

[11]Wang Y., Wu J., Yang S., Li H., Li X. Electrode Modification and Optimization in Air-Cathode Single-Chamber Microbial Fuel Cells. Int J Environ Res Public Health, 2018, 7, 1349-1355.

[12]Mohan S., Velvizhi G., Modestra J., Srikanth S. Microbial fuel cell: Critical factors regulating bio-catalyzed electrochemical process and recent advancements. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 40, pp. 779–797.

[13]http://www.green.gifu-u.ac.jp/

[14]Добревски, И. 2003. Ръководство за упражнения по технология на водата, част първа. Бургас, Асен Златаров.

РАДИОЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ НА ПИТЕЙНИТЕ ВОДИ И ДЪННИТЕ УТАЙКИ В РАЙОНА НА АЕЦ „КОЗЛОДУЙ”

Пенчо Стойчев
Технически университет - Габрово

RADIO-ENVIRONMENTAL MONITORING OF DRINKING WATER AND BOTTOM SLUDGE IN THE AREA OF KOZLODUY NPP

Pencho Stoychev
Technical University of Gabrovo

Abstract

The publication summarizes the results of the Radiation Monitoring of the Environment of the Kozloduy NPP in 2017. The results for total beta activity in the region's drinking water are analyzed. Data from the monitoring of bottom sludge is summarized. Comparisons have been made with the data from past years of operation of the NPP.

Keywords: Radiation Monitoring; Environment ; Kozloduy NPP; drinking water; bottom sludge.

ВЪВЕДЕНИЕ

Радиоекологичният мониторинг в АЕЦ “Козлодуй” е неделима част от безопасността на атомната централа, радиационната защита на населението и опазване на околната среда в района. Целта е да се даде точна и детайлна оценка на радиационните параметри на околната среда и локализиране на евентуалното влияние от експлоатацията на атомната централа върху населението и екосистемите в района на АЕЦ, в границите на установените норми.

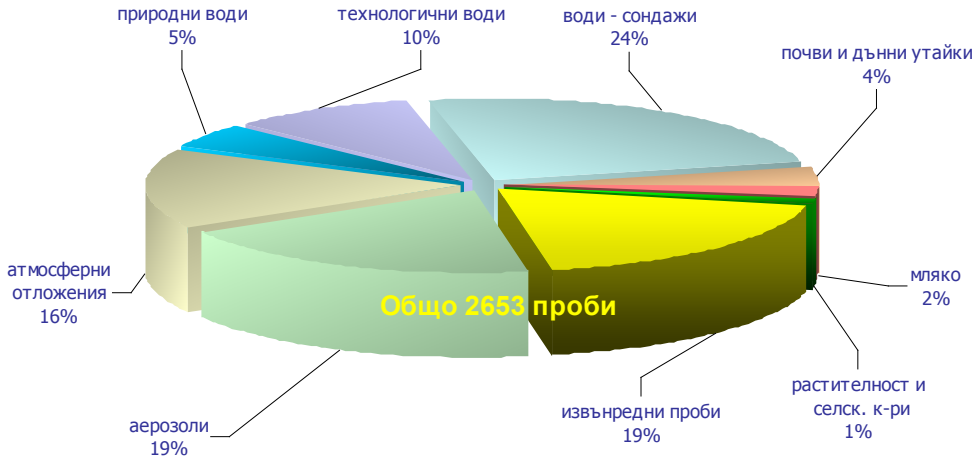
В този аспект резултатите от мониторинга се явяват огледало на безопасната експлоатация.

В публикацията са обобщени резултатите от радиационния мониторинг на околната среда на АЕЦ “Козлодуй” през 2017 година. Анализирани са резултатите за общата бета активност в питейните води на региона. Обобщени са данните от мониторинга на дънните утайки. Извършени са сравнения с данните от минали години на експлоатация на АЕЦ.

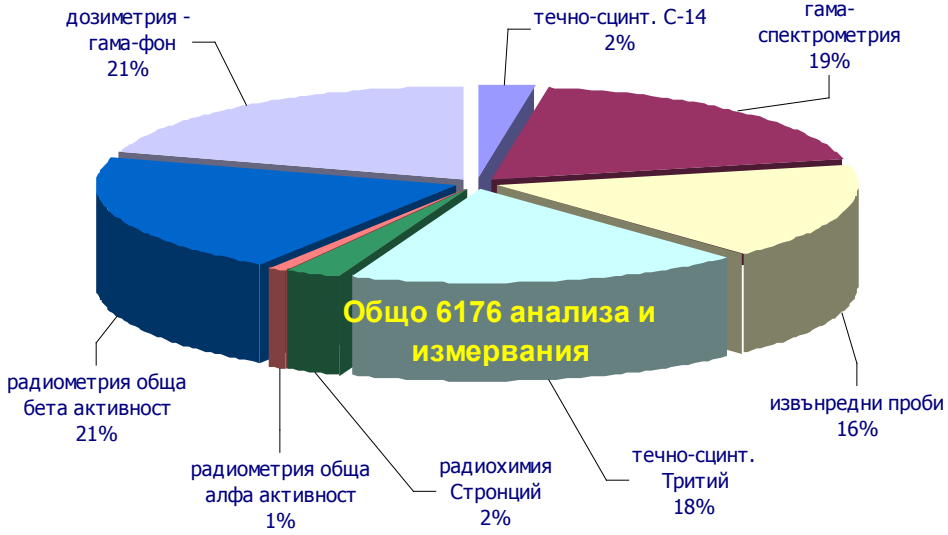
ИЗЛОЖЕНИЕ

През 2017 г. са изследвани общо 2653 проби от различни обекти на околната среда: въздух, води, почва, растителност, мляко, риба, селскостопански култури и др. Проведени са общо 4919 анализи за радиоактивност. Проведени са 1257 измервания на радиационния гама-фон в контролните постове и маршрутите с преносими дозиметрични прибори и термо-луминисцентни дозиметри (TLD). Анализирани са 5 проби от дебалансни води и 19 проби от аерозолни филтри от вентилационните тръби на ЕП-2 за техногенни радионуклиди (Pu, Am, Cm). Изследвани са общо 530 извънредни проби от обекти на площадката и околната среда.

Структурата на пробоотбора и проведените анализи за 2017 г. са дадени на Фиг. 1 и 2.



Фиг. 1. *Структура на пробоотбора (%) в общия обем радиоекологичен мониторинг, 2017 г*



Фиг.2. *Дял на видовете анализи и измервания (%) в общия обем радиоекологичен мониторинг, 2017 г*

Изпълнението на предвидения обем на радиоекологичен мониторинг е над 93.8 %.

Резултатите от ведомственият радиационен мониторинг се верифицират с независимите радиоекологични изследвания на ИАОС/МОСВ и НЦРРЗ/МЗ [1]. Установява се съответствие с националното законодателство и се анализират тенденциите в радиационната обстановка [2].

Питейна вода

Особено внимание се обръща и на питейните водоизточници в района на АЕЦ. Питейната вода за гр.Козлодуй, с.Хърлец, АЕЦ "Козлодуй" и гр.Оряхово е изследвана ежемесечно за обща бета-активност и тритий.

Два пъти през годината са определяни ^{90}Sr и ^{137}Cs в каптажните кладенци за Козлодуй, АЕЦ, II-ра помпена станция АЕЦ и Хърлец и четири пъти годишно във водопроводната мрежа на гр.Оряхово. Методите за анализ на питейната вода са аналогични с тези, използвани за анализ на природни повърхностно течащи води [3].

През 2017 г. са анализирани общо 47 проби от питейна вода, а броят на проведените анализи е 114 – съответно 10 гама-спектрометрични, 47 радиометрични за обща бета активност, 47 течно-сцинтилационни за тритий и 10 с радиохимично изолиране на стронций. Резултатите от анализите са представени в Табл. 1.

Таблица 1. *Обща бета радиоактивност на питейна вода, 2017 г., Bq/l*

Месец	Място на вземане на пробата				
	Каптажен к-ц гр. Козлодуй	Каптажен к-ц АЕЦ	Каптажен к-ц II помп. АЕЦ	Каптажен к-ц с. Хърлец	водопровод - гр. Оряхово
Януари	0.051 ±0.007		0.075 ±0.009	0.030 ±0.008	0.036 ±0.009
Февруари	0.052 ±0.010	0.067 ±0.017	0.047 ±0.008	0.024 ±0.006	0.051 ±0.010
Март	0.067 ±0.011	0.077 ÷0.016	0.032 ±0.006	0.031 ±0.006	0.047 ±0.010
Април	0.081 ±0.016	< 0.045	0.040 ±0.011	-	< 0.032
Май	0.054 ±0.011	0.066 ÷0.015	0.045 ±0.009	-	0.030 ±0.009
Юни	0.047 ±0.009	< 0.045	0.038 ±0.009	-	0.025 ±0.005
Юли	0.055 ±0.009	0.065 ÷0.017	0.042 ±0.009	-	< 0.032
Август	0.031 ±0.010	< 0.054	0.037 ±0.011	-	0.046 ±0.012
Септември	0.027 ±0.005	< 0.051	0.068± 0.011	-	0.052 ±0.012
Октомври	-	< 0.050	< 0.032	-	< 0.029
Ноември	-	0.073 ÷0.012	0.066 ±0.010	-	0.058 ±0.013
Декември	-	0.17 ± 0.025	< 0.036	-	0.061 ±0.017

Резултатите за обща бета активност в питейни води през 2017 са в границите 0.024 ÷ 0.17 Bq/l, средно 0.051 Bq/l. Активността на тритий във всички анализирани проби през 2017 г. е варирала в диапазона от < 2.3 ÷ < 3.0 Bq/l, средно < 2.6 Bq/l. Стойностите са много по-ниски от допустимите норми за питейна вода: 1 Bq/l обща бета-активност и 100 Bq/l за тритий, Наредба №9/16.03.2001 г. Получените резултати са аналогични и съизмерими с тези от предходните години.

През 2017 г. не са анализирани проби ежемесечно от каптажен кладенец "Козлодуй" поради не осигурен достъп, и каптажен кладенец "Хърлец", който ползва водите на гореспоменатия.

За 2017 г. активността на ^{137}Cs във всички анализирани проби е под МДА (< 0.6 ÷ < 0.8) mBq/l.

Активността на ^{90}Sr в питейни води през 2017 г. е варирала в диапазона < 0.4 ÷ 2.9 mBq/l. Резултатите са сходни с тези от предишни години и са около 1000 пъти по-ниски от законовите норми (ОНРЗ-2012).

Дънни утайки от природни водоеми

Дънните утайки (седименти) са важен екологичен индикатор за акумулиране на радиоактивност в природните водоеми. Те са част от хранителната верига във водната екосистема и изследването им дава информация за въздействието на АЕЦ върху водните басейни в района.

Пробоотборът се извършва в 7-те контролни постове тип "С" на откритите водоеми в района, на същите контролни точки като на водите. Пробите са изсушавани до постоянно тегло, пресявани са през сито с диаметър на отворите 2 mm и са хомогенизирани. Аликвотни части от подготвените проби са анализирани гама-спектрометрично и радиометрично, както следва:

• 500 g проба се гама-спектрометрира директно за време на измерване 60000 s, МДА за ^{137}Cs варира в диапазона 0.27÷ 0.54 Bq/kg a.d.w (въздушно сухо тегло).

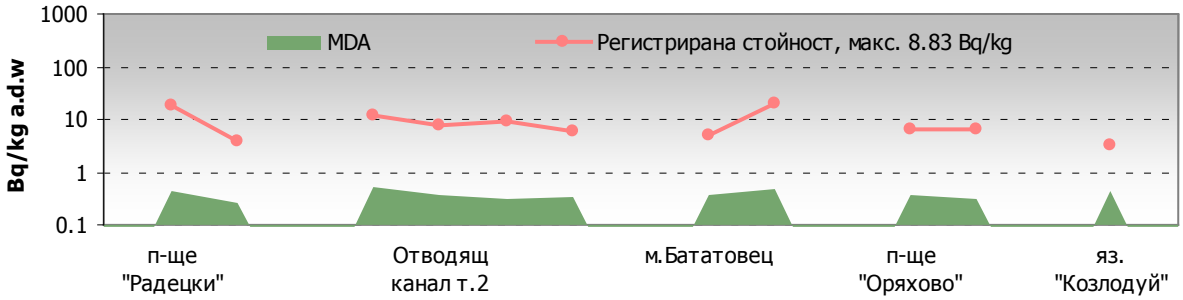
• 200 g проба е използвана за определяне на ^{90}Sr. Определянето се основава на радиохимично изолиране на радиостронция от пробата, разделяне от калций с натриева основа и течно-сцинтилационно спектрометриране на ^{90}Y след установено радиоактивно равновесие в режим на измерване "Черенково броене" (водна среда, без коктейл). При измерване 10000 s, МДА е средно 0.092 Bq/kg a.d.w.

Резултатите за дънни утайки (ДУ) от водоемите през 2017 г. са представени в Табл. 2 и Фиг. 3.

Измереният през 2017 г. ^{137}Cs в дънни утайки от р. Дунав е в граници 3.7 ÷ 19.2 Bq/kg a.d.w., стойности съизмерими с резултатите от предишни години. Максималната стойност е измерена в проба от "Бататовец" през месец септември. Обобщени данни за 21 г. период са представени в Табл. 3.

Таблица 2. *Обобщени данни за мониторинга на дънни утайки, 2017 г.*

Дънни утайки	✓ Пробоотбор в пунктовете за природни води ✓ Взети са: 13 проби с проведени 24 анализа /13 гама-спектрометрични и 11 с радиохимично изолиране на стронций/ РЕЗУЛТАТИ ✓ Активност на ^{137}Cs в диапазона 3.1-19.2 Bq/kg a.d.w. ✓ Активност на ^{90}Sr в диапазона 0.12-1.92 Bq/kg a.d.w.
ОБОБЩЕНИЕ: ➢ Резултатите са сходни в дългосрочен план. Флуктуациите в активността се дължат на нехомогенност на пробоотбора, типично за този вид проби. ➢ Измерените активности на ^{137}Cs са много ниски, съпоставими с почвите в района.	



Фиг. 2. *Активност на ^{137}Cs (Bq/kg a.d.w.) в дънни утайки от открити водоеми, 2017 г.*

Варирането на активността в измерените проби в относително широки граници се дължи на невъзможността да се осигури пробоотбор от едно и също място, респективно представителност на пробите. Причина за това са промените в нивото на реката и локалният характер на замърсяванията.

През 2017 г. за дънните утайки от отводящ канал – АЕЦ активността на ^{137}Cs варира от 6.1 до 12.3 Bq/kg a.d.w. Както е видно от обобщените резултати в таблицата, през минали години има съпоставимост на данните от горното и долно течение.

Таблица 3. *Данни за активност на ^{137}Cs в дънни утайки от р.Дунав, 1996-2017 г., Bq/kg a.d.w.* [4]

Година	Преди АЕЦ "Козлодуй"		След АЕЦ "Козлодуй"	
	Диапазон	Средна стойност	Диапазон	Средна стойност
1996	12.5-35.0	23.8	0.18-74.1	24.2
1997	15.2-70.9	43.1	0.20-61.6	25.4
1998	10.5-22.1	16.3	0.37-58.0	16.1
1999	13.7-15.4	14.6	0.39-28.8	11.0
2000	10.0-31.0	19.0	0.40-98.0	17.0
2001	17.8-25.7	22.8	0.61-13.3	6.0
2002	18.0-22.0	20.0	0.32-23.1	10.3
2003	5.63-24.0	14.8	0.38-37.1	12.8
2004	1.69-26.4	14.1	1.22-43.2	18.4
2005	0.59-29.6	19.4	0.52-28.4	13.5
2006	21.9-24.3	23.1	0.61-15.6	7.8
2007	4.6	4.6	0.37 31.1	10.6
2008	1.4-4.2	2.8	6.9-26.3	13.3
2009	6.9-16.3	11.6	0.87-16.0	8.3
2010	17.8-20.5	19.1	4.7-19.0	12.5
2011	7.1 ÷ 10.1	8.6	3.7-48.2	13.5
2012	13.9-18.5	16.2	5.1-33.5	11.5
2013	4.8-6.04	5.43	6.0-67.7	20.9
2014	16.6	16.6	6.4-14.4	9.5
2015	18.0-22.0	20.0	0.32-23.1	10.3
2016	5.63-24.0	14.8	0.38-37.1	12.8
2017	3.7-17.9	10.8	6.1-19.2	9.0

Това показва, че не може еднозначно да се определи радиоекологичното влияние от АЕЦ "Козлодуй" върху басейна на р.Дунав. Измерените стойности са много ниски и не представляват екологичен риск за водната екосистема. В голяма степен техногенните замърсявания се дължат на акумулирана в дънните утайки "стара" активност от ядрените тестове и аварията в АЕЦ "Чернобил". Изотопът ^{134}Cs и друга техногенна активност не са детектирани в пробите (МДА ср. < 0.65 Bq/kg a.d.w). За яз. "Козлодуй" ^{137}Cs е 3.1 Bq/kg a.d.w.

Активността на ^{90}Sr в дънни утайки от природни водоеми е в диапазона 0.12 ÷ 1.92 Bq/kg a.d.w. Максималната стойност е в проба от язовир "Козлодуй". Данните са съпоставими с минали години.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

✓Програмите за радиоекологичен мониторинг са изпълнени успешно, в нужния обем при осигурено качество на анализите. Обемът и организацията на мониторинга удовлетворява напълно критериите на страните с развита ядрена енергетика и добрата лабораторна практика.

✓Проведеният през 2017 г. радиоекологичен мониторинг установява съответствие на състоянието на околната среда около АЕЦ с изискванията на нормативната база в областта на радиационната защита и опазването на околната среда. Няма отклонение на радиационните показатели над допустимите норми.

✓Сравнението на данните за 2017 г. с тези от минали години и от преди пуска на централата доказва отсъствието на неблагоприятни тенденции в радиоекологичната обстановка вследствие работата на АЕЦ "Козлодуй". Радиационните показатели са в нормални граници, с характерни за района фонови стойности.

✓Радиационната обстановка в 100 km зона е стабилна и благоприятна.

✓ Радиационният статус на питейните водоизточници в района не е повлиян от работата на АЕЦ "Козлодуй" и отговаря напълно на санитарните норми.

✓ Резултатите през 2017 г. показват минимално влияние в някои от дънните утайки в локален участък след заустването на отводящ канал – АЕЦ. Регистрираните активности ^{137}Cs се дължат на акумулиране, вследствие експлоатацията на атомната централа.

✓ Като цяло радиационния статус на седиментите от р. Дунав в района е с характерни за природните водоеми нива, неповлиян значимо от изхвърлянията на АЕЦ "Козлодуй".

REFERENCE

[1] Ordinance on the conditions and procedures for determining the special statutory areas around nuclear facilities and sites with sources of ionizing radiation, Decree of the Cabinet of Ministers № 187 / 28.07.2004.

[2] Law on Environmental Protection. State Gazette № 91 / 25.09.2002, …№ 101 / 22.12.2015.

[3] Program for radiation monitoring of the environment during operation of NPP "Kozloduy". 2012, NPP "Kozloduy".

[4] Results of radio-ecological monitoring NPP "Kozloduy". 2017, Nuclear regulatory agency.

ИЗСЛЕДВАНЕ СЪСТОЯНИЕТО НА ВОДОИЗТОЧНИЦИТЕ В ГАБРОВСКИ РЕГИОН

Пенчо Стойчев
Технически университет - Габрово

STUDY OF THE STATE OF THE WATER SOURCES IN GABROVO REGION

Pencho Stoychev
Technical University of Gabrovo

Abstract
Water is essential to life, but it can also be a carrier of disease. Infectious diseases caused by pathogenic bacteria, viruses and parasites are the most common health risks associated with drinking water. The purpose of this study is to summarize the results of the monitoring of drinking water in the region of Gabrovo.

Keywords: monitoringp, drinking water, region of Gabrovo.

ВЪВЕДЕНИЕ

Управлението на качеството на питейната вода е един от основните стълбове за първичната превенция на водата от повече от век и половина и продължава да бъде основата за предотвратяване и контрол на заболявания, причинени от вода. Водата е от съществено значение за живота, но тя може да бъде и преносител на болести. Инфекциозните заболявания, причинени от болестотворни бактерии, вируси и паразити (например, протозои и хелминти), са най-често срещаните и широко разпространени здравни рискове, свързани с питейната вода. В зависимост от геоложките условия, а също и от естествените и антропогенните химически вещества в питейната вода, тя може да предизвика различни заболявания. Освен това, в нея има и химически вещества, които поради технически причини, са нежелани от доставчика на вода над определени нива.

Директивата на ЕС за питейната вода [1] гласи, че държавите-членки трябва да предприемат необходимите мерки, за да се гарантира, че водата, предназначена за консумация от човека е пълноценна и чиста. За тази цел, питейната вода трябва да е напълно освободена /чиста/ от всякакви микроорганизми и паразити, както и от всякакви вещества, които по количество или концентрация представляват потенциална опасност за човешкото здраве [2].

Всички тези факти са убедително доказателство, че опазването на чистотата на водите е изключително актуален въпрос на нашето съвремие. Целта на настоящото изследване е обобщаване на резултатите от мониторинга на питейните води в региона на гр. Габрово.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Директивата на ЕС за питейната вода определя и честотата на вземане на проби и анализи за водите, предназначени за консумация от човека и доставяни чрез водоснабдителна мрежа или резервоар, както и водите, които се използват в хранително-производствени предприятия. Честотата на вземане на проби зависи от обема на доставената вода или от всеки един производствен ден в рамките на вододайната зона.

Качеството на питейната вода може да бъде повлияно от различни източници. В зависимост от оригиналния източник на питейна вода, тя може да съдържа различни неорганични вещества, частично здравословни и частично нежелани. Ако те са в излишък, може дори да са вредни за здравето

и дори да съдържат частици или естествени органични вещества (от разлагане на продукти), с произход от гора или блатисти райони. Когато се дължи на човешката дейност, селското стопанство, промишлеността или водопроводната мрежа, водата може да съдържа различни примеси. Питейната вода може да бъде замърсена и от контакт с материали от водопроводната мрежа – например от метални тръби.

Законът за водите [3] урежда собствеността и управлението на водите на територията на Република България като общонационален неделим природен ресурс и собствеността на водностопанските системи и съоръжения.

Управлението на водите се осъществява на национално и басейново ниво. Районите на речните басейни се определят от естественото разположение на вододелите между водосборните области на една или няколко основни реки на територията на Република България. Определените с този закон речни басейни не следват административно- териториалното деление на страната и са основа и за управление на околната среда на басейнов принцип.

Мониторинг на повърхностните и подземните води се извършва по одобрени от министъра на околната среда и водите програми и включва измервания, наблюдения и оценки за състоянието на водите. Програмите са част от плана за управление на речните басейни (ПУРБ) и се разработват от басейновите дирекции (БД) за всеки район за басейново управление съвместно с Националния институт по метеорология и хидрология (НИМХ) в частта за управление на количествения мониторинг на водите и Института по океанология (ИО) в частта за мониторинг на морските води.

Изпитванията на проби се извършват от акредитирани лаборатории в съответствие с разпоредбите. Анализите на биологични и хидроморфологични елементи за качество, както и на количественото състояние на подземните водни тела се извършват от акредитирани и/или специализирани лаборатории.

Наблюденията, измерванията, вземането, консервирането и изпитванията на проби се извършват съгласно български или международни стандарти. В случаите, в които липсват български или международни стандарти, дейностите се извършват по утвърдени от министъра на околната среда и водите методи. Методите се предлагат от ИАОС и се разглеждат и от Висшия консултативен съвет по водите.

Измерванията, вземането на проби и анализите се извършват с технически средства и съдове, подлежащи на периодичен метрологичен контрол или калибрирани съгласно утвърдени работни процедури и методики за вътрешно калибриране.

Всички методи за анализ, включително лабораторни, полеви и онлайн методи, използвани за целите на програмите за химичен мониторинг, изпълнявани в съответствие с изискванията на наредбите [4] и [5], са валидирани/верифицирани и документирани в съответствие със стандарт БДС EN ISO/IEC-17025 или други международно признати стандарти.

Басейновите дирекции извършват контрол и оценка на данните на басейново ниво. НИМХ обработва и контролира информацията от количествения мониторинг и осигурява необходимата информация и оценки за количеството на водите в повърхностните и подземните водни тела.

След контрола и оценките данните се предават за актуализиране в информационната системата на национално ниво. Данните се предоставят на МОСВ, БД и ИАОС в изпълнение на изискванията.

С Наредба 9/2001 (изменена и допълнена от 16.01.2018) [4] се определят изискванията към качеството на водата, предназначена за питейно-битови цели. Наредбата има за цел да защити здравето на хората от неблагоприятните ефекти на замърсяването на питейната вода, като регламентира изисквания към качеството и безопасността и.

С Наредба № 12 от 18.06.2002 г. [5] се определят изискванията към качеството на пресните повърхностни води, които след прилагане на подходяща обработка се използват или са перспективни за получаване на вода за питейно-битово водоснабдяване, тяхното категоризиране и условията за измерване, вземане на проби и изпитване на показателите.

Водоснабдителната система на гр. Габрово и региона се състои от:

- *Помпени станции и хидрофори – 31 бр*
- *Пречиствателни станции за питейни води – 2 бр.*
- *Довеждащи водопроводи – 264 km.*
- *Разпределителни водопроводи – 430.893 km.*
- *Резервоари – 123 бр.*
- *Язовир – 1 бр.*
- *Водоизточници – 71 бр.*

Обслужваните водоснабдителни системи в Община Габрово са 35 бр., обхващат 99 % от населението, като услагата доставяне на вода се предлага на 47 214 бр. потребители.

Основен водоизточник е язовир „Христо Смирненски" с 11 бр. каптажи.

Напорни водоеми – 24 бр. с общ V=22 385 m^3.

Довеждащи водопроводи – 77.753 km.

Вътрешна водопроводна мрежа – 200.575 km.

❖ Язовир "Христо Смирненски":

Таблица 1.

Технически данни за язовир "Христо Смирненски"

Параметър	Стойност
Кота корона	534.80
Кота масивен пар.	538.00
Максимална височина От зъба От дъно река	 63 58
Кота НВРВН	534.50
Кота НВВН	536.00
Кота ННРВН	507.00
Пълен обем на язовира	$28.30*10^6$ m^3
Полезен обем на язовира	$24.10*10^6$ m^3

❖ ПСПВ „Киселчова могила"

Извършената рехабилитация на ПСПВ като част от „Интегриран проект за водния цикъл на гр. Габрово" по ОП „Околна среда 2007 – 2013 г." с бенефициент Община Габрово е с двустъпална схема на пречистване и е оразмерена за следните параметри:

Таблица 2.

Технически данни за ПСПВ „Киселчова могила"

Параметър	Стойност
Среден дебит	310 l/s
Максимален дебит	500 l/s
Минимален дебит	200 l/s

Технологичната схема включва следните съоръжения:

ПО ПЪТЯ НА ВОДАТА

1. Входна шахта със спирателен кран с ел. задвижване
2. Сграда микросито
3. Дебитомер на входа
4. Сграда първично пречистване

- Камера за флокулация – дозиране с полиелектролит
- Смесителна камера 1 – дозиране на алуминиев сулфат
- Смесителна камера 2 – дозиране с варно мляко
- Ламелен утаител

5. Аератор
6. Сграда пясъчни филтри
7. Хлораторно отделение
8. Резервоари за съхранение на реагенти
- Алуминиев сулфат (за коагулация)
- Полиелектролит (за флокулация)
- Калиев перманганат (за предокисление)
- Варно мляко (за корекция на pH)
- Хлор (за дезинфекция)

9. Суха камера и резервоари 2 x 7 000 m^3
10. Суха камера и резервоари 2 x 2 500 m^3
11. Дебитомер на изхода
12. Пясъкозадържател, площадка за пясък и изравнител
13. Смесителна камера за реагенти
- Смесителна камера (дозиране на алуминиев сулфат)
- Флокулационна камера (дозиране на полиелектролит)

14. Радиален утаител
15. Утайкоуплътнител

Освен от язовир «Христо Смирненски» населените места в Община Габрово се водоснабдяват и от други 34 водоснабдителни системи: ВС „Малуша", ВС „Любово", ВС „Лютаци", ВС „Радецки", ВС „Лоза", ВС „Армените", ВС „Златевци", ВС „Чавеи", ВС „Стоманеците", ВС „Зелено дърво", ВС „Поповци", ВС „Думници", ВС „Гледаци", ВС „Прахали", ВС „Пецовци", ВС „Мрахо-

ри”, ВС „Дебел дял”, ВС „Кметовци”, ВС „Старилковци”, ВС „Мичковци”, ВС „Стоките”, ВС „Столетов”, ВС „Гайтаните”, ВС „Чукили”, ВС „Тръните”, ВС „Торбалъжите”, ВС „Генчовци”, ВС „Баланите”, ВС „Живко”, ВС „Здравковец”, ВС „Лесичарка”, ВС „Кози рог”, ВС „Междени”, ВС „Велковци”.

Анализ на резултатите от изследванията и мерки за подобряване на състоянието

Установеното качество на водата за питейно битови цели в двете пречиствателни станции “Киселчова могила” и „Малуша”е представено на Таблица 3. Усреднените месечни стойности на контролираните показатели на вход и изход от тях са представени съответно на Таблици 4 и 5.

Извършените проби на питейни води през 2017 г. в гр. Габрово, гр. Дряново и гр. Трявна от Лабораторен Изпитвателен Комплекс за пиейни води (ЛИК-ПВ) на Биохомична и микробиологична лаборатория към „ВиК” ООД град Габрово, съгласно мониторинга по Наредба 9/2001, са представени на таблици 6 и 7.

Таблица 3

Брой на пробите за качество на питейните води

Органолептични			**Физико-химични**			**Микробиологични**			**Общо**		
извършени	**стандартни**	**% стандартни**	**извършени**	**стандартни**	**% стандартни**	**извършени**	**стандартни**	**% стандартни**	**извършени**	**стандартни**	**% стандартни**
382	343	89,79	382	360	94,24	382	360	94,24	1146	1146	92,76

Таблица 4

Усреднени месечни стойности на показатели на вход и изход ПСПВ „Киселчова могила”за 2017 г.

№	**Показатели**	**Единица на величината**	**Вход ПСПВ „Киселчова могила”**	**Изход ПСПВ „Киселчова могила”**
1	Цвят	Hz /Pt/Co	6	<5
2	Мирис при 20^0C	бала	0	0
3	Вкус	описателно	без привкус	без привкус
4	Активна реакция	pH	7,79	7,83
5	Електропроводимост	µS/cm	212	213
6	Перм. окисляемост	mg O_2/l	1,81	1,64
7	Амониев йон	mg/l	0,021	<0,013
8	Нитрити	mg/l	0,023	<0,007
9	Нитрати	mg/l	1,4	1,2
10	Манган	µg/l	57	17
11	Остатъчен св. хлор	mg/l	-	0,293
12	Ешерихия коли	КОЕ/100 ml	4	0
13	Колиформи	КОЕ/100 ml	37	0
14	Ентерококи	КОЕ/100 ml	6	0
15	Микробно число 22^0C	КОЕ/ml	137	0
16	Клостридиум перфрингенс	КОЕ/100 ml	-	0
17	Мътност	NTU	3,79	0,91

Таблица 5

Усреднени месечни стойности на показатели на вход и изход ПСПВ „Малуша”за 2017 г.

№	Показатели	Единица на величината	Вход ПСПВ „Малуша”	Изход ПСПВ „Малуша”
1	Цвят	Hz /Pt/Co	<5	< 5
2	Мирис при 20^{0}C	бала	0	0
3	Вкус	описателно	без привкус	без привкус
4	Активна реакция	pH	8,23	8,25
5	Електропроводимост	µS/cm	367	370
6	Перм. окисляемост	mg O_2/l	1,87	1,21
7	Амониев йон	mg/l	0,016	0,016
8	Нитрити	mg/l	0,014	0,013
9	Нитрати	mg/l	2,6	2,3
10	Манган	µg/l	12	10
11	Остатъчен св. хлор	mg/l	-	0,196
12	Ешерихия коли	KOE/100 ml	30	0
13	Колиформи	KOE/100 ml	94	0
14	Ентерококи	KOE/100 ml	0	0
15	Микробно число 22^{0}C	KOE/ml	43	0
16	Клостридиум перфрингенс	KOE/100 ml	-	0
17	Мътност	NTU	3,02	2,87

Таблица 6

Процентно отношение на стандартните проби за 2017 г.

Район	Органо-лептичен анализ				Физико-химичен анализ				Микробиологичен анализ				Общо			
	Изработени проби	Стандартни проби			Изработени проби	Стандартни проби			Изработени проби	Стандартни проби			Изработени проби	Стандартни проби		
	брой	брой		%	брой	брой		%	брой	брой		%	брой	брой		%
Габрово	220	193		87,73	220	212		96,36	220	207		94,09	660	612		92,73
Дряново	46	42		91,30	46	42		91,30	46	44		95,65	138	128		92,75
Трявна	116	108		93,10	116	106		91,38	116	109		93,97	348	323		92,82
Общо	**382**	**343**		**89,79**	**382**	**360**		**94,24**	**382**	**360**		**94,24**	**1146**	**1063**		**92,76**

Таблица 7

Резултати от постоянен и периодичен контрол за 2017 г.

Район	Органо-лептичен анализ			Физико-химичен анализ			Микробиологичен анализ			Общо		
	постоянен	периодичен	общо	постоянен	периодичен	общо	постоянен	периодичен	общо	постоянен	периодичен	общо
	брой			брой			брой			брой		
Габрово	164	56	220	164	56	220	164	56	220	492	168	660
Дряново	34	12	46	34	12	46	34	12	46	102	36	138
Трявна	79	37	116	79	37	116	79	37	116	237	111	348
Общо	**277**	**105**	**382**	**277**	**105**	**382**	**277**	**105**	**382**	**831**	**315**	**1146**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите показват, че средното отклонение от стандарта е в 7,24 % от общия брой на пробите.

Неприемливливата мътност се дължи на замътване на водоизточниците след дъждове.

Неприемливливата мътност, неправилно дозиране на дезинфектанта и липсата на дозаторни устройства е причина за нестандартните проби по микробиология и тези с ост. хлор > 0,4 mg/l.

Нестандартните проби по показатели желязо и цинк се дължат на корозирала водопроводна мрежа.

При някои от водоизточниците след снеготопене и дъжд се повишава съдържанието на манган.

Предприети са действия за изпълнение на нормативните изисквания към качеството на питейните води. Извършена е реконструкция на водопроводната мрежа по проект „Интегриран проект за Водния цикъл" за населените места, водоснабдени от язовир „Христо Смирненски".

REFERENCE

[1] EUROPEAN COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption, Values of Annex 1, Part B

[2] Environmental Protection law. Promulgated SG, No. 91 of 25.09.2002 .... am. and supplements, nos. 12 of 3.02.2017

[3] LAW ON WATER Prom., SG, no. 67 of 27.07.1999, ... am. and supplements, nos. 12 of 3.02.2017

[4] ORDINANCE No. 9 of 16.03.2001 on the quality of water intended for drinking and household purposes, Prom. SG No. 30 of 28.03.2001, ... am. and supplements, dated 16.01.2018.

[5] ORDINANCE № 12 of 18.06.2002 on the quality requirements for surface water intended for drinking and domestic water supply. Prom., SG, no. 63 of 28.06.2002, amend. 15 of 21.02.2012

МОНИТОРИНГ НА ЕМИСИИ НА ВРЕДНИ ВЕЩЕСТВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВОТО НА САНИТАРНА КЕРАМИКА

Драгомир Василев, Радостина Боянова
Технически университет – Габрово

MONITORING OF EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES IN THE MANUFACTURE OF SANITARY CERAMICS

Dragomir Vassilev, Radostina Boyanova
Technical University of Gabrovo

Abstract

Adverse impacts on nature should be reduced to a minimum or a solution that can completely eliminate the negative consequences and processes.

One of the solutions is to conduct environmental monitoring and its components for the identification of changes, changes and pollution, and to take measures and actions to solve the problems that have arisen. This is the basis for building and conducting monitoring of environmental components.

The aim of the present work is to monitor the emission of harmful substances in the ambient air in the production of sanitary ceramics.

Keywords: environmental monitoring, sanitary ceramics.

ВЪВЕДЕНИЕ

Въздействието на човека върху околната среда се явява необходимо условие за нашето съществуване. В резултат на стопанската дейност на човека или при непосредственото общуване на хората с природата, настъпват промени в

Неблагоприятните въздействия върху природата трябва да бъдат сведени до минимални размери или да се намери такова решение, което напълно да отстрани отрицателните последици и процеси.

Едно от решенията е провеждането на наблюдения върху ОС и нейните компоненти за установяването на промени, изменения и замърсявания, и въз основа на тях да се предприемат мерки и действия за решаването на възникналите проблеми. Това е основата на изграждането и провеждането на мониторинга на компонентите на околната среда.

Въздухът е най-необходимият за живота ни елемент. Ежедневно през белите ни дробове преминават 14 хиляди литра въздух, което означава, че опазването на качеството на въздуха се превръща във важно условие за оцеляването ни. Проблемът, свързан с опазване на природната среда, е един от най-актуалните и най-тревожните проблеми на нашето време. Той е свързан с ускореното икономическо и социално развитие на нашата цивилизация в глобален мащаб и поради това решаването му е проблем за оцеляване на човечеството. Общо известен е факта, че края на второто хилядолетие завърши с огромно негативно въздействие върху биосферата, с деградация на планетата и с нарушаване равновесието в природата от неразумно извлечената максимална изгода на човечеството при използването на готовите природни ресурси.

С напредването на техническия прогрес се появяват замърсители , който повреждат дихателните органи и целия организъм на човека. Такива са въглеродния окис, въглеродния диоксид, оловото и др. В близкото минало се говореше само за замърсен въздух от микроби и прах, а днес замърсяването на

въздуха от индустриалните предприятия буди безпокойство и застрашава здравето и живота на човека. В България основните замърсители в зависимост от района са прах, серен диоксид, азотни оксиди, амоняк, сероводород и други [1-4].

Целта на настоящата работа е мониторинг на емисиите на вредни вещества в атмосферния въздух при производството на санитарна керамика.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Мониторингът е важен етап от процеса на вземане на решения и планиране. Той е инструмент за ранно предупреждение за необходимост от адаптиране на действията и средствата или мерките за тяхното изпълнение.

Технологични процеси при производството на санитарна керамика и източници на замърсяване

Процес „Подготовка на масата и лаборатория“

В участъка се извършват дейности свързани с разтоварване/ складиране на суровини и подготовка на керамичната смес (шликер), необходима за отливане на изделията в две фази. Монтирана е аспирационна система за отвеждане на запрашения въздух от клетките за насипните основни материали: пластични глини; непластични твърди глини и др.

Процес „Подготовка на глазурата“

В участъка се подготвя глазура с необходимия цвят за покриване на изделията. Основни материали са: фелдшпат, глина за порцелан, кварцов пясък и различни групи неорганични оцветители.

Процес „Развойна дейност и производство на прототипи“

В Участък „Моделиране матрици” се изработват инструменти – матрици служещи за отливане на гипсови калъпи, разработват се нови модели и се извършва ремонт на повредени матрици или части от матрици.

Процес „Гипсови форми и полиуретан“

В Участък “Гипсови форми и полиуретан” се изработват инструменти за отливане на керамични изделия (гипсови калъпи) и полиуретанови сетери.

Процес „Отливане“

В процес „Отливане” се формоват изделията. Формоването (отливането) на изделията се осъществява чрез два вида отливни линии. Съставът на емисиите в атмосферния въздух при формоване на изделия е напълно еднакъв, поради използването на една и съща суровина (керамична смес) за двата вида изделия, както и принципа и технологията на формоване. Въздуховодите са снабдени с клапи за предотвратяването влизането на вода в работната среда в случай на дъжд и студен въздух, който би нарушил температурния режим на отливане;

Процес „Сушене“

Процеса на сушене се осъществява отнемането на влагата и изсушаването на изделията след процес „Отливане”. Сушилните са еднакви като съоръжения, параметри и технология и представляват конструкции от галванизирани стоманени панели и са снабдени с по две врати от всяка страна вход и изход.

Изделията постъпват в сушилните натоварени на колички и след зареждане на сушилните вратите се затварят. В сушилните се вкарва топъл въздух от горелки, като се следят температурата и влажността (температурата е около 85-90°C). Горелките използват природен газ. След пълното изсушаване на изделията същите се изваждат и се насочват към последващите етапи на производствения процес.

Процес „Бяла инспекция и Глазиране“

В участък „Бяла инспекция” се извършва първо инспектиране и обработка на изделията. Проверява се изцяло качеството на изделията и същите се насочват в три направления – годни, ремонт и брак. Годните изделия се обработват (подготвят се за нанасяне на глазура), като за целта преминават през следните етапи:

- сухи обработки за достигане на окончателно завършен вид – механично отстраняване на грапавини, шупли и др. леки дефекти посредством метална шпакла и фибра;
- мокри обработки за подготовка на изделието за нанасяне на глазура;
- обезпрашаване на изделието посредством издухване с въздушна струя и обработка с мокра гъба на цялото изделие.

В участък ”Глазиране” се извършва покриването на изделието с глазура в кабини. Кабините са с водни завеси или патронен филтър и един въздуховод.

Процес „Изпичане“

Инсталацията се състои от:

- Сушилня преди тунелни пещи за първично изпичане на изделия Riedhammer № 1, 2, 3;

• Сушилня преди тунелна пещ за първично изпичане на изделия Riedhammer № 4;

• Сушилня преди тунелна пещ за повторно изпичане в тунелна пещ за изделия Riedhammer № 5 и тунелна пещ за първично изпичане на изделия Riedhammer № 8;

• Тунелни пещи Riedhammer № 1,2,3,4,5и8;

• Шатълни пещи Riedhammer № 6 и 7.

Процес „Крайна инспекция, ремонт и опаковка“

В Участък “Крайна инспекция, ремонт и опаковка” визуално се окачествяват всички изделия за наличието на дефекти, ръчно ремонтиране и опаковане на изделията. Почистване на основата на изделието от попаднала глазура чрез ръчен шлайф.

Мониторингът на емисиите се провежда периодично на 2 години съгласно Наредба № 6, чл. 31, ал. 2. [6]

Използвани методи и технически средства [7-15]

Методи за мониторинг

• БДС EN ISO 13284-1 Стационарни източници на емисии. Определяне на ниски масови концентрации на прах.

• БДС 17.2.4.12 Атмосфера. Показатели за качествата на емисиите. Метод за определяне съдържанието на флуороводород.

• БДС EN 14385 Емисии от стационарни източници. Определяне на общата емисия на As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, TI и V.

Технически средства за измерване:

• Барометър анероиден;

• Везна аналитична, Тип BOECO BBC 22;

• Влагомер, Тип Vaisala;

• Газанализатор „MRU 95/3 CD”;

• Пробовземно устройство за вземане на прахови проби с държач за 47 тт филтър;

• Ротаметър вграден в аспиратор „MEGA SYSTEM”, тип LIFETEK 33 XP–R,;

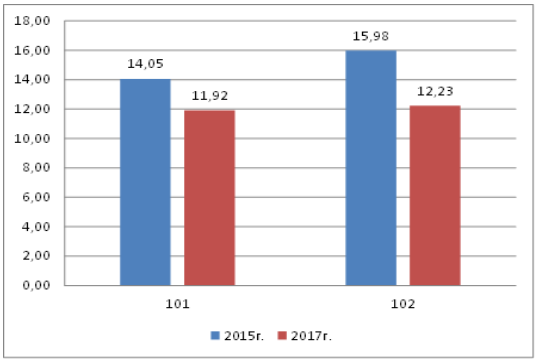
• Термометър цифров Тип Testo 425;

• Тръба на Пито с дължина 1,5m;

• Цифров манометър, Тип DM 9200;

Процес „Подготовка на масата и лаборатория“

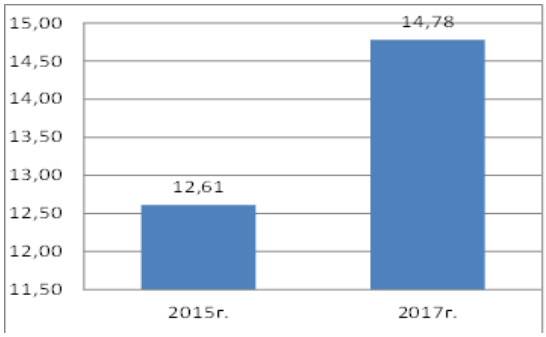
Мониторинга е проведен през 2015 г. и 2017 г. съгласно утвърдена програма. Към ИУ в участъка има изградени пречиствателни съоръжения, като касетъчен и патронен филтър. Данните от двата анализа са представени на фиг. 1.



Фиг. 1. *Изменение на концентрацията на прах за 2015 и 2017 г.*

Процес „Подготовка на глазурата“

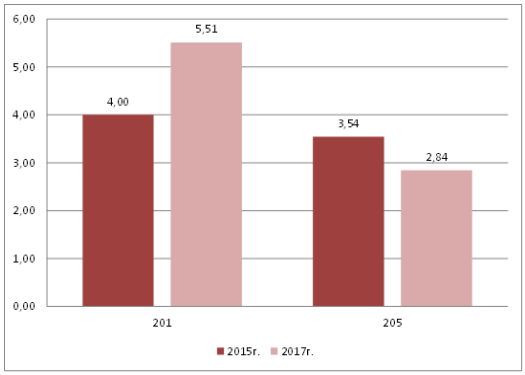
Мониторинга е проведен през 2015г. и 2017г. съгласно утвърдена програма. Към ИУ в участъка има изградено пречиствателно съоръжение – патронен филтър. Данните са представени на фиг. 2.



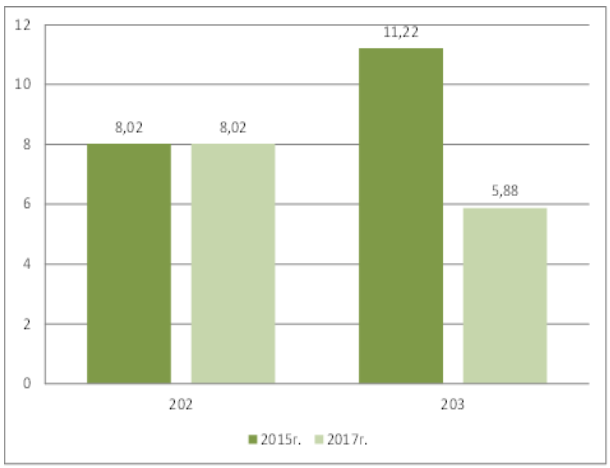
Фиг. 2. *Изменение на концентрацията на прах за 2015 и 2017 г.*

Процес „Развойна дейност и производство на прототипи“

Мониторинга е проведен през 2015г. и 2017г. съгласно утвърдена програма. Към ИУ в участъка има изградени пречиствателни съоръжения – патронен филтър и циклон. Ефектът на пречистване е 80 - 85%. Изменението на концентрацията е показано на фиг. 3 и 4.



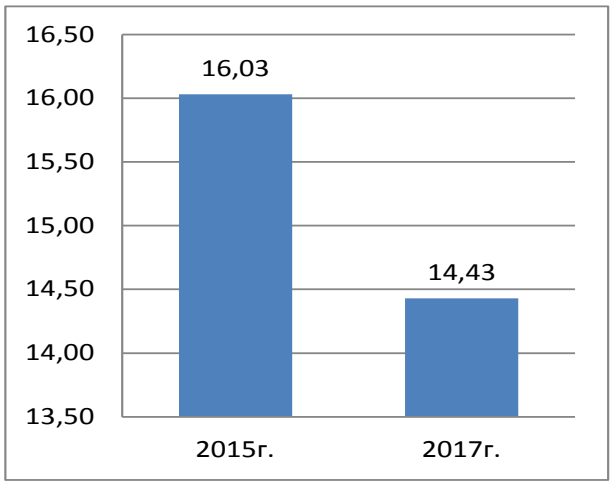
Фиг. 3. *Изменение на концентрацията на прах*



Фиг. 4. *Изменение на концентрация на органични вещества определени като общ въглерод*

Процес „Гипсови форми и полиуретан“

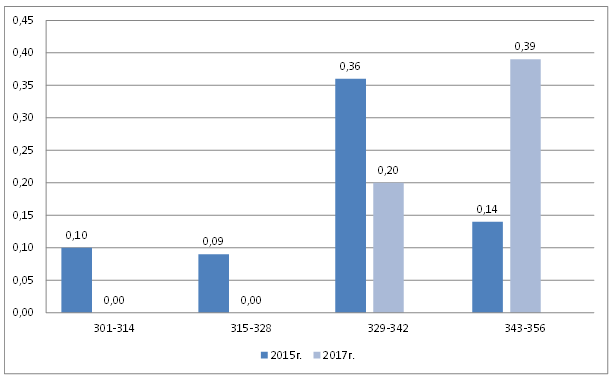
Мониторинга е проведен през 2015г. и 2017г. съгласно утвърдена програма. Към едно от ИУ в участъка има изградено пречиствателно съоръжение – циклон. Проведен е мониторинг на прах и органични вещества, определени като общ въглерод. Данните от извършения мониторинг са показани на фиг. 5.



Фиг. 5. *Изменение на конц. на органични вещества, определени като общ въглерод*

Процес „Отливане“

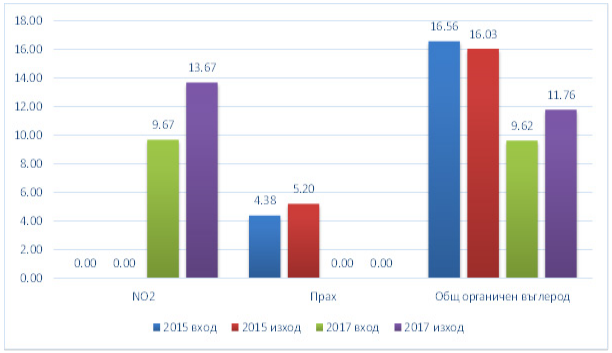
Мониторингът е проведен през 2015г. и 2017г. съгласно утвърдена програма и данните са показани на фиг. 6. Към ИУ в участъка няма изградени пречиствателни съоръжения.



Фиг. 6. *Изменение на концентрацията на прах за 2015 и 2017 г.*

Процес „Сушене“

Мониторингът е проведен през 2015 г. и 2017 г. съгласно утвърдена програма. Към ИУ в участъка няма изградени пречиствателни съоръжения. Проведено е измерване на конц. на NO_2, SO_2, прах, флуор (и газообразните му съединения, определени като HF), газообразни неорганични съединения на хлора (определени като HCl), органични вещества, определени като общ въглерод. Изменението на концентрацията на контролираните замърсители е показано на фиг. 7.



Фиг. 7. *Сравнение на данните от мониторинга през 2015 и 2017 г. за сушилня №2 – вход и изход*

Процес „Бяла инспекция и Глазиране“

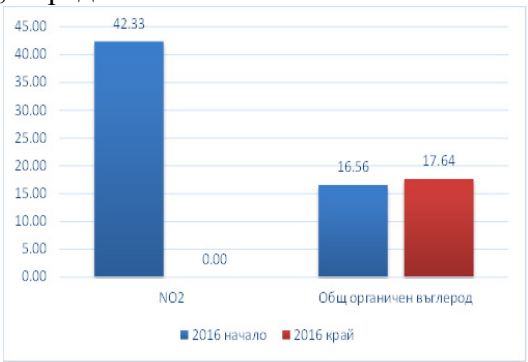
Мониторинг е провеждан през 2015 г., 2016 г. и 2017 г. съгласно утвърдена програма. Към ИУ в участъка има изградени пречиствателни съоръжения - патронен и тъкан филтър, водна завеса. Проведен е мониторинг на прах, органични вещества, определени като общ въглерод, Co. Данните от извършения мониторинг са представени на фиг. 8 и 9.

Фиг. 8. *Изменение на концентрацията на прах за 2015 и 2017 г.*

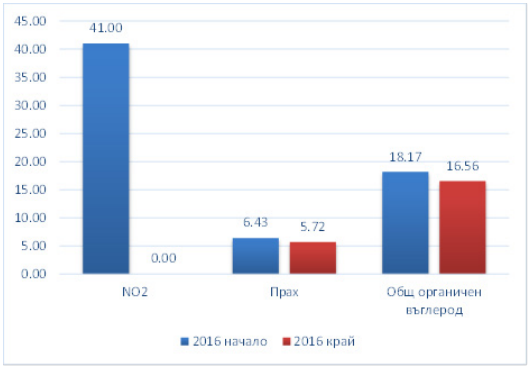
Фиг. 9*. Изменение на конц. на органични вещества, определени като общ въглерод за 2015 и 2017 г.*

Процес „Изпичане“

Мониторинг е провеждан през 2015г., 2016г. и 2017г. съгласно утвърдена програма. Към ИУ в участъка няма изградени пречиствателни съоръжения. Проведения мониторинг резултатите от който са представени на фиг. 10 и 11 е на NO_2, SO_2, прах, флуор и газообразните му съединения, определени като HF, газообразни неорганични съединения на хлора, определени като HCl, органични вещества, определени като общ въглерод, олово и съединенията му, определени като Pb и As + Cr + Cd + Co



Фиг. 10. *Данни от мониторинга през 2016 г. за Пещ №1 – начало и край*

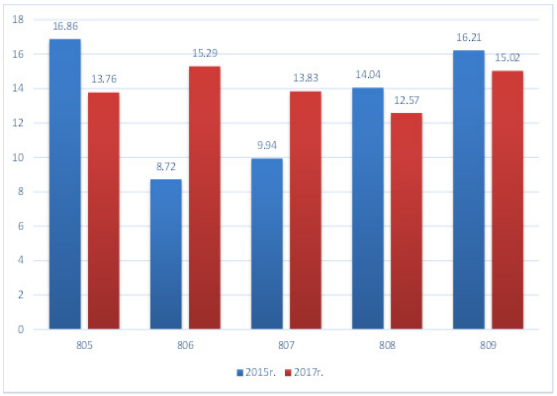


Фиг. 11. *Данни от мониторинга през 2016 г. за пещ №8 – начало и край*

Процес „Крайна инспекция, ремонт и опаковка“

Мониторинг е провеждан през 2015г. и 2017г. съгласно утвърдена програма. Към ИУ в участъка има изградени пречиствателни съоръжения, като патронен филтър и водна завеса. Проведения мониторинг е на прах и органични вещества, определени като общ въглерод.

Данните са обобщени на фиг. 12.



Фиг. 12. *Изменение на концентрацията на прах за 2015 и 2017 г.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат от проведения мониторинг могат да се направят следните изводи и заключения за емисиите на вредни вещества при отделните процеси:

1. Процес „Подготовка на масата и лаборатория“

И при двете ИУ се отчита намаляване на концентрацията на прах през 2017г. При ИУ 101 е намаляла с 2%, а при ИУ 102 с 3%.

2. Процес „Подготовка на глазурата“

Наблюдава се увеличение с 2% през 2017 г. Това е поради различни фактори,

като смяна на даден материал, натоварване на процеса и атмосферните условия.

3. Процес „Развойна дейност и производство на прототипи“

Разликата в данните от мониторинга на концентрацията на измерения параметър прах през 2015г. и 2017г. на ИУ 201 и 205 е много малка.

Изменението на концентрацията на органични вещества, определени като общ въглерод показват, че при ИУ 202 няма промяна в концентрацията, а при 203 се отчита намаляване в 5%.

4. Процес „Гипсови форми и полиуретан“

Концентрацията на органични вещества, определени като общ въглерод намалява с около 2%.

5. Процес „Отливане“

Разликата между концентрацията на прах в секторите през 2015г. и 2017г. е голяма. Това се дължи на факта, че натоварването в секторите и големината на изделията, тяхното време на престой в калъпите се различава.

6. Процес „Сушене“

От графиките се вижда, че при една част от сушилните измерваните показатели през 2015 г. с по-високи, а при други през 2017 г. Това се дължи на факта от самото време за изсушаване на изделия в сушилните. При по-сложните керамични изделия времето за изсушаване е по-дълго от при други видове изделия.

7. Процес „Бяла инспекция и Глазиране“

„Бяла инспекция“

От показаните стойности, се вижда че концентрацията на прах и на органични вещества, определени като общ въглерод се запазва и при двете измервания през 2015г. и 2017г.

„Глазиране“

Измененията на концентрацията на органични вещества, определени като общ въглерод при ИУ 601-606, ИУ 619-622, ИУ 612-615, ИУ 607-611 са малки, но при ИУ 616-618 има двойно увеличаване на концентрацията.

8. Процес „Изпичане“

Изменението на концентрациите на контролираните параметри при Процес „Изпичане“ показва, че в началото на пещите концентрациите са по високи от колкото в края. Това се дължи на факта, че в началото на пещта керамичните изделия се нагряват в продължение на 6 часа и градусите се повишават, а в края на пещта се охлаждат и температурата спада наполовина.

9. Процес „Крайна инспекция, ремонт и опаковка“

При ИУ №801 и ИУ №802 се отчита намаляване с около 30% на концентрацията на органични вещества, определени като общ въглерод.

При ИУ №805, 807, 808 и 809 концентрацията на прах се запазва, но при ИУ №806 се увеличава 2 пъти.

REFERENCE

[1] CoR №67-H1 / 2014 of Ideal Standard - Vidima AD, Factory for sanitary ceramics production

[2] https://circabc.europa.eu/faces/jsp/extension/wai/navigation/container.jsp - European Commission CIRCABS

[3] http://www.moew.government.bg/bg/vuzduh/

[4] Stoychev, P., Ecology and Environmental Protection, Vasil Aprilov University Publishing House, Gabrovo, 2006.

[5] Law on the cleanness of the atmospheric air;

[6] Ordinance No 2 of 19.02.1998 on emission limit values (concentrations in waste gases) of harmful substances released into the ambient air from stationary sources;

[7] Ordinance №6 from 26.03.1999. on the order and method of measuring the emissions of harmful substances released into the atmospheric air from objects with stationary sources;

[8] Ordinance № 7 of 3.05.1999 on the assessment and management of the ambient air quality;

[9] Ordinance No. 10 of 6.10.2003 on emission limit values (concentrations in waste gases) of sulfur dioxide, nitrogen oxides and total dust released into the atmosphere by large combustion plants;

[10] Ordinance No. 11 of 14 May 2007 for norms for arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air;

[11] Ordinance №12 from 15.07.2010. for standards for sulfur dioxide, nitrogen dioxide, fine particulate matter, lead, benzene, carbon monoxide, and ozone in ambient air;

[12] Ordinance No. 14 of 23.09.1007. for limit values for the concentrations of pollutants in the atmospheric air of the settlements.
[13] BDS EN ISO 13284-1 Stationary emission sources. Determination of low mass concentrations of dust.
[14] BDS 17.2.4.12 Conservation of nature. Atmosphere. Emission performance indicators. Method for determination of hydrofluoride content.
[15] BDS EN 14385 Stationary source emissions. Determination of the total emission of As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl and V.

ИЗГРАЖДАНЕ НА СЪОРЪЖЕННИЕ ЗА КОМПОСТИРАНЕ НА БИООТПАДЪЦИ В ОБЩИНА СЕВЛИЕВО

Драгомир Василев, Стелияна Стоянова
Технически университет - Габрово

BUILDING OF WASTE COMPOSTING EQUIPMENT IN THE SEVLIEVO MUNICIPALITY

Dragomir Vassilev, Steliyana Stoyanova
Technical University of Gabrovo

Abstract

The aim of the present work is to implement a model for separate collection and construction of a composting facility for bio-waste in Sevlievo municipality, for the production of high-quality compost, recycling of separately collected bio-waste.

As a result of the applied technology, after an external assessment of the quality of the compost, for compliance with all the criteria for the quantity, the compost produced has the qualities of a product that can be released freely available on the market in the Republic of Bulgaria or used by the municipality for its own purposes.

Keywords: composting; compost, bio-waste.

ВЪВЕДЕНИЕ

Най-добрият начин за оползотворяване на растителните и животински отпадъци е превръщането им в компост. За разлика от суровите отпадъци компостът не нарушава екологичното равновесие. Компостирането дава възможност за повторно използване на органичните отпадъци като средство за подобряване структурата на почвата и за торене на растенията. Компостът представлява естествен тор, който се получава в резултат на биохимични процеси, водещи до разлагане на органичната маса. Вместо да се полагат усилия за нейното унищожаване, лесно може да се върне обратно на природата под формата на стабилен хумусен материал [1]

Процесът на компостиране понастоящем се ползва с голям интерес не само от екологична гледна точка. Той буди нужното внимание и от санитарно-хигиенна гледна точка: при този процес органичната материя се дезинфекцира благодарение на високите температури, които се достигат в термофилната фаза на компостиране. Патогенната микрофлора загива, а голяма част от плевелните семена се унищожават [2]

Компостирането предизвиква интерес и от енергийна гледна точка: процесът се самоподдържа енергийно, благодарение на енергията, отделяна при разкъсването на химичните връзки, характеризиращи сложните молекули на органичната материя. Компостирането може да бъде пасивно – оставяне на материалите да се разграждат под действие на естествената микрофлора при естествени условия – или да бъде интензивно управляван процес, който може да протече в различни конструкции механизирани инсталации за производство на компост на открито или в затворени помещения. Използват се също и бавно въртящи се барабани, които са аналогични на биореакторите за твърдофазово култивиране на микроорганизмите в биотехнологичните процеси [3-5]

За повишаване скоростта на компостиране се прибавят химични, растителни и бактериални добавки. Бактериалните компост-ускорители съдържат уникални щамове на

бактерии и действието им се обяснява със следните особености:

• усвояват трудноразградими съединения, като мазнини и протеини;

▪ускоряват времето, необходимо за достигане до много активния термофилен етап;

• съдържат факултативни бактерии, които работят в условия, където нивата на кислорода са по-ниски;

• започват да действат веднага, тъй като в компоста се въвеждат големи популации от повече от 1 билион бактерии на грам;

• намаляват миризмите;

• увеличават торовата стойност, тъй като потискат развитието на фитопатогенните микроорганизми и стимулират растежа на растенията;

• намаляват времето на компостиране при правилно използване [6].

Целта на настоящата работа е прилагане на модел за разделно събиране и. Изграждане на съоръженние за компостиране на биоотпадъци в община Севлиево, за производство на висококачествен компост, рециклиране на разделно събрани биоотпадъци.

В резултат на приложената технология, след външна оценка на качество на компоста, за съответствие с всички критерии за качество, произведения компост има качествата на продукт, който да може да бъде пуснат свободно на пазара в Р. България или да бъде използван от общината за собствени цели.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Съоръжението представлява технология за компостиране на редове на открито с принудителна аерация. Основната цел е производството на висококачествен компост рециклиране на разделно събрани биоотпадъци, в съответствие с Наредбата за третиране на биоотпадъците, *приета с ПМС № 235 от 15.10.2013 г. (Обн. ДВ, бр. 92 от 22.10.2013 г.)}[7]*

В резултат на приложената технология, след външна оценка на качество на компоста, за съответствие с всички критерии за качество, регламентирани в наредбата, произведения компост ще е достигнал статут на продукт, който да може да бъде пуснат свободно на пазара в Р. България или да бъде използван от общината за собствени цели.

Процесът на компостиране включва следните <u>основни оперативни стъпки</u>*:*

- приемане и временно съхранение на свежите входящи материали (биоотпадъци);
- приготвяне и смесване на биоотпадъците за компостиране, включително раздробяване на обемистите отпадъци от паркове и градини;
- компостиране на редове на открито <u>с принудителна аерация</u>, с регулярно обръщане и смесване с помощта на машина за обръщане, теглена от трактор.
- интензивна фаза с "висока температура" <u>с принудителна аерация</u> и с редовно поливане с използване на инфилтра и дъждовната вода, събрана от асфалтираната зона на съоръжението
- фаза на зреене (<45-55°C), <u>без принудителна аерация</u> и с редовно поливане главно с дъждовната вода, събрана от асфалтираната зона;
- мониторинг на температурата и документиране на процеса на хигиенизиране в съответствие с *Наредбата за третиране на биоотпадъците* и контрол на системата за принудително аериране.
- пресяване на зрелия компост до получаване на готов продукт:
- складиране на готовия продукт преди употреба или маркетинг

Съоръжението за компостиране е проектирано с капацитет за третиране на около 5 500 - 6 500 m^3 биоотпадъци на година.

Допълнителни биоотпадъци от хранително-вкусовата промишленост и хранителни продукти с изтекъл срок на годност от магазините ще бъдат третирани само при условие, че общият капацитет за третиране на съоръжението няма да бъде надвишен.

В допълнение към разделно събраните биоотпадъци, на съоръжението ще се използва и глинеста почва като технологична добавка с цел подобряване на биологичния процес на разграждане и образуване на хумус. Предвижда се добавяне на приблизително 10% почва в сместа на входящите материали. Предвижда се за целта да се използва почва (земни маси), която е на разположение от изравняването на терена от периода на строителството.

Видовете биоотпадъци, както и използваните добавки, са изброени по-долу, в съответствие с Приложение 1 на „*Наредба за третиране на биоотпадъците".[7]*

Що се отнася до материалите, посочени в *"Отпадъци за биологично третиране с части от животински произход",* е важно да се

отбележи, че са включени само тези биоразградими отпадъци, които могат да се третират в съответствие с Приложение № 4 на *„Наредба за третиране на биоотпадъците"*.

Конструктивни елементи на съоръжението за компостиране в община Севлиево

Зоната за доставяне на разделно събраните биоотпадъци е изчислена така, че да е възможно материалите (включително хранителни отпадъци от домакинства и търговски източници, прясно окосена трева, зелени листа и др.) да се складират на нея минимум две седмици. При средна плътност на доставените материали 0,4 - 0,6 t/m^3 се приема среден коефициент или размер на площта за 1 m^2 / m^3 доставени биоотпадъци.

Зоната за разтоварване, временно съхранение и предварително третиране на „мокри" биоотпадъци ще покрива площ от около 519 m^2**.** Ще бъде заобиколена със стоманобетонна стена (20 m x 9,5 m и с височина от 2 m).

Инфилтратът и дъждовната вода ще се оттичат в резервоар за събиране на отпадъчните води.

Запечатването на настилката на площадката се извършва от два слоя асфалтобетон: 3 cm асфалтобетон АС 12,5 изн. и 7 cm асфалтобетон АС 31,5 осн, в съответствие със стандарт БДС EN 13108-1.

Обемистите дървесни отпадъци и храсти се разлагат трудно и са биологично "стабилни". Няма оттичане на замърсена вода / инфилтрат. Дъждовната вода от тази зона за съхранение може да се отвежда към стандартната зона за инфилтрация. Най-горният слой на тази зона ще представлява механично стабилизиран слой. Общата площ на зоната ще бъде 250m^2**.**

Зоната за компостира включва в себе си две отделни зони - основна зона за разграждане на входящите материали и зона за зреене на компоста.

Основната зона за разграждане има 2 компонента:

- ***Аерирани купове*** - 4 купа компост;
- ***Неаерирани купове*** - 4 купа компост.

Цялата зона е с размер от 1 640 m^2 (41 m x 40 m) и ще бъде асфалтирана с два слоя асфалтобетон: 3 cm асфалтобетон АС 12,5 изн и 7 cm асфалтобетон АС 31,5 осн., в съответствие със стандарт БДС EN 13108-1 или друга спецификация с еквивалентни качества по отношение на плътност и дрениране. Зоната ще бъде проектирано с 3 % едностранен наклон.

В зоната с аерираните купове компост инфилтратът и дъждовната вода ще се отвеждат към резервоар чрез аерационни канали и успоредно на склона на повърхността. От зоната с неаерирани купове отпадъчната вода ще се оттича само повърхностно.

И двете зони (с и без принудително аериране) имат капацитет от по четири купа компост (3,5 m широчина и 1,8 m височина = около 3,5 линеен метър), всеки с дължина от 40 m.

В общо осемте реда компост 140 x 8 = 1 120 m^3 биоотпадъците могат да бъдат поставени и третирани едновременно ~ 140 седмица пресни биоотпадъци могат да бъдат третирани

В началото и в края на всеки ред компост е предвидена зона за манипулация - завъртане на трактора и машината за обръщане на куповете/ редовете с компост.

Фазата на интензивно РАЗГРАЖДАНЕ (при висока температура) ще бъде 8 - 10 седмици. Общата площ на зоната ще бъде 1 640 m^2**.**

Зоната за зреене е предназначена за допълнителни 2-4 седмици период на третиране. Зоната за зреене е разположена в съседство на зоната за активно разграждане. Настилката на тази зона ще бъде от 8 cm асфалтов слой асфалтобетон АС 16 изн. в съответствие със стандарти БДС EN 13108-1 и БДС EN 13108-1. До два купа компост могат да бъдат съхранявани и третирани едновременно. Общата площ на зоната ще бъде 487 m^2.

Общо средното време за компостиране в зоната за компоста ще бъде до 12 седмици. Поради предвидени загуби от процес на разграждане (очаквани 40 - 60 % об/об) е възможно да се комбинират два купа в един нов (в края на основната фаза на разграждане или по време на зреенето).

Едрите дървесни отпадъци и храсти, както и готовия компост, са биологично "стабилни". Полученият инфилтрат не е замърсен. Следователно дъждовната вода може да се оттича към стандартната зона за инфилтрация. Повърхностният слой на площадката ще бъде механично стабилизиран.

На тази площ произведеният компост, както и обемните материали (раздробени

дървесни отпадъци и храсти), могат да бъдат съхранявани до около 6 месеца. Общата площ на зоната ще бъде 1 022 m^2.

За връзка между различните зони (за доставка, активно разграждане, зреене, съхранение) както и за временен престой на шредера и ситото по време на работа в съоръжението са предвидени транспортни ленти.

Асфалтирана зона за разграждане и зоната за междинно съхранение на „мокри" биоотпадъци е проектирана с наклон към резервоара за отпадъчни води. Цялата вода от тази зона ще се събира и отвежда към резервоара. Технически не е възможно (благодарение на наклона) вода от външни зони да навлезе тук.

Дъждовната вода от тази зона, както и инфилтрата от зоната без принудително аериране, ще се оттичат директно към повърхността на резервоара. През първите 4 седмици на активно разграждане (когато се очаква да се отдели по-голямата част от инфилтрата) водата може да бъде източвана през каналите за аерация, заложени в основата на тази зона. Това източване на водата през каналите за принудително аериране, ще се осъществява чрез PVC тръби, свързани към сифон. От там ще се изпомпва (ако нивото нарасне) до резервоара за отпадъчни води.

Водонепропускливата област на планираното съоръжение за компостиране, от която ще се събират отпадъчни води е около 2 487 m^2. Средните годишни валежи за периода 2008-2013 г. са били около 515 mm на годишна база.

Капацитетът за съхранение се изчислява в съответствие с "Инструкции за определяне на национални технически изисквания към съоръженията за третиране на биоотпадъците (компостиране)"

Методът за изчисление отчита :

1**.** годишната сума на валежите: колкото по-висока е тя, толкова е по-голямо количество валежи, трябва да премине през павирана площ и съответно да се оттече;

2. стандартния обем на инфилтрата от процеса на разграждане, който изисква допълнителен обем от 28 l / m^2 асфалтирана складова площ;

3. допълнителен коефициент за безопасност от 20 % от изчисления обем;

4. резервен буфер от 25 %.

За годишно количество валежи от средно 515 mm, от асфалтираната зона за съхранение резервоарът може да поеме 70 l / m^2

В случай на асфалтирана площ от 2 487 m^2 това води до минимален капацитет за инфилтрата и дъждовната вода от 208 m^3.

Препоръчително е да се добавят 25 % резерва за капацитета за складиране - по този начин резервоарът ще повиши капацитета си на 262 m^3

Избраният резервоар, с диаметър 9 m и 4,5 m дълбочина, се предвижда да бъде изпълнен от стоманобетон с мин. 25 cm дебелина на стената (в зависимост от статичните изчисления). Резервоарът ще бъде с обем от 286 m^2 и ще е изграден от две части (разделени от стоманобетонна стена), за да се отделят/утаяват примесите.

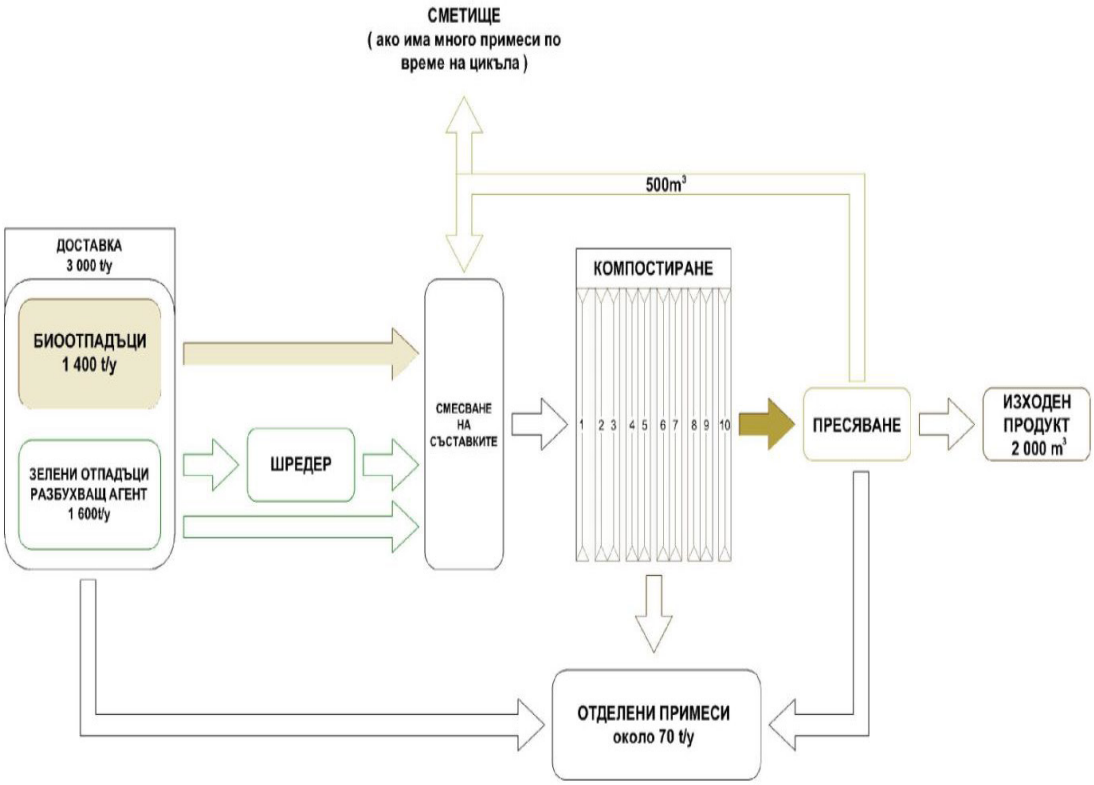
Отделяната вода от зоните с настилка уплътнен чакъл и незамърсената вода асфалтираните зони ще бъде насочвана към съседните терени за инфилтрация.

Зоната за инфилтрация ще е изградена от > 30 cm антизамръзващ слой, покрит от 30 cm пласт хумус.

Процес на компостиране - управление на процеса

Производственият процес на компостиране е около 2 000 m^3 произведен компост и се равняват приблизително на 1200 ÷ 1400 t (в зависимост от степента на узряване и плътността на пресятите обемисти биоотпадъци).

Входящите биоотпадъци ще бъдат претегляни на съществуващия кантар на регионалното депо за битови отпадъци в Севлиево. В съоръжението ще постъпват малки количества зелени отпадъци от паркове и градини. Ще бъде оценяван обема им и теглото ще бъде изчислявано въз основа на стандартни данни за обемна плътност.



Фиг. 3.21. *Схема на производствения процес на компостиране в Севлиево*

По принцип за доставяне на биоотпадъците и по-нататъшния процес за съхранение на „мокрите" биоотпадъци (храна / кухненски отпадъци или прясно окосената трева) и (сухите зелени отпадъци) са предвидени отделни зони. Свежите / „мокри" биоотпадъци трябва да бъдат смесвани със зелените отпадъци за компостиране веднага (до 24 часа).

Обемистите материали (сухите зелени отпадъци) ще бъдат съхранявани (за периоди, когато няма да бъдат доставяни, напр. зимния сезон) и раздробявани.

В зависимост от наличието на шредера и необходимото количество за смесване в куповете за компостиране материалът ще се раздробява и смесва в тях. Честотата на раздробяванията ще бъде приблизително 2 до 4 пъти годишно.

Въз основа на опита, делът на примеси (пластмасови опаковки, метали, стъкло) може да бъде между 5 и 10 % в началния етап на функциониране на системата за разделно събиране на биоотпадъци. Когато населението се научи как да събира разделно правилно, количествата примеси могат да бъдат много ниски, до 1 - 2 %. Най-едрите примеси ще бъдат отделяни ръчно с вили и ще бъдат събирани в контейнер за отпадъци след доставка и при смесване на изходната суровина за компостиране.

Финитe градински отпадъци (например прясно окосена трева) и разделно събраните хранителни отпадъци, трябва да не са повече от 40 % от обема на сместа за компостиране.

Раздробените зелени отпадъци от паркове и градини се добавят и се смесват до получаване на хомогенна смес. В допълнение се добавя глинеста почва и зрял компост, около 10 до 15% от общия обем.

Смесването се извършва директно, посредством машината за обръщане на компоста по време на оформянето на куповете/редовете с компост.

За да се постигне ефективен и оптимизиран процес (за стабилен краен продукт), .е от 25 до 35:1.

В контролирания процес на компостиране разграждането на биоотпадъците и натрупването на органични вещества се осъществява основно от аеробни микроорганизми. За да се осигури тяхната популация и оптимален режим на работа, те се нуждаят от постоянно съдържание на влага в купа с компост - около 40 - 60 %. Затова биоотпадъците трябва да бъдат хомогенно влажни. Обикновено е необходимо да се коригира съдържа-

нието на влага чрез инжектиране на вода преди обръщането на куповете.

Подаването на кислород ще се осъществява чрез система за принудително аериране. Поради тази причина механичното обръщане може да се намали само до „хомогенизиране" на материала (смесване).

Температурата на процеса ще се следи непрекъснато от автоматична система за първите четири купа (около четири седмичен период, по време на процеса на хигиенизиране). След този период и по време на зреенето мониторингът на температурата ще се извършва веднъж седмично.

Ако съдържанието на вода намалее (< 40 - 50 % в зависимост от етапа на разграждане), напояването от резервоара трябва да става преди обръщането на куповете

Компостът ще се пресява веднъж или два пъти на месец. Едрите частици (предимно дървен материал) могат да бъдат използвани в процеса на компостиране. Ако съдържанието на примеси става все по-високо, пресятите едри материали трябва да се депонират на регионалното депото - Севлиево.

В съответствие с Наредбата за третиране на биоотпадъците, външен контрол на качеството чрез вземане на проби и изпитване на компоста за качествени параметри трябва да се извършва 3 пъти на година (по време на първата година, на признаване на съоръжението). В последващите години за съоръжения с капацитет от 3 000 t/y, трябва да бъдат анализирани две проби от акредитирана лаборатория .

Качественият компост ще се съхранява, докато не се използва в земеделието или дейностите по озеленяване. Ако е необходимо, може да бъде покрит (при обилни дъждове). За купове компост с фракция < 15 mm и височина > 2,5 m се препоръчва при съхранение материалът да се обръща с помощта на челен товарач редовно на всеки 3 - 4 седмици.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На изградената площадка ще са разположени 4 контейнера за кухненски отпадъци, и дървени клетки за компостиране. На площадката ще се извършва аеробно компостиране по открит способ на обособени и разположени по дължина купове.

Оптимизирането на процеса на разграждане ще се постигне като финитe градински отпадъци и събраните хранителни отпадъци ще са до 30 % от сместа за компостиране.

Чрез изграждането на съоръжения за компостиране на био-отпадъци и прилагането на модел за разделно събиране ще се постигне:

- Намаляване на общо количество депонирани битови отпадъци от обслужваните от обслужваните от инсталациите за компостиране и площадките за компостиране на място населени места.
- Намаляване на общо количество на депонираните биоразградими битови отпадъци от обслужваните от инсталациите за компостиране и площадките за компостиране на място населени места.
- Информираност на обхванато население, което ще се обслужва от инсталациите за компостиране и площадките за компостиране на място.

REFERENCE

[1.] Pelovski, Y., I. Dombalov E. Todorova, V. Kiosseva, E. Sokolovski, P. Petrov, G. Kazaldzhiev, Methods for Treatment and Utilization of Solid Waste, BENCEE, 2007.

[2.] Todorova S., Composting Organic Waste Using a Bacterial Supplement, http://conf.uni-ruse.bg/bg/docs/cp13/10.2/10.2-46.pdf

[3.] Composting - http://aktivnipotrebiteli.bg/

[4.] Guide to Home Composting 2010 http://www.moew.government.bg/static/ media / ups / tiny / file / Waste / Biowaste / Home_composting_manual_BG.pdf

[5.] MOEW - Instructions for setting national technical requirements for bio-waste treatment facilities (composting) - https://www.moew.government.bg/ bg/otpaduci/

[6.] Waste Management Act, Prom. 53 of 2012

[7.] Ordinance on Treatment of Biowaste adopted by Decree of the Council of Ministers No 235 of 15 October 2013 (Official Gazette, No 92 of 22 October 2013).

НАПРАВЛЕНИЕ 13

ФИЗИКА

SESSION 13

PHYSICS

THE EFFECT OF PRESSURE ON EXCITED STATE BINDING ENERGY, EXPECTATION VALUE OF THE ELECTRON-IMPURITY AND IMPURITY SELF-POLARIZATION IN A GAAS-$GA_{1-X}AL_XAS$ SPHERICAL QUANTUM DOT

Ali Ihsan MESE
Department of Physics, Trakya University, Edirne 22030, Turkey

Abstract

The excited state, 2p, energy of a hydrogenic impurity in GaAs-$Ga_{1-X}Al_XAs$ spherical quantum dot, is computed as a function of the donor positions and the pressure. In order to study the polarization dependency on the location of a donor ion, for the first time we define impurity self-polarization. We study how the impurity self-polarization depends on the location of the impurity and the pressure. We have also shown that expectation value of the electron-impurity is dependent on the impurity position and pressure.

Keywords: binding energy, impurity self-polarization, excited state.

INTRODUCTION

There is an increasing interest in the electronic and optical properties of the of the hydrogenic impurity which is confined in semiconductor quantum dots (QDs) recently [1-3]. Quantum dots confine charge carriers in all three space dimensions and their size, shape, and other properties can be controlled in experiments. Because of the simplicity, spherical shape quantum dot has been preferred. The spherical symmetry allows one to reduce the problem to that of the solving Schrodinger equation in the radial variable [4-5]. A donor impurity plays an important role in quantum dots. In recent years, increasing attention has been focused on the problem of donor impurity states in a single quantum dot under the influence of hydrostatic pressure.

There are many studies focused on the ground state binding energy [6]. In the present work, we calculate the binding energy for excited state 2p of a donor impurity in a spherical quantum dot, expectation value of the electron-donor impurity distance, and polarization of the donor impurity as a function of the impurity position and pressure, using the effective-mass approximation within a variational approach.

THEORY

In the effective mass approximation, in the presence of an off-centre hydrogenic impurity located at $\vec{r}_i = (0,0,z_i)$, the Hamiltonian in a spherical quantum dot is given by [7],

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m^*(P)}\nabla^2 - \frac{e^2}{\epsilon(P)r} + V(r,P), \quad (1)$$

Where $V(r,P), \varepsilon(P) and\ m^*(P)$, are the hydrostatic pressure dependent confining potential, the electric constant and the effective mass of the electron, respectively. The explicit expressions of effective mass, radius and dielectric constant are defined as [8,9],

$$m^*(P) = m^*(0)\exp(0.078P) \quad (2)$$

$$R(P) = R(0)(1 - 1.5082 * 10^{-3}P) \quad (3)$$

$$\epsilon(P) = 13.13 - 0{,}088P \quad (4)$$

The confining potential is given by [3]

$$V(r,P)=\begin{cases}0, & r<R\\ V_0(x,P)=0.6*(1.155x+0.37x^2+PD(x)), & r\geq R\end{cases} \quad (5)$$

Where $D(x)=-1.3*10^{-2}\,x\,\frac{eV}{GPa}$ and x is Al concentration and where we choose as $0.2\leq x\leq 0.4$.

In the presence of the impurity for excited state($n=2,l=1,m=0$), the trial eigen functions of the Hamiltonian for 2p-state are chosen to be [10],

$$\psi_{2p}(\vec{r},V_o,R,r_i)=\begin{cases}N_{2pi}\left(\frac{sin(k_{1si}(P)r)}{r}\right)r\cos\theta\exp\left(-\lambda_p\sqrt{r^2+r_i^2-2rr_i\cos\theta}\right), & r<R\\ N_{2po}(\,exp(-k_{1s0}(P)r)/r)r\cos\theta\exp\left(-\lambda_p\sqrt{r^2+r_i^2-2rr_i\cos\theta}\right), & r\geq R\end{cases} \quad (6)$$

where λ_p is the variational parameter. The binding energy of 2p-state binding energies of an off-centre hydrogenic impurity in the dot [10] is defined, as

$$E_{b2p}(V_o,R,P,r_i)=E^0_{2p}(V_o,P,R)-E_{im2p}(V_o,R,P,r_i)\,. \quad (7)$$

Where $E^0_{2p}(V_o,P,R)$, the excited state energy in the absence of the impurity of system(n=2,l=1) is obtained by solving radial Schrodinger equation.

The electron-impurity distance changes with the impurity position r_i, dot radius R and confining potential $V(r)$. The 2p-state expectation value $\langle|r\cos\theta-r_i|\rangle_{2p}$ is given by [11],

$$\langle|r\cos\theta-r_i|\rangle_{2p}=\frac{\langle\psi_{2p}(\vec{r},r_i,R)||r\cos\theta-r_i||\psi_{2p}(\vec{r},r_i,R)\rangle}{\langle\psi_{2p}(\vec{r},r_i,P,R)|\psi_{2p}(\vec{r},r_i,R)\rangle} \quad (8)$$

The impurity self-polarization along the $\vec{r}_i$ direction for the 2p excited state can be defined as [11]

$$sP_{i2p}(V_0,R,r_i)=\left[\frac{\langle\psi_{2p}(\vec{r},r_i,R)|-e(r\cos\theta-r_i)|\psi_{2p}(\vec{r},r_i,R)\rangle}{\langle\psi_{2p}(\vec{r},r_i,R)|\psi_{2p}(\vec{r},r_i,R)\rangle_{r_i\neq 0}}\right]-\left[\frac{\langle\psi_{2p}(\vec{r},r_i,R)|-e(r\cos\theta-r_i)|\psi_{2p}(\vec{r},r_i,R)\rangle}{\langle\psi_{2p}(\vec{r},r_i,R)|\psi_{2p}(\vec{r},r_i,R)\rangle_{r_i=0}}\right] \quad (9)$$

RESULTS

We have investigated the 2p state binding energy of hydrogenic impurity in spherical quantum dot under the influence of hydrostatic pressure. Calculations have been carried out to calculate binding energy and self- polarization of the spherical quantum dot. The parameters used in calculation are $m^*=0.067m_0$ and $\varepsilon_0 = 12.5$. The results are presented in Figs. 1-2.

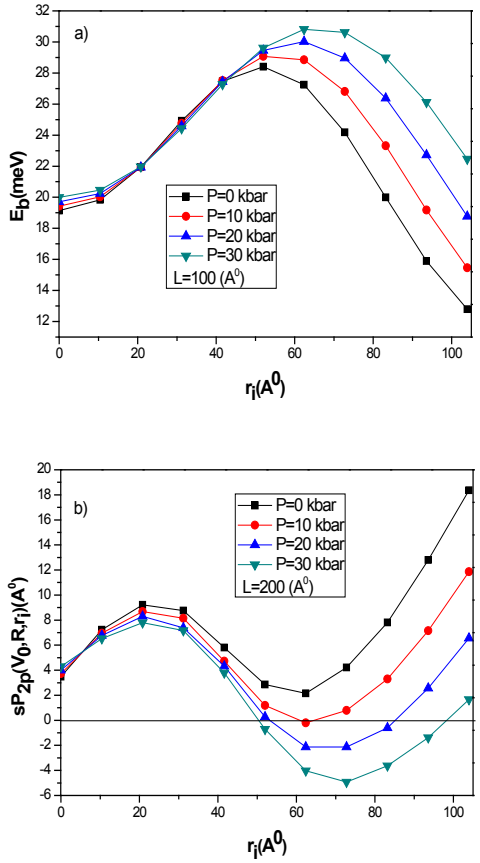


Figure 1. *The binding energies of 2p excited state of a donor impurity as a function of the impurity position confined in the spherical quantum dot for radii (a) L=100A^0 and b) L=200A^0.*

In figure 1(a and b) show that variation of impurity binding energy with impurity position varies from the center to a position in of the dot for the different values of four hydrostatic pressures P=0kbar, 10kbar, 20kbar and 30kbar. In fig.1a, it is clearly seen that the character of the binding energy variation with the impurity position under hydrostatic pressure is similar to without pressure. For the small dot radius, the effect of the pressure on the binding energy is more dominant. The hydrostatic pressure is not very important for the large dot radius [10].

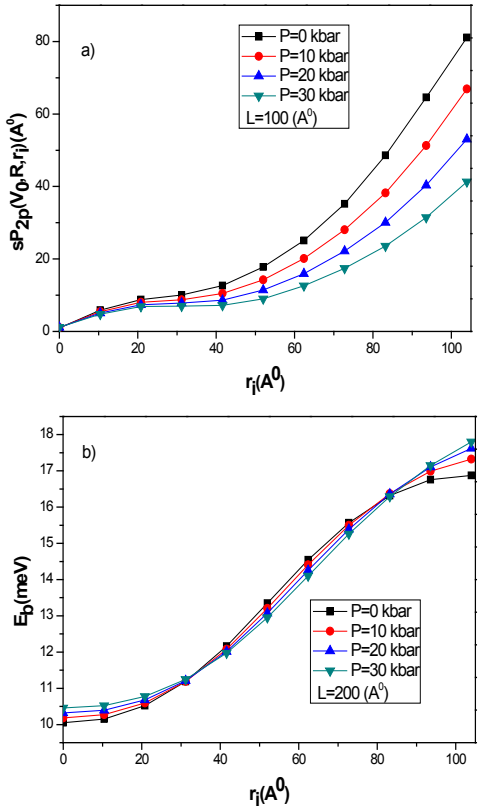


Figure 2*. The impurity self-polarizations of 2p excited state as a function of the impurity position confined in the spherical quantum dot for radii L=100A^0 and b) L=200A^0.*

In Figure 2 (a and b), we investigated the excited state impurity self-polarization as a function of impurity position for different values of dot radius and pressure. In Fig.2a, it is seen that the excited state impurity self-polarization decreases for any impurity positon when the dot radius and pressure increase [11].

CONCLUSIONS

In this study, the effects of hydrostatic pressure on the binding energy of the excited state of an off-center hydrogenic impurity, excited state 2p impurity self- polarization and the expectation values of the 2p electron-impurity was investigated. The result showed that binding energies increase to a maximum point and then decrease as the impurity position increase for L=100 A^0. The hydrostatic pressure also decreases impurity

self-polarization when impurity position increases.

REFERENCES

[1] G Bastard Phys. Rev. B 24 4714 (1981)
[2] R L Greene and K K Bajaj Phys. Rev. B 31 4006 (1985)
[3] I Erdogan, O Akankan and H Akbas Superlattices Microstruct. 59 13 (2013)
[4] S Baskoutas and A F Terzis Eur. Phys. J. B 69 237 (2009)
[5] E Sadeghi Phys. E 41 1319 (2009)
[6] N P Montenegro and S T P Merchancano Phys. Rev. B 46 9780 (1992)
[7] B.H. Bransden, C.J. Joachain, Quantum Mechanics, second ed., Pearson, Harlow, 2000.
[8] A.J. Peter, Physica E 28 (2005) 225.
[9] Sr. G. Jayam, K. Navaneethakrishnan, Solid State Commun. 126 (2003) 681.
[10] P Bulut, I Erdogan and H Akbas Phys. E 63 299 (2014)
[11] A. I. Mese et al., Indian J Physics 91 263 2017)

THE EFFECT OF BINDING ENERGY A DONOR IMPURITY IN A GAAS/ALAS TETRAGONAL QUANTUM DOT UNDER APPLIED SPATIAL ELECTRIC FIELD

O.Akankan
Departmanof Physics, Trakya University, Edirne 22030, Turkey

Abstract
The binding energy of donor impurity in tetragonal quantum dot is investigated with two-paramater variational procedure considering the influence of infinite barriers under spatial electric field. It is found that binding energy of a donor impurity in tetragonal quantum dot depends strongly on the Lz/L ratio, applied spatial electric field strength and impurity position.

Keywords: Quantum Dot, Donor Impurity, Binding Energy

INTRODUCTION

In the last years, Low dimension structures (Quantum Dot, Quantum Well Wire, Quantum Well) have let to important development of optoelectronic devices such as quantum transistors, quantum dot lasers, high-speed memory elements, quantum computing. In these systems, electrons are confined to one, two and three dimensions. When the quantum size is reduced, electron moves in smaller space and interaction of electron and hydrogenic impurity increases as size increases. There are several reports on the binding energy of the donor impurity under the electric field [1-10].

EXPOSITION

Within the framework of effective-mass approximation, the Hamiltonian for the ground state energy of a donor impurity in a TQD under an external electric field is given by

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m^*}\nabla^2 - \frac{e^2}{\varepsilon\left|\vec{r}-\vec{r}_i\right|} + e\vec{F}.\vec{r} + V(x,y,z) \quad (1)$$

where m^*, e and ε are the electron effective mass, charge and the static dielectric constant, respectively.

$\left|\vec{r}-\vec{r}_i\right| = \sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+(z-z_i)^2}$ is the distance between the electron and the impurity site. $e\vec{F}.\vec{r}$ is the effective potential energy induced by the external static electric field. V(x,y,z) is the confining potential

$$V(x,y,z) = \begin{cases} 0; & |x|,|y| \le \frac{L}{2} \text{ and } |z| \le \frac{L_z}{2} \\ \infty; & \text{elsewhere,} \end{cases} \quad (2)$$

L and L_z are dimensions of the TQD. The center of the TQD is chosen as the origin of the system. The external spatial electric field is $\vec{F} = F\ (\sin\theta\cos\varphi\ \vec{e}_1 + \sin\theta\sin\varphi\ \vec{e}_2 + \cos\theta\ \vec{e}_3)$, where θ and φ are the angles in spherical coordinates. Effective Rydberg constant $R^* = \frac{m^* e^4}{2\hbar^2\varepsilon^2}$ as the unit of energy and the effective Bohr radius $a^* = \hbar^2\varepsilon/m^* e^2$ as the length unit, the Hamiltonian becomes

$$H_{T,D} = -\nabla^2 - T\frac{2}{\left|\vec{r}-\vec{r}_i\right|} + \quad (3)$$

$$D\eta\,(x\sin\theta\cos\varphi + y\sin\theta\sin\varphi + z\cos\theta) + V(x,y,z),$$

where $\eta = |e| a^* F / R^*$ is the dimensionless measure of the electric field. The trial wave function given in Ref. [11] is chosen as

$$\Psi_{T,D} = N_{T,D} f(x,y,z) \exp\left[-T\left(\frac{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}{8a^2} + \frac{(z-z_i)^2}{8b^2} \right) \right] \times$$

$$\exp\left[-D(x\sin\theta\cos\varphi + y\sin\theta\sin\varphi + z\cos\theta).\beta \right], \qquad (4)$$

where a, b and β are the variational parameters. $N_{T,D}$ is the normalization constant of the wave function. The coefficients T and D take the values zero and unity depending on the quantity to be calculated.

$f(x,y,z) = \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right)\cos\left(\frac{\pi y}{L}\right)\cos\left(\frac{\pi z}{L_z}\right)$ is the ground-state wave function in the TQD with a square base $(L\,by\,L)$ and height (L_z).

The ground state energy of the system without impurity can be written as

$$E_0 = \left\langle \Psi_{0,1} \left| H_{0,1} \right| \Psi_{0,1} \right\rangle . \qquad (5)$$

The ground state energy of the system with impurity can be defined as

$$E_i = \left\langle \Psi_{1,1} \left| H_{1,1} \right| \Psi_{1,1} \right\rangle . \qquad (6)$$

The binding energy E_b can be given as

$$E_b = E_0 - E_i . \qquad (7)$$

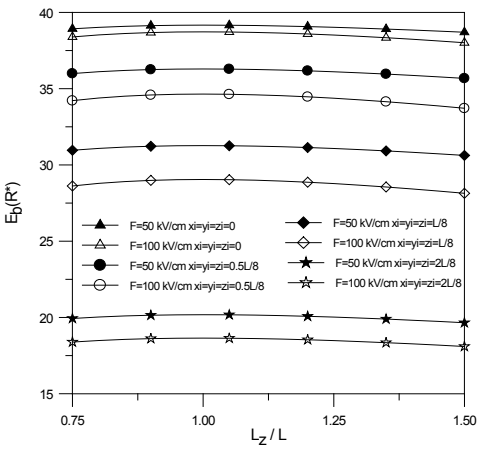


Fig. *The variation of the ground state binding energy of a donor impurity as a function of the* L_z/L *ratio in the TQD for different values of electric field strength and impurity position*

In Fig., the binding energy of a donor impurity has been plotted as a function of the L_z/L ratio for two different spatial electric field strengths and four different impurity positions.

From Fig., as the spatial electric field strength decreases, the binding energy increases for all the impurity position and all values of L_z/L ratios. In this figure, it is observed that the difference in binding energy occurred by two different spatial electric field strength increases with moving impurity from center to $x_i = y_i = z_i = L/8$, as expected. But in contrary to the expectations, this difference in the binding energy decreases for $x_i = y_i = z_i = 2L/8$.

CONCLUSION

It is found that binding energy in tetragonal quantum dot depends on the L_z/L ratio, applied spatial electric field strength and impurity position.

REFERENCE

[1] H.Akbas, I.Erdogan, O.Akankan, Hydrostatic pressure effects on impurity states in GaAs/AlAs quantum wells, Physica E 50 (2011) 80.

[2] A.John Peter, Polarizabilities of shallow donors in spherical quantum dots with parabolic confinement, Physics Letters A 355 (2006) 59.

[3] E.Tangarife, C.A.Duque, Shallow-donor impurity in coupled GaAs/$Ga_{1-x}Al_xAs$ quantum well wires: hydrostatic pressure and applied electric field effects, Physica Status Solidi B 247 (2010) 1778.

[6] C.Bose, C.Chakraborty, C.K.Sarkar, Electric field induced shifts of electronic energy levels in spherical quantum dot, Solid State Electronics 41 (1997) 1383.

[7] O.Akankan, I.Erdogan, H.Akbas, Spatial electric field effect on the self-polarization in GaAs/AlAs square quantum-well wires, Physica E 35 (2006) 217.

[8] H.Akbas, C.Dane, K.Kasapoğlu, N.Talip, Spatial electric field effect in a GaAs/AlAs tetragonal quantum dot, Physica E 40 (2008) 627.

[9] E.Sadeghi, Study of the effect of spatial electric field on the energy levels in a GaAs/AlAs cubic quantum dot, Physica E 41(2009) 365.

[10] G.Murillo, N.P.Montenegro, Effects of an electric field on the binding energy of a donor impurity in a spherical GaAs-(Ga,Al)As quantum dot with parabolic confinement, Physica Status Solidi (b) 220 (2000) 187.

[11] K.El Messaoudi, A.Zounoubi, I.Zorkani, A.Jorio, Finite-barrier height effect on the polarizability of a shollow magneto-donor in a quantum box, Physica Status Solidi (b) 233 (2002) 270.

THE EFFECT OF POLARIZATION A DONOR IMPURITY IN A GAAS/ALAS TETRAGONAL QUANTUM DOT UNDER APPLIED SPATIAL ELECTRIC FIELD

O. Akankan
Departmanof Physics, Trakya University, Edirne 22030, Turkey

Abstract
The polarization of donor impurity in a tetragonal quantum dot is investigated with infinite confinement is presented by using the variational procedure with effective mass approximation. The polarization is calculated as a function of (Lz/L) ratio. It is found that polarization of a donor impurity in tetragonal quantum dot depends strongly on the Lz/L ratio, applied spatial electric field strength and impurity position.

Keywords: Binding Energy, Donor Impurity, Quantum Dot

INTRODUCTION

In the past decades low dimensional semiconductor structures, such as quantum dots (QDs), quantum well wires (QWWs) and quantum wells (QWs)have been investigated theoretical and experimental studies of optical and transport properties[1-7]. Impurity states play an important role in semiconductors devices. Many researchers have studied the polarization, the binding energy of donor impurities in these structures.

EXPOSITION

Within the framework of effective-mass approximation, the Hamiltonian for the ground state energy of a donor impurity in a TQD under an external electric field is given by

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m^*}\nabla^2 - \frac{e^2}{\varepsilon\left|\vec{r}-\vec{r}_i\right|} + e\vec{F}.\vec{r} + V(x,y,z) \quad (1)$$

where m^*, e and ε are the electron effective mass, charge and the static dielectric constant, respectively. $\left|\vec{r}-\vec{r}_i\right| = \sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+(z-z_i)^2}$ is the distance between the electron and the impurity site. $e\vec{F}.\vec{r}$ is the effective potential energy induced by the external static electric field. V(x,y,z) is the confining potential

$$V(x,y,z) = \begin{cases} 0; & |x|,|y| \le \frac{L}{2} \text{ and } |z| \le \frac{L_z}{2} \\ \infty; & \text{elsewhere,} \end{cases} \quad (2)$$

L and L_z are dimensions of the TQD. The center of the TQD is chosen as the origin of the system. The external spatial electric field is $\vec{F} = F\ (\sin\theta\cos\varphi\ \vec{e}_1 + \sin\theta\sin\varphi\ \vec{e}_2 + \cos\theta\ \vec{e}_3)$, where θ and φ are the angles in spherical coordinates. Effective Rydberg constant $R^* = \frac{m^* e^4}{2\hbar^2\varepsilon^2}$ as the unit of energy and the effective Bohr radius $a^* = \hbar^2\varepsilon/m^* e^2$ as the length unit, the Hamiltonian becomes

$$H_{T,D} = -\nabla^2 - T\frac{2}{\left|\vec{r}-\vec{r}_i\right|} + \quad (3)$$
$$D\ \eta\ (x\sin\theta\cos\varphi + y\sin\theta\sin\varphi + z\cos\theta) + V(x,y,z),$$

where $\eta = |e| a^* F / R^*$ is the dimensionless measure of the electric field. The trial wave function given in Ref. [8] is chosen as

$$\Psi_{T,D} = N_{T,D} f(x,y,z) \exp\left[-T\left(\frac{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2}{8a^2}+\frac{(z-z_i)^2}{8b^2}\right)\right] \times$$

$$\exp\left[-D\,(x\sin\theta\cos\varphi + y\sin\theta\sin\varphi + z\cos\theta).\beta\right], \qquad (4)$$

where a, b and β are the variational parameters. $N_{T,D}$ is the normalization constant of the wave function. The coefficients T and D take the values zero and unity depending on the quantity to be calculated. $f(x,y,z) = \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right)\cos\left(\frac{\pi y}{L}\right)\cos\left(\frac{\pi z}{L_z}\right)$ is the ground-state wave function in the TQD with a square base $(L\,by\,L)$ and height (L_z).

The polarization of a donor electron due to the spatial electric field can be written by equation

$$\frac{P_i}{e} = -\left\langle \Psi_{1,1} \middle| \left[(x-x_i)\sin\theta\cos\varphi + (y-y_i)\sin\theta\sin\varphi + (z-z_i)\cos\theta\right] \middle| \Psi_{1,1} \right\rangle$$

$$+\left\langle \Psi_{1,0} \middle| \left[(x-x_i)\sin\theta\cos\varphi + (y-y_i)\sin\theta\sin\varphi + (z-z_i)\cos\theta\right] \middle| \Psi_{1,0} \right\rangle. \quad (5)$$

Figure plots the polarization as a function of the L_z/L ratio for different impurity positions and spatial electric field strengths. Although the volume of the tetragonal quantum dot is constant, the characteristic behavior of the polarization is functionally different, which is evident from the fact that the polarization values are close for the $\frac{L_z}{L} = 1$ ratio while the large polarization differences are observed for the smaller or larger L_z/L ratios. In this Figure, from a comparison of electric field strengths $F = 50\,kV/cm$ and $F = 100\,kV/cm$, it is seen that symmetry is more broken with increasing electric field strength with respect to the cubic case, $\frac{L_z}{L} = 1$.

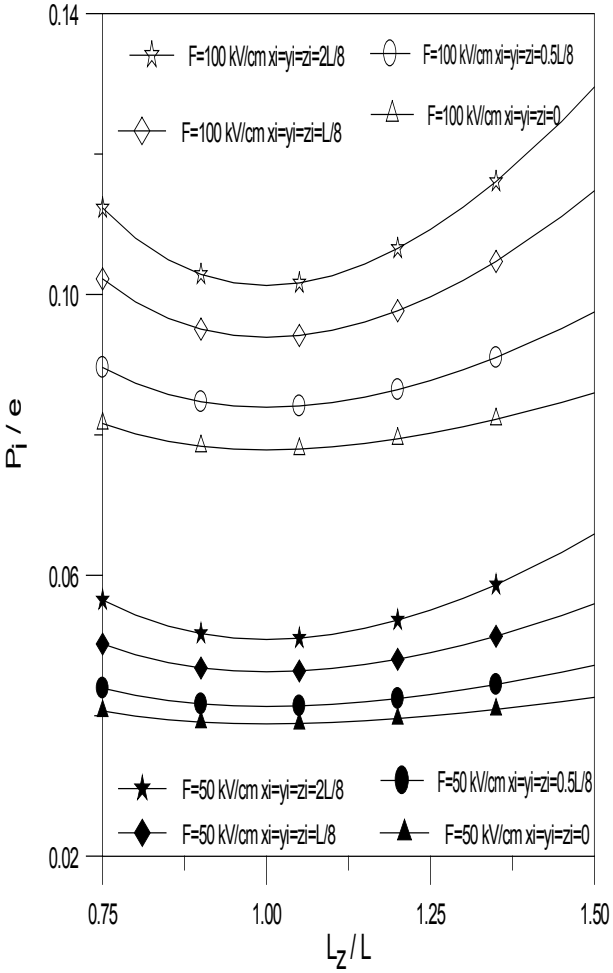


Fig. 1. *The variation of the polarization of a donor impurity as a function of the L_z/L ratio in the tetragonal quantum dot for different values of electric field strength and impurity position*

CONCLUSION

It is found that polarization in tetragonal quantum dot depends on the L_z/L ratio, impurity position and applied spatial electric field strength.

REFERENCE

[1] S.Sahoo, Y.C.Lin, Y.K.Ho, Quantum-confined hydrogenic impurity in a spherical quantum dot

under the influence of parallel electric and magnetic fields, Physica E 40 (2008) 3107.

[2] A.Montes, C.A.Duque, N.P.Montenegro, Binding energy of the ground and first few excited states of a shallow-donor impurity in rectangular-cross-sectional area GaAs quantum-well wires under applied electric field, Physica Status Solidi (b) 210 (1998) 731.

[3] R.Charrour, M.Bouhassoune, M.Fliyou, A.Nougaoui, Magnetic field effect on the binding energy of a hydrogenic impurity in cylindrical quantum dot, Physica B 293 (2000) 137.

[4] O.Akankan, S.E.Okan, H.Akbas, Spatial electric and axial magnetic fields effect in GaAs-AlAs quantum wires, Physica E 36 (2007) 119.

[5] G.Bastard, Hydrogenic impurity states in a quantum well, Surface Science 113 (1982) 165.

[35] C.Dane, H.Akbas, N.Talip, K.Kasapoğlu, Effect of spatial electric field on the sub-band energy in a cubic GaAs/AlAs quantum dot, Physica E 39 (2007) 95.

[6] A.M.Elabsy, Effect of temperature on the binding energy of a confined impurity to a spherical semiconductor quantum dot, Physica Scripta 59 (1999) 328.

[7] E.C.Niculescu, Energy spectra of donors in spherical quantum dots with parabolic confinement, Czech. J. Phys. 51 (2001) 1205.

[8] K.El Messaoudi, A.Zounoubi, I.Zorkani, A.Jorio, Finite-barrier height effect on the polarizability of a shollow magneto-donor in a quantum box, Physica Status Solidi (b) 233 (2002) 270.

LOCAL STRUCTURE OF LIQUID ZIRCONIUM: MOLECULAR DYNAMICS STUDY

Sedat SENGUL, Unal DOMEKELI
Faculty of Science, Trakya University, Edirne, Turkey

Abstract

Zirconium (Zr) and its alloys are widely-used structural materials in the nuclear power plant industry as reactor core structural materials for their good mechanical strength and low neutron absorption. We present molecular dynamics simulations of the thermodynamic melting transition of hcp Zr, using well-known formulation of embedded atom potentials to define the interactions between Zr atoms. We studied various low and high temperature properties such as cohesive energy, pair distribution function, melting temperature, of Zr. The results were discussed in terms of possible experimental and/or theoretical data.

Keywords: Zirconium, embedded atom potentials, molecular dynamics simulations, pair distribution functions

INTRODUCTION

Zirconium (Zr) and its alloys have technical applications in aerospace, medical fields due to its light weight and corrosion resistance [1,2]. Zr element has the hexagonal close-packed (hcp) structure (or α- phase) at ambient conditions. It was reported that its structure transforms to the body-centered cubic (bcc) structure [3].

Zr has been the subject of many theoretical studies to develop many-body interatomic potentials for the hcp structures of various materials, especially for Zr. Molecular Dynamics (MD) simulations are a powerful tool to investigate time evolution and local structure of materials in terms of positions of the atoms [4,5], due to their ability to provide atomic-level information. The defining the interatomic interactions strongly affects the success of MD simulations. Previous MD simulation studies [6,7] of Zr were conducted mainly by using the embedded-atom method (EAM) potential developed by Ackland et al. [8], which is known to have the limitation of calculating stacking fault energies using ab initio calculations. Recently, Zhou et al. [9] (EAM1) and Cheng et al. [10] (EAM2) parameterized EAM potentials for pure Zr and some multicomponent Zr alloys. In our previous studies we were interested in glass formation process of Zr based binary [11,12] and ternary alloys [13–15]. In this work, as a case study, we were interested in the properties of solid and liquid Zr. We re-calculated some fundamental properties of solid and liquid Zr using well-known EAM potentials (denoted as EAM1 and EAM2) to define the interactions between Zr atoms, and compare them with available experimental data. Our aim was to test most – used set of EAM potentials [9,10] for Zr and verify which one is useful for nano-scale calculation on Zr.

EXPOSITION

The reliability of an MD simulation depends on the interatomic potential to explain the atomic interactions of a system. The EAM potential consists of simple embedding energy functions and pair potential functions, and can be expressed as:

$$E_i = F_i(\rho_i(r)) + \frac{1}{2}\sum_{j\neq i}\phi(r) \qquad (1)$$

where r is the distance between atoms, and $\phi(r)$, $\rho(r)$, and F are the pair, density, and embedded functions, respectively. There is more detailed information about these three functions in Ref.[16].

The MD simulations were performed by using large-scale atomic/molecular massively

parallel simulator (LAMMPS)[17] based on EAM potential. The simulation box was a hexagonal with 16384 Zr atoms. Periodic boundary conditions were applied all directions. The NPT canonical ensemble was applied and the time step is 1 fs. The initial configuration was constructed as hcp lattice with experimental values of a_o= 3.231 Å and c_0 = 5.148 Å[18]. Crystalline lattice equilibrated at zero temperature to calculate cohesive energy for 0.6 ns. Then, the system heated up to room temperature to calculate equilibrium lattice structure with 1 ns. The equilibrated system was heated up to 2500 K with the heating rate of 2.5 10^{12} K/s.

To test the validity of EAM potentials for hcp-Zr, the atomic energies for atomic volumes near equilibrium state were calculated. Figure 1 compares the results of calculations. We point out that the equilibrium atomic volume for hcp Zr obtained by EAM1 is slightly different from the one obtained by EAM2. Table 1 lists simulated solid state properties of hcp Zr. The agreement in terms of the equilibrium lattice parameter is remarkable. There is fair agreement for the cohesive energies both experiment and simulations. For the cohesive energies, although its value for EAM1 is slightly larger than that of experimental, for hcp crystalline state, it appears that EAM1 more stable than EAM2. The results demonstrate that both EAM potentials can describe the properties of hcp Zr, quite well, including the ground state properties, as well as in terms of cohesive energy.

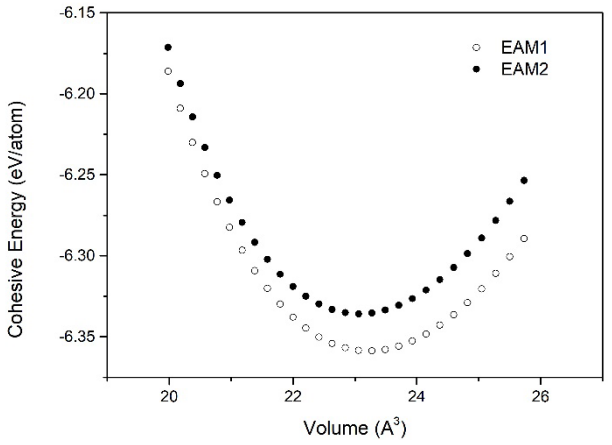


Fig. 1. *Cohesive energy as a function of atomic volume for hcp Zr*

We also calculated the elastic constants and bulk modulus for hcp Zr. There is reasonable agreement between our results and experimental data, except for melting temperature, T_m. The melting point is defined as the temperature at which the solid and liquid phases of a material exist simultaneously. At the melting point, the system lacks metallic bonds and this is indicated by a sharp increase in the caloric curve during heating. Figure 2 plots the temperature dependence of potential energy for hcp Zr during heating. Although EAM1 and EAM2 successively produce the solid state properties, EAM2 produces lower melting point for hcp Zr than experiment and EAM1. It means that EAM1 is suitable for studying the properties at higher temperatures.

Table 1. *Simulated lattice properties of hcp Zr*

	EAM1	EAM2	**Exp.**
a_o (Å)	3.227	3.227	3.231[a]
c_o (Å)	5.143	5.138	5.148[a]
E_0(eV/atom)	-6.32	-6.35	-6.32[a]
B(10^{11} Pa)	0.807	0.847	0.976[a]
c_{11}(GPa)	103.49	101.45	144[b]
c_{12}(GPa)	65.55	115.21	74[b]
c_{13}(GPa)	58.82	46.10	67[b]
c_{33}(GPa)	153.26	144.42	166[b]
c_{44}(GPa)	28.24	28.33	33[b]
T_m(K)	2160	1720	2123

[a]Ref.[18]
[b]Ref.[19]

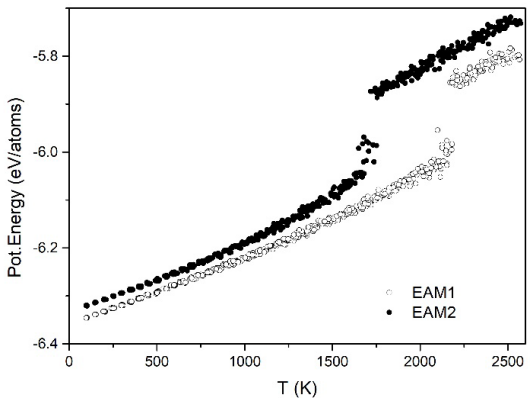
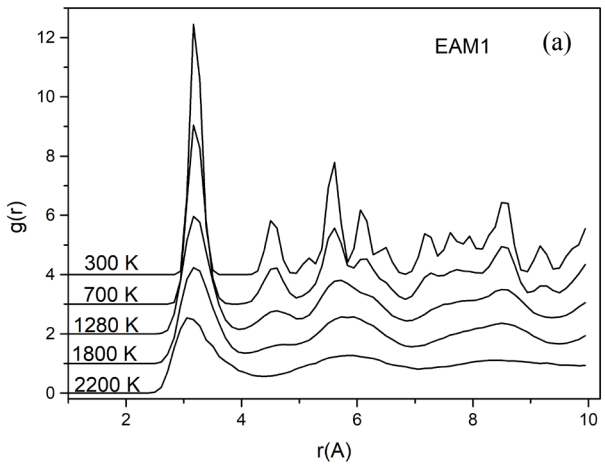


Fig. 2. *Potential energy as a function of temperature during heating of hcp Zr*

The pair distribution function, g(r) showing the probability of finding another atom at a distance r from an origin atom, is used to characterize the structural properties of liquids and noncrystalline solids, and is defined as

$$g(r) = \frac{V}{4\pi r^2 N^2} \langle \sum_{i}^{N} \sum_{j \neq i}^{N} \delta(r) \rangle \qquad (2)$$

where N is the number of atoms in the system, V is the volume of simulation box, $\delta(r-r_{ij})$ is the Dirac delta function, and the angular brackets represent a time average. Figure 3 (a, b) display obtained g(r)' for hcp Zr at different temperatures using EAM1 and EAM2 potential sets, respectively. At room temperature, g(r)s from both sets of EAM have sharp and narrow peaks which denotes crystalline long range order. In terms of the peak positions, the behavior of g(r)s indicates a typical hcp crystalline order at 300 K. The nearest neighbor distance remains almost unchanged, and peaks become broader and shallower with increasing temperature, which is an indication that the atomic ordering in the first coordination shell decreases. Further increasing temperature, minor-peaks disappeared and g(r)s have an obvious first peak, visible second peak and featureless tail meaning firs-order phase transition. The broadening of major peaks and the disappearing of minor peaks of g(r) are characteristic of liquids. After melting is complete, the minor peaks vanishes at a temperature of 2200 K and 1790 K for EAM1 and EAM2, respectively.



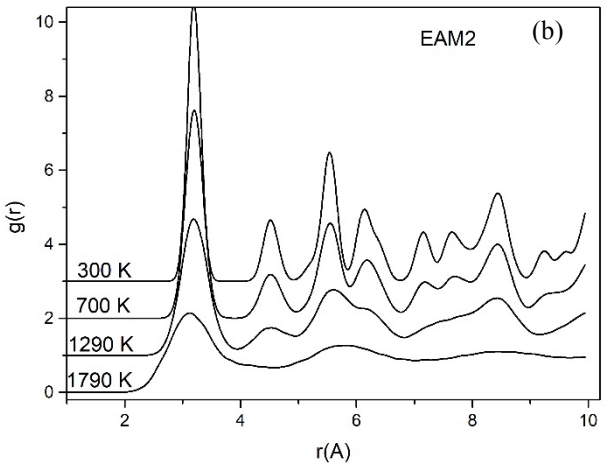


Fig. 3. *Pair distribution functions calculated by a) EAM1 b) EAM2 for hcp Zr*

CONCLUSION

In this paper, we have re-calculated the solid and liquid state properties of hcp Zr by molecular dynamics simulations in which interactions defined by means of EAM potentials parameterized by Zhou et al.[9] and Cheng et al.[10]. We observed that both EAM sets successfully produce the properties at room temperature in terms of cohesive energy, lattice parameters and elastic constants. Only difference is at the melting temperature of hcp Zr. The melting temperature obtained by EAM1 set parameterized by Zhou et al. is in fair agreement with experimental. We can conclude that their parameterization can be used to study the properties of Zr at high temperatures, and useful for nano-scale calculations.

REFERENCE

[1] Y.K. Vohra, P.T. Spencer, Novel γ-Phase of Titanium Metal at Megabar Pressures, Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 3068–3071. doi:10.1103/PhysRevLett.86.3068.

[2] C. Yan, R. Wang, Y. Wang, X. Wang, G. Bai, Effects of ion irradiation on microstructure and properties of zirconium alloys—A review, Nucl. Eng. Technol. 47 (2015) 323–331. doi:10.1016/J.NET.2014.12.015.

[3] Y. Ouyang, J. Wu, M. Zheng, H. Chen, X. Tao, Y. Du, Q. Peng, An interatomic potential for simulation of defects and phase change of zirconium, Comput. Mater. Sci. 147 (2018) 7–17. doi:10.1016/j.commatsci.2018.01.049.

[4] K. Nordlund, M. Ghaly, R.S. Averback, M. Caturla, T. Diaz de la Rubia, J. Tarus, Defect production in collision cascades in elemental semiconductors and fcc metals, Phys. Rev. B. 57 (1998) 7556–7570. doi:10.1103/PhysRevB.57.7556.

[5] D.J. Bacon, F. Gao, Y.N. Osetsky, The primary damage state in fcc, bcc and hcp metals as seen in molecular dynamics simulations, J. Nucl. Mater. 276 (2000) 1–12. doi:10.1016/S0022-3115(99)00165-8.

[6] S.. Wooding, L.. Howe, F. Gao, A.. Calder, D.. Bacon, A molecular dynamics study of high-energy displacement cascades in α-zirconium, J. Nucl. Mater. 254 (1998) 191–204. doi:10.1016/S0022-3115(97)00365-6.

[7] F. Gao, D.J. Bacon, L.M. Howe, C.B. So, Temperature-dependence of defect creation and clustering by displacement cascades in α-zirconium, J. Nucl. Mater. 294 (2001) 288–298. doi:10.1016/S0022-3115(01)00483-4.

[8] G.J. Ackland, S.J. Wooding, D.J. Bacon, Defect, surface and displacement-threshold properties of α-zirconium simulated with a many-body potential, Philos. Mag. A. 71 (1995) 553–565. doi:10.1080/01418619508244468.

[9] X.W. Zhou, R.A. Johnson, H.N.G. Wadley, Misfit-energy-increasing dislocations in vapor-deposited CoFe/NiFe multilayers, Phys. Rev. B. 69 (2004) 144113.

[10] Y.Q. Cheng, E. Ma, H.W. Sheng, Atomic Level Structure in Multicomponent Bulk Metallic Glass, Phys. Rev. Lett. 102 (2009) 245501. doi:10.1103/PhysRevLett.102.245501.

[11] M. Celtek, S. Sengul, Thermodynamic and dynamical properties and structural evolution of binary Zr80Pt20 metallic liquids and glasses: Molecular dynamics simulations, J. Non. Cryst. Solids. 498 (2018) 32–41. doi:10.1016/J.JNONCRYSOL.2018.06.003.

[12] M. Celtek, S. Sengul, U. Domekeli, C. Canan, Molecular dynamics study of structure and glass forming ability of Zr70Pd30 alloy, Eur. Phys. J. B. 89 (2016) 65–65. doi:10.1140/epjb/e2016-60694-5.

[13] S. Sengul, M. Celtek, U. Domekeli, Molecular dynamics simulations of glass formation and atomic structures in Zr60Cu20Fe20 ternary bulk metallic alloy, Vacuum. 136 (2017) 20–27. doi:10.1016/j.vacuum.2016.11.018.

[14] M. Celtek, S. Sengul, The characterisation of atomic structure and glass-forming ability of the Zr–Cu–Co metallic glasses studied by molecular dynamics simulations, Philos. Mag. (2018). doi:10.1080/14786435.2018.1425012.

[15] M. Celtek, S. Sengul, U. Domekeli, Glass formation and structural properties of Zr50Cu50-xAlx bulk metallic glasses investigated by molecular dynamics simulations, Intermetallics. 84 (2017) 62–73. doi:10.1016/j.intermet.2017.01.001.

[16] M.S. Daw, M.I. Baskes, Embedded atom method: derivation and application to impurities,surfaces and other defects in metal, Phys. Rev. B. 29 (1984) 6443–6453.

[17] S. Plimpton, Fast Parallel Algorithms for Short-Range Molecular Dynamics, J. Comput. Phys. 117 (1995) 1–19. doi:10.1006/JCPH.1995.1039.

[18] O. B, J.C. Jamieson, Zirconium: pahses and compressibility to 120 kilobars, High Temp.-High Press. 5 (1973) 123–131.

[19] E.A. Brandes, Smithells Metals Reference Book, London:Butterword, 1983.

MOLECULAR DYNAMIC SIMULATION OF GLASS FORMATION AND CRYSTALLIZATION IN BINARY METALLIC ALLOYS DURING COOLING PROCESS

Sedat SENGUL and Unal DOMEKELI
Dept. of Physics, Faculty of Science, Trakya University, Edirne, 22030, Turkey

Abstract

The rapid solidification of the binary metallic alloy has been studied with the constant-pressure and constant-temperature molecular dynamics technique to obtain an atomistic description of glass formation and crystallization in the alloy. Molecular dynamics simulations have performed through the DL_POLY open source code using on the embedded atom method, which is generally preferred for metallic systems to identify atomic interactions in the system. The effects of different cooling rates on the glass formation and crystallization of binary alloy have studied. The local atomic ordered structures of liquid, glass and crystalline have been characterized by the pair analysis technique. The calculated pair distribution functions during cooling process provided a good picture of the structural transformations, and the results are consistent with results of experimental and ab initio molecular dynamics works in the literature. This consistency indicates that the molecular dynamic results obtained in our study provide a powerful approach to obtain detailed chemical and topological ordering of metallic glasses, liquids and crystalline.

Keywords: Molecular Dynamic Simulations, Rapid Solidification, Pair Analysis Technique, Metallic Glasses, Pair Distribution Function, Pair Analysis Technique

INTRODUCTION

Understanding of the structural and physical properties of liquid metals is an important step in the processing of amorphous materials and of great technological importance to design functional materials such as metallic glasses (MGs)[1] or to investigate liquid-solid phase[2]. Besides this,due to the technical limitations of the experimental setup, the precise determination of the structural and chemical properties of metallic systems is exhausting and sometimes even impossible. However, a database limited to a single property or even a missing experimental data set can usually be sufficient to perform molecular dynamic (MD) simulations[3]. Recent literature reports have proven that MD simulations are sufficient, and then these simulations have been widely used for the study of the structures, dynamics and thermodynamics of liquid and solid bulk materials[3–9]. Recently, many semi-empirical potentials have been proposed to improve the reliability of classical MD simulations and to better describe the atomic interactions in the system, these potentials can be listed as follows, embedded atomic model (EAM)[10], modified embedded atomic model (MEAM)[11], tight binding (TB)[12] and quantum Sutton-Chen (Q-SC)[13] many-body potential.

The goals of this work is to investigate the effects of the cooling rate on structure evolution of Al-based metal melts ($Al_{60}Cu_{40}$) through classical molecular dynamics simulation by using embedded atom method (EAM). Why did we choose the Al-Cu alloy? Aluminum alloys; they have very heterogeneous microstructures compared to many other metal alloys, they can form alloy with different elements such as zinc, magnesium, silicon, copper and lithium, they have many applications, they are highly resistant to heat treatment, they are good conductors for heat and electricity, and they have high resistance to corrosion.

EXPOSITION

In our study, we used the EAM potential proposed by Daw and Baskes[10]for the first time to describe the interactions between the Al and Cu atoms in the $Al_{60}Cu_{40}$ system.

Within the EAM formalism, the total energy of a system is formulated as:

$$E_{tot} = \sum_i F_i(\rho_{h,i}) + \frac{1}{2}\sum_{i \neq i} \varphi_{ij}(r_{ij}) \quad (1)$$

$$\rho_{h,i} = \sum_{j \neq i} \rho_{ij}^{a}(r_{ij}) \quad (2)$$

The EAM potential data generated by Howard Sheng was taken from the "https://sites.google.com/site/eampotentials/Home/AlCu" website. In order to identify atomic interactions in the simulation, we preferred the EAM potential, which was previously reported to be successful for metallic systems[14–17], and we realized the simulations with the DL_POLY 2.0 simulation package program[18].For $Al_{60}Cu_{40}$ alloy with 6750 atoms (4050 Al atoms and 2700 Cu atoms), periodic boundary conditions were applied in all three directions. The initial temperature was set at 1400K, which is far above melting point (T_m~933K) of $Al_{60}Cu_{40}$alloy. The Nóse Hoover[19] thermostat was used to keep the temperature under control. The system was cooled with different cooling rates (γ=5 K/ps, γ=0.5 K/ps and γ=0.05 K/ps) from 1400 K to 200 K with an intervals of 50 K.

We used energy and volume curves for temperature-dependent changes of the glass transition and crystallization processes. Figure 1 shows the change in the total energy obtained with different cooling rates as a function of temperature. As can be seen from the figure, the total energy curves obtained for all cooling rates are almost linearly reduced between 1400 K and 550 K. At lower temperatures, the energy curves for the γ=5 K/psand γ= 0.5 K/pscooling rates show a slight slope difference and continue to decrease almost linearly. In this temperature range, where the slope difference occurs, it is thought that the system transitioned from liquid to amorphous structure. The intersection points of the linear fit lines drawn to the energy curves in the low and high temperature ranges have been taken as the glass transition temperature (T_g) of the system. The T_g's determined at the end of this process are approximately 434 K for γ=5 K/psand about 390 K for γ= 0.5 K/ps, and the T_g calculated for γ= 0.5 K/ps is shown in Figure 1. In our simulation, we observed a systematic relationship between cooling rate and T_g. In other words, we observed a decrease in T_g's with decreasing cooling rate. When the system is cooled with a cooling rate of γ=0.05 K/ps, there is a sudden break in the energy curve at low temperatures, unlike other cooling rates. This case shows that if enough time is given to the system, the crystal nucleation continues to increase and finally the system is transitioned from liquid to solid state.

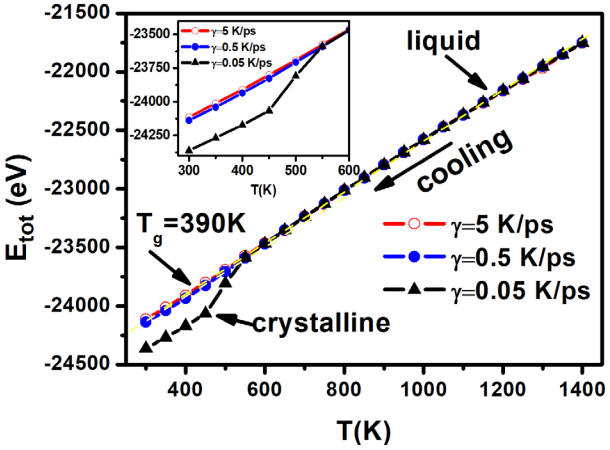


Fig. 1. *Total energy as a function of temperature for $Al_{60}Cu_{40}$ alloy calculated with EAM potential*

We used the pair distribution function (PDF) g(r) to define the structural characterization of the system cooled by different cooling rates [20,21]. It is defined as;

$$g_{i,j}(r) = \frac{L^3}{N_i N_j}\left\langle \frac{\sum_{\alpha=1}^{N_i} n_{\alpha j}(r)}{4\pi r^2 \Delta r} \right\rangle \quad (3)$$

The PDF curves obtained with the cooling rate of γ=0.5 K/ps for the $Al_{60}Cu_{40}$ alloy examined in this study were plotted in Figure 2 and compared with the experimental data measured by Wang et al.[22]. Our results are in good agreement with the experimental results. As expected from the cooled systems, it can be clearly seen that the first peaks of g(r)'s are sharper and higher with the decrease of temperature. This is an indication that the short range order (SRO) of the system increases during the cooling process.

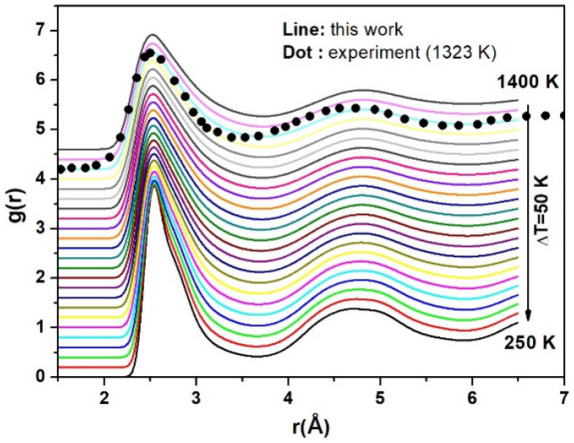


Fig. 2. *Total PDFs of experimental at 1323 K* [22]*and simulated amorphous* $Al_{60}Cu_{40}$ *at different temperatures for cooling rate of γ=0.5 K/ps*

The total PDF curves obtained at 300K for three different cooling rates are shown in Figure 3. The g(r) curves of the system cooled with the cooling rates of γ=5 K/ps and γ=0.5 K/ps are very similar to each other.In order to see the small differences that occur for these cooling rates in a little more detail, we have drawn the first and second peaks of the PDF curves by zooming and we have shown them in the insets of Figure 3. The figure shows that when the system is cooled more slowly, the main peaks of the PDF curves are so high and sharp.In this case, the system is related to the atomic order and SRO. On the other hand, the g (r) curves of the system cooled with a slower cooling rate of γ=0.05 K/ps produce peaks of typical *bcc*crystal-like structures(this case will be discussed in the following sections.). So all the main peaks are much sharper and much more noticeable. These results are consistent with the other analysis results mentioned above.

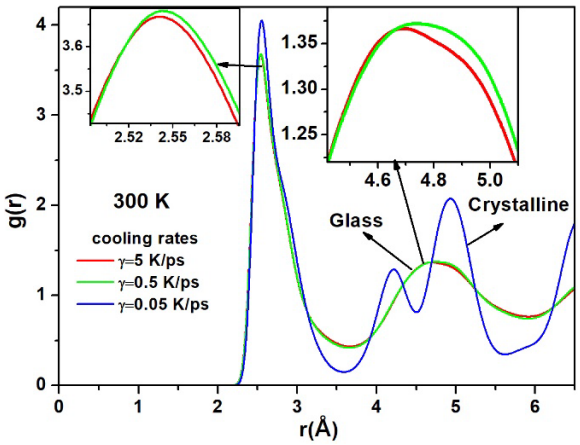
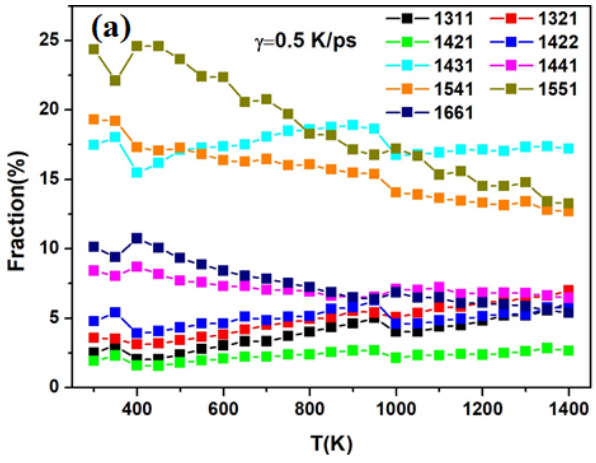


Fig. 3. *Total PDF curves at 300K for* $Al_{60}Cu_{40}$ *alloy cooled using different cooling rates*

In order to get more detailed information about what is going on in adisordered system, we look at the pair analysis where a pair atom and its common neighbors are taken as basic units. We used Honeycutt-Andersen (HA)[23] pair analysis technique, which is an effective technique for filtering the number of different local structures within the simulation system. The number of 1551, 1541 and 1431 bonded pairs *(ICOS types)* in liquid is a direct measurement of the degree of icosahedral order. The 1421 and 1422 bonded pairs *(fcc and hcp types)* and the 1661 and 1441 bonded pairs *(bcc types)* are the characteristic bonded pairs for the *fcc* and *hcp* crystal structure and for the *bcc* crystal structure, respectively. Please see to ref [17,24] for more detailed information. Figure 4 (a) shows that the number of 1551 and 1541 bonded pairs corresponding to an icosahedron cluster at the cooling rate of γ=0.5K/ps increase rapidly as the temperature decreases. With decreasing temperature, the number of bonded pair of 1551 rises to ~25% and occupies a dominant position in the system, indicating that the liquid $Al_{60}Cu_{40}$ receives amorphous condition during the cooling process with a cooling rate of γ=0.5K/ps. Interestingly, the fraction of the 1661 and 1441 bonded pairs, representing the *bcc* crystal structure, is increasing with decreasing temperature. Although there are clusters pointing mostly to amorphous structure in the rapidly solidified system, it is seen that there are also significant clusters in the system indicating different crystalline structures. The results obtained with the γ=5 K/ps cooling rate produce similar results with γ=0.5K/ps and are not shown here to avoid repetition.



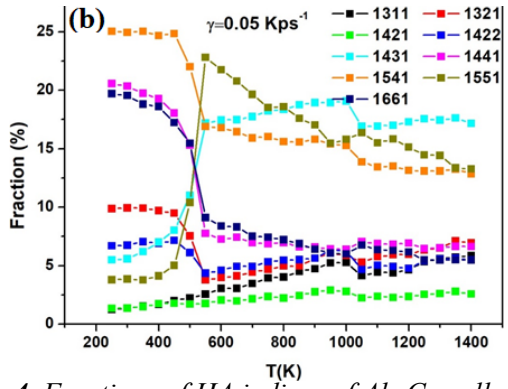


Fig. 4. *Fractions of HA indices of $Al_{60}Cu_{40}$alloy as a functions of temperature: (a) forcooling rate of γ=0.5 K/psand (b) forcooling rate of γ=0.05 K/ps*

Figure 4(b) illustrate the fractions of the HA indices obtained by the cooling rate of γ=0.05 K/ps. In the results obtained from this cooling rate, it clearly shows that *ICOS types* are dominant at high temperatures (between 1400 K and 550 K). However, unlike other cooling rates, the fraction of the 1551 and 1431 bonded pairs have been decreased suddenly at about 550K, while the fraction of the 1541 bonded pairs increased suddenly. This is an interesting case because the 1541 bound pairs are mostly found in amorphous and liquid states and represent the distorted icosahedral ordering. Furthermore, at this temperature, the fraction of the 1441 and 1661 bonded pairs representing the *bcc* crystal structure, the 1321 bonded pairs representing the *rhombohedral* structure, and the 1422 bonded pairs representing the *hcp* crystal structure, are increasing suddenly. These analysis results show that when the system is given enough time, the system transition from liquid structure to crystal structure. The distribution of bcc type clusters at 300K is around ~41%, indicating that the structure tends to be *bcc* crystal, but it is not possible to give accurate information about the structure of the system due to the large amount of other types of clusters.

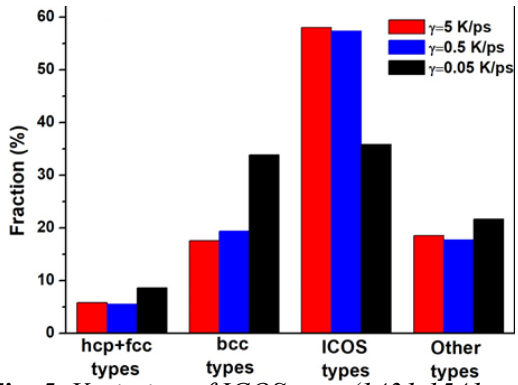


Fig. 5. *Variation of ICOS type (1431,1541 and 1551), fcc and hcp type (1421 and 1422), bcc type (1441 and 1661), and random type (1311, 1321 and others) for different cooling rates at 400 K*

Figure 5 illustrates the distribution of different types of clusters obtained for all cooling rates at 400 K. According to HA analysis, the results obtained using γ=5 K/ps and γ=0.5K /ps cooling rates are very similar. On the other hand, while the distribution of *ICOS* types decreases for the cooling rate of γ=0.05K/ps, the distribution of *bcc* crystal and *other* types increases. These results show that different cooling rates cause significant changes in the system. ICOS-type clusters appear to play an important role for all cooling rates.

CONCLUSION

In summary, the glass formation and crystallization processes of the $Al_{60}Cu_{40}$ binary alloy cooled using different cooling rates have been investigated with EAM-MD simulations. The calculated PDF results are consistent with the experimental results previously reported in the literature. According to the HA bond-pair analysis, it has been found that a large part of the local structures of the rapidly solidified system for the cooling rates of γ=5 K/ps and γ=0.5 K/pshave been composed of ICOS-type (1551, 1541 and 1431) clusters. It was observed that while the fraction of *ICOS-types* decreased with decreasing cooling rate, especially the fraction of *bcc*-type (1441 and 1661) crystal clusters increased. As a result, it has been observed that when the system is cooled with a cooling rate of γ=0.05 K/ps, liquid-solid phase transition around T_c~500 K occurs. These results indicate that the effect of cooling rate causes significant changes in the Al-Cu system.

REFERENCE

[1] M. Ashby, A. Greer, Metallic glasses as structural materials, Scr. Mater. 54 (2006) 321–326. doi:10.1016/j.scriptamat.2005.09.051.

[2] J.J. Hoyt, M. Asta, Atomistic computation of liquid diffusivity, solid-liquid interfacial free energy, and kinetic coefficient in Au and Ag, Phys. Rev. B. 65 (2002) 214106. doi:10.1103/PhysRevB.65.214106.

[3] M.E. Trybula, P.W. Szafrański, P.A. Korzhavyi, Structure and chemistry of

liquid Al–Cu alloys: molecular dynamics study versus thermodynamics-based modelling, J. Mater. Sci. (2018). doi:10.1007/s10853-018-2116-8.
[4] M. Asta, D. Morgan, J.J. Hoyt, B. Sadigh, J.D. Althoff, D. de Fontaine, S.M. Foiles, Embedded-atom-method study of structural, thermodynamic, and atomic-transport properties of liquid Ni-Al alloys, Phys. Rev. B. 59 (1999) 14271–14281. doi:10.1103/PhysRevB.59.14271.
[5] J. Horbach, S.K. Das, A. Griesche, M.-P. Macht, G. Frohberg, A. Meyer, Self-diffusion and interdiffusion in melts: Al80Ni20 Simulation and experiment, Phys. Rev. B. 75 (2007) 174304. doi:10.1103/PhysRevB.75.174304.
[6] S.K. Das, J. Horbach, M.M. Koza, S. Mavila Chatoth, A. Meyer, Influence of chemical short-range order on atomic diffusion in Al–Ni melts, Appl. Phys. Lett. 86 (2005) 011918. doi:10.1063/1.1845590.
[7] M. Trybula, N. Jakse, W. Gasior, A. Pasturel, Structural and physicochemical properties of liquid Al–Zn alloys: A combined study based on molecular dynamics simulations and the quasi-lattice theory, J. Chem. Phys. 141 (2014) 224504. doi:10.1063/1.4903209.
[8] M.E. Trybula, Structure and transport properties of the liquid Al 80 Cu 20 alloy – A molecular dynamics study, Comput. Mater. Sci. 122 (2016) 341–352. doi:10.1016/j.commatsci.2016.05.029.
[9] M. Celtek, S. Sengul, U. Domekeli, Glass formation and structural properties of Zr50Cu50-xAlxbulk metallic glasses investigated by molecular dynamics simulations, Intermetallics. 84 (2017) 62–73. doi:10.1016/j.intermet.2017.01.001.
[10] M.S. Daw, M.I. Baskes, Embedded atom method: derivation and application to impurities,surfaces and other defects in metal, Phsical Rev. B. 29 (1984) 6443–6453.
[11] B.-J. Lee, M.I. Baskes, Second nearest-neighbor modified embedded-atom-method potential, Phys. Rev. B. 62 (2000) 8564–8567. doi:10.1103/PhysRevB.62.8564.
[12] F. Cleri, V. Rosato, Tight-binding potentials for transition metals and alloys, Phys. Rev. B. 48 (1993) 22–33. doi:10.1103/PhysRevB.48.22.
[13] T. Cagin, Y. Qi, H. Li, Y. Kimura, H. Ikeda, W.L. Johnson, W.A. Goddard, The Quantum Sutton-Chen Many-Body Potential for Properties of fcc Metals, MRS Symp. Ser. 554 (1999) 43.
[14] L. Zhong, J. Wang, H. Sheng, Z. Zhang, S.X. Mao, Formation of monatomic metallic glasses through ultrafast liquid quenching, Nature. 512 (2014) 177. http://dx.doi.org/10.1038/nature13617.
[15] Y.Q. Cheng, H.W. Sheng, E. Ma, Relationship between structure, dynamics, and mechanical properties in metallic glass-forming alloys, Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys. 78 (2008) 1–7. doi:10.1103/PhysRevB.78.014207.
[16] M. Celtek, S. Sengul, U. Domekeli, Glass formation and structural properties of Zr50Cu50-xAlx bulk metallic glasses investigated by molecular dynamics simulations, Intermetallics. 84 (2017) 62–73. doi:10.1016/j.intermet.2017.01.001.
[17] M. Celtek, S. Sengul, Thermodynamic and dynamical properties and structural evolution of binary Zr 80 Pt 20 metallic liquids and glasses: Molecular dynamics simulations, J. Non. Cryst. Solids. 498 (2018) 32–41. doi:10.1016/j.jnoncrysol.2018.06.003.
[18] W. Smith, T.R. Forester, DL_POLY_2.0: A general-purpose parallel molecular dynamics simulation package, J. Mol. Graph. 14 (1996) 136–141. doi:10.1016/S0263-7855(96)00043-4.
[19] S. Nosé, A unified formulation of the constant temperature molecular dynamics methods, J. Chem. Phys. 81 (1984) 511–519. doi:10.1063/1.447334.
[20] M. Celtek, S. Sengul, The characterisation of atomic structure and glass-forming ability of the Zr–Cu–Co metallic glasses studied by molecular dynamics simulations, Philos. Mag. 98 (2018) 783–802. doi:10.1080/14786435.2018.1425012.
[21] S. Sengul, M. Celtek, U. Domekeli, Molecular dynamics simulations of glass formation and atomic structures in Zr60Cu20Fe20 ternary bulk metallic alloy, Vacuum. 136 (2017). doi:10.1016/j.vacuum.2016.11.018.
[22] S.Y. Wang, M.J. Kramer, M. Xu, S. Wu, S.G. Hao, D.J. Sordelet, K.M. Ho, C.Z. Wang, Experimental and ab initio molecular dynamics simulation studies of liquid Al 60 Cu 40 alloy, Phys. Rev. B. 79 (2009) 144205. doi:10.1103/PhysRevB.79.144205.
[23] J.D. Honeycutt, H.C. Andersen, Molecular Dynamics Study of Melting and Freezing of Small Lennard- Jones Clusters, J. Phys. Chem. 91 (1987) 4950–4963. doi:10.1021/j100303a014.
[24] F.A. Celik, Molecular dynamics simulation of polyhedron analysis of Cu–Ag alloy under rapid quenching conditions, Phys. Lett. A. 378 (2014) 2151–2156. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.physleta.2014.05.019.

MOLECULAR DYNAMIC SIMULATION STUDY OF MELTING POINT OF L12-Cu_3Au ALLOY

Murat CELTEK[1] and Unal DOMEKELI[2]
[1]*Faculty of Education, Trakya University, Edirne, Turkey*
[2]*Faculty of Science, Trakya University, Edirne, Turkey*

Abstract
In this study, the melting point and specific heat of L12-Cu3Au alloy was investigated by classical molecular dynamic simulation method using three different many-body potentials. Simulation box contains 15×15×15 unit cells with 13500 atoms, periodic boundary conditions are applied in three directions. All simulations were performed using DLPOLY molecular dynamic open code. The solid-liquid phase transition was investigated by analyzing the lattice parameters, pair distribution function and specific heat as a function of temperature. The results of molecular dynamics simulation obtained using different potentials were discussed comparatively with the experimental and theoretical results reported in the literature.

Keywords: molecular dynamics simulation, melting point, specific heat, solid-liquid phase, pair distribution function.

INTRODUCTION

As a traditional alloy, Au-Cu alloy systems are widely used in many fields such as catalysis, electronics industries and biological materials. The interest in these alloys is increasing day by day, and in recent studies, some new functions of the alloy have been found in nano-crystal and thin film materials[1–4]. Molecular dynamics (MD) is the simulation of the physical movement of atoms and molecules. The atoms and molecules are allowed to interact for a time that gives an image of the movement of atoms. The equations of motion are solved numerically to follow the time evolution of the system, allowing the derivation of kinetic and thermodynamic properties[5]. Optimal identification of atomic interactions in the system is very important in terms of the reliability of the potential function used. In this context, there are several potential functions used in molecular dynamic simulation such as Lennard Jones (LJ), Embedded Atom Method (EAM), Modified Embedded Atom Method (MEAM), Quantum Sutton-Chen (Q-SC)[6], Tight-Binding (TB)[7], Tersoff [8], which are used in different systems depending on the application.

In our study, we examined the physical properties of the Cu_3Au (or $Cu_{75}Au_{25}$) binary alloy during the heating process by using many-body potentials such as EAM, Q-SC and TB among the aforementioned potential functions. The results obtained from MD simulation were discussed by comparing with the experimental and theoretical results presented in the literature.

EXPOSITION

At the beginning of the MD simulation study, Cu and Au atoms in the alloy system were distributed to fcc unit cell-based L12 type super braid points. The Au atoms occupy the corner sites, whereas the Cu atoms occupy the face centers of the basis cube. The simulation system consists of 13500 atoms (10125 Cu atoms and 3375 Au atoms), and is confined in a cubic simulation cell with periodic boundary conditions imposed in all three directions. The Nosé-Hoover thermostat and barostat has been used to control the temperature and pressure[9]. For all three potentials, the simulations start from a well equilibrated state initiated by a perfect L12 configuration at 0K. The output configurations of the simulation run at each temperature

provide the starting point for the next temperature. The system was heated from 0K to 1800K at 50K intervals. In order to better determine the melting point, computer simulations have been carried out by 10K increments around the melting point.

The total energy forms of the Q-SC, EAM and TB many-body potentials used in the study are given as follows, and more detailed information about these potentials can be taken from the relevant references.

Total energy in the potential of Q-SC has the following form[10,11]:

$$U_{tot} = \sum_{i}^{N} \left[\sum_{j \neq i} \mathsf{T}_{ij} \frac{1}{2} \left(\frac{a_{ij}}{r_{ij}} \right)^{n_{ij}} - c_i \mathsf{T}_{ii} \left(\sum_{i \neq j} \left(\frac{a_{ij}}{r_{ij}} \right)^{m_{ij}} \right)^{1/2} \right] \quad (1)$$

The Q-SC potential parameters used for the Cu-Au alloy are presented in Table 1[6,10].

Table 1. *Q-SC potential parameters for the Cu and Au pure metals.*

Metal	n	m	ϵ (eV)	c	a (Å)
Cu	10	5	5.7921E−3	84.843	3.6030
Au	11	8	7.8052E−3	53.581	4.0651

In the second-moment approximation (SMA), the total energy of the TB potential can be written as follows [12,13]:

$$E = -\sum_{i=1}^{N} \left(\sum_{j \neq i} A_{\alpha\beta} \exp\left[-p_{\alpha\beta} \left(\frac{r_{ij}}{r_0^{\alpha\beta}} - 1 \right) \right] - \left\{ \sum_{j \neq i} \xi_{\alpha\beta}^2 \exp\left[-2q_{\alpha\beta} \left(\frac{r_{ij}}{r_0^{\alpha\beta}} - 1 \right) \right] \right\}^{1/2} \right) \quad (2)$$

In this study, we used the potential parameters of TB obtained by Papanicolaou et al.[14] and listed these parameters in Table 2.

Table 2. *TB potential parameters for the Au-Au, Cu-Cu and Cu-Au.*

$\alpha\beta$	$\xi_{\alpha\beta}$ (eV)	$A_{\alpha\beta}$ (eV)	$q_{\alpha\beta}$	$p_{\alpha\beta}$	$r_0^{\alpha\beta}$ (Å)
Au–Au	1.8241	0.2145	4.3769	10.8842	2.8652
Cu–Cu	1.2355	0.0862	2.3820	12.5785	2.4729
Cu–Au	1.7981	0.2356	2.6433	8.6961	2.6222

We used the EAM potential developed by Zhou and his co-workers [15] to describe the interactions between Cu and Au in Cu_3Au binary alloy. In the EAM potential, the total energy is written as the sum of the embedding energy and the pair potential, and given in the following form[16–18].

$$E_i = F_i(\rho_{h,i}) + \sum_i \sum_j \varphi_{ij}(r_{ij}), \quad (3)$$

$$\rho_{h,i} = \sum_{j \neq i} f_j(r_{ij}), \quad (4)$$

Figure 1 shows the temperature-dependent variation of the lattice parameter ***a*** of ordered L12-Cu_3Au binary alloy obtained from the MD using three different potentials for the L12-Cu_3Au binary alloy. According to the MD results obtained from all potentials, it is evident from Figure 1 that there is a discontinuity which is thought to be due to phase transformation of the material. Although the lattice parameter values obtained from all potentials are very close to each other at low temperatures, there are slight differences at higher temperatures. On the other hand, our results are consistent with the previously reported exp.[(a)] [19] and exp.[(b)][20] experimental lattice parameter values, especially our results are closer to the values obtained from exp.[(b)] [20] results. The consistency between the experimental and MD simulation results is a clear indication that all three potentials can accurately identify interatomic interactions in the Cu_3Au system. According to the results of MD simulation, the melting temperature of Cu3Au system under zero pressure has been determined as T_m = 1450 ± 5 K for Q-SC, T_m = 1220 ± 5 K for TB and T_m = 1530 ± 5 K for EAM. When our results are compared with the experimentally determined melting point of 1250K[21], the deviation between our determined melting points and the experimental melting point is 16% for Q-SC, -4% for TB and 22.4% for EAM. These results show that the TB potential function for the model alloy system produces a melting temperature more compatible with the experimental value compared to other potential functions. In addition, the reason why the melting temperature deviates from the experimental values is that the MD cell does not contain any structural defect under initial conditions, and the number of particles used in the study is insufficient.

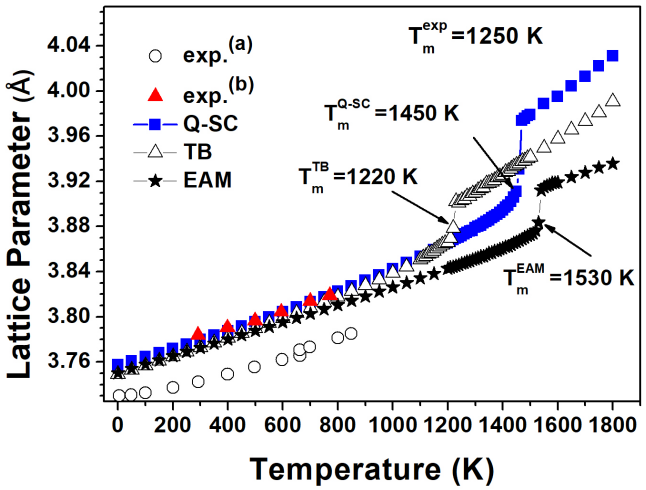


***Fig. 1**. Lattice parameter of Cu_3Au alloy as a function of temperature for all three potentials. The exp.(a) and exp.(b) experimental data have been taken from ref [19] and ref [20], respectively*

Figure 2 shows the final atomic configuration boxes of the system at temperatures of 300K and 1500K, which represent the images obtained using the TB potential. As can be seen from the figure, in 300K there is a uniform distribution between the atoms in the simulation box as in solid systems, whereas in 1500 K the atoms are in a completely random distribution, which is a behavior specific to liquid systems.

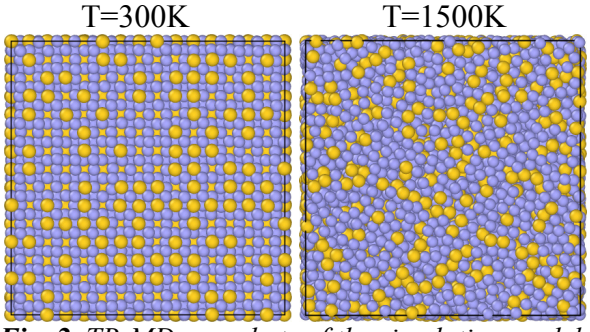


***Fig. 2**. TB-MD snapshots of the simulation models of Cu_3Au alloy at temperatures of 300 K and 1500K. The gray and yellow balls in the simulation box represent Cu and Au atoms, respectively*

The temperature-dependent changes of the specific heat (C_p) curves obtained from QSC-MD, TB-MD and EAM-MD for the Cu_3Au alloy are presented in Figure 3. The C_p values obtained from all potentials exhibit close to each other until their melting point. At low temperatures, the values of Cp are very close to the expected Dulong-Petit value for harmonic solids ($C_p \approx 25$ J mol^{-1} K^{-1}), and these results indicate that these potentials may be successful in explaining the physical properties of the solid system. With increasing temperature, a sudden jump occurred in the C_p curves around the melting points obtained at different points for each potential, which is sudden and sharp jump, indicating that the system is making phase transition from the solid structure to the liquid structure.

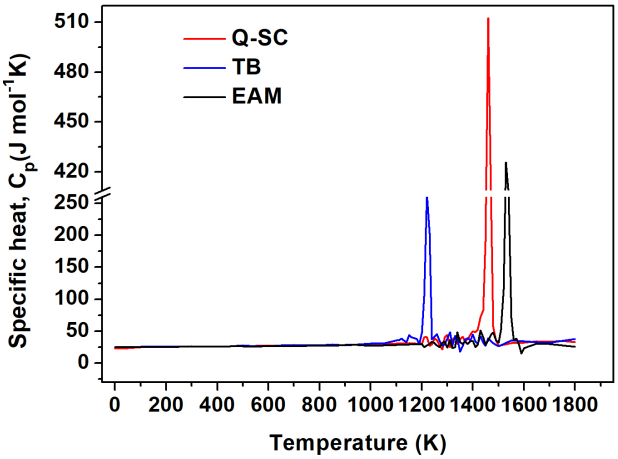


***Fig. 3.** Temperature-related evolution of specific heat curves obtained from Q-SC-MD, TB-MD and EAM-MD during heating*

The pair distribution function (PDF) (or g(r)) is one of the most important structural quantities that characterize a system, particularly for liquids. The PDF for a simulated system can be calculated as follows:

$$g(r) = \frac{V}{4\pi r^2 N^2} \left\langle \sum_i \sum_{i \neq j} \delta(r - r_{ij}) \right\rangle \quad (5)$$

Figures 8 (a-c) show the temperature-dependent evolution of the L12 phase of Cu_3Au alloy under the pressure during the heating process for three different potentials. The g(r) curves calculated at 300K from each of the three potentials show sharp and high peaks representing the solid structure. With the temperature increasing to 900K, different peaks for all potentials gradually begin to disappear and the system tends to liquefy. This tendency to be liquid is more pronounced in the g (r) curves at 1400 K for Q-SC, 1200 K for TB, and 1500 K for EAM. All g(r)'s at 1800 K show a lower first peak and a smoother curve, indicating a property of liquid structures. According to the results of our study, it can be seen that g (r) curves obtained

using three different potentials exhibit similar behaviors.

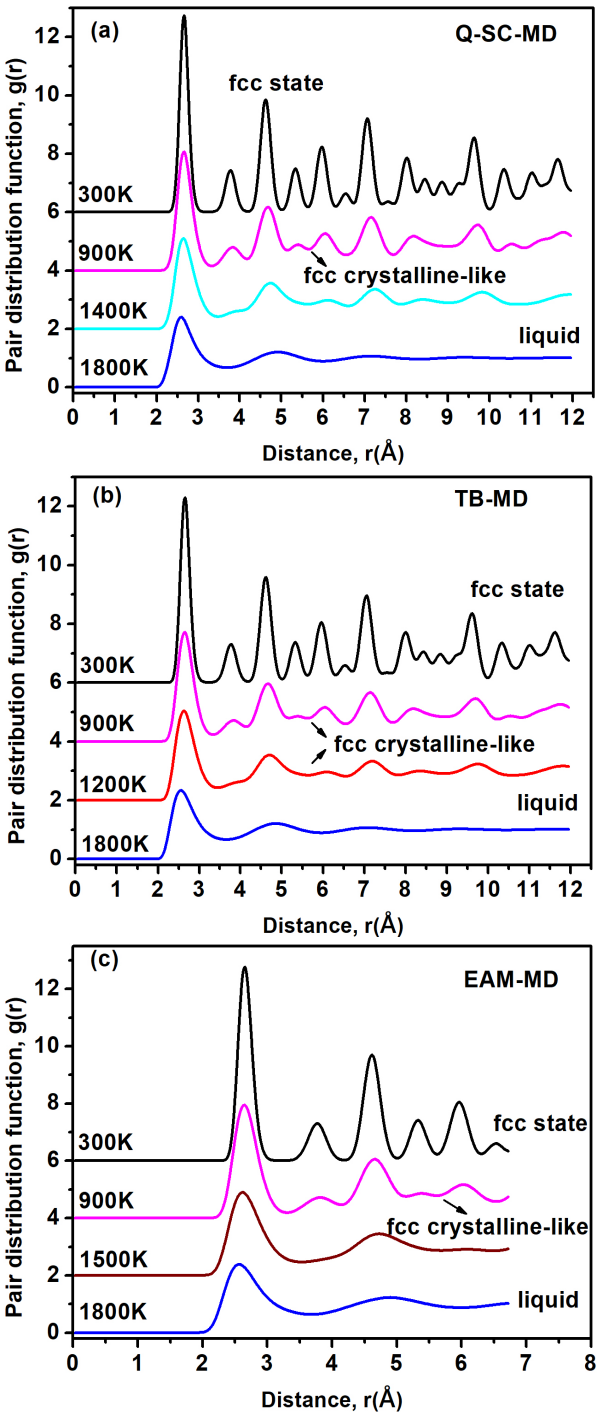


Fig. 3. *g(r) curves at P = 0 for Cu_3Au alloy: solid at T = 300 K, 900 K and 1400 K for Q-SC, 1200 K for TB and 1500 K for EAM, liquid at T = 1800 K, respectively*

CONCLUSION

In summary, in this study, the melting point, specific heat of the system and temperature-dependent changes of the PDF curves were investigated by MD simulations during the heating process by using many body potentials such as Q-SC, TB and EAM for L12-Cu_3Au alloy. The simulated results for all three potentials are consistent with the experimental results in the literature. We have observed that all potential functions used in the study are mostly successful in explaining the structural and physical properties of the system.

REFERENCE

[1] G. De, C.N.R. Rao, Two-Dimensional Au and Au−Cu Alloy Nanocrystals with Orientation in (111) Plane Embedded in Glassy Silica Films ‡, J. Phys. Chem. B. 107 (2003) 13597–13600. doi:10.1021/jp0310091.

[2] L. Battezzati, M. Baricco, M. Belotti, V. Brunella, Microstructure and Thermal Stability of "Nanocrystalline" Electrodeposited Au-Cu Alloys, Mater. Sci. Forum. 360–362 (2001) 253–260. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.360-362.253.

[3] H.R. Zhai, S.M. Zhou, M. Lu, Y.Z. Miao, B.X. Gu, S.L. Zhang, H. Wang, H.B. Huang, The magneto-optical Kerr effect of Fe/Au-Cu and Fe/Al-Cu bilayers, J. Magn. Magn. Mater. 104–107 (1992) 1015–1016. doi:10.1016/0304-8853(92)90467-3.

[4] J. Lohmiller, R. Spolenak, P.A. Gruber, Alloy-dependent deformation behavior of highly ductile nanocrystalline AuCu thin films, Mater. Sci. Eng. A. 595 (2014) 235–240. doi:10.1016/j.msea.2013.12.021.

[5] H. Chabba, M. Lemaallem, A. Derouiche, D. Dafir, Modeling aluminum using molecular dynamics simulation, J. Mater. Environ. Sci. 9 (2018) 93–99. doi:10.26872/jmes.2018.9.1.11.

[6] T. Cagin, Y. Qi, H. Li, Y. Kimura, H. Ikeda, W.L. Johnson, W.A. Goddard, The Quantum Sutton-Chen Many-Body Potential for Properties of fcc Metals, MRS Symp. Ser. 554 (1999) 43.

[7] F. Cleri, V. Rosato, Tight-binding potentials for transition metals and alloys, Phys. Rev. B. 48 (1993) 22–33. doi:10.1103/PhysRevB.48.22.

[8] J. Tersoff, New empirical approach for the structure and energy of covalent systems, 37 (1988).

[9] S. Nosé, A unified formulation of the constant temperature molecular dynamics methods, J. Chem. Phys. 81 (1984) 511–519. doi:10.1063/1.447334.

[10] H. Rafii-Tabar, A.P. Sutton, Long-range

Finnis-Sinclair potentials for f.c.c. metallic alloys, Philos. Mag. Lett. 63 (1991) 217–224. doi:10.1080/09500839108205994.
[11] U. Domekeli, S. Sengul, M. Celtek, C. Canan, The melting mechanism in binary Pd<inf>0.25</inf>Ni<inf>0.75</inf>nanop articles: molecular dynamics simulations, Philos. Mag. 98 (2018). doi:10.1080/14786435.2017.1406671.
[12] F. Cleri, V. Rosato, Tight-binding potentials for transition metals and alloys, Phys. Rev. B. 48 (1993) 22–33. doi:10.1103/PhysRevB.48.22.
[13] M. Celtek, S. Sengul, U. Domekeli, C. Canan, Molecular dynamics study of structure and glass forming ability of Zr70Pd30 alloy, Eur. Phys. J. B. 89 (2016) 1–6. doi:10.1140/epjb/e2016-60694-5.
[14] N.I. Papanicolaou, G.C. Kallinteris, G.A. Evangelakis, D.A. Papaconstantopoulos, M.J. Mehl, Second-moment interatomic potential for Cu-Au alloys based on total-energy calculations and its application to molecular-dynamics simulations, J. Phys. Condens. Matter. 10 (1998) 10979–10990. doi:10.1088/0953-8984/10/48/018.
[15] X.W. Zhou, R.A. Johnson, H.N.G. Wadley, Misfit-energy-increasing dislocations in vapor-deposited CoFe/NiFe multilayers, Phys. Rev. B. 69 (2004) 144113. http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevB.69.144113.
[16] M.S. Daw, M.I. Baskes, Embedded atom method: derivation and application to impurities,surfaces and other defects in metal, Phsical Rev. B. 29 (1984) 6443–6453.
[17] M. Celtek, S. Sengul, U. Domekeli, Glass formation and structural properties of Zr50Cu50-xAlx bulk metallic glasses investigated by molecular dynamics simulations, Intermetallics. 84 (2017) 62–73. doi:10.1016/j.intermet.2017.01.001.
[18] M. Celtek, S. Sengul, Thermodynamic and dynamical properties and structural evolution of binary Zr 80 Pt 20 metallic liquids and glasses: Molecular dynamics simulations, J. Non. Cryst. Solids. 498 (2018) 32–41. doi:10.1016/j.jnoncrysol.2018.06.003.
[19] G.D. Barrera, R.H. de Tendler, Simulation of metals and alloys using quasi-harmonic lattice dynamics, Comput. Phys. Commun. 105 (1997) 159–168. doi:10.1016/S0010-4655(97)00077-5.
[20] W.B. Pearson, A Handbook of Lattice Spacings and Structures of Metals and Alloys, (Oxford: Pergamon), 1967.
[21] R. Hultgren, D.D. Desai, D.T. Hawkins, Selected Values of Thermodynamic Properties of Binary Alloys, (Metal Park, OH: American Society for Metals), 1973.

THE STUDY OF MOLECULAR DYNAMICS SIMULATIONS OF MELTING BEHAVIOR OF BCC TANTALUM NANOCLUSTERS

Murat CELTEK[1], Unal DOMEKELI[2]
[1]*Faculty of Education, Trakya University, Edirne, Turkey*
[2]*Faculty of Science, Trakya University, Edirne, Turkey*

Abstract
Tantalum (Ta) is used in a wide variety of technological fields such as production of high-temperature superalloys, microelectronics and nuclear power, because of its high melting temperature and strength. It is known that nanoparticles can exhibit unusual chemical and physical properties from those of the bulk metals. In this work, molecular dynamics simulations were performed to investigate the thermal properties of unsupported metallic Ta nanoparticles. The size dependent structural properties of Ta nanoparticles were analyzed by caloric curves and radial distribution functions. We observed that the melting temperatures of Ta nanoparticles is lower than that of bulk Ta, and it decreases with reducing diameter in nanoscale regime.

Keywords: Tantalum, Classical molecular dynamics simulations, Melting of nanoparticle, Pair distribution functions.

INTRODUCTION

Nanomaterials have a great attraction from researches because of having different physical and chemical properties from their bulk counterparts because of structural characteristics and size effects [1]. Due to high surface to volume ratio, the decreasing of the melting temperature of a metallic system is one of the important results of the reduction of size of that system. Some thermodynamic approximations have been made to give a predictions on decreasing melting temperature. As we know, a general theoretical model that predicts the melting mechanism for all nano-systems has not been developed, yet. Molecular dynamics simulations (MD) are effective solution to observe time evolution of any system. They are used to give detailed information on melting process such as melting of clusters having higher melting point than bulk material [2], premelting behavior [3], dynamic coexistence states near melting [4].

Tantalum (Ta), which is body-centered-cubic (bcc) transition metal with no confirmed experimentally observed solid-solid phase changes with pressure or temperature, is used in a wide variety of applications ranging from microelectronics to nuclear power because of its high melting temperature and strength [5]. For example, to increase the quality and reduce the size of the packaging, researchers need thin and flexible Ta powders. So nano Ta has a wide range of applications[6].

In this work, we mainly focused on the thermal properties of Ta nanoparticles (NP). MD simulations with embedded atom method potentials (EAM) proposed by Daw and Baskes [7] were performed to observe melting process and size dependent structural properties which analyzed by caloric curves and radial distribution functions.

EXPOSITION

The EAM potential describing the energetics of pure and multicomponent metallic systems, accurately predicts physical and thermodynamic properties of them such as the melting temperature, phase transition, liquid density and local atomic environment [8]. The total energy of the metals is written as:

$$E_{tot} = \sum_i F_i(\rho_i) + \frac{1}{2}\sum_{j \neq i} \phi(r) \quad (1)$$

where r is the distance between atoms, and $\phi(r)$, $\rho(r)$, and F are the pair, density, and embedded functions, respectively [7]. More details on the validation of the developed

EAM potential for metallic systems can be found elsewhere...

All simulations in this work were performed by using large-scale atomic/ molecular massively parallel simulator (LAMMPS) package [9]. To define the interactions between Ta atoms in simulation box, we used the EAM potentials parameterized with the force-matching method based on ab initio molecular dynamics by Sheng et al.[10]. The developed EAM potentials can be found in a tabulated form at https://sites.google.com/site/ eampotentials/Ta.

For the case of simulation of bulk material, MD simulation box was ideal bcc lattice with 6750 atoms. Periodic boundary conditions were applied for all directions. The timestep was 1fs. The system was equilibrated for 0.5 ns and subjected to continuous heating process from 300 K to 4200K for 6 ns within the restrictions of the constant pressure-temperature-number of atoms (NPT) ensemble. The nanoparticles were extracted from the large perfect bcc supercell with the eight different diameters. Prepared initial nano-systems were annealed at room temperature to obtain stable structure for 1 ns using constant volume-temperature (NVT) ensemble. Then, they gradually heated with the heating rate of $5.3 \cdot 10^9$ K/s up to 3500 K, which is higher than the melting point of bulk Ta.

First, we tested the EAM potential by calculating some ground state properties such as lattice parameter, cohesive energy elastic constants and melting point of bulk Ta. Table 1 lists simulated solid state properties of bulk Ta along with the experimental data. The solid state properties are in good agreement with literature. We should note that we have used two-phase simulation scheme to obtain melting point because the continuous heating yields overheated bcc Ta. In this context, the half of the simulation box was initially bcc solid state and another half liquid. MD simulations were performed in the constant pressure-enthalpy-number of particle (NPH) ensemble. Entire system was equilibrated at a certain temperature for a 4 ns. If the equilibrium temperature of the simulation is too low, the solid volume will begin to melt. We can determine the melting point whether below or above the melting temperature of real system by observing the moving of solid-liquid interface line. The determined melting temperature within this method was 3290 K (±20K) which is in very good agreement with experimental value.

Table 1. *Ground state properties of buk Ta*

property	*EAM*	*Expt.*
a_o(A) (300 K)	3.298	3.306[1]
E_c(eV/atom) (0 K)	-8.10	-8.10[1]
C_{11} (GPa)	283	261[2]
C_{12} (GPa)	169	157[2]
C_{44} (GPa)	95	82[2]
T_m (K)	3290	3290[3]

[1]http://www.webelements.com/tantalum/crystal_structure.html
[2]Ref.[11]
[3]Ref.[12]

Figure 1 plots the pair distribution functions (PDF) for solid and liquid bulk Ta along with the available other theoretical result of Jakse et al. [13]. Inset shows a comparison of the static structure factor obtained by Fourrier transform of PDF with experimental [5]. For the solid state, PDF has sharp and narrow peaks reflecting long range crystalline bcc lattice. An agreement in terms of peak position between simulated and other theoretical result is fair, except for amplitude of oscillations. From the results listed in Table 1 and PDF at low and high temperatures, we conclude that EAM potentials used in here successfully produce solid state properties of Ta and can be transferred to high temperatures to study liquid state of Ta NPs.

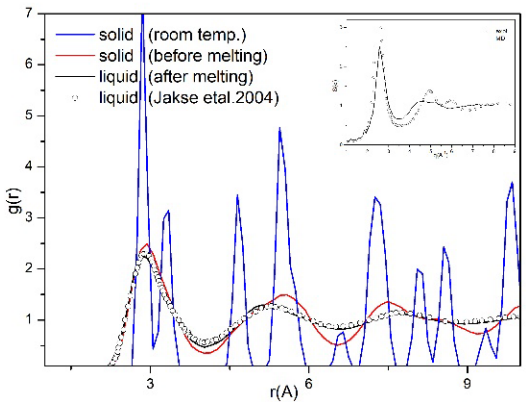


Fig. 1. *Pair distribution functions for solid and liquid bulk Ta. The inset plots static structure factor from MD with experimental data*

Figure 2 displays the temperature dependence of potential energy for Ta NPs with the comparison of the simulation results for continuous (direct) heating of bulk Ta. The potential energies of NPs which has large surface to volume ratio, is much higher than that of bulk. A sharp increasing in the potential energy was observed at the temperature of first – order phase transition during heating both NPs and bulk. As we mentioned above, this temperature is very high with respect to experimental melting point of bulk material because the continuous heating leads to overheating. The height of the sharp increasing is a measure of heat required for melting, and it increases as the size of nanoparticle increases. The melting temperatures, which are the midpoints of the sharp increase, obtained by present MD simulations of Ta NPs are listed in Table 2. The melting point of NP increases with increasing the size of NP, which reveal that the thermal stability of small nanoparticles must be carefully investigated before they can be used in applications such as nano-devices [14].

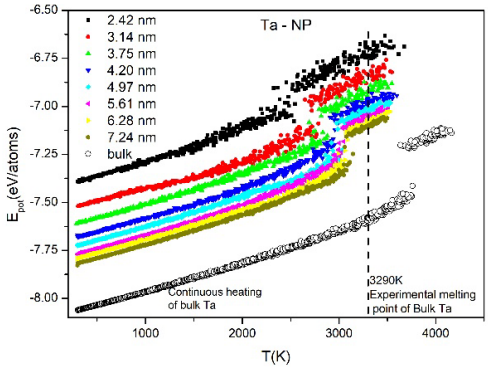


Fig. 2. *Potential energy as a function of temperature for bulk and Ta NPs*

Table 2. *The diameter, number of atoms and melting points of Ta NPs in present simulations*

D (nm)	*N (atoms)*	*T_m (K)*
2.42	531	2520±20K
3.14	1037	2660±20K
3.75	1810	2860±20K
4.20	2864	2930±10K
4.97	4285	2970±10K
5.62	6161	3055±10K
6.27	8393	3065±10K
7.22	11182	3070±10K
Bulk*	6750	3710±10K
Bulk**	48000	3290±10K

*The result for continuous heating simulation.
**The result for two-phase melting simulation.

We have calculated the melting points of ta NPs by using the theoretical model for nanosolids developed by Li et al.[15]. The size dependence of melting point of NP is plotted in Figure 3 with the theoretical model of Li et al [15]. It is clear that the melting points of the NPs decrease non-linearly with inverse size, the melting point predicted by the theoretical model reaches the experimental value of the melting limit for the bulk Ta at around 3300 K.

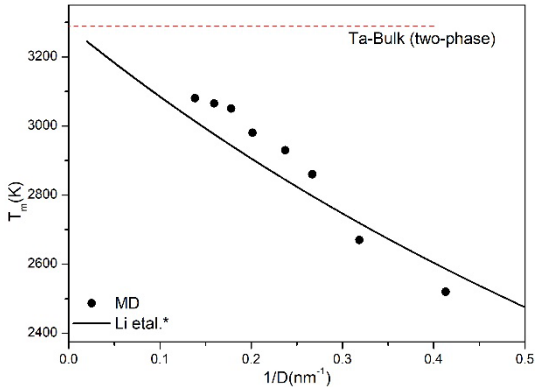


Fig. 3. *Simulated melting temperature versus invers diameter with the results of theoretical model of Li et al. [15]*

CONCLUSION

We have investigated the size effect on melting of Ta nanoparticles with spherical shape by the MD simulations in which interactions defined by means of EAM potential. We observed that melting temperatures of Ta NPs are lower than those of bulk Ta and decrease with the reducing diameter, in nanoscale regime. We conclude that the EAM Potential parameterized by Sheng et al [10] is successfully used for understanding the liquid structure of Ta and the size dependent thermodynamic properties of spherical Ta NPs.

REFERENCES

[1] J. Li, L. Wang, L. Berkeley, Shape Effects on Electronic States of Nanocrystals, Nano Lett. 3 (2003) 1357–1363. doi:10.1021/nl034488o.

[2] A.A. Shvartsburg, M.F. Jarrold, Solid Clusters above the Bulk Melting Point, Phys. Rev. Lett. 85 (2000) 2530–2532. doi:10.1103/PhysRevLett.85.2530.

[3] U. Domekeli, S. Sengul, M. Celtek, C. Canan, The melting mechanism in binary Pd 0.25 Ni 0.75 nanoparticles: molecular dynamics simulations, Philos. Mag. 98 (2018) 371–387.

doi:10.1080/14786435.2017.1406671.
[4] C.L. Cleveland, U. Landman, W.D. Luedtke, Phase Coexistence in Clusters, J. Phys. Chem. 98 (1994) 6272–6279. doi:10.1021/j100076a007.
[5] L. Zhong, J. Wang, H. Sheng, Z. Zhang, S.X. Mao, Formation of monatomic metallic glasses through ultrafast liquid quenching, Nature. 512 (2014) 177–180. doi:10.1038/nature13617.
[6] Y. Wang, Z. Cui, Z. Zhang, Synthesis and phase structure of tantalum nanoparticles, Mater. Lett. 58 (2004) 3017–3020. doi:10.1016/j.matlet.2004.05.031.
[7] M.S. Daw, M.I. Baskes, Embedded atom method: derivation and application to impurities,surfaces and other defects in metal, Phys. Rev. B. 29 (1984) 6443–6453.
[8] Y.Q. Cheng, E. Ma, H.W. Sheng, Atomic Level Structure in Multicomponent Bulk Metallic Glass, Phys. Rev. Lett. 102 (2009) 245501. doi:10.1103/PhysRevLett.102.245501.
[9] S. Plimpton, Fast Parallel Algorithms for Short-Range Molecular Dynamics, J. Comput. Phys. 117 (1995) 1–19. doi:10.1006/JCPH.1995.1039.
[10] H.W. Sheng, M.J. Kramer, A. Cadien, T. Fujita, M.W. Chen, Highly optimized embedded-atom-method potentials for fourteen fcc metals, Phys. Rev. B. 83 (2011) 134118. doi:10.1103/PhysRevB.83.134118.
[11] C. Kittel, Introduction to solid state physics, 8th editio, John Wiley & Sons Inc., New York, 2005.
[12] G. Simmons, H. Wang, Single Crystal Elastic Constants and Calculated Aggregate Properties, 2nd ed., M.I.T. Press, Cambridge,MA, 1971.
[13] N. Jakse, O. Le Bacq, A. Pasturel, Prediction of the local structure of liquid and supercooled tantalum, Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys. 70 (2004) 1–6. doi:10.1103/PhysRevB.70.174203.
[14] A. Moitra, S. Kim, J. Houze, B. Jelinek, S.G. Kim, S.J. Park, R.M. German, M.F. Horstemeyer, Melting tungsten nanoparticles: A molecular dynamics study, J. Phys. D. Appl. Phys. 41 (2008). doi:10.1088/0022-3727/41/18/185406.
[15] Y.J. Li, W.H. Qi, B.Y. Huang, M.P. Wang, S.Y. Xiong, Modelling the meltingtemperature of metallic nanowires, Mod. Phys. Lett. B. 24 (2010) 2345–2356. doi:10.1142/S0217984910024699.

THE EFFECT OF THE COOLING RATE ON THE SOLIDIFICATION OF THE LIQUID Pd NANOPARTICLE

Unal DOMEKELI[1], Sedat SENGUL[1], Murat CELTEK[2]

[1] *Department of Physics, Faculty of Science, University of Trakya, 22030, Edirne, TURKEY*
[2] *Faculty of Education, University of Trakya, 22030, Edirne, TURKEY*

Abstract

In this work, we have investigated the effect of the cooling rate on the solidification behavior of liquid Palladium (Pd) nanoparticle by using molecular dynamics simulation. We considered the following properties in detail: the temperature dependence of the total energy and the pair distribution functions. The Wendt-Abraham parameter was calculated to determine the crystallization and glass transition temperatures of Pd nanoparticle. The results showed that the solidification behavior of the nanoparticle differs as the cooling rate changes.

Keywords: Pd nanoparticle, MD simulation, solidification, glass transition temperature.

INTRODUCTION

Metal nanoparticles having a size of less than 10 nm in recent years have attracted a great deal of attention of researchers, because of their physical, chemical and electronic properties differ greatly than that of bulk material. For example, Pd nanoparticles are widely used in heterogeneous catalysis because of their ability to facilitate catalytic reactions and to obtain high surface energy metals [1,2].

As metal nanoparticles are generally produced with high heat treatments such as evaporation and aerosol methods, it is important to investigate their structural evolutions during solidification or condensation [3,4]. Atomic simulation techniques, such as molecular dynamics (MD), play an important role in explaining the structural properties of the system during the solidification of the nanoparticles, as they have the ability to analyze more than experimental studies. For example, MD simulations allow to observe glass transition at high cooling rates which cannot be reached in experiments. In the literature, there are many studies investigating the effect of cooling rate on the solidification process of liquid metal nanoparticles using the MD simulation method [5-7].

In present work, we have investigated effects of the cooling rate on the solidification process of liquid Pd nanoparticle by using MD simulation with the quantum Sutton – Chen (QSC) potential [8,9].

EXPOSITION

One of the most important factors affecting the accuracy of MD simulations is the interatomic potential that define the interactions between atoms in the system. Therefore, when selecting interatomic potential to be used in MD simulations, this potential should be tested whether the interactions between the atoms in the system are correct. In this study, QSC potential was used for interactions between Pd atoms. This potential was previously tested correctly by Cagin et al. [9] for bulk Pd. In the QSC model, the total potential energy is expressed as follows [9]:

$$U_{tot} = \sum_i U_i \,, \tag{1}$$

$$U_i = \sum_i \varepsilon \left[\sum_{j \neq i} \frac{1}{2} V(r_{ij}) - c\, \rho_i^{1/2} \right], \tag{2}$$

where $V(r_{ij})$ is a pair potential between atoms i and j separated by the distance of r_{ij} to account for the repulsion resulting from Pauli's exclusion principle and ρ_i is a energy density term accounting for cohesion associated with atom i.

$$V(r_{ij}) = \left(\frac{a}{r_{ij}}\right)^n, \quad (3)$$

$$\rho_i = \sum_{j \neq i} \varphi(r_{ij}) = \sum_{j \neq i} \left(\frac{a}{r_{ij}}\right)^m. \quad (4)$$

where the a is a parameter with the dimension of length leading to dimensionless $V(r_{ij})$ and ρ_i, c is a dimensionless parameter, ε is a parameter with the dimension of energy, and n and m are positive integers providing that $n > m$. We use the QSC potential which its parameters are listed in Table 1, to describe interatomic interactions.

Table 1. *QSC potential parameters for Pd* [9]

Metal	ε (eV)	c	a (Å)	n	m
Rh	3.2864×10^{-3}	148.205	3.8813	12	6

In this study, MD simulations were performed for approximately 5 nm diameter (4508 atom) Pd nanoparticle using the DLPOLY code [10]. The nanoparticle was extracted from a large crystal structure of the ideal *fcc* Pd using a series of spherical cutoffs. MD simulations were carried out under constant volume and constant temperature NVT ensemble without the periodic boundary conditions. The Newtonian equations of motion are integrated using the Leapfrog Verlet method with a time step of 1fs. The desired temperature and ambient pressure are controlled by Nose- Hoover thermostat and Berendsen approach, respectively. The solidification temperature (T_c) and glass transition temperature (T_g) are obtained as follows: first, the nanoparticle is heated from 50K with an increase of ΔT = 50 K until it is completely melt. During heating, the simulations is performed for 100 ps equalization, followed by a 50 ps production time to produce time averaged features at each temperature. Once the nanoparticle has been melted, it is equilibrated with a constant temperature and constant volume (NVT) ensemble with 250000 MD steps at T = 1800K. Then, the system is cooled from this temperature to a temperature of 50K with cooling rates of γ = 0.05 K/ps, γ = 0.5 K/ps, γ = 5 K/ps and γ = 50 K/ps, in order to investigate the effect of the cooling rates on the solidification behavior.

The phase transition temperature of the Pd nanoparticles from the solid phase to the liquid phase or from the liquid phase to the solid phase can be readily identified from the sudden increase in total energy. Figure 1 shows the change of the total energy curves per atom of the Pd nanoparticle with the temperature during the heating and cooling.

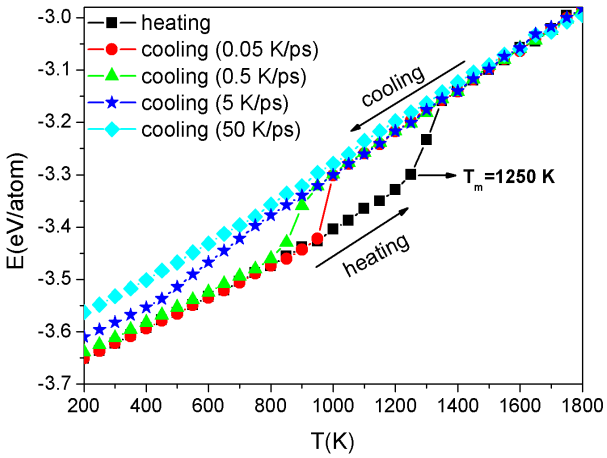


Fig. 1. *Temperature dependence of the total energy of Pd nanoparticle during the heating and cooling processes*

From the heating curve, it is observed that the energy curve is linearly related to the temperature before the melting point (T_m). The energy curve showed a sudden increase at T_m = 1250 K and the system transforms from solid phase to liquid phase. The nanoparticle continues a linear increase in energy with temperature in the liquid phase. From the cooling curve, the energy of the liquid Pd nanoparticle at all cooling rate varies similarly, regardless of the cooling rate, down to about 1050K. Although there is a sudden decrease in energy in cooling rates of γ = 0.05 K/ps, γ = 0.5 K/ps, γ = 5 K/ps, there is no sudden decrease in γ = 50 K/ps cooling rate. For γ = 0.05 K/ps, γ = 0.5 K/ps, γ = 5 K/ps cooling rates, the temperatures at which this sudden decrease in energy occurs are 950K, 850K, 700K, respectively. This change in energy indicates that for γ = 0.05 K/ps, γ = 0.5 K/ps, γ = 5 K/ps the liquid Pd nanoparticle is transformed to the solid phase at these temperatures. One of the best ways to observe the phase transition of a system is to analyze the characteristic behavior of the pair

distribution function (PDF) with temperature. PDF is defined as [11]:

$$g(r) = \frac{\Omega}{N^2}\langle(\sum_{i=1}^{N_i} n_i)/4\pi r^2 \Delta r\rangle \qquad (5)$$

where, $g(r)$ is the probability of finding an atom in a distance ranging from r to $r+\Delta r$. Ω is simulated volume of unit cell. N is the number of atoms in the systems, and N_i is the averaged number atom around ith atoms sphere shell ranging r to $r+\Delta r$, where Δr is the step of calculation.

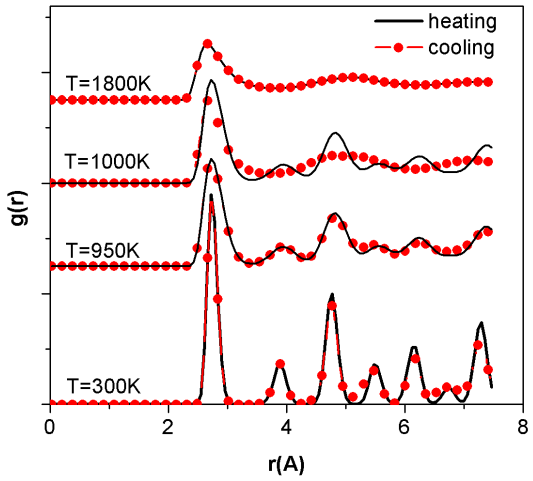


Fig. 2. *PDFs of Pd nanoparticle during heating and cooling (γ =0.05K/ps) at different temperatures*

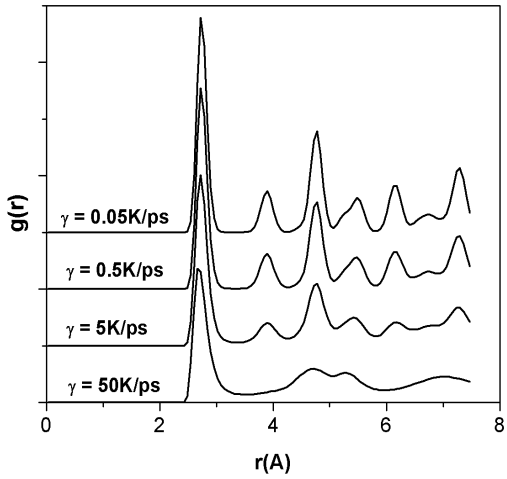


Fig. 3. *PDFs of the liquid Pd nanoparticle cooled with different cooling rates at 300 K*

The PDFs of Pd nanoparticle calculated at different temperatures during heating and cooling processes at the rate of γ = 0.05 K/ps are given in Figure 2. The PDFs obtained from both heating and cooling processes overlap at 1800K. When the Pd nanoparticle is cooled to 1000 K, it is seen that the system still remains in the liquid phase known as the supercooled region, whereas the nanoparticle is in the solid phase during the heating process for the same temperature. The characteristic behavior of the PDFs obtained at 950 K and 300 K during both the heating and cooling process shows solid phase characteristics. Pd nanoparticle transform from liquid phase to solid phase at 950K during cooling process. Figure 3 shows the PDFs of the Pd nanoparticle obtained by cooling with different cooling rates at 300K. As can be seen from Figure 3, it is clear that the Pd nanoparticle is in the solid phase from the characteristic behavior of the PDFs at 300K for cooling rates of γ = 0.05 K/ps, γ = 0.5 K/ps and γ = 5 K/ps. However, it can be said that the nanoparticle is in the amorphous phase of the characteristic behavior of the PDF for the cooling rate of γ = 50 K/ps at 300K. For the 50 K/ps cooling rate, a splitting occurs in the second peak of the PDF. This splitting, which is seen at the second peak of the PDF, is one of the most important indicators of the transition of the system from the liquid structure to the glassy structure.

In this study, we used the Wendt-Abraham (WA) parameter to obtain the T_c and T_g temperature more precisely. It is defined as $R^{WA} = g_{min}/g_{max}$, in which g_{min} and g_{max} are the first minimum and maximum values of PDF curve, respectively [12]. The R^{WA} parameters calculated for four different cooling rates are given in Figure 4 as a function of temperature.

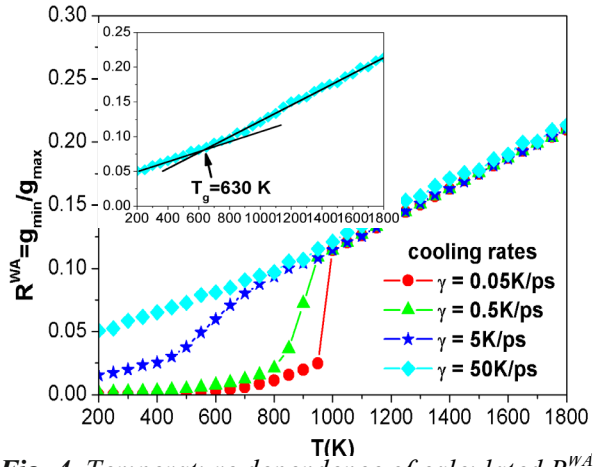


Fig. 4. *Temperature dependence of calculated R^{WA} values at different cooling rates for Pd nanoparticle*

In the cooling process, as seen from the change of the WA parameter with temperature, there is a sudden decrease in the WA values of γ = 0.05 K/ps, γ = 0.5 K/ps and γ = 5 K/ps cooling rates at 950K, 850 K and 700K, respectively. This sudden decrease indicates that the Pd nanoparticle has transformed from the liquid phase to the crystalline phase. However, there is no such decrease in the WA

parameter for γ = 50 K/ps cooling rate. The WA parameter for γ = 50 K/ps cooling rate exhibits a linear relation with temperature. This linear relation observed in the WA parameter for γ = 50 K/ps cooling rate is an indication that the system has transformed from a liquid structure to a glassy-like structure. The value of T_g is obtained from the intersection point of the linear fit curves (see Fig. 4). These results, obtained from the change of the WA parameter with temperature for the Pd nanoparticle, previously support the above analyzes. T_c and T_g temperatures obtained from the results of all these analyzes for the liquid Pd nanoparticle are listed in Table 2.

Table 2. *T_c and T_g temperatures for liquid Pd nanoparticle.*

Cooling rates	T_c (K)	T_g (K)
γ = 0.05 K/ps	950	---
γ = 0.5 K/ps	850	---
γ = 5 K/ps	700	---
γ = 50 K/ps	---	630

As can be seen from the data in Table 2, as the cooling rate decreases, the temperature value at which the system starts to crystallization is increased. In addition, the transformation of the system from liquid structure to crystalline structure or glassy structure depends directly on the cooling rate.

CONCLUSION

We have investigated the effect of the cooling rate on the solidification behavior of liquid Pd nanoparticle with 5nm (4508 atoms) diameter by using molecular dynamics simulation with QSC potential. The results from the MD simulations explain that there is a direct relationship between the solidification behavior of the liquid Pd nanoparticle and the cooling rate. The more time we spend for cooling the system, the higher temperature it starts to crystallize. If we cool the system too fast, the system prefers to transform into a glassy structure.

REFERENCE

[1] S.U. Son, Y. Jang, J. Park, H.B. Na, M. Park, H.J. Yun, J. Lee, T. Hyeon, and H.M. Park, J. Am. Chem. Soc. 126, 5026–5027 (2004).

[2] A.B. Hungria, J.J. Calvino, J.A. Anderson, and A. Martinez-Arias, Appl. Catal. B Environ. 62, 359–368 (2006).

[3] S. Tehuacanero, R. Herrera, M. Avalos, and M. Jose-Yacaman, Acta Metall. Mater. 40, 1663 (1992).

[4] M. H. Magnusson, K. Deppert, J.-O. Malm, J.-O. Bovin, and L. Samuelson, Nanostruct. Mater. 12, 45 (1999).

[5] Y. Shibuta, T. Suzuki, Chem. Phys. Lett. 502, 82-86 (2011).

[6] J. H. Shim, S. C. Lee, B. J. Lee, J. Y. Suh, Y. W. Cho, J. Crystal Growth 250, 558–564 (2003).

[7] P. Nayebi, E. Zaminpayma, J. Clust. Sci. 20, 661–670 (2009).

[8] A.P. Sutton and J. Chen, Philos. Mag. Lett. 61, 139–146 (1990).

[9] T. C□agın, Y. Qi, H. Li, Y. Kimura, H. Ikeda, W. L. Jonhson, and W. A. Goddard III, MRS Symp. Ser. 554, 43 (1999).

[10] W. Smith and T. R. Forester, J. Mol. Graphics 14, 136 (1996).

[11] U. Domekeli, S. Sengul , M. Celtek and C. Canan, Philos. Mag. Lett. 98, 371–387 (2018).

[12] M. Celtek, S. Sengul, U. Domekeli and Cem Canan, Eur. Phys. J. B 89, 65 (2016).

SIZE DEPENDENT MELTING BEHAVIOR OF Rh NANOPARTICLES BY MOLECULAR DYNAMICS SIMULATION

Unal DOMEKELI[1], Murat CELTEK[2], Sedat SENGUL[1]

[1] *Department of Physics, Faculty of Science, University of Trakya, 22030, Edirne, TURKEY*
[2] *Faculty of Education, University of Trakya, 22030, Edirne, TURKEY*

Abstract

We have investigated size dependent the melting behavior of Rhodium (Rh) nanoparticles by using molecular dynamics simulations. The melting points of nanoparticles were estimated by following the changes in the total energy, heat capacity and pair distribution function. We observed that the melting temperature obtained from the molecular dynamics simulations increases as the particle size increases. Furthermore, the melting temperature of all nanoparticles is lower than that of bulk Rh. The melting temperatures of nanoparticles were also compared with the results of a theoretical model. The melting temperatures of the nanoparticles obtained from both methods are compatible with each other.

Keywords: Rh nanoparticle, MD simulation, melting temperature.

INTRODUCTION

It has been a great interest for researchers, as the novel melting behavior of metal nanoparticles has led to the development of new properties of materials with wide application areas [1-3]. Size dependent melting behavior of metallic nanoparticles can be examined by using three different methods: experimental [4,5], theoretical [6-8] and molecular dynamics (MD) simulation method [9-12]. Although there are some difficulties in analyzing the melting process of metal nanoparticles with experimental method, MD simulation provides a powerful method to investigate the structural and dynamic properties of nanoparticles and to obtain the related data. Therefore, size dependent the melting process of metallic nanoparticles having unique mechanical, optical, magnetic, electronic and catalytic properties is studied extensively by many researchers using the MD simulation technique.

As far as we know, the size-dependent melting behavior of Rh nanoparticles with good catalytic properties has not been investigated using this technique. In this study, we have investigated the size effect on melting behavior of Rh nanoparticles (NP) by using MD simulations based on the quantum Sutton – Chen (QSC) potential [12,13].

EXPOSITION

In this study, MD simulations using DLPOLY [14] code have been performed to gain insights into the thermal properties of NPs at the atomic scale. Sutton-Chen potential was used to describe interactions between atoms in MD simulations. Based on the Sutton-Chen (SC) potential, the total potential energy of a finite system with N atoms is written as [12]

$$U_{tot} = \sum_i U_i \,, \tag{1}$$

$$U_i = \sum_i \varepsilon \left[\sum_{j \neq i} \frac{1}{2} V(r_{ij}) - c\, \rho_i^{1/2} \right], \tag{2}$$

where $V(r_{ij})$ is a pair potential between atoms i and j separated by the distance of r_{ij} to account for the repulsion resulting from Pauli's exclusion principle and ρ_i is a energy density term accounting for cohesion associated with atom i,

$$V(r_{ij}) = \left(\frac{a}{r_{ij}}\right)^n, \tag{3}$$

$$\rho_i = \sum_{j \neq i} \varphi(r_{ij}) = \sum_{j \neq i} \left(\frac{a}{r_{ij}}\right)^m. \tag{4}$$

where the a is a parameter with the dimension of length leading to dimensionless $V(r_{ij})$ and ρ_i, c is a dimensionless parameter, ε is a parameter with the dimension of energy, and n and m are positive integers providing that $n > m$. The behavior of the total energy of the system at higher temperatures requires testing of the interatomic pair potentials used in the simulations. The QSC potential developed by Cagin et al. [13] is an improved potential of SC, which permits better estimation of temperature-dependent properties in the same way as the SC potential. We use the QSC potential which its parameters are listed in Table 1, to describe interatomic interactions.

Table 1. *QSC potential parameters for Rh* [13]

Metal	ε (eV)	c	a (Å)	n	m
Rh	3.4612×10^{-3}	305.499	3.7984	13	5

In order to investigate the size effects on melting temperature of Rh NPs, we constructed five NP consisting of 610, 1048, 2454, 4874 and 8272 atoms, representing the diameter of NPs ranging from 2.5 to 6 nm. All NPs were extracted from a large crystal structure of the ideal *fcc* Rh using a series of spherical cutoffs. MD simulations were performed using two different canonical ensembles. The nanoparticles were simulated under constant volume and constant temperature NVT ensemble without the periodic boundary conditions. For bulk system, we performed molecular dynamics under constant temperature and constant pressure NPT ensemble with a periodic boundary conditions. The stable structure at 0 K was obtained through the initial configurations annealed fully at T=300 K and then cooled to T=0 K at a cooling rate of 0.05 K/ps. The annealed configuration is almost the same as its initial configuration except for the relaxed surface atoms. For each NPs, the system was treated to the heating process consisting of a series of MD simulations with the temperature increment of ΔT=50 K. The simulations were carried out for 100 ps of equilibration followed by production time of 50 ps for generating time-averaged properties at each temperature. The Newtonian equations of motion are integrated using the Leapfrog Verlet method with a time step of 1fs. The desired temperature and ambient pressure are controlled by Nose- Hoover thermostat and Berendsen approach, respectively.

In the results section, we first discuss the quantities which may be used to single out the melting transition. One of the simplest ways to determine the melting point of the NP and bulk system in MD simulations is to monitor the change in the total energy curve of the system with temperature. The temperature-dependent changes of total energies of Rh nanoparticles and bulk system are shown in Figure 1.

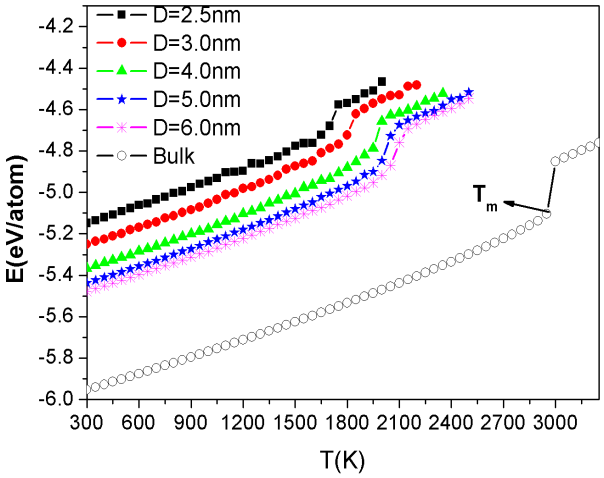


Fig. 1. *Temperature dependence of the total energy for nanoparticles and bulk system*

The total energies of the Rh nanoparticles were higher than that of bulk, because of increased surface energy as the size of the nanoparticle decreases. In addition, the total energy increased linearly with increasing temperature and suddenly changed near the melting point. The melting point is clearly defined by the sudden increase in total energy. The temperature values corresponding to the sudden change observed in total energy is defined as the melting temperature. The melting temperatures of all nanoparticles were lower than the melting temperature of the bulk Rh. Another way to determine the melting point by utilizing the thermodynamic properties of a system is to calculate the heat capacity. To calculate the heat capacity [15], we fitted smooth cubic splines to the average potential energy during the heating process as

a function of temperature and then obtained the derivative from this fitted curve,

$$C_p(T) = \frac{dE_p}{dT} + \frac{3R}{2} \quad (5)$$

where, E_p is the potential energy and R is the gas constant. To identify the melting point, the heat capacity C_p was plotted for all nanoparticles and bulk in Figure 2.

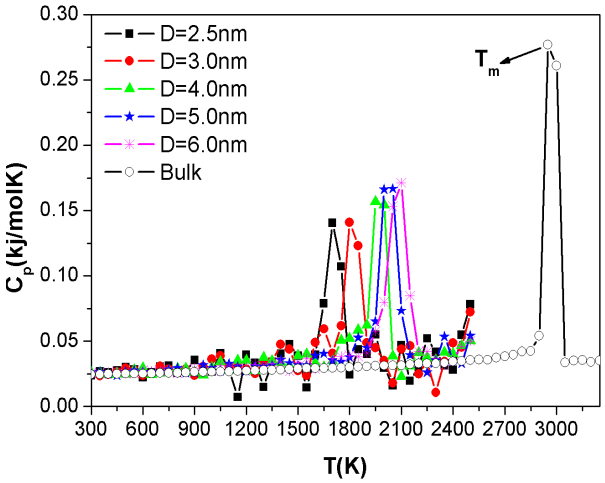


Fig. 2. *Temperature dependence of heat capacity for nanoparticles and bulk system*

The heat capacity has sharp peaks at the melting point due to latent heat. The temperature value corresponding to the maximum heat capacity corresponds to the temperature value at which the sudden change in potential energy is observed. This temperature value corresponds to the melting point of the system where the phase transition of the first-order occurs. Thus, the melting point of the system can easily be determined by the temperature dependent change behavior of the pair distribution function. It is defined as:

$$g(r) = \frac{\Omega}{N^2}\langle\left(\sum_{i=1}^{N_i} n_i\right)/4\pi r^2 \Delta r\rangle \quad (6)$$

where, $g(r)$ is the probability of finding an atom in a distance ranging from r to $r+\Delta r$. Ω is simulated volume of unit cell. N is the number of atoms in the systems, and N_i is the averaged number atom around ith atoms sphere shell ranging r to $r+\Delta r$, where Δr is the step of calculation. Figure 3 shows the pair distribution function of nanoparticle with a diameter of D=5nm range between 300 and 2050K during heating process.

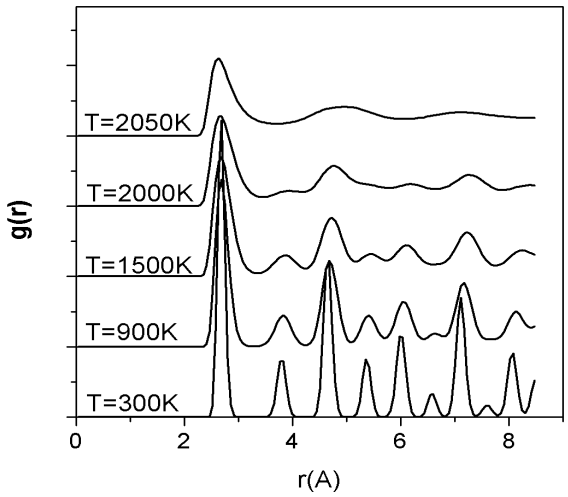


Fig. 3. *Temperature dependence of the pair distribution functions of nanoparticle with a diameter of D=5nm during heating*

As can be seen from Figure 3, the characteristic behavior of the pair distribution function of the nanoparticle at 300K explains that the nanoparticle has an ideal *fcc* structure. As high temperatures are reached, the peak widths of pair distribution function increase while peak amplitudes decrease. The nanoparticle's pair distribution function exhibits solid state behavior in the 300-2000K temperature range, while exhibiting a liquid state at 2050K. This shows that the nanoparticle began to melt in 2000K and the system is completely liquid at 2050K. The size-related variation of the melting temperatures obtained from MD simulation for Rh nanoparticles is shown in Figure 4.

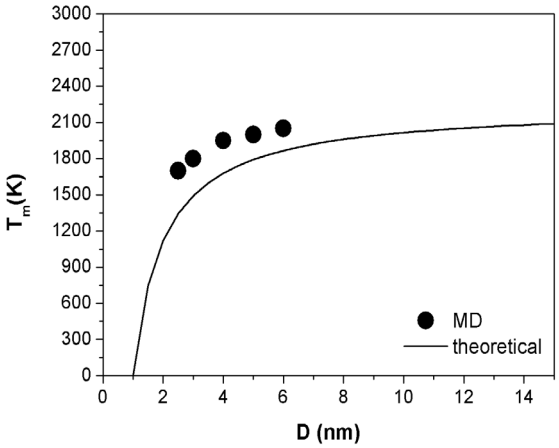


Fig. 4. *Variation of the melting temperature of Rh nanoparticles depending on particle diameter*

Also, the melting temperatures for Rh NPs were calculated using the liquid drop model given by Nanda et al [6]. The melting

temperatures, calculated by using theoretical model were compared with MD results in Figure 4. As the particle size increases, the melting temperatures of the nanoparticles increase. This increase in melting temperature is faster in small sizes, but is slower in large sizes.

CONCLUSION

In this work, the size dependent melting behaviors of Rh nanoparticles have been investigated by the molecular dynamics simulation using QSC potential. The results are revealed that the melting temperatures of the Rh nanoparticles obtained from both models are consistent with each other and lower than the melting temperature of the bulk Rh. The melting temperature of the Rh nanoparticles is also reduced by decreasing the particle diameter due to increased surface energy. This indicates that the unstable surface of free-standing nanoparticles leads to a reduction in the melting temperature.

REFERENCE

[1] M. Zhao, Q. Jiang, Solid State Commun. 130, 37 (2004).

[2] S.C. Tjong, H. Chen, Mater. Sci. Eng. R. 45, 1 (2004).

[3] Q.S. Mei, K. Lu, Prog. Mater. Sci. 52, 1175 (2007).

[4] P. Buffat, J. P. Borel, Phys. Rev. A 13, 2287 (1976).

[5] K. F. Peters, J. B. Cohen, and Y. W. Chung, Phys. Rev. B 57, 13430-13438 (1998).

[6] K. K. Nanda, S. N. Sahu, and S. N. Behera, Phys. Rev. A 66, 013208 (2002).

[7] K. K. Nanda, Pramana-J. Phys 72, 617-628 (2009).

[8] H. M. Lu, P. Y. Li, Z. H. Cao, X. K. Meng, J. Phys. Chem. C 113, 7598 (2009).

[9] S. Alavi, D. L. Thompson, J. Phys. Chem. A 110, 1518–1523 (2006).

[10] Q. Zhiwei, F. Haijun, Z. Jian, Phase Transitions 87, 59-70 (2014).

[11] F. Delogu, Rev. B 72, 205418 (2005).

[12] A.P. Sutton and J. Chen, Philos. Mag. Lett. 61, 139–146 (1990).

[13] T. C□agın, Y. Qi, H. Li, Y. Kimura, H. Ikeda, W. L. Jonhson, and W. A. Goddard III, MRS Symp. Ser. 554, 43 (1999).

[14] W. Smith and T. R. Forester, J. Mol. Graphics 14, 136 (1996).

[15] U. Domekeli, S. Sengul , M. Celtek and C. Canan, Philos. Mag. Lett. 98, 371–387 (2018).

ТОПЛОФИЗИЧНИ ВЕЛИЧИНИ, ВЛИЯЕЩИ НА ЛАЗЕРНО МАРКИРАНЕ НА ИЗДЕЛИЯ ОТ СТОМАНА

Николай Ангелов
Технически университет – Габрово, ул. Хаджи Димитър № 4, e:mail: angelov_np@abv.bg

THERMO-PHYSICAL MAGNITUDES INFLUENCING THE LASER MARKING OF STEEL PRODUCTS

Nikolay Angelov
Technical University of Gabrovo, 4 Hadzhy Dimitar str., e:mail: angelov_np@abv.bg

Abstract

A classification of the thermo-physical magnitudes influencing the laser marking process of steel products, was made. Interdependencies and their relationships with other magnitudes, are examined. The role of each of them for the studied process, is discussed. Numerical experiments were conducted and the results were analyzed.

Keywords: laser marking, steel, thermo-physical magnetudes, numerical experiments.

ВЪВЕДЕНИЕ

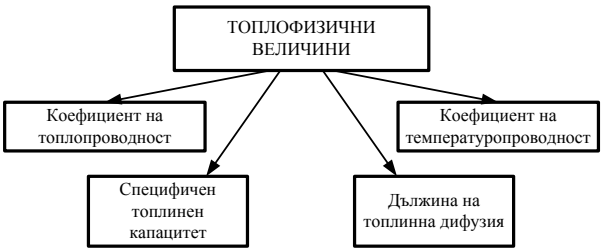
Лазерното маркиране е сложен технологичен процес. Величините, които влияят на контраста при лазерно маркиране могат да се обединят в три групи, свързани с/със: свойствата на материала, лазерния източник и технологичния процес [1-3]. Към тях трябва да се прибавят и величините коефициент на препокриване (свързан с тези на лазерния източник и технологичния процес) и обемна плътност на погълнатата енергия (свързана с величини от трите групи).

Тези основни величини се намират в определени физични зависимости помежду си. Те са важни за разбиране на физичната същност на процеса [1-3].

Цел на доклада е да се направи класификация на топлофизичните величини, влияещи на процеса лазерно маркиране на стомани и да се изследва влиянието на коефициента на топлопроводност и коефициента на температуропроводност.

ИЗЛОЖЕНИЕ

На фиг. 1 са представени основните топлофизични величини, имащи значение за процеса на лазерно маркиране на стомани:



***Фиг. 1**. Топлофизични величини, влияещи на лазерното маркиране на стомани*

- Коефициент на топлопроводност *k*

Коефициентът на топлопроводност k е важна физична характеристика при изграждане на физичния модел на взаимодействието на лъчението с веществото, тъй като пряко влияе на размерите на геометрията в зоната на обработка (в случая маркировка) и свързаната с нея температурно овлияна зона.

Коефициентът на топлопроводност k зависи от състава на материала, структурата му, температурата T, налягането p. За стоманите налягането p не оказва съществено влияние върху k. При изграждането на физични и математически модели за оптимизация на процеса трябва да се познава зависимостта $k = k(T)$. Експерименталните

изследвания показват намаляване на коефициента на топлопро-водност k с увеличаване на температурата T. Редица автори дават линейна апроксимация на зависимостта [4-5]:

$$k = k_0 + b(T - T_0)\,, \qquad (1)$$

където k_0 е стойността на коефициента на топлопроводност при температура T_0 = 273,15 K, b – опитно установена константа.

Примесите понижават рязко коефициента на топлопроводност. Причината е увеличаването на структурните нееднородности, които предизвикват разсейване на електроните.

По-ниските стойности на коефициента на топлопроводност за стомана в сравнение с чисти метали, например желязо водят до образуване на пренебрежимо малка температурно овлияна зона или до липсата й. Следователно маркираните линии са с по-голяма острота и отчетливост (един от критериите за качество на лазерната маркировка) и с по-висок контраст откол-кото при наличие на голяма топлинно овлияна зона. За получаване на маркиров-ка с необходимия контраст трябва да са изпълнени и другите критерии за качество.

- Специфичен топлинен капацитет *c*

Специфичният топлинен капацитет c на металите почти не се изменя с температурата T през цялото време на лазерно въздействие и за изграждането на физически модел на процеса на лазерно маркиране може да се приеме за постоянен.

Физичното обяснение на този феномен се дава със закона на Дюлонг-Пти. За моларния топлинен капацитет при металите е в сила зависимостта

$$C = 3R = \text{const}\,, \qquad (2)$$

където R = 8,31 J/(moℓ.K) е универсална газова константа.

Поради връзката между моларния топлинен капацитет C и специфичния топлинен капацитет c

$$C = \mu c\,, \qquad (3)$$

където μ е моларната маса на веществото можем да заключим, че и $c = const.$

Квантовата теория също дава много слабо увеличение на моларния топлинен капацитет на електронния газ с нарастване на температурата.

- Коефициент на температуропроводност

Коефициентът на температуропроводност a е комплексна характеристика, която свързва в определена зависимост величините коефициент на топлопроводност k, специфичен топлинен капацитет c и плътност ρ

$$a = \frac{k}{c\rho}\,. \qquad (4)$$

За метали и сплави специфичният топлинен капацитет c почти не се изменя с температурата T. Поради факта, че величините k и ρ зависят от T, то и коефициентът на температуропроводност a също се явява функция на T.

За нуждите на моделни изграждания и числени пресмятания може да се използва следната линейна зависимост

$$a(T) = a_0 + m(T - T_0), \qquad (5)$$

където a_0 е коефициент на температуропроводност на материала при температура T_0 = 273,15 K, а m е константа, зависеща от материала.

- Дължина на топлинна дифузия

Дължината на топлинната дифузия се определя с израза

$$\ell_d = \sqrt{at_d}\,,$$

където t_d е време на топлинна дифузия.

Когато дълбочината на проникване на лъчението е много по-малка от дължината на топлинна дифузия ($\delta << \ell_d$), топлинният източник в материала може да се разглежда като повърхностен. Това е характерно за метали и сплави (включително стомани), за които поглъщането става в много тънък повърхностен слой.

Числени експерименти

Изследвано бе влиянието на коефициента на топлопроводност и коефициента на температуропроводност върху процеса лазерно маркиране. Проведени бяха числени експерименти с програма TEMPERATURFELD3D [6], която е специализирана за получаване на температурни полета при лазерно въздействие върху различни материали – метали и сплавите им, полупроводници и диелектрици. Пресмятанията се отнасят за влакнесто-оптичен лазер – иновационен лазер с широко приложение в индустрията.

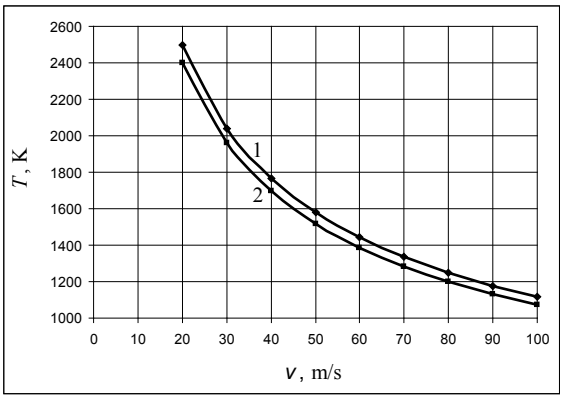
Числените експерименти са направени за стомани 15Cr2 и 2C10. Техните основни параметри са дадени в табл. 1. Стомана 2C10 има с 36-40% по-големи стойности на коефициента на топлопроводност и коефициента на температуропроводност. Останалите им характеристики са близки.

Таблица 1. Някои основни параметри на стомани 15Cr2 и 2C10

Стомана Параметър	15Cr2	2C10
k, W/(m.K)	44	60
c, J/(kg.K)	496	482
ρ, kg/m^3	7810	7846
a, m^2/s	1,14.10^{-5}	1,59.10^{-5}

Проведоха се серия от числени експерименти. Скоростта на маркиране се изменяше в интервала $v \in [20, 100]$ mm/s със стъпка 10 mm/s. Останалите лазерни и технологични параметри се поддържаха постоянни и са едни и същи за двете стомани. Получиха се температурни полета в зоната и около зоната на лазерно въздействие. Построени бяха графики на зависимостта на темературата T от скоростта v за двете стомани (фиг. 2). От анализа им могат да се направят следните изводи:

- С увеличаване на скоростта се наблюдава нелинейно намаляване на температурата и за двете стомани. В интервала $v \in [20, 60]$ mm/s кривите са по-стръмни отколкото в интервала $v \in [60, 100]$ mm/s;
- Температурата на нагряване в зоната на въздействие е малко по-голяма за стомана 15Cr2 спрямо стомана 2C10. Това се дължи на по-малките стойности на коефициента на топлопроводност и температуропроводност на стомана 15Cr2;
- Температурно овлияната зона при стомана 15Cr2 е с около 20% помалка от тази за стомана 2C10.



***Фиг. 2**. Графики на зависимостта на температурата T от скоростта v при лазерно маркиране на: 1 – стомана 15Cr2; 2 – стомана 2C10*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Класификацията на топлофизичните величини и показването на значението на всяка от тях спомага за по-задълбоченото изучаване на технологичния процес лазерно маркиране на стомани. Получените резултати от числените експерименти кореспондират с теорията. Изследванията могат да продължат с реални експерименти за различни стомани и лазерни източници.

REFERENCE

[1] Dinev S. Lasers in modern technology, Alfa, Sofia, 1993.

[2] Schuőcker D. Handbook of the Eurolaser Academy, CHAPMAN&HALL, London, 1998.

[3] Angelov N. Optimization of the Process Laser Marking of Samples of Instrumental Steel, PhD thesis, TU of Gabrovo, 2011.

[4] Hook J., H. Hall Solid state physics, Wiley, Chichester, 199.

[5] Sandner H., M. Neubronner, G. Stübner Stoffwerte von reinen Metallen und Metalllegierungen, Springer, Berlin, 2002.

[6] Belev I. Field of calculation of laser-induced temperature fields, Diploma thesis, Technical University, Gabrovo, 2009.

ВЛИЯНИЕ НА ЧЕСТОТАТА ПРИ ЛАЗЕРНО МАРКИРАНЕ НА ИЗДЕЛИЯ ОТ СТОМАНА X10CrNiTi18-10

Николай Ангелов
Технически университет – Габрово, ул. Хаджи Димитър № 4, e:mail: angelov_np@abv.bg

INFLUENCE OF FREQUENCY OF LASER MARKING ON PRODUCTS OF STEEL X10CRNITI18-10

Nikolay Angelov
Technical University of Gabrovo, 4 Hadzhy Dimitar str., e:mail: angelov_np@abv.bg

Abstract

The influence of frequency on the laser marking process of steel products is discussed. Numerical experiments with specialized software have been carried out for different frequency and reflection coefficients. Graphics of dependence on temperature from frequency for two coefficients of reflection were drawn. The results are analyzed and summarized. Worked intervals for frequency, have been obtained.

Keywords: laser marking, steel X10CrNiTi18-10, software, numerical experiments, frequency, reflection coefficient.

ВЪВЕДЕНИЕ

Лазерното маркиране е уникален и много перспективен метод за маркиране. Лазерният метод удовлетворява в най-голяма степен критериите, които предявява промишлеността към маркировката на изделия, благодарение на своите предимства спрямо останалите методи на маркиране. Изследванията показват, че той ще намира все по-широко приложение в индустрията.

Процесът лазерно маркиране се състои в модификация на повърхността на маркираното изделие под действие на лазерното лъчение чрез структурни промени, топене или изпарение на материала в зоната на въздействие [1 - 4]. Върху повърхността на изделието при този метод могат да се нанасят символи (букви и цифри), кодирана информация или специални знаци.

За всеки конкретен случай на лазерно маркиране на изделие трябва да се правят числени и/или реални експерименти за определяне на оптималните режими на работа. Трябва да се изследва ролята и относителната тежест на отделните параметри – технологични и лазерни, при реализиране на технологичния процес.

Цел на работата е да се изследва влиянието на честотата при лазерно маркиране на изделия от стомана X10CrNiTi18-10 и да се определят работни интервали на честота за две стойности на коефициента на отражение.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Както е известно основните режими на работа на лазерите са непрекъснат и импулсен режим. За предпочитане е лазерите за маркиране да работят в импулсен режим. При тях от съществено значение са импулсната мощност $P_{\text{р}}$, импулсната енергия $E_{\text{р}}$, продължителността на импулсите τ и честота ν. Те са свързани със средната мощност P на лазера с израза

$$P = P_{\text{р}}\tau\nu\,, \qquad (1)$$

$$P = E_{\text{р}}\nu\,. \qquad (2)$$

За някои лазери има връзка между лазерните параметри от конструкторско естество. Съвременните лазери позволяват провеждане на експерименти в твърде широк диапазон на изменение на честотата.

Материал

Стомана X10CrNiTi18-10 се използва за производство на детайли: за авиацията; от общото машиностроене; от химически апаратури; работещи при температури до 600 ^{o}C; работещи в агресивни среди (разредени разтвори на азотен оксид, оцетна киселина, фосфорна киселина, разтвори на основи и соли). Също така служи за направа на потребителски стоки за домакинството, апарати и детайли от хранително-вкусовата промишленост, заваръчни апарати и др.

Химическият състав на стоманата е даден в табл. 1 [5]. Високото съдържание на никел и манган увеличава якостта на опън на стоманата и я прави химически по-устойчива. Стоманата е неръждаема и с висока твърдост, които се дължат на изключително високото съдържание на хром.

Таблица 1

Елемент	C	Ni	Cu
Съдържание, %	< 0,12	9,0 – 11,0	< 0,30
Елемент	Si	Cr	S
Съдържание, %	< 0,80	17,0 – 19,0	< 0,02
Елемент	Mn	Ti	P
Съдържание, %	< 2,0	0,60 – 0,80	< 0,035

В табл. 2 са дадени температурните зависимости на някои основни параметри на стоманата [5]. Отличава се с малки стойности на коефициентите на топлопроводност и температуропроводност.

Таблица 2. Температурна зависимост на основни параметри на стомана X10CrNiTi18-10. Легенда: k – коефициент на топлопроводност; c – специфичен топлинен капацитет; ρ – плътност; a – коефициент на температуропроводност.

T, K	k, W/(m.K)	c, J/(kg.K)	ρ, kg/m^3	a, m^2/s
293	15	442	7920	$4{,}28.10^{-6}$
373	16	462	7894	$4{,}39.10^{-6}$
473	18	496	7861	$4{,}62.10^{-6}$
573	19	517	7828	$4{,}69.10^{-6}$
673	21	538	7795	$5{,}01.10^{-6}$
773	23	550	7662	$5{,}46.10^{-6}$
873	25	563	7629	$5{,}82.10^{-6}$
973	27	575	7596	$6{,}18.10^{-6}$
1073	26	596	7563	$5{,}77.10^{-6}$

Лазерна технологична система

Пресмятанията се отнасят за лазерна технологична система с шайбов лазер [6]. Нейните основните параметри са дадени в табл. 3. Шайбовият лазер е иновационен лазер с параметри, подходящи за лазерно маркиране на метали и сплави (включително стомана) и неметали. Има висок коефициент на полезно действие и е с много високо качество на лазерното лъчение. В подходящия за изследване диапазон от честоти импулсната мощност на лазера е в интервала $P_{\text{p}} \in [37{,}5; 375]$ W. Технологичната система осигурява стабилни параметри през цялото време на технологичния процес.

Таблица 3. *Някои основни параметри на лазерната технологична система с шайбов лазер*

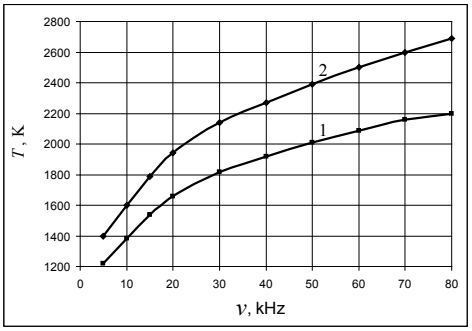
Параметър	Стойност
Дължина на вълната λ, nm	1 064
Мощност P, W	30,0
Честота ν, kHz	80
Продължителност на импулсите τ, μs	1 ÷ 10
Импулсна енергия E_p, mJ	0,375
Импулсна мощност P_p, W	37,5 ÷ 375
Качество на лъча M^2	< 1,2
Точност на позициониране, μm	2,5
Коефициент на полезно действие, %	40

Числени експерименти

За числените експерименти бе използвана програма TEMPERATURFELD3D [7], която е специализарана за получаване на температурни полета в зоната на лазерно въздействие и около нея. Проведоха се се-

рии от пресмятания като честотата се променяше в интервала $v \in [5, 80]$ kHz със стъпка 5 kHz или 10 kHz. Получени бяха температурни полета в зоната и около зоната на въздействие за различните честоти и две стойности на коефициента на отражение. От резултатите са построени графики на зависимостта на температурата от честотата за коефициенти на отражение: гр. 1 – $R_1 = 42$ %; гр. 2 – $R_2 = 35$ % (фиг. 1). От анализа на графиките могат да се направят следните изводи:

- С увеличаване на честотата се наблюдава нелинейно нарастване на температурата и за двата коефициента на отражение В интервала $v \in [5, 30]$ kHz графиките са по-стръмни спрямо интервала $v \in [30, 80]$ kHz;
- Бързината на нарастване на температурата в интервала
  $v \in [5, 30]$ kHz е
  24,0 K/kHz за $R_1 = 42$ %
  29,6 K/kHz за $R_2 = 35$ %
  а в интервала $v \in [30, 80]$ kHz е
  7,62 K/kHz за $R_1 = 42$ %
  11,0 K/kHz за $R_2 = 35$ %
- Зависимостта на температурата от честотата може да се представи с полиноми на Лагранж от трета степен
  за $R_1 = 42$ %
  $T = 0{,}0027v^3 - 0{,}5295v^2 + 39{,}627v +$
  $+ 1034{,}8$,
  където T е в K, v е в kHz.
  за $R_2 = 35$ %
  $T = 0{,}0036v^3 - 0{,}662v^2 + 48{,}96v +$
  $+ 1171{,}6$,
  където T е в K, v е в kHz.
- Работните интервали на честотата са
  [30, 80] kHz за $R_1 = 42$ %
  [16, 80] kHz за $R_2 = 35$ %



***Фиг. 1**. Графики на зависимостта на температурата от честотата при маркиране с шайбов лазер на образци от стомана X10CrNiTi18-10 с коефициент на отражение: 1 – $R_1 = 42\%$; 2 – $R_2 = 35\%$*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Постигнати бяха следните резултати при изследване на процеса лазерно маркиране на изделия от стомана X10CrNiTi18-10:

- Получени са графики на зависимостта на температурата от честотата за два коефициента на отражение;
- Посредством полиноми на Лагранж е представена зависимостта на температурата от честотата;
- Определени са работни интервали на честотата за два коефициента на отражение.

REFERENCE

[1] Műller H. Beschriften mit der Laserstrahl, DVS-Verlag Fachrcihe Scweißtechnik, Band 119, 1993.
[2] Herziger G., P. Loosen Wekstoffbearbeitung mit Laserstrahlung, Hanser Verlag, Műnchen – Vien, 1993.
[3] Chryssolouris G. Laser Machining, Springer-Verlag, New York, 1991.
[4] Sobotova L., P. Demec Laser marking of metal materials, MM Science Journal, 2015, December, 808-812.
[5] http://www.splav-kharkov.com/main.php (25.09.2018).
[6] https://www.acsys.de/start.html (26.09.2018).
[7] Belev I. Field of calculation of laser-induced temperature fields, Diploma thesis, Technical University, Gabrovo, 2009.