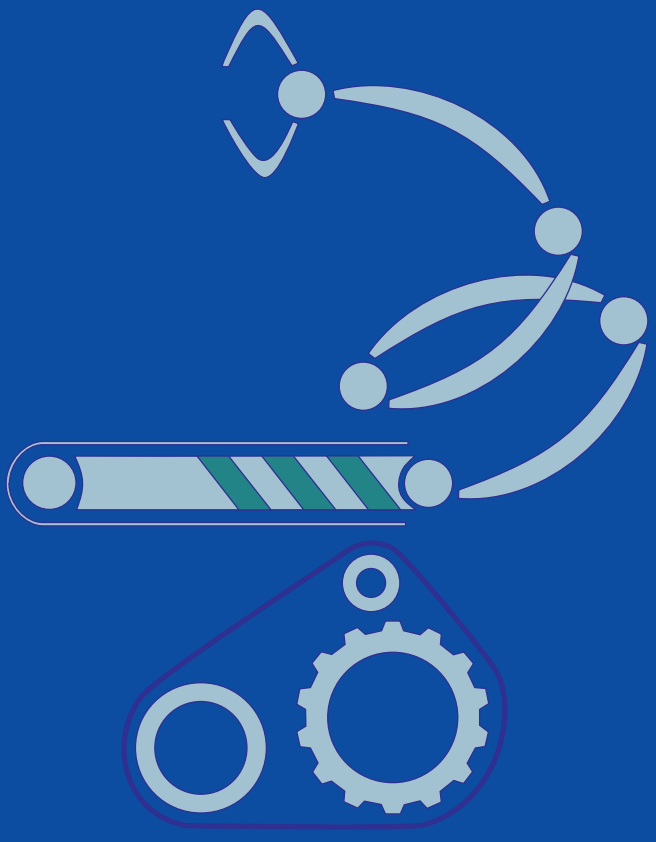
TECHNICAL
UNIVERSITY OF GABROVO

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE



SELECTED PAPERS

TECHNICAL UNIVERSITY OF GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

UNITECH 2019 GABROVO

SELECTED PAPERS

15 - 16 NOVEMBER 2019
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'19

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 2019 ГАБРОВО

ИЗБРАНИ ДОКЛАДИ

15 – 16 НОЕМВРИ 2019
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’19

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

C O N T E N S

ELECTRICAL ENGINEERING

PHOTOVOLTAIC LIGHTING IN SERBIA 17
Tomislav Pavlović[1], Ivana Radonjić[1], Dragoljub Mirjanić[2], Dragoljub Mirjanić[2]
University of Niš[1], Academy of Sciences and Arts[2], Serbia

INVESTIGATION OF THE OIL/PRESSBOARD RATIO EFFECT ON DIELECTRIC BEHAVIOUR 22
Fatih Atalar, **Enes Uğur, Suat Bilgin, Aysel Ersoy Yılmaz, Mukden Uğur**
Istanbul University-Cerrahpaşa, Turkey

METHOD FOR OPERATIONAL IDENTIFICATION OF DYNAMIC OBJECTS WITH FRACTIONAL-RATIONAL TRANSFER FUNCTION 29
Vasil Dimitrov, Lyudmil Popov
Todor Kableshkov University of Transport, Sofia

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE STEPPER MOTOR-CONTROLLED BUTTERFLY VALVE CHARACTERISTICS 34
Vojislav Vujičić, Marko Šucurović, Mihailo Bjekić[2], Marko Rosić, Miroslav Bjekić
University of Kragujevac[1], Institute Mihajlo Pupin[2], Serbia

RESEARCH AND ANALYSIS OF EARTH FAULTS IN MEDIUM VOLTAGE POWER NETWORKS WITH EARTHED NEUTRAL AT DIFFERENT CAPACITIVE CURRENT 39
Mediha Mehmed-Hamza, Plamen Stanchev
Technical University of Varna, Varna

COORDINATING OF THE SETTINGS OF POWER LINES OVERCURRENT RELAY PROTECTION AND BUS BREAKERS IN MEDIUM VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS 43
Mediha Mehmed-Hamza
Technical University of Varna, Varna

AN ANALYSIS OF ENERGY RESOURCES IN ROMANIA 47
Adriana Tudorache, Liviu Marius Cîrţînă, Daniela Cîrţînă
University "Constantin Brâncusi" of Tg-Jiu, Romania

DIELECTRIC PROPERTIES OF the FERROCERAMICS PREPARED BY SOLID SOLUTIONS OF BARIUM STANNATE TITANATE 52
Ivaylo Lazarov
Technical University of Gabrovo

DISPERSION OF POLLUTANTS AT ROVINARI POWER PLANT 55
Adriana Tudorache, Mihai Cruceru
University "Constantin Brâncusi" of Tg-Jiu, Romania

MOBILE LED SYSTEM BASED ON PV-SYSTEM 61
Hovorov Pylyp Paramonovich, **Kindinova Anastasiiya Kostyantynivna, Romanova Tetiana Ivanivna, Tereshchenko Yurii Petrovych**
National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

STUDY MODE VOLTAGE BOOSTER TRANSFORMER WITH THYRISTOR CONTROL 66
Hovorov Pylyp Paramonovich, Kindinova Anastasiiya Kostyantynivna, Hovorov Vladlen Pylypovich, Omer Abdelrahim
National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

SELF-STARTING ENGINE WITH AT SHORT DECREASE AND LACK VOLTAGE 71
Kiril Dzhustrov
University of Mining and Geology is "St. Ivan Rilski"

PHYSICAL MODEL FOR SIMULATION OF FAULTS IN ELECTRICAL EQUIPMENT WITH ASYNCHRONOUS MOTORS WITH THE USE OF CURRENT SIGNATURE ANALISIS 76
Yulian Yordanov, Valentin Gyurov
Technical University of Varna, Varna

CHARGING STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLES – SITUATION IN BULGARIA 82
Svilen Rachev, Dimitrina Koeva, Lyubomir Dimitrov, Ivaylo Ivanov
Technical University of Gabrovo

STUDY OF A PHOTOVOLTAIC POWER PLANT CONNECTED TO 20 KV GRID 90
Krasimir Marinov Ivanov, Georgi Tsonev Velev, Petar Kolev Petrov
Technical University of Gabrovo

STUDY OF THE BREAK TIME OF MAXIMAL CURRENT PROTECTION DEVICES 96
Tsvyatko Kolev Varbov
Technical University of Gabrovo

ENERGY DEPENDENCY OF A HYBRID DECENTRALIZED ELECTRO-THERMAL SYSTEM FROM POWER DISTIBUTION GRID 101
Y. Stefanov[1], H. Hinz[2], K. Ivanov[1]
Technical University of Gabrovo[1], Frankfurt University of Applied Science, Germany[2]

APPLICATION OF METHODOLOGY FOR FORECASTING OF ENERGY CONSUMPTION IN TROLLEYBUS TRANSPORT 108
Valentin Gyurov, Nikolay Bezhanov
Technical University of Varna, Varna

THREE-PHASE CHARGING OF 96 CELLS WITH MONOPHASE CHARGERS 114
Dimo Dimitrov Stefanov
Technical University of Varna, Varna

ELECTRONICS AND SENSORS TECHNICS

A DESIGN OF THE PID BASED TEMPERATURE CONTROLLER 119
Aleksandar Žorić[1], Aleksandar Micić[1], Verica Vasiljević[2], Nikola Žorić[1]
University of Priština[1], Slobomir P University, Serbia[2]

APPLICATION OF THE PHASE LOCKED LOOP FOR THE DIGITAL FILTERING OF THE PULSE SIGNALS PERIODS 125
Perišić Đurđe[1], Miroslav Bojović[2], Željko Gavrić[1]
Slobomir P University[1], University of Belgrade[2], Serbia

STUDY AND DESIGN OF A SERIES RESONANT DC-DC CONVERTER AT PHASE-SHIFT CONTROL 131
Aleksandar Stoyanov Vuchev
University of Food Technologie, Plovdiv

CLASSIFICATION AND STRATEGIES OF THE METHODS FOR CONTROL OF ENERGY FLOWS IN ELECTRIC VEHICLES 137
Gergana Vacheva, Nikolay Hinov
Technical University of Sofia

CHALLENGES TO THE USE OF FUEL CELLS IN ELECTRIC VEHICLES 142
Гергана Вачева, Николай Хинов
Technical University of Sofia

PROBLEMS IN DESIGNING PIEZOELECTRIC COMPRESSION HARVESTERS 146
Rumyana Stoyanova, Dimo Kolev, Velimira Todorova
Technical University of Gabrovo

MUTUAL INFLUENCES IN THE OPERATION OF CONVERTERS IN AN ELECTRICAL ENERGY STORAGE SYSTEM 151
Krasimir Kishkin, Dimitar Arnaudov, Vladimir Dimitrov, Lachezar Nikolov
Technical University of Sofia

INVESTIGATION OF PROGRAMMABLE CONVERTERS IN HYBRID POWER SUPPLY SYSTEM 156
Vladimir Dimitrov, Georgi Zashev, Dimitar Arnaudov, Krasimir Kishkin
Technical University of Sofia

PRACTICAL INVESTIGATIONS OF THE FREQUENCY MULTIPLEXING METHOD OF SIMULTANEOUS CONTACTLESS TRANSMISSION OF ENERGY AND INFORMATION SIGNALS THROUGH COMMON INDUCTIVE LINK 160
Lyudmil Petkov
Technical University of Gabrovo

IN-PLANE MAGNETOSENSITIVE HALL MICROSENSOR 164
S. V. Lozanova
Institute of Robotics at Bulgarian Academy of Sciences

SYSTEM FOR UNDERWATER RESEARCH 169
S. V. Lozanova
Institute of Robotics at Bulgarian Academy of Sciences

DESIGN OF A MULTIFUNCTIONAL SENSOR SYSTEM 174
Ivaylo Belovski[1], Anatoliy Aleksandrov[2]
Prof. Assen Zlatarov University[1]
Technical University of Gabrovo[2]

COMMUNICATION ENGINEERING AND TECHNOLOGIES

BER ANALYSIS USING RECOMMENDATIONS ITU G.821 AND ITU G.826 181
Aleksandar Lebl[1], Dragan Mitić[1], Verica Vasiljević[2]
Institute for Telecommunications and Electronics[1], Serbia
University Slobomir P[2], Bosnia and Herzegovina

ERROR ESTIMATION FOR NETWORKS WITH HIGHER DATA RATES 186
Dragan Mitić[1], Aleksandar Lebl[1], Verica Vasiljević[2]
Institute for Telecommunications and Electronics[1], Serbia
University Slobomir P[2], Bosnia and Herzegovina

ESTIMATION OF THE BIT ERROR RATE AND QUALITY FACTOR IN OPTICAL SYSTEMS 192
Dragan Mitić[1], Aleksandar Lebl[1], Verica Vasiljević[2]
Institute for Telecommunications and Electronics[1], Serbia
University Slobomir P[2], Bosnia and Herzegovina

SOME ADVANTAGES OF MULTI-BEAM TRANSMIT DIVERSITY SCHEME IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM 198
Verica Vasiljevic[1], Hana Stefanovic[2], Slobodan Obradovic[2], Ana Savic[3]
Slobomir P Univerzitet[1]
Information Technology School[2]
School of Electrical and Computer[3]

MODELLING AND OPTIMIZATION OF MULTICHANNEL OPTICAL COMMUNICATION LINES 203
Krasen Kirov Angelov, Stanimir Mihailov Sadinov, Panagiotis Gregorios Kogias
Technical University of Gabrovo

CHALLENGES TO THE NEW RADIO-ACCESS NETWORK, IMPLEMENTED IN 5G 208
Teodor Iliev, Grigor Mihaylov, Elena Ivanova, Ivaylo Stoyanov
University of Telecommunications and Post
University of Ruse

BIT ERROR RATE ESTIMATION AND CONFIDENCE LEVELS 212
Aleksandar Lebl[1], Dragan Mitić[1], Verica Vasiljević[2]
Institute for Telecommunications and Electronics[1], Serbia
University Slobomir P[2], Bosnia and Herzegovina

OPTICAL SERVICE PROVISION NETWORK TRIPLE-PLAY 218
Emilia Dimitrova, Bozhidar Rozev
Todor Kableshkov University of Transport

APPLICATION OF SATELLITE NAVIGATION IN THE MANAGEMENT OF RAILWAY TRANSPORT 223
Emilia Dimitrova, Svetlin Stefanov
Todor Kableshkov University of Transport

IMPLEMENTATION OF 5G FBMC PHYDYAS PROTOTYPE FILTER 229
Trayan Ivanov, Stanimir Sadinov
Technical University of Gabrovo

COMPUTER SYSTEMS

COMPARATIVE EVALUATION OF LTE SIMULATORS FOR PURPOSES OF EDUCATION 236
Aydan Haka
Technical University of Varna

STUDY OF WIRELESS NETWORKS SECURITY 242
Hristo Valchanov, Veneta Aleksieva, Jan Edikyan
Technical University of Varna

STUDY OF SMART WATCH INTERFACES 247
Veneta Aleksieva, Hristo Valchanov, Yuri Dimitrov
Technical University of Varna

STUDY OF 6LOWPAN WIRELESS SENSOR NETWORK SIMULATORS FOR PURPOSES OF EDUCATION 252
Aydan Haka
Technical University of Varna

MODIFICATION OF ALGORITHM FOR GLOBAL MEDIAN THRESHOLDING 258
Atanaska Bosakova-Ardenska, Angel Danev
University of Food Technologies – Plovdiv

DATABASE MANAGMENT SYSTEM SELECTION 263
Stanišević Ilja, **Slobodan Obradović, Mladjen Vićentić**
Faculty of Electrical Engineering, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
Valjevo Business School of Applied Studies, Valjevo, Serbia

DBMS RESPONSE SPEED TESTING SYSTEM 269
Stanišević Ilja, **Slobodan Obradović, Mladjen Vićentić**
Faculty of Electrical Engineering, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
Valjevo Business School of Applied Studies, Valjevo, Serbia

LORAWAN БАЗИРАН КРАЕН ВЪЗЕЛ НА КОМПЮТЪРНА СИСТЕМА ЗА ИНТЕРНЕТ НА ХРАНИТЕ 274
Красимир Илиев Колев[1], Росица Райчева Максимова[2], Атанас Николов Костадинов[3]
[1]Университет по хранителни технологии – Пловдив,
[2]Университет по хранителни технологии – Пловдив
[3]Технически университет – София, филиал – Пловдив

DATA EXCHANGE USING WSO2 ENTERPRISE SERVICE BUS 281
Stefan Pitulić[1], Slaviša Ilić[2], Siniša Ilić[1], Dragana Radosavljević[1]
[1]K. Mitrovica University of Priština, Serbia
[2]University Singidunum, Serbia

IMPLEMENTATION OF RECORDING LOG EVENTS IN WSO2 ESB COMMUNICATION 287
Stefan Pitulić[1], Slaviša Ilić[2], Siniša Ilić[1], Vladimir Veljović[3]
[1]K. Mitrovica University of Priština, Serbia
[2]University Singidunum, Serbia
[3]Čačak University of Kragujevac, Serbia

STATE, CAPABILITIES AND PROSPECTS OF COMPUTER SYSTEMS FOR FOOD QUALITY EVALUATION 293
Ivaylo Ivanov Dragnev
University of Food Technologies – Plovdiv

HACK COMPUTER: FPGA IMPLEMENTATION AND SYSTEM PROGRAMMING SUPPORT 299
Duško Kovačević, Dejan Vujičić, Slađana Đurašević, Marina Milošević, Uroš Pešović
University of Kragujevac, Serbia

DEVELOPMENT OF A PROCESSED MEAT DRYER FOR HOME USE BASED ON AN ARDUINO MICROCONTROLLER 303
Hristo Kilifarev[1]
Technical University of Gabrovo

COMPUTER TECHNOLOGIES

END TIME REPORTING THROUGH HORSE TRANSPONDERS IN ENDURANCE RACES 310
Ruzha Nedkova-Ivanova
National Sports Academy "Vasil Levski"- Sofia

GENERATING AND SOLVING OF THE MAZE BY USING KRUSKAL'S AND FLOYD'S ALGORITHM 315
Suzana Marković, Jasmina Novakovic, Anja Marković
Academy of Business Applied Studies Belgrade

A DATA MINING APPROACH TO WINE QUALITY PREDICTION 320
Dragana Radosavljević, **Siniša Ilić, Stefan Pitulić**
University in Pristina, Kosovska Mitrovica, Serbia

APPLICATION OF CLASSIFICATION ALGORITHMS IN BREAST CANCER DIAGNOSIS 325
Jasmina Novakovic, **Suzana Marković**
Academy of Business Applied Studies Belgrade

SYSTEM FOR RESERVATION OF EXCERSISES IN VIRTUAL LABORATORY 332
Delyan Genkov, Zhulien Ivanov
Technical University - Gabrovo

BENEFITS OF USING EYE TRACKING TECHNOLOGY 336
Željko Gavrić[1], Miroslav Minović[1], Vanja Mišković[2]
[1]University of Belgrade, Serbia
[2]Slobomir P University, Serbia

CLASSIFICATION OF DECOMPOSITION ALGORITHMS 341
Matyo Dinev, Valentina Kukenska
Technical University of Gabrovo

PROCESS MODELING IN THE LINUX OPERATING SYSTEM 345
Valentina Kukenska, Matyo Dinev, Petar Minev, Ilian Varbov
Technical University of Gabrovo

AUTOMATION

MEASURING THE CONSUMPTION OF ELECTRONIC DEVICES IN A SLEEP MODE WITH LOW-COST DAQ DEVICE 350
Stefan Ivanov
Technical University of Gabrovo

OPTIMIZATION OF CONTROL ALGORITHM IN SMALL HYDROPOWER PLANT .. 354
Sladjana Djurasevic, Uros Pesovic
University of Kragujevac, Serbia

GESTURE COMMANDS IN HOME ENVIRONMENT 358
S. Stankov, S. Ivanov
Technical University of Gabrovo

AUTOMATIC HOT WATER SYSTEM AND HEATING OF A BUILDING 362
Dimitar Spirov, Nikolay Komitov
University of Food Technologies – Plovdiv

MODEL PREDICTIVE CONTROL OF VIBRATORY BOWL FEEDER 368
Georgi Mihalev, Stanimir Yordanov
Technical University of Gabrovo

SYSTEM FOR CREATING, ORGANIZING AND PROCESSING OF ANONYMOUS SURVEYS IN EDUCATION 375
Aldeniz Rashidov
Technical University of Gabrovo

TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

PERFORMANCE DEVELOPMENT BY KAIZEN METHOD AND APPLICATION IN PACKAGING INDUSTRY – CASE STUDY 382
Tahir ALTINBALIK, Şahin KARAKAYA
Trakya University, Turkey

RESEARCH HARDNESS OF THE Ti – PS BS190 CRYSTAL SYSTEM, OBTAINED BY MAGNETRON SPUTTERING 388
Polina Ilieva Milusheva - Mandadzhieva
University „Prof. d-r Asen Zlatarov“

ELECTROTERMOSTAT DESIGN FOR ROOM THERMAL COMFORT CONTROL 394
Oktay HACIHAFIZOĞLU, **Ömer Faruk SEL,**
Özcan ÇETİNKAYA, Erdem YAZGAN
Trakya University, Turkey

INVESTIGATION OF HEAT TREATED TI-6AL-4V PLATE WITH DIFFERENT POWER BY LASER 398
Dr. Sencer S. KARABEYOĞLU, Dr. Olcay EKŞİ
Kırklareli University, Turkey

HYDRAULICS, PNEUMATICS AND HEAT ENGINEERING

ANALYSIS OF INERT GAS SYSTEMS OF MODERN CHEMICAL TANKERS 403
V. Aftaniuk, Al. Aftaniuk, A. Aftaniuk
National University “Odessa Maritime Academy”

DEVELOPMENT OF A MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEMS OF KNEE JOINT EXOPROSTHESIS BASED ON MAGNETORHEOLOGICAL DAMPER 408
Nochnichenko Ihor, **Kostiuk Dmytro, Dovhopolyi Mykhailo**
National technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine

INVESTIGATION OF THE CAVITATING FLOW IN CONVERGING-DIVERGING NOZZLE 413
Georgi Panchev[1], Hristo Hristov[1], Kaloyan Dachov[2]
Technical University of Gabrovo
[2]M+S Hydraulic

MATHEMATICS AND INFORMATICS

CHARACTERISTIC OF SEA AND RIVER PORTS AS OBJECTS OF CRITICAL INFRASTRUCTURE OF THE STATE 418
Olena Azarenko[1], Julia Goncharenko[2], Mikhailo Diviziniuk[3],
Oleg Miroshnik[4], Evgen Tishchenko[5]
[1]National Aviation University, Kyiv
[2]University of Europe, Kyiv
[3]State institution “Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine”, Kyiv
[4]Cherkasy Fire Safety Institute named after Heroes of Chernobyl National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy
[5]Educational-methodical center of civil protection and life safety of Cherkasy region, Cherkasy

MECHATRONICS, METROLOGY ANG QUALITY MANAGEMENT

RISK MANAGEMENT IN QUALITY MANAGEMENT SYSTEM 422
Iliya Zhelezarov
Technical University of Gabrovo

CONTROL OF 2D DELTA ROBOT WITH SIEMENS TECHNOLOGY PLC 427
Bogdan Gajić[1], Miloš Božić[2], Vojislav Vujičić[3], Miroslav Bjekić[3], Srećko Ćurčić[3]
[1]Roking, Belgrade, Serbia
[2]Vorwerk-autotec, Serbia
[3]University of Kragujevac, Čačak

MODEL FOR DEVELOPING A VIRTUAL GAUGE BASIS FOR COORDINATE MEASUREMENTS FOR STRAIGHTNESS 433
Rositsa Miteva
Technical University of Sofia

MODELS FOR EXPERT ASSESSMENT FOR SELECTION OF FORMS FOR EDUCATION 439
Rositsa Miteva
Technical University of Sofia

STUDY MODELS TO APPROXIMATE THE MATERIAL STANDARD USE OF A VIRTUAL MECHANICAL STANDARD FOR STRAIGHTNESS 443
Rositsa Miteva
Technical University of Sofia

PSEUDORANDOM BINARY ARRAYS FOR POSITION DETERMINATION USING VIRTUAL INSTRUMENTATION 448
Ivana Stojković, Goran Miljković, Dragan Denić, Dragan Živanović
University of Niš, Serbia

THEMATIC SESSIONS

- **Electrical Engineering**
- **Electronics and Sensors Technics**
- **Communication Engineering and Technologies**
- **Computer Systems**
- **Computer Technologies**
- **Automation**
- **Technologies in Mechanical Engineering**
- **Hydraulics, Pneumatics and Heat Engineering**
- **Mathematics and Informatics**
- **Mechatronics, Metrology and Quality Management**

НАПРАВЛЕНИЕ 1

ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

SESSION 1

ELECTRICAL ENGINEERING

PHOTOVOLTAIC LIGHTING IN SERBIA

Tomislav Pavlović
University of Niš, Faculty of Sciences and Mathematics, Department of Physics, Str. Višegradska 33, 18000 Niš, Serbia

Ivana Radonjić
University of Niš, Faculty of Sciences and Mathematics, Department of Physics, Str. Višegradska 33, 18000 Niš, Serbia

Dragoljub Mirjanić
Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Str. Bana Lazarevića 1, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

Darko Divnić
Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Str. Bana Lazarevića 1, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

Abstract
The paper provides information on the development and current state of photovoltaic lighting (PV lighting) systems in Serbia. Related to this are examples given of the installed PV lighting systems in Serbia as follows: at the Faculty of Sciences and Mathematics in Niš, on the Trim track in Košutnjak in Belgrade, at the Ada Huja in Belgrade and in Dorćol in Belgrade. Finally, perspectives of PV lighting systems in Serbia are given.

Keywords: photovoltaic lighting, solar module, LED lamp.

INTRODUCTION

Development of solar energy investigation and practical use in Serbia started in 1962. In connection to this, there are several research laboratories at the universities and scientific institutes in Serbia, where fundamental and applied research in the field of solar energy and education of younger generations is being conducted. In Serbia there are two 2 MWp PV solar power plants and a certain number of smaller PV solar power plants. Thus, the electricity generated is transmitted to the city grid, or used for personal needs by households for lighting, audio-visual devices, computers, etc. In Serbia, classic incandesent lamps, neon lamps, mercury bulbs, LED lamps, etc, are used for lighting. Since 2012 PV lighting with LED lamps has been introduced in Serbia [1-3].

Fig. 1. *PV solar power plant, 1.05 kWp*

Fig. 2. *Monitoring room*

SOLAR LIGHTING

Solar lighting at the Faculty of Sciences and Mathematics in Nis

Within the framework of the project *Ecological lighting*, won by the competition *Run for the Future - 1000 young Serbian leaders*, and under the auspices of Philip Moris, on the roof of the Faculty of Sciences and Mathematics in Niš, an off-grid mini PV solar power plant power of 1.05 kW_p was installed in 2014. PV solar power plant is intended for the alternative lighting of the faculty and consists of solar modules, control electronics, 24 V DC battery and inverter, with the output voltage of 220 V AC.

PV solar power plant collects solar energy in the daytime, solar modules transform it into electrical and stores it in batteries. In the evening, in accordance with the programmed dynamics, it runs partially the lighting of the yard and parking site of the faculty. The second part of electricity is used to light the interior of the faculty building. In accordance with the dynamics and seasonal change of daylight, lighting of key locations in the building, including stairways, entrance, corridor crossings, etc., is turned on. One group of lamps is in standby mode, and is turned on by the motion detector. Such lamps are installed in corridors and rooms where lower traffic is expected and most of the time they are turned off. For winter months, when the lighting is greatly reduced, it is envisaged that the batteries are recharged by the city network grid. In this way PV system is in operation throughout the entire calendar year.

Fig. 3. *Solar lighting of the Faculty courtyard*

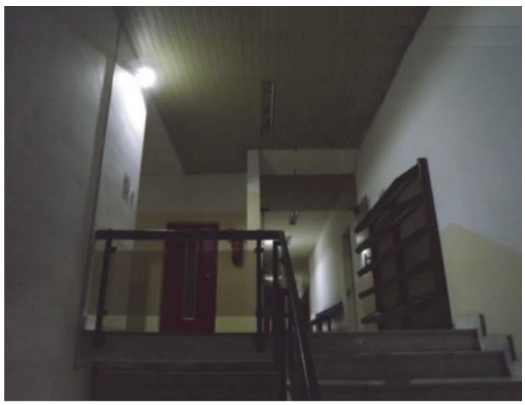


Fig. 4. *Solar lighting inside the Faculty*

PV solar power plant allows lighting of the faculty buildings and its surroundings and in situations where for any reason there is no energy in the electricity network. This is made possible by using the latest generation LEDs, and their total power does not exceed half of the PV solar power plant.

Trim track in Košutnjak in Belgrade

In the national park Košutnjak in Belgrade in January 2012, a 1200 m trim track was lit by electricity generated by solar modules and wind generators. On this occasion, a total of 59 lighting columns height of 450 cm were placed on the trim track. At the 53 lighting columns, one monocrystalline silicon solar module power of 100 W was installed, and on 6 lighting columns there are 2 solar modules of 50W and one wind generator of 450 W. As light sources, 20 W power LEDs are used, with a lifetime from 50 000 h, with floodlights. In the lighting system 118 accumulator stationary batteries voltage of 12 V and 70 Ah capacity are installed. The wind turbines have their own charging regulators. The light switches on and turns off using a photocell and a timer. The average daily operation of the system is about 5-6 hours, lights are switched off at 1 am, and in the winter at 21.00.

The lighting system on the trim track in Kosutnjak was installed by MiLED Co. in Belgrade (www.ledigps.rs).

Fig. 5. *Lighting column with solar module*

Fig. 6. *Lighting colums on trim track in Košutnjak*

Fig. 7. *Trim track in Košutnjak at night*

Fig. 8. *Lighting column with solar modules and wind turbine*

The specificity of this system is reflected in the fact that it is located in the forest, with some solar modules occasionally in the shade. For this reason, the solution was used to connect the pillars into one ring, so that the columns with a smaller amount of electricity are supplied with energy from the adjacent pillars. This connection facilitates the management of the lighting system.

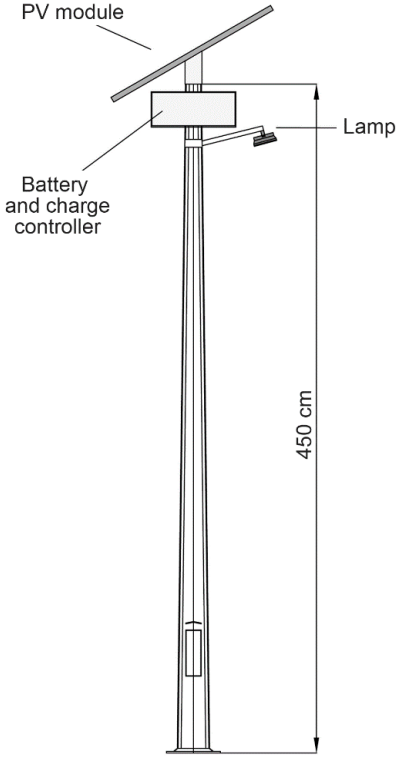


Fig. 9. *A schematic diagram of a lighting column with a solar module*

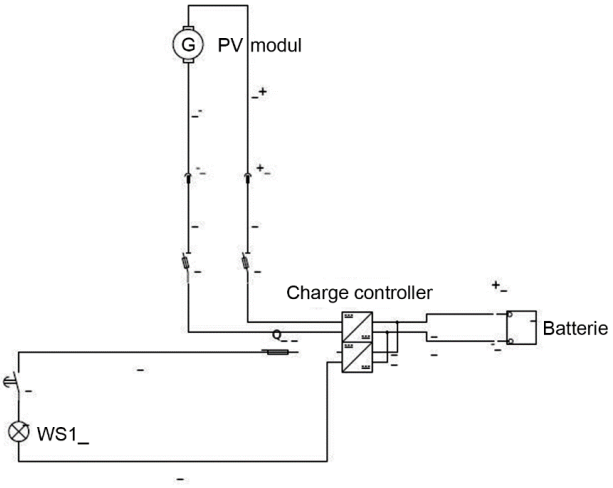


Fig. 10. *Schematic view of solar installation for lighting*

Fig. 11. *LED spotlight*

Ada Huja in Belgrade

Solar lighting at Ada Huja was installed in 2011 and consists of 43 pillars with PV solar modules and 28 W LED lamps.

Fig. 12. *Solar Lighting at Ada Huja in Belgrade, 2011*

Dorćol in Belgrade

In Dorćol, in Belgrade, near the sports center *Milan Gale Muškatirović*, in 2017, a solar lamp was installed, and it is shown in Figure 13.

Fig. 13. *Solar lighting in Dorćol, in Belgrade*

The solar lamp was set up by the Municipality of Stari grad in cooperation with *Lightinus* and business incubator *Impact Hub Belgrade*.

Solar street lighting lamp from Jagodina

In Serbia, in the period 2002-2017, Feman Co., Ltd. from Jagodina, produced light bulbs similar to the "Minel-Schreder" program. In Jagodina Feman Co. produces the solar lamp shown in Figure 14.

Fig. 14. *Solar street lamp lighting Feman company from Jagodina*

The solar lamp consists of a support pillar, a 100 W solar module, a battery charging

regulator, a 150 battery, Ah and a 30 W LED lamp. The specified lamp in this system can work continuously for 5-6 hours [4-10].

CONCLUSION

Based on the aforementioned, it can be seen that the development of PV solar energy investigations and practical utilization of PV systems in Serbia began in 1962. Since then two 2 MWp PV solar power plants and a certain number of smaller PV solar power plants have been installed. Development and practical utilization of PV lighting in Serbia started in 2012. Since then in Serbia have been installed a number of private household PV lighting systems and public systems such as: at the Faculty of Sciences and Mathematics in Niš, at the Trim track in Kosutnjak in Belgrade, at the Ada Huja in Belgrade and in Dorcol in Belgrade. There are good opportunities in Sebia for the wider use of PV lighting systems. First of all, it refers to the lighting in weekend houses, rural settlements, stationary military facilities, roads, tunnels, meteorological stations, special purpose vehicles, etc., which are not connected to the power system.

Acknowledgement

This paper was done with the financial support of the project TR 33009 approved by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia.

REFERENCE

[1] Pavlović, T. M., Tripanagnostopoulos, Y., Mirjanić, Lj. D., Milosavljevć, D. D.: SOLAR ENERGY in Serbia, Greece and the Republic of Srpska, Academy of sciences and arts of the Republic of Srpska, Banja Luka (2015).

[2] Pavlovic, M. T., Mirjanic, Lj. D., Milosavljevic, D. D.: Electric power industry in Serbia and the Republic of Srpska, Academy of sciences and arts of the Republic of Srpska, Banja Luka (2018) (in serbian).

[3] Pavlović, T., Milosavljevic, D., Mirjanic, D.: Renewable energy sources Academy of sciences and arts of the Republic of Srpska, Banja Luka Banja Luka (2013).

[4] Kostic, B. M.: Theory and practice of electrical installation design, Academic thought, Belgrade (2014) (in serbian).

[5] Kostić, B. M.: Guide through the world of lighting technology, Minel-Schreder, Belgrade (2000) (in serbian).

[6] Kostic, B. M.: Lighting of roads, Minel-Schreder, Belgrade (2006) (in serbian).

[7] Cekić, N., et al.: Application of solar cells in contemporary architecture, Contemporary Materials, **VI−2,** 104-114 (2015).

[8] Pavlović, T., et al.: Possibility of electricity generation using PV solar plants in Serbia, Renewable and Sustainable energy Review, **20,** 201-218 (2013).

[9] Milosavljević, D., Pavlović, T., Piršl, D.: Performance analysis of a grid-connected solar PV plant in Niš, Republic of Serbia, Renewable and Sustainable Energy Reviews, **44,** 423-435 (2015).

[10] Pavlović, M. T., at al.: Experimental determining of energy efficiency of PV solar power plant at the Faculty of sciences and mathematics in Niš, Contemporary Materials, **IV** (2), 112-116 (2013).

INVESTIGATION OF THE OIL/PRESSBOARD RATIO EFFECT ON DIELECTRIC BEHAVIOUR

***Fatih Atalar[1]**
[1]*Istanbul University-Cerrahpaşa*
Electric&Electronics Engineering

Enes Uğur[1] **Suat Bilgin[1]** **Aysel Ersoy Yılmaz[1]** **Mukden Uğur[1]**
[1]*Istanbul University-Cerrahpaşa*
Electric&Electronics Engineering

Abstract
Transformers work like the lungs of energy systems. The generated electricity is amplified, distributed or lowered by means of transformers. Mineral oil and pressboard used as insulators in the transformers age and deform slowly during the operating life. For the most appropriate and long-lasting operation of this oil and pressboard, there should be a ratio according to the power and voltage level of the transformer. This ratio is determined by experimental studies and it is important to protect this equipment and prevent financial losses. With the tests performed in the test environment, the strength of the insulators having different oil / pressboard ratios can be measured. In this study, insulators having different oil / pressboard ratio have been tested and the most suitable ratio has been tried to be determined and interpreted.

Keywords: transformers, high voltage testing, pressboard/oil ratio, partial discharge, harmonics.

1. INTRODUCTION

Transformer oil is a refined mineral oil that is stable at high temperatures and has excellent electrical insulation properties. In oiled transformers, it is necessary to use mineral oil in order not to allow air, water and other materials to be placed between the windings, which will reduce breakdown voltage, cooling and insulation. When mineral oil and pressboard age, the insulation quality of the transformer decreases. Through the periodic maintenance, the durability of these insulators can be maintained during the operating life. However, the ratio between oil / pressboard, which plays a good dual role in the transformer, should be optimal. This ratio, which is adjusted according to the power and voltage of the transformer, is yet to be considered during manufacturing phase. Failure to observe this ratio, which has been tested and determined under the test conditions set by the standards, will cause the insulators to breakdown and financial losses will occur.

In a study, the effect of pressboard density on conductivity of oil impregnated pressboard for HVDC insulation systems was investigated. The study focuses on the conductivity of the liquid (gas or oil) impregnated in the pressboard [1]. For this reason, gas and oil are impregnated on the pressboard of different density and conductivity measurements are made. Three different oil / pressboard ratios were used: PB1 (70:30), PB2 (77:23) and PB3 (80:20). They compared the conductivities of 3 pressboard samples. The low density sample with the largest oil volume is PB1. As a result, PB1 has the highest conductivity. Consequently, the pressboard density can be modified during manufacture and the designer can decide which pressboard and conductivity oil will be used in a given HVDC device for the oil / pressboard system.

In another study, the oil-pressboard interface is complex. This interface modeled as layered. In this study it is shown that moisture clearly plays a vital role during the partial discharge. The oil-pressboard interface, which has a layered structure, indicates that

there are 2 different options. Part 1 is associated with low energy surface discharge and impression in oil-pressboard transmission and EDL (Electric Double Layer) [2]. The second part is related to the oil boundary layer high energy. This is known as surface discharge. The start and end of PD is insensitive to the clearance distance from the ground to the space. Surface deterioration and surface discharges are sensitive to gap distance in actual oil discharges.

In a study comparing the results of the electric field distribution during the AC voltage test for natural ester oil impregnated pressboard and mineral oil impregnated pressboard, the electrical field in the distance between electrode-pressboard was found to have a similar profile for natural ester oil / pressboard and mineral oil / pressboard. However, the maximum electric field of the natural ester oil / pressboard is much lower than the mineral oil / pressboard. It shows that the natural ester oil / pressboard system has a higher tensile strength than the mineral oil / pressboard system and that the fracture caused by the test occurs in the oil impregnated part. [3].

In addition to the studies in which the transformer paper insulator is tested in different voltage types in oil or impregnated [4], it is also available in studies examining the electrical changes occurring at an interface [5]. Also, there are some studies that the aged pressboard is impregnated with oil. The aged impregnated samples were leaved space on their surface by covering Kraft paper which has a point type space on its mid-point, then these samples are available in both AC and DC voltage tested. [6-7].

In this study; the effect of oil / pressboard ratio was investigated through partial discharge values collected from a non-uniform electric field.

2. EXPERIMENTAL SETUP

During the experiments, the methods of IEC 60641-2 standard for pressboard insulation tests were applied. [8]. The main materials used in the experiment were pressboards with 10x10cm dimensions and a thickness of 1.5 mm, 2.5 mm and 4 mm respectively. For each thickness six specimens, hence a total number of 18 pressboards were tested. With the help of 5kVA Auto Transformer, the mains supply voltage is adjusted to the desired level between 0-230V and used to supply the primary winding of the transformer. An input resistance of 47Ω is connected to the output of the auto transformer and used to receive current signals at the input of the transformer. The Fluke 199C oscilloscope (scope meter) was used to measure the input current signals. This oscilloscope has a bandwidth of 200 MHz and a sampling rate of 2.5 GS/s. A voltage measuring transformer with 230V/40 kV turn ratio and 1.5 kVA power at 50Hz operating frequency was used to obtain high voltage. The 1 MΩ pre-resistor is connected to the high voltage output of the transformer and used. The purpose of using a pre-resistor is to limit the high current flowing during discharge. High current during discharge may damage the transformer windings.

Voltage and Current transformers are only used for measuring. The power of the measuring transformers is very low. When high current flows, the windings become hot and wear out, hence a 1MΩ front resistor is used for protection. Planar copper plate with 150x100 mm dimensions and 3 mm thickness was used as the earth electrode. A copper rod with a diameter of 1 cm and a height of 5 cm was cut to fit the earth electrode to the bottom of the test chamber made of plexiglass material and welded to the center of the copper plate. In order to keep the pressboard to be fixed on this copper plate during the experiment, two holding edges were placed on opposite sides.

Mineral oil and a pressboard are located inside the test chamber. Plexiglass test chamber is sprayed with the help of syringe at the junctions to prevent leakage of mineral oil. In addition, high voltage and earth electrodes are also in this boiler during the experiment. Its dimensions are 15x15x20 cm and it has a wall thickness of 5 mm. The view of the ground electrode inside the test vessel is shown in Figure 1.

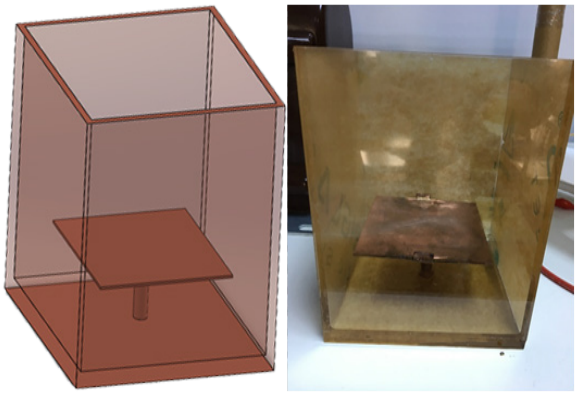


Fig. 1. *Test Chamber and Earth Electrode*

Two electrodes, one rod and the other needle, were used as the high voltage electrodes. The purpose of using a rod electrode is to investigate the partial discharge phenomenon under the non-uniform electric field. The rod electrode has a tip of 1 mm and a length of 140 mm. Electrons formed after ionization during discharge attempt to pass from high voltage electrode to earth electrode [9]. When the electrons move rapidly between the two electrodes try to disrupt the mineral oil and the pressboard insulator.

Partial discharge data was transferred from the oscilloscope to the computer using the Computer Unit and Fluke Scopview software. This data was saved in Excel program. Then, the data were processed by transferring to Matlab software. The schematic representation of the experimental setup is shown in Figure2.

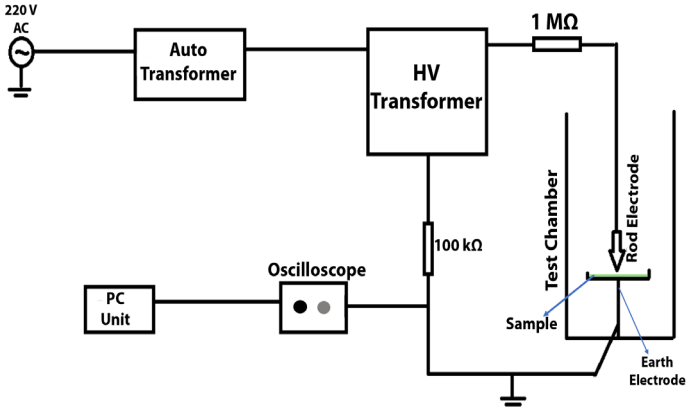


Fig. 2. *The Schematic Representation of the Experimental Setup*

The photograph of the test setup is shown in Figure 3.

Fig. 3. *Test Setup*

2.1. Partial Discharge Experiment

In the experiment, three pressboards having dimensions of 10x10cm and dielectric constant εr = 4.1 were used. Mineral oil, which is generally used as transformer oil and has dielectric constant εr = 2.2, was used during the experiment.

Weights of pressboard samples cut to sizes suitable for earth electrode were measured with precision scales. These weight values are given below.

- 1st Pressboard =17.45g
- 2nd Pressboard =29.75g
- 3rd Pressboard =48.10g

The pressboard samples were then placed in the earth electrode in the plexiglass test chamber according to the test order. Then, the plexiglass container was filled with 1.7 liters and 3 liters of mineral oil respectively and the experiment was started. The distance between the high voltage electrode and the pressboard was set to 1 mm during the experiment. Rod and needle electrodes were used as high voltage electrodes in the experiment. Figure 4 shows the position of the rod and needle electrodes in the test chamber.

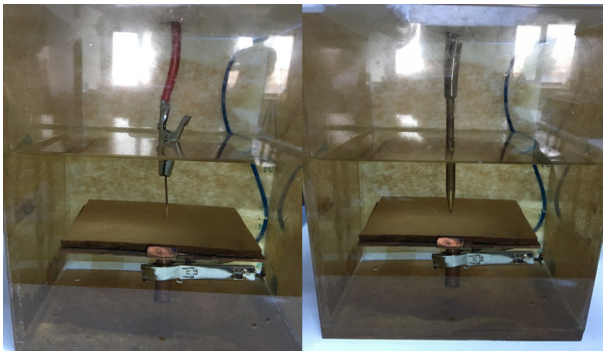


Fig. 4. *The Position of the Needle (left) and Rod (right) Electrodes*

230V voltage from the network to the input of the auto transformer were adjusted as 50V and 100V in the auto transformer and input (low voltage) winding of high voltage transformer was supplied with these two voltage levels. Thus, 9 kV and 18 kV high voltage level is obtained in secondary windings (high voltage) according to transformer turn ratio. The resulting high voltage is first supplied to the high voltage electrode through a 1MΩ pre-resistor. In the meantime, signals were monitored on the oscilloscope screen. Voltage levels at which discharges occur were noted and recorded as data. In this experiment, the harmonic signals of 9 kV and 18 kV voltage for 3 different oil / pressboard ratio were drawn by using Matlab software using 2 different electrodes as rod and needle. The oil / pressboard (O/P) ratios in the tests are as follows:

Ratio A: O/P=1.7L/17,45g = 97,42
Ratio B: O/P=1.7L/29,75g = 57,14
Ratio C: O/P=3L/17,45g = 171,91

3. RESULTS

3 different oil / pressboard ratios were tested at 2 different voltage levels on 2 different high voltage electrode types. The effect of oil / pressboard ratio on electrical breakdown characteristics and also the effect of rod and needle electrodes on breakdown behaviour were investigated. Harmonic analysis of current signals in 1 kHz bandwidth was performed. Figure 5 shows the harmonic and 20 period signals of the rod and needle electrodes at 9 kV voltage level in A ratio.

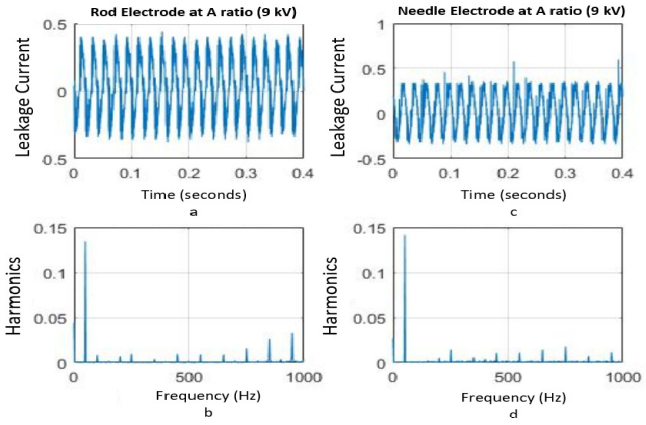


***Fig. 5**. Comparison of Rod Electrode and Needle Electrode with 9 kV Voltage at A Ratio*
a- Leakage Current of Rod Electrode at A Ratio
b-Harmonics of Rod Electrode at A Ratio
c- Leakage Current of Needle Electrode at A Ratio
d- Harmonics of Needle Electrode at A Ratio

The voltage of 50 V in the headings of the graphs in Figure 5 is the input voltage of the transformer. This voltage is obtained as 9 kV high voltage at the output of the transformer. The headings of the following graphs will always have the input voltage. Harmonics reached higher values in the ratio of A at the needle electrode configuration. In addition, the leakage current flown during discharge is at the level of 0.47 A in the rod electrode and this value is around 0.53 A with sudden increases in the needle electrode. Third harmonic current at the needle electrode is very low, while this current at the rod electrode is higher as can be seen on the Figure 5.

The harmonic and leakage current signals in the rod and needle electrode configuration are given in Figure 6 when the voltage doubles in the ratio of A.

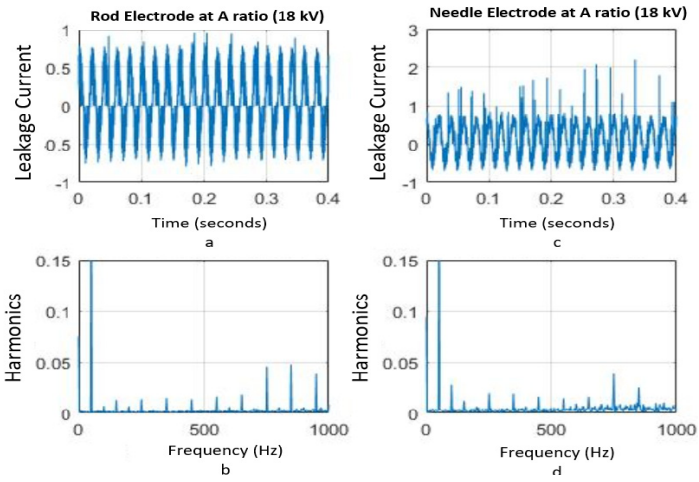


***Fig. 6.** Comparison of Rod Electrode and Needle Electrode with 18 kV Voltage at A Ratio*
a- Leakage Current of Rod Electrode at A Ratio
b-Harmonics of Rod Electrode at A Ratio
c- Leakage Current of Needle Electrode at A Ratio
d- Harmonics of Needle Electrode at A Ratio

As shown in Figure 6, the current in the needle electrode configuration has exceeded level 2A. Furthermore, the 3rd harmonic current is decreased in the rod electrode compared to the previous voltage level, but increased significantly in the needle electrode. Distortion of the leakage current signal at the needle electrode can be clearly seen on the Figure 6.

The harmonic and leakage current signals of two different electrode arrangements at 9 kV voltage level in B ratio are shown in Figure 7.

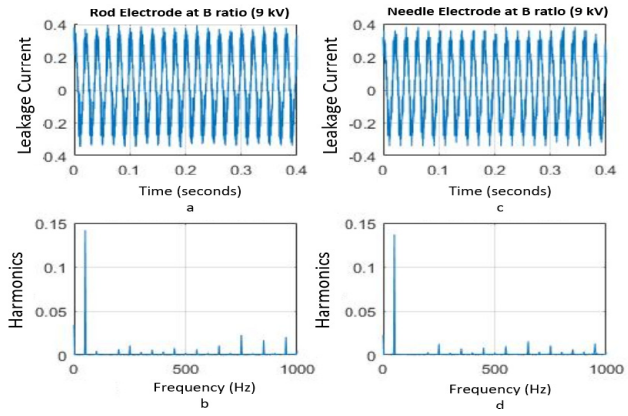


Fig. 7. *Comparison of Rod Electrode and Needle Electrode with 9 kV Voltage at B Ratio*
a- Leakage Current of Rod Electrode at B Ratio
b-Harmonics of Rod Electrode at B Ratio
c- Leakage Current of Needle Electrode at B Ratio
d- Harmonics of Needle Electrode at B Ratio

Unlike in the A ratio, the difference the leakage currents value between the rod electrode and needle electrode configuration is very small. At this oil / pressboard ratio, the leakage current value in the needle electrode configuration has decreased. However, harmonic values have not changed much. The third harmonic is observed at the rod electrode configuration while like in the A ratio it is not observed in the needle electrode configuration. In addition, less double harmonics occur at this voltage level in the B ratio. The harmonic and leakage current signals in the rod and needle electrode configuration are given in Figure 8 when the voltage doubles in the ratio of B.

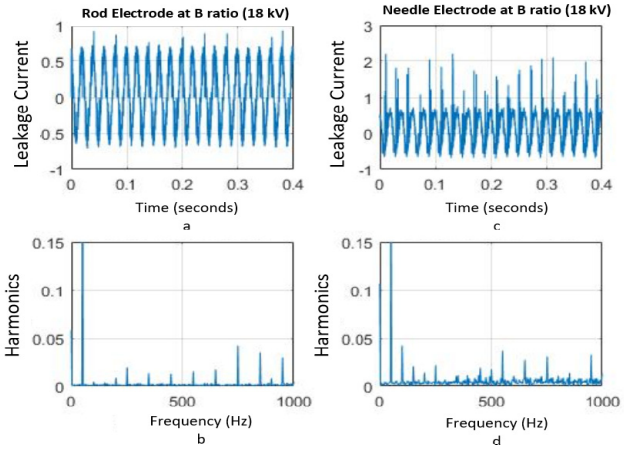


Fig. 8*. Comparison of Rod Electrode and Needle Electrode with 18 kV Voltage at B Ratio*
a- Leakage Current of Rod Electrode at B Ratio
b-Harmonics of Rod Electrode at B Ratio
c- Leakage Current of Needle Electrode at B Ratio
d- Harmonics of Needle Electrode at B Ratio

When the voltage level is doubled, deterioration of the leakage current and harmonic signals in the needle electrode configuration is increased. The leakage current exceeded 2A level. Unlike in the A ratio, the leakage current value is more than 2A at more points. Harmonic currents have increased significantly compared to A ratio. In particular, while the 3rd harmonic current at the A ratio was 0.25 A for needle electrode configuration, this value increased to 0.4 A at the B ratio. There was no change in the rod electrode arrangement between the A and B ratio to such an extent that it would affect the electrical strength. In this electrode configuration, when the voltage level doubled, like in the previous A ratio, the 3rd harmonic current decreased significantly.

The harmonic and leakage current signals of two different electrode arrangements at 9 kV voltage level in the C ratio are shown in Figure 9.

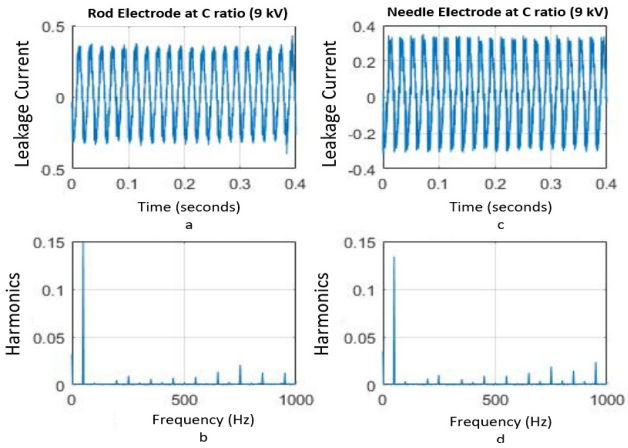


Fig. 9. *Comparison of Rod Electrode and Needle Electrode with 9 kV Voltage at C Ratio*
a- Leakage Current of Rod Electrode at C Ratio
b-Harmonics of Rod Electrode at C Ratio
c- Leakage Current of Needle Electrode at C Ratio
d- Harmonics of Needle Electrode at C Ratio

At this voltage level in the C ratio, the leakage current in the rod electrode configuration is slightly higher than the leakage current in the needle electrode configuration. The leakage current in the rod electrode did not change much, but with the increase in the oil / pressboard ratio, it reduced the leakage current a value approaching 0.5A in the A and B ratios at the needle electrode was less than 0.4 A. In addition, the harmonic current value of the fundamental harmonic

signal in the rod electrode exceeded 0.15 A. This value for this voltage level in the A and B ratios was observed less than 0.15 A. At the A and B ratios, the 3rd harmonic current value in the rod electrode configuration was higher than the current value in the needle electrode configuration, but as shown in Figure 9, the 3rd Harmonic current at this voltage level in the needle electrode configuration is higher than the 3rd harmonic current in the rod electrode configuration. At this voltage level, the deterioration of the leakage current signal in the needle electrode arrangement at the A ratio was not observed at the C ratio. The harmonic and leakage current signals in the rod and needle electrode configuration are given in Figure 10 when the voltage doubles in the ratio of C.

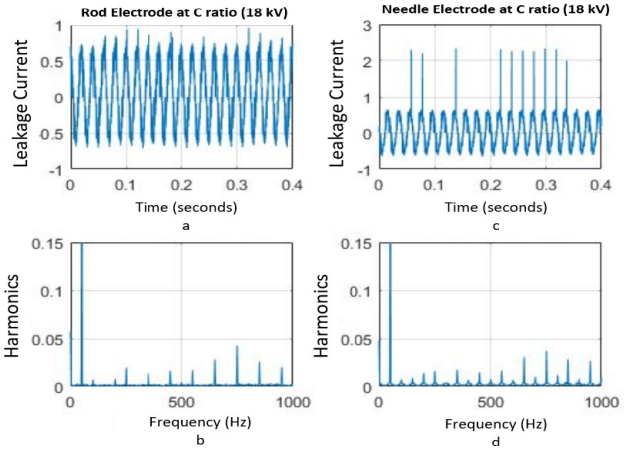


Fig. 10. *Comparison of Rod Electrode and Needle Electrode with 18 kV Voltage at C Ratio*
a- Leakage Current of Rod Electrode at C Ratio
b-Harmonics of Rod Electrode at C Ratio
c- Leakage Current of Needle Electrode at C Ratio
d- Harmonics of Needle Electrode at C Ratio

At this voltage level, the leakage current values in the rod electrode configuration were generally between 0.7-0.95 A, like in the A and B ratio. There was a change in the needle electrode configuration compared to the ratio of A and B. The number of points at which the leakage current exceeds 2 A is greater at the C ratio, but the current signal is smoother than the other two ratios and less disturbing effects on the current wave was observed. Harmonics have both reduced and smoother signals at this voltage level in both electrode configurations compared to the ratio A and B.

4. DISCUSSION

In this study the effect of oil / pressboard ratio on partial discharge in non-uniform electric field is investigated and tested at 2 different voltage levels (9kV, 18kV). As a result of these tests, it was observed that the change of oil / pressboard ratio significantly affected both leakage current and harmonics. It has been observed that the effect of two different type of electrodes (rod and needle) on partial discharge is great. Increasing the oil / pressboard ratio reduced the leakage currents and harmonics, especially at the needle electrode arrangement at a voltage level of 18 kV and improved the leakage current signals. The significant rises in FFTs of leakage currents from 11th harmonic on, indicated that more work need to be done about this issue. It is observed that the rod electrode has higher FFT signals amplitude at all voltage levels and oil / pressboard levels, especially from 15th harmonic is higher than 3rd, 5th and 7th harmonics. This is an issue that we will focus on in the future works.

5. REFERENCES

[1] Schober F., Küchler A., Exner W., Krause Ch., Berger F.: 'Influence of board density on the conductivity of oil-impregnated pressboard for HVDC insulation systems', 2015 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC), June 2015, pp.61-64.

[2] Mitchinson P. M. , Lewin P. L. , and Strawbridge B. D., 'Tracking and surface discharge at the oil pressboard interface', IEEE Electrical Insulation Magazine, 2010, 26(2), pp. 35 - 41

[3] Liao R., Hao J., Chen G., Ma Z. and Yang L., 'A comparative study of physicochemical, dielectric and thermal properties of pressboard insulation impregnated with natural ester and mineral oil', IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2011, 18 (5), pp. 1626 - 1637.

[4] Diao, C.J., Cheng, Y.C., Liu S. and Deng C.: 'Developing Laws and Severity Diagnosis of Partial Discharge Defects on Oil-paper Insulation', IET High Voltage Engineering, 2014, **39** (5), pp. 1061-1068.

[5] Qi, B., Gao, C., Zhao, X., Li, C., Wu, H.: 'Interface charge polarity effect based analysis model for electric field in oil-pressboard

insulation under DC voltage', IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2016, **23** (5), pp. 2704-2711.

[6] Wang S., Zhang G., Mu H., Wang D., Lei M., Suwarno, Tanaka Y., Takada T., 'Effects of paper-aged state on space charge characteristics in oil-impregnated paper insulation', IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation ,2012, 19 (6), pp. 1871 - 1878.

[7] Girlanda O., Wei K., Schmidt L.E., Evenbom M., Forslín J., 'Static and quasi-static behavior of dry and oil-impregnated pressboard', 2016 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC), June 2016, Montreal, QC, Canada, pp. 105-108.

[8] IEC 60641-2: ' Pressboard and Presspaper for Electrical Purpose: Part 2: Method of Test ', 2004.

[9] Gülnihar K., Çekli S., Uzunoğlu C., Uğur M., 'Location estimation of partial discharge based electromagnetic source using multilateration with time difference of arrival method', Electrical Engineering (Archiv für Electrotechnik), pp.839-847, May 2017.

МЕТОД ЗА ОПЕРАТИВНА ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА ДИНАМИЧНИ ОБЕКТИ С ДРОБНО-РАЦИОНАЛНА ПРЕДАВАТЕЛНА ФУНКЦИЯ

Васил Димитров **Людмил Попов**
Висше транспортно училище "Тодор Каблешков" - София

METHOD FOR OPERATIONAL IDENTIFICATION OF DYNAMIC OBJECTS WITH FRACTIONAL-RATIONAL TRANSFER FUNCTION

Vasil Dimitrov **Lyudmil Popov**
Todor Kableshkov University of Transport – Sofia

Abstract

A method for the operational identification of dynamic objects with a definite fractional-rational transfer function is developed. The method requires that only the input and output variables are monitored in the control. The derivatives of the variables are unobservable and must therefore be calculated. For this purpose, one of the known numerical methods can be used: the extreme differences or the midpoint. A second-order object - a DC motor with independent excitation, is presented as an example. The solution is in matrix form and is implemented with some of the variants of the Gauss method. The accuracy of the method is sufficient for the purpose of operational identification at the appropriate time discretization step.

Keywords: dynamic objects, fractional-rational transfer function, DC motor.

ВЪВЕДЕНИЕ

Към методите за оперативна идентификация принадлежат всички, които трябва да се осъществяват за много кратки интервали от време (от порядъка на стотни и даже хилядни от секундата). При това обектът е в редовен експлоатационен режим и съответно всички изчислителни процедури на идентификацията са в режим на реално време. Крайната цел в случая съответно е адаптивна самонастройка на регулаторите на системата за автоматизация [3, 4].

В теорията на автоматичното управление е прието математичният модел на реалната система да се описва с диференциално уравнение, като изходната променлива и нейните производни се записват в лявата част на равенството, а входната променлива и нейните производни – отдясно. Предавателната функция е отношение на Лапласовото изображение на изходната променлива към Лапласовото изображение на входната променлива, при нулеви начални условия. Между диференциалното уравнение и предавателната функция има непосредствена връзка [1, 2]. Преходната характеристика е решението на диференциалното уравнение при единично входно въздействие (изменение със скок на входната променлива в дясната част). След преобразуване по Лаплас [1, 2, 5] на диференциалното уравнение се получава съответстващата му дробно-рационална предавателна функция.

Изхождайки от тези съображения, в доклада е разработен метод за оперативна идентификация на динамични обекти с определена дробно-рационална предавателна функция.

СЪЩНОСТ НА МЕТОДА

Характерно за метода е приложимостта му към всички динамични обекти, чиято предавателна функция може да се представи като дробно-рационална от вида:

$$W(p) = \frac{A_m(p)}{B_n(p)} \qquad (1)$$

Където *Am(p)* и *Bn(p)* са полиноми на оператора *p* от вида [1, 2]:

$$A_m(p) = a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + \cdots + a_m p^m; \quad (2)$$

$$B_n(p) = b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + \cdots + b_n p^n; \quad (3)$$

Основните типове съвременни системи за автоматизация имат такава предавателна функция. При тях *Bn(p)* е от по-висока степен от *Am(p)*, което е условие за физическа реализуемост.

Методът изисква при управлението да се наблюдава само входната координата ***u*** и изходната координата ***y*** (регулируемата величина).

Единствено ограничение на метода е поне един от свободните членове на двата полинома *A* и *B* да е 1 или да бъде приведен към единица (това условие в повечето реални обекти е спазено).

Съгласно теорията на управлението предавателната функция на обекта е свързана с главните координати на системата чрез съотношението:

$$W(p) = \frac{A(p)}{B(p)} = \frac{y(p)}{u(p)}. \qquad (4)$$

От изразите (4) и (1), като се развият полиномите *A(p)* и *B(p),* се получава:

$$u(p).\sum_{i=0}^{m} a_i p^i = y(p).\sum_{j=0}^{n} b_j p^j \; . \qquad (5)$$

Тук съгласно направената по-горе уговорка коефициентът b_0 е единица.

При положение, че производните на координатите ***u*** и ***y*** са ненаблюдаеми, е необходимо те да бъдат изчислени. За целта е необходимо да се разполага с *(m+1)* стойности на величината ***u*** и *(n+1)* стойности на ***y***.

НАБЛЮДАТЕЛИ НА ПРОИЗВОДНИ

Наблюдателите на производни, използвани в този случай, са цифрови. В математиката са известни доста точни числени методи за наблюдатели на производни. Понеже в този случай се използва метод за оперативна идентификация, очевидно се касае за достатъчно малка стъпка във времето Δt, а това дава основание и най-простите методи за числено диференциране да гарантират достатъчна точност [5]:

-метод на крайните разлики (двуточкова схема) – представя се със съотношението:

$$P_{ij} = \frac{P_{i-1,j} - P_{i-1,j-1}}{\Delta t}, \qquad (6)$$

където $P_{i,j}$ означава i^{-ma} производна на параметъра *p* в момента *j* ($t=j.\Delta t$).

-метод на средната точка (триточкова схема), представен със съотношението:

$$P_{ij} = \frac{P_{i-1,j+1} - P_{i-1,j-1}}{2.\Delta t} \qquad (7)$$

където *i* и *j* имат същия смисъл.

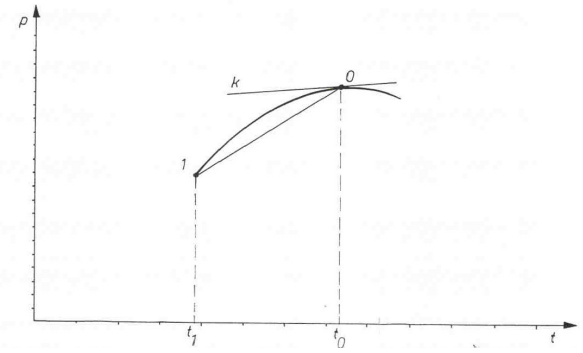
Първият метод може да генерира стойностите на производните във вид на триъгълна матрица, показана на табл. 1.

Необходимо е да се разполага с *к+1* стари стойности на параметъра *p*, за да се изчисли неговата $к^{-та}$ производна.

Същността на този метод е илюстрирана на фиг. 1

табл. 1.

$P_{0,14}$	$P_{0,13}$	$P_{0,12}$	$P_{0,11}$	$P_{0,10}$	$P_{0,9}$	$P_{0,8}$	$P_{0,7}$	$P_{0,6}$	$P_{0,5}$	$P_{0,4}$	$P_{0,3}$	$P_{0,2}$	$P_{0,1}$	$P_{0,0}$
	$P_{1,13}$	$P_{1,12}$	$P_{1,11}$	$P_{1,10}$	$P_{1,9}$	$P_{1,8}$	$P_{1,7}$	$P_{1,6}$	$P_{1,5}$	$P_{1,4}$	$P_{1,3}$	$P_{1,2}$	$P_{1,1}$	$P_{1,0}$
		$P_{2,12}$	$P_{2,11}$	$P_{2,10}$	$P_{2,9}$	$P_{2,8}$	$P_{2,7}$	$P_{2,6}$	$P_{2,5}$	$P_{2,4}$	$P_{2,3}$	$P_{2,2}$	$P_{2,1}$	$P_{2,0}$
			$P_{3,11}$	$P_{3,10}$	$P_{3,9}$	$P_{3,8}$	$P_{3,7}$	$P_{3,6}$	$P_{3,5}$	$P_{3,4}$	$P_{3,3}$	$P_{3,2}$	$P_{3,1}$	$P_{3,0}$
				$P_{4,10}$	$P_{4,9}$	$P_{4,8}$	$P_{4,7}$	$P_{4,6}$	$P_{4,5}$	$P_{4,4}$	$P_{4,3}$	$P_{4,2}$	$P_{4,1}$	$P_{4,0}$
					$P_{5,9}$	$P_{5,8}$	$P_{5,7}$	$P_{5,6}$	$P_{5,5}$	$P_{5,4}$	$P_{5,3}$	$P_{5,2}$	$P_{5,1}$	$P_{5,0}$
						$P_{6,8}$	$P_{6,7}$	$P_{6,6}$	$P_{6,5}$	$P_{6,4}$	$P_{6,3}$	$P_{6,2}$	$P_{6,1}$	$P_{6,0}$
							$P_{7,7}$	$P_{7,6}$	$P_{7,5}$	$P_{7,4}$	$P_{7,3}$	$P_{7,2}$	$P_{7,1}$	$P_{7,0}$
								$P_{8,6}$	$P_{8,5}$	$P_{8,4}$	$P_{8,3}$	$P_{8,2}$	$P_{8,1}$	$P_{8,0}$
									$P_{9,5}$	$P_{9,4}$	$P_{9,3}$	$P_{9,2}$	$P_{9,1}$	$P_{9,0}$
										$P_{10,4}$	$P_{10,3}$	$P_{10,2}$	$P_{10,1}$	$P_{10,0}$
											$P_{11,3}$	$P_{11,2}$	$P_{11,1}$	$P_{11,0}$
												$P_{12,2}$	$P_{12,1}$	$P_{12,0}$
													$P_{13,1}$	$P_{13,0}$
														$P_{14,0}$



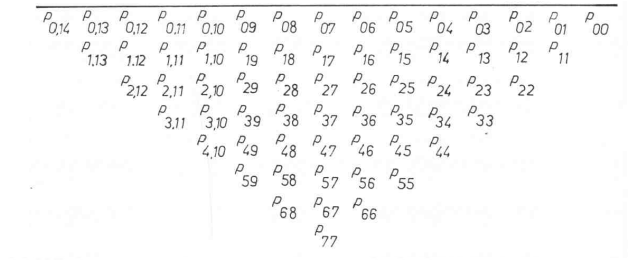
Фиг. 1 *Производната по двуточкова схема*

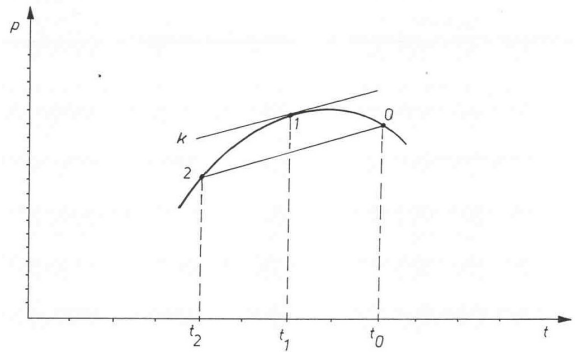
Този метод обуславя грешка, свързана с невъзможността за паралелност между хордата 0 – 1 от фиг. 1 и представяща търсената производна допирателна *к* към точка 0 на дъгата 0 – 1 (истинската стойност на търсената производна е пропорционална на наклона на допирателната, докато изчислената стойност е пропорционална на наклона на хордата).

Вторият метод генерира стойностите на производните във вид на двойно отсечена триъгълна матрица (табл. 2).

Обемът на събраната информация и тук е същият. Точността, обаче, е много по-висока – фиг. 2.

табл. 2.





Фиг. 2 *Производната по триточкова схема*

По-високата точност означава, че успоредността между хордата 0 – 2 и допирателната в точка 1 е много по-голяма и това е съществено предимство. За съжаление самият метод изисква процедури за възстановяване на липсващите елементи от отсечения долен десен ъгъл в табл. 2, които да осигурят текущи стойности на старшите производни.

Общият брой на незвестните параметри на системата е (*m+n+1)*. Ако след направените (*m+n+2)* измервания, необходими за възстановяване на производните в уравнение (5), се направи още едно измерване на ***u*** и ***y*** , ще се създаде ново уравнение от типа на (5).

По този начин с общо *2.(m+n+1)* измервания може да се конструира система от (*m+n+1)* уравнения с толкова неизвестни параметъра, чието решаване е рутинно, тъй като системата е определена [5].

ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДА

Като пример ще бъде разгледан обект от *2-ри* ред – електрозадвижване с праволинейна механична характеристика, напр. с двигател за постоянен ток с независимо възбуждане [6]. Предавателната функция при входна координата подадено напрежение на намотката на котвата и изходна координата ъглова скорост е от следния вид:

$$W(p) = \frac{a_0}{b_0+b_1 p+b_2 p^2} = \frac{\omega(p)}{U(p)} \qquad (8)$$

където $a_0 = \frac{1}{c}$; $b_0 = 1$; $b_1 = T_M$; и $b_2 = T_a.T_M$

T_a е електромагнитната времеконстанта;

T_M – механичната времеконстанта;

c - коефициент на електромагнитно взаимодействие.

За простота на записите по-нататък ще се означават кооординатите и техните производни с по два индекса – първият за реда на производната, вторият – за поредния номер на измерването. Напр. ***y_{23}*** ще означава „втора производна на величината ***y*** в момента на третото измерване”.

По този начин за конкретния случай се получава система от три уравнения, доколкото неизвестните са три – Ta, T_M и $\frac{1}{c} = k$. Тъй като е необходима втора производна на ω, общият брой измервания ще бъде 2.(0+2+1)=6:

В случая по време на управлението се наблюдават само напрежението на котвата и скоростта на въртене в реално време, което означава че в два последователни интервала от време се отчитат двете стойности и от тях може да се вади заключение за производната. Така се извършва едновременна идентификация на времеконстантите и коефициента на звеното Ta, T_M и $\frac{1}{c} = k$. Системата уравнения, които се описват по този начин е следната:

$$\begin{cases} T_a T_M \omega_{21} + T_M \omega_{11} - \frac{1}{c} U_{01} = \omega_{01} \\ T_a T_M \omega_{22} + T_M \omega_{12} - \frac{1}{c} U_{02} = -\omega_{02} \\ T_a T_M \omega_{23} + T_M \omega_{13} - \frac{1}{c} U_{03} = -\omega_{03} \end{cases} \qquad (9)$$

Системата уравнения (9) е определена, когато векторът на свободните членове отдясно не е равен на нула. Тогава системата има определено решение.

С цел съкращаване на записите системата (9) се представя в матричен вид:

$$A\,x = b \quad det\,A \neq 0 \tag{10}$$

A е неособена матрица, понеже ***det A ≠ 0.*** В такъв случай общото решение на системата е от вида:

$$\begin{array}{c} \boldsymbol{A\,.\,x = b} \\ \downarrow \quad\quad \downarrow \\ \boldsymbol{x \;\; = A^{-1}.b} \end{array} \tag{11}$$

Решението по схемата на (11) е бавно, доколкото е свързано с обръщането на матрицата ***A***. На практика в преобладаващия брой случаи могат да се използват много по-бързи методи за целта, като най-често те са разновидности на метода на Гаус.

При методът на Гаус – Джордан действията схематично изглеждат така:

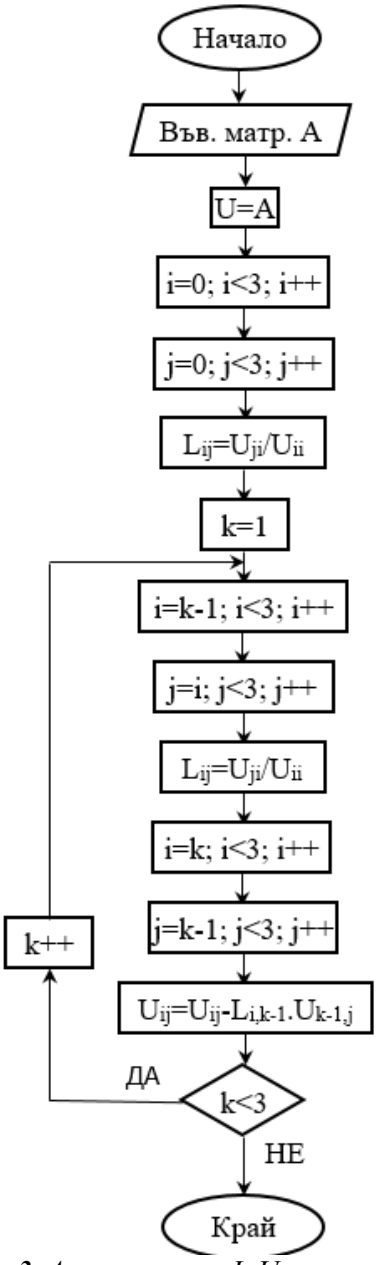
$$\begin{array}{c} \boldsymbol{A\,.\,x \;\; = \;\; b} \\ \downarrow \quad\quad\quad \downarrow \\ \boldsymbol{[\,1\,]\,.\,x \;\; = \;\; d} \end{array} \tag{12}$$

Тук ***A*** е матрица на системата уравнения, ***x*** е вектор на неизвестните параметри, ***b*** е вектор на свободните членове, ***d*** – вектор на получените след преобразувания свободни членове.

Друг подход за решаване на системата от (10) е методът на L – U разложението, при който матрицата A се представя във вида A=L•U. Тук L е долно-триъгълна матрица с единичен диагонал, а U=A:

$$L = \begin{pmatrix} l_{1,1} & 0 & 0 \\ l_{2,1} & l_{2,2} & 0 \\ l_{3,1} & l_{2,3} & l_{3,3} \end{pmatrix} \tag{13}$$

Алгоритъмът за решаване на системата от (10) по метода на L – U разложението е показан на фиг. 3.



Фиг. 3. *Алгоритъм на L-U разложението*

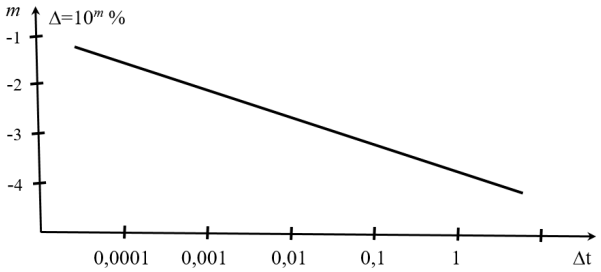
Целта на системата уравнения (9) е да се определят стойностите на величините Ta, T_M и c в реално време. Определянето им дава възможност така да се планира управлението *U(p)*, че регулираните параметри да съответстват на изискванията за оптимална работа на задвижването.

ТОЧНОСТ НА МЕТОДА

При този метод за оперативна идентификация точността зависи от стъпката на дискретизация на времето за отделните измервания. Много малката стъпка увеличава точността на наблюдателя, формиращ

производните, но влошава точността на решението – при безкрайно намаляване на интервала между две измервания, те дават еднакъв резултат. Обратно – увеличаването на стъпката прави точна системата и неточен наблюдателя на производните.

На фиг. 4 е показана зависимостта между грешката и стойността на стъпката за разглеждания случай. Когато стъпката на дискретизация Δt клони към нула изходните величини са по-слабо изменими – параметрите се превръщат в константи, т.е. свободния коефициент е един и същ. В този случай не може да се запишат три различни уравнения за трите неизвестни. Именно поради това с намаляване на стъпката на дискретизция грешката се увеличава.



Фиг. 4. *Зависимост между стъпка и грешка*

При обекти, съдържащи не три, а два неизвестни параметъра (напр. апериодично, реално диференциращо или реално форсиращо звено), точността нараства с два-три порядъка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Създаден е оригинален метод за бързо и точно определяне в режим на реално време на неизвестните параметри на динамиката на система за автоматизация с предавателна функция от дробно рационален тип, с което се покриват почти всички възможни случаи на математическо описание на такива системи.

Методът е верифициран чрез разглеждане на постояннотоково електро-задвижване с линейна механична характеристика (с двигател с независимо възбуждане). В този случай се наблюдават в реално време само два лесни за измерване параметъра – котвеното напрежение и скоростта на въртене. В зависимост от необходимата точност се избира подходящ период на дискретизация и се извършва идентификация на параметрите на задвижването с цел постигане на оптимална работа (по предварително зададен критерий).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Dorf R., R. Bishop, Modern Control Systems, 12th Ed., New York: Prentice Hall, 2011.

[2] F. Golnaraghi, B.C. Kuo, Automatic Control Systems, 10th Ed., New York: McGraw-Hill Education, 2017.

[3] Dimitrova E., Synthesis of systems for monitoring and control on complex technical objects that aimed to ensure maximum efficiency, Acad. J. MTC, Vol. 12, Issue 3/2, art. ID 1030, 2014

[4] Dimitrova E., G. Cherneva, Modeling of the control process of technical systems, Acad. J. MTC, Vol. 11, Issue 3, art. ID 877, 2013

[4] Larson R., D. Falvo, Elementary Linear Algebra, USA: Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company, 2009.

[6] Bakshi U., M. Bakshi, Electrical Drives and Control, India: Technical Publications Pune, 2009.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE STEPPER MOTOR-CONTROLLED BUTTERFLY VALVE CHARACTERISTICS

Vojislav Vujičić, *University of Kragujevac, Faculty of Technical Science in Cacak, vojislav.vujicic@ftn.kg.ac.rs*
Marko Šucurović, *University of Kragujevac, Faculty of Technical Science in Cacak, marko.sucurovic@ftn.kg.ac.rs*
Mihailo Bjekić, *Institute Mihajlo Pupin, Belgrade, mihailobjekic@gmail.com*
Marko Rosić, *University of Kragujevac, Faculty of Technical Science in Cacak, marko.rosic@ftn.kg.ac.rs*
Miroslav Bjekić, *University of Kragujevac, Faculty of Technical Science in Cacak, miroslav.bjekic@ftn.kg.ac.rs*

Abstract
This paper presents the procedure for experimental determination of the characteristics of a butterfly valve implemented in the pump system realized in the Process Engineering Laboratory at the Faculty of Technical Science in Cacak. The mechanical valve installed in the pump system has been upgraded by installing a stepper motor instead of a lever. LabVIEW software was used for stepper motor control and graphical visualization of the stepper motor position (valve angle) and pressure. Experimental results of pressure for different positions of the valve, as well as the diagram p=f(n) are shown. Using the obtained measured values of pressure and angle, approximation function of the upgraded butterfly valve was calculated.

Keywords: pump system, butterfly valve, LabVIEW, measurement.

INTRODUCTION

Laboratory setup for measuring the basic pump system characteristics, implemented at the Laboratory for Process Engineering at the Faculty of Technical Sciences in Cacak, was used to determine the characteristics of the butterfly valve. The pump system with its characteristics has been described in detail in [1].

The modification of the butterfly valve is presented in this paper. Acquisition application is described as well. Pressure-angle characteristics of the modified butterfly valve was measured and graphically presented. Using the obtained measured values of pressure and angle, approximation function of the butterfly valve was calculated.

Determination of the approximation function for the valve will be in use for further testing and research where the pressure in the pump system must be kept constant, or an exact pressure in the system must be obtained.

BUTTERFLY VALVE UPGRADE

In the pump system, described in [1], butterfly valve with a hand lever has been implemented. This valve is Danfoss type VFY-WH [2]. The valve nameplate pressure data is 16 bar at 20 °C. The butterfly valve has a hand lever with 90° rotation angle, cup of the lever has ten teeth with 10° module. That means that the valve can achieve ten positions, which is not precise enough for our system. This problem has been solved with valve modifications.

Cup of the lever and the lever have been replaced with a stepper motor, a shaft coupling, a motor holder and an inductive proximity limit switch sensor. Stepper motor (SM86HS45) [3] has 4.5 Nm torque, and 200 steps per rotation. Stepper motor torque was determined using torque wrench (3.5 Nm). Stepper motor is controlled by micro-stepping controller [4] which has 1/16 micro-stepping option. This controller increases number of

steps per rotation from 200 to 3200 (resolution is 0.1125°).

This was a simple and cheap way to make the butterfly valve acceptable. The upgraded motor-controlled butterfly valve is shown on fig 1. Pulse and direction signals are connected to digital input/output of the NI 6001 acquisition card, as well as an inductive proximity limit switch sensor.

Modifications on the pump system hardware require changes in the LabView application. Changes in application are:

- digital output signals for pulse and direction control for stepper motor controller are defined,
- digital input for Home limit sensor has been added,
- pulse-direction control has been established,
- Home switch indication has been added,

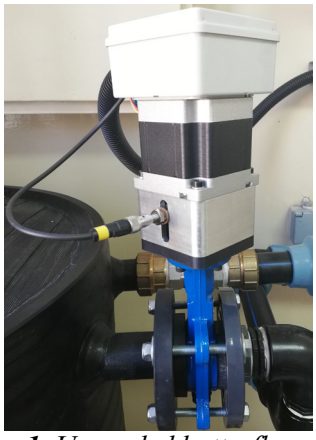


Fig. 1. *Upgraded butterfly valve*

EXPERIMETAL TESTING PROCEDURE

Before starting the experimental testing, the following procedure must be done. Close the valve to fully closed – Home switch indicator is on. Open valve step by step until the Home switch indicator turns off. When the Home switch indicator turns off the position of the valve is zero - 0°. Reset the number of steps to zero. Open the valve to fully open - 90° (800 steps must be sent to motor controller).

This procedure is important for the safe motor start and resetting past valve position. When the valve establishes the desired position, the pump motor can start.

Start the motor by adjusting the frequency on the inverter to 30 Hz. Close the valve on one side by 5 steps per cycle (0.56°) and record the value of pressure in the system. Open the valve 5 steps per cycle until fully open.

Repeat the last two steps for the maximum pressure in the system of 3 bar, 2 bar and 1 bar.

MEASURING RESULTS

Main mechanical butterfly valve characteristic is the possibility of closing of the valve in both directions fig 2. For safety reasons starting position of the butterfly valve is fully open, for in this position there is no pressure in the pump system. Fully open position of the valve is the neutral position (0). In relation to this position, the following manipulations were performed:

1. The valve was being closed in the right direction, until the pressure reached 3 bar (point 1, in Fig 3 black line);
2. When the pressure reached 3 bar, the direction was changed (left direction) and the valve was being opened until the valve reached the neutral position (0); Then the valve was being closed in the left direction until the pressure reached 3 bar (point 2, red line);
3. The valve moving direction was changed (from left to right) and the valve was being opened until the valve reached the neutral position, after which the valve was being closed until the valve reached the position where the pressure was 2 bar (point 3, blue line);
4. Neutral position of the valve has been established by changing the direction of rotation (point 0, cyan line);
5. Next step was to move the valve in the right direction until the pressure of 1 bar was established (point 4, yellow line);
6. Last step was to move the valve back to the neutral position (point 0, magenta line);

Fig. 2. *Both directions closing valve*

The measuring results are shown on the following figure.

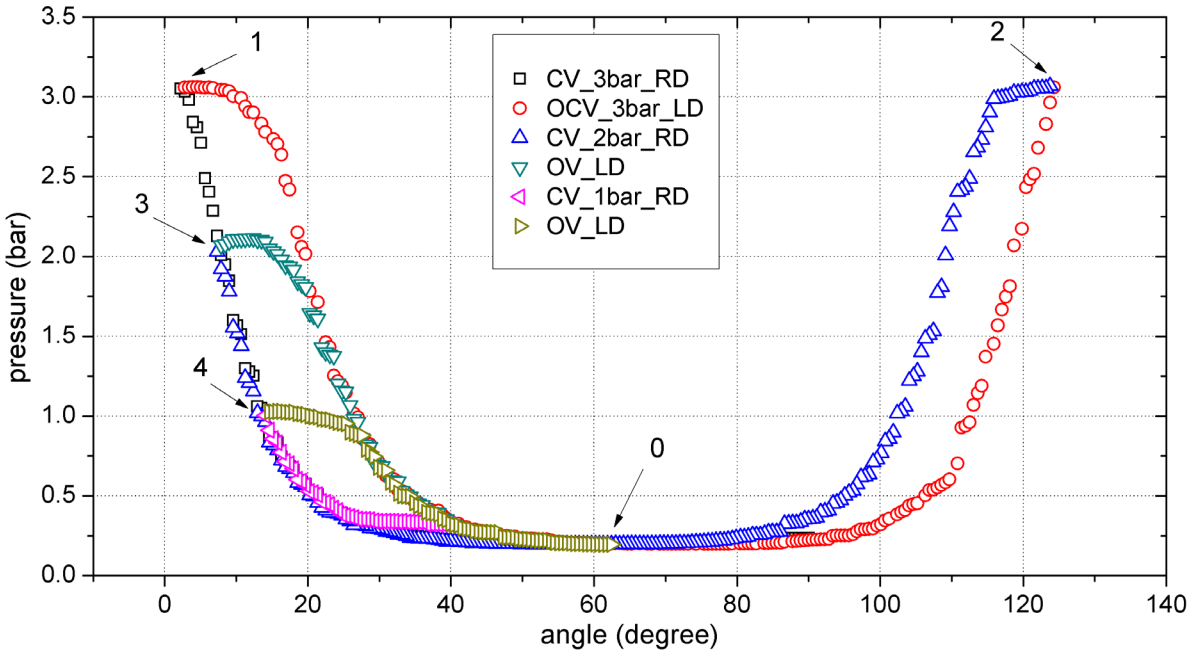


Fig. 3. *Measuring results*

Obtained figure shows:

- Butterfly valve characteristic is nor linear nor uniquely defined.
- Approximately 2/3 pressure change (ΔP=2 bar, from 0.5 bar do 2.5 bar) was achieved in 1/4 valve angle change ($\Delta\alpha$=15.5°, the maximum angle change from neutral position to totally closed valve in one direction is 62°; the reason why this angle is not 90° is mechanical limitation inside the valve - rubber O-ring around the blade of the valve).
- By changing the direction of rotation (opening or closing) the valve hysteresis occurs, but the curve remains unchanged, just translated (there is 11.7° idling).

These observations make this element difficult to use for continuous pressure control, which is one of the tasks of this research.

By analyzing the measured results, the following conclusions were made:

- Obtained results are repeatable during opening and closing of the valve (the curves match each other).
- If the curves obtained from closing the valve translate to the left by 11.7°, they will be the same as the curves obtained during opening of the valve.
- Using the measured point set, interpolation polynomial could be made.

The analytical form of this function is as follows:

$$\alpha = g(p) = \frac{\left(0.03186 \cdot p^2 - 2.204 \cdot p + 48.78\right)}{p + 9.577} \quad (1)$$

Measured results with calculated interpolation function are shown on the following figure.

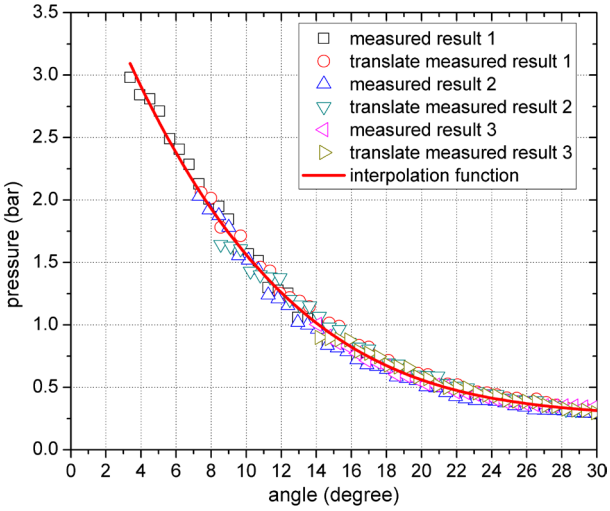


Fig. 4. *Measured results with calculated interpolation function*

However, the inverse interpolation function, which defines the angle α for the desired pressure in the system, provides information that is of more value than the previous function.

Measured values and the calculated inverse interpolation function (in the case of closing the valve) are shown on the next figure.

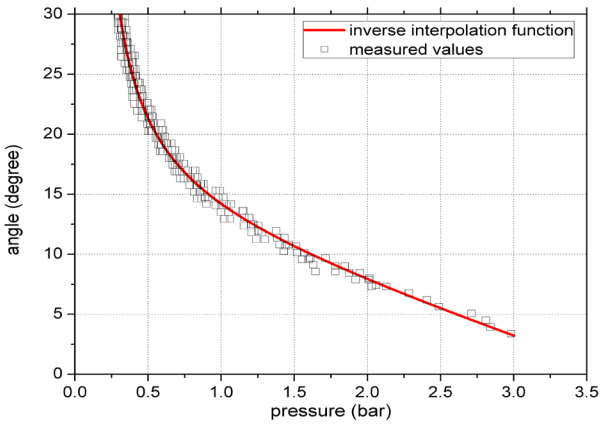


Fig. 5. *Measured results with calculated inverse interpolation function*

$$\alpha = f_1(p) = \frac{\left(-3.997 \cdot p^2 + 14.13 \cdot p + 3.027\right)}{p - 0.07346} \quad (2)$$

The function of opening of the valve (in range 0.5-2.5 bar) is defined by:

$$\alpha = f_2(p) = f_1(p) + 11.7 \quad (3)$$

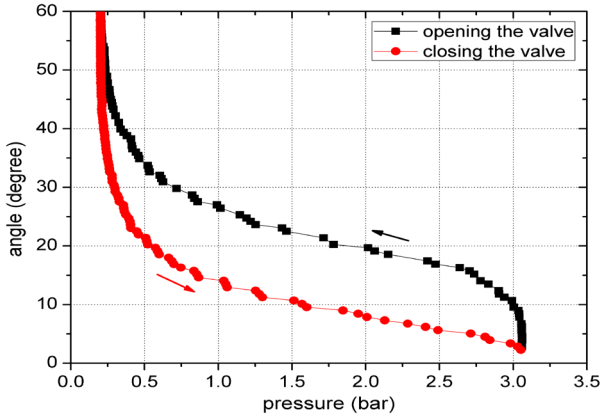


Fig. 6. *Function of the valve opening ang closing*

It is possible to calculate the needed step angle of the valve for the desired pressure using the described procedure. For this procedure it is necessary to know the exact position of the valve, current pressure in the system.

There are 4 distinct cases:

A. Closing the valve when the valve has previously been closed
B. Opening the valve when the valve has previously been opened
C. Closing the valve when the valve has previously been opened
D. Opening the valve when the valve has previously been closed.

Control algorithm has the following structure:

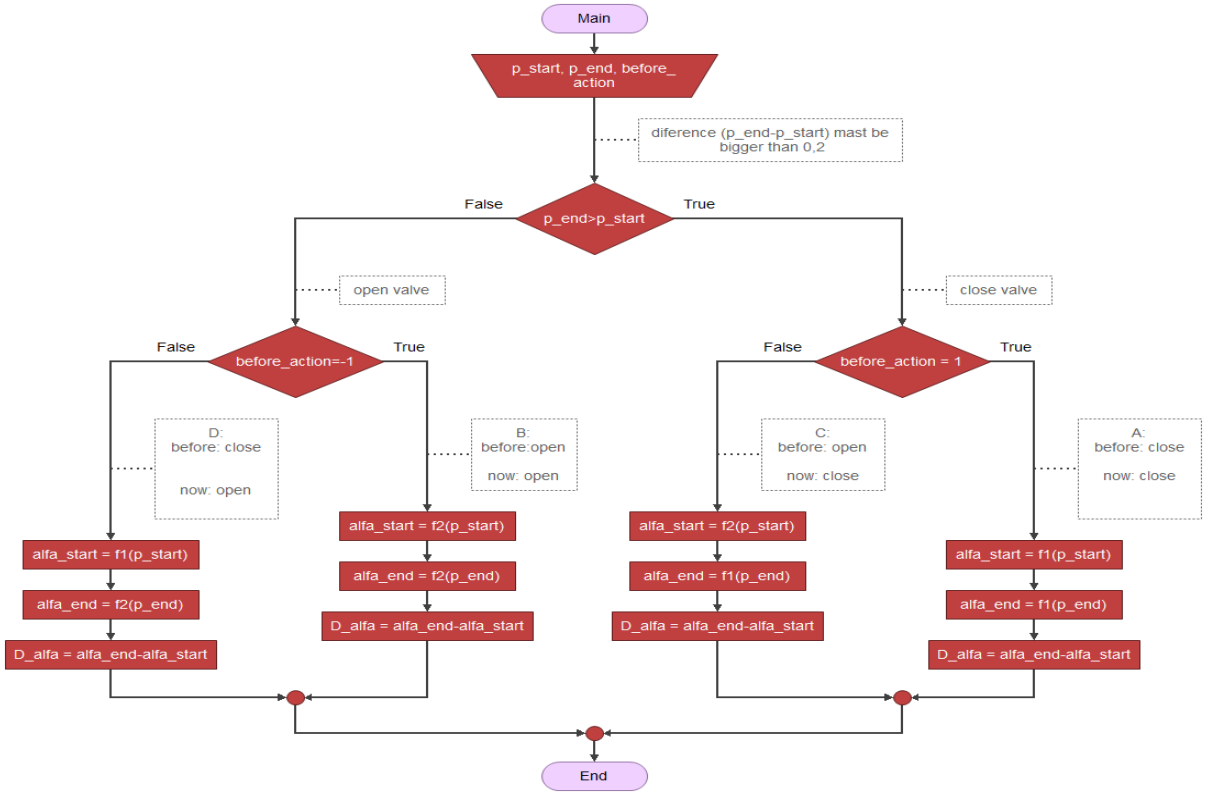


Fig. 7. *Control algorithm*

Using the previous algorithm, by closing and opening the valve, it is possible to achieve the desired pressure in the system. To achieve the desired pressure in the system the only prerequisite is to know the current value of the pressure in the system.

CONCLUSION

In the paper, the procedure for the butterfly valve characteristic determination is described. The valve, which was constructed for 10 different positions, is used. The entire range of pressure change is achieved using only 3 positions of the valve, so the valve characteristic was not possible to measure.

For moving the valve, stepper motor in micro-stepping mode was used. The stepper motor enables over 1000 different positions, which provides almost continuous valve rotation (provided by the minimum rotation angle of 0.1125°). Dependency of pressure against angle of rotation is obtained by measuring. Difference between curves of valve closing and opening was spotted, in other words, existence of hysteresis was determined.

Interpolation function of valve closing was calculated using the measured values. Because of the similarity of the curves of valve closing and valve opening, the same interpolation function was used for both.

Algorithm, which enables automatic pressure regulation by following specific actions on the valve, was created.

All measurements were conducted at the frequency of 30 Hz. Determination of valve characteristics in the frequency range of 10-50 Hz is planned in the further research. Goal of the research is acquiring a unified interpolation function that could be used for all working regimes in which the pump system works. A completely automated system could be achieved using the unified interpolation function, by manipulating the valve into position that sets the system into the desired duty point on the characteristic p=f(q). Second part of the research will be dedicated to reducing the hysteresis of the valve by replacing the elastic coupling with a more rigid coupling.

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] Milos Bozic, Marko Sucurovic, Marko Rosic, Vojislav Vujicic, Miroslav Bjekic, “Laboratory setup for measurements basic pump system characteristics” International Scientific Conference “UNITECH 2018” – Gabrovo 2018. III-154 - III-157

[2] Danffos data sheet, Butterfly valves with hand lever, VFY-WH, VFY-LH, http://heating.danfoss.com/PCMPDF/VDHDR402_VFY-WH-LH.pdf

[3] Stepper Motor, SM86HS45, https://www.prizma.rs/media/wysiwyg/manual/sm86hs45_man.pdf

[4] Microstepping controller, https://www.prizma.rs/media/wysiwyg/manual/mst107_uputstvo_za_upotrebu.pdf

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ЗЕМНИ СЪЕДИНЕНИЯ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ СРЕДНО НАПРЕЖЕНИЕ СЪС ЗАЗЕМЕНА НЕУТРАЛА ПРИ РАЗЛИЧЕН КАПАЦИТИВЕН ТОК

RESEARCH AND ANALYSIS OF EARTH FAULTS IN MEDIUM VOLTAGE POWER NETWORKS WITH EARTHED NEUTRAL AT DIFFERENT CAPACITIVE CURRENT

Mediha Mehmed-Hamza
Technical University of Varna
mediha.hamza@tu-varna.bg

Plamen Stanchev
Technical University of Varna
p.stanchev@tu-varna.bg

Abstract

For medium voltage electrical power networks with a grounded neutral through active resistance, the regime parameters for single-phase earth faults are investigated and analyzed. Simulated models have been made for the studied medium voltage power grids. The studies were performed for electrical networks with predominant share of the cable lines. The multiplicity and duration of the overvoltages of the undamaged phases in transient mode, the magnitude and duration of the transient process of the earth fault current, the multiplicity of the overvoltage in the neutral, the maximum and the established value of the voltage in the neutral of medium voltage are calculated.

Keywords: neutral, medium voltage power networks, single-phase earth faults, overvoltages

ВЪВЕДЕНИЕ

Режимът на работа на неутралата в електрически мрежи средно напрежение се избира в зависимост от това дали мрежата е с въздушни, кабелни електропроводи, или смесена и от големината на тока на земно съединение. Заземяването на звездния център е необходимо, когато капацитивния ток при земно съединение е по-голям от 10А, според нормативните ни изисквания [1, 2].

За въздушни мрежи заземяването на неутралата е през дъгогасителен реактор или комбинирано (дъгогасителен реактор и активно съпротивление). За кабелни мрежи заземяването на неутралата на страна средно напрежение е през активно съпротивление. При смесени мрежи заземяването на звездния център е през активно съпротивление, когато кабелната част е по-голяма от 40 % от общата дължина на мрежата, и комбинирано, когато кабелната част от мрежата е по-малка от 40 %[1, 2].

Целта на публикацията е да се изследват и да се анализират режимните параметри при земни съединения в електрически мрежи средно напрежение с по голям капацитивен ток и с неутрала, заземена през активно съпротивление.

През последните години с разрастването на градските електрически мрежи средно напрежение се увеличава дължината на кабелните изводи, което води до значително увеличаване на капацитивния ток в тези мрежи.

Разгледани са три електрически мрежи 20 kV с капацитивен ток 200 А, 250 А и 300А. Моделната схема на изследваните електрически мрежи и изследванията за изменението на режимните параметри са направени в програмна среда Matlab Simulink. Използвани са стандартни блокове на програмния продукт и допълнителни модули [3, 4, 5, 6].

За изследваните електрически мрежи се използва захранващ силов трансформатор с номинална мощност 25 MVA [7, 8, 9, 10].

За оценка на изолационното натоварване на съоръженията са изчислени кратностите на пренапреженията на неповредените фази ($K_{пр}$) и в неутралата ($K_{пр,нетр}$) за преходния

режим по (1) и (2):

$$K_{пр} = \frac{u_{\max}}{19600}\ \text{p.u} \qquad (1)$$

$$1\text{p.u} = \frac{\sqrt{2}.U_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2}.24000}{\sqrt{3}} = 19,6\,k\text{V};$$

$$K_{пр,неутр} = \frac{u_{\max,неутр}}{19600}\ \text{p.u} \qquad (2)$$

където U_{max} е максимално работно напрежение на електрическата мрежа 20 kVeff, u_{max} $u_{max,неутр}$ са максимални моментни стойности на напреженията в неповредените фази и неутралата в преходния режим при земно съединение.

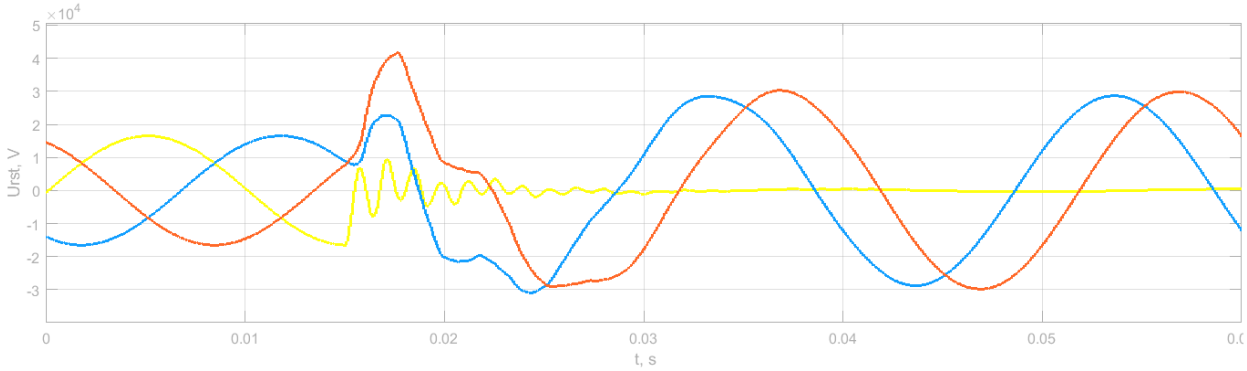
РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

За изследваните електрически мрежи са получени резултати за изменението на фазните напрежения, напрежението в неутралата и ток на земно съединение при изходни условия:

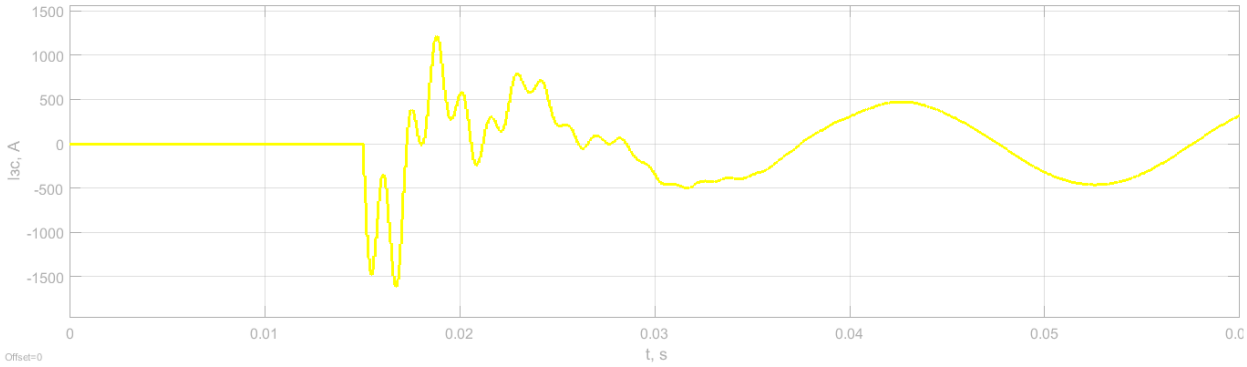
- захранващо напрежение 20 kV и 21 kV;
- метално земно съединение;
- земно съединение, възникващо при максимална и минимална стойност на захранващото напрежение;

На фиг. 1 е представено изменението на фазните напрежения при метално земно съединение, възникващо в 0,015 s, а на фиг.2 е показано изменението на тока на земно съединение.

В таблица 1 са представени получените резултати за кратността на пренапреженията в неповредените фази ($K_{пр}$), максималното фазно напрежение в преходния режим ($u_{max,фазно}$), времето на затихване на преходният процес ($t_{зат,U}$), максималната стойност на тока на земно съединение ($i_{max,зс}$), ефективната стойност в установен режим на тока на земно съединение ($I_{зс,уст}$), времето на затихване на преходният процес на тока на земно съединение ($t_{зат,Iзс}$), кратност на пренапрежението в неутралата ($K_{пр,неутр}$), максималната стойност на пренапрежението в неутралата ($u_{max,неутр}$), и установеното напрежение в неутралата ($U_{неутр,уст}$). Резултатите в таблица 1 се отнасят за електрическа мрежа с капацитивен ток 200 А.



Фиг. 1. Изменение на фазните напрежения при метално земно съединение



Фиг. 2. Изменение на тока на земно съединение

В таблица 2 са представени получените резултати за електрическа мрежа с капацитивен ток 250 А, а в таблица 3 - за изследваната мрежа с капацитивен ток 300А.

Обобщените резултати за кратността на пренапреженията в неповредите фази при метално земно съединение в изследваните електрически мрежи са представени в таблица 4.

Обобщените резултати за кратността на пренапрежението в неуталата при метално земно съединение в изследваните електрически мрежи са представени в таблица 5.

За изследваните електрически мрежи кратността на пренапрежението на неповредените фази се изменя от 1,6 до 2,25 p.u. По-голяма кратност имат пренапреженията при възникване на земно съединение при максимална стойност на напрежението, както и при по-високо захранващо напрежение.

Кратността на пренапрежението в неутралата се изменя от 0,64 до 0,89 p.u.

Времето за затихване на преходния процес на фазните напрежения при метално земно съединение е много кратко и се изменя от 0,005 s до 0,019 s.

Времето за затихване на преходния процес на тока на земно съединение при метално земно съединение се изменя от 0,004 s до 0,027 s. В преходния режим максималните моментни стойности на тока на земно съединение достигат високи стойности до 1541 A, които многократно превишават установения ток на земно съединение. Тези стойности обуславят необходимостта при

Таблица 1

ЕМ	**U=21**	**$K_{пр}$**	**$u_{max,фазно}$**	**$t_{зат,U}$**	**$i_{max,зс}$**	**$I_{зс,уст}$**	**$t_{зат,Iзс}$**	**$K_{пр,неутр}$**	**$u_{max,неутр}$**	**$U_{неутр,уст}$**
	kV	**-**	**KV**	**s**	**A**	**A**	**s**	**-**	**kV**	**kV**
I_c=200A	φ=0	1,633	32,00	0,0043	429,02	300,87	0,0036	0,64	12,59	8,77
	φ=90	2,217	43,46	0,0096	999,28	300,87	0,0188	0,89	17,46	8,77

Таблица 2

ЕМ	**U=21**	**$K_{пр}$**	**$u_{max,фазно}$**	**$t_{зат,U}$**	**$i_{max,зс}$**	**$I_{зс,уст}$**	**$t_{зат,Iзс}$**	**$K_{пр,неутр}$**	**$u_{max,неутр}$**	**$U_{неутр,уст}$**
	kV	**-**	**KV**	**s**	**A**	**A**	**s**	**-**	**kV**	**kV**
I_c=250A	φ=0	1,661	32,56	0,0046	484,48	342,58	0,0227	0,680	13,33	8,89
	φ=90	2,249	44,07	0,0186	1296,05	342,58	0,0174	0,891	17,46	8,89

Таблица 3

ЕМ	**U=21**	**$K_{пр}$**	**$u_{max,фазно}$**	**$t_{зат,U}$**	**$i_{max,зс}$**	**$I_{зс,уст}$**	**$t_{зат,Iзс}$**	**$K_{пр,неутр}$**	**$u_{max,неутр}$**	**$U_{неутр,уст}$**
	kV	**-**	**KV**	**s**	**A**	**A**	**s**	**-**	**kV**	**kV**
I_c=300A	φ=0	1,677	32,88	0,0136	591,65	385,78	0,0124	0,713	13,97	9,00
	φ=90	2,250	44,10	0,0194	1540,86	385,78	0,0269	0,883	17,31	9,00

Таблица 4

EM с I_c=200A			EM с I_c=250A			EM с I_c=300A		
U=20kV	**U=21kV**		**U=20kV**	**U=21kV**		**U=20kV**	**U=21kV**	
φ=90	φ=0	φ=90	φ=90	φ=0	φ=90	φ=90	φ=0	φ=90
2,099	1,633	2,217	2,123	1,661	2,249	2,137	1,677	2,250

Таблица 5

EM с I_c=200A			EM с I_c=250A			EM с I_c=300A		
U=20kV	**U=21kV**		**U=20kV**	**U=21kV**		**U=20kV**	**U=21kV**	
φ=90	φ=0	φ=90	φ=90	φ=0	φ=90	φ=90	φ=0	φ=90
0,876	0,642	0,891	0,880	0,680	0,891	0,870	0,713	0,883

настройката на земната защита използването на коефициент, чрез който да се отстрои тока на заработване от тока на земно съединение в преходен режим. Продължителността на преходния режим на тока на земно съединение за изследваните мрежи е до 0,027 s, което определя, че при защити с време на заработване в порядъка на два, три периода могат да се използват по-ниски стойности на ударния коефициент.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати относно големината на тока на земно съединение и продължителността на преходния процес могат да бъдат използвани при определяне настройките на земните защити.

Получените резултати относно изменението на режимните параметри и кратността на пренапреженията на неповредените фази и в неутралата при електрически мрежи със заземен през активно съпротивление звезден център могат да бъдат използвани при анализ за заземяването на неутралата.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ordinance № 3 regarding the construction of electrical switchyards, switch-gears and power lines, State Gazette, issue 90 and 91/2004, issue 108/2007 and 92/2013 (amendment and supplement). Available from http://www.gli.government.bg/page.php?c=34&page=8 (in Bulgarian).

[2] Ordinance № 16-116 for the technical operation of energy equipment of 8 February 2008. Available from http://www.gli.government.bg/page.php?c=34&page=8. (in Bulgarian)

[3] M. Vasileva, N. Velikova, Yordan Ivanov D. Stanchev,‘‘ Limiting of lightning overvoltages in the electrical substations 110kV‘‘, ICEST 24-26 June 2015, Sofia, Bulgaria.

[4] A. Cerretti, F. Gatta, A. Geri, S. Lauria, M. MacCioni, G. Valtorta. „Ground fault temporary overvoltages in MV networks: Evaluation and experimental tests“. IEEE Transactions on Power Delivery, (2012), 27(3), 1592-1600. doi:10.1109/TPWRD.2012.2192456.

[5] R. Dimitrova , M. Vasileva, M. Yordanova, M. Ivanova, „Simulation Model of Unsymmetrically - Shaped Grounding Grids for Investigation of the Touch Voltages during Lightning Stroke“, 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), 2018, DOI: 10.1109/SIELA.2018.8447111, Electronic ISBN: 978-1-5386-3419-6.

[6] M. Yordanova, M. Vasileva, R. Dimitrova, M. Ivanova, „A Methodology for Determining the Maximum Touch Voltage in the Grounding Grids Considering the Impulse Resistance“, 19th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), 2016, DOI: 10.1109/SIELA.2016.7543067, Electronic ISBN: 978-1-4673-9522-9.

[7] E. Panov, E. Barudov, M. Ivanova, „Exploration of the Electric Processes in Discrete Alternating Step-Voltage Regulators“, 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), 2018, DOI: 10.1109/SIELA.2018.8447122, Electronic ISBN: 978-1-5386-3419-6.

[8] E. Panov, and M. Yordanova, “Investigations of the possibilities of using abbreviated methodology for determining separation distances for external lightning protection system,” In: Proceedings of XVIII-th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA’2014, 29-31 May 2014, Bourgas, Bulgaria, pp. 161-163

[9] N. Petkova, V. Mladenov, A. Tsolov, P. Nakov, G. Bozukov,. „Study and analysis of systems for monitoring in power substations“. Paper presented at the Recent Researches in System Science - Proceedings of the 15th WSEAS International Conference on Systems 2012, Part of the 15th WSEAS CSCC Multiconference, 402-404. Retrieved from www.scopus.com

[10] N. Petkova, P. Nakov, V. Mladenov, „Real time monitoring of incipient faults in power transformer“. Energy Systems, 2016, 221-240. doi:10.1007/978-3-662-49434-9_9

СЪГЛАСУВАНЕ НАСТРОЙКИТЕ НА МАКСИМАЛНОТОКОВИ ЗАЩИТИ НА ИЗВОДИ И СЕКЦИОННИ ПРЕКЪСВАЧИ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ СРЕДНО НАПРЕЖЕНИЕ

COORDINATING OF THE SETTINGS OF POWER LINES OVERCURRENT RELAY PROTECTION AND BUS BREAKERS IN MEDIUM VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS

Mediha Mehmed-Hamza
Technical University of Varna
mediha.hamza@tu-varna.bg

Abstract

The harmonization of the settings of the relay protection of the equipment is crucial for the selective operation of the protection and the reliable operation of the electric power network.. For the protection of the equipment of medium voltage electric networks from phase to phase faults, overcurrent relay protection and instantaneous overcurrent relay are used.

In cases where it is necessary to use a section or bus circuit breaker protection, in determining the setting, it is necessary to coordinate with the setting of the protection of the terminals to this section (bus). The publication defines the settings for overcurrent protection of medium voltage terminals and section or bus breakers, subject to the requirements for selectivity and sensitivity of the protection.

Keywords: overcurrent relay protection, medium voltage networks, selectivity relay protection, sensitivity relay protection

ВЪВЕДЕНИЕ

За защита на съоръженията в електрически мрежи средно напрежение най-често се използват максималнотокова защита, стъпална токова защита, токова отсечка и земна защита. За защита от междуфазни повреди на изводите средно напрежение се използват максималнотокова защита, токова отсечка или стъпална токова защита [1, 2, 3, 4, 5]. Защити на секционен или шиносъединителен прекъсвач са необходими, ако е приета схема на захранване, при която изводите се захранват от две секции/шини. Към едната шина/секция са свързани изводите, изискващи по-висока сигурност на електрозахранване, а към другата шина/секция през секционен или шинисъединителен прекъсвач са фиксирани останалите изводи. За защита на секционните и шиносъединителните прекъсвачи в уредби 20 kV се използват максималнотокова защита при междуфазни повреди и земна защита при земни съединения [6].

За правилното действие на релейните защити определящи фактори са коректното изчисляване на настройките на защитите и съгласуването на действието между защитите на отделните съоръжения в електрическата мрежа средно напрежение.

Целта на публикацията е да се изведат условията и да се съгласуват настройките на максималнотокови защити на изводи и секционни прекъсвачи в електрически мрежи средно напрежение, като са изпълнени изискванията за селективност и чувствителност на защитите.

ИЗЧИСЛИТЕЛНИ УСЛОВИЯ

Настройката на максималнотокова защита обхваща изчисляване на тока на заработване, времето на заработване и коефициента на чувствителност на защитата.

Максималнотокова защита на изводи

Настройката по ток се определя от максималния работен ток на електропровода по [1, 2, 3, 4, 5]:

$$I_{зз} = \frac{K_c.K_{сп}.I_{раб\max}}{K_{вр}}, A \quad (1)$$

където: K_c - коефициент на сигурност, $K_{вр}$ - коефициент на връщане, $K_{сп}$ - коефициент на самопускане на електрическите двигатели; $I_{раб\max}$ -максималния работен ток в А.

Стойностите на коефициентите при използване на цифрови релейни защити са: $K_с$=1,1, $K_{вр}$= 0,95 и $K_{сп}$= 1 ÷ 5, а при електромеханични релейни защити са $K_с$=1,2-÷1,4, $K_{вр}$= 0,85 и $K_{сп}$= 1 ÷ 5.

В [6] при определяне на първичния ток на заработване е необходимо защитата да е отстроена спрямо най-малкия от допустимите токове на съоръженията, монтирани в изводните килии, както и на проводниците на въздушната линия и жилата на силовия кабел. Необходимо е да се провери и отстройката от максималния възможен работен ток на извода, като се отчитат отклоненията от нормалната схема, т.е. промяната на електрическия товар при аварийни схеми на захранване [6]. Тогава настройката по ток на МТЗ се определя по (2), а се проверява по (1).

$$I_{зз} = \frac{K_c.I_{доп}}{K_{вр}}, A \quad (2)$$

където $I_{доп}$ е допустимия ток на съоръженията, монтирани в изводните килии или на проводниците на въздушната линия и жилата на силовия кабел.

При максималнотоковите защити изискването за селективност на защитата се изпълнява с настройката по време. Времето на заработване на защитата се определя по [1, 2, 3, 4, 5, 6]:

$$t_{ззМТЗn} = t_{\text{зр}МТЗn-1} + \Delta t \quad (3)$$

където $t_{ззМТЗn-1}$ е времето на заработване на предходната защита, а Δt=0,3÷0,5 s - степен на селективност.

Чувствителността на защитата се проверява с коефициент на чувствителност $K_ч$ [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] по:

$$K_ч = \frac{I^{(2)}_{kc\min}}{I_{зз}} \geq 1,5, \quad (4)$$

където $I^{(2)}_{kc\min}$ е разчетният ток при двуфазно късо съединение в края на защитавания електропровод при минимален режим на работа на захранващия източник.

Максималнотокова защита на секционни прекъсвачи

Настройката на максималнотокова защита по ток се определя от най-големия ток на настройка на изводите към захранваната секция/шина и се проверява отстройката от максималния възможен работен ток на потребителите, свързани към нея [6].

$$I_{зз} = K_c.I_{зз\max изв}, A \quad (5)$$

където $I_{зз\max изв}$ е максималния ток на настройка на изводите към захранваната секция (шина), K_c≥1,2 за електромеханични релейни защити (ЕМРЗ) и 1,1 за цифрови релейни защити (ЦРЗ).

По формула (5) се прави проверката:

$$I_{зз} = \frac{K_c.I_{раб\max}}{K_{вр}}, A \quad (6)$$

където K_c=1,2 и $K_{вр}$=0,95 за ЕМРЗ, а за ЦРЗ съответно са 1,1 и 0,95.

Времето на заработване на защитата се съгласува с времето на заработване на МТЗ на изводите, захранвани от съответния секционен или шиносъединителен прекъсвач, със степен Δt=0,4÷0,5 s за ЕМРЗ и 0,3 s за ЦРЗ.

$$t_{зз} = t_{зз\max изв} + \Delta t, s \quad (7)$$

Чувствителността на защитата се определя при двуфазно късо съединение ($I^{(2)}_{kc,\min}$) на секцията в минимален режим [6]:

$$K_ч = \frac{I^{(2)}_{kc,\min}}{I_{зз}} \geq 1,5 \quad (8)$$

В случай, че се променя посоката на захранване, това трябва да се има предвид при определяне на настройката на защитата. Посочно действие на защитата не се изисква [6].

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

При изчисляване на първичния ток на заработване на максималнотова защита на изводите определящ е максималният работен

ток или минималният допустим ток на съоръженията по формули (1) и (2).

Минималният ток при двуфазно късо съединение в края на извода, при който се изпълнява изискването за чувствителност на защитата, може да се определи от формула (4):

$$I_{kc\min}^{(2)} \geq 1,5.I_{зз} \quad (9)$$

В таблица 1 са представени резултати за ток на заработване на максималнотокова защита на изводи средно напрежение в зависимост от големината на максималния работен ток или допустимия ток на съоръженията и необходимата минималната стойност на тока на двуфазно късо съединение в края на извода, за да бъдат изпълнени изискванията за селективност и чувствителност на защитата. Резултатите в таблица 1 се отнасят при настройка на максималнотокова защита с електромеханични релета.

Таблица 1

$I_{рабmax}$	$I_{зз}$, А		$I^{(2)}_{kcmin}$, А	
А	$K_{сп}$=1	$K_{сп}$=5	$K_{сп}$=1	$K_{сп}$=5
50	71	353	106	529
100	141	706	212	1059
150	212	1059	318	1588
200	282	1412	424	2118
250	353	1765	529	2647
300	424	2118	635	3176
350	494	2471	741	3706
400	565	2824	847	4235

В таблица 2 са представени резултатите при използване на цифрова релейна защита за изводи средно напрежение.

Таблица 2

$I_{рабmax}$	$I_{зз}$, А		$I^{(2)}_{kcmin}$, А	
А	$K_{сп}$=1	$K_{сп}$=5	$K_{сп}$=1	$K_{сп}$=5
50	58	289	87	434
100	116	579	174	868
150	174	868	261	1303
200	232	1158	347	1737
250	289	1447	434	2171
300	347	1737	521	2605
350	405	2026	608	3039
400	463	2316	695	3474

Настройката на максималнотокова защита на секционен прекъсвач се определя по формули (5) и (6). Използвайки получените резултати за ток на заработване на максималнотоковата защита, може да се определи и токът на заработване на максималнотоковата защита на секционния прекъсвач ($I_{ззQ}$).

В таблица 3 са представени резултатите за изчисления ток на заработване на максималнотокова защита на секционен прекъсвач при използване на електромеханични релета, а в таблица 4 за цифрови релейни защити.

Таблица 3

$I_{ззmахизв}$, А		$I_{ззQ}$, А	
$K_{сп}$=1	$K_{сп}$=5	$K_{сп}$=1	$K_{сп}$=5
71	353	85	424
141	706	169	847
212	1059	254	1271
282	1412	339	1694
353	1765	424	2118
424	2118	508	2541
494	2471	593	2965
565	2824	678	3388

Таблица 4

$I_{ззmахизв}$, А		$I_{ззQ}$, А	
$K_{сп}$=1	$K_{сп}$=5	$K_{сп}$=1	Kсп=5
58	289	64	318
116	579	127	637
174	868	191	955
232	1158	255	1274
289	1447	318	1592
347	1737	382	1911
405	2026	446	2229
463	2316	509	2547

От изискването коефициента на чувствителност да е по голям от 1,5, се определя и минималният ток при двуфазно късо съединение $I_{kc,\min}^{(2)}$ на секцията (шинната система) от формула (7).

В таблица 5 са показани резултатите за минималните стойности на тока на късо съединение, при които се изпълнява изискването за коефициент на чувствителност по-голям от 1,5 в зависимост от настройката на максималнотоковата защита

на секционния прекъсвач. Резултатите са при използване на електромеханични релета. В таблица 6 са представени резултатите при използване на цифрова релейна защита.

Таблица 5

$I_{ззQ}$, А		$I^{(2)}_{kcmin}$, А	
$K_{сп}$=1	$K_{сп}$=5	$K_{сп}$=1	$K_{сп}$=5
85	424	127	635
169	847	254	1271
254	1271	381	1906
339	1694	508	2541
424	2118	635	3176
508	2541	762	3812
593	2965	889	4447
678	3388	1016	5082

Таблица 6

$I_{ззQ}$, А		$I^{(2)}_{kcmin}$, А	
$K_{сп}$=1	$K_{сп}$=5	$K_{сп}$=1	Kсп=5
64	318	96	478
127	637	191	955
191	955	287	1433
255	1274	382	1911
318	1592	478	2388
382	1911	573	2866
446	2229	669	3343
509	2547	764	3821

Съгласуването на настройките на максималнотоковите защити на изводите и секционен/шинен прекъсвач е задължително условие за селективното действие на защитите. При използване на цифрови релейни защити настройката по ток на максималнотоковата защита на извод и на секционен прекъсвач е с по-ниски стойности в сравнение с електромеханичните защити.

С така определените минимални стойности на тока на двуфазно късо съединение в края се изпълнява изискването за чувствителност на максималнотоковата защита.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изведени са условията, при които максималнотоковата защита на секционен (шинен) прекъсвач и на извод средно напрежение са със селективно действие.

Изчислени са минималните стойности на тока на късо съединение, при които максималнотоковите защити секционен (шинен) прекъсвач и на извод средно напрежение изпълняват изискването за чувствителност.

Получените резултати за настройка на релейните защити на секционен (шинен) прекъсвач и извод средно напрежение могат да бъдат използвани при определяне настройките на защитите в практиката.

ЛИТЕРАТУРА

[1] St. Andreev, Relay Protection, Varna, 2005.

[2] N. A. Avramov, Base of Relay Protection, Sofia, Tehnika, 1986.

[3] M. Berkovich, V.A. Semenov. Fundamentals of technology and operation of relay protection. Moscow, Energy, 1971

[4] S. Vichev, A. Todorova et al, Energy Directory. Sofia, ABS Engineering, vol. 4, 1998

[5] A. M. Fedoseev, Relay Protection of the Electric Power Systems. Moskow, Energy, 1976

[6] Instruction for organization of relay protections and calculation of their settings in the medium voltage distribution networks of "ESO"TSO EAD Bulgaria

[7] Ordinance № 3 regarding the construction of electrical switchyards, switch-gears and power lines, State Gazette, issue 90 and 91/2004, issue 108/2007 and 92/2013 (amendment and supplement). Available from http://www.gli.government.bg/page.php?c=34&page=8 (in Bulgarian).

[8] Ordinance № 16-116 for the technical operation of energy equipment of 8 February 2008. Available from http://www.gli.government.bg/page.php?c=34&page=8. (in Bulgarian)

AN ANALYSIS OF ENERGY RESOURCES IN ROMANIA

Adriana Tudorache, Liviu Marius Cîrţînă, Daniela Cîrţînă

University "Constantin Brâncusi" of Tg-Jiu, №1, Republicii Str., Tg-Jiu, 210135, Romania

Abstract

Energy sector plays an essential role in the national economy and energy security policy. There is a shift from traditional energy pillars, such as coal-fired power plants. That were the main producer of electricity, to an energy sector where hydropower and other renewable energy sources offer the highest part of electricity. Romania cannot cope with a single source of energy to meet its own energy and environmental objectives, and to guarantee sufficient security of supply. Thus much at least is clear that, the energy mix is necessary. The energy strategy project 2016-2020 by 2030 is currently under development. This perspective on the development of electricity production in Romania is based on of the assessment of the macroeconomic, industrial and employment impact on energy scenarios. This paper present a study about the need for an energy mix in Romania.

Keywords: energy mix; energy; power plants; renewable sources; development.

INTRODUCTION

The number of studies on the development of electricity consumption and the use of various technologies based on primary energy sources has become quite high and implicitly the choice of an optimal decision is difficult to take.

The energy strategy project 2016-2020 by 2030 is currently under development. This perspective on the development of electricity production in Romania was elaborated based on the assessment of the macroeconomic, industrial and employment impact on energy scenarios. All these analyses generated main topics of intervention: maintaining a balanced and diversified energy mix; natural gas infrastructure and supply; role of biomass in households heating; high-efficiency cogeneration and modernization of SACET (combined heat and power producers for central heating); increase in energy efficiency in buildings and countering energy poverty.

Romania has the EU's third-lowest dependence on energy imports (below 17%) is expect to exceed 50% in 10 years. The energy mix is one of the most diversified in the EU.

Over the next few years, first-generation energy sources have ended and renewable sources of energy [2-6] will play an increasing role. Between 2020 and 2030, an increased development of solar energy sources is expected. It estimated that from 2030, European electricity [1] demand is going to reach about 48% of renewable energy, 33% of fossil fuels and about 19% of nuclear energy.

Taken account about the climate protection objectives, existing power plants will now have to meet significantly greater flexibility requirements due to the strong expansion of renewable energies [7] in operation.

The expansion of renewable energies and their realistic use can be made to achieve the EU's climate protection objectives by 2020 and 2030 [8, 9].

Romania have to take these measures, like members of the European Union.

1.Analyses of the energy sector in Romania for three years

We collected data about the energy sector from the national energy system of Romania for three years and make a statistics and graphics about the energy sector in Romania [10] what it's the evolution of this sector.

We make an analysis of the installed generating capacities for three years 2015 (Fig.1), 2016 (Fig.2) and 2017 (Fig.3) and we can observe the difference [10], the growing of renewable energy in every year.

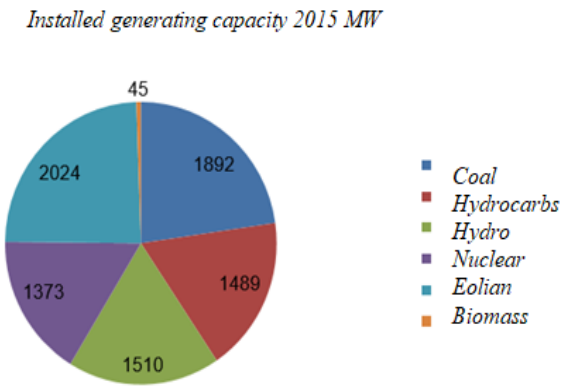


Fig. 1. *Installed generating capacities for Romania in 2015* [10]

In the graphics, (see Figures 1, 2 and 3) we can see the use of energy mix. In Romania the energy from coal is the principal but the renewable energy like eolian and biomass start to have and important part from total energy. In the next years 2016, 2017 we can see the difference about the growing of renewable energy.

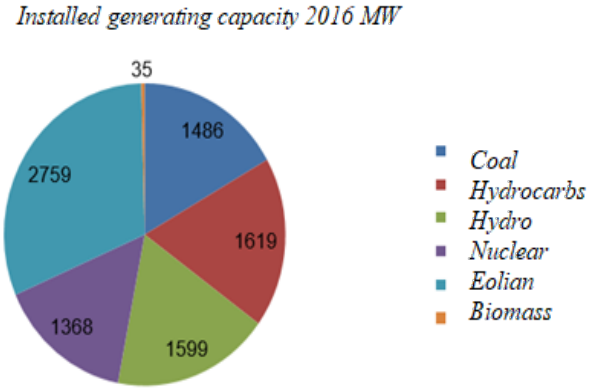


Fig. 2. *Installed generating capacities for Romania in 2016*

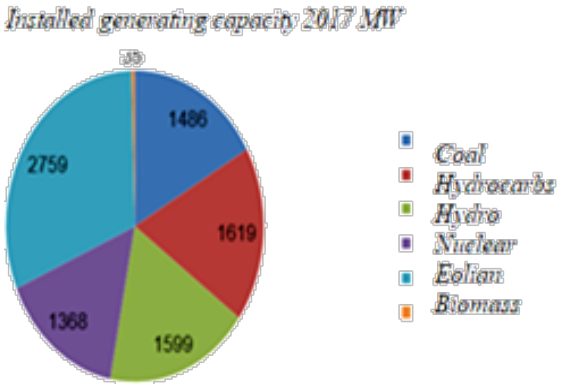


Fig. 3. *Installed generating capacities for Romania in 2017*

Eolian power is clearly the engine for the expansion of renewable energies. Expanding the use of offshore wind energy [15] has been massively advanced.

The same we can say and about the expansion of hydropower capacity relies heavily on the modernization of existing facilities. These facilities, equipped with increased efficiency and additional capacity, significantly increase electricity production.

Expansion of solar energy [13] will largely be guided by enlargement of photovoltaic parks by 2020, before the share of solar thermal power plants plays a larger role from 2020. Solar energy is the form of energy generation that has the greatest discrepancy between production capacity electricity and electricity generation.

The graphics show the evolution of energy from renewable sources, which during this period had an increasing evolution [16] regarding the results of the electricity market monitoring.

From renewable sources, hydroelectric power plants is the first place of energy production, followed by wind power plants, biomass and solar over 2015-2017.

Coal was the most important source for electricity production in 2015-2017 and after the energy from nuclear sector.

From studies and statistics carried out over the period 2007 - 2020 on the development of electricity production in Europe [11], it is noticed that the most sustainable solution is the highest use of the energy mix.

Environment and the economy are equally dependent on avoiding unwanted developments due to short, unilateral decisions. Abrupt abandonment of certain primary energy sources or energy technologies would be economically damaging and environmentally hazardous.

2.Developed of electricity generation until 2030 in Romania

The electricity generation capacity and electricity generation will be developed as follows until 2030 (see Figures 4, 5, 6) [1, 6, 11, 12].

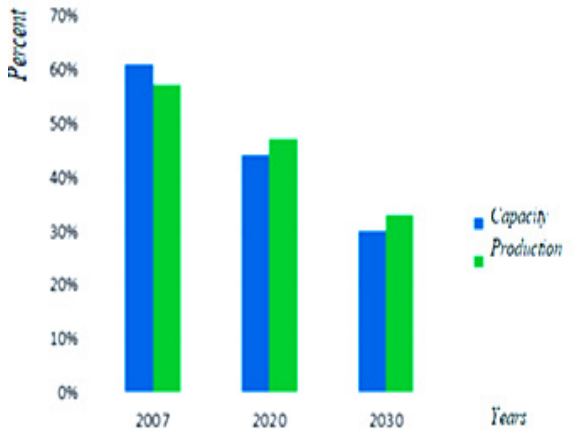


***Fig. 4** Energy from coal*

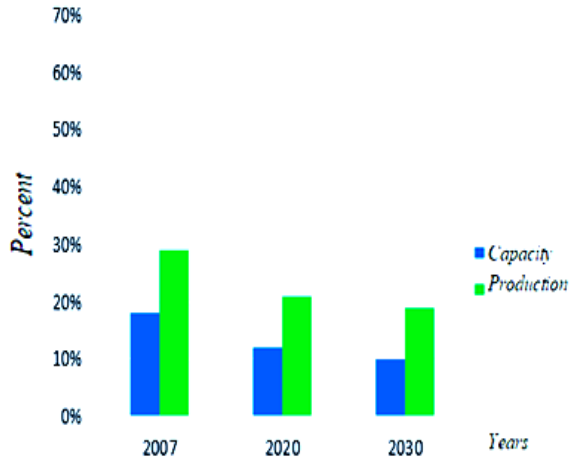


***Fig. 5** Nuclear energy*

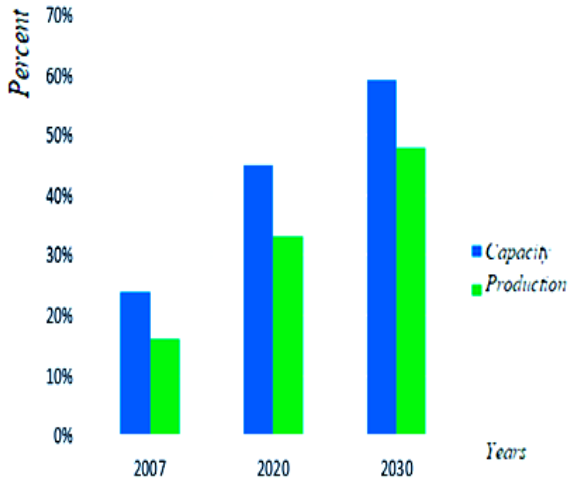


***Fig. 6** Energy from renewable sources*

Analysis shows that the route provided by energy suppliers for the low-carbon electricity production in 2050 seems realistic, but more technology is needed.

The framework conditions for energy policy in the European Member States as well as the legal framework prescribed by the EU will have a significant influence on the development of the electricity mix. The energy policy framework [3, 16, 17] in the EU needs to be consistently conceived. The objectives of energy policy must therefore be agreed between the EU and its Member States. Member States compete for different energy concepts and technologies. In addition, the growing structures, geographic location and geopolitical interests of the EU Member States will be taken into account.

Prediction about energy sector in Romania for the next years with an increase in renewable energy sources (eolian, solar, biomass) and a decrease of the polluting energy sources (coal, nuclear).

Use of new, non-polluting sources of energy that are not yet used because of the high costs (geothermal, tidal energy, waves, water temperature differences) [18].

In this figure (Fig.7) we can see the installed capacity renewable energy in Romania from 2010 until 2017.

We can see that in Romania the energy from geothermal already appear and we can see that the use of renewable energy is growing.

Earth's heat is called geothermal energy and can be harnessed to produce electricity. Many technologies have been developed to take advantage of geothermal energy. This heat can be drawn from several sources: hot water or steam reservoirs deep in the earth that are accessed by drilling; geothermal reservoirs located near the earth's surface; and the shallow ground near the Earth's surface that maintains a relatively constant temperature of 50^0-60^0F.

This key renewable source covers a significant share of electricity demand in countries like Iceland, El Salvador, New Zealand, Kenya, and Philippines and more than 90% of heating demand in Iceland. The main advantages are that it is not depending on weather conditions and has very high capacity factors; for these reasons, geothermal power plants are capable of supplying baseload electricity, as well as providing ancillary services for short and long-term flexibility in some cases.

Other applications apply the heat produced from geothermal directly to various uses in buildings, roads, agriculture, and industrial plants.

Oceans cover more than 70% of the Earth's surface. As the world's largest solar collectors, oceans generate thermal energy from the sun. They also produce mechanical energy from the tides and waves. Even though the sun affects all ocean activity, the gravitational pull of the moon primarily drives the tides, and the wind powers the ocean waves. The main types of ocean energy that are being explored for: 1) Ocean thermal energy conversion; 2) Tidal power and 3) Wave power [20].

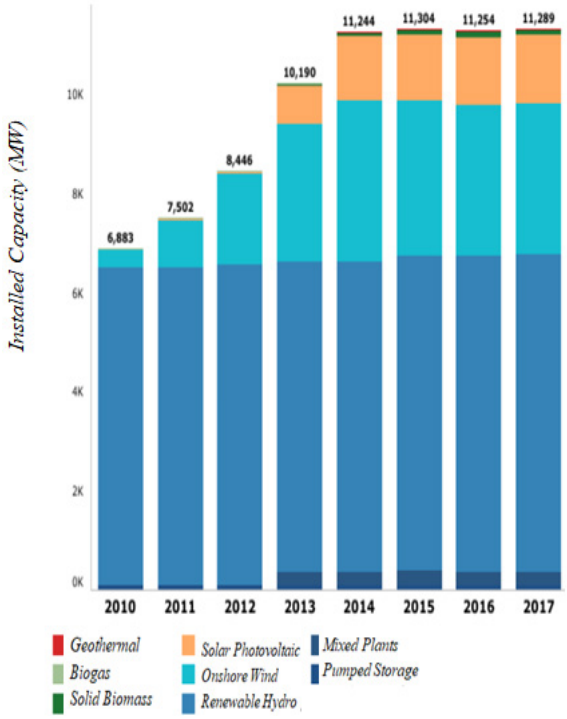


Fig. 7. *Installed capacity renewable energy in Romania* [17]

Elizabeth Rusch wrote in Smithsonian magazine: *Unlike wind and solar power, wave energy is always available. Even when the ocean seems calm, swells are moving water up and down sufficiently to generate electricity. And an apparatus to generate kilowatts of power from a wave can be much smaller than what's needed to harness kilowatts from wind or sunshine because water is dense and the energy it imparts is concentrated. All that energy is also, of course, destructive, and for decades the challenge has been to build a device that can withstand monster waves and gale-force winds, not to mention corrosive saltwater, seaweed, floating debris and curious marine mammals. And the device must also be efficient and require little maintenance* [19].

The most powerful waves occur on western coasts, because of strong west-to-east global winds, so Great Britain, Portugal and the West Coast of the United States are among the sites where wave energy is being developed.

In Romania, on Black Sea coast based on some scenarios which consider average, energetic and extreme wave conditions, like a further step, the influence of a generic wave farm on the nearshore climate was assessed. Simulations were made about wave farm. A general perspective on the wave field evolution is provided by increasing the absorbing property of the farm, from zero to a total absorption.

CONCLUSION

Renewable energies represent much of our energy in the future. They allow future development and represent alternative solutions to our energy and environmental problems. There are more renewable energies that exist, but only few are used by people because they have a high cost. They have advantages that are unique to them: they are inexhaustible, respecting the environment compared to fossil fuels such as coal or oil.

By 2050, fossil fuels remain an important part of energy for Romania, even if the energy agreement focuses on achieving a CO_2 reduction target from 80 to 95% by 2050, which is expected to use renewable energies in - a 16% share of energy production by 2023.

The use of the energy mix is a way of saving energy and implicitly of sustainable economic development, providing clean and renewable energy helps ensure quality of life.

Energy efficiency is a key factor in improving economic, environmental and industrial performance. The overall challenge in this area responding to the needs of a growing population while providing concrete solutions to help mitigate the effects of climate change. Reducing carbon emissions and increasing energy from sources such as renewable energies will help ensure the security and sustainability of energy sources for future generations.

REFERENCE

[1] EUROPROG, Statistics and prospects for the European electricity sector, Oktober (2009).

[2] Beck, F., Martinot, E. Renewable energy policies and barriers. Encycl. Energy, 34 (2004) 365–383.

[3] Verbruggen, A., Fischedick, M., Moomaw, W., Weir, T., Nadaï, A., Nilsson, L.J., Nyboer, J., Sathaye, J. Renewable energy costs, potentials, barriers, Conceptual issues. Energy Policy, 38 (2010) 850–861.

[4] Lund, H. Renewable energy strategies for sustainable development. Energy, 32 (2007) 912–919.

[5] Panwar, N.L., Kaushik, S.C., Kothari, S. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. Renew. Sustain. Energy Rev., 15 (2011) 1513–1524.

[6] EEA, Renewable energy in Europe 2017: recent growth and knock-on effects, EEA Report No 3/2017, Copenhagen (2017).

[7] EurObserv'ER, The State of Renewable Energies in Europe, 15th edition, (2015).

[8] Meinshausen, M., Jeffery, L., Guetschow, J., Robiou du Pont, Y., Rogelj, J., Schaeffer, M., Höhne, N., den Elzen, M., Oberthür, S., Meinshausen, N. National post-2020 greenhouse gas targets and diversity-aware leadership. Nat. Clim. Chang., 306 (2015) 1–10.

[9] Annual Energy Outlook 2008With Projections to 2030; DOE/EIA-0383 (2008).

[10] http://www.transelectrica.ro/web/tel/sistemul-energetic-national, (2018).

[11] http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports/ro, (2018).

[12] Tang, L.; Yu, L.; He, K. A novel data-characteristic-driven modeling methodology for nuclear energy consumption forecasting. Appl. Energy, 128 (2014) 1–14.

[13] Inman, R.H.; Pedro, H.T.C.; Coimbra, C.F.M. Solar forecasting methods for renewable energy integration.Prog. Energy Combust. Sci., 39 (2013) 535–576.

[14] windeurope.org, (2018).

[15] http://www.anre.ro, (2018).

[167] René Kemp, 1997. "Environmental Policy and Technical Change," Books, Edward Elgar Publishing, number 1187, (2018).

[17] Orecchini, F.; Santiangeli, A.; Valitutti, V. Sustainability science: Sustainable energy for mobility and its use in policy making. Sustainability, 3 (2011) 1855–1865.

[18] http://www.irena.org, (2018).

[19] Elizabeth Rusch, Smithsonian magazine, July (2009).

[20] U.S. Department of Energy, (2018).

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

ДИЕЛЕКТРИЧНИ СВОЙСТВА НА СЕГНЕТОКЕРАМИКА ОТ ТВЪРДИ РАЗТВОРИ НА БАРИЕВ ТИТАНАТ-БАРИЕВ СТАНАТ

DIELECTRIC PROPERTIES OF THE FERROCERAMICS PREPARED BY SOLID SOLUTIONS OF BARIUM STANNATE TITANATE

Ivaylo Lazarov
Technical University of Gabrovo

Abstract
$BaSn_xTi_{1-x}O_3$ solid solutions with Sn content (x=0.05, 0.2) prepared by solid state reaction method are studied. The temperature dependencies on the dielectric permittivity and tangent of the dielectric losses have been obtained. With increasing Sn content the values of the dielectric permittivity and the Curie temperature decreases. The values of the tangent of the dielectric losses decrease with increasing Sn content.

Keywords: barium stannate titanate, dielectric permittivity; tangent of the dielectric losses.

ВЪВЕДЕНИЕ

Бариевият титанат е обещаващ материал, притежаващ изключителни свойства като високи стойности за относителната диелектрична проницаемост (ε_r), ниски стойности за тангенс от ъгъла на диелектричните загуби (tgδ), висок коефициент на електромеханична връзка, нелинейна зависимост на относителната диелектрична проницаемост от интензитета на електрическото поле [1].

За промяна на свойствата на бариевият титанат се използват легиране както с йони, заместващи бариевите йони, така и йони заместващи титановите. Бариевите йони се заместват със стронциеви [2], калциеви [3], оловни [4] и др. Йоните на титана се заместват с циркониеви[5], калаени[6] и др. При достатъчна разтворимост се получават твърди разтвори.

При заместването на титановите йони с калаени се изменят в широки граници температурата на Кюри и максималната стойност на относителната диелектрична проницаемост.

При изследване на твърди разтвори на бариев титанат-бариев станат при заместване на 10% от титановите йони с калаени са получени високи стойности за относителната диелектрична проницаемост (ε_r=4600), а температурата на Кюри се понижава приблизително до 50°C [7].

В работа [8] са изследвани тънки филми от бариев титанат – бариев станат с различни количества калени йони (x=0, 0.05, 0.10, 0.15). Установено е, че с увеличаване съдържането на калаените йони фазовият преход се измества към температури близки до стайната.

Получена чрез твърдофазна реакция керамика от $BaTi_{1-x}$ Sn_xO_3 (x=0 до 0.15) е изследвана в [9]. С повишаване съдържанието на калаените йони се увеличава относителната диелектрична проницаемост и се понижава температурата на Кюри.

Цел на настоящата работа е да се изследват температурните зависимости на относителната диелектрична проницаемост (ε_r) и тангенс от ъгъла на диелектричните загуби (tgδ) на материали от твърди разтвори на бариев титанат – бариев станат $BaTi_{1-x}$ Sn_xO_3 (x=0.05 до 0.2) при различни честоти.

ИЗЛОЖЕНИЕ

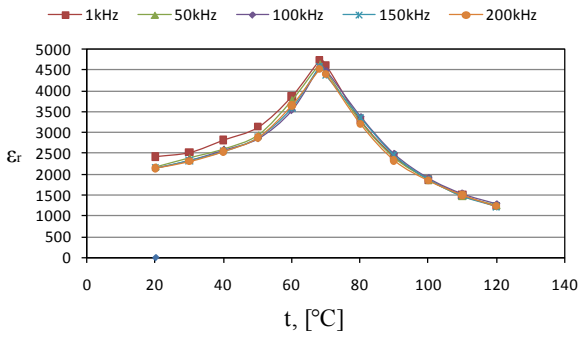
Изследваните материали са получени по стандартна керамична технология. Използваните изходни компоненти са бариев карбонат ($BaCO_3$), титанов диоксид (TiO_2) и калаен диоксид (SnO_2). След подготовка на изходните компоненти и тяхното притегля-

не е проведено смилане и хомогенизиране в планетарна мелница „Pulvilizer 5” в среда от дейонизирана вода в продължение на 4h. След изсушаване е прибавен 5% разтвор на поливинилов алкохол и съставите са гранулирани. При достигане на необходимата влажност на праховете е проведено пресоване на образците във формата на дискове. Тези образци се изсушават при температура 120°C за отстраняване на влагата.

Синтезирането на материалите е извършено във въздушна среда, върху алундова подложка, покрита с прах от TiO_2. Синтезът на материалите е извършен при температура 1250°C в продължение на 5h. За осъществяване на електрически контакт е използвана сребърна паста, спечена при 900°C в продължение на 1h.

За измерване на диелектричните характеристики е използван прецизен LCR метър Applent AT2816A.

На фиг. 1. са показани температурните зависимости на относителната диелектрични проницаемост за материали, получени от твърд разтвор на $BaTi_{0.95}Sn_{0.05}TiO_3$ при пет различни честоти f=(1, 50, 100, 150 и 200)kHz.

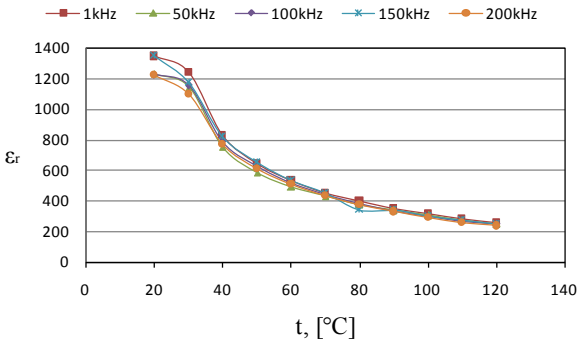


***Фиг. 1**. Температурни зависимости на относителната диелектрична проницаемост за материали от твърд разтвор на $BaTi_{0.95}Sn_{0.05}O_3$ при различни честоти*

Максимум в температурните зависимости на относителната диелектрична проницаемост е получен при температура 68°C при всички честоти. Стойностите на относителната диелектрична проницаемост са най-високи при честота 1kHz, както при стайна температура, така и в максимума на температурната зависимост на относителната диелектрична проницаемост.

Относителната диелектрична проницаемост намалява с увеличаване на честотата, като в честотния интервал (50÷200)kHz стойностите на ε_r не се различават съществено.

Температурните зависимости на относителната диелектрична проницаемост за материали, получени от твърд разтвор на $BaTi_{0.8}Sn_{0.2}TiO_3$ при различни честоти са показани на фиг. 2.

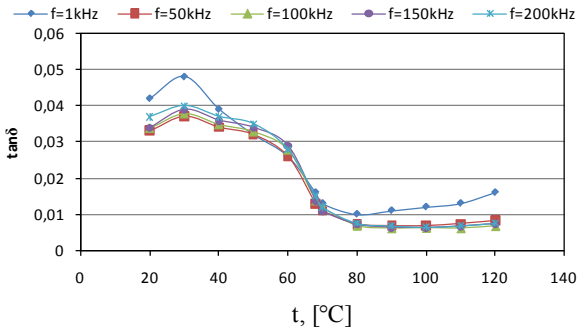


***Фиг. 2**. Температурни зависимости на относителната диелектрична проницаемост за материали от твърд разтвор на $BaTi_{0.8}Sn_{0.2}O_3$ при различни честоти*

С увеличаване на температурата в изследвания температурен диапазон не се наблюдават максимуми на относителната диелектрична проницаемост. При различните честоти стойностите на ε_r са близки. Получените стойностите за относителната диелектрична проницаемост са по-ниски в сравнение със тези на материали от твърд разтвор на $BaTi_{0.95}Sn_{0.05}O_3$.

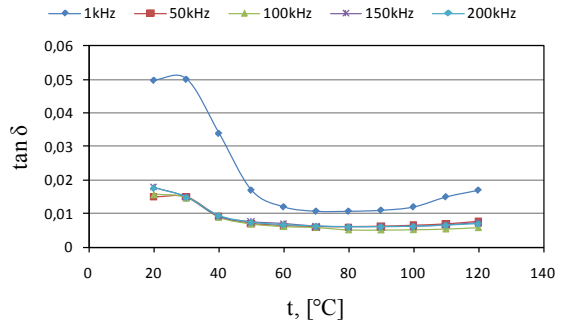
Температурните зависимости на тангенса на ъгъла на диелектричните загуби при различни честоти са показани на фиг.3.

При всички честоти са получени високи стойности за tgδ при стайна температура, като най-високи стойности за tgδ са получени при честота 1kHz. В температурните зависимости на tgδ се наблюдава слабо изразен максимум при температура около 25°C. С повишаването на температурата до 80°C tgδ намалява. При температури над 80°C tgδ се повишава, като най-силно е повишението при честота 1kHz.



***Фиг. 3**. Температурни зависимости на тангенс от ъгъла на диелектричните загуби за материали от твърд разтвор на $BaTi_{0.95}Sn_{0.05}O_3$ при различни честоти*

Получените температурни зависимости на tgδ за материали от твърд разтвор на $BaTi_{0.8}Sn_{0.2}TiO_3$ са показани на фиг. 4.



***Фиг. 3**. Температурни зависимости на тангенс от ъгъла на диелектричните загуби за материали от твърд разтвор на $BaTi_{0.8}Sn_{0.2}O_3$ при различни честоти*

Високи стойности за tgδ са получени при честота 1kHz. Стойностите на tgδ при останалите честоти са близки, като в температурния интервал (40÷120)°C не се наблюдава съществено изменение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получени са материали от твърди разтвор на бариев титанат $BaTi_{1-x}$ Sn_xO_3 (x=0.05 до 0.2) по стандартна керамична технология. Изследвани температурните зависимости на относителната диелектрична проницаемост (ε_r) и тангенса от ъгъла на диелектричните загуби (tgδ) при различни честоти.

По-високи стойности за относителната диелектрична проницаемост (ε_r) са получени за материали от твърд разтвор на $BaTi_{0.95}Sn_{0.05}TiO_3$. За тези материали се наблюдава максимум в температурната зависимост на относителната диелектрична проницаемост при всички честоти. При честоти от 50kHz до 200kHz са получени по-ниски стойности за tgδ за материали от $BaTi_{0.8}Sn_{0.2}TiO_3$. При всички материали се наблюдава понижаване на tgδ с повишаване на температурата.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Jaffe B., W. Cook, H. Jaffe. Piezoelectric ceramics, Academic Press, London, 1971.

[2] Golmonammad M., A. Nemati, M.A.Maghihi. Synthesis and dielectric properties of nanocrystalline $BaSrTiO_3$. International Journal of Modern Physics: Conference Series, Vol.5, 2011, pp.188-195.

[3] Salman S.A., F.T.Hassain, N.A.Bakr. Structural study of $Ba_{1-x}Ca_xTiO_3$ ceramic perovskite material using X-ray diffraction analysis. Journal of Nanotechnology and Advanced Materials, Vol.4, 2006, pp.1-7

[4] Moda H.A., HRD and electric properties of lead barium titanate ferroelectric ceramic. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol.5, 2011, pp.1472-1477.

[5] Takanori H., M.Nishida, T.Araki, T.Ohno, T.Kawacha, M. Murasugi, H.Tabati, T.Kawai. Dielectric properties og $Ba(ZrTi)O_3$ thin filmsfabricated by pulsed laser deposition. JLMN – Journal of Laser Micro/Nanoengineering, Vol.2, 2007, pp.166-169.

[6] Wei X., X.Yao. Preparation, structure and dielectric property of barium stannate titanate ceramics. Materials Science and Engineering B, Vol. 137, 2007, pp. 184-188.

[7] Ansari A.M., K.Sreenivas. Thermogravimetric, dielectric and structural properties of $BaSn_{0.1}Ti_{0.9}O_3$ prepared by solid state route. AIP Conference Proceedings, Vol.1, AnArbor, 29-30July,2009,pp.1-4.

[8] Zhai J., X.Yao, B. Shen, L. Zhang. Dielectric properties $Ba(Sn_xTi_{1-x})$ thin films grown by sol-gel process. Journal of the American Ceramic Society, Vol.87, 2005, pp. 2223-2227.

[9] Markovic S., M. Mitric, D. Uskovic. Preparation and properties of $BaTi_{1-x}Sn_xO_3$ multilayered ceramics. Journal of European Ceramic Society, Vol.27,2007, pp.505-509.

DISPERSION OF POLLUTANTS AT ROVINARI POWER PLANT

Adriana Tudorache, Mihai Cruceru

University "Constantin Brâncusi" of Tg-Jiu, №1, Republicii Str., Tg-Jiu, 210135, Romania

Abstract

The accelerated development of the global industry has led to the increase of pollutant emission in the atmosphere, which has a negative effect on fauna and flora. The phenomenon has highly increased after 1970, which alerted the governments.

It seems that the environmental pollution through the uncontrolled human activity reaches the "critical threshold" exceeding the limits of nature defence, thus endangering the existence of life on Terra.

In this paper, we have carried out a study of dispersion of pollutants resulted from solid fuel combustion at the power plant Rovinari. We study the spatial distribution of pollutants for different cases of the functioning of energetic groups.

Keywords: pollution, dispersion, model, desulphurisation, coal, case.

INTRODUCTION

The current stage of pollution at Rovinari CTE depends on the modernisations made to the thermo energetic equipment used, to the exploitation staff, to the quality and characteristics of the fuel used.

In this moment, at Rovinari the energetic groups no. 3 and 6 are modernised, being implemented desulphurisation installations of combustion gases, and the energetic groups no. 4 and 5 are going to be modernised.

Pollutant dispersion does not depend only on the activity of thermoelectric power plants, but also on the auxiliary activities, since they are sources of pollutants, namely: the quarries pertaining to the Company Complex Energetic Oltenia S.A., fuel administration, evacuation and deposition of slag and ash.

In order to meet the technical requirements for assessing pollutant transport at regional scale an Euler numerical model called TAPM (The Air Pollution Model) was used, being a combined mode of meteorology-dispersion.

With this application five cases of pollutant dispersion have been studied, namely: without desulphurisation installation, with a desulphurisation installation, with two desulphurisation installations, with three desulphurisation installations and with four desulphurisation installations.

An efficiency of the use of desulphurisation installation of combustion gases can be observed gradually after this study.

Pollution particles adversely affect the whole environment.

The large quantities of particles [6] must be dispersed on a surface as extended as possible, because particles have negative effects on flora and fauna. The higher the concentration is, the more significant the negative effects are.

The particles with dimensions exceeding 10 μm are retained in the superior airways and are eliminated fast.

The particles with inferior dimensions to the sedimentary ones are extremely important from a meteorological point of view, since they constitute water vapour condensation nuclei. The particles with a diameter smaller than 10 μm remain suspended in the atmosphere and from a qualitative point of view, the individual

particles are classified into *coarse* and *fine* particles, depending on their diameter, if it is bigger or smaller than 2,5 μm. The particles smaller than 10 μm are called "breathable aerosols" and can reach during respiration up to the level of pulmonary alveoli, having a high noxious potential.

There are many common terms for atmospheric particles: "dust" and "soot" refer to solid particles, "fog" and "mist" refer to liquid particles, the latter designating a high concentration of water drops.

When air quality is monitored, the most common measure of suspended particle concentration is the index **PM** (Particulate Matter = substance under the form of particles) [5], designating the quantity of substance under the form of particles present in a certain volume.

The usual units are micrograms of substance in particles per cubic metre of air ($\mu g/m^3$).

In the last years, the government agencies of many countries have monitored PM10, namely total concentration of particles with diameters smaller than 10 μm, which corresponds to all fields of fine particles, plus the smallest classes of coarse particles, all these being called particles that can be inhaled. A PM10-type value in an urban settlement is of 30 $\mu g/m^3$.

The index PM2,5 is highly used, which comprised all fine particles with a diameter below 2,5 μm, called also *breathable* particles.

The new term of *superfine* is used for particles with very small diameters, usually smaller than 0,05μm (50 nm), although various scientists use different values. In the past, instead of PM index the total suspended particles (TSP) were reported, representing the concentration of all substances under the form of air particles.

THE DISPERSION OF ATMOSPHERIC POLLUTANTS

The forecasting levels of environmental air generated by all the sources corresponding to the studied objective were made through the mathematical modelling of concentration fields.

By the year in which the limit values enter in force, the accepted value is equal with the sum of the limit value and the margin of tolerance. The margin of tolerance is decreasing annually, so that beginning with 1 January of the year in which the limit value enters into force, the tolerance margin becomes zero [1].

The role of pollutant dispersion modelling in the process of air quality assessment is very important, representing an important instrument in the development of action plans for the improvement of air quality, which represents the final aim and objective environmental public authorities.

The modelling improves the efficiency of air quality management. By modelling, the contribution of different categories of sources to the limit value exceedance can be identified.

Another major advantage of using pollutant modelling in the air in managing and assessing air quality is the improvement of the capacity to represent the distribution of pollutant concentration spatially, with application from regional scale. Furthermore, the modelling will contribute to the establishment of the compliance or non-compliance to the quality objectives laid down by the legislation in force, laid down by the legislation in force helping in the same time to the identification of regions which could contain areas where the limit values are exceeded.

With this regard, the paper comprises a study of pollutant dispersion modelling at local and regional scale which would concentrate on the assessment of the impact on air quality generated by high combustion installations of Rovinari CTE, namely: two large combustion installations type I, with a thermal power higher than 500 MWt formed of 4 energetic groups which comprise a tower boiler of 1035 t/h, steam turbine FIC type with condensation, electric generator of 330 MW and

transformer of 400 MVA, 24/400 kV.

The forecasting of air pollution – mathematical modelling of pollutant dispersion in the environmental air and the elaboration of dispersion maps were performed for the following situations:

- the functioning of all four energetic blocks without desulphurisation installations of combustion gases;
- the functioning of three energetic blocks without desulphurisation installations of combustion gases and of an energetic block with a desulphurisation installation of combustion gases;
- the functioning of two energetic blocks without desulphurisation installations of combustion gases and of two energetic blocks with a desulphurisation installation of combustion gases;
- the functioning of an energetic block without a desulphurisation installation of combustion gases and of three energetic blocks with desulphurisation installations of combustion gases;
- the functioning of all four energetic blocks with desulphurisation installations of combustion gases.

Apart from the functioning of energetic blocks corresponding to desulphurisation installations [2], there were taken into account the modernisation of the existent filters of every group and the mounting of burners with reduced NOx.

The dispersion study [4] will take into account the values of regional fund concentrations induced by the pollutant transport from mesoscale to regional scale.

Only the combustion installations within Rovinari CTE have been taken into consideration as emission sources, represented by 3, 4, 5 and 6 energetic blocks, considering their functioning in 5 different cases, corresponding to different implementation stages of the new measures emissions reduction for each energetic block [3] – represented by the functioning of the desulphurisation installations of combustion gases, the modernisation of existent filters and the installation of burners with reduced NOx – as follows:

Case "1" – before the desulphurisation installation starts functioning:

- the functioning of 3, 4, 5 and 6 energetic blocks without desulphurisation installations;

Case „2" – after the first desulphurisation installation starts functioning, to the 3 energetic block ;

- the functioning of the 3 energetic block with desulphurisation installation, with the evacuation of combustion gases through the new FGD chimney no. 3;
- the functioning of the 4, 5 and 6 energetic block without desulphurisation installation, with the evacuation of combustion gases through the existent chimney no. 1;

Case „3" – after the second desulphurisation installation starts functioning, to the 6 energetic block:

- the functioning of the 3 and 6 energetic block with desulphurisation installation;
- the functioning of the 4 and 5 without desulphurisation installation;

Case „4" – after the third desulphurisation installation starts functioning, to the 4 energetic block:

- the functioning of the 3, 4 and 6 energetic block with desulphurisation installation;
- the functioning of the 5 energetic block without desulphurisation installation;

Case „5" – after the fourth desulphurisation installation starts functioning, to the 5 energetic block:

- the functioning of the 3, 4, 5 and 6 energetic block with desulphurisation installation.

DISPERSION MODEL USED

The mode used is called TAPM (The Air Pollution Model) and is a combined model of meteorology –

dispersion.
In order to meet these technical requirements for the assessment of pollutant transport, an Euler numerical model.
The meteorological compound of TAPM is a forecast, incompressible, non-hydrostatic model, of primitive equation solved in coordinates which monitor topography.
The dispersion Euler model consists of telescopic solution (the model can roll in "nest" mode) of the concentration Euler equation representing advection, diffusion and chemical reactions.

Processes of dry and moist deposition are also included.

The concentration forecast equation is similar with that used for the potential virtual temperature and the specific humidity variables from the meteorological model.
Entry data are formed of the meteorological data and the data related to the field.
Output data are represented by the concentration fields from the defined cells of the calculation grills. TAPM generated in all the cells of calculation grills, hour average concentrations, means on 8 hours, daily means, as well as annual means, percentiles and other statistical values important in the assessment of air quality.

Table 1 *Maximum concentrations obtained by modeling the different averaging intervals on grid computing*

Pollutant	Averaging time	Limit values (VL) [µg /m^3]	Maximum concentrations [µg /m^3]					% din VL				
			Whitout IDG	Whit 1 IDG	Whit 2 IDG	Whit 3 IDG	Whit 4 IDG	Whitout IDG	Whit 1 IDG	Whit 2 IDG	Whit 3 IDG	Whit 4 IDG
NO_2	1 h	200	84,97	107,20	138.40	147,59	183,35	42,49	53,60	69.20	73,80	91,68
	year	40	5,13	8,71	13.65	16,21	21,02	12,85	21,80	34.13	40,53	52,56
NOx	year	30	7,70	13,07	20,48	24,31	31,53	25,69	43,59	68,27	81,06	105,12
SO_2	1 h	350	1011,07	835,05	716,48	436,48	212,79	288,88	238,59	204,71	124,71	60,80
	24 h	125	348,54	298,41	271,48	147,46	75,18	278,83	238,73	217,19	117,97	60,15
	year	20	64,27	58,89	53,84	38,65	26,32	321,38	294,49	269,23	193,27	131,61
PM_{10}	24 h	50	2,04	2,06	1,77	1,46	0,02	4,10	4,13	3,56	2,93	0,05
	year	40	0,79	0,80	0,67	0,56	0,01	1,98	2,00	1,69	1,42	0,03

*IDG - installation of flue gas desulphurisation

Analysing the measurement results it is observed that after the introduction of the desulphurisation installations of combustion gases (IDG) at the four energetic blocks the SO_2 percentage decreases from 262,95% to 131,61%, in exchange the NO_x percentage increases from 21,02% when IDG are not mounted to 105,12% when IDG are mounted at all energetic groups.
Spatial distribution of daily maximum concentration measures is based on comparative dispersion maps.

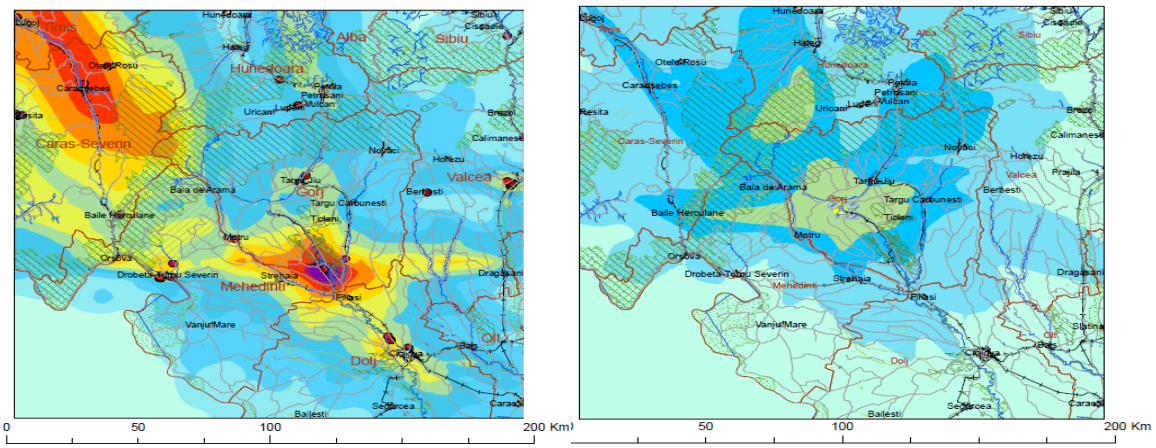


***Figure 1**. Spatial distribution of maximum daily SO_2 concentration in case 1 and case 5 (without IDG and with 4 IDG) - impact on a regional scale*

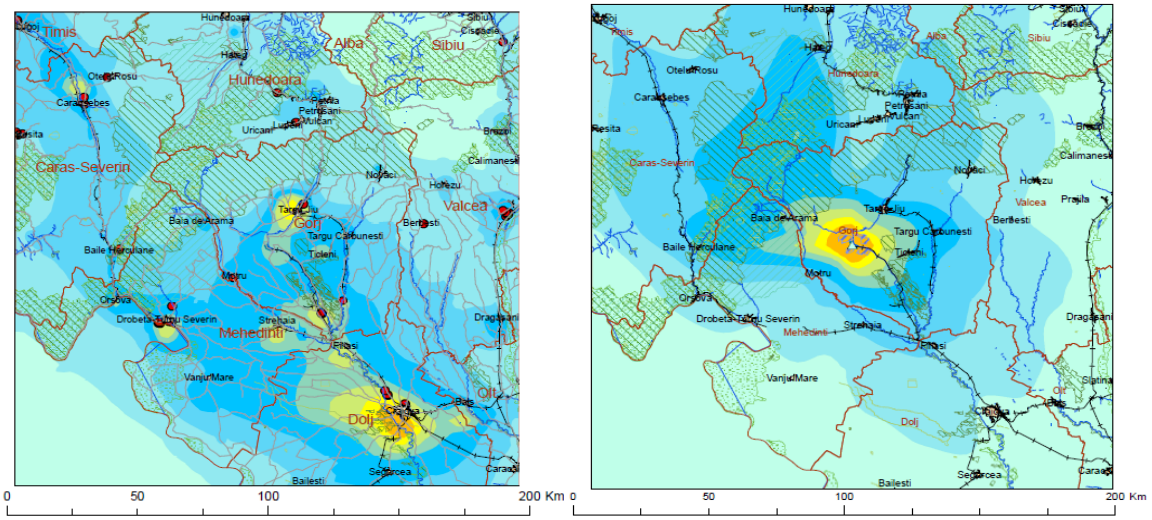


***Figure 2**. Spatial distribution of maximum daily NO_2 concentration in case 1 and case 5 (without IDG and with 4 IDG) -impact on a regional scale*

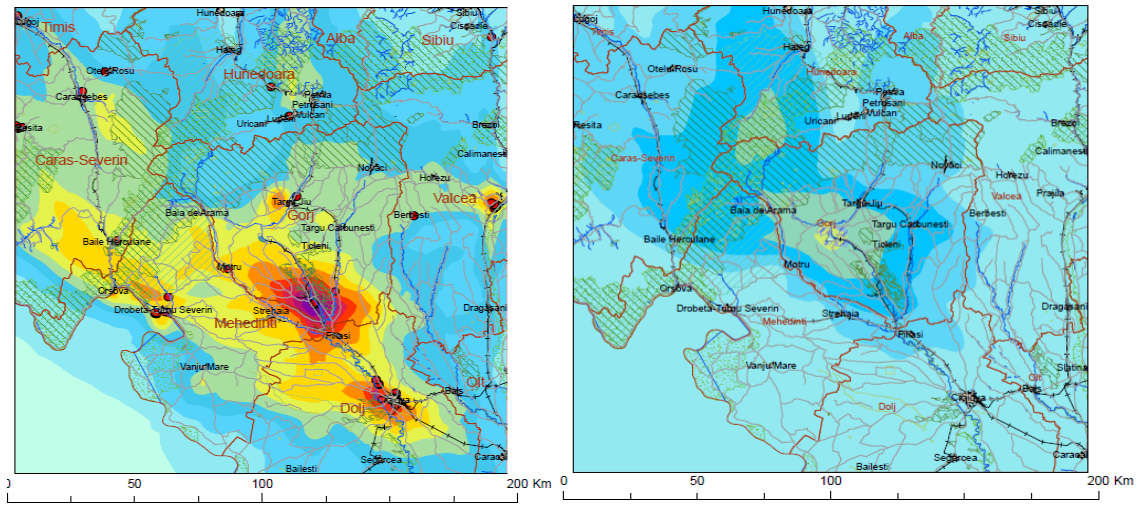


***Figure 3.** Spatial distribution of maximum daily PM10 concentration in case 1 and case 5 (without IDG and with 4 IDG) - impact on a regional scale*

CONCLUSION

Analysing the measurement results it is observed that after the introduction of the desulphurisation installations of combustion gases (IDG) at the four energetic blocks the SO_2 percentage decreases, in exchange the NO_x percentage increases. The conclusion is that the measures for reducing SO_2 lead to the modification of NO_x content. The same situation is encountered in the other measurement areas of pollutant concentrations. In order to reduce pollutant emissions is mandatory to reduce NO_x through corresponding methods.

Taking into account these aspects, it can be stated that compared to the real possible functioning situations, in the analysed scenarios the levels of pollution generated by IMA operation within Rovinari CTE through an exclusive impact have been overestimated.

Case 1 represents the most unfavourable as possible, related to the impact of the functioning of large combustion installations of Rovinari CTE on the environmental air quality[6], since it treats the simultaneous functioning of all the 4 energetic blocks of the power plant, without any improvement brought to the systems of emission reduction/control (equipment of energetic blocks with desulphurisation installation, burners with
reduced NOx and modernisation of electrofilters).

The same hypotheses regarding boiler's load, number of functioning hours per year and participation of fuel used have been made for the scenarios 1, 2, 3 and 4. In addition, it is specified that, until the functioning of all four energetic blocks with the new systems of emission reduction/control, the analysed situations within 1, 2, 3 and 4 scenarios will have a slight occurrence probability, because for the gradual mounting, for every energetic block of these systems, one block of 4 will be always in crucial repairs with modernisation, being not functional, and in these conditions the impact on air quality is due to the input of only three blocks of four.

The theoretical and experimental researches in the paper prove that pollutant formation is a complex process which depends on the following factors: thermo energetic equipment, exploitation staff, used fuel and its quality, as well as series of economic factors.

The polluting emission cannot be totally eliminated, but there are efforts to reduce them within the limits required by the regulations on environmental protection, through a continuous research, modernisation and increase of the efficiency of thermo energetic installations.

REFERENCE

[1]. Pasquill F.- Atmospheric diffusion.The dispersion of windborne material from industrial and other sources, D.van Nostrand Companz Ltd., London,1962

[2].Ataman E. – Reducerea emisiilor de bioxid de sulf prin desulfurarea gazelor de ardere, Energetica, seria A, nr.2, 1994, p.242-248

[3].Savu A. – Reducerea emisiilor de SO_2 în focarele cazanelor energetice cu funcționare pe combustibil solid, ICPET, Bucureşti, 2000

[4].Țuțuianu, O., Anghel, M.: Metodologie de evaluare operativă a emisiilor de $S0_2$, NO_x, pulberi (cenuşă zburătoare) şi $C0_2$ din centralele termice şi termoelectrice, PE-10G1/1994,ICEMENERG, Bucureşti, 1994

[5].**** World Meterological Organization, Dispersion and forcasting of air pollution, Tehnical note no.121

[6]. UNIPEDE, Air Quality Control

MOBILE LED SYSTEM BASED ON PV-SYSTEM

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

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

Romanova Tetiana Ivanivna
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

Tereshchenko Yurii Petrovych
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

Abstract: *An assessment of the potential for using solar energy is given. The problems of using solar energy are addressed and a solution is given.*

Keywords: solar energy, problems of solar energy, PV system, LED system.

INTRODUCTION

In the course of its development, mankind is constantly addresses three interrelated challenges: the food supply, the establishment of natural and artificial environments for the normal functioning and energy security.

In modern conditions the first place is given to energy conservation. The global energy sector is already for a long time is not stable. This is due to many factors, but especially with the energy and environmental policy. As the old energy sources have a number of disadvantages, namely:

1) exhaustibility - according to the International Energy Agency[8], world oil reserves left for 40-50 years, fuel - 40 years, gas - 70 years, coal - 300 years;

2) environmentally unfriendly - because of rapid technological development anthropogenic emissions in the air long exceeded natural and reached values of greater than 20 billion tonnes, including: CO2 - 17 billion tonnes, dust and particulates - 200-250 million tons of CO - 30 million tons to 150 million tons of sulfur oxides, 70 million tons of nitrogen oxides, etc.

Until 2000, according to various sources, mankind consumed about (58-65%) * 10^{10} tons of standard fuel (energy per ton of standard fuel is equivalent to 2.93 * 10^7 kJ), but the most important thing is that half of the energy used is last quarter century.

Modern energy is mainly based on the use of minerals - coal, oil, natural gas, which are non-renewable (exhaustible) sources of energy, but coal, oil and gas are not only fuel, but also an important raw material for the chemical industry. Use this raw material as fuel, - as D.I. said Mendeleev, is the same as stoking a stove with bank notes.

It is because of this began to actively develop renewable energy sources, but it is the development and implementation of the energy system was very slow. At this time, the EU decided to act, and adopted a "Plan 20-20-20", which is based on:

- 20% reduction in EU greenhouse gas emissions (or 30% in the framework of international agreements);
- 20% share of energy from renewable sources;
- 20% increase in energy efficiency.

These targets are to be achieved by 2020. A final objective of the plan is to limit the average global temperature rise to 2 degrees.

By 2016, the statistics on the share of renewable sources in the world is as follows (Table 1):

Table 1

The share of renewable sources in the world

A country	*The share of renewable sources,%*
China	*35*
Japan	*24*
India	*18*
USA	*10*
New Zealand	*22*
Turkey	*12*
Chile	*11*
Australia	*10*
European Union	*18*
Sweden	*55*
Finland	*39*
Latvia	*37*
Austria	*33*
Denmark	*32*
Estonia	*29*
Portugal	*23*
Croatia	*28*
Lithuania	*26*
Romania	*25*
Slovenia	*21*
Bulgaria	*19*
Italy	*17*
Spain	*23*
France	*16*
Greece	*15*
Czech	*15*
Germany	*25*
Hungary	*13*
Slovakia	*12*
Poland	*11*
Ireland	*9*
Cyprus	*9*
The United Kingdom	*12*
Belgium	*8*
Malta	*6*
Netherlands	*6*
Luxembourg	*5*
Other countries	*<5-10*

Consider the global statistics of the annual addition of renewable power from 2012 to 2018. (Fig.1)

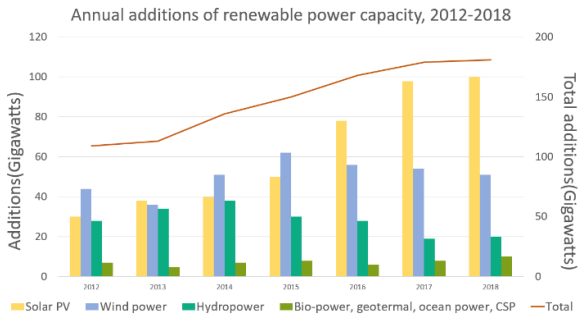


Fig. 1. *- The annual addition of renewable power in the world for the year 2012-2018*

From Figure 1 we can see that the share of energy produced from the sun is the greatest. If we consider the use of energy, we see that on 26.2% of the renewable energy have to only 2.4% solar energy accounts for (Fig. 2). It can be concluded that it has an inexhaustible potential which unfortunately is used at very low levels.

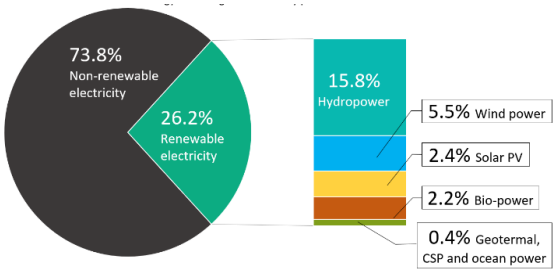


Fig. 2. *- Estimated share of renewable energy in the global electricity production in 2018*

As mentioned earlier solar energy potential unimaginably high and is virtually inexhaustible, according to preliminary estimations of scientists coming 4 billion years, the sun will still give energy. The last decades of the solar potential is widely used by mankind to produce energy using PV systems. Despite the obvious advantages of such systems, they have a significant drawback - a low level of energy of the sun, caused by the close proximity of the solar cells to the ground, making it difficult to select the solar energy to a greater extent. This is due to the fact that most of the time, the cloudy weather prevails in many countries. Preliminary calculations have shown that under such conditions in the atmosphere is lost approximately 75% of solar energy (Fig.3).

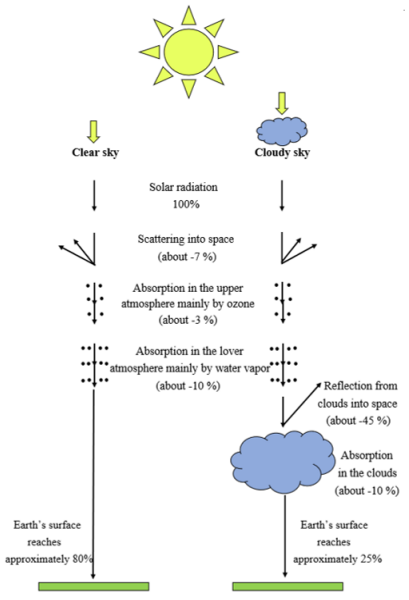


Fig. 3. *Passage of the solar radiation through the atmosphere*

This is a limiting factor for the transition from the old, not environmentally friendly and inefficient methods of energy production to alternative, including a more economical and environmentally friendly as the PV system.

EXPOSITION

Analysis of works devoted to issues [1,2,3] testifies to its relevance and economic feasibility of PV systems to solve the problem of economic efficiency and environmental safety of energy sources.

In [1] reviewed the condition and the evaluation of solar energy, in [2] the prospects, in [3] the comparative evaluation of various solar energy technology. The [5,6] emphasizes the need to further improve the efficiency of PV systems due to increase in efficiency of the sun.

The aim of this work is to develop a lighting system based on LED light sources powered PV systems with improved use of solar energy.

As the study [5], the potential use of PV systems in the world is still quite low. For example, in Ukraine in 2011, built and put into operation at the SPS at 742 MW, according to GP Energy Market is only 0.53% of the total volume of electricity produced in Ukraine. It should be noted that the average level of solar radiation in different regions of Ukraine is quite high (Table 2).

Table 2

The average level of solar radiation in different regions of Ukraine

Regions	*The average level of solar radiation*
Simferopol	*3.58*
Vinnitsa	*3.11*
Lutsk	*2.99*
Dnieper	*3.36*
Donetsk	*3.34*
Zhitomir	*3.04*
Uzhgorod	*3.16*
Zaporozhye	*3.44*
Ivano-Frankivsk	*2.94*
Kiev	*3.10*
Kirovograd	*3.30*
Lugansk	*3.34*
Lviv	*2.92*
Nikolaev	*3.55*
Odessa	*3.55*
Poltava	*3.25*
Rovno	*3.01*
Sumy	*3.16*
Ternopol	*2.99*
Kharkiv	*3.26*
Kherson	*3.55*
Khmelnitsky	*3.06*
Cherkassy	*3.24*
Chernihiv	*3.03*
Chernovtsy	*2.94*

As shown in Table 2, Ukraine has a good potential of solar energy, but its efficiency is low.

As a solution to the problem of increasing the efficiency of solar energy as a mobile system with LED lighting powered by PV source used to illuminate large areas. Using such a system allows for due to use mobile aerostatic installation installation daytime PV modules to a height of 2.5 km, where solar activity up to 100%, and return it at night in close proximity to the illuminated object. Orientation of aerostatic installation relative to the sun is accomplished by lateral motor, and the vertical orientation - by central. As a mobile station, intended use the airship type Aerosmith with such characteristics:

weight of the empty unit: 120 tonnes,
takeoff weight of 290 tons,
body diameter "lens": up to 180 m
body "lens" height: up to 36 m,
shell volume from 500 000 cubic meters. m
the volume of helium: not less than 100 000 cubic meters. m
internal air volume from 400 000 cubic meters. m
flight speed up to 120 km / h,
altitude: 2500 m,
payload: 200 tons.

Fig. 4. *Visualization of the dynamic LED-PV model*

As is known, in most European countries predominate cumulus clouds which are located at the height from 400 m to 2.5 km, thus the height of lifting systems be sufficient to obtain much larger quantities of solar energy.

The system is as follows. On top of the hemisphere are arranged flexible solar panel. Characteristics calculations of mobile LED-PV system are performed for the panel 290 W,

Percium jam6 (L) 60-290 / PR, JA Solar with the following characteristics:
size: 1650 × 991 × 35
weight: 18 kg
power: 290 Watts
degree of protection: IP67

Fig. 5. *General view of PV panel*

Calculations have indicated the possibility of obtaining electrical power up to 2 MW.

At the bottom of the hemisphere are arranged flexible LED panel. Calculations are performed for the S-2610 SMD panels with the following characteristics:
illumination at 1 m: 2400 Lux,
the amount of radiation elements: 504 surface LEDs,
color temperature: changeable 3000-5600K °,
control of light flux: 0-100%,
angle light flux: 120º,
power consumption: 100 W
dimensions: 600 × 460 × 10 mm,
weight: 0.46 kg
kit weight: 1.39 kg.

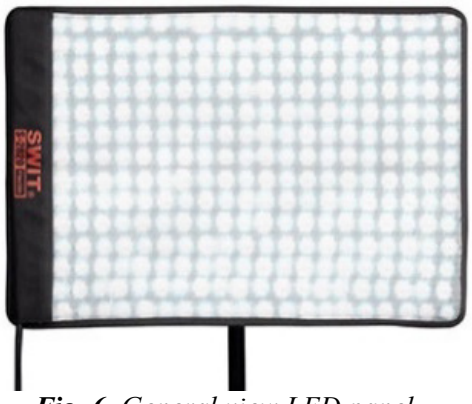


Fig. 6. *General view LED panel*

Calculations have indicated the possibility of obtaining light flux 200 Mlm.

Such a mobile system during daylight it collects solar energy in capacitor batteries housed inside, wherein the automated motor control system of the balloon provides maximum selection light energy by allowing the modules required orientation relative to the sun. At night, located above the object it gives the stored energy in form luminous flux by LED panel light.

Table 3

The calculated data for the considered mobile system

P	*The total capacity of PV panels*	*2 MW*
n	*Number of LED panels*	*82000 pieces*
F	*Total luminous flux*	*200 Mlm*
es	*The illumination on the ground*	*4 lux*
A	*illuminated area*	*50 × 106 m2*
R	*The radius of the illuminated circle*	*3.9 km*
h	*The height at which is located the airship*	*2.3 km*

Calculations performed for the considered mobile system, indicate the possibility of accumulating a sufficiently large electrical power and light radiation energy sufficient to create a luminance of 4 lux over a radius of 3.9 km.

CONCLUSION

Studies have shown the technical possibility and economic viability of using mobile PV-LED system for lighting large areas. Calculations have indicated that for an airship type Aerosmith possible selection of electric power of up to 2 MW and the radiation of the luminous flux to 200 Mlm.

REFERENCE:

[1] Gevorkian P. Solar power in building design. 2008. 504 p.
[2] Solar energy perspectives. International Energy Agency. 2011. 233 p.
[3] Yinghao Chu, Meisen P. Review and Comparison of Different Solar Energy Technologies. 2011. 55 p.
[4] Hovorov PP, Hovorov VP, Kindinova AK. Solar energy in Ukraine. Unitech 2018. Gabrovo. 2018. p. 74

[5] Hovorov PP, Hovorov VP, Kindinova AK. Prospects for renewable energy in Ukraine. Unitech 2018. Gabrovo. 2018. p. 67
[6] Hovorov PP, Kindinova AK Solar energy in Ukraine. Scientific and information bulletin №2-3 (104-105). 2018. p. 63
[7] Web-site of the engineering bureau "Aerosmena" https://t404t9.wixsite.com/aerosmena , 2019.
[8] International Energy Agency, official web-site: https://www.iea.org/index.html, 2019.

STUDY MODE VOLTAGE BOOSTER TRANSFORMER WITH THYRISTOR CONTROL

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

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

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

Omer Abdelrahim
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

Abstract: *Calculated-experimental research work VDT thyristor controlled in different modes. Installed module change phase and the harmonic components of the EMF and current in the windings of the transformer, given their quantitative assessment and management advice regimes VDT work.*

Keywords: voltage booster transformer, thyristor control.

INTRODUCTION

One of the main tasks of the service of electrical networks - supply consumers with the electricity and voltage, does not go beyond the established norms. To do this, along with centralized control are widely used local voltage regulators. The static devices contactless switching devices and voltage booster transformers (VBT) are used increasingly as the latter [1,5]. Their development - an important area of research in the field of improving the quality of electricity. In making such devices must take into account several features of booster transformers at different switching modes, in particular, the nature of the EMF changes at the terminals of the windings VBT in the following modes [2,3]: |

1) idling, at VBTs deep saturation of the magnetic system, the caused by magnetomotive force the load current;

2) in the operating mode, in oncoming operation or concordant inclusion of the primary windings of VBT;

3) at transients caused by commutations in the circuit the primary windings.

EXPOSITION

To study the processes in VBT experimental studies were carried out on full-scale sample VBT. The value of parameters of mode and the nature of their changes were recorded using an oscilloscope.

The schematic diagram of the research facility of the work of VBT in these modes is shown in fig. 1. In Fig. 2 shows the magnetization curve of the magnetic circuit of the VBT and the instantaneous value $i_2\omega_2$ magnetomotive force generated by the load current flowing through the secondary winding of the VBT.

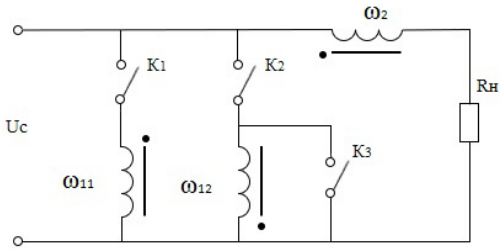


Fig. 1. *Schematic of the experimental setup for studying modes VBT*

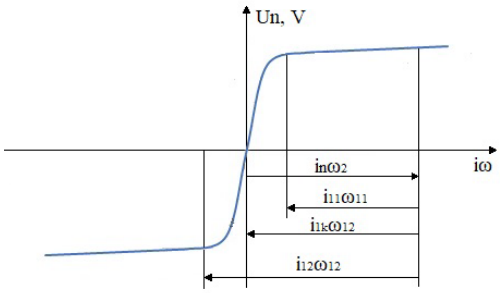


Fig. 2. *The magnetization curve of the magnetic circuit of the VBT*

In idle, the both of primary windings are disconnected from the network and magnetic deeply saturated.

EMF e_{11} and e_{12} at the terminals of the primary windings non-sinusoidal and their amplitude, as seen from the curves in fig. 3, 3-4 times higher than the amplitude of the mains voltage.

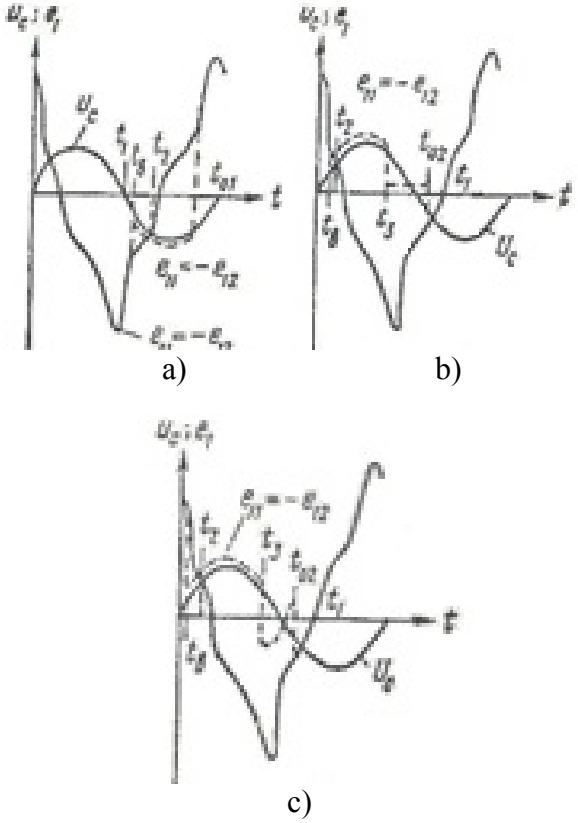


Fig. 3. *Change EMF VBT winding in idle mode and in modes: a – oncoming inclusion; b – oncoming inclusion and short-circuit; c – oncoming inclusion and concordant inclusion*

With resistive load EMF e_{11} and e_{12} are shifted in opposite directions with respect to the mains voltage by an angle slightly different from the values π/2, due to the fact that the transformer operates as a choke, introducing an inductance in the load circuit. The instantaneous value of the voltage across the switching keys K_1 and K_2 that. Determined, respectively, as sum of the voltages Uc and the EMF network e_{11} and e_{12}, in this mode may exceed 1000 V. Thus, the idling mode is undesirable and VBT operation of the regulator should be deleted.

The mode switching counter EMF winding ω_2, it is directed towards Vin, decreasing voltage at the regulator output. The mode can be achieved if ω_{1r} winding (fig. 1) connected to the network, a cross key K_1. This incorporation in the case of thyristor keys should be produced at time t_i when $t_1 < t_i < t_2$ (fig. 3a) when EMF counter of the winding e_{11} larger voltage UC and directed to meet him.

i_{11} will meet current voltage Uc, creating magnetomotive force $i_{11}\omega_{11}$. Under the action of the resulting M.D.S. $i_2\omega_2$ and $i_{11}\omega_{11}$ (Fig. 2) EMF the primary coil is reduced, remaining slightly larger Uc. Form EMF under the influence of the nonlinear transformer winding inductance slightly deviates from the sinusoidal. Tension on the key K_1, which in this mode is defined as the voltage difference between Uc and e_{11}, at time t_{0r} becomes zero. The thyristor switch is turned off. This occurs before the voltage is zero. VBT goes into idling mode.

As the results of the experiment, the time t_{01} depends on the moment of switching the oncoming coil t_i. This should be considered when developing thyristor key management schemes.

If at time t_l when the key K_1 is on ($t_i < t_l < t_{01}$), carry out short-circuited winding ω_2 by the key K_3 (fig. 3b), VBT will go into a short circuit mode. I_{1rl} current in the coil ω_{12} creates a magnetomotive force $i_{1kz}\omega_{12}$, total magnetomotive force is reduced to zero and EMF e_1 and e_2 are also reduced to zero. Thyristor switch K_1 is turnning off. The voltage on output of regulator will become equal to Uc.

If, when the key K_1 is open, close K_2, then in winding circuit ω_{12} under influenced concordant directional voltages e_{12} and Uc, current i_{12} will creating magnetomotive force $i_{12}\omega_{12}$, herewith EMF e_1 and e_2 are changing the phase on angle π/2 (fig. 3c). The voltage

on output regulator increases.

Inclusion of K_3 or key K_2 at K_1 closed leads to a sharp decrease EMF e_2, whereby the voltage at the key K_1 is reduced to zero, changes polarity and rises rapidly in the first case to the value Uc, in the second - takes the value 2Uc. When using a triac or of thyristor valves are turned on back-to-parallel included operated valve is disabled, and a counter may is turned on under the influence of increasing tension, since the rate of increase du_r/dt voltage in these modes reaches significant values. Turning the key K_1 on at open key K_2 or K_3 leads to accidental emergency short circuit in the circuit of the primary windings VBT. Under the influence of the inductance of windings VBT current through K_3 key in short-circuit mode or K_2 in consonant mode reaches zero with some delay after the passage of the mains voltage through zero (t_{02} point in fig. 3b and c). This leads to delay disabling of keys K_2 or K_3. The delay time, as is evident from the results of experiments that depend on the time the switching key K_2 or K_3 (point t_3 in fig. 3b and c). This phenomenon should be taken into account in the development of thyristor key management schemes, in particular, the node of enable K_1 key and select the points in time t_i.

To quantify the processes in the VBT computational studies using Scilab program conducted.

The differential equations describing the electromagnetic process VBT under normal assumptions can be written as:

$$\left.\begin{array}{c} u_1 = r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + \frac{d\Psi}{dt} + u_{п1(i)}; \\ -u_2 = r_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + k\frac{d\Psi}{dt} + u_{b(i)}; \\ i_c = i_1 + i_2 k \end{array}\right\}, \quad (1)$$

Wherein r_1, r_2 - the active resistance consistent and exciting windings of the transformer;

L_1, L_2 - the leakage inductance of the windings;

k - the coefficient of transformation of the transformer.

In order to simplify the calculation and mainly improve stability of the solution a task on the structural mathematical model to further is consider U_C take into consideration EMF scattering one of a transformer windings. This simplification is not practically affect the accuracy of the calculations, since in the real world, its value is negligible as compared to the nominal load voltage.

Given to a form suitable for mathematical modeling equations are:

$$\left.\begin{array}{c} \frac{d\Psi}{dt} = u_1 - r_1 i_1 - u_{n1(i)}; \\ \frac{di_2}{dt} = \frac{1}{L_2}\left[-u_2 - r_2 i_2 - k\frac{d\Psi}{dt} - u_{b(i)}\right]; \\ u_{b(i)} = -u_2 - k\frac{d\Psi}{dt}; \\ i_1 = i_0 - i_2 k \end{array}\right\} (2)$$

The third equation in system (2) is the voltage across the valves at a current $i_2 = 0$. It is obtained from the equation of stress equilibrium in the circuit of the exciting coil.

Scheme "Structural model VBT" shown on fig. 4.

For playback according $i_0 = f(\Psi)$ functional converter with methodological error applied (piecewise linear approximation). Curve $i_0 = f(\Psi)$ corresponds to the magnetization curve, is removed on the instantaneous values in the successive windings side. Valves characteristics are taken like perfect. In the closed state characteristics controlled valves are modeled by the proposed principle, is accomplished by entering the input of the structural unit of the second equation of system (2) voltage - Ub (i), the corresponding to voltage on the control valves. At the output of the third link of the structural model for modeling the characteristics of valves in a conducting state connected relay RP , by contacts which turn off the voltage - Ub (i), previously reported to the input of the second structural member. In this way, the closed contacts of RP relay correspond to valve closed, open - open. The moment of locking valve, and thus the time of closing the relay contacts must strictly comply with the moment; wherein the current i_2 reaches a value of zero. Changing the duration of the valve is carried RP relay contacts.

The current-voltage characteristic of the load is reproduced using functional converter.

Parameters of the scheme mode are generally non-sinusoidal functions of time, which is caused primarily by non-sinusoidal affecting on exciting winding of the transformer by voltage and the nonlinearity of the transformer and the load parameter [4].

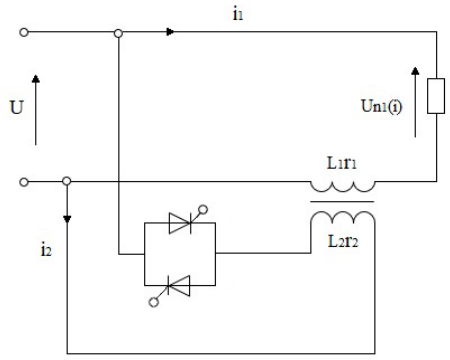


Fig. 4. *Scheme VDT with thyristor controlled*

Obviously, the degree non-sinusoidality will depend on the angle α regulating valves and degree of saturation of the magnetic system. When α = 0 ° non-sinusoidality of parameter of mode is determined only by the nonlinearity of the parameters of the transformer and the load. Calculations characteristic modes circuits at different angles regulating valve made in Scilab program.

To assess the non-sinusoidality held analysis harmonic composition circuit mode parameters.

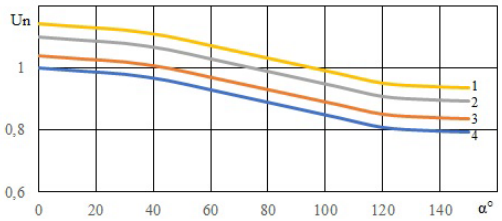


Fig. 5. *Dependence of the relative values of the output voltage from angle adjusting valves: 1,2,3,4 - an input voltage of 1, 0.95, 0.9, 0.85 Unom*

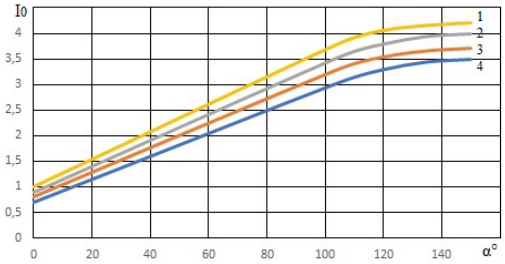


Fig. 6. *Dependence of the relative value of magnetizing current from the angle adjusting valves: 1,2,3,4 - an input voltage of 1, 0.95, 0.9, 0.85 Unom*

The table shows the results of the decomposition of the load current in the harmonic series.

Table 1

The results in decomposition of the load current harmonic series

α° / I1/Ik·100%	0	45	90	135	180
I(1)	100	97,2	90,5	86,9	82
I(3)	0	5,31	7,06	9,7	12,9
I(5)	0	2,1	3,53	4,08	4,4
I(7)	0	0,9	1,23	1,35	1,57

Fig. 5 shows the characteristics of the effective value output voltage when of scheme when it changes the input voltage at 15% of Unom and regulation α from 0 to 180°.

Fig. 6 shows the dependence of the effective value of the magnetization current I * 0 the adjusting the angle valves.

CONCLUSION

According to the study the following conclusions:

1) The study scheme allows to smoothly adjust the effective value of the output voltage when the input voltage and load. Parameters of schemes mode are generally non-sinusoidal functions of time.

2) The magnetization current of the voltage booster transformer increases with the angle adjusting and when valves fully closed valves greatly exceeds the nominal load current of the transformer. Also greatly increases load on the valves and VBT terminals. And when fully closed valve is greater than the nominal voltage of the installation is about 3-4 times. Therefore it is possible to carry out only a limited adjustment range of the adjusting angle.

3) For effective regulation over the entire range of the angle changes to be applied schemes in which, it excludes the possibility of continuous operation without demagnetizing the transformer circuit. This, for example, schemes to the inducing keys or a three-windingVBT.

REFERENCE:

[1] Yasutis AV. Analysis work booster transformer with thyristor control. Sat. Proc. in absentia. politehnich. Inst-Moscow, 1973, vyp.84 with. 146-156

[2] Govorov FP. Dialects Operating Modes and Features eletromagnitnyh processes voltodobavachnogo transformer with thyristor control: dis. kand.teh.nauk .: 05.09.01 -A, 1983. - 229 p.

[3] Govorov FP, Tolkunov VP. And induction magnetic fluxes booster transformer // Electronics.- 1995. - №5. - s.21-25.

[4] Suslov VM, Boshnyaga VA. Method for determining the parameters of the equivalent circuit of the multiple transformer as multipath star. - «Problemele energeticii regionale» №2 (37). - 2018. - p. 13-19

[5] Golub IV, Zaitsev DA, Miroslav Tyrš MS Modes reactive power source controlled phase-shifting transformer. - «Problemele energeticii regionale» №2 (37). - 2018. - p. 62-69

САМОПУСКАНЕ НА ГРУПА ДВИГАТЕЛИ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННО ПОНИЖАВАНЕ И ОТПАДАНЕ НА НАПРЕЖЕНИЕТО

Кирил Джустров
Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски"

SELF-STARTING ENGINE WITH AT SHORT DECREASE AND LACK VOLTAGE

Kiril Dzhustrov
University of Mining and Geology is "St. Ivan Rilski"

Abstract

The self-start of a group of powerful engines has been investigated. It has been proven that the duration of the reduced voltage or lack of voltage is essential for the magnitude of the self-starting current of the motor group.

Keywords: self-starting engine

ВЪВЕДЕНИЕ

Самопускане е автоматичното възстановяване на нормалната работа на електрическия двигател след кратковременно прекъсване на електроснабдяването или внезапно намаляване на захранващото напрежение, при което електродвигателят започва да спира, но при бързо възстановяване на напрежението той ще продължи да работи или може да спре в зависимост от момента на възстановяване на електрозахранването. В зависимост от момента на самопускане, пусковите токовете не надвишават нормалните пускови токове [1]. Най-често при трайни и нетрайни къси съединения на високата или ниската страна и при наличие на АПВ (автоматично повторно включване), АВР (автоматично включване на резерв) могат да се създадат условия за самопускане на двигателя.

В редица случаи, ако не е възможно самопускане на мощни електрически двигатели, технологичният процес спира за дълго време, а чрез използване на самопускането се повишава сигурността.

Самопускането не е опасен процес и се характеризира със следните два етапа:

- Процес на спиране от прекъсване или намаляване на напрежението;
- Развъртане на двигателят.

Особеностите на самопускането, в сравнение с пускането на двигателя е, че пускането и развъртането става от някакво хлъзгане (s), товар на работната машина, както и факта, че пускането и развъртането става за група мощни двигатели, а не само за един;

Условия за осъществяване на самопускането е остатъчното напрежение на клемите на двигателя да създава въртящ момент, поголям от съпротивителния.

Напрежението при спиране на двигателя [2]

$$E_{ост} = \frac{K_{нат}}{\sqrt{e_н}}.\omega_*^2, \qquad (1)$$

при $K_{нат} = \frac{P_{н.мех.}}{P_{н.дв.}}$,

където $P_{н.дв.}$ е номиналната мощност на двигателя;

$P_{н.мех.}$ е номиналната мощност на задвижващия механизъм;

$K_{нат}$ е коефициент на натоварване;

$в_н$ изразява кратността на максималния двигателен момент

$$в_н = \frac{M_{\max}}{M_н},$$

а относителната ъглова скорост $\omega_* = \frac{\omega}{\omega_0}$

Най-общо прекъсване или понижение на напрежението може да възникне при:

- външни къси съединения или повреди в захранващите предприятието електро-проводи, при които прекъсва захранването на предприятието;

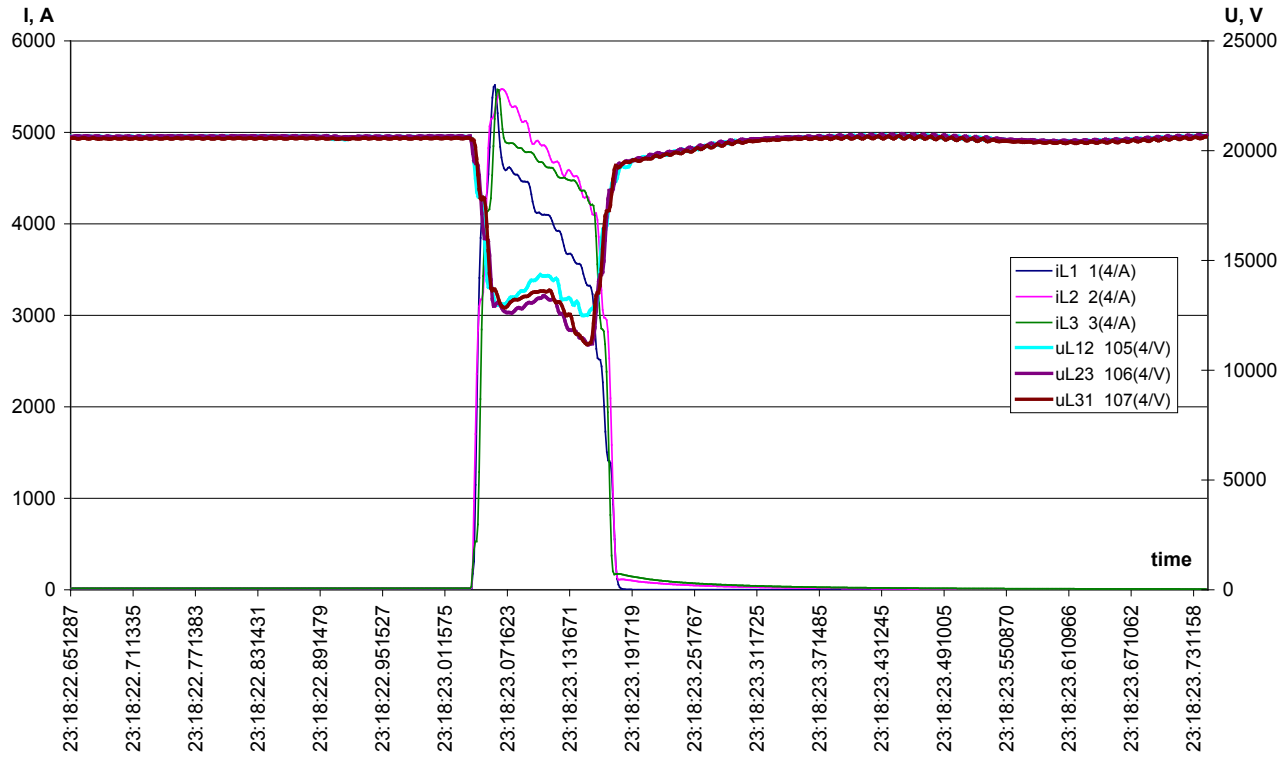
- вътрешни за предприятието къси съединения, при които значително се понижава напрежението на клемите на двигателите.

От съществено значение е, самопускането да бъде извършено за най-кратко време, още преди двигателите да са спрели напълно. В този смисъл от изключителна важност е късите съединения във вътрешната електроснабдителна система на предприятието бързо да бъдат изключвани от релейните защити. Друго условие е, да има изграден бърз АВР.

САМОПУСКАНЕ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННО ПОНИЖЕНИЕ НА НАПРЕЖЕНИЕТО.

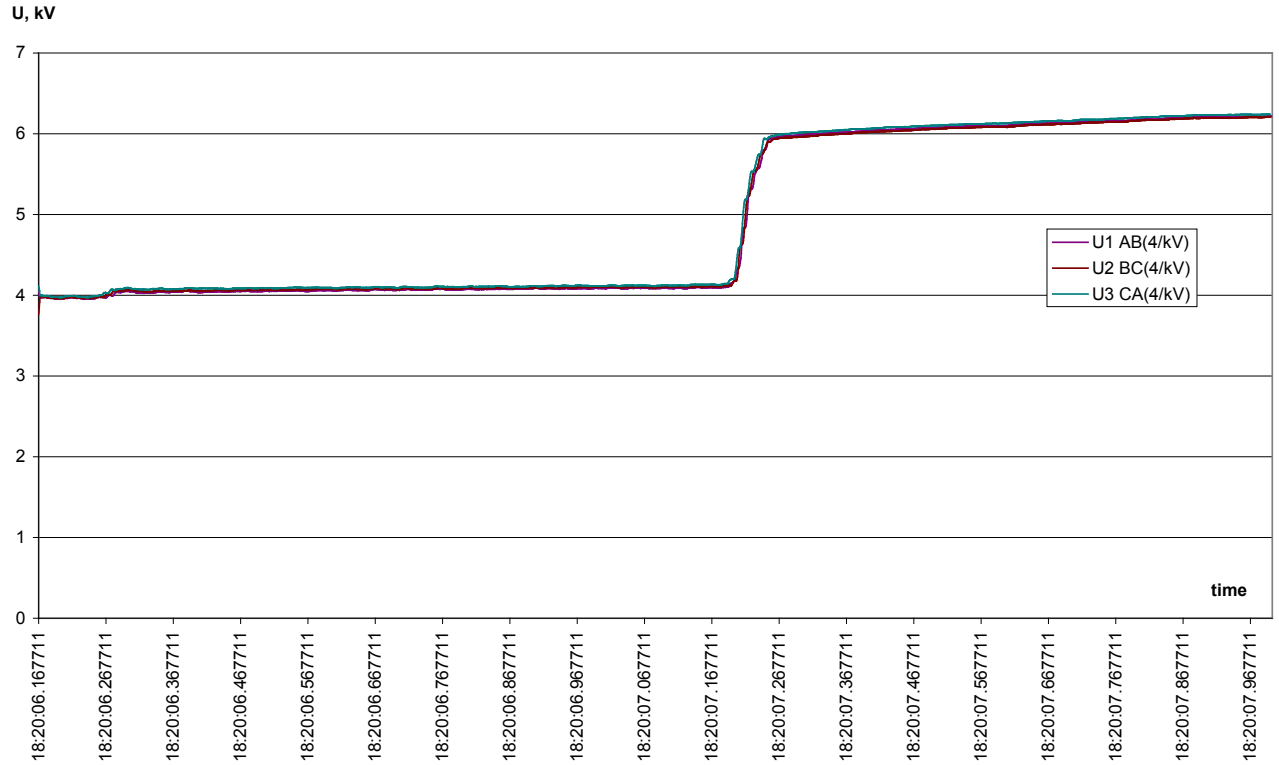
Изследвано е предприятие от миннодобивната промишленост, захран-вано от два тринамотъчни трансформатора 110/20/6кV, всеки с мощност по 50MVA. Изводите на 20кV са с дължина няколко километра, при което често възникват к.с. по въздушните електропроводи, най често следствие на атмосферни пренапрежения.

Така например само за един ден са възникнали седем попадения на мълнии върху един от електропроводите – едно трифазно и 6 двуфазни к.с. Токът на к.с., респективно и понижението на напрежението, зависи от мястото на повредата. На фиг. 1 е даден запис на трифазно к.с., при което токът на к.с. достига стойност около 5500А, а напрежението на шини 20кV спада до около 11,5 кV.



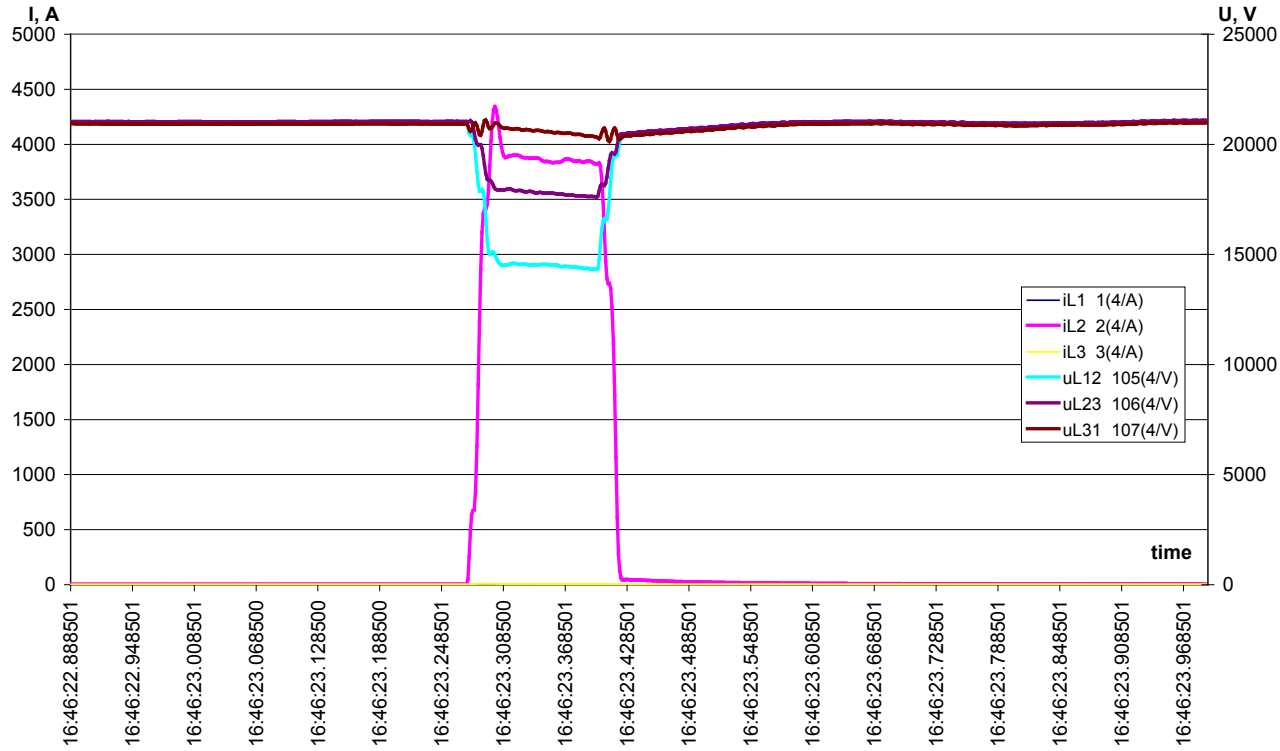
Фиг.1. Трифазно к.с. във въздушен електропровод 20kV.

При подобно късо съединение в електропровод 20кV, е регистрирано и понижението на напрежението 6кV, на шините на мощен синхронен двигател (2,5MW). Напрежението спада до около 4кV и след изключване на к.с. се възстановява до 6,2кV. Остатъчното напрежение е $E_{ост} \approx E_{доп} = 0{,}65U_н$, при което вероятността от неуспешно самопускане е голяма.



Фиг. 2. Напрежение и ток на шини 6нV при к.с. в електропровод 20кV

На фиг. 5 е даден един от записите на двуфазно к.с. във електропровода. Апериодичната компонента на токът достига стойност от 4300А, а установената му стойност е около 3900 А. Напрежението на най-засегната фаза достига до около 14,3кV.



Фиг. 3. Двуфазно к.с. във електропровода

Във всички 7 регистрирани повреди по електропровода, времето за изключване на късите съединения е около 130 ms, респективно – това е времето за понижаване на

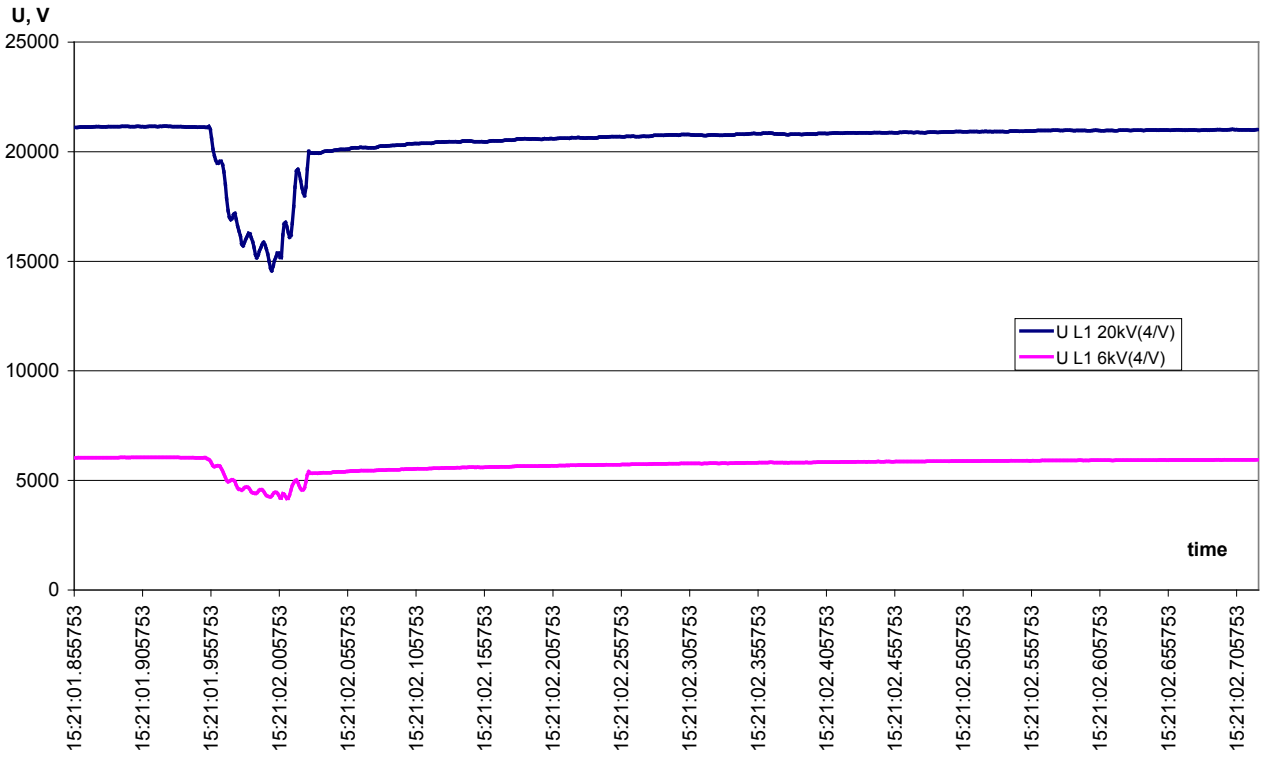
напрежението както на шини 20кV, така и на шини 6кV. И при седемте повреди, благодарение на бързото им изключване, групата синхронни двигатели успешно са се самопуснали.

САМОПУСКАНЕ ПРИ ПРЕКЪСВАНЕ НА НАПРЕЖЕНИЕТО

Извършени са пет експеримента за действие на АВР.

Три експеримента са направени при работа само на три двигателя с обща мощност около 2MW, задвижващи помпи. На фиг. 4 е показано изменението на напрежението на шини 6кV и 20кV.

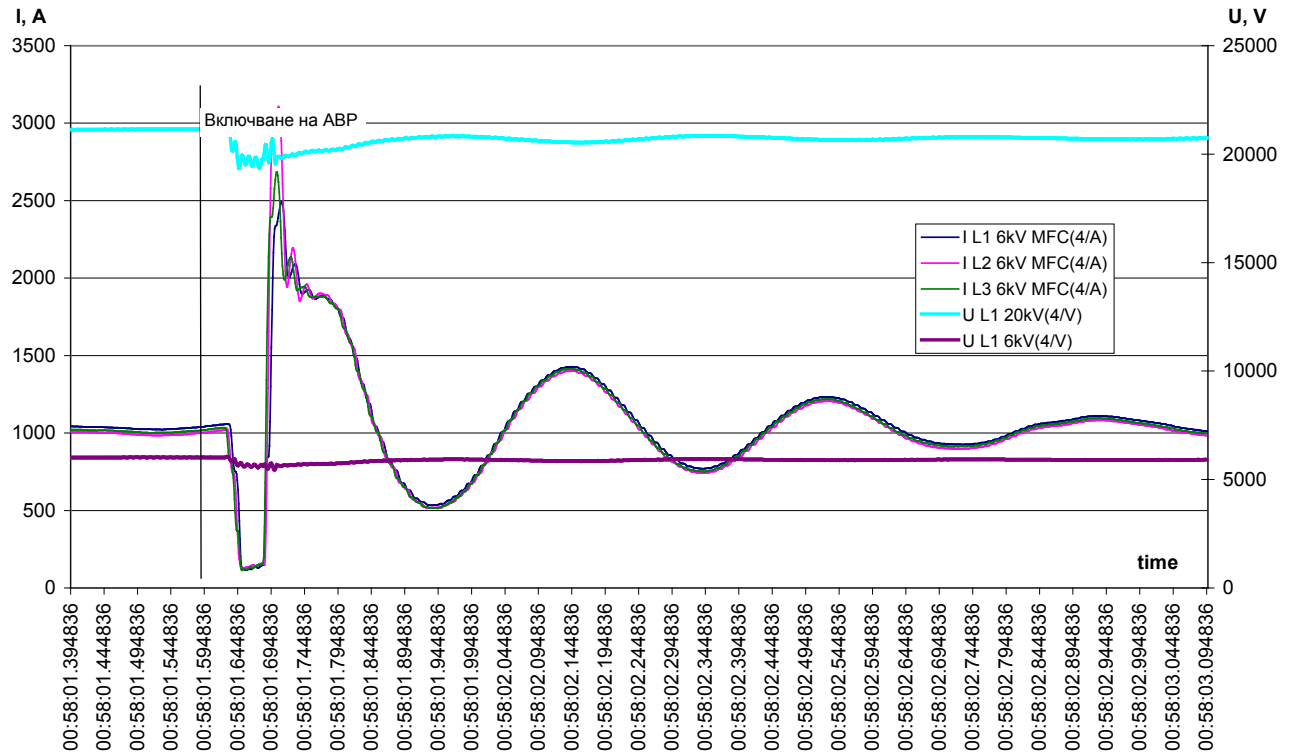
Общата продължителност на превключването е около 100ms. По време на безтоковата пауза, напрежението на шини 6кV намаля с 30,2%, до стойност 4228V. На шини 20кV напрежението спадна с 32,4%, до стойност 14338V.



Фиг. 4. Действие на АВР при неработещи мощни двигатели.

Два от експериментите са при работещи 10 мелници, две захранващи ленти и 3 помпи с обща мощност около 28MW. Превключването е направено и в двете посоки на захранващите предприятието електропроводи. При превключванията всички работещи двигатели останаха в работа без изключвания. На фиг. 5 е показано изменението на тока и напрежението на цех МФЦ и напрежението 20кV за ВХС. По време на безтоковата пауза на шините се поддържа напрежение, обусловено от е.д.с. на мощните двигатели.

Апериодичната съставна на тока на самопускане е 3 пъти по-голям спрямо работния и затихва след около 20 ms до 1,8 пъти над работния. Общата продължителност на превключването е около 88ms. По време на безтоковата пауза, двигателите са преминали към генераторен режим и напрежението на шини 6кV намаля само с 6,7%, до стойност 5615V. На шини 20кV напрежението спадна също с 6,7%, до стойност 19685V.



Фиг. 5. Действие на АВР при работещи мощни двигатели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изводът от експериментите е, че при работещи мощни двигатели и преминаването им към генераторен режим, намаляването на напрежението е малко и спомага за успешното самопускане на всички двигатели. Времетраенето на пониженото напрежение или липсата му са от съществено значение за големината на тока на самопускане на групата двигатели.

ЛИТЕРАТУРА

[1] K.Ketners, E.Ketnere, S.KĜujevska, M.KoЋuhova Research of the induction motor's selfstarting mode // Rīgas Tehniska universitātes zinātniskie raksti, 2007, printing

[2] Krumov A., A. Tcholov, P. Rizov, Mathematical moulding of the auxiliary system 6kv in NPP "Kozloduy" // Energien Forum 2011, p. 142-145

СТЕНД ЗА ФИЗИЧЕСКА СИМУЛАЦИЯ НА ДЕФЕКТИ В ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕ С АСИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ ЧРЕЗ СПЕКТРАЛЕН АНАЛИЗ НА СТАТОРНИЯ ТОК

Юлиян Йорданов[1], Валентин Гюров[2]
[1]*Технически университет –Варна, кат. „Електроснабдяване и електрообзавеждане", докторант*
[2]*Технически университет-Варна, кат. „Електроснабдяване и електрообзавеждане"*

PHYSICAL MODEL FOR SIMULATION OF FAULTS IN ELECTRICAL EQUIPMENT WITH ASYNCHRONOUS MOTORS WITH THE USE OF CURRENT SIGNATURE ANALISIS

Yulian Yordanov[1], Valentin Gyurov[2]
[1] *Technical University of Varna, Department of Electric Power Supply and Equipment, PhD Student*
[2] *Technical University of Varna, Department of Electric Power Supply and Equipment*

Abstract
The study presents possibility for physical simulation of different types of faults in electrical equipment with belt drive induction motor. The primary task of research is construction and simulation of physical model for detection of distinct faults in the induction motor with the use of current signature analysis. An opportunity for research across the entire operating range was demonstrated.

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

ВЪВЕДЕНИЕ

В диагностиката на електрически машини по време и преди въвеждане в експлоатация, важно място заема методът, използващ спектрален анализ на статорния ток (MCSA). Усъвършенстването и широкото разпространение на тази методика, естествено доведе до синтезирането на основни принципи и добри практики в стандарт ISO 20958:2013 [1, 2]. Основавайки се на препоръките, дадени в стандарта, настоящото изследване цели приложение на MCSA за създаване на стенд за симулиране и изследване на дефекти на асинхронните електрозадвижвания в условия, близки до реалните. Представеният подход дава възможност за експериментални изследвания за установяване на взаимовръзките между отделни характерни повреди, тяхната проява в спектралния анализ и количествената им оценка.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Голямото разнообразие от промишлени агрегати с асинхронни електрозадвижвания, използващи различни видове предавателни механизми, дават основание да се изследват по-подробно взаимното им влияние и признаците за възможни повреди. Разработеният стенд за изследване е проектиран така, че да може да се симулират и изследват ремъчни асинхронни електрозадвижвания, които са широко разпространени в практиката. Създадена е допълнителна възможност за регулиране на скоростта, както и за изследване на асинхронен електродвигател за вертикален монтаж. При вертикално монтираните електродвигатели силата на тежестта на ротора, която действа на лагерните опори се различава по направление, в сравнение с тези, действащи при

машини с хоризонтален монтаж. В зависимост от куплирането на задвижвания механизъм и електродвигателя съществуват също известни разлики в направлението на действащите сили, в случая с ремъчна предавка задвижващият вал е натоварен основно в радиално направление. Посочените специфични особености послужиха като насоки при реализация на подобен стенд за симулация и изследване на основни видове дефекти в ремъчните електрозадвижвания. Целта е да се покаже възможността за подобни изследвания на механизми с конструкция, максимално близка до тази производствените агрегати. Конструктивните особености и конфигурация на предложения стенд осигуряват повечето условия, които влияят при работата на такива електрозадвижвания. По тези причини физическа симулация от този тип би трябвало да внесе още по-голяма яснота и нови знания, в практическата диагностика кои дефекти надеждно могат да бъдат открити чрез спектрален анализ на статорния ток.

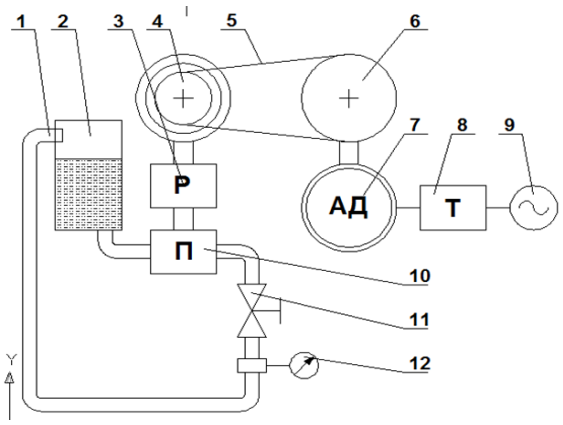
1. Принципна схема

Принципна схема на стенда е показана на Фигура 1.

Основни възли на стенда са:

1) тръби на хидравличната система;
2) съд разширителен;
3) редуктор;
4) шайба ремъчна степенчата;
5) ремък
6) шайба ремъчна степенчата;
7) двигател асинхронен;
8) табло защита, честотно управление;
9) захранваща мрежа;
10) помпа зъбна;
11) кран шибърен;
12) манометър.

За извършване на експериментални изследвания в широк диапазон на натоварването с плавно регулирано е избрано използването на хидравлична система с дроселиране при използването на зъбна циркулационна помпа.



Фиг.1. *Стенд за симулация*

Този режим на работа е недопустим при нормалната експлоатацията на зъбните помпи, поради стръмните им дебит-напорни (Q-H) характеристики, но именно тази особеност, съчетана с електрически и хидравлични защити, позволява създаването на функционално товарно устройство с линейни товарни характеристики за целия диапазон на регулиране при минимални инвестиции.

Във връзка с осигуряване на необходимата коравина на структурата, което е свързано с достоверността на резултатите, както и за създаване на условия, близки до реалните, е използвана конструкцията на колонна бормашина. За извършване на различни диагностични изследвания и симулации са използвани асинхронни двигатели със следните параметри 2.2 kW, 1500 min^{-1} с идентични, гарантирани каталожни данни, с присъединителни размери и вид монтаж спрямо наличния фундамент – 2 бр. (един експериментален и един за сравнение).

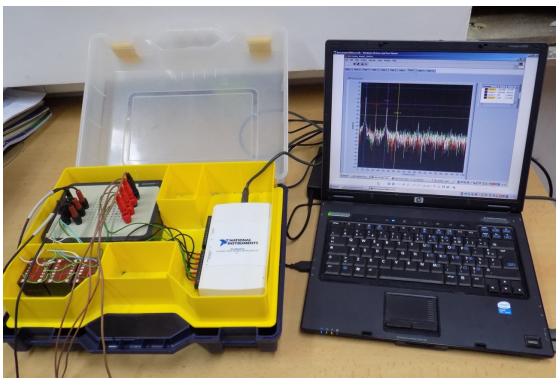
Изглед на силовото табло с прилежащото му комутационно, защитно и измервателно оборудване е показан на Фигура 2.

2. Измервателна система

Използваната система за диагностика е изградена на база 16-канално DAQ устройство с честота на семплиране 250 kS/s на National Instruments тип USB 6210 [2]. За събиране, обработка, анализ и систематизиране на получените данни е използвана графичната платформа LabView, която дава широки възможности за визуализация и бързо конфигуриране.

На Фигура 3 е представен изглед на използваната система.

Фиг.2. *Изглед от табло управление на физическия модел*



Фиг. 3. *Система за измерване и обработка на данни*

3. Експериментална постановка

С цел получаване на добра достоверност, точност и съпоставимост на получените резултати са използвани препоръките на стандарт ISO 20958 [1, 4, 5]. За оценка на получения ексцентрицитет се препоръчва измерване на следните специфични честотни компоненти:

$$f_{ec} = f_1\left(R_s\frac{1-s}{p} \pm \eta_{ws}\right) \pm f_1\left(\frac{1-s}{p}\right) \quad (1)$$

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

Формула 1 съдържа две части. Първата част, дадена като формула (2), ни дава основните честоти на проява на ексцентритет [1, 5, 6].

$$f_{ec} = f_1\left(R_s\frac{1-s}{p} \pm \eta_{ws}\right) \quad (2)$$

Втората част на формула (1) ни дава симетричните честотни компоненти около основната честота [1, 4, 5], като се изчисляват с (3):

$$f_{sb} = \pm f_1\left(\frac{1-s}{p}\right) \quad (3)$$

Друга препоръка за оценка на ексцентритета е оценка на динамичния ексцентритет, предизвикан от различни механични причини като несъосност, дебаланс и повреди в лагерните възли [1, 4]. Тези специфични компоненти се намират чрез (4):

$$f_e = f_1 \pm m \cdot f_r \quad (4)$$

където: f_1 – честота на захранващата мрежа [Hz]; f_r – честота на въртене на ротора [Hz]; m – 1, 3, 5…; f_e – честотен компонент, дължащ се на промените във въздушната междина.

Друг основен дефект, симулиран със стенда, е дебаланс на ремъчната шайба на асинхронния двигател. Характерните за тази повреда честотни компоненти се получават от формули (5) и (6):

$$f_{un} = z_r \cdot f_r \quad (5)$$

$$f_{sb} = f_{un} \pm f_{st} \quad (6)$$

където: f_{un} – характерна честота при поява при наличие на дебаланс [Hz]; f_r – честота на въртене [Hz]; z_r – брой роторни канали; f_{sb} – странични честотни компоненти; f_{st} – честота на захранващата мрежа.

Честота на въртене на ремъка също може да внесе колебания и се изчислява съгласно (7):

$$f_{belt} = f_r\left(\frac{\pi D_1}{l_{belt}}\right) \quad (7)$$

където: f_{belt} – честота на въртене на ремъка; f_r – честота на въртене на електродвигателя; D_1 – диаметър на водещата ремъчна шайба; l_{belt} – дължина на ремъка по вътрешния диаметър.

Ремъчните честоти често излизат в спектъра симетрично на честотните компонен-

ти, указващи наличието на динамичен дебаланс.

При симулацията е използван асинхронен електродвигател тип K100L-4 със следните данни:

- Номинална мощност 2.20 kW/3.00 HP;
- Синхронна скорост 1420 min^{-1};
- Схема на свързване 230-Δ/400-Y;
- Честота 50 Hz;
- Степен на защита IP 55;
- Ток при пълно натоварване (400 V) 4.78 A/8.28 A;
- Ток на празен ход 2.480 A;
- Клас на изолация F;
- Номинален фактор на мощността PF0.82;
- Клас на ефективност FL 81.10;
- Пусков ток 6.6 A;
- Преден лагер 6206ZZC3;
- Заден лагер 6206ZZC3.

Използваната тежест за симулиране на дефекта дебаланс е 30 g. Допълнителната маса е закрепена чрез специално устройство на степенчатата ремъчна шайба на електродвигателя, която е предварително балансиран самостоятелен детайл. За нуждите на конкретния експеримент не е нужна физическа повреда на двигателя, т.е. след експеримента ще е напълно работоспособен и без изменения в характеристиките си. В Таблица 1 са представени изчислените стойности на характерните честоти за ексцентритет, изчислени по 1, 2 и 3 за различни стойности на η_{wz}. Важна особеност на стенда е възможността за плавно натоварване на електродвигателя от празен ход до номинален товар при различни скорости, които се осигуряват чрез честотно управление, степенчати ремъчни шайби и редуктор с няколко различни предавки. Стендът за симулация е добре осигурен с електрически и механични защити на електрозадвижването, които предпазват от грешни манипулации и аварийни режими.

В съответствие с (4) са изчислени специфичните честоти за динамичен ексцентритет, които са представени в Таблица 2, съвместно с тях са представени компонентите характерни за дебаланс, честотата на въртене на електродвигателя и ремъчната честота.

При тази симулация използваната система за мониторинг е с честотна разделителна способност 0.4 Hz. Системата позволява много по-висока точност в благодарение на високата честота на семплиране едновременно по всички канали, което може да бъде използвано при диагностициране на дефекти като дефекти в ротора.

Табл. 1

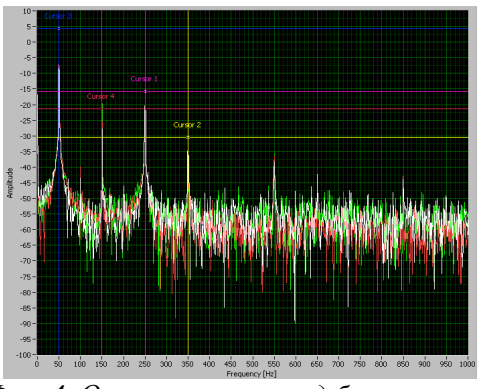
Честота, Hz	**η_{ws}=1**	**η_{ws}=3**	**η_{ws}=3**
f_{ec1}	712.9	812.9	912.9
f_{sb11}	736.6	836.6	936.6
f_{sb12}	689.2	789.2	889.2
f_{ec2}	612.9	512.9	412.9
f_{sb21}	589.2	489.2	389.2
f_{sb22}	636.6	536.6	436.6

Табл. 2

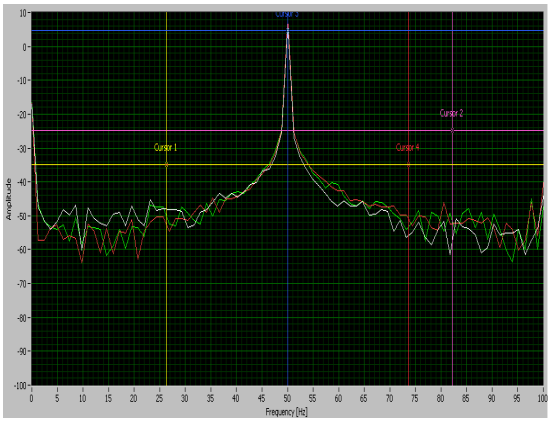
Честота, Hz	
fe1	73.7
fe2	26.3
fun	662.7
fsb1	712.7
fsb2	612.7
fr	23.67
fbelt	7.96

На Фигура 4 е представен FFT спектър при изпитване на празен ход (само двигател без товар), без да е добавена допълнителна маса на шайбата на електродвигателя за симулиране на дебаланс. В хармоничния състав на тока се отличават каноничните хармоници 3-ти, 5-ти и 7-ми, които са в резултат на особеностите на захранващата мрежа. На Фигура 5 е представен FFT спектър 0-100 Hz празен ход, без допълнителна маса.

Двата спектъра са снети едновременно. Разделени са в два диапазона за по-добра нагледност.



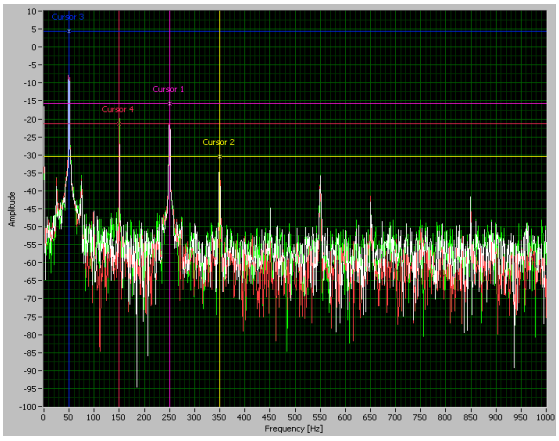
***Фиг. 4**. Опит на празен ход без тежест, мащаб 0-1 kHz*



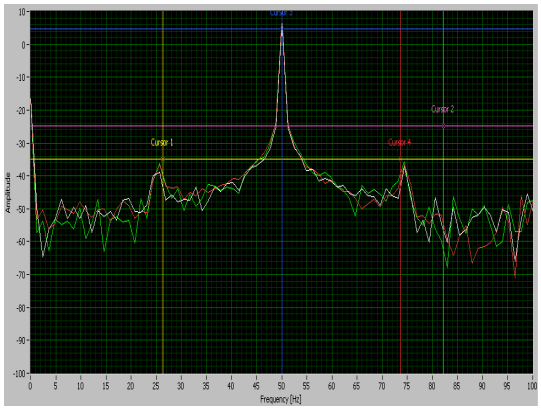
Фиг. 5. *Опит на празен ход без тежест, мащаб 0-100 Hz*

Вижда се ясно изявен първи хармоник на мрежова честота и липса на други съществени пикове. Може да се направи извод, че началното състояние е без признаци на търсените дефекти.

При симулация на дебаланс с допълнителна маса, без ремъчна предавка в спектъра на тока в диапазона до 100 Hz (Фигура 7) се отличават два пика на честоти близки до изчислените за динамичен ексцентритет.

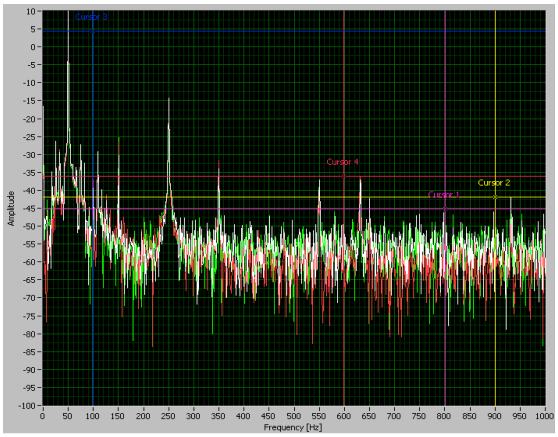


Фиг. 6*. Опит на празен ход с тежест, мащаб 0-1 kHz*

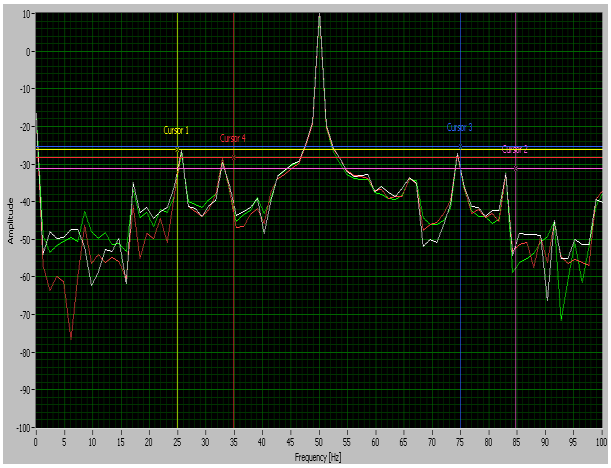


Фиг.7. *Опит на празен ход с тежест, мащаб 0-100 Hz*

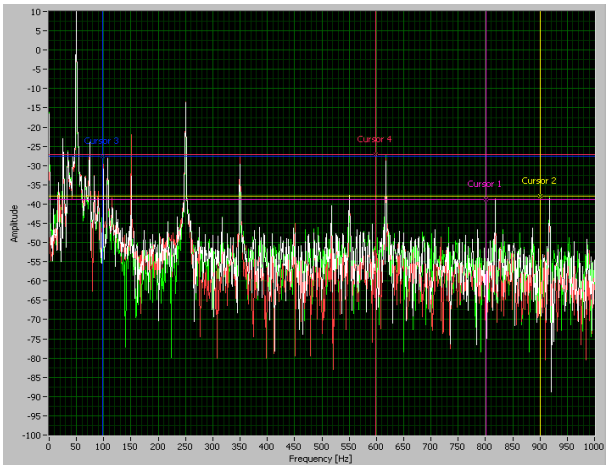
Други съществени промени в този спектър и в спектъра 0-1000 Hz не се наблюдават. Съществени промени се наблюдават и в спектъра 0-1000 Hz (Фигура 8), проявяват се честотите 636 Hz и 936 Hz, виждат се също и пиковете, събрани около 50 Hz, които липсват без товар и без тежест. В диапазона 0-100 Hz (Фигура 9) при опит с допълнителна тежест за дебаланс при товар 75%Iн, освен честотите, свързани с ексцентритет, се появяват и ремъчни честоти симетрично на основната и на тези, показващи динамичен ексцентритет. Може да се твърди че е налична взаимовръзка между изменението на честотите, характеризиращи ескцентритет и допълнителни смущения от ремъчната предавка. От показаните на Фигура 11, най-съществени промени в спектъра настъпват при номинален товар с добавена допълнителна маса на водещата ремъчна шайба. В спектъра 0-100 Hz при пълно натоварване 100% Iн отново са ясно изразени пиковете за динамичен ексцентритет и ремъчни честоти.



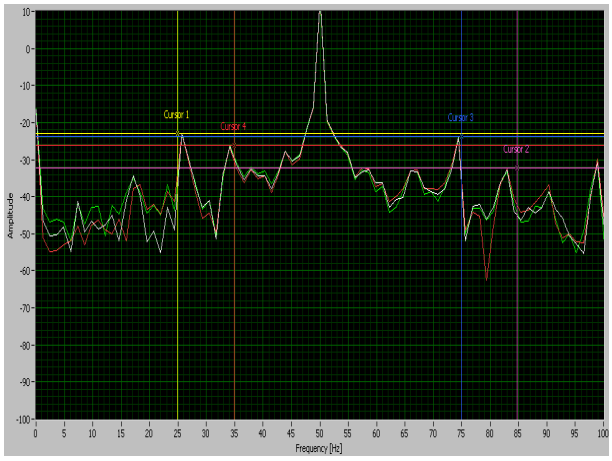
Фиг. 8*. Опит с тежест, 75% Iн, мащаб 0-1 kHz*



Фиг. 9. *Опит с тежест, 75% Iн, мащаб 0-100 Hz*



Фиг.10. *Опит с тежест, Iн, мащаб 0-1000 Hz*



Фиг.11. *Опит с тежест, Iн, мащаб 0-100 Hz*

В спектъра 0-100 Hz при пълно натоварване 100% Iн отново са ясно изразени пиковете за динамичен ексцентритет и ремъчни честоти. В спектъра 0-1000 Hz се наблюдават силни пикове на честоти 512 Hz , 612 Hz, 812 Hz и 912 Hz, които съответстват едновременно на признаците за статичен и динамичен ексцентритет.

Признаци на дебаланс в чист вид ,изчислени по (2) и (3) не се откриват в анализираните по-горе спектри. Липсата на изявени пикове на тези честотни компоненти на статорния ток се дължи на спецификата на агрегата. Появата на характерни честоти за комбинация от дефекти, като: дебаланс; несъосност – ъглова и паралелна, ексцентритет – динамичен и статичен, могат да бъдат обяснени с ремъчната предавка на електрозадвижването. Тоест съществува съвкупността от реални условия, с които се сблъскват ежедневно специалистите по диагностика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С физическата симулация се доказва работоспособността на стенда и качеството на използваната измервателна система, която е неразделна част от него. С реализацията на този стенд се цели да се даде възможност при следващи експерименти да могат да се симулират характерните дефекти в асинхронните задвижвания с ремъчни предавки в пълен обем и с голяма точност. При подходящо мащабиране предложеният физически модел може да бъде използван за изпитване и симулации с различни габаритни типоразмери асинхронни двигатели за симулации на вентилаторни, компресорни и други агрегати с ремъчни предавки.

REFERENCE

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

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

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

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

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

[6] 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

[7] 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.

ЗАРЯДНИ СТАНЦИИ ЗА ЕЛЕКТРОМОБИЛИ – СЪСТОЯНИЕ В БЪЛГАРИЯ

CHARGING STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLES – SITUATION IN BULGARIA

Svilen Rachev
Technical University – Gabrovo

Dimitrina Koeva
Technical University - Gabrovo

Lyubomir Dimitrov
Technical University – Gabrovo

Ivaylo Ivanov
Technical University - Gabrovo

Abstract

The most significant trend in energy and the construction of electrical equipment today is the green lifestyle. Some countries, as well as a significant number of local governing bodies in European capitals and major cities in Europe, have adopted specific programs to promote and accelerate the entry of electric vehicles (ENP). These programs include, in addition to tax incentives, special facilities and bonuses for moving and parking the ENP, as well as those for the construction of the service charging infrastructure. In order to ensure the normal operation of electric vehicles, it is necessary to build an adequate infrastructure of charging stations. The paper deals with the peculiarities, the current situation in Bulgaria and the trends in charging stations for electric vehicles. The results are a summary and evaluation. Relevant conclusions have been made. The value of research is related to the development of electric mobility in Europe and Bulgaria.

Keywords: electric vehicles, charging stations, renewable energy, e-mobility.

ВЪВЕДЕНИЕ

Замърсяването на въздуха оказва вредно въздействие върху човешкото здраве и околната среда и въпреки значителния спад на емисиите на много от замърсителите в Европа през последните десетилетия, концентрациите на някои от тях все още са прекалено високи. В големите гъстонаселени градове, се наблюдава ежедневно превишаване на допустимите норми за качеството на въздуха. Към основните антропогенни източници на замърсяване на въздуха спадат изгарянето на изкопаеми горива при производството на електроенергия, транспортът, промишлеността и др. Постигането на дългосрочната цел за по-добро качество на атмосферния въздух изисква инвестиции в чисти технологии за генериране на енергия както от страна на частния, така и на публичния сектор, разработване на ефективно законодателство, сътрудничество със замърсяващите отрасли и с международни, национални и регионални отговорни власти. Едно от необходимите условия е и преходът към нисковъглеродна икономика и по-устойчив транспорт чрез по-широкото използване на електрически превозни средства (ЕПС). Статистиката сочи, че транспортът генерира над 14% от емисиите на парникови газове и е основният сектор в Европейския съюз (ЕС), в който този показател все още се увеличава.

ИЗЛОЖЕНИЕ

България е една от страните, които подкрепиха със Съвместна декларация електрическата мобилност в Европа, подписвайки през 2012 г. Европейската стратегия за незамърсяващи и енергийно ефективни превозни средства, с която се определя водещата им роля за развитие на автомобилната индустрия и европейската промишленост и за гарантиране на общата й конкурентоспособност, едновременно с намаляване на емисиите на въглероден диоксид и други замърсители и поетапното преминаване към енергийно ефективна и устойчива

транспортна система. България е на старта и за разлика от други сфери на иновации демонстрира амбиция да развива електромобилността във всичките й аспекти в крак с развитите европейски икономики.

В момента има 1 милиард автомобила, които се използват по света. Около 165000 автомобила се произвеждат всеки ден. По данни на Германския център за изследване на соларната енергия и водорода (ZSW) в началото на 2019 г. електромобилите (Electric Vehicle – EV) по пътищата в целия свят са 5,6 млн. Китай и САЩ са най-големите пазари, с 2,6 и 1,1 млн. електромобила съответно. Според прогнозни данни, за 2020 г. се очаква броят на електромобилите да достигне до 10% от годишното производство в света. Ако повечето от пътническите автомобили, продавани след 2040 г., са електрически, то до 2050 г. общият брой електромобили в световен мащаб може да достигне 1 млрд. В ЕС през 2018 г. регистрираните автомобили са 262 милиона. Около 2 милиона или по-малко от 1% от тях са класифицирани като електрически или хибридни автомобили. У нас през м. август 2019 г. МВР отчете регистрирани 984 електромобила и 6631 хибрида, общ брой 7615. В момента у нас на пазара 18 различни марки предлагат автомобили с алтернативно задвижване.

Технологията на електромобилите непрекъснато се развива и те имат все по-висока ефективност. Сред основните им предимства са това, че не отделят CO_2, азотни оксиди (NOx) и други замърсители и не са източник на шум и вибрации. Всъщност, доколко замърсяват електромобилите зависи от това, по какъв начин е получена енергията за захранването им. От оперативните данни на Електроенергийния системен оператор (ЕСО) за производството на електроенергия ясно се вижда, че в България една минимална част идва от възобновяеми енергийни източници. Основният дял от произведената електроенергия е от АЕЦ и кондензационни и топлофикационни ТЕЦ, които работят предимно на изкопаеми горива. Едно обаче е безспорно относно електромобилите – вредните емисии не се отделят там, където въздухът е най-замърсен – в градовете. Електромобилите означават също и свобода на придвижване в градските центрове и зелените зони с ограничен трафик. Освен това при добро управление развитието на електрическата мобилност може да бъде една от ключовите технологии за осигуряване на заетост и растеж на промишлеността.

Според анализите на експерти масовото навлизане на електромобили в ЕС, което ще започне през следващите 5 години ще доведе до появата на нови технологии, производства и професии, държавите-членки, които не успеят да вървят в крак с новите технологии и тяхното информационно и инфраструктурно обезпечаване ще търпят значителни търговски загуби и ще са подложени на санкции за използването на бензинов и дизелов транспорт и заради недостатъчен капацитет на националните мрежи от зарядни станции [1].

Електромобилността е свързана със зареждане, управление и използване на енергията. С цел популяризиране на употребата на хибридни и изцяло електрически превозни средства е необходимо изграждането на инфраструктура от зарядни станции. Според редица проучвания един от главните проблеми за потенциалните потребители на електромобили е именно липсата на достатъчно добре развита зарядна инфраструктура. Следователно, причината за относително малкия пазарен дял на тези превозни средства не се крие само в сравнително високата им цена и липсата на субсидии и отстъпки като финансови облекчения за собствениците, предлагани в развитите европейски страни. Необходима е определена правна рамка със съответни мерки, което би създало допълнителни възможности за по-интензивно използване на електрическите превозни средства. Изграждането на зарядната инфраструктура е мощен фактор за ускоряване на навлизането на електрическите и хибридните (захранвани от мрежата) превозни средства. Този процес следва да бъде стимулиран, особено на началния етап на развитие.

Наред с нарастващото търсене на електрическа енергия идва и необходимостта от ограничаване на загубите, с цел намаляване на консумацията на ресурси и същевремен-

но осигуряване на повече енергия за потребителите. В тази връзка винаги е необходим внимателен анализ на очакваното натоварване. Отчитането на натоварването на системата и релевантния баланс може да гарантира, че мрежата ще продължи да работи с максимална ефективност, когато се планира нова инфраструктура, напр. зарядни станции за електромобили. Вариант за зареждане на електромобили е в домакинствата. Притежателите на електромобили по света например все по-често изграждат собствени зарядни станции във или близо до гаража. Иновация като собствена зарядна станция изисква първоначални вложения за изграждане, но позволява реализирането на множество икономически ползи в дългосрочен план и позволява пълно възвръщане на инвестицията.

Технически съображения

При придобиването на електромобил съществуват две основни притеснения: да има достатъчно мощна акумулаторна батерия за дълъг автономен пробег (но тук цената е висока) и да има удобна инфраструктура на зарядните станции. Отговорите на тези притеснения се крият в един добър стейкхолдър анализ (анализ на заинтересованите страни):

✓ **Първо,** от гледна точка на енергийните дружества и системен оператор за минимизиране на евентуален енергиен пик при едновременно зареждане в натоварен часови диапазон.

При присъединяване на голям брой електромобили за зареждане на акумулаторните батерии съществува реален риск от претоварване и аварии на локалните мрежи и влошаване на показателите на електрическа енергия. Времето за презареждане се изчислява на няколко часа. По тази причина едно от предизвикателствата, по което се работи е изграждането на ефективно, чисто, удобно, безопасно и възобновяемо енергийно захранване. Когато задвижването е чисто електрическо и зареждането става от външна електрическа мрежа липсват вредни емисии при движението на ЕПС, но се увеличава необходимата електрическа енергия за тяхното производство. Ако цялата автопромишленост в света премине към производство на електромобили, то необходимата електрическа енергия за производствени машини и съоръжения ще нарасне 4 пъти. За построяването на нови електроцентрали ще бъдат необходими големи капитални вложения и много време.

✓ **Второ,** от гледна точка на собствениците на зарядни станции да се увеличава техния брой, видове и достъпни места. 39,6% от собствениците на електромобили предпочитат зареждането на общо достъпни зарядни станции (очевидно колко голям е броят на предпочитащите домашното зареждане, с всички произтичащи от това негативи за енергийната мрежа).

✓ **Трето,** от гледна точка на интересите на собствениците на електромобили на база национално и местно законодателство.

Постоянното нарастване на броя на електромобилите в редовна употреба прави доста сложно състоянието на електропреносните мрежи, въпреки предимствата на системите на управление на енергийното потребление. Напр., у нас при достигане на 10% дял на електромобилите, необходимата енергия за зареждане може да достигне 8 GWh (при средна енергия 20 kWh, съхранена в акумулаторните батерии на електромобила HV Accu) при среднодневно производство на електроенергия приблизително 132,03 GWh. Енергията, произвеждана дневно от вятърните централи е 2,184 GWh, а от соларните – 0,427 GWh (по данни на ECO от 2018 г.). Следователно, необходимата енергия за зареждане на електромобилите е по-голяма от произвежданата от ВЕИ. Въпросът се усложнява, ако едновременно десетки автомобили преминат към бързо зареждане, което в даден момент би предизвикало затруднения в електроснабдителната система.

Отделянето на вредни емисии трябва да се разглежда за различните етапи от жизнения цикъл на автомобилите и електромобилите от източника на първична енергия до резервоара или електрическия контакт; от резервоара или електрическия контакт до колелата и от източника на първична енергия до колелата. Освен тези три етапа трябва да се включват в жизнения цикъл още отделените емисии при производството на превозните средства и необходимите ре-

зервни части, а така също и отделените при рециклирането им емисии. По този начин се прави реално сравнение за целия жизнен цикъл на превозните средства. Въпреки че съществуващите зарядни станции на работните или обществените места подпомагат пазарното приемане на електромобилите, шофьорите имат нужда от повече удобни и съвместими варианти за зареждане, дори и в домакинствата.

Практичната и ефективна алтернатива на зарядните станции, свързани към градската електроразпределителна мрежа, са тези, работещи със соларна енергия. Както е известно, превръщането на слънчевите лъчи в електричество посредством соларни панели не води до отделянето на вредни емисии във въздуха, за разлика от генерирането на енергия в електроцентралите, използващи изкопаеми горива. Тези зарядни станции са автономни съоръжения, които не консумират ток от електроразпределителната мрежа, а от собствена фотоволтаична инсталация. Не се нуждаят и от допълнителна инфраструктура (трафопост, кабелно захранване, електрическо табло и др.) и могат да функционират самостоятелно където и да е – в градската среда или по магистралите. Освен това фотоволтаичните зарядни станции за електромобили осигуряват директно използване на добитата от слънцето електроенергия. Така се затваря цикълът за зареждане на електромобилите като екологичен и икономичен градски транспорт. Първата слънчева зарядна станция за електромобили в България, която е с максимална дневна производителност от 23 kWh, е монтирана през 2012 г.

По някои оценки успехът на автомобилната промишленост в бъдеще ще зависи от това колко бързо ще продължи развитието на мощните електродвигатели и батерии. Бъдещето на електрическите превозни средства зависи от развитието и въвеждането в производство на евтини, компактни и ефективни батерии. Батерията ще се превърне в ядрото на мобилността. Батерията захранва различните типове двигатели, както и цялата електроника на борда [2]. Както е известно, акумулаторната батерия е основен източник на електроенергия за задвижване на електромобилите и за осигуряване на нормалната работа на всички бордови устройства и системи. След изчерпване на електрическия й заряд, тя трябва да се презарежда. И тук, като при конвенционалните автомобили, голямо влияние оказват трафикът, начинът на шофиране, температурата, енергийните консуматори в купето, натовареността и др.

Презареждането на акумулаторната батерия означава възстановяване на нейния първоначален електрически заряд и, съответно, на енергийната възможност за експлоатация на електромобила. При чисто електрическите електромобили, това става технологично с електрически ток чрез включване към външен източник на електроенергия. Всички електромобили са оборудвани с бордови зарядни устройства, които преобразуват входното променливо напрежение от външния източник в постоянно напрежение. Между електромобила и външния източник на електроенергия има техническо средство, зарядна станция, което адаптира електрическите параметри на захранващата мрежа към електрическите параметри на зарядното устройство на електромобила. Презареждането е електрохимичен процес, който продължава определено време. Продължителността и качеството на процеса са в пряка зависимост от капацитета на акумулаторната батерия и отдавания към нея електрически заряд. Ограничително условие за скоростта на презареждане е допустимият максимален ток за съответния вид акумулаторна батерия. Напр., ако акумулаторна батерия с капацитет 200 Ah, има ограничение за тока на зареждане 20% от капацитета, т. е. 40 A, то тя трябва да се презарежда минимум 5 h. Необходимо е да се допълни, че регенеративното спиране е източник на зареждане на батериите.

За капацитета C на HV Accu (наричат се и Traction Battery) в хибридните автомобили (Hybrid Vehicle – HEV) и EV все по-често се предпочита мерната единица kWh вместо класическата Ah, като връзката е C [kWh] = 0,001C [Ah] x VB [V], а VB е напрежението им. Освен това, вместо максималният ток на разреждане ID обикновено се задава максималната мощност PL [kW] =

0,001ID [A] x VB [V], която HV Accu може да осигури на електродвигателя. С основно приложение са никел-метал-хидридните (NiMH) и литиево-йонните (Li-Ion) акумулатори. Освен параметъра брой на циклите заряд-разряд (Deep Cycle – DpC) с разреждане до допустимото минимално напрежение, не по-малко важен е броят на импулсните разреждания (Shallow Cycle – ShC), които изискват голям ток за кратко време (при пускане на електродвигателя) – обикновено той е с 2-3 порядъка по-голям. Друга особеност е, че при зареждане на HV Accu не трябва да се достига максималният им капацитет (State Of Charge – SOC), за да има възможност да се дозареждат при спиране. От друга страна, те не трябва да се използват при количество електричество в тях под минимално допустимото (Depth Of Discharge – DOD), за да не се скъсява DpC.

Непрекъснато нарастващото използване на Li-Ion акумулатори освен на по-малкото им тегло се дължи на множество други фактори, сред които е възможността за бързо зареждане, стойностите на C до 1000 Ah и на DpC до 3000. Непрекъснато се появяват нови разновидности на HV Accu на основата на Li с все по-добри параметри – например тези с анод от Li4Ti5O12 и абревиатура LTO имат DpC от 10 000. Особеностите при ползването на Li и други фактори са причината за твърде високата цена на литиевите HV Accu, но тя сравнително бързо намалява. Това е сред причините да се очаква стойността на произведените такива акумулатори от 1,6 млрд. USD през 2012 г. да нарасне на 22 млрд. през 2020 г. От друга страна литиево-йонните акумулатори не работят нормално при температури под -10^{o}C. За да се запазят нужните им характеристики се налага да бъдат подгрявани в гаража или на улицата преди тръгване от собствени нагревателни устройства в колата. По време на работа литиево-йонният акумулатор отделя топлина и тогава няма нужда от допълнително подгряване, но в студа пък намалява капацитетът му.

Зарядните станции се класифицират като станции на ниво 1, 2 и 3. Зарядните станции ниво 1 и 2 условно се наричат станции за конвенционален и ускорен заряд. Те не са преобразуватели на променливо напрежение в постоянно. Тези зарядни станции осигуряват необходимото променливо напрежение за бордовото зарядно устройство на електромобила с максимален товар 15 A за нива 1 и 3, и 2 A за ниво 2. Станциите от **ниво 1** основно са предназначени за домашна (гаражна) употреба. Бавно зарядните станции, обикновено с мощност 22 kW, се използват предимно за зареждане в домакинствата и на работното място. При тях, поради бавното зареждане, батерията на електромобила е свързана към мрежата по-продължително време, което увеличава възможността за предоставяне на услуги за подобряване на гъвкавостта на енергийната система. **Ниво 2** включва зарядни станции, предназначени за обща употреба, които освен адаптацията на електрическите параметри на захранващата мрежа към електрическите и конструктивни параметри на електромобила, осигуряват и изпълнението на допълнителни функции като отчет на потребяваната електроенергия и остойностяването ѝ; приемане на поръчки за презареждане на електромобили; охранителни функции; информационни справки за електромобила и състоянието на акумулаторната батерия; комуникационен диалог с доставчика на електроенергия или оператора на зарядните станции и др. Станциите от ниво 2 са подходящи за обществено зареждане, напр. на обществени паркинги, паркинги на супермаркети, летища, гари, метростанции, фирмени паркинги и др. За ниво 1 и 2 не са необходими инвестиции в електропреносната мрежа и наличните резерви в електропреносната мрежа могат да осигурят необходимата им мощност за захранване. Станциите от **ниво 3** са предназначени за бързо зареждане. Времетраенето е от 10 до 30 минути. Основното различие между ниво 2 и ниво 3 е, че ниво 3 осигурява постоянно напрежение за презареждане на акумулаторната батерия на електромобила. Необходимата мощност за захранване на такава зарядна станция е приблизително от 50 до 400 kW в зависимост от функционалната електрическа архитектура на зарядната станция – едноабонатна или многоабонатна. Това обаче не

може да се осигури от наличната електропреносна мрежа и изграждането на този вид станции е съпроводено с ново проектиране и строителство. Зарядните станции от ниво 3 се оборудват с буферни акумулаторни батерии за поемане на пикови натоварвания. За осигуряване на допълнителна електроенергия и намаляване на потреблението от захранващата мрежа към тези зарядни станции работят и системи за доставка на електроенергия от възобновяеми енергийни източници. Характерно за зарядните станции от 3 ниво е двупосочността на енергийния поток – от енергийната мрежа към акумулаторната батерия и обратно. Тази техническа възможност позволява на зарядната станция да стане клетка на система "smart grid". Зарядните станции от ниво 3 заменят от 8 до 20 станции от ниво 2. Те са предназначени за поемане на големи потоци потребители [3].

На настоящия етап зарядните станции от ниво 2 са достатъчно разработени технологично и софтуерно. Цената им се колебае между $2000 и $7000. Зарядните станции от ниво 3 са инвестиционни съоръжения, които всеки производител изпълнява в зависимост от конкретните инвеститорски договорености. Цената варира между $40000 и $70000. Икономически анализи показват, че за постигане на рентабилност или жизнеспособен бизнес, надценката на електроенергията, доставяна чрез такива станции, трябва да е около 50% - 70% за ниво 2 и около 120% - 160% за ниво 3, според степента на използване (колко часа в денонощието и колко дни в годината ще се ползват), според цената на станцията, разходите по инсталирането и др.

Очаква се скоро на пазара да се предлагат и свръхбързо зарядни станции (над 150 kW), които ще помогнат за преодоляване на притесненията на потребителите по отношение на електрическата мобилност и ще са ключово допълнение към бавно зарядните станции, базирани в домакинствата и офисите.

При бързото и свръхбързото зареждане батериите не остават свързани към системата достатъчно дълго време, че да се осигури гъвкавост. Необходимо е въздействието от бързото зареждане върху мрежата да се ограничи чрез инсталиране на станциите в зони, които оказват малко влияние върху пиковото потребление и претоварването. За разгръщане на мрежа от високомощни зарядни станции в страната ще са нужни целеви инвестиции в продължение най-малко на 5-7 години.

Ако ползването на зарядните станции се обвърже с предварителен годишен абонамент и консумираната електроенергия се заплаща по номинални цени, зарядната станция може да бъде рентабилна.

Технологията на производство на зарядните станции е достатъчно известна и много от тях се предлагат на пазара като готови продукти. Това, което липсва, са единни договорени международни стандарти, на които зарядните станции и техни елементи като куплунги, кабели, цветове, спецификации на напрежение и други, да отговарят. Освен това липсват регламенти за продажба на електроенергия от такива станции, несигурност по отношение на общинските инвестиции в такава зарядна инфраструктура, неизвестна правителствена политика по отношение на инвестициите в зарядна инфраструктура, тромав и скъп процес на издаване на разрешителни за зарядни устройства.

В момента в ЕС броят на зарядните станции варира около 20000. Изграждането по пътната мрежа се води от общото правило, че на всеки 120 km трябва да има достъпна станция за висококоростен заряд.

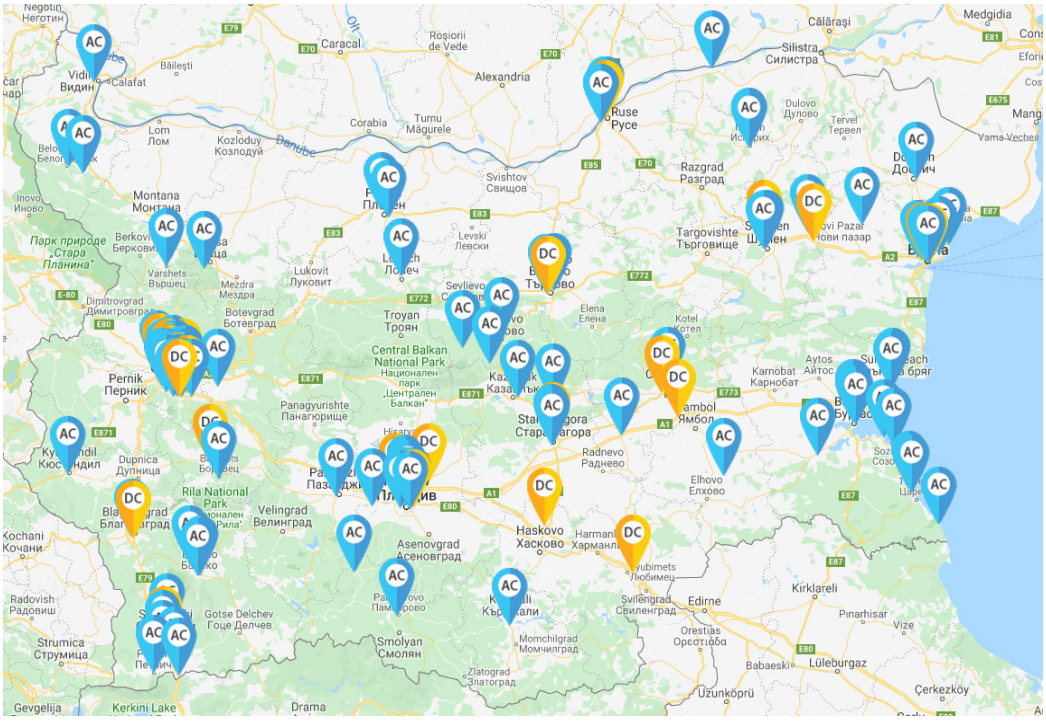
У нас в рамките на последната една година обществените зарядни станции са се увеличили над два пъти – от 70 на 149 към момента. Все още има много зарядни станции, които са безплатни – на паркингите на големите супермаркети, някои бензиностанции, дилърства на автомобили и др. Като цяло те са от наймощния тип, които зареждат до 100% батерията за около час и половина (ако е с голям капацитет, иначе още по-бързо). Някои от станциите са собственост на оператор на мрежа от зарядни станции и предлагат платено зареждане с единна тарифа и условия за ползване. Има и станции, собственост главно на самите търговски центрове, които предлагат безплатно зареждане като

улеснение за привличане на клиенти с електромобили. Все повече интерес има от собственици на хотели и ресторанти да инвестират в поставянето на зарядни станции, което се използва имиджово, а и за привличане на клиенти. Вече има наредба, че всяка нова обществена сграда трябва да има определен брой зарядни станции.

В момента по данни на Българската асоциация на електрическите превозни средства (БАЕПС) броят на зарядните стан-ции в страната е: в София – повече от 50, по населени места следват Пловдив с 10 зарядни станции, Варна (8), Бургас (6), по Южното Черноморие има по една във всички общини.

Данните на производителя на бързи зарядни станции в България - швейцарско-шведската мултинационална корпорация ABB Group, показват, че в страната работят или са в процес на инсталиране произведени от тях съоръжения за бързо зареждане по ключови пътища в цяла България, като в ход са планове за по-нататъшно разширяване на мрежата, което да обхване всички по-главни пътища и автомагистрали в страната. В резултат на сътрудничеството между ABB България и eMobility International - оператор на бързи зарядни станции в България и отдаване на електромобили под наем, който развива дейността си под търговската марка Eldrive, вече са покриват международните маршрути от София до границата с Гърция и Турция, с инсталации в ключови локации в София, Варна, Велико Търново, Благоевград, Сандански, Раковски, Стара Загора, Любимец и Бургас и др. с общ брой около 100 станции. Eldrive (най-големият доставчик у нас) има мобилно приложение Fortum Charge & Drive, което в реално време показва близките станции, дали са свободни и каква е цената на тях (или 0.48 BGN/kWh, или 0.36-0.72 BGN/минута). Компанията работи с клиенти като бензиностанциите Shell, хипермаркети "Метро", Homemax, Mr. Bricolage и Фантастико [4].

Другата активна компания е eCars с карта на зарядни станции [5].



***Фиг. 1**. Карта на зарядни станции в България [4]*

Сайтът tesla.bg представя карта със 111 зарядни станции в България [6].

Има и сайтове като международния plugshare.com, които указват къде глобално какви публични зарядни станции има [7].

Европейската статистика гласи, че 70% от всички заряди се извършват в дома или около работното място, така че разширяването на публичната зарядна мрежа е важен, но не критичен фактор.

Ако си зареждате електромобила в гаража, логично е да заложите на почти двойно по-евтината нощна тарифа, а през деня да си ползвате колата – приблизителната цена на дневната тарифа е 0.18 лв./kWh, а на нощната 0.10 лв./kWh.

Може да се приеме разход за електромобилите от 20 kWh/100 km. Пробегът е добре да се изчислява спрямо новия стандарт WLTP, в сила от м. септември 2018 г. Производителите на литиеви батерии обикновено дават гаранция 8 години или 160000 km за 70% от зарядния капацитет.

Проблемите са няколко: по-бавно навлизане на технологията, благодарение на това, че квотите за електромобили отиват повече за чужди пазари, по-развити пазари като Холандия и Норвегия. А и тъй като няма квоти за електромобили, голяма компания като логистичен център, например, не би могла да си купи 40 такива и да подмени автопарка, защото няма налични автомобили. Когато няма електромобили, няма как съпътстващата инфраструктура да се развива толкова бързо.

Регулаторно у нас няма стимул за покупка на електромобил, както има в Италия, Германия, Франция, а дори и Румъния, където има субсидия от около €10000. Това е една от спънките, защото се вижда, че цените са по-високи и един от временните механизми е чрез субсидия цените да се намалят, да се увеличи покупателната способност и оттам пазара, оттам зарядните станции и т.н.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Известно е, че оптималното решение никога не зависи само от един компонент, а от точното съгласуване на всички компоненти. Затова е важно винаги да се анализира и оценява общото решение – както от техническа гледна точка, така и от гледна точка на разходите и ползите.

За България на настоящия етап навлизането на електромобилите е сравнително скромно. Все още е налице липсата на достатъчна информираност сред населе-нието, както и липсата на достатъчно фир-ми, които да предлагат електромобили със съответните одобрени квоти от производителите. Необходима е добре организирана разяснителна кампания, съпроводена с реално присъствие по пътищата на елек-тромобили, ангажиране на фирми с доставка на нови и фирми за конверсиране на автомобили с ДВГ в електромобили, предлагане на финансови инструменти за лизинг на акумулаторни батерии и/или целия електромобил, както и местни или национални стимули за ползващите електромобили.

Тенденцията е към разширяване на границите на електрическата мобилност, допринасяйки за едно по-устойчиво бъдеще. При всичките си положителни качества електромобилите у нас все още са за ентусиасти и хора, които искат да подчертаят разликата си от „тълпата”, пък и явно имат финансови възможности за целта.

ЛИТЕРАТУРА

[1] www.dnes.bg
[2] www.emic-bg.org
[3] www.tllmedia.bg
[4] https://eldrive.eu
[5] www.vsichkotok.bg
[6] https://tesla.bg/
[7] https://plugshare.com/

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНА ЦЕНТРАЛА, ПРИСЪЕДИНЕНА НА СТРАНА 20 kV

Красимир Маринов Иванов[1], Георги Цонев Велев[2], Петър Колев Петров[3]

[1, 2, 3]Технически университет - Габрово

STUDY OF A PHOTOVOLTAIC POWER PLANT CONNECTED TO 20 kV GRID

Krasimir Marinov Ivanov[1], Georgi Tsonev Velev[2], Petar Kolev Petrov[3]

[1, 2, 3]Technical University - Gabrovo

Abstract

A study has been made in regard with the regime parameters of a photovoltaic power plant with rated power of 4 MW connected through a 20kV power line to a power substation. The respective power grid has been modeled and simulation results are obtained by the software product Netdraw. Measurement data is provided about the generated current harmonics by the respective PV power plant and the coefficients harmonic distortion are calculated and discussed.

Keywords: photovoltaic power plant, power grid, power quality, electromagnetic compatibility.

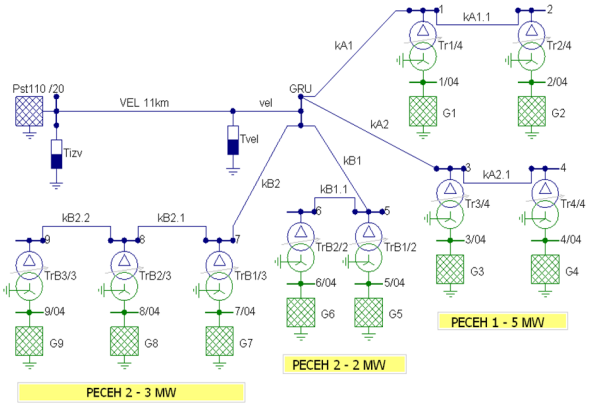
ВЪВЕДЕНИЕ

Изграждането на разпределена генерация от възобновяеми енергоизточници се стимулира от много европейски стандарти и съобразените с тях български нормативни документи, имайки за цел увеличаването на дяла на такива източници в общото производство на електроенергия. В изпълнение на приетия от Европейския съвет през 2007 г. пакет от мерки за енергетиката относно изменението на климата, България изпълнява поставената цел през 2020 г. делът на електроенергията, произведена от ВЕИ в страната да достигне 16%. Електроразпределителните мрежи в страната са проектирани за еднопосочно направление на потоците от мощност с необходимата пропускателна способност да доставят на потребителите нужната мощност. През последните години изключително голяма популярност получиха и фотоволтаичните системи за производство на електрическа енергия, присъединени към мрежите за ниско, средно, а при по-голяма инсталирана мощност и към високо напрежение. По-голямата част от ветрогенераторите, мини-ВЕЦ и фотоволтаичните централи се изграждат и присъединяват към електро-разпределителните мрежи и по този начин участват в баланса на електроенергийната система (ЕЕС).

ИЗЛОЖЕНИЕ

Търговската структура на захранването с електрическа енергия играе важна роля в развитието на разпределените генерации. В момента, тези централи се възприемат изключително като производители на електроенергия и не допринасят за останалите функции на електроенергийната система (например за контрол на напрежението, надеждност, резервна мощност, и т.н.). Това се дължи на техническите характеристики на разпределените генерации за електроенергия. Тази ограничена роля на разпределената генерация е предимно причинена от административните и търговските условия,

при които в момента тези източници функционират. Електроразпределителните мрежи са проектирани да приемат електрическата мощност, да я трансформират и да пренасят до клиентите. Промяната в активните и реактивните мощности, причинени от разпределената генерация, има важни технически и икономически последици за захранващата система. Като цяло, възприетият подход е да се гарантира, че всяка разпределена генерация не влошава качеството на ел. енергия, надеждността на електроснабдяване на консуматорите, а възобновяемите генерации се разглеждат като "отрицателен товар". Поради конструктивни причини разпределената генерация може да влоши качеството на електроенергията в мястото на присъединяване към електрическата мрежа, като причинява колебание на напрежението, увеличаване на хармониците, поява на фликер, динамично изменение на потокоразпределението и има отрицателен ефект върху устойчивостта на системата при смущения и след аварийни режими. Същевременно, разпределената генерация често предизвиква изменение в мощността на работещите блокове на ТЕЦ, което смущава нормалния режим на работа на оборудването, пречиствателните инсталации и може да има обратен екологичен ефект. Централите на разпределена генерация у нас не могат да участват пълноценно в първичното и вторичното регулиране на честотата и междусистемния обмен на мощност в ЕЕС. На тях не може да се разчита за противоаварийно управление на ЕЕС и възстановяване на ЕЕС след тежки аварии. Когато има промени в скоростта на вятъра или в интензитета на слънчевата светлина, тяхната мощност е трудно предвидима, особено по отношение на планиране и прогнозиране на товарите, т.к. е трудно да се предвиди в дългосрочен план наличието на вятър и слънчева светлина. В настоящият доклад е разгледана работата на фотоволтаична централа, присъединена към електропровод 20 kV. Работата на централата е симулирана с програмата Netdraw.



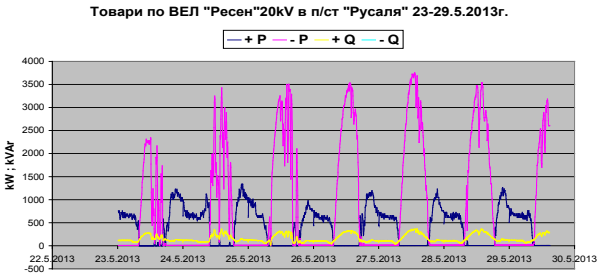
***Фиг. 1**. Схема на свързване на фотоволтаична централа*

На фиг. 1 е представена моделираната схема на фотоволтаичните централи (с всяка една от техните съставни части), електропровода, подстанцията и съответните товари. Тъй като електропроводът е с много консуматори, за улеснение те са симулирани като един обобщен товар. По аналогичен начин с един общ товар са представени и останалите изводи на подстанцията. Подстанцията е представена като мрежа, която има шинна система на страна 20 kV. На схемата са представени свързващите кабели на страна 20 kV, а отделните стрингове на фотоволтаичната централа са въведени като генериращи източници на страна 0,4 kV.

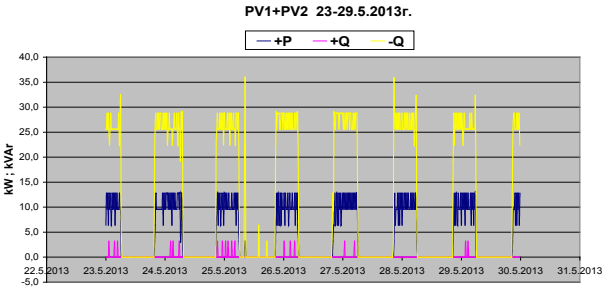
ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОТОКОРАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА МРЕЖА В РАЗЛИЧНИ РЕЖИМИ

Използвайки данни от електромерите на двете фотоволтаични централи и тези от електромера на електропровода в подстанцията, са разработени графики, чрез които е показано реалното разпределение на мощностите във времето. На графиките с **+P** е означена купената(консумирана) активна мощност, а с **–P** е означена продадената (генерирана) активна мощност. Съответно с **+Q** е означена купената реактивна мощност и с **–Q** е продадената реактивна мощност. За съкращаване на надписите по диаграмите с **PV1** е означена ФЕЦ „Ресен 1” и с **PV2** - ФЕЦ „Ресен 2”.

На фигури 2 и 3 са показани мощностите за периода от 23 до 29 май. На фиг. 3 са купените активна, реактивна и продадена (генерирана) реактивна мощност от централите.



***Фиг. 2**. Изменение на мощността на централата*



***Фиг. 3**. Купени мощности от централите*

От представените графики се вижда как се изменят мощностите във времето. През деня електроцентралите отдават само активна, а реактивна мощност е нулева. В тъмните периоди на денонощието, когато преустановят отдаването на активна мощност, електроцентралите консумират малки количества активна енергия. PV1 консумира повече активна енергия спрямо PV2. Консумацията на реактивна енергия от PV1 има няколко пика за разглеждания период. PV2 за същия период не консумира реактивна мощност, но за сметка на това отдава такава и то в значително по-големи количества спрямо PV1. Централите отдават активна мощност в периода от 06:00 до 20:45 часа. Разликата между отдадената от централите и върнатата по електропровода енергия в подстанцията, представлява сума от консумираната енергия и загубите на енергия в електропровода.

Изчислените активни загуби по електропровода са (ΔPvel= 0.55% и ΔP_{VEL} = 6.86%) ΔP= 7.41%.

Сравнявайки направените изчисления, когато няма генерация, потоците на активна и реактивна мощност са насочени от преносната мрежа 110 kV към изводите на подстанцията. Електроцентралите отдават реактивна капацитивна мощност по електропровода, която в случая се явява полезна, тъй като покрива отчасти консумираната реактивна мощност от електропровода и консуматорите, присъединени към него, подобрявайки cosφ.

Когато има генерация, централите отдават само активна енергия. Потоците на реактивна мощност запазват посоката си, а големината им зависи от изменението на товарите. Генерираната активна мощност започва да се изразходва от товара на електропровода, при което потокът на активна мощност от подстанцията към електропровода намалява. Влошава се cosφ на електропровода, при което се увеличават загубите на активна мощност в потока от подстанцията до товара. С увеличаване на генерираната активна мощност от електроцентралите, когато се покрие товара на извода, потокът започва да се изразходва в другите изводи на подстанцията. Тогава двата потока активни мощности (от мрежата на 110 kV и генерираната) се обединяват в посока към останалите изводи. Когато генерираната активна мощност е по-голяма от консумираната от изводите на подстанцията, потокът се пренасочва и отдава към мрежата 110 kV. При тази ситуация потоците на активна и реактивна мощност в цялата мрежа са насочени в противоположни посоки. С увеличаване на генерираната активна мощност се намалява консумираната от захранващата мрежата 110 kV такава, при което се понижава и влошава cosφ на подстанцията.

Изменението на напрежението по електропровода в режим на генерация се увеличава с увеличението на генерираната мощност, но също така зависи и от товарите по извода. Когато потребяваната реактивна мощност е по-голяма, увеличението на напрежението е по-малко.

Разработените варианти са при cosφ=1 в ГРУ, т.е. отдаване само на активна мощност в точката на присъединяване към електроразпределителната мрежа. При работа на централите с cosφ≠1 има увеличен пренос на реактивна мощност. Инверторите

могат да се настроят да работят с cosφ (от +0.9-индуктивен до - 0.9-капацитивен).

При работа с капацитивен cosφ, потокът реактивна мощност е съпосочни с този на активната мощност, отдавана от централите (напрежението е най-високо). При индуктивен cosφ, централите се явяват консуматор на реактивна мощност и потоците са разнопосочни (напрежението е по-ниско от опорното). С увеличаване на генерираната активна мощност се повишава и напрежението при източника. Посоките и големините на потоците на активна и реактивна мощност оказват влияние на изменението на напрежението. Когато потоците са съпосочни увеличението на напрежението е най-голямо. При разнопосочни мощности изменението на големината на напрежението е най-малко.

Независимо от посоката на мощностните потоци загубите при пренасяне на активна мощност допълнително се увеличават, когато има наличие на реактивни мощности.

Имайки в предвид, че генерацията на мощност пряко зависи от метеорологичните условия, появата на облачност води до спад в производството. То от своя страна води до намаляване на напрежението в електропровода. Всяко по-голямо изменение на генерираните мощности води до изменение на напрежението, което се усеща най-вече от потребителите, присъединени в близост до електроцентралите.

Най-неблагоприятен за електропровода и централите се явява режимът с максимална генерация и понижена консумация, при който напрежението може да превиши допустимите стойности.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ПРОИЗВЕЖДАНАТА И КОНСУМИРАНАТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ ОТ ФОТОВОЛТАИЧНАТА ЦЕНТРАЛА ПРИ РАЗЛИЧНИ РЕЖИМИ

Електрическата енергия е продукт и както всеки друг продукт, трябва да отговаря на съответните изисквания за качество [2]. Качеството на електрическата енергия е регламентирано в [1].

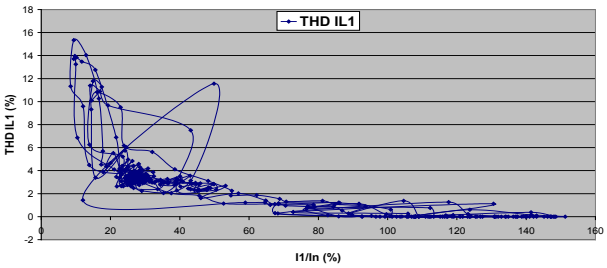
Отклонението на напрежението е в нормите. На фиг. 4 – фиг. 6 е представена връзката между тока от фазите в процентно отношение и съответните им коефициенти на несинусоидалност, което показва как се изменя THDI спрямо натоварването.

От направените изследвания се вижда, че показателите за качеството на електрическата енергията: честотата и отклонение на напрежението са в нормите. При колебанието на напрежението има превишаване на стойностите над допустимите норми. При коефициента на несинусоидалност положението е по-различно. Забелязва се ритмично присъствие на хармонични изкривявания с пикове в началото и края на всеки повтарящ се период. От вечерта до сутринта, когато инверторите са в режим на изчакване и при малки генерирани мощности, има постоянно наличие на хармоници в мрежата. В режим на генерация, когато централите започнат да отдават активна мощност, която изцяло покрива консумацията по електропровода – хармоничните изкривявания в подстанцията не присъстват, но въпреки това се появяват в моменти, когато има рязко изменение на генерираните мощности. Най-високи са нивата на хармонични изкривявания в моментите, когато необходимата мощност за консуматорите на извода се доставя едновременно от подстанцията и електроцентралите. Времето с превишени нива на хармонични изкривявания сутрин и вечер е в порядъка на 30-50 минути.

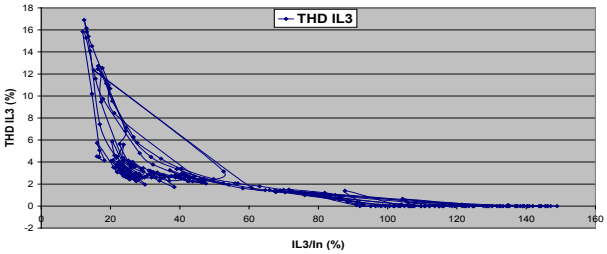
Отчетените резултати от анализатора при електроцентралата са представени в следващите фигури и представляват запазени снимки от екрана на „Fluke 434”. На фиг. 7 е показан спектърът на присъстващите хармоници в напрежението. На фигури 8 до 9 е изменението на 3-ти, 5-ти и 7-ми хармоник в тока по фази за периода на измерване. Съпоставено с товаровите графици по време, появата на високи нива на хармоници в тока започва с прекратяване отдаването на активна мощност в точката на присъединяване – THDi достига над 110%. В режим на генерация хармониците в кривите на тока и напрежението също присъстват, но стойностите им са до 1%, което е под допустимите 8%.

При извършения анализ на получените резултати от уредите се констатира, че качеството на произвежданата и купуваната

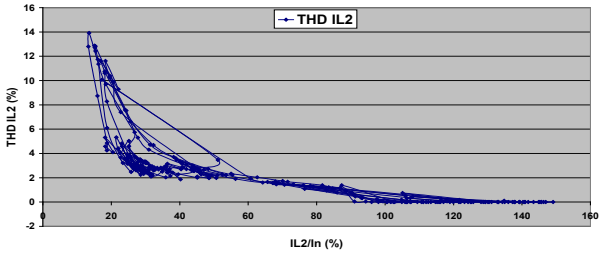
електроенергия от електроцентралата при различните режими по отчетените показатели отговаря на характеристиките [3].



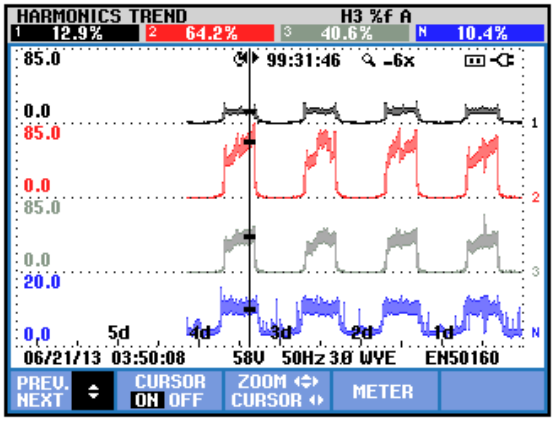
***Фиг. 4**. Изменение на THDI за фаза L1 от натоварването*



***Фиг. 5**. Изменение на THDI за фаза L2 от натоварването*

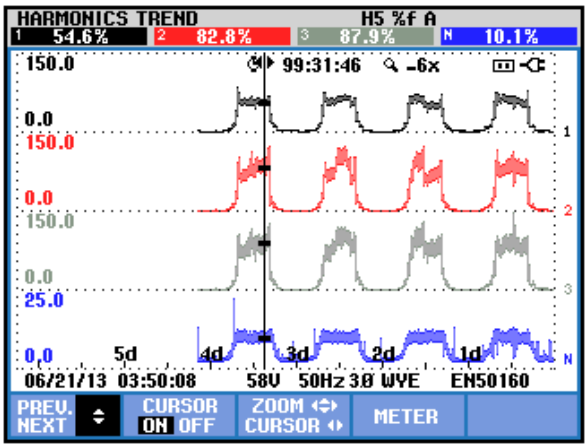


***Фиг. 6**. Изменение на THDI за фаза L3 от натоварването*

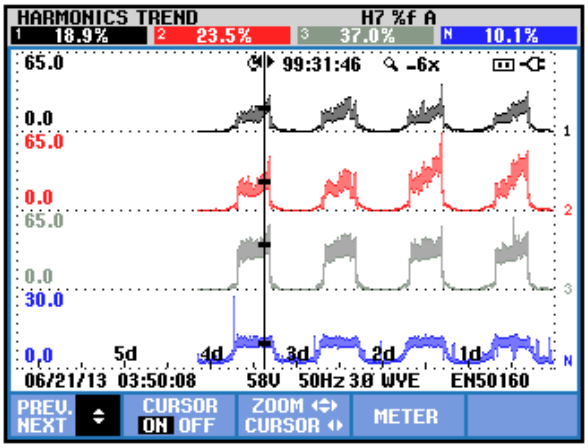


***Фиг. 7**. Изменение на третата токова хармонична по фази*

Изследваната ФЕЦ, присъединена на средно напрежение, е изградена със съоръжения на водещи фирми в бранша и произвежда качествена електроенергия. Въпреки насърчаващата политика за изграждане на нови мощности трябва да се отчетат и страничните ефекти от тяхното присъединяване. При направеното изследване на потокоразпределението в мрежата се установи, че в режим на генерация се понижава cosφ на електропровода и подстанцията, което води до увеличение на загубите при пренос на активна мощност на ЕРП и НЕК. Фотоволтаичната централа оказва влияние на изменение на напрежението по електропровода, към който е присъединена.



***Фиг. 8**. Изменение на петата токова хармонична по фази*



***Фиг. 9**. Изменение на седмата токова хармонична по фази*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Произвежданата електроенергията е качествена в режим на генерация, но в режим на изчакване се генерират и малки количества реактивна капацитивна енергия с високи нива на хармонични изкривявания в кривите на тока, които присъстват в мрежата. При захранване на електропровода

едновременно от подстанцията и ФЕЦ, възниква допълнително генериране на хармоници.

ЛИТЕРАТУРА

[1] BDS EN 50160 “Harakteristiki na naprezhenieto na elektricheskata energia, dostavyana ot obshtestvenite elektricheski mrezhi”

[2] Schlabbach J. D. Blume and T. Stephan Blome Voltage Quality in Electrical Power Systems, IET, 2000, p. 253.

[3] Gregorio Romero, Power Quality Harmonics Analysis and Real Measurements Data, InTech, 2011.

[4] Ivanov K. M., Iv.M.Stojanov: STUDY OF 6 KV NETWORKS WITH DISTRIBUTED GENERATION Annals of the „Constantin Brancusi” University of Targu Jiu, Engineering Series, Vol.4, 2014, Romania, ISSN 1842-4856

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВРЕМЕТО ЗА ИЗКЛЮЧВАНЕ НА МАКСИМАЛНОТОКОВА ЗАЩИТА

Цвятко Колев Върбов
Технически университет – Габрово

STUDY OF THE BREAK TIME OF MAXIMAL CURRENT PROTECTION DEVICES

Tsvyatko Kolev Varbov
Technical University of Gabrovo, Bulgaria

Abstract

Automatic circuit breakers and fuses are used to protect electrical installations from damage and people against direct and indirect contact. One of the most important characteristics of circuit breakers and fuses is the trip-out time diagram, which gives the switch-off time against the flowing fault current. The paper inhere discusses a test method for measurement of the break time of maximal current protection devices.

Keywords: circuit breakers, short circuit, break time, maximal current protection.

ВЪВЕДЕНИЕ

За защита на електрически вериги срещу претоварване и късо съединение и на хората срещу директен и индиректен допир използваме автоматични прекъсвачи и стопяеми предпазители. Една от най-важните характеристики на електрическите предпазители е времето за изключване. В настоящия доклад е разгледан метод за изследване на времето за изключване на автоматични прекъсвачи и стопяеми предпазители.

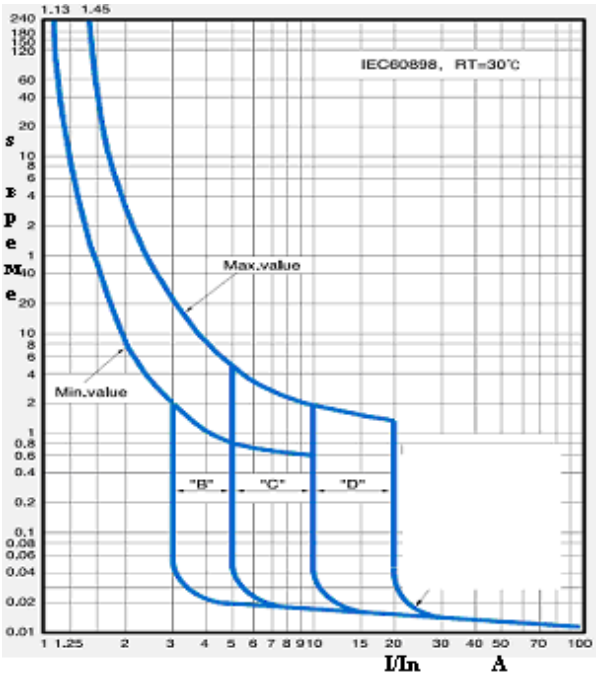
ИЗЛОЖЕНИЕ

Времето за изключване на електрическите предпазители е свързано с защитата на хората срещу директен и индиректен допир. Това време на изключване е нормирано в наредба № 3 от 9 юни 2004 г. за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии. Разпоредбите в глава седем на цитираната наредба се прилагат за защита срещу поражения от електрически ток в електрическите уредби с напрежение до и над 1000 V при нормална работа (защита срещу директен допир или основна защита) и при условия на дефект на изолацията (защита при индиректен допир или защита при дефект). Раздел шест е свързан с мерки за едновременна защита срещу директен и индиректен допир. Според Чл. 206. ал.(1) не се допуска при схема TN времето за автоматично изключване на захранването да превишава стойностите, посочени в табл. 23. Тези времена се считат за достатъчни за осигуряване на защитата срещу поражения от електрически ток, включително при групови вериги, захранващи подвижни и преносими електропотребители и ръчни електроинструменти от клас I на защита срещу поражения от електрически ток. При номинално фазово напрежение 220 (230)V на мрежата, максималното време за изключване е 0,4s. В настоящата статия е разгледан метод за изследване на времето за изключване на автоматични прекъсвачи и стопяеми предпазители при късо съединение.

Автоматичните прекъсвачи, са част от електромеханичните компоненти на електрическите вериги. Два са основните функционални елемента на автоматичния прекъсвач - термичен и електромагнитен изключвател. Термичният изключвател предпазва

от претоварване по ток (трайно протичане на ток, по-голям от номиналния). Електромагнитният изключвател се използва предимно за предпазване от къси съединения

Основен параметър на автоматичните прекъсвачи е характеристиката на изключване, наричана още крива на изключване. Тя представлява времетокова характеристика, даваща връзката между кратността на тока на късо съединение спрямо номиналния ток на задействане, при която предпазителят изключва (ос X) и времето за сработване на предпазителя (ос Y) – фиг. 1. Например, характеристиката B има кратност на заработване в границите 3 - 5, характеристиката C от 5 до 10, а характеристиката D от 10 до 20. [3]



***Фиг.1** - времетокови характеристики на автоматичните прекъсвачи*

В изпълнение на чл. 206 от Наредба № 3, техническия комитет по акредитация предлага да се използват следните коефициенти на задействане *к* за всички видове вериги, защитавани от автоматични триполюсни и еднополюсни прекъсвачи, в зависимост от тяхната времетокова характеристика както следва:

-за характеристика B: *к*=5
-за характеристика C: *к*=10
-за характеристика D: *к*=20
-за характеристика K: *к*=14
-за характеристика Z: *к*=3.

Токът на късо съединение, при който автоматичният прекъсвач трябва да изключи се определя по формулата:

$$I_{к.с.}=I_n.к \qquad (1)$$

Стопяемият предпазител представлява тънка метална нишка в керамично или стъклено тяло. Когато през нишката протече по-голям електрически ток от допустимия, нишката изгаря и електрическата верига, която затваря предпазителя се прекъсва. Използват се буквени означения за тип на стопяемият предпазител

Първата буква посочва диапазона на изключваните токове. Най-често се използват стопяеми вложки “g” (изключвателна способност в целия диапазон).

Втората буква посочва категорията на използване. Тази буква определя точно времетоковите характеристики, условните гранични времена и токове:

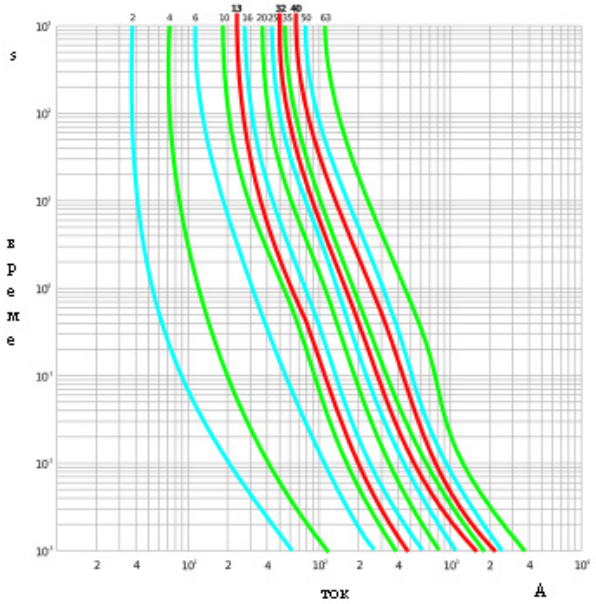
- буквите „gG” означават стопяеми вложки с общо предназначение с изключвателна способност в целия диапазон;
- буквите „gM” означават стопяеми вложки с общо предназначение с изключвателна способност в целия диапазон, предназначени за защита на вериги на електродвигатели;
- буквите „aM” означават стопяеми вложки с общо предназначение с изключвателна способност в част от диапазона, предназначени за защита на вериги на електродвигатели.

Стандартите определят два класа предпазители:

- за използване в битови електрически уредби, изработвани под формата на патрон, за номинални токове до 100 A и означавани като тип gG съгласно IEC 60269-1 и IEC 60269-3;
- за използване в индустрията, изработвани под формата на патрон, означавани като тип gG (обща употреба), gM и aM (за вериги на електродвигатели) съгласно IEC 60269-1 и IEC 60269-2 [4] .

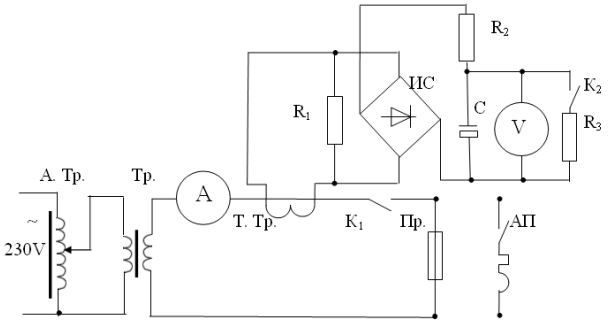
Основен параметър на стопяемите предпазители е характеристиката на изключване наричана още крива на изключване. Тя представлява времетокова характеристика, представяща зависимостта между тока, който предпазителят може да изключи (ос

X) и времето за сработване на предпазителя (ос Y) – фиг. 2. [4]



Фиг.2 *- времетокови характеристики на стопяеми предпазители*

На фигура 3 е показана схемата на постановката за изследване на времето на изключване на автоматични прекъсвачи и стопяеми предпазители.



Фиг.3 *- схема на постановката за изследване на времето на изключване на автоматични прекъсвачи и стопяеми предпазители*

За измерване големината на тока се използва амперметър или ампер-клещи. Чрез ключ К1 се включва постановката.

Чрез автотрансформатор и трансформатор се задава ток през амперметър, токов трансформатор и електрическия предпазител. За измерване големината на тока може да се използват и ампер-клещи. След задаване на напрежение определящо токът през електрическия предпазител се включва ключ К1. Към вторичната намотка на токовия трансформатор е свързан нискоомен резистор R1. Напрежителният пад върху R1 се подава към изправителна схема ИС и RC групата R_2C. Напрежението върху кондензатора С се измерва с волтметър. Времеконстантата τ на RC групата R_2C при изследване на стопяем предпазител се задава близка до 0,4s. Времето на зареждане на кондензатора е около 5τ. При сработване на стопяем предпазител за време по-малко от 5τ кондензаторът остава незареден, като напрежението върху кондензатора зависи от времето за неговото зареждане. Чрез напрежението на кондензаторът се определя времето за неговото зареждане, което е времето на сработване на защитния предпазител. Чрез ключът К2 се разрежда кондензатора С.

Между напрежението на кондензатора u_c в момента на изключване на електрическия предпазител и напрежението на кондензатора U_0 при непрекъсната работа на електрическия предпазител е в сила зависимостта:

$$u_c = U_0\left(1-\ell^{\frac{-t}{2\tau}}\right) \qquad (2)$$

Тази формула е съобразена с формата на напрежението подавано към кондензатора, което е пулсиращо постоянно.

От формула (2) е изведен израз за определяне на времето на изключване на електрическия предпазител.

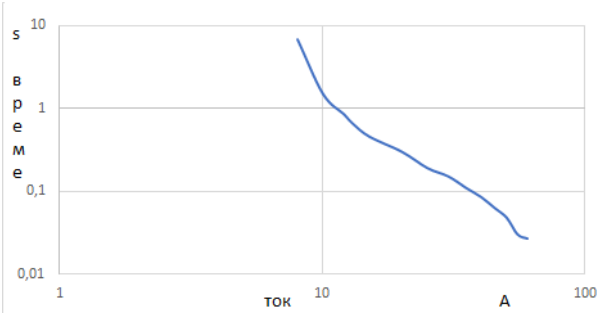
$$t = 2\tau.\ln\left(\frac{1}{1-\frac{u_c}{U_0}}\right) \qquad (3)$$

В таблица 1 са показани резултати от изследване на медна нишка при различни стойности на ток пропускан през нея. Чрез времеконстантата τ, напрежението на кондензатора U_0 при непрекъсната работа на електрическия предпазител, и напрежението на кондензатора u_c в момента на изключване на електрическия предпазител е изчислено времето на сработване на стопяемият предпазител.

Таблица 1

№	$I_{кс}$	U_0	u	t
	A	V	V	s
1	60	7,4	0,13	0,026656
2	55	7,1	0,14	0,029953
3	50	6,4	0,2	0,04775
4	45	5,9	0,24	0,062459
5	40	5,3	0,29	0,084631
6	35	4,7	0,33	0,10949
7	30	4	0,38	0,15013
8	25	3,3	0,39	0,189157
9	20	2,4	0,43	0,296943
10	15	1,8	0,47	0,455122
11	13	1,6	0,56	0,647898
12	12	1,3	0,56	0,847458
13	10	1,1	0,69	1,48431
14	8	0,9	0,89	6,767714
15	6			не изгаря
τ=0,752				

Въз основа на данните от таблица 1 е построена времетокова характеристика на изследваната медна нишка, показана на фиг.4.



Фиг. 4. *Времетокова характеристика на изследвана медна нишка.*

При изследване на времето на изключване на автоматични прекъсвачи се задават стойности близки до тока $I_{к.с.}$ определен от номиналния ток I_n на автоматичния прекъсвач и коефициент *k*.

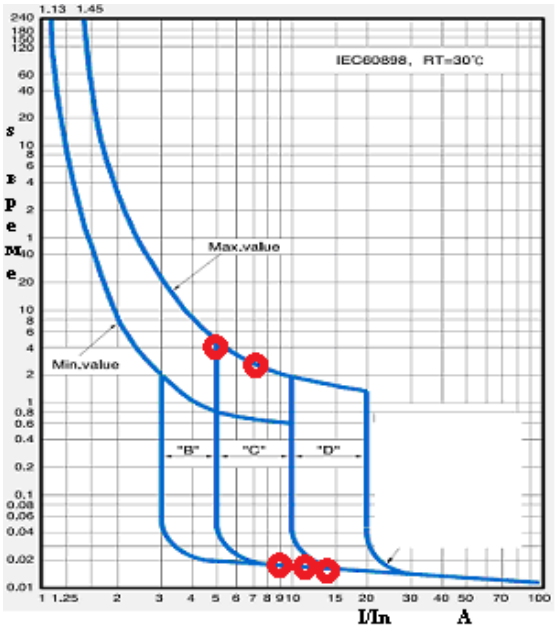
Времето за задействане на автоматичен прекъсвач при стойности на $I_{к.с.} \geq I_n.k$ е около един полупериод т.е. 10 ms.

Изследван е автоматичен прекъсвач тип BKN C4 за който е известно:

$I_{к.с.}=I_n.\ k$

, *където k* за характеристика C е от 5 до 10.

На фиг.5 са показани получени стойности и нанесени върху времетоковите характеристики на автоматични прекъсвачи. За изследваният автоматичен прекъсвач, максималнотоковата защита задейства при *k=9.*



Фиг. 5. *Резултати получени от изследване на автоматичен прекъсвач тип LS- C4 и нанесени върху времетоковите характеристики на автоматични прекъсвачи*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Времето за изключване на защитните предпазители е свързано с защитата на хората срещу поражения при индиректен допир. Посочения метод за изследване позволява проверка на това време при автоматични прекъсвачи и стопяеми предпазители. Методът може да се използва и при лабораторни упражнения с цел изучаване работата на автоматични прекъсвачи и стопяеми предпазители.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Miniature Circuit Breakers & Residual Current -http://- lsindustrialproducts.co.uk/

[2] Ministry of energy and energy resources - Ordinance No. 3 of June 9, 2004 on the Construction of Electrical Appliances and Wiring Lines.

[3] Schneider Electric - Electrical Appliance Manual Chapter H Low Voltage Switchgear: Intended Use and choice

[4] https://de.wikipedia.org/wiki/Schmelzsicherung

[5] Principle of work over fastwork of the apparatuses for protection of current in mine electricalnetwork effect Karcelin E., University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria, 2005

[6] Theoretical Electrical Engineering - Theoretical Course and Applications Part I, Uzunov P., Petrov P., Ivanov K., Gabrovo Print EOOD, 2006.
[7] Theoretical Electrical Engineering - Theoretical Course and Applications, Part II Uzunov P.,Petrov P., Ivanov K, Gabrovo Print EOOD, 2006.
[8] Electrical Part of Power Plants and Substations, Manual for Laboratory Exercises, Ivanov K, Uzunov P., Velev G. Gabrovo Print - EOOD, 2008, ISBN: 978-954-436- 013-9

ENERGY DEPENDENCY OF A HYBRID DECENTRALIZED ELECTRO-THERMAL SYSTEM FROM POWER DISTIBUTION GRID

ЕНЕРГИЙНА ЗАВИСИМОСТ НА ХИБРИДНА ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНА ЕЛЕКТРО-ТЕРМИЧНА СИСТЕМА ОТ ЕЛЕКТРОРАЗПРЕДЕЛИТЕЛНАТА МРЕЖА

Y. Stefanov
Technical University of Gabrovo

H. Hinz
Frankfurt University of Applied Science

K. Ivanov
Technical University of Gabrovo

Резюме:

In this paper is described a research regarding the possible energy dependency from power distribution grid in several decentralized hybrid system structures based on simulations models. They are developed in order to investigate and estimate the possible annual amount of electrical energy consumed from utility grid. All systems are designed to fully provide a residential neighborhood with both electrical and thermal power supply. According to their structure they might consist from combinations of several decentralized generators as combined heat and power plant, peak load boiler, photovoltaic array, wind generators, hydrogen system and lithium-ion battery system. Various possibilities of system architectures from conventional and renewable type are observed as a part of optimization for the electrical and thermal power supply in hybrid decentralized systems and best performing cases are investigated further.

Ключови думи: мрежова зависимост, фотоволтаичен масив, ветрогенератори, микро-термична и електрическа централа, водородна система, система от литиево-йонни батерии, бойлер за покриване на върхова термична консумация, дизелов генератор.

ВЪВЕДЕНИЕ

Напоследък се наблюдава тенденция за нарастване на потребностите от електрическа и термична енергия за задоволяване нуждите на битови и индустриални потребители. Тези растящи нужди трябва да бъдат обезпечени от съществуващите електропреносни и топлоснабдителни мрежи, които да отговарят на настоящите изисквания за енергийна инфраструктура. Това неминуемо може да доведе до увеличаване на годишните разходи за поддръжка и ремонт на изградената инфраструктура, но също така, при достигане на пределна допустима преносна мощност, дефинирана от конструктивните особености на електро разпределителните и топлофикационни мрежи, е възможно да доведе до необходимост от изграждане на нови електро- и топлоснабдителни линии, което само по себе си представлява огромно капиталовложение. Също така трябва да се има в предвид, че изграждането на нови електрически и термични мрежи трябва да съответстват на изискванията, съгласно стратегията 20-20-20 [1] на европейската комисия за преминаване от конвенционални към възобновяеми енергоизточници. От друга страна възможността за локално изграждане на високо-ефективни топлоснабдителни инсталации и преминаване от настоящата форма на електроснабдяване към изграждане на локални зони с децентрализирано електроснабдяване, при частична или пълна автономия от електрическата мрежа, набира все по-голяма популярност, поради възможността за използване на локални възобновяеми ресурси за генериране на електрическа и термична енергия и практическата възможност за минимизиране на загубите за пренос на електроенергия и термична енергия до крайните потребители. Концепцията за електроснабдяване и снабдяване с

термична енергия от децентрализиран характер е реализирана в среден по големина мащаб, с висока степен на изменение на денонощните и сезонни електрически и термични товари, чрез създадената на територията на гр. Келстербах, Германия хибридна децентрализирана система за електроснабдяване и топлоснабдяване на 180 еднофамилни домакинства, имаща активна връзка към възел от електро разпределителната мрежа ниско напрежение.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Изследвани са 10 възможности за реализиране на хибридна децентрализирана система, като всяка една възможна системна конфигурация [5] комбинира в себе си различен брой и вид децентрализирани електрически и термични генератори, формиращи вътрешни подсистеми. За всяка една от тях са изготвени изчисления спрямо пълната системна стойност (NPC) за целия заложен експлоатационен период от 25 години с и без наличие на система за запасяване на електрическа енергия, изпълняваща функцията на буфер между децентрализираната системна генерация и електроразпределителната мрежа. Също така са проведени електроенергетични калкулации на годишното потребление на електрическа енергия. Термичната микроцентрала (МТЕЦ) използвана в изследванията е с променлив капацитет, чиито номинални параметри се изменят като започват от 20 kW/ 39 kW_{th}, преминават през капацитет 50 kW/ 81 kW_{th}, 70 kW/ 110 kW_{th} и завършват с номинални мощности от 140 kW/ 207 kW_{th}. Ветрогенераторите използвани в изследванията имат номинална мощност от 10 kW, а броя им варира от 1 до 6 бр. Някои системи включват в състава си дизелови генератори, които работят в паралел с останалите системни генератори, като техните мощности се изменят от 10 kW през 20 kW, 30 kW и достигат максимална номинална мощност от 40 kW. Използваните фотоволтаични масиви (ФВМ) [3, 7] имат инсталирана мощност от максимум 150 kW_p, като инсталираната им мощност нараства със стъпка на изменение от 25 kW_p, започвайки от 0 kW_p. Някои от разработените системи са снабдени с водородна система, съставена от водороден хидролизатор с номинални мощности от 20kW, 30 kW и 40 kW, резервоар за синтезиран водород побиращ 25 l, 50 l или 75 l и система от водородни горивни клетки със сумарни номинални мощности от 10kW, 20 kW и 30 kW. Всяка една разработена хибридна децентрализирана система е снабдена с група от литиево-йонни батерии, чиито инсталирани капацитети за запасяване на електрическа енергия започват от 0 kWh, съответстващо на моделирана децентрализирана система без система от литиево-йонни батерии (СЛБ) и се изменят възходящо със стъпка на изменение от 25 kWh, като максималната стойност за номинален инсталиран капацитет е равна на 200 kWh. Всички термични източници са свързани в затворена локална топлоснабдителна система, осигуряваща пълно обезпечаване на системното потребление от термична енергия. Те в зависимост от използваната конфигурация се захранват от втечнен природен газ, за който са заложени цени от 0.2 Eur/m^3, 0.4 Eur/m^3, 0.6 Eur/m^3, 0.8 Eur/m^3 и 1.0 Eur/m^3 или от дизелово гориво с цена за литър започваща от 0,5 Eur/l и достигаща до 0,75 Eur/l за промишлено дизелово гориво, при условие, че не се взема в предвид акцизното увеличени на цената и ДДС (VAT).

Термичните консуматори са свързани към източниците на термична енергия с помощта на топлоснабдителна система с малка дължина, положена подземно. Като термични източници се използват система от водородни горивни клетки, комбинирана микротермична електроцентрала, бойлер за покриване на върхова термична консумация и дизелови генератори. Загубите на топлина възникващи при разпределение и снабдяване с термична енергия са минимални, поради компактното разпределение на консуматорите в относително малка територия и използваната многослойна топлоизолация от висок клас на подземната тръбна система. Отразени са като увеличение в термичната консумация от 1% спрямо реално-отчетените стойности.

Електрическата система се състои от две основни шинни системи. Едната е постоянно токова (DC), към която е присъединена

единствено системата от литиево-йонни батерии и имаща напрежение в зависимост от степента на зареденост на литиево-йонните батерии, а другата е трифазна променливо токова шинна електроразпределителна система (AC) с номинално напрежение 400V и честота 50 Hz. В случаите, в които се употребява водородна система е изградена и трета разпределителна система за водород.
Две са използваните основни уравнения. Първото използвано уравнение при анализа се използва за изчисляване на всички разходи за консумирана електрическа енергия, горива, първоначална стойност на инсталираните електрически и термични генератори, амортизация, подмяна на амортизирани съоръжения, влияние на инфлация, продажба на генерирани излишъци от електроенергия, намаляване с течение на времето на физически използваемите инсталирани мощности за фотоволтаичен масив и система от литиево-йонни батерии и други. В крайна сметка използваното уравнение се свежда основно до минимизиране на цялостните разходи за генериране на електрическа и термична енергия, както следва:

$$C_{NPC} = f\left(C_{Ecsr\_grid}\right) + f\left(C_{Qth}\right) = \min$$

където:

C_{NPC} – крайни разходи за целия експлоатационен период на системата [Eur];
C_{Ecsr_grid} – цена на електроенергия доставена от мрежата [Eur/kWh];
C_{Qth} – цена на генерирана термична енергия [Eur/kWh$_{th}$].

С второто от тях се изчислява степента на мрежова зависимост при симулиране на годишната електрическа консумация на разработените модели на хибридни децентрализирани системи, съгласно следното уравнение:

$$W_{csr\_el\_grid} = \frac{E_{csr\_el\_grid}}{\left(\frac{E_{annual\_csr\_el}}{100}\right)}$$

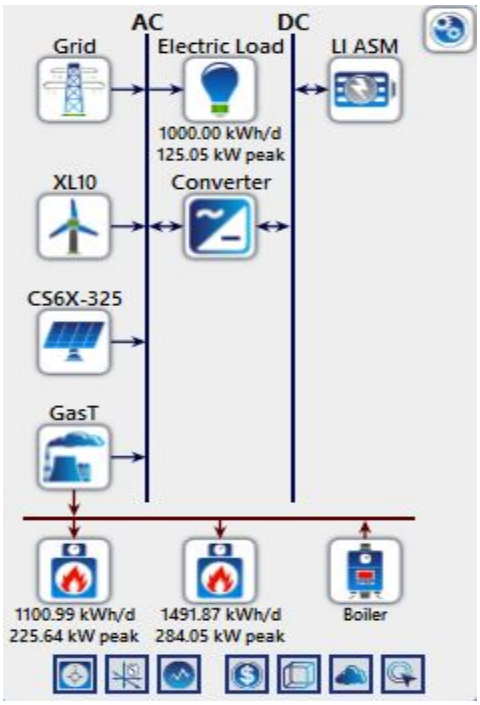
където:
$W_{csr\_el\_grid}$ – мрежова зависимост за децентрализирана система от електрическата мрежа [%];
$E_{csr\_el\_grid}$ – електроенергия доставена от електрическата мрежа към децентрализирана система [kWh/год.];
$E_{\_annual\_csr\_el}$ – консумирана електрическа енергия от децентрализирана система за една календарна година [kWh/год.].
Обобщен вид на проведените изчисления е представен в табл.1.

Табл.1. Обобщен вид на проведените изчисления и резултати за разгледаните системи

Елементи	Системни конфигурации									
Водородна система (H2)	X	X	X	X	V	V	V	X	X	X
Микро-термична и електрическа централа (GasT)	V	V	V	V	V	X	X	X	X	V
Дизелов генератор (2),	V	X	V	X	X	X	X	X	V	X
Фотоволтайчен масив (CS6X-325)	V	X	X	V	V	X	V	V	V	V
Ветрогенератор (XL10)	X	V	V	V	X	V	V	V	V	X
Газов водогреен бойлер (BOILER)	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
NPC без LI ASM [Eur]	1604476	1767758	1720472	1934149	2007754	2181303	2659917	2121367	1852374	1383044
Мрежова консумация без LI ASM [kWh/год.]	10024.1	91115.9	7571.02	57992.9	61496.7	71452.2	269470	210486	36294.64	84036.4
Степен на мрежова зависимост [%]	2.66043	24.1824	2.00937	15.3915	16.3214	18.9636	71.5181	55.8634	9.632697	22.3035
Система от литиево-йонни батерии (LI ASM)	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
NPC с LI ASM [Eur]	2287096	2209444	2345907	2348956	2436906	2566073	3071053	2563104	2361945	2045395
Мрежова консумация с LIASM [kWh/год.]	2025.09	22495.4	1050.59	3843.59	11796.2	34859	246660	188684	35771.77	13194.5
Степен на мрежова зависимост [%]	0.53747	5.97033	0.27883	1.0201	3.13075	9.25169	65.4643	50.0773	9.493926	3.50186

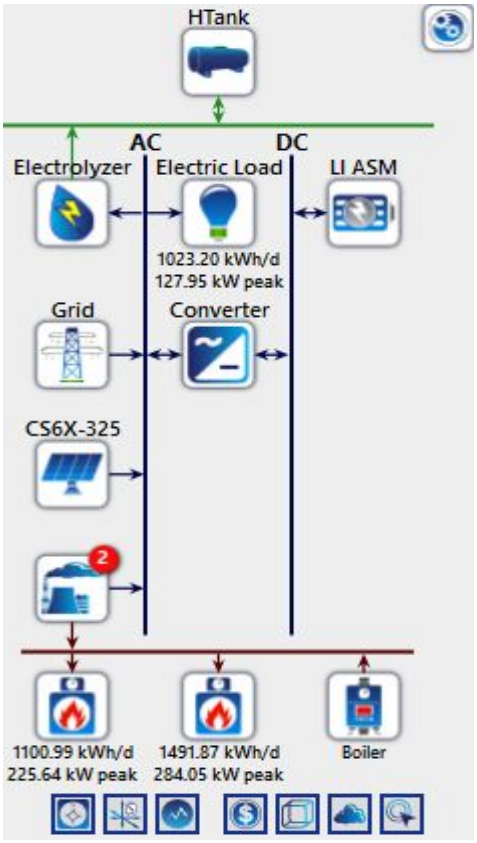
Синтезирани са три конфигурации с най-ниски стойности на мрежова зависимост, изградени с помощта на логически блокове [2]. Избрани са измежду всички разработени модели, заради условието, според което крайната им цена за целия експлоатационен

период е необходимо да бъде минимална.
Първата избрана конфигурация, която може бъде разгледана е съставена от бойлер за покриване на върхова термична консумация (Boiler), термична микро централа (GasT), AC-DC двупосочен конвертор (Converter), ветрогенератори (XL10) [6], система от литиево-йонни батерии (LI ASM), фотоволтаичен масив (CS6X-325) и електроразпределителна мрежа (Grid). За да бъде спазено реалното физическо разпределение на консуматорите в хибридната децентрализирана система, топлоснабдителната верига е разделена на два консуматора. Те реално обединяват в себе си определен брой домакинства, които се захранват от два термични резервоара, разположени в две абонатни станции на територията на жилищния квартал. Блокова схема за разработената децентрализирана система е представена на фиг. 1.



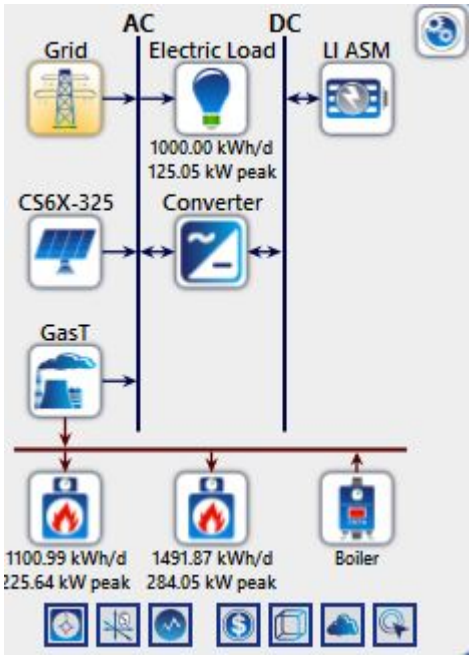
Фиг. 1. *Блокова схема на електрическата и термична вериги при реализираната първа мрежово свързана хибридна система*

Втората разглеждана структура за децентрализирана хибридна система е съставена от бойлер за покриване на върхова термична консумация (Boiler), термична микро централа (GasT), система от водородни горивни клетки (2), резервоар за синтезиран водород (HTank) [4], воден електролизатор (Electrolizer), система от литиево-йонни батерии (LI ASM), фотоволтаичен масив (CS6X-325), AC-DC двупосочен конвертор (Converter) и електроразпределителна мрежа (Grid). Блокова схема за разработената децентрализирана система е представена на фиг. 2.



Фиг. 2. *Блокова схема на електрическата и термична вериги при реализираната втора мрежово свързана хибридна система*

Третата разгледана конфигурация включва бойлер за покриване на върхова термична консумация (Boiler), термична микро централа (GasT), AC-DC двупосочен конвертор (Converter), система от литиево-йонни батерии (LI ASM), електроразпределителна мрежа (Grid) и фотоволтаичен масив (CS6X-325). Разработеният модел се доближава в максимална степен до реалната конфигурация на разглежданата реална хибридна децентрализирана система за електрическо и термично снабдяване. Блокова схема за разработената децентрализирана система е представена на фиг. 3.



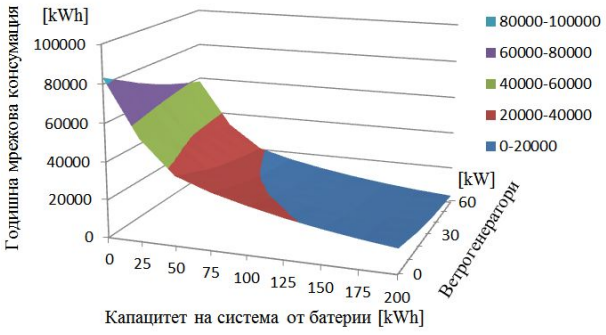
Фиг. 3. *Блокова схема на електрическата и термична вериги при реализираната втора мрежово свързана хибридна система*

Всяка една от разгледаните системни конфигурации е избрана от гледна точка на изчислените стойности за минимална мрежова зависимост. Получените резултати показват, че са възможни и системи с по-ниско процентно съотношение между сумарната годишна електроенергийна консумация и количествата електроенергия доставена от електроразпределителната мрежа, съгласно талб. 1, но те включват в състава си дизелов генератор. Този конструктивен аспект може да доведе до увеличаване на емисиите от парникови газове, което не се вписва в заложените концепции за минимизиране на влиянието върху околната среда и поради тази причина те не са разгледани в настоящата публикация.

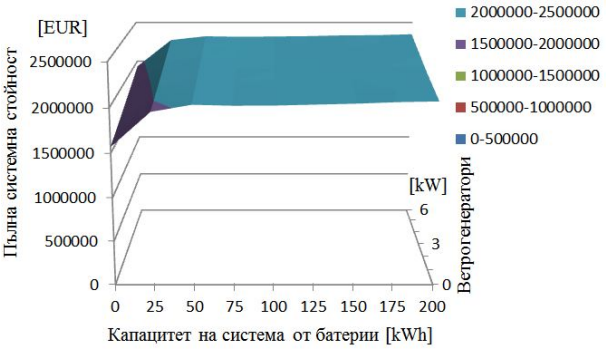
РЕЗУЛТАТИ

Проведени са редица изследвания, в които са симулирани възможните варианти за структура на взетите под внимание системни конфигурации. За всяка една от тях е изчислена степента на мрежова зависимост в проценти и е направена съпоставка с изчисленията за очакваните експлоатационни разходи при различни номинални мощности за всяко едно от използваните съоръжения.

Основен критерий, при анализиране на резултатите е постигане на минимална консумация от електроразпределителната мрежа със стойност до 5% на годишна база за покриване на собствените електрически нужди на консуматорите. Моделите са разработени с помощта на софтуерния продукт HomerPro [8], а изчисленията относно генерираните данни за електрическа консумация и крайна цена на моделираните децентрализирани системи са обобщени с MS Excel. Изведените данни спрямо първата разгледана децентрализирана система сочат, че най-добри параметри за консумирана от мрежата електроенергия от 3843.589 kWh/год. системата достига при употребата на МТЕЦ с параметри 70/115 kW/kW$_{th}$, ФВМ с инсталирана мощност в размер на 150 kW$_p$, ветропарк с мощност от 60 kW или 6 броя вятърни турбини с мощност от по 10 kW, СЛБ с капацитет от 200 kWh. Резултатите са показани на фиг.4 а). Крайната изчислена цена е 2348956 Eur, а нейното изменение е показано на фиг.4 б).

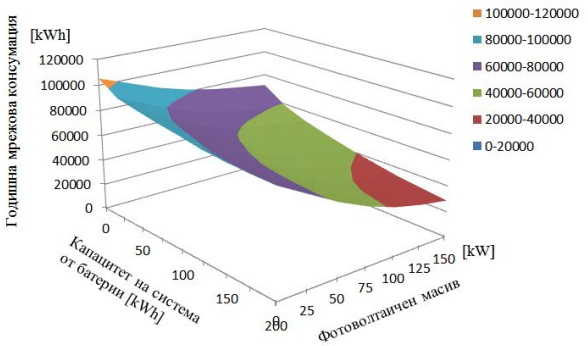


Фиг. 4 а). *Резултати за изменения в мрежова консумация*

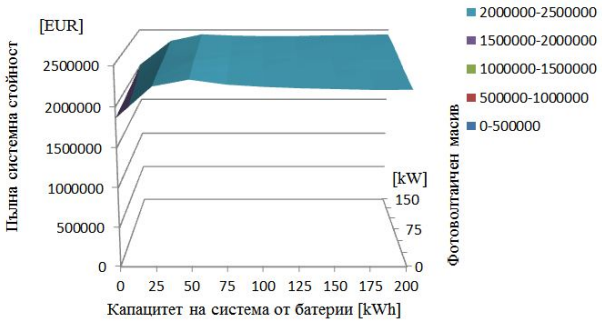


Фиг. 4 б). *Резултати за изменения в крайна цена*

Данните от изчисленията проведени за втория разгледан модел на децентрализирана система сочат, че най-добри показатели за консумирана от мрежата електроенергия от 11796.21 kWh/год. системата достига при употребата на МТЕЦ с параметри 70/115 kW/kW_{th}, ФВМ с инсталирана мощност в размер на 150 kW_p, водороден електролизер 40 kW, масив от водородни горивни клетки с обща мощност от 30 kW, резервоар за синтезиран водород 75 l, СЛБ с капацитет от 200 kWh. Крайната изчислена цена е 2436906 Eur. Въпреки това системна конфигурация използваща същите параметри с изключение на МТЕЦ, който за този случай е с размерност 50/81 kW/kW_{th}, показва резултат за консумирана от мрежата енергия равна на 28617.03kWh/год. Изчислената стойност за NPC при тази конкретна системна конфигурация е по-малка в сравнение с горепосочената и се равнява на 2435412 Eur. Поради това, че разликата в стойностите за крайна цена е малка, за предпочитане е първия вариант, поради по-малкото количество електроенергия консумирано от електрическата мрежа. Като цяло не се наблюдава сериозна разлика между количествата електроенергия доставяни към консуматорите в децентрализираната система при трите номинални размерност за елементите на използваните водородни системи. Въпреки това се наблюдава отчетлива разлика в цената на системна конфигурация изградена с участие на водородна система имаща водороден електролизер 20 kW, масив от водородни горивни клетки с обща мощност от 10 kW, резервоар за синтезиран водород 25l. Това се дължи на зададената еднаква максимална продължителност на експлоатационния период за всички съоръжения участващи във водородната система при разлики в номиналните мощности. Изчисленията за постигнати нива на консумирана електрическа енергия за годишен период са показани на фиг.5 а), а изчисленията за крайна стойност на разработената система са поместени на фиг. 5 б).

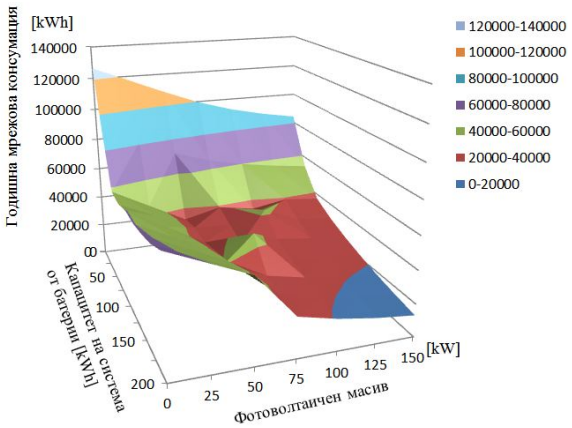


Фиг. 5 а). *Резултати за изменения в мрежова консумация*

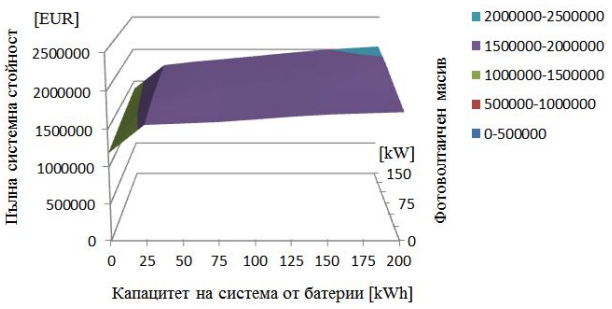


Фиг. 5 б). *Резултати за изменения в крайна цена*

Третата моделирана децентрализирана система постига минимална мрежова консумация в размер на 13194,5 kWh, използваща СЛБ с размерност на наличния капацитет от 200 kWh, МТЕЦ с параметри 50/81 kW/kW_{th} и фотоволтаичен масив с размерност от 150 kW_p. Крайна цена е в размер на 2045395 Eur. Резултатите за консумирана електрическа енергия за годишен период са показани на фиг. 5 а), а изчисленията за крайна стойност на разработената система са поместени на фиг. 5 б).



Фиг. 6 а). *Резултати за изменения в мрежова консумация*



Фиг. 6 б). *Резултати за изменения в крайна цена*

Показаните резултати от системи с различна конфигурация на използваните генератори от конвенционален и възобновяем тип имат за цел да демонстрират достигане и преминаване на заложената стойност от максимум 5% за независимост от електрическата мрежа, при сравняване на стойностите за изчислена финансова себестойност за целият експлоатационен период и при приемане на променливи цени на конвенционалните горива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направените изчисления сочат, че при използване на системна конфигурация от бойлер за покриване на върхова термична консумация (Boiler), термична микро централа (GasT), AC-DC двупосочен конвертор (Converter), система от литиево-йонни батерии (LI ASM), електроразпределителна мрежа (Grid) и фотоволтаичен масив (CS6X-325) може да бъде достигната оптимална степен на мрежова независимост при най-оптимална крайна цена за целия експлоатационен период. Решението до каква степен на независимост от електроразпределителната система ще бъде една система зависи от балансирането между разходи и мрежова консумация, като в крайна сметка при оптимизиране на настоящата хибридна система се набляга на балансирано решение за минимална крайна цена. В предстоящите изследвания ще бъдат разгледани и други системни конфигурации, които ще бъдат сравнени също и по цена на произведен 1 kWh електрическа енергия и по начална себестойност, като се проследи ефекта от интегрирането на система от литиево-йонни батерии и до каква степен нейната размерност указва влияние над степента на мрежова независимост.

ЛИТЕРАТУРА

[1] J.M. Barroso, “Climate and Energy Priorities for Europe: The Way Forward,” European Council, Mar. 2014;
[2] Lambert et al. Micropower Systems Modeling With Homer. Integration of Alternative sources of Energy. John Wiley & Sons, Inc, 379-418, 2006;
[3] D. King, S. Gonzalez and G. Galbraith, “Performance Model for Grid-Connected; Photovoltaic Inverters”, Sandia Report, Sept. 2007
[4] O.Madani, T.Das, “Decentralized Control of a Fuel Cell Ultra-capacitor Hybrid Network”, 2013 American Control Conference (ACC), Washington, DC, USA, June 17-19, 2013, 978-1-4799-0178-4/$31.00 ©2013 AACC, p.5362-5367;
[5] J. B. Fulzele, "Optimium Planning of Hybrid Renewable Energy System Using HOMER", International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol. 2, No. 1, February 2012, pp. 68-74;
[6] Fortunato, B., et al., Economic Optimisation of a Wind Power Plant for Isolated Locations, Solar Energy,60 (1997), 6, pp. 347-358;
[7] G. Delvecchio, M. Guerra, C. Lofrumento, F. Neri, “A Study for Optimizing a Stand-Alone Hybrid Photovoltaic-Diesel System to Feed Summer Loads”, International Conference on Renewable Energy and Power Quality, ICREPQ, Spain, pp. 167-168, 2005;
[8] Gerry S, "Optimal Rural Microgrid Energy Management Using HOMER", International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJIET), Vol. 2 Issue 1 February 2013, p. 113-118;

ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИКА ЗА ПРОГНОЗИРАНЕ НА ЕЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕТО НА ТРОЛЕЙБУСНИЯ ТРАНСПОРТ

Valentin Gyurov[1], Nikolay Bezhanov[2]

[1]Технически университет-Варна, кат.„Електроснабдяване и електрообзавеждане"
[2]Технически университет-Варна, кат. „Електроснабдяване и електрообзавеждане", докторант

APPLICATION OF METHODOLOGY FOR FORECASTING OF ENERGY CONSUMPTION IN TROLLEYBUS TRANSPORT

Valentin Gyurov[1], Nikolay Bezhanov[2]

[1] Technical University of Varna, Department of Electric Power Supply and Equipment
[2] Technical University of Varna, Department of Electric Power Supply and Equipment, PhD Student

Abstract

The paper presents an application of a methodology for energy planning of electricity consumption in electric power supply systems of urban electric public transport. Represented is the practical application of the methodology for a trolleybus transport in Varna, Bulgaria. The study includes a comparative analysis with experimental research of the trolleybuses electricity consumption in other cities in Bulgaria and Europe.

Keywords: *urban electric transport, energy planning, recuperation energy in electric transport, trolleybus transport*

ВЪВЕДЕНИЕ

Развитието на електропотреблението в обществения сектор се оценява, анализира и регламентира чрез национална и регионални стратегии за енергийно развитие. Изследванията в сектора показват, че транспортът е значим дял от енергопотреблението на населените места, като дяловото му участие към общия енергиен микс достига до 30%. В това число влизат първичните енергоносители на база петролни продукти и електрическата енергия. По отношение на електрическия транспорт, неговото участие в сектора транспорт е относително ниско – 25%, като са налице тенденции за неговото увеличаване, с оглед намаляване на вредното екологично въздействие, повишаване на енергийната ефективност и намаляване на шумовото замърсяване. Това се подпомага от редица европейски финансови програми, като в резултат за периода 2010-2019 г. градовете София, Варна, Бургас, Плевен, Стара Загора и др. значително подобриха електрическите си транспортни средства чрез въвеждането в експлоатация на ново поколение тролейбуси, които освен подобрени енергетични параметри, позволяват и ефективно използване на генерираната рекуперативна енергия при инерционни и спирачни режими.

Настоящото изследване представя приложението на методика за прогнозиране на електропотреблението в тролейбусния транспорт в зависимост от техническите характеристики на превозните средства, географските параметри на населеното място, маршрута на движение. Предложената методика е базирана на предходни изследвания, дефиниращи връзката между електропотребление и режима на движение на транспортни средства [1], [2]. В настоящото изследване е разработена цялостна методика, която позволява изчислението на електропотреблението чрез задаване на параметрите на маршрута и характеристиките на тролейбусите. За целта е разработен алгоритъм в среда MathCAD, работещ с кадастрални данни от Google Earth. Представено е приложение на методиката за тролейбусния транспорт на гр. Варна, включващ линии №82, №83, №86 и №88.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Чрез разработената методика е прогнозирано електропотреблението на линиите на градски транспорт в гр. Варна, но тя е приложима и за всички други видове електрически транспорт. За прогнозирането на електропотреблението се изхожда от оценка на консумираната мощност на база необходимата тягова мощност за различните режими на движение – ускорение, движение с постоянна скорост, инерционно и режим на спиране. Основните зависимости, характеризиращи движението са анализирани в изследвания [1], [2], като в настоящето изследване те се усъвършенстват чрез детайлна оценка и метод за изчисление за всеки един от режимите, базирана на географските особености на гр. Варна.

1. Методика за прогнозиране на електропотреблението на тролейбусния транспорт

При движението на тролейбуса могат да се дефинират три режима – ускорение, равномерно движение и спиране. Консумираната електроенергия от тролейбуса се изчислява по (1):

$$E_a = P_E \cdot t \tag{1}$$

Необходимата електрическа мощност се изчислява по (2):

$$P_E = \frac{P_M}{\eta} \tag{2}$$

Необходимата механична мощност е функция на масата на превозното средство, масата на товара, ускорението, скоростта и съпротивителната сила. Методиките за изчисление са показани в [1], [2].

$$P_M = f(m, m_t, v, a, F_R) \tag{3}$$

Съпротивителната сила F_R има три съставки, които са показани в (4):

$$F_R = F_{RR} + F_{Grad} + F_{Drag} \tag{4}$$

Съпротивителната сила при търкаляне F_{RR} се определя с (5):

$$F_{RR} = \mu \cdot W \ , \tag{5}$$

където: μ – коефициент на съпротивление при търкаляне; W- натоварване на колелата [N].

Гравитационната сила F_{Grad} в общия случай, когато наклонът на пътя θ≠0, се определя чрез (6):

$$F_{Grad} = \pm m \cdot g \cdot \sin\theta \ , \tag{6}$$

където: m – маса на тролейбуса [kg]; g=9.807 [m/s^2] – земното ускорение; θ – ъгъл на наклона на пътя [deg].

Съпротивителната сила на аеродинамичното съпротивление F_{Drag} се определя по (7). Съпротивителната сила на аеродинамичното съпротивление се определя от действието на турбулентни въздушни потоци и включва плътността на флуида, площта на напречното сечение на тролейбуса и неговата скорост.

$$F_{Drag} = 0.5 \cdot \rho_{air} \cdot c_d \cdot A_f \cdot {v_{air}}^2 \ , \tag{7}$$

където: ρ_{air} =1.29 [kg/m^3] – плътност на въздуха; c_d = 0.76 безразмерен коефициент на аеродинамично съпротивление; A_f – площ на напречното сечение на тролейбуса [m^2]; v_{air} – скорост на движение на флуида спрямо тролейбуса [m/s].

2. Приложение на методика за прогнозиране на електропотреблението на тролейбусния транспорт

Изследваният обект са тролейбусните линии на Градски транспорт гр. Варна, състоящ се от четири линии: №82, №83, №86 и №88.

За всяка една линия е направено разбиване по участъци, като са изчислени показателите за трите различни режима. За оценка на възможната рекуперативна енергия се отчита тази, която е с отрицателен знак при движение по инерция.

За осъществяването на планирането освен дължината на трасето и денивелацията на маршрута е необходимо основните технически данни на електрическото превозно средство, в нашия случай тролейбус Skoda 26 Tr. Основните технически данни на тро-

лейбус Skoda 26 Tr Solaris са показани в Таблица 1.

Табл. 1

Параметър	Описание
вид електродвигател	асинхронен, 4 полюса
количество [бр.]	1
номинална мощност [kW]	160
номинална мощност на инвертора [kVA]	205
маса на тролейбуса [kg]	10900
обща маса с товар [kg]	18000
брой пътници	86

Линия №82

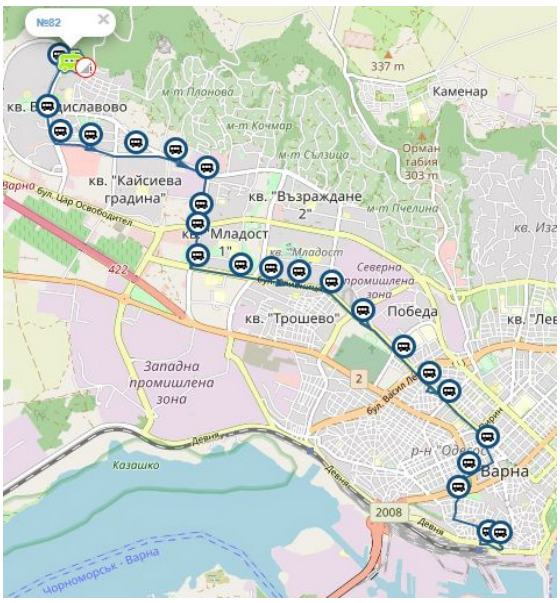
Изследваният маршрут свързва Централна ж.п. гара и кв. Владиславово. Общата дължина на трасето е L=10.783 [km], като се характеризира с изкачване от 2 m до 169 m надморска височина. По протежението на трасето са разположени 23 автобусни спирки. Визуализация на маршрута е показана на Фигура 1. Графикът им на движение е през интервал 20 мин. от 5:30 AM до 22:5 PM.

Линия №83

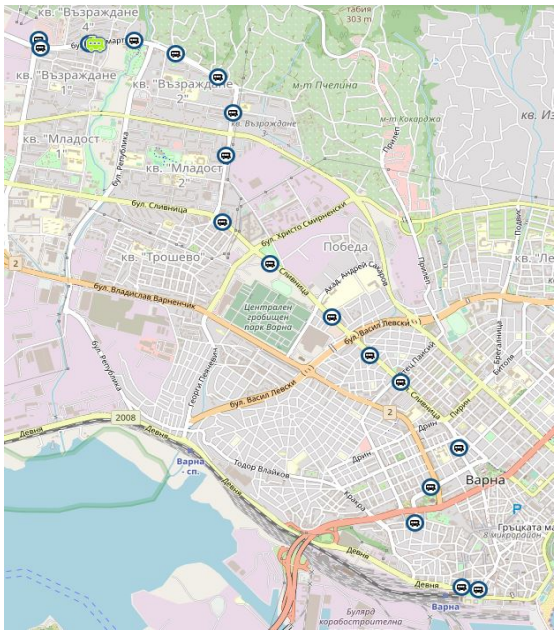
Линията свързва кв. Възраждане с ж.п. гара и е с обща дължина на трасето L=8.4 km, като се характеризира със спускане от 114 m до 2 m надморска височина. Маршрутът е визуализиран на Фигура 2. По протежение на маршрута са разположени 16 автобусни спирки.

Линия № 86

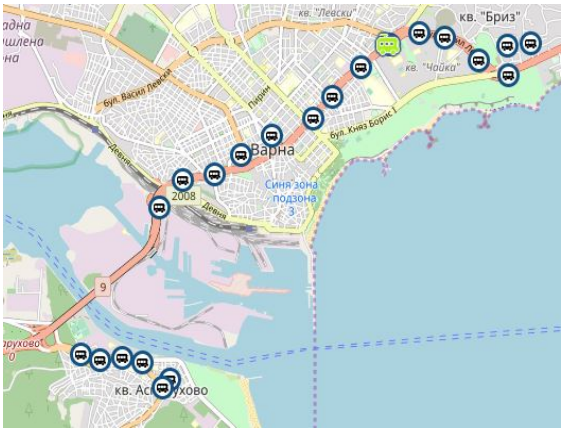
Линията е с дължина L=8.4 km и свързва кв. Почивка с кв. Аспарухово. Характеризира се със силно изразен денивилационен момент в различните участъци. По протежението на трасето са разположени 19 спирки, като се характеризира със спускане от 62 m до 8 m надморска височина. Визуализация на маршрута е показан на Фигура 3.



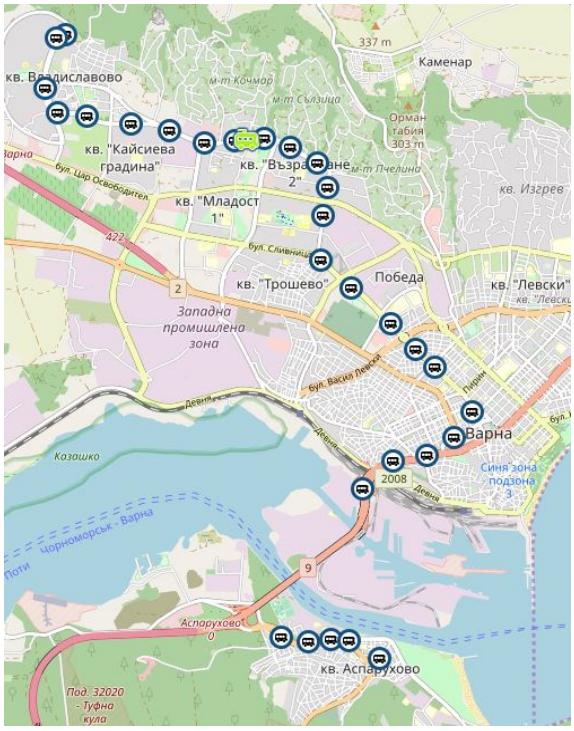
***Фиг. 1**. Маршрут на тролейбусна линия №82*



***Фиг. 2**. Маршрут на тролейбусна линия №83*



***Фиг. 3**. Маршрут на тролейбусна линия №86*



***Фиг. 4** . Маршрут на тролейбусна линия №88*

Линия №88

Като най-дълга тролейбусна линия, показаната на Фигура 4 линия №88 свързва крайните квартали кв. Владислав Варненчик с кв. Аспарухово. Дължината на линията е L=15.5 km. По протежението си обслужва 28 спирки с денивелация от 169 m до 8 m надморска височина.

Поради големия обем на данните в настоящия доклад ще бъде представена извадка за една от линиите – линия №88. Изчисленията за другите линии са аналогични. В Таблица 2 са показани входните данни, необходими за изчисляване на маршрута линия №88 с отчитане стойностите на надморската височина и изминатото разстояние на тролейбуса от светофар до светофар, от светофар до спирка и от спирка до светофар.

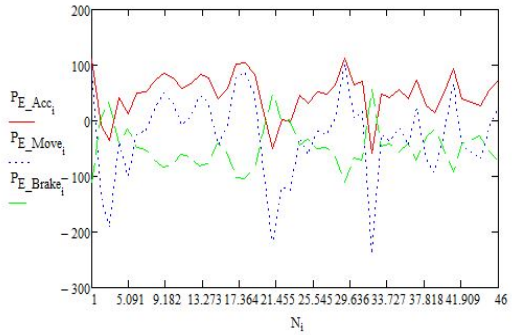
По показаната в т. 1 методика и с помощта на софтуерното приложение в MathCAD се извършва изчисление на движението на тролейбус в двете посоки на маршрута. Трасето се характеризира с голяма денивелация между началната и край-ната точка, което предопределя наличието на значими разлики в електропотребле-нието.

Табл. 2

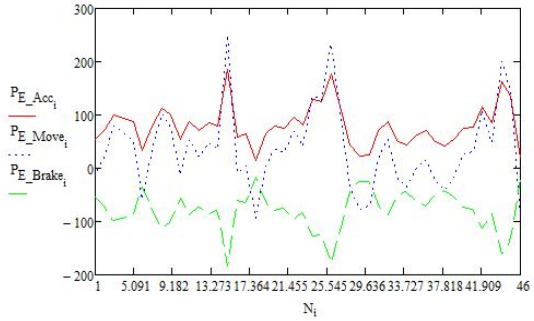
№	начало [m]	край [m]	Дължина [m]	Скорост [km/h]
1	166	169	80	40
2	169	162	120	40
3	162	122	500	40
4	122	119	170	40
5	119	108	260	40
6	108	107	90	40
7	107	102	530	40
8	102	103	120	40
9	103	108	270	40
10	108	113	460	40
11	113	111	400	40
12	111	112	600	40
13	112	113	60	40
14	113	117	380	40
15	117	114	150	40
16	114	113	200	40
17	113	117	130	40
18	117	122	150	40
19	122	130	480	40
20	130	116	390	40
21	116	103	140	40
22	103	100	60	40
23	100	68	600	40
24	68	65	200	40
25	65	57	300	40
26	57	55	200	40
27	55	50	400	40
28	50	50	200	40
29	50	58	200	40
30	58	58	300	40
31	58	59	200	40
32	59	49	100	40
33	49	44	400	40
34	44	37	400	40
35	37	34	450	40
36	34	31	150	40
37	31	33	280	40
38	33	30	100	40
39	30	18	300	40
40	18	12	500	40
41	12	50	1500	40
42	50	19	1600	40
43	19	14	200	40
44	14	8	200	40
45	8	4	500	40
46	4	8	500	40

Изменението на електрическата мощност за осъществяване на тяговото движение за

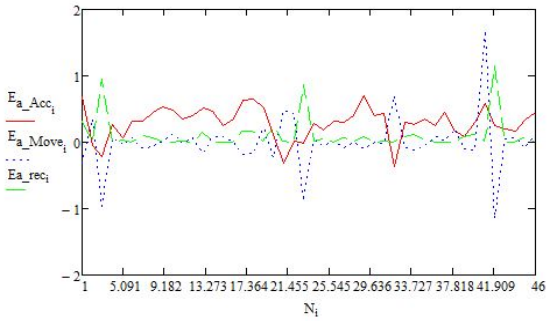
съответните две посоки на маршрута са показани на Фигура 5 и Фигура 6.



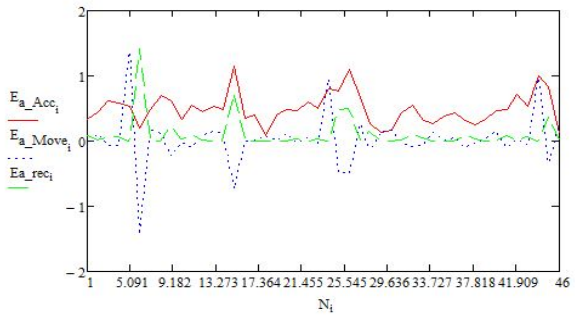
Фиг. 5 *. Изменение на P_{E_Acc}, P_{E_move} и P_{E_brake} в посока кв. Владиславово – кв. Аспарухово (спускане).*



Фиг. 6 *. Изменение на P_{E_Acc}, P_{E_move} и P_{E_brake} в посока кв. Аспарухошо – кв. Владиславово (изкачване).*



Фиг. 7. *Изменение на E_{a_Acc}, E_{a_Move} и P_{a_rec} в посока кв.Владиславово – кв.Аспарухово (спускане)*



Фиг. 8. *Изменение на E_{a_Acc}, E_{a_Move} и P_{a_rec} в посока кв. Аспарухово – кв. Владиславово (изкачване)*

При движението на тролейбусите могат да се дефинират следните три режима – ускорение при потегляне, равномерно движение (или инерционно движение с поддържане на постоянна скорост) и спиране. При дефинирането на всяка величина за всеки един от режимите се въвеждат следните индекси – „Acc”- при ускорение, „Move”- при равномерно движение, „Brake” - при спиране.

Изменението на консумираната електроенергия при ускорение, равномерно движение и генерирана рекуперативна при инерционно движение за съответните две посоки на маршрута са показани на Фигура 7 и Фигура 8.

Индивидуалните и обобщени данни за консумацията на електроенергия, специфичния разход на електроенергия и теоретично възможната генерация на рекуперативна електроенергия са показани в Таблица 3.

Табл. 3

Линия	E_a [kWh]	E_{a_rec} [kWh]	e [kWh/ km]	e_{rec} %
ж.п. гара – кв.Владиславово	24.33	3.17	2.20	13.01
кв.Владиславово – ж.п. гара	15.46	4.30	1.40	27.78
Общо за линия №82	**39.79**	**7.46**	**1.80**	**18.75**
ТИС Север – ж.п. гара	11.31	2.80	1.30	24.80
ж.п. гара - ТИС Север	17.50	2.50	2.10	14.30
Общо за линия №83	**28.81**	**5.30**	**1.71**	**18.40**
кв. Почивка – кв. Аспарухово	14.18	3.70	1.70	26.20
кв. Аспарухово – кв. Почивка	18.20	2.50	2.20	13.00
Общо за линия №86	**32.38**	**6.20**	**1.93**	**19.15**
кв. Владиславово – кв. Аспарухово	19.40	5.30	1.20	27.40
кв. Аспарухово – кв. Владиславово	28.00	4.80	1.80	17.00
Общо за линия №88	**47.40**	**10.10**	**1.53**	**21.31**
Общо за всички линии	***148.38***	***29.06***	***1.71***	***19.59***

Относителната стойност на теоретично възможната за генерация рекуперативна енергия $E_{a\_rec\%}$ се определя като отношение към консумираната активна енергия. В настоящото изследване $E_{a\_rec\%}$=19.59 [%].

Резултатите показват количествена оценка за консумацията на активна енергия, теоретичната възможност за генерация на рекуперативна енергия и специфичния разход на електроенергия, които са сравними с други изследвания, базирани на експериментални данни от измервания. Изследвания в „Столична община" – гр. София, Република България за същия тип тролейбуси Skoda 26 Tr Solaris показват отчетени данни за e = 1.626 [kWh/km] и Ea_rec = 11.35[%] и коригирани чрез аналитичен модел e=1.124 [kWh/km] и Ea_rec = 21.75[%] [3]. Изследвания в гр. Люблин, Република Полша за същия тип тролейбуси показват отчетени данни за e = 1.1 [kWh/km] и Ea_rec = 19.5[%] [4]. Сравнителният анализ на резултатите показва, че с предложения подход, базиран на теоретично изследване, се постигат много близки резултати по отношение специфичния разход на електроенергия със Столична община – гр. София и гр. Люблин. По отношение на теоретично възможната генерирана рекуперативна енергия разликата също е в допустим порядък, като по-големите стойности за гр. Варна се дължат на големите разлики в денивелациите на трасетата, които не са характерни за географското разположение на гр. София. В сравнение с данните за гр. Люблин е налице разлика от 3.6%, но следва да се има предвид, че разработената методика обхваща само процеса на рекуперация при инерционно движение и не отчита тази в режим спиране до нулева скорост – установяване на спирка.

С помощта на предложения подход е възможно относително лесно и бързо да бъдат анализирани енергийните разходи в градския електрически транспорт за различни маршрути, различен график на движение и различно натоварване. Употребата й със съответното софтуерно приложение позволява анализ на електропотреблението и генерираната рекуперативна електроенергия при промяна на някои от изброените параметри.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследването представя приложението на методика и софтуерно приложение в среда MathCAD за планиране на енергопотреблението на градския електрически транспорт с използването на топологията на маршрута на движение, графика на движение и техническите характеристиките на транспортните средства. Показано е приложението на методиката за тролейбусен транспорт в гр. Варна.

Предимство на представената методика е възможността за предварителна оценка на очакваното енергийно потребление, специфичния разход на електрическа енергия и теоретично възможната генерирана рекуперативна енергия без употребата на експериментални данни от измервания. Сравнителният анализ с други изследвания в други градове при същия тип тролейбуси, базирани на експериментални изследвания, доказва достоверността и адекватността на предложената методика. Методиката е възможно да бъде усъвършенствана чрез прецизиране на някои параметри от вероятностно-статистически характер и отчитане на допълнителни влияещи на трафика и движението фактори.

Представеното изследване е част от работата по проект в помощ на докторанти ПД2/2019 „Анализ на електропотреблението в електроснабдителни системи на градския електрически транспорт" по Фонд научни изследвания – Технически университет-Варна.

REFERENCE

[1] N. Apostolidou, N. Papanikolau, "Energy saving estimation of Athens trolleybuses considering regenerative braking and improved control scheme", MDPI Resources, pp. 1-18, July 2018.

[2] D. Baumeister, M. Salin, M. Wazifehdust, P. Steinbusch, M. Zdrallek, S. Mour, L. Lenuweit, P. Deskovic and H. Ben Zid, "Modelling and simulation of a public transport system with battery-trolleybuses for efficient e-mobility integration", E-mobility Power System Integration Symposium, Proceedings, October 2017.

[3] G. Dimitrov, G. Pavlov, "Analisys of the efficiency of regenerative braking systems of trollebys Skoda Solaris under real operation condition", Journal of Mechanic, Transport, Communication, Vol 14, No 3/2, pp. 24-31, 2016.

[4] E. Simonec, "Analysis of trolleybus energy consumption", Advance in Science and Tehcnology Research Journal, Vol.7, Issue 18, pp.81-84, June 2013.

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

ТРИФАЗНО ЗАРЕЖДАНЕ С МОНОФАЗНИ ЗАРЯДНИ УСТРОЙСТВА НА 96 КЛЕТКИ

Димо Димитров Стефанов
Технически университет – Варна

THREE-PHASE CHARGING OF 96 CELLS WITH MONOPHASE CHARGERS

Dimo Dimitrov Stefanov
Technical University – Varna

Abstract

Replacement of a three-phase charger with three single-phase chargers with galvanically isolated DC outputs connected one at each of the phases has been proposed. The battery balance system adjusts the charging current in a small step. The process control is performed via a galvanically isolated CAN interface. Charging and balancing of a 96-cell 64 kWh battery pack is intended to take no more than 6 hours and 30 minutes.

Keywords: electric vehicle, three-phase charging, monophase charging device, battery balance system

ВЪВЕДЕНИЕ

Батерията като преносим източник на енергия има основна роля в съвременната електроника. Медицинското оборудване, преносимите компютри, мобилните телефони и много други се захранват главно от литиеви батерии. В днешно време обаче електромобилната (EV) индустрия се нуждае от повече батерии, отколкото останалите индустрии в комбинация [1], [2], [3] ,[4]. Освен това, батериите стават все по-големи и по-големи, което затяга зоната им за безопасна работа (SOA). Това води до постоянен напредък в технологията на батерията и мониторинг на зареждането и защита на батериите.

Това важи особено за литиевите батерии. Тези батерии имат отлична ефективност, плътност на енергията и мощността и продължителност на цикъла в сравнение с други серийни батерии, но се нуждаят от допълнителна електроника.

Ако такава батерия със само две клетки (номинално напрежение 4,2 V) [5] без допълнителна електроника за регулиране на напрежението в клетката се зарежда от захранване от 8,4 V, една от клетките може да бъде заредена до 3,1 V, а другата до 5,3 V. На практика процесът на зареждане може да доведе до произволни две напрежения, чиято сума дава 8,4 V (в краен случай би било 2,8 V и 5,6 V). В резултат на това литиевите батерии не могат да се използват без допълнителни електронни вериги за наблюдение и защита на батерията.

Система за управление на батерията (BMS) е електронната верига, която гарантира, че батерията работи в своята *зона на безопасна работа*. Тя може да наблюдава, защитава, оценява състоянията, да увеличава производителността и да комуникира с потребител или друго устройство. От изключителна важност е връзката със зарядно устройство и предцизното регулиране на зарядния ток. Традиционно в електрическите превозни средства се използват зарядни с мощности от 3 kW до 43 kW.

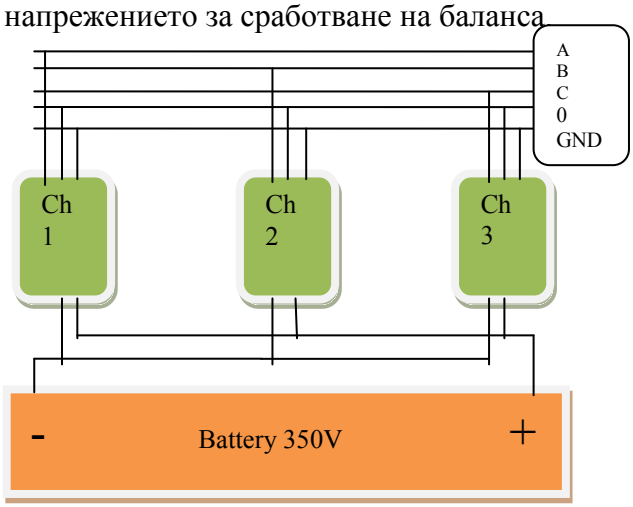
Този доклад се фокусира върху експерименталното проучване на BMS за деветдесет и шест LiFePO4 клетки с капацитет 200 Ah и три монифазни зарядни устройства, свързани трифазно с обща мощност 10 kW.

ЕКСПОЗИЦИЯ

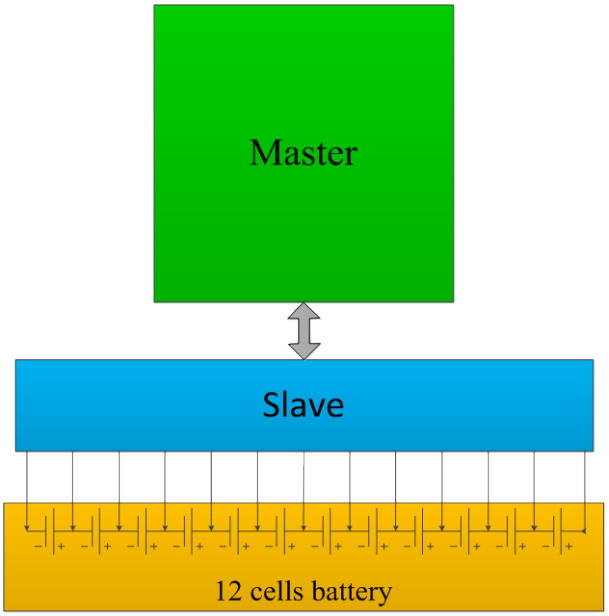
Настоящото предлагане на пазара на електрически товарни автомобили до 3,5 т е изключително малко. Това създаде нуждата от създаване на прототип в този пазарен

сегмент 3,5 т, 100 kW задвижващ мотор, 64 kWh литиева батерия и 10 kW бордово зарядно. Батерийният пакет е съставен от 96 броя LiFePo4 клетки с капацитет 200 Ah, общото номинално напрежение е 308 V. Времето и начинът за зареждане на една товарна машина са от голямо значение за потребителите. Настоящото състояние на зарядната инфраструктура и точките на потребителите за зареждане е ограничена в повечето случаи до 32 A на фаза на мрежата, тоест 7.2 kW. Това поражда нуждата от трифазно зарядно устройство с 16 A на фаза. Избираме да използваме три зарядни устройства, галванично разделени. Всяко едно е свързано към отделна фаза на мрежата, а DC изходите са в паралел. Управлението е по CANbus интерфейс, който също е галванично разделен. Той позволява фино регулиране на максималното напрежение от 110 V до 400 V през 0.1 V и ток на зареждане от 0.1 A до 10 A през 0.1 A. Системата за баланс на батерията изпраща съобщения по CAN шината за нужния заряден ток на всяко от трите зарядни, като токовете винаги трябва да са еднакви, за да не се разбалансира мрежата. Задава се и горна граница на напрежението, съобразено с максималното напрежение на зареждане на пакета 96x3,65=350,4V.

Системата за баланс на батерията е изградена от главен модул (Master) и осем управляеми модула (Slave) управлявани по RS485. Всеки Slave измерва и балансира дванадесет на брой клетки. Токът на балансиране е 400 mA, а точността на измерване на напрежението е ±5mV в диапазон от 0 до 5 V. Главният модул задава праговете на напрежението за сработване на баланса.



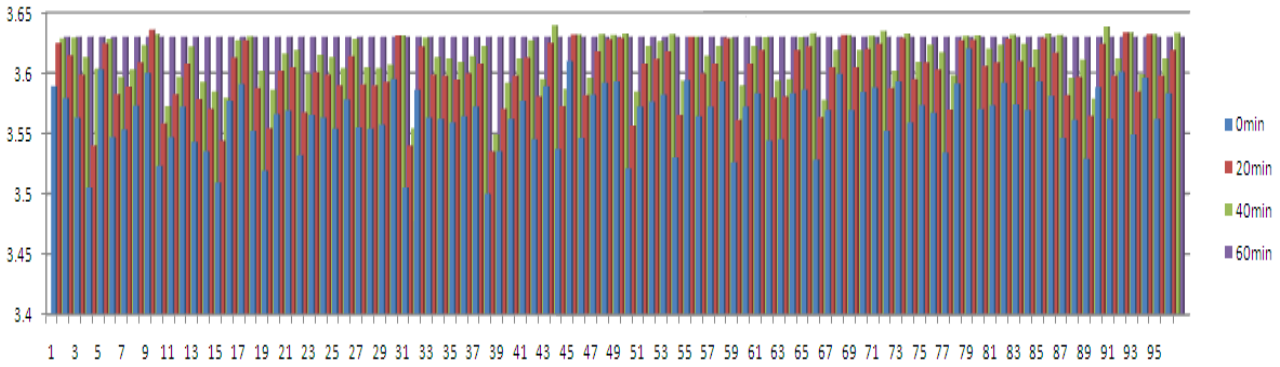
Фиг. 1. *Три монофазни зарядни устройства в трифазно свързване.*



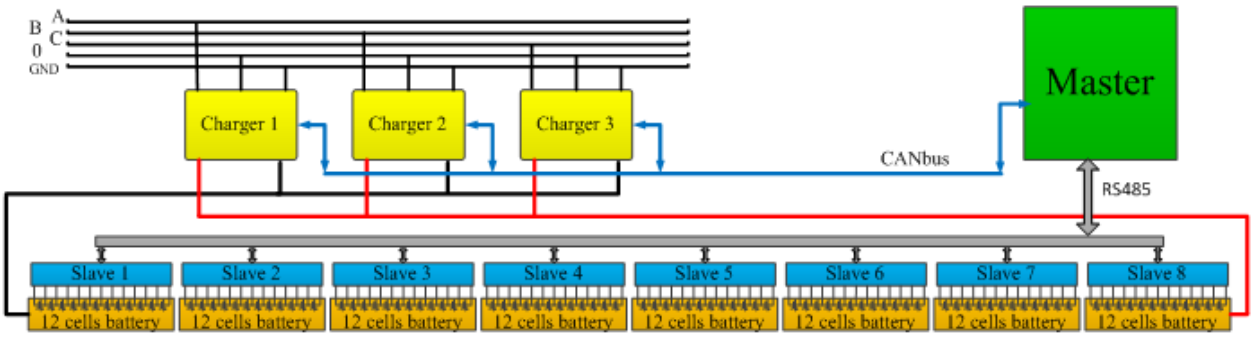
Фиг. 2.*Блок схема на система за баланс на батерията.*

Най-важната част от алгоритъма на микропроцесора е именно адекватното измерване на входните величини, тоест напрежението на всяка клетка с максимално висока точност. Тук се обръща внимание на обработката на входните данни и тяхното изчисление. След инициализацията на микропроцесора главният цикъл започва с изчакване от 100 ms, това е нужно, за да приключат всички започнали процеси. Измерването на входните величини се прави от 12 bit АЦП което е с 12 на брой мултиплексорни входа. Подбран е конкретният микропроцесор, заради функцията му да сканира всичките 12 входа в един и същ момент от време, а не да ги обхожда един след друг. Именно тази функция позволява да се направят 1000 на брой отчета на всеки един от каналите за максимално кратко време. С този процес се подобрява бързодействието на алгоритъма в сравнения с предходния. От събраните отчети се премахват тези с най-висока и най-ниска стойност. Следващата стъпка е извеждането на средната стойност от всички отчети, за да се получи точната стойност . На базата на измерения резултат се взема решение за ON или OFF на балансиращия резистор на съответния канал.

Главният модул отчита достигането на прага за високо напрежение на всяка клетка. След детектирането намалява зарядния ток, който е 30 А. При първата стъпка намалява тока на 50% от номиналния или 15 А. След достигане на, която и да е клетка отново до прага на високо напрежение, токът се намалява с още 50% или 7.5 А. При трето достигане вече се установява до 0.6 А, тоест по 0.2А на всяко от зарядните устройства. Тази стойност на тока вече е малко над тока на баланс на устройството. При този режим отново се използва методът на баланс с ON и OFF ток, но вече с по-ниска стойност. По този начин се увеличава времето, в което е ON и балансиращите резистори го компенсират. Тоест в заредените клетки не се зареждат с повече от 0.1 А. Това увеличава времето за нарастване на напрежението им до заредено състояния, което позволява на незаредените клетки да получават по-дълго време заряден ток от 0,5 А. По този метод се намалява времето за балансиране на клетките с 20% в сравнение с ON/OFF метод.



Фиг. 3. *Балансиране на 96 клетки за 60 минути*



Фиг. 4. *Пълна блок схема*

На Фиг. 3 графично е показано в четири отчета във времето, балансирането на 96 броя клетки 200 Ah. Първият отчет са измерени стойностите на клетките в началото на балансиращия цикъл и ток на заряд 30 А. Вторият отчет са измерените стойности след 20 минути балансиране и ток 15 А. Третият отчет е след 40 минути и ток на зареждане 7.5 А. Четвъртият отчет е в края на балансиращия цикъл, когато всички клетки са достигнали заредено състояние от 3.630 V при ток на заряд 0.6 А. След достигане на всички клетки до максимално напрежение, зареждането се прекратява. Времето за пълно зареждане на батерията от 20% до 100% отнема 5 часа, а балансирането и отнема 1 час, което прави общо време за зареждане 6 часа.

На Фиг.4 се вижда пълната блок-схема на трифазно свързаните монофазни зарядни устройства, които зареждат целия пакет от 96 клетки, свързани последователно. Системата се състои от 8 управляеми устройства. Всяко устройство измерва и балансира дванадесет клетки едновременно и изпраща измерените резултати на главния модул, който освен обработване и ги визуализира за улеснение на потребителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изборът на три монофазни зарядни устройства, свързани на всяка фаза на трифазната мрежа, намалява цената на крайния продукт в сравнение с аналогично трифазно зарядно. Възможността им за регулиране на зарядния ток с малка стъпка позволява системата за баланс на батерията, бързото и точно балансиране на 96 броя клетки в пакета.

ЛИТЕРАТУРА

[1] C. Vyas, D. Hurst, and J. Gartner, “Electric vehicle consumer survey," Pike Research, Tech. Rep., 2011.

[2]“China publishes plan to boost fuel-e_cient and newenergy vehicles and domestic auto industry,"http://www.greencarcongress.com/2012/07/china-20120709.html, 2012, [Online; accessed15-September-2012].

[3]U. EIA, “Annual energy outlook 2012 with projectionsto 2035," U.S. Energy Information Administration,Tech. Rep., 2012.

[4]P. D. Blair, “Modeling energy and power requirements of electric vehicles," Energy Conversion, vol. 18, no. 3,pp. 127 - 134, 1978

[5] D. Andrea, Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs, 2010 ARTECH HOUSE, ISBN-13 978-1-60807-104-3, Boston, 2010.

НАПРАВЛЕНИЕ 2

ЕЛЕКТРОНИКА И СЕНЗОРНА ТЕХНИКА

SESSION 2

ELECTRONICS AND SENSORS TECHNICS

A DESIGN OF THE PID BASED TEMPERATURE CONTROLLER

Aleksandar Žorić
Faculty of technical sciences
University of Priština, Serbia

Aleksandar Micić
Faculty of technical sciences
University of Priština, Serbia

Verica Vasiljević
Faculty of information technologies
Slobomir P University, R. Srpska-BiH

Nikola Žorić
Faculty of technical sciences
University of Priština, Serbia

Abstract

This paper describes a practical solution of PID based temperature controller. The discrete PID algorithm was implemented by software using a 32-bit microcontroller. As the heater driver, phase controlled triac device was used, while the DS18B20 is selected as a digital temperature sensor. The realized temperature controller was tested on a real process. The test results show good agreement with theoretical assumptions.

Proposed controller is designed to be implemented into heating system which can be represented as FOPDT (First Order Plus Dead Time) model. The cost of the implemented system is relatively small in relation to the opportunities and savings that can be achieved by its implementation.

Keywords: PID, FOPDT, PLX-DAQ, SSR temperature controller, MCU, triac, Ziegler-Nichols method.

INTRODUCTION

PID (*Proportional Integral Derivative*) controllers are the most represented regulators in the industry with more of 95% participation of all of used regulators [1], [7]. The development of fast and powerful microprocessors and microcontrollers made it possible to implement digital PID controllers in the form of standalone devices or as part of a PLC (*Programmable Logic Controller*). Today's modern industries, scientific workstations, laboratories, and the like use the control systems whose extensive application is also seen in regulating vehicle speed, temperature control of incubators for premature infants, temperature and humidity control of cellular incubators, mobile robot control and many other applications.

The PID algorithm is a relatively easy to conceptually understand and implement in practice [3]. The favorable cost/benefit ratio provided by PID controllers make them the most commonly used controllers in the lowest level of control systems in industry.

In this article the PID based temperature controller is proposed. Simple architecture and low cost are the main features of the proposed controller. Due to the application of the semiconductor temperature sensor, the operating temperature range of the controller is limited from -55 °C to 125 °C. This deficiency can be dispersed by a slight modification of the sensor circuit of the proposed solution.

CONTROLLER ARCHITECTURE

The block schematic of the controller represents the conventional regulation circuit shown in the Figure 1.

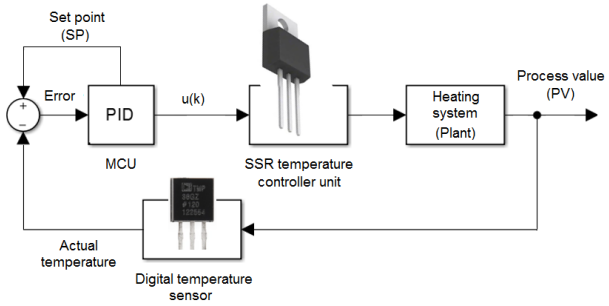


Fig. 1. *PID temperature controller block schematic*

As can be seen, the output of the PID regulator drives the SSR temperature controller unit [5] while the feedback makes the digital temperature sensor DS18B20. The PID

regulator was implemented as software code using the microcontroller. The heating system can be represented as first order system plus dead time model (FOPDT) [1], [7]. Such models can represent various plants in the industry.

In the Figure 2 complete schematic of the proposed PID based temperature controller is reported.

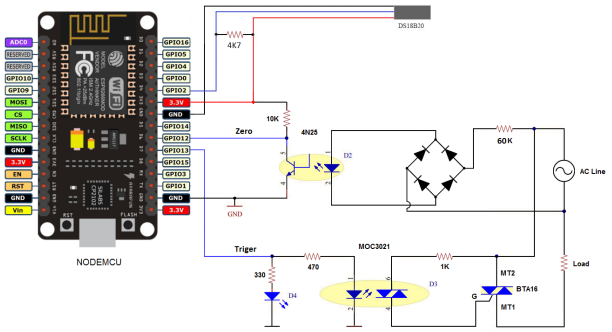


Fig. 2. *PID temperature controller complete schematic*

The heart of the controller is the NodeMCU platform with 32-bit microcontroller (MCU) *Tensilica's L106 Diamond* with low power consumption and maximum clock frequency of 160MHz [4]. Primarily, the development platform was created on the basis of the ESP8266EX SoC (*System on a Chip*) with a high degree of integration with the MCU that can host the application or work as a slave with an external host MCU. Integrated serial communication interfaces, such as SPI (*Serial Peripheral Interface*), I^2C (*Inter-Integrated Circuit*), or UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), can be a convenient coupling when using the ESP8266EX SoC as a WiFi adapter in any microcontroller environment. When the ESP8266EX SoC hosts an application, it then "boots up" from the fast external flash memory. SoC integrated fast cache is then of direct help to increase system performance and optimize system memory. In accord with this, the ESP8266EX SoC contains integrated 50kB SRAM (*Static Random-Access Memory*) and ROM (*Read-Only Memory*) units as well as a memory controller. The 17 GPIO lines of SoC can be used as an interface with external sensors and other devices.

Temperature controller unit contains opto-isolated zero-cross circuit to detect the passing of AC (*Alternating Current*) voltage across null, as well as the power triac controlled by optically coupled triac driver [5]. Each passage of AC voltage through zero generates an interrupt signal at the GPIO12 (*General-Purpose Input/Output*) input line of the MCU. Based on the output control signal of the PID regulator, the MCU calculates the ignition angle of the triac and switches on the triac with a short pulse on the GPIO13 output line. By change of ignition angle of the triac in each half period of AC voltage the effective value of the voltage on the load can be controlled. In such a way, the active power of the heater of the heating system can vary in accord with the value of the output variable of PID regulator.

As a feedback of the controller the digital temperature sensor DS18B20 was used. Selected temperature sensor has user configurable temperature resolution 9, 10, 11 and 12 bits, corresponding to temperature change of 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, and 0.0625°C, respectively. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that requires only one data line for communication with a MCU and an external pull-up resistor. Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20's to function on the same 1-Wire bus. Operating temperature range is from -55°C to 125°C. Serious disadvantage of the DS18B20 sensor is a long temperature conversion time of max 750ms. However, having in mind the inertia of the heating system and possibility of non-blocking temperature measurement using selected sensor, this global disadvantage will not has influence on the sampling rate of PID regulator. Finally, the operating temperature range of the applied sensor remains as a limitation.

HEATING SYSTEM MODELING

Proposed controller was tested on a heating system consisting of the filament of a light bulb for AC line. The light bulb of 15W power for 220V and 50Hz was selected. The temperature sensor was mounted at the glass balloon surface of the lamp. Such a choice of the heating system was made because of the shorter duration of the experiments, in accord with relatively small time constant of the system.

One of the well known experimental methods for PID parameters tuning is the Ziegler-Nichols's step excitation of the plant in open loop (without regulation) [3], [1]. It works quite well on a large number of the first-order systems and does not require extensive system testing or measurement. Assuming that the selected heating system can be modeled as first-order system with a transport delay (FOPDT) it was necessary to measure the temperature response of the plant on the step change of the input heating power and then modeling the plant.

Figure 3 shows the step response of the heating system in open loop.

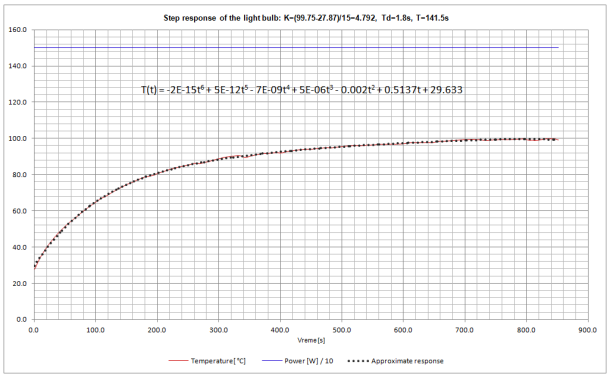


Fig. 3. *Plant open loop temperature response and approximate response on the step change of the input heating power*

The displayed system response was recorded in real time using PLX DAQ v2 program [6]. PLX DAQ v2 is a program used to establish an easy communication between Microsoft Excel on a computer with Windows operating system and any device that supports serial port protocol.

As can be seen in the Figure 3, the step response of the plant corresponds to the response of FOPDT system with transfer function in the form

$$G(s)=\frac{K}{Ts+1}e^{-T_d s} \qquad (1)$$

where K is the gain, T is time constant and T_d is dead time of the plant.

The follow model parameter values were obtained from the experiment, i.e. from Figure 3:

- dead time - $T_d=1.8s$,
- step input (power input to the plant) - $15W$,
- steady-state change in output - $(99.75-27.87)^{\circ}C=71.88^{\circ}C$.
- gain - $K=\frac{71.88^{o}C}{15W}=4.792\left[{}^{o}C/_{W}\right]$,
- the temperature corresponding to the time constant of the plant is $0.632(71.88)^{\circ}C+27.87^{\circ}C\approx 73.3^{\circ}C$

Thus, from Figure 3, the time constant is: $T=(143.3-1.8)s=141.5s$.

Then the equation (1) becomes,

$$G(s)=\frac{4.792}{141.5s+1}e^{-1.8s} \qquad (2)$$

The basic advantage of the described methodology of obtaining a model (process identification) lies in its simplicity. By measuring only three parameters (K, T and T_d), the model of the process is determined within one experimental test.

PID PARAMETERS TUNING

As it was known, PID control signal is the sum of three terms which are based on the error signal:

$$u(t)=K_p e(t)+K_i\int_0^t e(t)dt+K_d\frac{de(t)}{dt} \qquad (3)$$

where $e(t)=r(t)-y(t)$ represents error as the difference of reference and output values, K_p is proportional constant, K_i is integral constant and K_d is derivative constant. By discretization of the equation (3) in the time domain, obtained expression was implemented as difference equation applicable for digital control systems as microprocessor implementation.

Regulator	K_p	T_{int}	T_{der}
P	$1/(K\Theta)$	-	-
PI	$0.9/(K\Theta)$	$3T_d$	-
PID (parallel)	$1.2/(K\Theta)$	$2T_d$	$T_d/2$

Table 1*. PID parameters choice, determined by Ziegler and Nichols for step excitation of the plant in open loop*

The well chosen value of PID parameters K_p, K_i and K_d are the key in providing stable and desired transient and steady-state

response. PID parameters K_p, K_i and K_d can be obtained by using heuristic methods, analytical methods, frequency response methods, optimization methods and adaptive tuning methods [1], [2], [3]. The values of K_p, K_i, and K_d, are obtained here as proposed by Ziegler and Nichols [3] - Table 1, where $\Theta=T_d/T$ is normalized time, $K_i=K_p/T_{int}$ and $K_d=K_pT_{der}$.

NODEMCU PROGRAMMING

The main task of the selected 32-bit NodeMCU platform [4] is the calculating the PID controller's control variable based on the error signal (difference between reference and controlled temperature) at specified time intervals and accordingly driving the SSR (*Solid State Relay*) temperature controller. This task can be accomplished by constantly monitoring the controlled output temperature of the plant. The complete task was solved programmatically using the popular Arduino IDE (*Integrated Development Environment*).

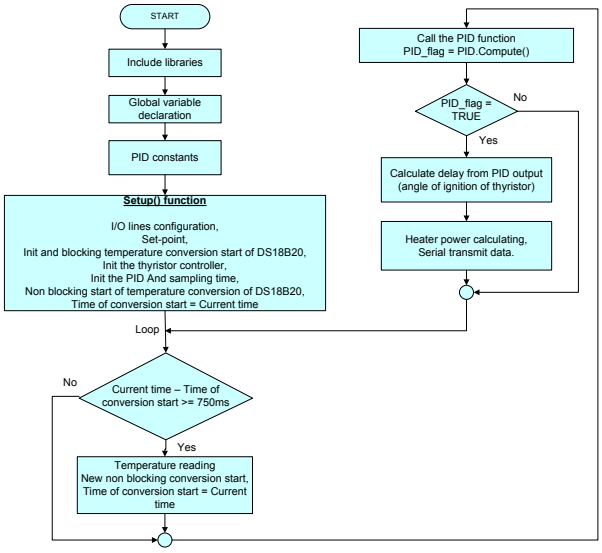


Fig. 4. *Main program flow diagram*

As can be seen from Figure 4, the main loop executes by cyclic with periodic asynchronous (non-blocking) 12-bits temperature reading. Within the loop, a *PID.Compute()* function is called that calculates output only at the appropriate sampling time. The PID regulator output control variable is an unsigned eight bits integer number *N*. The delay calculated on the basis of this number is given by the expression (4). The delay decreases with increasing *N*.

$$t_d = 10000 - N\ 10000/255\ [\mu s] \qquad (4)$$

The calculated delay is used in the interrupt routine to switch on the thyristor at the appropriate ignition angle in each half-period of AC voltage of frequency 50Hz. The interrupt routine is called each time the AC voltage goes through. The serial data transmission format is adapted to the mentioned PC's program for acquisition and monitoring - PLX DAQ v2.

RESULTS AND DISCUSSION

Figures 5 and 6 show the waveforms of the responses of the tested controller - temperature on the glass surface of the light bulb and electric power of the light bulb, recorded in real time with PI and PID regulators, respectively. The constants of one and the other type of regulator were calculated on the basis of the parameters of the recorded model of the plant and Table 1. A dedicated PLX DAQ v2 program [6] was used to observe and record the waveforms. Beside the controlled output temperature, the controlled electric power of the light bulb was also observed and recorded in order to gain a quantitatively better insight into the regulation process. The responses of the controller without disturbances were recorded.

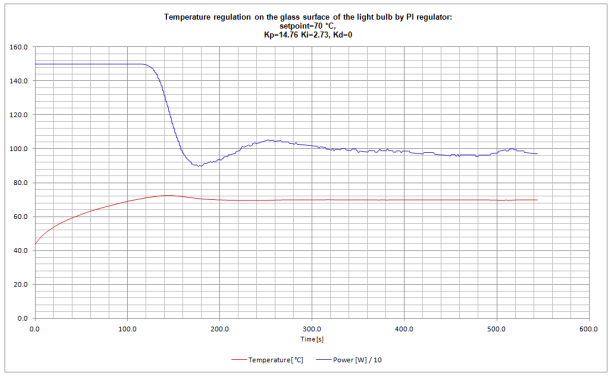


Fig. 5. *The responses of temperature and active power when using PI regulator at setpoint 70 °C*

Looking at the recorded waveforms, it could be said that the control with the PID regulator is finer - more accurate than the PI regulator. Although the starting and reference temperatures are different in both cases, it is also noticeable that the settling time is shorter in the case of PID control.

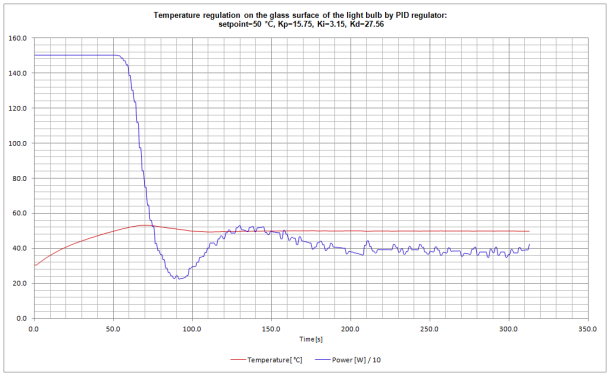


Fig. 6. *The responses of temperature and active power when using PID regulator at setpoint 50 °C*

Figures 7 and 8 show the effects of external disturbance on PI and PID regulators with the same constants as in the previous two cases. The external disturbance was caused by the forced cooling of the glass bulb of the lamp.

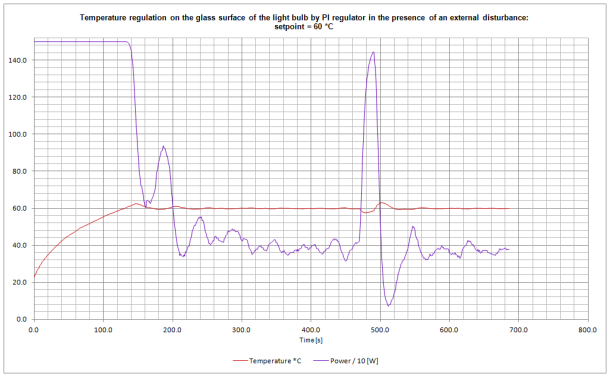


Fig. 7. *The responses of temperature and active power of PI regulator with external disturbance*

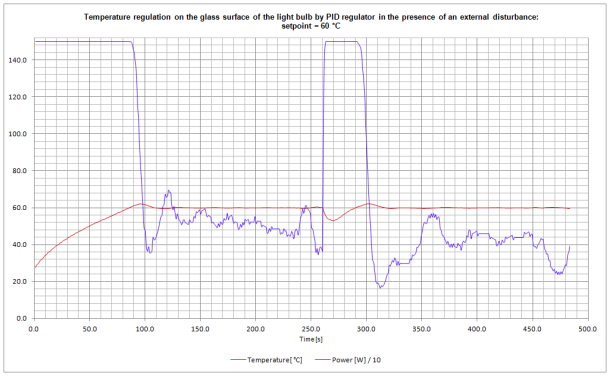


Fig. 8. *The responses of temperature and active power of PID regulator with external disturbance*

In the case of short-term external disturbance, a relatively fast stabilization of the controller to the reference - setpoint temperature was observed in both cases with the PI and PID regulator.

Finally, the effects of the disturbance caused by the change in the setpoint temperature on the controller with the PI and PID regulator are illustrated in Figures 9 and 10, respectively.

The reference temperature changes was made during the acquisition and monitoring process by programmatically reading the setpoint temperature from the corresponding PLX DAQ user interface table field. As can be seen from Figures 8 and 9, in both cases the controller, after reaching the new reference temperature and the transition mode, stabilizes the output temperature to the new setpoint, whether it is a positive or negative change in the reference temperature.

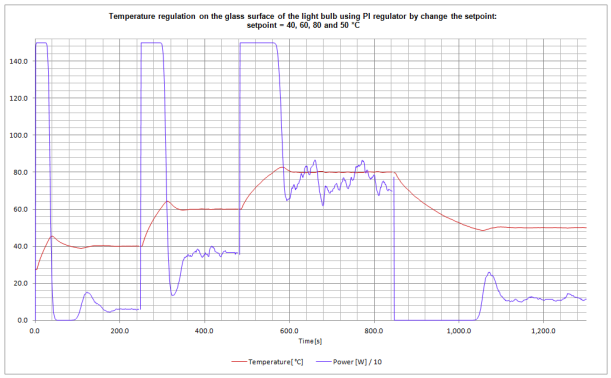


Fig. 9. *The responses of temperature and active power of PI regulator with disturbances caused by change the setpoint temperature*

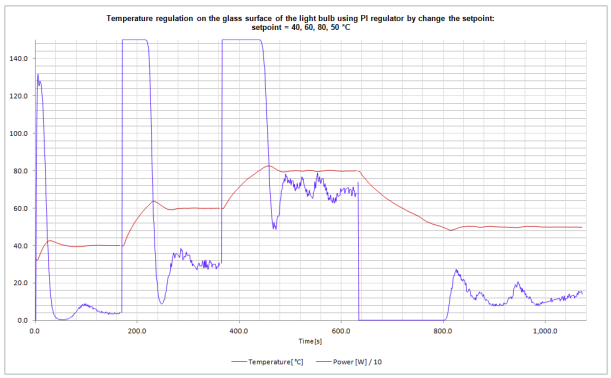


Fig. 10. *The responses of temperature and active power of PID regulator with disturbances caused by change the setpoint temperature*

CONCLUSION

The main objective of this work was the design and implementation of a modern, digital control system with PID controller for precise temperature control of the respective control object. According to the price/

performance ratio, the realized system belongs to the group of optimal systems of low cost and solid performance. The system has been tested in several iterations and under different operating conditions (with and without disturbance) has not shown defects that could be assumed, such as: entry into saturation of integral controller member, inability to enter after-disturbance control mode, reliability, etc. Due to the large and diverse offer of integrated components of the described system and services in the market, the price of the realized system is relatively small in relation to the possibilities and savings that can be achieved by its implementation.

The proposed control system can be installed in any electrical heating device whose response to the step excitation corresponds to a first order system with a transport delay model. In conjunction with a PC, it is relatively easy to adjust the PID controller parameters and adjust the system to the control object.

Further qualitative work on the development of the described system could go towards setting up the PID controller via the appropriate Web interface, with regard to the selected microcontroller platform (SoC) with an integrated WiFi interface. What's more, the actual acquisition and monitoring process could be done wirelessly on the basis of a dedicated Web application. Such an approach would allow more adjusting and monitoring of the implemented control system. Also, the selected hardware and software unit offers the ability to implement far more complex management laws.

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] Trafczynski, M., Markowski, M., Alabrudzinski, S. and Urbaniec, K., "Tuning Parameters of PID Controllers for the Operation of Heat Exchangers under Fouling Conditions", *Chemical Engineering Trans*., Vol. 52, 2016.

[2] Marzoughi, A., Selamat, H., Rahmat, M., F., and Rahim, H. A., "Optimized proportional integral derivative (PID) controller for the exhaust temperature control of a gas turbine system using particle swarm optimization", *Int. Journal of the Physical Sciences* Vol. 7(5), pp. 720-729, 30 Jan., 2012.

[3] Salim, Kumar, S., Ohri, J., "LabVIEW Based DC Motor and Temperature Control using PID Controller", *Int. Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Vol. 3, Issue 5, pp 56, May 2013.

[4] ESP8266 NodeMCU WiFi Devkit, Available: *www.handsontec.com/pdf_learn/esp8266-V10.pdf*

[5] The Basics of SSRs: The Switching Device, Available: *https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/basics-of-ssr-solid-state-relay-the-switching-device/*

[6] Beginners Guide to PLX DAQ v2, Available: *https://www.academia.edu/32577862/Beginners Guide-to_PLX_DAQ_v2_by_Net_Devil*.

[7] Kalaiselvan, E. and Tagore, J. D., "A Comparative Novel Method of Tuning Controller for Temperature Process", *Int. Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrum. Engineering*, Vol. 2, Issue 11, November 2013.

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

APPLICATION OF THE PHASE LOCKED LOOP FOR THE DIGITAL FILTERING OF THE PULSE SIGNALS PERIODS

Perišić Đurđe[1], Miroslav Bojović[2], Željko Gavrić[1]

[1] *Faculty of Information Technology, Slobomir P University, Slobomir, BiH*
[2] *School of Electrical Engineering, University of Belgrade, Beograd, Serbia*

Abstract

This work describes a new type of a Time Recursive Processing Phase Locked Loop (TRP PLL) which possesses three outputs. TRP PLL is described by difference equations. Analyses of the circuit in the time domain is made using the Z transform approach. It was shown that the circuit can be used for the digital filtering of the pulse signals periods and the time intervals belonging to the periods. Computer simulations of TRP PLL functioning was made in the time domain to demonstrate its ability for noise suppression. However, using mat-lab tools, dedicated to design of digital filters, large part of article was devoted to the frequency analysis of TRP PLL and to the discovering of its filter properties.

Keywords: Digital circuits, PLL, FLL, Pulse circuits, Digital filtering.

INTRODUCTION

The time recursive processing PLL (TRP PLL) described in this paper calculates and generates an output period by using measurement and processing of the input and output periods, as well as the time difference between them. The terms "non-recursive" and "recursive" are closely related to digital filter theory. In fact, the finite impulse response (FIR) digital filters use the non-recursive processing because they only process the samples of an input signal. However, the infinite impulse response (IIR) digital filters perform recursive processing because they use both, the input and output signal samples.

The borrowing concept from digital filter theory is no accident. On the contrary, it is of multiple importance. But one of the main aim is the intention to utilize the powerful mat-lab tools and the theory of digital filters for the development and analyzes of TRP PLLs. Providing this is possible, it would not only be a great advance for theory of TRP PLLs, but it would also be an outstanding contribution to digital filter theory. This would mean that we could develop a new type of digital filter, designed specifically for impulse signals, that has many new features compared to the existing approaches to digital filters. The analysis of the features of the new approach, as well as the differences and advantages, require much more space. But let's just mention one of them. It is the fact that such a digital filter would not use A/D and D/A converters. Accordingly, the accuracy and simplicity of measuring filter data would be increased significantly, because in that case, time periods would be measured instead of the amplitudes of signals. This new approach in digital filtering would provide many facilities and improvements.

The theory and techniques for the developing of TRP PLL are basically very similar to the demonstrated ones through refs. [1-11]. The applicability of this approach is very wide. Period averaging circuit is described in [1] Frequency multiplier is described in [2]. Time shifters are described in [3, 4] and time/phase shifting in [5]. PLL and FLL for noise rejection are described in [6-8]. A wide range of the tracking and prediction applications are described in [6, 7, 9]. Most of the algorithms described in [1-11] are suitable for usage in a software form. Such a software predictor is described in [10]. The frequency analyzes of FLL in [11] are performed using

mat-lab tools. The articles and books in [12-18] are used as theoretical base, for electronics implementation and for the development necessities.

DESCRIPTION OF CIRCUIT IN THE TIME DOMAIN

Let us suppose that the observation of the input/output processing starts at discrete time t_k. One general case of the time relation between an input signal Sin and an output signal Sop of the circuit, is shown in Fig. 1. The periods TI_0, TI_1,….TI_k, TI_{k+1}, and TO_0, TO_1,….TO_k, TO_{k+1}, as well as the time differences τ_0, τ_1, τ_2…..τ_k, τ_{k+1}, occur at discrete times respectively t_0, t_1, t_2,…..t_k, t_{k+1}. The discrete times t_0, t_1, t_2,….t_k, t_{k+1} are defined by the falling edges of the pulses of Sop in Fig. 1. Note that all variables, are distributed in time. This fact provides specific situation that time variables depend on time. Another way of consideration is that time variables depend on number of steps "k", where "k" is the number of the processed periods. In the following analyzes this another

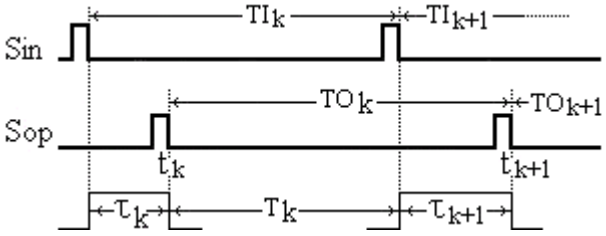


Fig.1. *Time relations between all variables*

way is adopted as more suitable. The main algorithm of the circuit is presented by (1), where "a" and "m" are the system parameters. The natural recursive relations (2) and (3), between the variables, yields from Fig. 1. It was assumed that time difference τ is positive if the output signal is delayed in phase. Accordingly, in case that the input signal is delayed in the phase, time difference τ will take the negative value through analysis. According to (1), (2) and (3), the circuit offers three available output variables, which describe the circuit behavior in the function of TI_k. The output variables are $TO(k+1)=f[TI(k)]$, $\tau(k+1)=f[TI(k)]$ and $T(k)=f[TI(k)]$. All of three variables can be easily and precise measured as time interval. It will be shown later on, that each of them possesses different filtering properties and that all of them can be useful for different applications. Note that, because of simplicity, $TO(k)$, $TI(k)$, $\tau(k)$ and $T(k)$ are often denoted in the article as TO_k, TI_k, τ_k and T_k. It is now necessary to find out the Z transform of the output variables $TO(k+1)$, $\tau(k+1)$ and $T(k)$ in order to analyze the properties of the circuit described. The Z transform of (1), (2) and (3) are given by respectively (4), (5) and (6). Time constants TO_0 and τ_0 are the initial values of the output variables $TO(k)$ and $\tau(k)$, which appear at discrete time $t_0 = 0$, i.e. at $t = t_k$ for $k = 0$. Calculating $\tau(z)$ from (5) and changing it into (4), $TO(z)$ was found out and shown in (7). Changing $TO(z)$ from (7) to (5), $\tau(z)$ was calculated and shown in (8). At last, changing $\tau(z)$ from (8) into (6), $T(z)$ was calculated and shown in (9).

$$TO_{k+1} = \mathrm{a}\cdot TO_k + m\cdot\tau_{k+1} \tag{1}$$

$$\tau_{k+1} = \tau_k + TO_k - TI_k \tag{2}$$

$$T_k = TI_k - \tau_k \tag{3}$$

$$zTO(z) - zTO_0 = \mathrm{a}\cdot TO(z) + m\cdot\left[z\tau(z) - z\tau_0\right] \tag{4}$$

$$z\cdot\tau(z) - z\cdot\tau_0 = \tau(z) + TO(z) - TI(z) \tag{5}$$

$$T(z) = TI(z) - \tau(z) \tag{6}$$

$$TO(\mathrm{z}) = \frac{-TI(\mathrm{z})mz}{\mathrm{z}^2 - z(\mathrm{a}+\mathrm{m}+1)+\mathrm{a}} + \frac{\tau_0 mz + TO_0\,\mathrm{z}(\mathrm{z}-1)}{\mathrm{z}^2 - z(\mathrm{a}+\mathrm{m}+1)+\mathrm{a}} \tag{7}$$

$$\tau(z) = \frac{-TI(z)(z-\mathrm{a})}{\mathrm{z}^2 - z(\mathrm{a}+\mathrm{m}+1)+\mathrm{a}} + \frac{\tau_0 z(\mathrm{z}-\mathrm{a}-m) + TO_0 z}{\mathrm{z}^2 - z(\mathrm{a}+\mathrm{m}+1)+\mathrm{a}} \tag{8}$$

$$\tau(z) = \frac{-TI(z)(z-\mathrm{a})}{\mathrm{z}^2 - z(\mathrm{a}+\mathrm{m}+1)+\mathrm{a}} + \frac{\tau_0 z(\mathrm{z}-\mathrm{a}-m) + TO_0 z}{\mathrm{z}^2 - z(\mathrm{a}+\mathrm{m}+1)+\mathrm{a}} \tag{9}$$

Three transfer functions, presented by (10), (11) and (12), describing the output variables of the circuit in dependence on the input period, can be defined from respectively (7), (8) and (9).

$$H_{TO}(z) = \frac{TO(z)}{TI(z)} = \frac{-\mathrm{m}\,z}{\mathrm{z}^2 - z(\mathrm{a}+\mathrm{m}+1)+\mathrm{a}} \tag{10}$$

$$H_{\tau}(z) = \frac{\tau(z)}{TI(z)} = \frac{-(z-\mathrm{a})}{\mathrm{z}^2 - z(\mathrm{a}+\mathrm{m}+1)+\mathrm{a}} \tag{11}$$

$$H_{T}(z) = \frac{T(z)}{TI(z)} = \frac{z^2 - z(\mathrm{a}+m)}{\mathrm{z}^2 - z(\mathrm{a}+\mathrm{m}+1)+\mathrm{a}} \tag{12}$$

Step analysis will discover under which conditions the circuit can possess the properties of a PLL. Let us suppose that the step function, *TI(k)=TI*=const., is applied to the input. If we change the Z transforms *TI(z)* = *TI·z/(z-1)* into eq. (7) and using the final value theorem, it is possible to find the final value of the output period in the time domain as $TO_\infty = \lim TO(k)$ if $k\to\infty$, using *TO(z)*, as it is shown in (13). To complete the information about the system properties, it is necessary to determine τ_∞, i.e. the final value of *τ(k)*. If *TI(z)* is changed into eq. (8), using the final value theorem in the same way like for TO_∞, τ_∞ was determined and shown in (14). In the same way T_∞ is calculated and shown in (15).

$$TO_\infty = \lim[(z-1)\cdot TO(z)]_{z\to 1} = TI \qquad (13)$$

$$\tau_\infty = \lim[(z-1)\cdot \tau(z)]_{z\to 1} = TI(1-\mathrm{a})/\mathrm{m} \qquad (14)$$

$$T_\infty = \lim[(z-1)\cdot T(z)]_{z\to 1} = -TI(1-\mathrm{a}-\mathrm{m})/\mathrm{m} \qquad (15)$$

The expressions (13), (14) and (15) are valued only if the circuit is the stable system i.e. if $|z_1| < 1$ and $|z_2| < 1$, where z_1 and z_2 are the poles of the transfer functions, given by either (9) or (10) or (11). The poles are the zeros of polynomial z^2-z(a+m+1)+a. Since $z_{1/2} = (\mathrm{a}+\mathrm{m}+1)/2 \pm \sqrt{[(\mathrm{a}+m+1)/2]^2 - \mathrm{a}}$, it yields that the circuit is the stable system if eqs. (16) are satisfied. The field of the parameters for the stable system is shown in Fig. 2.

$$-2(\mathrm{a}+1) < m < 0 \quad \text{and} \quad 0 < \mathrm{a} < 1 \qquad (16)$$

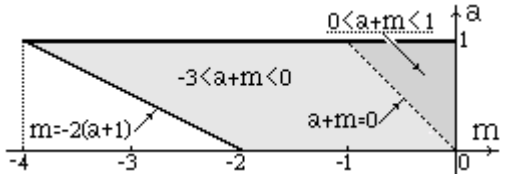


Fig.2. *The field of the circuit parameters*

Let us now simulate the behaviour of *TO(k)* and *τ(k)*, providing that step input is entered into TRP PLL. All discrete values in simulations were merged to form continuous curves. Note that all variables in the following diagrams were presented in time units. The time unit can be, μsec, msec or any other, but assuming the same time units for *TI*, *TO*, *T*, and *τ*. It was more suitable to use just "time unit" or abbreviated "t.u." in the text. It was more convenient to omit the indication „t.u." in diagrams. All simulations were performed using eqs. (1), (2) and (3) in time domain. The simulations of *TO(k)* and *τ(k)* for the step input TI_k=10 t.u, are shown in Fig. 3. There are three cases of simulations in Fig. 3 for a = constant = 0.1 and different values of parameter "m". All values for parameters, initial conditions and final values are shown in Fig. 3. The system parameters satisfy eq. (16) for the stable system in the cases Nr. 1 and Nr. 2. In these cases the output periods reached the input periods. However, in case Nr. 3, TRP PLL is not stable system and $TO_3\to\infty$ in Fig. 3. According to eq. (14), using the values of parameters presented in Fig. 3, it can be calculated $\tau_{1\infty}$ = TI(1-a)/m_1 = 10(1-0.1)/(-1) = -9 t.u and $\tau_{2\infty}$ = TI(1-a)/m_2 = 10(1-0.1)/(-0.5) = -19 t.u. Note that the calculated values $\tau_{1\infty}$, and $\tau_{2\infty}$ agree with the simulated $\tau_{1\infty}$, and $\tau_{2\infty}$ presented in Fig. 3. As it is expected, since TRP PLL is not stable system for m=-2.25 in case Nr. 3, simulated $\tau_{3\infty}$ in Fig. 3 tends to infinity. These simulation results prove the correctness of the mathematical description and step analyses. The real time relation between Sin, Sop and τ_k, for the simulated case Nr. 1, is shown in Fig. 4. Note that negative time difference τ are shaded in Fig. 4.

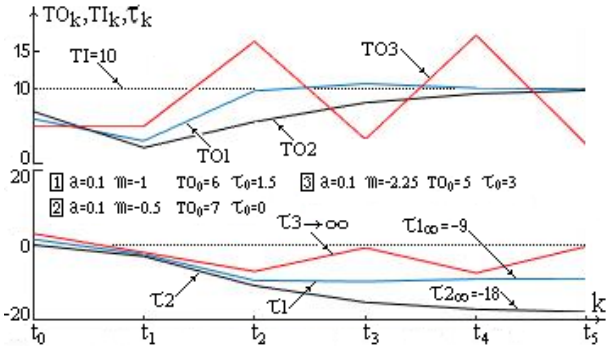


Fig.3. *Transition states of PLL for the step input, a=0.1 and different values of parameter m.*

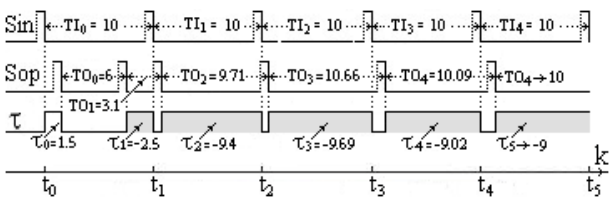


Fig.4. *Real time presentation of Sin, Sop and τ_k for the simulated case Nr 1, shown in Fig. 3.*

DIGITAL FILTERING OF PERIODS AND TME INTERVALS

It was proved in ref. [11] that mat-lab tools, devoted to the design of digital filters, can be used to analyze the TRP FLLs and TRP PLLs in the frequency domain. The main purpose of this chapter is to demonstrate the various filter characteristics of the TRP PLL described and to show that TRP PLLs are, at the same time, a kind of digital filters, which possess power ability to filter the pulse signal periods, as well as the time intervals, belonging to the periods. To demonstrate this, let us consider the filter characteristics of TRP FLL for the constant system parameter "a" and for the different parameters "m". According to Fig. 2, there is a very great possibilities to adapt the filter characteristics of TRP PLL to a particular application. To illustrate this, mat-lab command "freqz" and the transfer function $H_{TO}(z)$, given by eq. (10), are used. Entering the corresponding vectors of $H_{TO}(z)$ coefficients into command "freqz", the magnitudes of frequency responses of TO_k in the regain (0, pi) [rad], for a=constant=0.5 and for three values of "m" (m_1=-0.5, m_2=-1.5 and m_3=-2.6), are presented in Fig. 5. Note that for m=-0.5 TRP PLL behaves as a low-pass filter, for m=-1.5 TRP PLL behaves as a band-pass filter and for m=-2.6 TRP PLL behaves as a high-pass filter. All of three filters provide suppression of 0 [dB] at 0 Hz. This means that

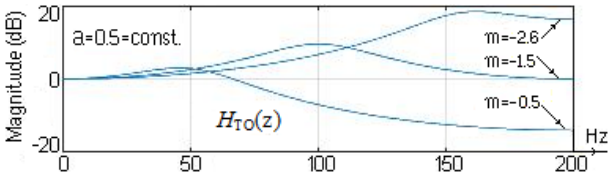


Fig.5. *Magnitude of frequency response of $H_{TO}(z)$ for a=0.5 and different "m"*

TRP PLL, providing that any pulse rate TI_k with constant input period is entered, would generate the same constant period at the output TO_k. This feature is consistent with any other PLL. This property of TRP PLL described, has been already proved by eq. (13). Changing of parameter "a" would provide additional adapting of the filter properties to the application requirements. It can be seen that the filter edges in Fig. 5 are not sharp. But this is expected, since TRP PLL is the system of the second order. Using TRP PLL of a higher order and choosing the corresponding system parameters, it would be possible to generate sharper band edges, just like with the digital filters.

Since TRP PLL is defined by three output variables TO_k, τ_k and T_k, the circuit is described by three transfer functions $H_{TO}(z)$, $H_\tau(z)$ and $H_T(z)$, given by eqs. (10), (11) and (12). Due to applicability of mat-lab tools for TRP PLL analyzes and due to three transfer functions, we are offered with very wide opportunities for the development of different filtering properties of TRP PLL. Apart from the selection of the parameters "a" and "m", we can choose one of three outputs which is the most suitable to meet the application requirements for TRP PLL, related to the frequency response of the circuit. Using mat-lab command "freqz", let us now present the magnitudes of the frequency responses of three transfer functions $H_{TO}(z)$, $H_\tau(z)$ and $H_T(z)$ in Fig. 6, for the same parameters a=0.6 and m=-2. We can notice in magnitudes of frequency responses that the filter corresponding to $H_T(z)$ is a low-pass filter, and that the filter which corresponds to $H_{TO}(z)$ is a band-pass filter. The filter of $H_\tau(z)$ behaves as a high-pass filter. In other word, TRP PLL possesses three outputs, whose filter characteristics are different. In the rough, one corresponds to a low-pass filter, another one functions as a band-pass filter and the third one represents a high-pass filter. This feature of TRP FLL offers the additional opportunities to meet the different filtering requirements.

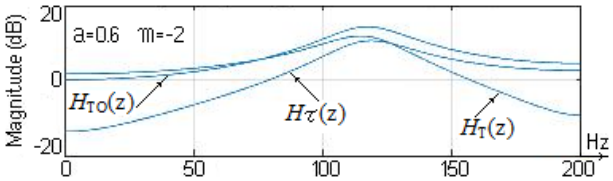


Fig.6. *Magnitudes of frequency responses of H_T (z), $H_{TO}(z)$ and $H_\tau(z)$ for a=0.6 and m=-2*

Let us now demonstrate the filtering abilities of TNP FLL for the noise suppression applications, which will be presented in the time domain. In dependence of the chosen values of the parameters "a" and "m", it can provide the powerful noise rejection. To

demonstrate this, the simulation of its noise suppression ability is presented in Fig. 7. The input step, consisting of 10 time-units, which is strongly corrupted by uniform distributed noise, is denoted by "*TI*" in Fig. 7. The amplitude of noise is 10 t.u., peak to peak. It comes out from Fig. 7, that the noise suppression at the output periods will be better for the smaller values of the parameters "m" and "a", which must belong to the regain of the parameters for the stable PLL, shown in Fig. 2. Following this conclusion, three cases of the output periods TO_1, TO_2 and TO_3 are simulated for the different values of the parameter "m" and for a=0.01=const. For the output period TO_1, m=-0.7. For TO_2, m=-0.2 and for TO_3, m=-0.05. The noise suppression is apparent for TO_1. But it is considerable for TO_2 and extremely strong for TO_3. The smaller "m" provides better noise suppression. However if both parameters are very small, like in case for TO_3, the noise suppression is very powerful. However, it can also be seen from Fig. 7, that in case of better noise suppression, the transition time of TRP PLL is longer. In other word if the parameters are smaller, TNP PLL takes longer time to reach the stable state.

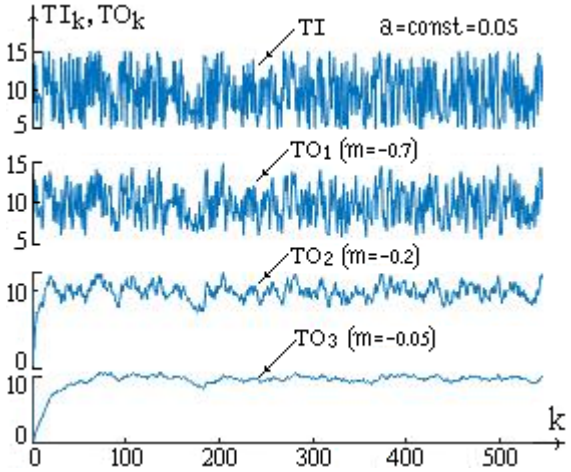


Fig.7. *Noise rejection ability of the circuit is presented in dependence on parameter "m" for a=0.05=constant.*

CONCLUSION

This TRP PLL represents an additional contribution to the recently described TRP PLL and TRP FLL, which are based on the processing of the input and output periods and the time differences between them. Due to these contributions, the field of Time Recursive Processing has got new weightiness and significance, offering good base for its further development.

It was also demonstrated that TRP PLL, choosing the corresponding system parameters, can provide very wide range of variety filter characteristics. Due to the more different outputs of the circuits and thanks to a wide choice of its functional and filter characteristics, TRP PLL offers good base for discovering of its new applications and for the development of new TRP PLL models, based on the same approach.

Although TRP PLL and the digital filter represent different types of systems, since the first one is based on the time processing and the other one is based on the processing of amplitudes, the article showed that mat-lab tools, devoted to the design of IIR digital filters, can be completely used for the development of TRP PLLs. Actually, TRP PLLs represent a special kind of digital filters. This contribution represents not only a great advance for theory of TRP PLLs. It is also an outstanding contribution to digital filter theory. Actually, this means that we could develop a new type of digital filter, designed specifically for impulse signals, that has many new features, compared to the existing approaches to the digital filters. The analysis of the features of the new approach to the digital filter, is very promising future work.

Acknowledgment

This article was supported by the Ministry of Science and Technology of Serbia under the projects TR 32047 and III 47016.

REFERENCE

[1]Dj. M. Perišić, A. Žorić, Ž. Gavrić, N. Danilović, "Digital circuit for the averaging of the pulse periods", Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg., vol. 63, 3, pp. 300–305, Bucarest, 2018.

[2] Dj. M. Perišić, A. Žorić, Ž. Gavrić, "A frequency multiplier based on the Time Recursive Processing", Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 7, No. 6, 2104-2108, 2017.

[3] Dj. M. Perišić, M. Perišić, S. Rankov, "Phase shifter based on a Recursive Phase Locked Loop of the second order", Rev. Roum. Sci.

Techn. – Électrotechn. et Énerg., **59**, 4, pp. 391–400, 2014.
[4] Dj. M. Perišić, A. Žorić, Dj. Babić, Dj. Dj. Perišić, "Recursive PLL of the First Order", Electrical Review, ISSN 0033-2097, R.89 NR 7/2013, pp. 50-53, 2013.
[5] Dj. M. Perišić, M. Bojović, "Application of Time Recursive Processing for the development of the time/phase shifter", Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 7, No. 3, 1582-1587, 2017.
[6] Dj. M. Perišić, M. Bojović, "Multipurpose Time Recursive PLL ", Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg., Vol.**61**, 3, pp. 283–288, 2016.
[7] Dj. M. Perišić, A. Žorić, M. Perišić, D. Mitić, "Analysis and Application of FLL based on the Processing of the Input and Output Periods", Automatika 57 (2016) 1, ISSN 0005-1144, DOI: 10.7305/automatika. 2016.07.769, pp. 230–238, 2016.
[8] Dj. M. Perišić, M. Perišić, D. Mitić, M. Vasić "Time Recursive Frequency Locked Loop for the tracking applications", Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg., **60**, 2, pp. 195–203, 2015.
[9] Dj. M. Perišić, M. Perišić, D. Mitić, M. Vasić "Time Recursive Frequency Locked Loop for the tracking applications", Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg., **60**, 2, pp. 195–203, 2015.
[10] Dj. M. Perišić, A. Žorić, Dj. Babić, Dj. Dj. Perišić, "Decoding and Prediction of Energy state in Consumption control", Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg., **58**, 3, pp. 263–272, 2013.
[11] Dj. M. Perišić, M. Bojović, A. Žorić, Ž. Gavrić, "Time and Frequency analyzes of a Frequency Locked Loop", International Scientific Conference UNITECH 2018, TU-Gabrovo, 2018, Gabrovo Bulgaria, proceedings, Vol. I, pp. I-135 — I-140.
[12] J. D. Abramovich, "Phase-locked loops: a control centric tutorial", Amecan Control Conference-2002, Proceedings of 2002, Vol 1, pp. 1-15, 2002.
[13] G. Bianchi, "Phase-Locked Loop Synthesizer Simulation", *Nc-Hill, Inc.*, New York, USA (2005).
[14] M, Gardner, "Phase lock techniques", *Hoboken*, Wiley-Interscience, (2005).
[15] B. D. Talbot, "Frequency Acquisition Techniques for Phase Locked Loops", *Wiley-IEEE Press*, pp. 224 (2012).
[16] R. Vich, "Z Transform Theory and Application (Mathematics and Applications)", *Ed. Springer*, (1987-first edition).
[17] A. K. Maini, *Digital Electronics, principles, devices and applications*, John Wley and Sons, Ltd, 2007.
[18] S. Winder, *Analog and Digital Filter Design (second edition)*, Copyright©2002 Elsevier Inc., (2002).

ИЗСЛЕДВАНЕ И ПРОЕКТИРАНЕ НА ПОСЛЕДОВАТЕЛНО РЕЗОНАНСЕН DC-DC ПРЕОБРАЗУВАТЕЛ ПРИ ФАЗОВО УПРАВЛЕНИЕ

Александър Стоянов Вучев
Университет по хранителни технологии - Пловдив
E-mail: avuchev@yahoo.com

STUDY AND DESIGN OF A SERIES RESONANT DC-DC CONVERTER AT PHASE-SHIFT CONTROL

Aleksandar Stoyanov Vuchev
University of Food Technologies – Plovdiv
E-mail: avuchev@yahoo.com

Abstract

The operating modes of a series resonant DC-DC converter with phase-shift control are examined. The conditions for zero-voltage switching (ZVS) of the power switches are discussed. On the base of an existing theoretical analysis, a design methodology for the converter operation at ZVS mode is proposed. An example for 1kW is presented. The calculated values are compared with results from computer simulations.

Keywords: Design; Series Resonant DC-DC Converter; Phase-Shift Control.

ВЪВЕДЕНИЕ

Последователно резонансните DC-DC преобразуватели са отдавна използвани в различни приложения. Едно от техните предимства е превключването на силовите прибори при нулево напрежение (ZVS – Zero Voltage Switching). То се проявява при работа над резонансната честота.

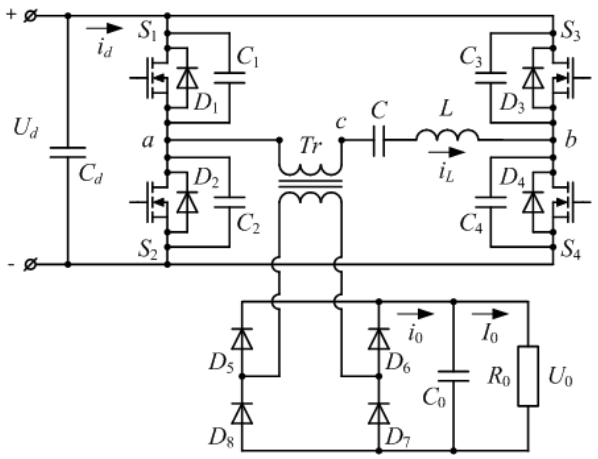
Често използван метод за изменение на изходната мощност на резонансните DC-DC преобразуватели е фазовото управление [1]. Реализира се лесно, като осигурява достатъчно широк диапазон на регулиране. Съществуват множество изследвания на резонансни DC-DC преобразуватели при фазово управление, работещи с честота по-висока от резонансната [2÷4]. Предложени са и някои насоки за тяхното проектиране, обикновено свързани с конкретен режим. Всички тези изследвания показват обаче, че при увеличаване на съпротивлението на товарния резистор се нарушават условията за ZVS. Над определена стойност дори се достига режим на прекъснат ток в резонансната верига на преобразувателя. Освен това за последователно резонансните DC-DC преобразуватели областта на работа при ZVS се ограничава допълнително с нарастване на капацитета на демпфиращите кондензатори [5].

В [6] беше представен теоретичен анализ на последователно резонансен DC-DC преобразувател, работещ с честота по-висока от резонансната при фазов метод за управление. Бяха получени изрази за основни величини при различните работни режими. Сега резултатите от теоретичното изследване се използват за разработването на една детайлна методика за проектиране на преобразувател, работещ при ZVS. Накрая данните от проведените изчисления се проверяват чрез компютърни симулации.

АНАЛИЗ НА ПРЕОБРАЗУВАТЕЛЯ

Изследваният преобразувател е изграден по добре позната схема (фиг.1). Тя е съставена от мостов инвертор, резонансна верига и неуправляем токоизправител.

Превключването на приборите в инвертора при нулево напрежение се осигурява с помощта на кондензатори $C_1 \div C_4$.

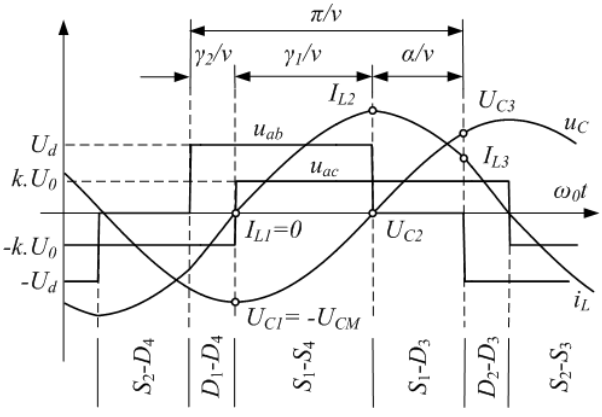


***Фиг. 1**. Схема на преобразувателя*

Рамото на инвертора, съставено от транзисторите, които се включват първи (S_3, S_4), е наречено „водещо", а другото – (S_1, S_2) „изоставащо" [3]. Работната честота f_S (ω_S) е по-висока от тази на резонансната верига f_0 (ω_0). Изменението на изходната мощност на преобразувателя се реализира чрез дефазиране с ъгъл α на управляващите импулси, прилагани към транзисторите от двете рамена на инверторния мост.

Според анализите са възможни три режима на работа [2, 3]. Само за първият от тях (*MODE I*) четирите транзистора ($S_1 \div S_4$) могат да работят със ZVS. За другите два режима, това е възможно само за приборите в „изоставащото" рамо. При единият от тях (*MODE II*) токът i_L през резонансната верига е непрекъснат, докато при другия (*MODE III*) се наблюдават паузи.

Режимът, при който всички транзистори на инвертора работят със ZVS (*MODE I*), е онагледен с времевите диаграми от фиг.2.



***Фиг. 2**. Времеви диаграми при MODE I*

В резултат от действието на транзистори $S_1 \div S_4$ в диагонала на инверторния мост се формира напрежение u_{ab}, което има нулева стойност за времето, съответстващо на дефазирането α. Токът през бобината i_L преминава през нула, когато $u_{ab} \neq 0$. В същия момент и напрежението u_{ac} на входа на трансформатора *Tr* също сменя знака си.

Вижда се, че за един полупериод в схемата на преобразувателя се извършват три комутации. Това дава основание да се анализират само процесите в резонансната верига за три последователни интервала чийто продължителности съответстват на ъглите α, γ_1 и γ_2, отчетени спрямо честотата ω_S [6]. Следователно, $\alpha+\gamma_1+\gamma_2=\pi$. На фиг.2 са посочени началните стойности на тока през бобината i_L (I_{L1}, I_{L2}, I_{L3}) и напрежението върху кондензатора u_C (U_{C1}, U_{C2}, U_{C3}) на резонансната верига за всеки интервал. Вижда се, че при комутация в токоизправителя токът през бобината има нулева стойност ($I_{L1}=0$), а напрежението върху кондензатора е достигнало своя минимум ($U_{C1}=-U_{CM}$) или максимум.

За нуждите на теоретичния анализ [6] е прието, че всички елементи в схемата на преобразувателя са идеални (в тях няма загуби), превключването на приборите е мигновено (пренебрегва се влиянието на демпфиращите кондензатори), входното и изходното напрежения (U_d и U_0) нямат пулсации. Тогава за резонансната верига се дефинират:

$\omega_0 = 1/\sqrt{L.C}$ - резонансна честота;

$Z_0 = \sqrt{L/C}$ - вълново съпротивление;

$\nu = \omega_S / \omega_0$ - разстройка по честота.

За удобство при анализа величините се нормализират, както следва: напреженията спрямо U_d, а токовете – U_d/Z_0. С отчитане на коефициента на трансформация k, средните стойности на изходните ток I_0 и напрежение U_0 се нормализират като:

$$I'_0 = Z_0.I_0 / k.U_d; \quad U'_0 = k.U_0 / U_d \qquad (1)$$

За режим *MODE I* в [6] са получени изрази за нормализирани стойности на изходното напрежение U'_0 и максималното напрежение U'_{CM} върху кондензатора C, като функции на ъглите (α, γ_1 и γ_2) на трите интервала за един полупериод:

$$U'_0 = \frac{\sin\frac{\gamma_1}{\nu} + \sin\frac{\alpha+\gamma_1}{\nu}}{2\sin\frac{\pi}{\nu}} - \frac{\sin\frac{\gamma_2}{\nu} + \sin\frac{\alpha+\gamma_2}{\nu}}{2\sin\frac{\pi}{\nu}} \quad (2)$$

$$U'_{CM} = \frac{\sin\frac{\gamma_1}{\nu} + \sin\frac{\alpha+\gamma_1}{\nu}}{2\sin\frac{\pi}{\nu}} + \frac{\sin\frac{\gamma_2}{\nu} + \sin\frac{\alpha+\gamma_2}{\nu}}{2\sin\frac{\pi}{\nu}} - 1 \quad (3)$$

По подобен начин са изразени и нормализираните начални стойности на тока през бобината i_L и напрежението върху кондензатора u_C за втория и третия интервали:

$$I'_{L2} = \left(U'_{CM} + 1 - U'_0\right)\sin\frac{\gamma_1}{\nu}$$
$$U'_{C2} = -\left(U'_{CM} + 1 - U'_0\right)\cos\frac{\gamma_1}{\nu} + 1 - U'_0 \quad (4)$$

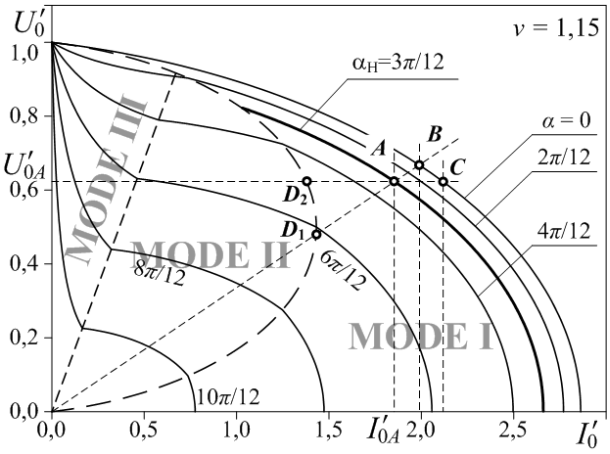
$$I'_{L3} = \left(U'_{CM} + 1 + U'_0\right)\sin\frac{\gamma_2}{\nu}$$
$$U'_{C3} = \left(U'_{CM} + 1 + U'_0\right)\cos\frac{\gamma_2}{\nu} - 1 - U'_0 \quad (5)$$

След преобразуване на представеното в [6] уравнение за нормализираната средна стойност на изходния ток, се получава:

$$I'_0 = 2\nu U'_{CM} / \pi \quad (6)$$

Подобни на изрази (2)÷(6) са изведени и за другите два режима на работа на преобразувателя. Величините са функция на ъглите на трите интервала в един полупериод. Единият от тях обаче е управляващия параметър – ъгъл α. Това дава възможност да бъдат построени графично нормализирани зависимости на основни величини като функция на изходния ток I_0. За целта стойността на α се фиксира, а другите два ъгъла се променят, като се спазва изискването $\alpha+\gamma_1+\gamma_2=\pi$.

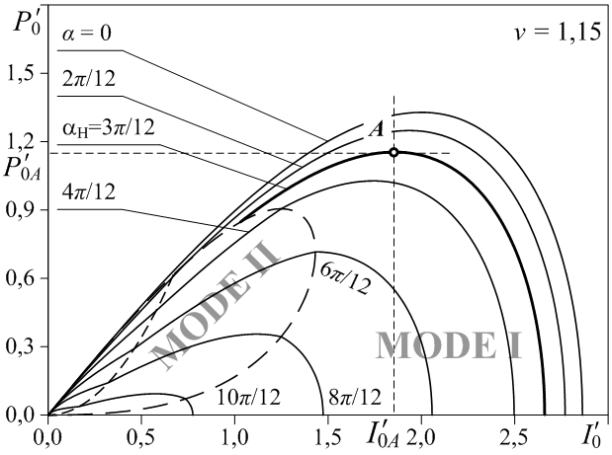
На фиг. 3 са представени изходни характеристики на преобразувателя, при различни стойности на управляващия ъгъл.



***Фиг. 3**. Изходни характеристики*

С едър пунктир са показани границите между различните режими. Вижда се, че областта на *MODE I* е най-голяма. Освен това, само в този случай е възможен режим на късо съединение (U'_0=0), през който се преминава при пускане на преобразувателя.

Зависимости на изходната мощност от изходния ток I'_0, при различни стойности на ъгъл α, са показани на фиг. 4.

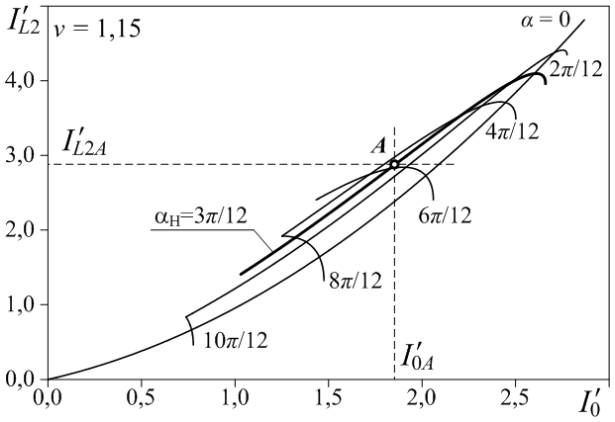


***Фиг. 4**. Зависимости на изходната мощност от изходния ток*

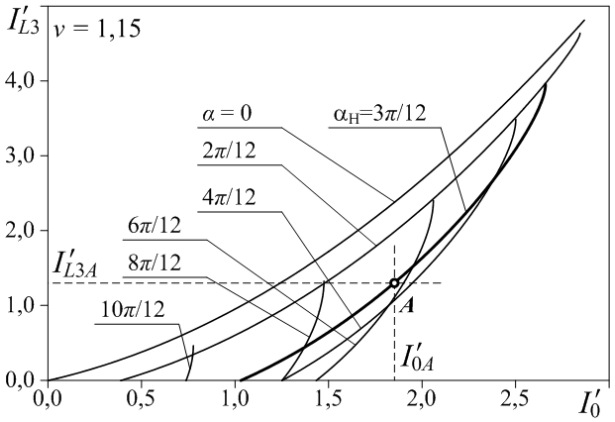
Вижда се, че всяка от характеристиките има максимум. При избраната разстройка по честота за $\alpha<\pi/2$ той се намира в областта на *MODE I*, а при $\alpha<\pi/2$ – преминава в тази на *MODE II*.

На фиг. 5 са показани нормализирани зависимости на началната стойност на тока I_{L2} на втория интервал от изходния ток I_0, а на фиг. 6 – на началната стойност на тока

I_{L3}, получени при различни стойности на управляващия ъгъл α при *MODE I*.



***Фиг. 5**. Зависимости $I'_{L2}(I'_0)$ при MODE I*



***Фиг. 6**. Зависимости $I'_{L3}(I'_0)$ при MODE I*

Всъщност I_{L2} е токът на изключване на транзисторите в „изоставащото" рамо, а I_{L3} – на транзисторите във „водещото" рамо на инверторния мост. Фиг. 5 показва, че при *MODE I* и изменение на управляващия ъгъл в широки граници, токът на изключване на S_1 и S_2 остава сравнително голям. От фиг. 6 пък се вижда, че независимо от големината на α, токът на изключване на S_3 и S_4 може да има нулева стойност, което съответства на границата с *MODE II*. Малкият ток на изключване затруднява презареждането на демпфиращите кондензатори (C_3, C_4) и условията за ZVS се нарушават.

Може да се обобщи, че е най-добре, разглежданите последователно резонансни DC-DC преобразуватели да работят при *MODE I*.

МЕТОДИКА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ

С оглед на възможността за графично представяне на зависимостите на основните величини на преобразувателя се прилага графоаналитичен метод за проектиране.

Като начални стойности обикновено се задават: изходна мощност P_0, изходно напрежение U_0 и работна честота f_S. Възможно е стойността на захранващото напрежение U_d също да е известна. При тези условия, проектирането може да се осъществи по следния начин:

1. **Избор на разстройка по честота**

За работещи над резонансната честота преобразуватели обикновено се избира:

$$\nu = 1{,}1 \div 1{,}3 \qquad (7)$$

Увеличаването на разстройката води до намаляване на областта на *MODE II* [4], но намалява и ефективността на резонансния преобразувателя. Обратно с намаляване на ν ще намалява устойчивостта му.

След избора на разстройка се построяват товарни характеристики (фиг. 3 ÷ фиг. 6) за различни стойности на α.

2. **Избор на работна точка и номинален ъгъл на управление**

Най-подходящо е работната точка да се избере за максимална стойност на отдавана изходна мощност (точка ***A*** от фиг. 4). За да има достатъчен запас на управление, номиналният ъгъл α_H се избира така, че работната точка да бъде приблизително в средата на избраната работна област – в случая на *MODE I* (фиг. 3).

За избраната работна точка ***A*** се отчита нормализираната стойност на изходния ток I'_{0A}, според която от графиките ще бъдат определени стойностите на другите величини.

3. **Изчисляване на изходния ток**

На базата на изходните напрежение и мощност се получава:

$$I_0 = P_0 / U_0 \qquad (8)$$

4. **Определяне на коефициента на трансформация или захранващото напрежение**

От условията за нормализация при зададена стойност на U_d се изчислява k:

$$k = U'_{0A}.U_d / U_0 \qquad (9)$$

Ако трансформаторът липсва или се използва само за галванично разделяне, то желаната стойност на U_d се определя като:

$$U_d = k.U_0 / U'_{0A} \quad (10)$$

5. Изчисляване на стойностите на елементите в резонансната верига

За избраната работна точка и условията за нормализация, както и от зависимостите за резонансната верига следва, че:

$$L = \frac{Z_0}{\omega_0} = \frac{\nu.k.U_d.I'_{0A}}{2.\pi.f_S.I_0}$$
$$C = \frac{1}{Z_0.\omega_0} = \frac{2.\pi.k.f_S.U_d.I'_{0A}}{\nu.I_0} \quad (11)$$

6. Определяне на натоварванията на елементите в резонансната верига

От уравнение (6) може да се определи, че напрежението върху кондензатора има амплитудна стойност:

$$U_{CMA} = \pi.I'_{0A}.U_d / (2.\nu.Z_0) \quad (12)$$

Работната честота на преобразувателя е доста близка до резонансната. Затова с достатъчна точност може да се приеме, че формата на тока i_L е синусоидална. Тогава:

$$I_{L\_RMS} = 1{,}11.I'_{0A}.U_d / Z_0 \quad (13)$$

7. Избор на силови прибори

Всеки от диодите на токоизправителя провежда за времето на един полупериод. Следователно средната стойност на тока, протичащ през тях е:

$$I_{DR\_AV} = I_0 / 2 \quad (14)$$

Напрежението, за което се избират е равно на изходното U_0.

Аналогично за средната стойност на тока през транзисторите на инвертора се получава:

$$I_{SI\_AV} = I'_{0A}.U_d / (2.Z_0) \quad (15)$$

Напрежението, на транзисторите трябва да съответства на U_d.

8. Изчисляване на капацитета на демпфиращите кондензатори

Според анализа, представен в [4], за депфиращите кондензатори се изчислява:

$$C_1 = C_2 = \frac{t_{OFF}.I'_{L2A}}{2.Z_0}$$
$$C_3 = C_4 = \frac{t_{OFF}.I'_{L3A}}{2.Z_0}, \quad (16)$$

където t_{OFF} е пълното време на изключване на транзисторите.

Ако преобразувателят трябва да работи с по-големи промени на изходната мощност, без да се променя стойността на товарния резистор, например по товарната права $\boldsymbol{BD_1}$ (фиг. 3), проектирането се извършва за точка $\boldsymbol{B}$. Когато трябва да се поддържа постоянно изходното напрежение, при промяна на товара (товарна права $\boldsymbol{CD_2}$), изчисленията се провеждат за точка $\boldsymbol{C}$. И в двата случая наличието на кондензатори C_3 и C_4 ще доведе до ограничаване на областта на *MODE I*. При необходимост от по-широк обхват на регулиране тези кондензатори могат да се премахнат, въпреки че така се увеличават комутационните загуби за транзисторите във „водещото" рамо.

СИМУЛАЦИОННИ РЕЗУЛТАТИ

За проверка на теоретичните резултати и точността на предлаганата методика е проектиран последователно резонансен DC-DC преобразувател при следните изисквания: P_0 = 1kW; U_0= 100V; f_S= 50kHz. Трансформаторът се използва само за галванично разделяне и k =1.

Избрани са ν = 1,15; $\alpha_H = \pi/4$ rad (45°). Работната точка отговаря на максималната стойност на мощността на преобразувателя. Според изчисленията са определени следните стойности: L = 109,834μH; C = 122nF; U_d = 161V; $C_1 = C_2$ = 5,5nF; $C_3 = C_4$ = 2,2nF. За инвертора са избрани MOSFET IRF640, а за изправителя диоди MUR815.

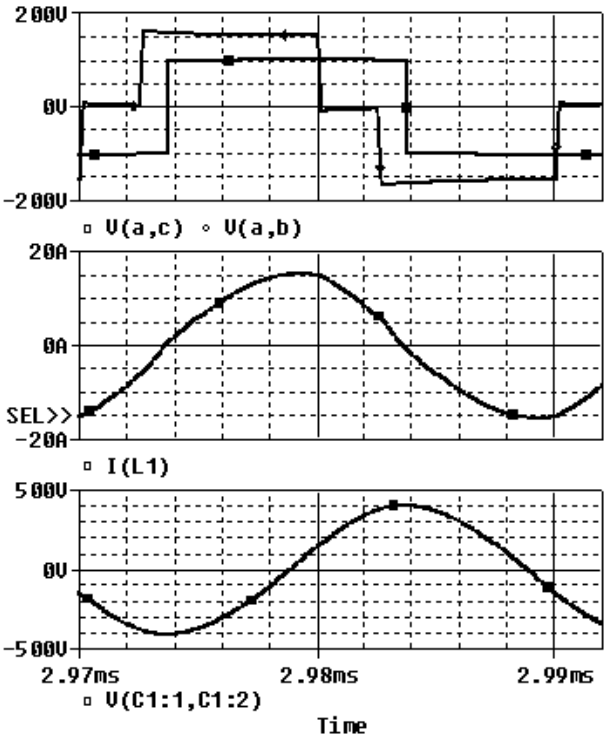
По данните от проектирането в средата на OrCAD PSpice е реализиран модел и са проведени симулационни изследвания. Резултати от тях са сравнени със стойности от изчисленията, показани в Табл. 1.

Таблица 1

Величина	Стойност от		Относителна грешка, [%]
	Изчис.	Симул.	
U_0, [V]	100,000	98,335	-1,665
I_0, [A]	10,000	9,834	-1,660
U_{CM}, [V]	407,965	402,973	-1,224
I_{L_RMS}, [A]	11,107	10,873	-2,107
I_{L2}, [A]	15,434	14,857	-3,738
I_{L3}, [A]	7,050	6,511	-7,645

Вижда се, че всички величини имат по-ниски от изчислените стойности, като за основните от тях относителната грешка е в рамките на 2%. Най-значими отклонения се наблюдават при токовете на изключване на транзисторите. Всичко това може да се обясни с направеното допускане в анализа, че силовите прибори са идеални. В случая не са отчетени падовете на напрежение върху елементите, паразитните капацитети на приборите и др.

За съответствието между теоретични и симулационни резултати може да се съди и от времевите диаграми, показани на фиг. 7. Най-отгоре са показани напреженията на изхода на инвертора u_{ab} и на входа на токоизправителя u_{ac}. Под тях е илюстриран токът i_L през бобината L, а най-отдолу – напрежението u_C върху кондензатора C.



***Фиг.** 7. Времеви диаграми от симулация за избраната по проект работна точка*

Лесно се забелязва приликата между времевите диаграми от фиг. 7 и фиг. 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат на проведените изследвания може да се обобщи, че предлаганата методика за проектиране на резонансен DC-DC преобразувател, работещ с честота по-висока от резонансната при фазово управление, осигурява много висока точност. Сравнението на проектните данни с такива от компютърни симулации показва допустими отклонения. За повечето от основните величини относителната грешка е в границите на 2%. Отклоненията се обясняват с направените при теоретичния анализ допускания, че всички елементи в схемата на преобразувателя са идеални. Това може да даде отговор и за някои по-съществени разлики, наблюдавани между изчислените стойности и тези, получени от компютърната симулация.

Представените резултати ще са от полза при проектирането и изследването и на други подобни видове преобразуватели.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Cheron, Y., H. Foch, J. Roux. Power Transfer Control Methods in High Frequency Resonant Converters, PCI Proceedings, June 1986, Munich, pp. 92-103.

[2] Sabate J.A., F.C. Lee, Off-Line Application of the Fixed-Frequency Clamped-Mode Series Resonant Converter, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 6, No. 1, January 1991, pp.39-47.

[3] Nathan B.S., V. Ramanarayanan. Analysis, Simulation and Design of Series Resonant Converter for High Voltage Applications, Industrial Technology 2000. Proceedings of IEEE International Conference, 19-22 Jan. 2000, Vol. 1, pp. 688-693.

[4] Nathan, B.S., V. Ramanarayanan. Designing for zero-voltage switching in phase-modulated series resonant converters. Journal of Indian Jnst. Sci., July-Aug. 2000, vol.80, pp. 347-361

[5] Bankov, N. Influence of the snubbers over the work of a transistor resonant DC/DC converter, Proceedings of “Electronics 2002”, 17-18 Oct. 2002, Sofia, pp.31-37

[6] Vuchev, A., N. Bankov, Analysis and basic dependencies of pulse width modulate controlled series resonant DC-DC converter. XVII International Scientific and Applied Science Conference “Electronics – ET2008”, 24-26 Sept. 2008, pp. 111-116, ISSN: 1313-1842.

КЛАСИФИКАЦИЯ И СТРАТЕГИИ НА МЕТОДИТЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЕНЕРГИЙНИТЕ ПОТОЦИ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТРАНСПОРТНИ СРЕДСТВА

Гергана Вачева, Николай Хинов
Технически университет София
Факултет по електронна техника и технологии

CLASSIFICATION AND STRATEGIES OF THE METHODS FOR CONTROL OF ENERGY FLOWS IN ELECTRIC VEHICLES

Gergana Vacheva, Nikolay Hinov
Technical University of Sofia,
Faculty of electronic engineering and technologies

Abstract
In the current paper an overview of a methods for control of energy flows in electric vehicles is proposed. The main advantages and disadvantages are presented and discussed.

Keywords: electric vehicles, energy flows, control methods.

ВЪВЕДЕНИЕ

С нарастването на интереса към проучванията свързани с електрическите транспортни средства (ЕТС), интересна теми за обсъждане са методите и стратегиите за управление на енергийните потоци [9-11]. При многобройните разработени модели, най-често за източници на енергия се използват батерия и суперкондензатор. Разработените методи за управление могат да бъдат разделени на две основни категории: стратегии основани на правила и стратегии основани на оптимизация.

Фиг. 1. *Стратегии за управление на енергийни потоци в ЕТС*

Стратегиите основани на правилата имат свойството да предлагат едно реализуемо решение. Правилата могат да бъдат детерминирани или недетерминирани. При детерминираните може да има само един преход от дадено състояние. Те се дефинират в зависимост от анализа на системите за управление. Докато при недетерминираните са възможни няколко различни прехода и при тях може да се използва размита логика или неврони мрежи. Този тип стратегии основани на правила имат предимството да бъдат по-лесно приложими в реално време. Въпреки това получените резултати не са достатъчно оптимални.

Стратегиите основани на оптимизацията се разделят основно на два типа: такива използващи глобална оптимизация и такива използващи приложима оптимизация в реално време. Стратегията използваща глобална оптимизация се основава на една или повече цели за минимизиране, например минимизацията на загубите в електрическото превозно средство. В този случай се използват функции, които се намаляват чрез множители на Лагранж и Хамилтониян.

СТРАТЕГИИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЕНЕРГИЙНИТЕ ПОТОЦИ В ЕТС

С все по-голямото използване на ЕТС и с цел подобряване на енергийната ефективност темата за управление на енергийните потоци намира все по-голям интерес за научни работници и индустриални предприемачи [10-14]. С увеличеното използване на хибридни електромобили се появяват и многобройни стратегии за оптимизация на използваната мощност между първичният източник на енергия (двигател с вътрешно горене) и елемента за съхранение на енергия. Представени са няколко основни стратегии при хибридните електромобили, които могат да се прилагат в различни случаи категоризирани в показаната фигура 1.

1. Стратегия основана на правила

Тази категория от стратегии позволява ефикасен метод за разпределение на мощността и управление на енергийните потоци в реално време. Правилата за управление са определени въз основа на математични модели или оценката им, в този случай не е необходимо познаването на профила на мощността и цикъла на движение. Тези правила могат да бъдат дефинирани във връзка с една и повече цели и се установяват чрез детерминистичен подход.

Детерминистичен подход

Правилата са поставени в пряка връзка с целта и това е стратегия лесна за управление. В този случай се споменава метода „Термостат“ [3], използван за управлението на енергийните потоци на ЕТС, захранени от горивна клетка и батерия свързани паралелно. Целта на използвания метод е да се намали консумацията на водород. За тази цел батерията трябва да функционира в оптимален режим на работа, за да се използва за заряд и да поддържа състоянието на заряд между две гранични стойности.

Друг често използван метод е „Следене на мощността“, използван при хибридните автомобили Toyota PRIUS и Honda Insight. При него се взима предвид скоростта на превозното средство, като се подпомага акумулаторната батерия, чрез използването на режим на работа „Charge Sustaining“. При ниски скорости, автомобила се захранва от електромеханичният преобразувател и двигателя с вътрешно горене може да работи извън оптималните граници на к.п.д.

2. Стратегии основани на оптимизацията

При тези стратегии основните цели като разхода на гориво, вредните емисии на въглероден диоксид, състоянието на заряд на батериите при хибридни автомобили, се представят чрез математични уравнения и физични ограничения. Минимизирането на тези функции включва търсенето на оптимални препратки. Те се разделят на две основни категории:

Оптимизация в реално време

Оптимизацията в реално време позволява текущото управление на енергийните потоци без изискване за предварително разучаване на профила на пътя. Недостатък на

представеното решение е минимизирането на някои от зададените критерии. Представени са примерни алгоритми съдържащи прогнозиращ модел на условията за управление на автомобила. Един от тях е разработен, за да следи състоянието на заряд на батерията и оптимизацията на разхода на гориво на ЕТС. Друг използван метод е базиран на адаптивен алгоритъм. В този случай се използва функция, която пресмята еквивалента на презареждане на батерията спрямо консумацията на гориво. Общото потребление е равно на сумата от потреблението на даденото ЕТС, предоставено от двигателя с вътрешно горене и еквивалента му набавен от електрическата машина. При този метод не се изисква прогнозиращ модел, но оценката на глобалното потребление не е толкова точна.

Глобална оптимизация

Използването на този подход изисква познаване на профила на шофиране и не е приложим в реално време (on-line). Дадения метод позволява съществуването на оптимално решение и позволява управлението на няколко критерия за оптимизация. Неговата комплексност прави реализацията му в реално време почти невъзможна, но въпреки това е полезна за адаптирането на други стратегии за управление. Изследвана е система съдържаща батерия и суперкондензатор за захранването на градско ЕТС. Разработени са два подхода за програмиране: първият е детерминиращото динамично програмиране за оптимизиране на оразмеряването на елементите на източника, а второто е стохастично динамично програмиране за управление на мощността.

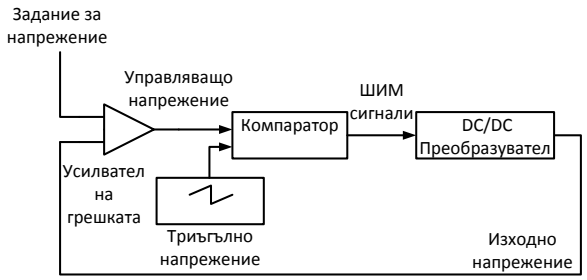
МЕТОДИ ЗА ОПТИМАЛНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЕТС

Постояннотоковия преобразувател е необходимо да осигурява регулирано постоянно напрежение на изхода при променлив товар и входно напрежение. Стойностите на елементите също могат да се променят с промяна на времето, температурата и др. външни фактори. Въпреки това управлението на изходното напрежение трябва да бъде реализирано чрез отрицателна обратна връзка. Два основни метода за управление на този тип преобразуватели чрез широчинно-импулсна модулация (ШИМ) са управление по напрежение и ток и са представени респективно на Фигури 2. и 3.

1. Управление по напрежение

При метода за управление по напрежение показан на Фигура 2 , изходното напрежение на преобразувателя отчетено и извадено от външно задание за напрежение в усилвател на грешката. Блокът, който представлява грешката произвежда сигнал за управляемо напрежение, който се сравнява с триъгълно напрежение с константна амплитуда. Компаратора създава ШИМ сигнали, които са захранени да управляват ключовете в постояннотоковия преобразувател. Коефициентът на запълване зависи от стойността на управляваното напрежение. Честотата на ШИМ сигналите е със същата честота като на триъгълното напрежение. Важно предимство при този тип управление е опростената хардуерна реализация и гъвкавост.

Блокът усилвател на грешката реагира бързо на промени в изходното напрежение. Поради тези причини управлението по напрежение осигурява добро регулиране на товара и управление при изменения в него. Регулирането против изменения във входното напрежение (line regulation) може да се забави поради това, че първо трябва да се регулира изходното напрежение и след това входното. За избягване на този проблем в схемата за управление по напрежение се добавя така нареченото „feedforward path“. То влияе директно на коефициента на запълване на ШИМ, спрямо входното напрежение.

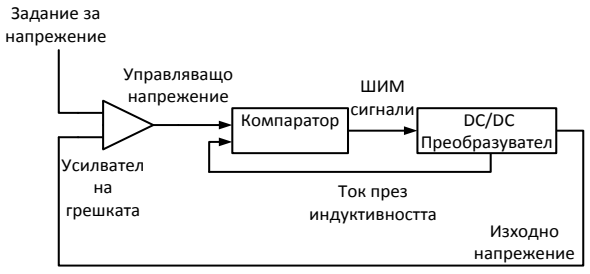


Фиг.2. *Блокова схема на управление по напрежение*

2. Управление по ток

На Фигура 3. е представена блоковата схема представяща управлението по ток. Добавен е допълнителен вътрешен контур представляващ сигнала на тока през индуктивността. Токовия сигнал преобразуван в неговия аналог на напрежение се сравнява с управляващото напрежение. Тази модификация със замяната на триъгълното напрежение с токовия сигнал значително променя динамичното поведение на преобразувателя. Преобразувателят отчита някои от характеристиките на токовия източник. Изходния ток в преобразувателя е равен на средната стойност на тока през индуктора или може да се разглежда като произведение от средната стойност на изходния ток и коефициента на запълване. В практическите приложения с токовото управление е възможно да се отчитат пиковете на тока през индуктора вместо неговата средна стойност.

Някои от предимствата на използването на метода за управление по ток са: ограничение на пиковете на тока при превключване и намаляване на реда на уравненията в динамиката на преобразувателя. Един от основните недостатъци на този тип управление е сложния хардуер, при който е необходимо да се компенсира управлението на напрежението чрез стъпков сигнал, за да се избегне неустойчивостта на преобразувателя.



Фиг.3. *Блокова схема на управление по ток*

Динамичните характеристики на затворената система на постояннотоковите двупосочни преобразуватели трябва да изпълняват определени изисквания. За опростяване на анализа, тези изисквания обикновено се привеждат към желаните параметри на отворената система. Тя трябва да осигурява фазово ограничение за стабилност (phase margin for stability), висока пропускателна способност (около една десета от превключващата честота) за по-добър преходен процес при ниски честоти.

Динамичните характеристики при отворена система са моделирани чрез компенсиране на пасивните елементи около усилвателя на грешката. Обикновено се използват RC групи от втори и трети ред. Тъй като, преобразувателя също е част от система за управление, изчисляването на компенсиращите елементи изисква познания на характеристиките на преобразувателя. Съществуват няколко метода за определяне на ШИМ управлявани постояннотокови преобразуватели. Най-използваният от тях е да се реализира осреднен модел на преобразувателя приемайки, че превключващата честота е висока. По този начин този тип модели са линеаризирани около работната точка, за получаване на предавателна функция.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на това проучване не може да се открои най-ефективния метод от представените. Използването на модерните методи като размита логика и невронни мрежи е оправдано да се използват е някои случаи, но те са реализирани с по-сложни алгоритми и изискват по-голяма изчислителна мощност, разработен софтуер и хардуер.

Също така, класическите методи като управление по ток и напрежение с пропорционално-интегрални регулатори намират приложение когато се търси по-ниска цена и по-голяма надеждност при изпълнение на зададените ограничения. Предизвикателството пред конструкторите е да се намери подходящ метод от широка гама, съобразен с изискванията предоставени на пазара.

БЛАГОДАРНОСТИ

Извършеното изследване се реализира в рамките на проекта "Оптимално управление на енергийните потоци в електрически транспортни средства посредством изкуствен интелект", договор

„Перспективни ръководители“ № 191ПР0018-07, с НИС към ТУ-София.

REFERENCE

[1] Cheng, Y.; Chen, K.; Chan, C.C.; Bouscayrol, A.; Cui, S. “Global Modelling and Control Strategy Simulation for a Hybrid Electric Vehicle Using Electrical Variable Transmission”, In Proceedings of IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Harbin, China, September 2008.

[2] M. Lešo, J. Žilková, M. Biroš, P. Talian, “Survey of control methods for dc-dc converters”, Acta Electrotechnica et Informatica, Vol. 18, No. 3, 2018, 41–46, DOI: 10.15546/aeei-2018-0024.

[3] O. Fatih Kececioglu, H.Acikgoz, A. Gani, M. Sekkeli, “Experimental Investigation on Buck Converter Using Neuro – Fuzzy Controller”, DOI: https://doi.org/10.18201/ijisae.2019751245

[4] S. Singh, D. Fulwani, ve V. Kumar, “Robust sliding-mode control of dc/dc boost converter feeding a constant power load ”,IET Power Electronics, vol. 8, no. 7, pp. 1230–1237, July 2015.

[5] R.Coteli, H.Acikgoz, F. Ucar, B. Dandil. "Design and implementation of type-2 fuzzy neural system controller for PWM rectifiers", International Journal of Hydrogen Energy, vol.42, no.32, pp.20759-20771, August 2017.

[6] H.Acikgoz, G.Kale, O.F.Kececioglu, A.Gani, M. Sekkeli, "Performance analysis and design of robust controller for PWM rectifier," presented at the 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), Bursa, Turkey, Nov.26-28, 2015.

[7]A.Koca, H. F. Oztop, Y. Varol, G.O.Koca, “Estimation of solar radiation using artificial neural networks with different input parameters for Mediterranean region of Anatolia in Turkey," Expert Systems with Applications. vol.38, no.7, pp.8756-8762, July 2011.

[8] G. Hua, C.S. Leu, Y. Jiang, and F.C.Y. Lee “ Novel Zero-Voltage-Transition PWM Converters”, IEEE Trans. on Power Electron., vol. 9, no. 2, pp. 213-219, 1994.

[9] E. Schaltz, “Electrical Vehicle Design and Modeling”, Electric Vehicles - Modelling and Simulations (1 ed., Chapter 1, pp. 1-24).

[10] S. Kumar, N. Ravishanker Reddy and K. Lokeswara Rao, “A Closed Loop Control of Three Phase Dual-Switch Buck-Boost Converter”, (International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques

[11] Consoli, A., Musumeci, S., Raciti, A., and Testa, A. A. 1994, "Sensorless vector and speed control of brushless motor drives", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. IE-41, Issue 1, pp. 91−96.

[12] H.-T. Moon, H.-S. Kim, and M.-J. Youn, “A discrete-time predictive current control for PMSM”, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 18, no. 1, pp. 464–472, January 2003.

[13] H. Le-Huy, K. Slimani, and P. Viarouge, “Analisis and implementation of a real-time predictive current controller for permanent-magnet synchronous servo drives”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 41, no. 1, pp. 110–117, February 1994.

[14] C. French and P. Acarnley, “Direct torque control of permanent magnet drives”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 32, no. 5, pp. 1080–1088, September/October 1996.

[15] Hasan Alipour, Behzad Asaei, Ghias Farivar, ”Fuzzy Logic Based Power Management Strategy for Plug-in Hybrid Electric Vehicles with Parallel Configuration”, School of Electrical & Computer Engineering, College of Engineering, University of Tehran.

ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА ПРЕД ИЗПОЛЗВАНЕТО НА ГОРИВНИ КЛЕТКИ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТРАНСПОРТНИ СРЕДСТВА

Гергана Вачева, Николай Хинов
Технически университет София
Факултет по електронна техника и технологии

CHALLENGES TO THE USE OF FUEL CELLS IN ELECTRIC VEHICLES

Gergana Vacheva, Nikolay Hinov
Technical University of Sofia,
Faculty of electronic engineering and technologies

Abstract

In the current paper an overview of the main challenges in front of the usage of the fuel cells in electric vehicles is presented. As an introduction the problems connected with the air pollution, the decreasing of the petrol reserves and protection of the environment are discussed and analyzed. The main characteristics of energy demands of the electric vehicles are proposed. Likewise, several technologies for hybridization of the vehicles are presented. The main objectives of this paper are the consideration and the implementation of the renewable energy sources for electric transportation.

Keywords: electric vehicles, fuel cells, renewable energy.

ВЪВЕДЕНИЕ

Икономическото развитие се отразява във всички отрасли чрез увеличаване на потреблението на енергия. Икономическият прогрес е свързан с консумацията на различни видове енергия, която може да бъде добивана от: биомаса, слънчева енергия, вятърна енергия, и в по-голямата си част нефт[7-9].

Основен проблем е, че икономиката ни става много зависима и този ресурс е много слабо разпределен в света. Освен това той е в много ограничено количество, дори ако почти всяка година се откриват нови находища. В допълнение, изгарянето на петролни горива произвежда вещества, които могат да повлияят на здравето, известни като замърсители, както и парникови газове, по-специално въглероден диоксид, които променят климата. Използването на нефт и неговите производни като източници на енергия е спирачка в рамките на устойчивото икономическо развитие за всички страни по света. Следователно необходимостта от намаляване на използването на изкопаемите горива в полза на възобновяемите източници и водорода е естествено решение за намаляване на вредните емисии и замърсяването. Следователно производството на водород от възобновяеми източници е основно предизвикателство, като се има предвид, че изкопаемите горива представляват 96% от суровините, произвеждащи водород в света, с общо 60 милиона тона водород всяка година.

Технологията използвана в автомобили, оборудвани с двигатели вътрешно горене (ДВГ) е разработена и създадена през 20 век, за да гарантира индивидуалност, мобилност при сравнително ниски разходи, които могат да си позволят много хора. Удобството на автомобилите с бензин или дизел е добре известно и оценено от клиента. Най-важните от тях са[1]:

• Лесно съхранение и пълнене на бензин/дизел;

• Ниски разходи за цялостна система за съхранение за захранване на двигателя;

• Презареждането с гориво може лесно да се извърши от клиента за кратко време

• Системата за захранване и съхранение има висока надеждност и висока издръжливост и може да се използва от клиента с незначителни разходи за поддръжка и без технически ограничения през целия живот на автомобила.

ЕНЕРГИЙНИ НУЖДИ НА ЕТС

Причините, поради които водородът в момента се счита за основната средносрочна и дългосрочна алтернатива на бензина и дизела са представени. От една страна, тя може да бъде получена както от изкопаеми, така и от възобновяеми енергийни източници, а от друга страна, водородът може да се преобразува както в двигатели с вътрешно горене, така и в горивни клетки за захранване на автомобили без емисии на въглероден диоксид (CO_2). Водородът обаче има напълно различни свойства от бензина и дизела. На Фигура 1 е показано производството на различните видове горива от класическите и възобновяемите източници на енергия и техните алтернативи. Въпреки тези различия, изискванията за производителност, разходи и удобство за потребителите на системата за съхранение са силно повлияни от свойствата на добре позната технология за съхранение на бензин и дизел в сегашните автомобили[13, 14].

За навлизането в масовия пазар на водородни превозни средства, клиентите ще очакват високо ниво на безопасност, производителност, близки до тези автомобили с двигатели с вътрешно горене.

Според програмата „Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies“ три основни причини основни пречки за навлизането на масовия пазар на автомобилите с горивни клетки са [10]:

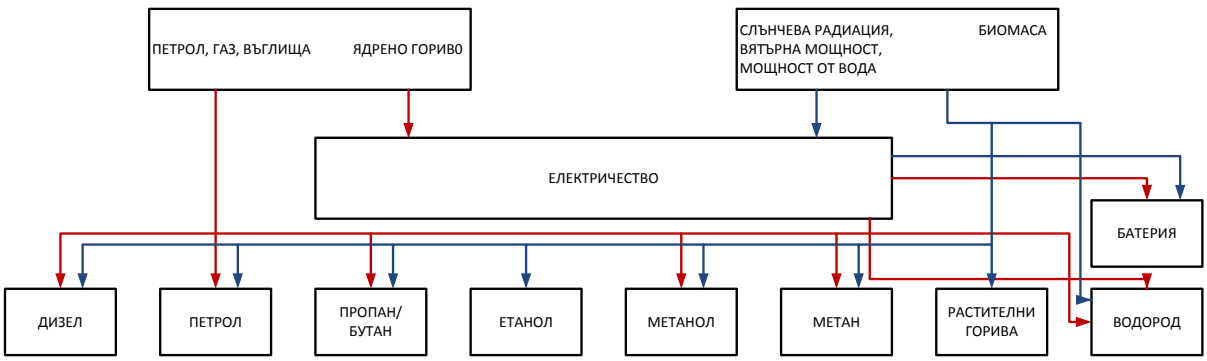
• Бордовата система за съхранение на водород трябва да гарантира минимално количество превозно средство обхват от 300 мили, докато в същото време е необходимо автомобилите да отговарят на критерии за безопасност, ниски разходи и висока производителност;

• Разходите за ефективно и безопасно производство на водород трябва да бъдат намалени, за да бъдат конкурентноспособни на тези захранвани с бензин, и в същото време да отговарят на екологичните критерии.

• В случая когато се разглежда хибриден автомобил с горивни клетки и електродвигател, разходите за горивните клетки трябва да бъдат понижени до ниво от 30 $ за киловат, отговаряйки на критериите за ефективност и устойчивост.

ТИПОВЕ ХИБРИДНИ ТЕХНОЛОГИИ

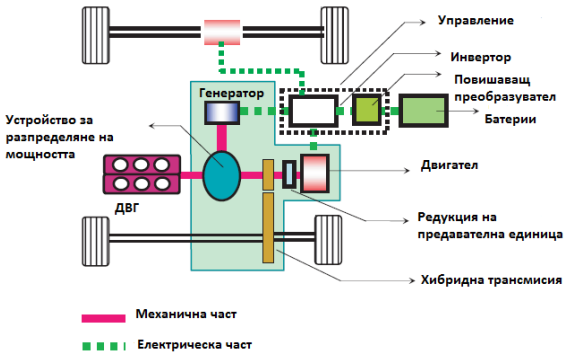
Извършените изследвания на хибридно превозно средство в условията на градски цикъл, показват, че превозното средство може да достигне по-висока икономия на гориво и много по-ниски емисии от традиционния ДВГ. Най-основна характеристика на това превозно средство е възможността за пълно и мигновено изключване двигателя при ниска скорост и работа с ниско натоварване, където ефективността е ниска, и тогава да се включи електрическия двигател. Основният цел в развитието на



***Фиг. 1**. Производство на горива, дизел и техните алтернативи от различни източници на енергия*

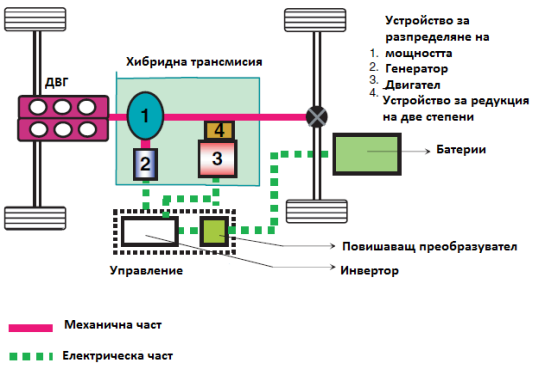
хибридните автомобили е да се подобри и оптимизира както двете системи, така и изграждащите ги компоненти. Основните елементи, които изискват промени в сравнение с автомобилите с ДВГ са електрическия двигател, инвертора, трансмисията и батериите.

На следващите Фигури 2 и 3 са представени блокови схеми на два хибридни автомобила представени от производител[11]. Този автомобил притежава система за контрол на мощността и енергията, за постигане на по-добри екологични показатели като икономия на гориво и вредни емисии. Използването на устройство за редукция на предавателното число позволява повишаването на оборотите на електрическия двигател.



Фиг. 2. *Блокова схема на хибриден автомобил с устройство за намаляване на скоростта на двигателя[11]*

На Фиг.3. е представена блокова схема на хибриден автомобил с подобрена система за намаляване на скоростта на двигателя на две нива. Тази система позволява хибридизацията на различни типове превозни средства като „sports utility vehicles“ (SUVs), микробуси и малки автобуси.



Фиг. 3. *Блокова схема на хибриден автомобил с устройство за намаляване на скоростта на двигателя на две нива[11]*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В момента се представят множество алтернативи на бензин и дизел за захранване на автомобили. Повечето от тях, обаче се произвеждат от въглеродни източници или нямат потенциал напълно да заменят потреблението на енергия в транспортния сектор. Те играят ролята на подпомагащи системи, които в бъдеще да бъдат вградени като източници на енергия в ЕТС. В дългосрочен план се счита, че само водородът е достатъчно устойчив и подходяща алтернатива за гориво.

В настоящият доклад е направен преглед на енергийните нужди и са представени основни типове хибридни технологии. Представени са основните предизвикателства пред използването на горивни клетки като спомагащ източник в ЕТС. Въз основа на направения обзор може да се отбележи, че горивните клетки ще намират все по-голямо приложение в електро транспортният сектор, поради тяхната енергийна ефективност и възможността за намаляване на вредните емисии и опазването на околната среда.

БЛАГОДАРНОСТИ

Извършеното изследване се реализира в рамките на проекта "Оптимално управление на енергийните потоци в електрически транспортни средства посредством изкуствен интелект", договор „Перспективни ръководители“ № 191ПР0018-07, с НИС към ТУ-София.

REFERENCE

[1] Aline L´eon (Ed.), Hydrogen Technology, er Series in Green Energy and Technology ISSN 1865-3529

[2]Fatma Keskin Arabul, Ibrahim Senol, Ahmet Yigit Arabul, Ali Rifat Boynuegri, ” Providing Energy Management of a Fuel Cell-Battery Hybrid Electric Vehicle”, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Energy and Power Engineering Vol:9, No:8, 2015.

[3]Andreas Dildey, Die PEM-Brennstoffzelle als alternativer PKW-Antrieb, Dissertation, TU Braunschweig, 2005. JRC/EUCAR/CONCAWE Well-to-Wheels Study, Version 2C, 2007 (http://ies.jrc.ec.europa.eu/wtw.html).

[4]"Reserven, Ressourcen und Verf¨ugbarkeit von Energierohstoffen", Bundesanstalt f¨ur Geowissenschaften, 2004.
[5]Colin C. Campbell and Jean H. Laherr`ere, The End of Cheap Oil, Scientific American, March 1998.
[6]Deployment Strategy Report, European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform, 2004 (www.hfpeurope.org).
[7]See, e.g.: D.A. Stainforth et al., Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases, Nature 433, 403–406;
[8]Hadley Centre Climate Report, Uncertainty, Risk and Dangerous Climate Change, December 2004 (http://www.metoffice.com/research/hadleycentre/pubs/brochures/B2004/ global.pdf);
[9]Hadley Climate Change Report, Climate Change, Rivers and Rainfall, December 2005 (http://www.metoffice.com/research/ hadleycentre/pubs/brochures/B2005/COP11.pdf); IPCC Fourth Assessment Report, Climate Change 2007, November 2007.
[10] DOE Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Program Multi-year Research, Development and Demonstration Plan (www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/mypp)
[11]http://www.toyota.co.jp/en/tech/environment
[12]See, e.g., the approach of Quantum Technologies Inc.: Neel Sirosh, Hydrogen Internal Combustion Engine Hybrid Electric Vehicle Development, NHA Annual Hydrogen Conference 2006, Long Beach, 2006.
[13]Salvador M. Aceves, Gene D. Berry, Andrew H. Weisberg, Francisco Espinosa-Loza, andScott A. Perfect, Advanced Concepts for Vehicular Containment of Compressed and Cryogenic Hydrogen, WHEC 16, Lyon, 2006.
[14]See, e.g.: Sitra Pregassame, Frederic Barth, Laurent Allidieres, and Katia Barral, Hydrogen Refuelling Station: Filling Control Development, WHEC 16, Lyon, 2006; Sitra Pregassame, Friedel Michel, Laurent Allidieres, Philippe Bourgeois, and Katia Barral, Evaluation of Cold Filling Processes for 70MPa Storage Systems in Vehicles, WHEC 16, Lyon, 2006.
[15]See, e.g.: Alan C. Copper, Karen M. Campbell, and Guido P. Perez, An Integrated Hydrogen Storage and Delivery Approach Using Organic Liquid-Phase Carriers, WHEC 16, Lyon, 2006.
[16]Tobias Brunner, Liquid Hydrogen Storage for Passenger Car Application – Roadmap to Mass Market, Hydrogen Production and Storage Forum, Vancouver (Canada), September 2006.
[17]Sunita Satyapal, John Petrovic, George Thomas, Carole Read, and Grace Ordaz, The U.S. National Hydrogen Storage Project, WHEC 16, Lyon, 2006.

PROBLEMS IN DESIGNING PIEZOELECTRIC COMPRESSION HARVESTERS

Rumyana Stoyanova
TU – Gabrovo

Dimo Kolev
TU – Gabrovo

Velimira Todorova
TU – Gabrovo

Abstract

The aim of the presented research is to develop piezoelectric energy harvester which utilizes cheap, affordable piezoelectric elements and scavenges the mechanical energy from the traversing pedestrians. Initial research was also carried out to evaluate the applicability and possible path for the development of such kind of devices as well as the factors that define the volume for the obtainable energy for the current design.

Keywords: compression; energy harvesting; piezoelectric.

INTRODUCTION

In the last decade the Energy Harvesting (Power Harvesting or Energy Scavenging) has increasingly been the object of research and development. EH processes provide a limited quantity of electric supply for electronic devices with low consumption as the energy is extracted from background phenomena which have no direct significance for a given system or are parasitic in their nature. Prime examples of this kind of phenomena are the temperature gradient and vibrations created in the working process of the internal combustion engine and the presence of a huge volume of electromagnetic radiation in the city environment due to radio or television broadcasting and mobile communications.

EXPOSITION

A. Piezoelectric energy harvesters

When creating harvester system, what should be considered is not only the output power volume that will be obtained but also the conversion mechanism which will be utilized. For harvesting mechanical stresses and exertions the piezoelectric harvesters are highly suitable [1-3] because of the very high ratio of conversion distinctive for the piezoelectric materials. Some piezoelectric harvesters are designed for collecting the waste energy of human motion as they are mounted in part of the human clothing – for example, vibrational harvesters are mounted in the shoe soles. Other types are stationary mounted in appropriate locations so that passing vehicles [1-4] or pedestrians exert mechanical force over them. Stationary harvesters are developed in connection with the concepts for smart cities and are actively researched.

Piezoelectric harvesters can be of several types – namely, pure vibrational harvesters, compression ones and mixture of both types. Compression and vibrational piezoelectric harvesters work on the same principles (direct and reverse piezoelectric effects) and the difference between them actually is in the operational mode. Vibrational harvesters are supposed to be impacted by external mechanical forces and stresses that have pure harmonic nature or their description can be done with relatively adequate precision by sine and cosine functions, i.e. they can be considered to function in a purely dynamical mode. Compression piezoelectric harvesters operate in the static mode or under forces that can be described as relatively static over prolonged time periods.

The external mechanical force deforms the piezoelectric material in the compression harvester, thus generating electrical charge in the form of a single energy spike, while a (dynamical) deformation in the vibrational

harvester creates multiple fading vibrational oscillations that have multiple energy peaks (Fig. 1).

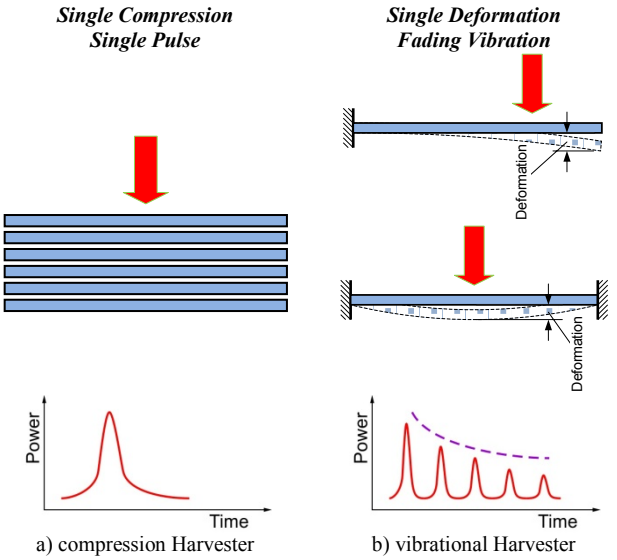


Fig. 1. *Difference between compression and vibrational harvester*

There is no guarantee with compression harvesters that the impacting mechanical forces will have exclusively static characteristics. Thus in this type of harvesters, mechanical force is determined to a large extent by various random factors [4], which further complicate the development of a common model. In practice for the compression harvesters experimentally-oriented approaches for evaluating the possible obtainable energy are used as they are highly dependent on specific harvester manufacturers [1].

B. Design of Compression Harvester

The developed compression harvester is supposed to be mounted as a flooring part on which passing of multiple pedestrians is done with the aim to harvest electrical energy from the human transition [4].

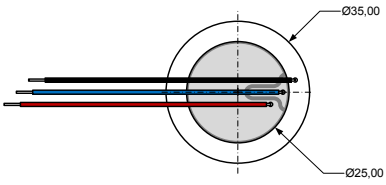


Fig. 2. *The choosen piezoelectric resonator*

As primary transducers in the compression harvester, standard piezoelectric resonators are chosen with resonance frequency of *2,9 kHz (±500 Hz)*, thickness of *300 μm* and diameter of *25 mm* (Fig. 2) [5] because of their accessibility and relatively low price. The resonators have metal base with diameter of *35 mm* which is being treated as common electrode (black color electrode on Fig. 2).

Flat, rectangular section of dielectric fabric is chosen with the dimensions of *840x510 mm* and thickness of *7 mm* for the harvester base, on which the piezoelectric resonators as well as the protective cover from same material will be mounted.

The constructive problem in this type of harvester is the effective distribution of the active elements in the selected harvester area which will guarantee that the maximum possible amount of electrical energy is collected with the minimum number of elements.

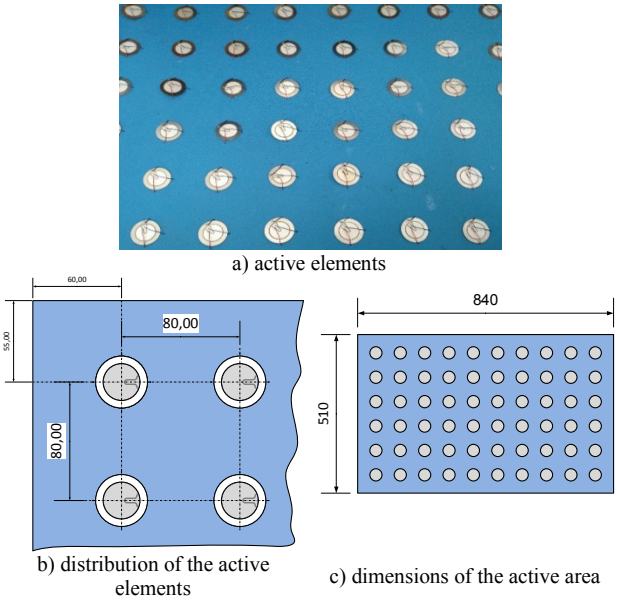


Fig. 3. *Active area of the compression harvester*

For the initial research a preliminary square distribution of the active elements is chosen (Fig. 3,b) as every element is located on *80 mm* apart from its neighbors. With the chosen base dimensions, sixty active elements are distributed over the base and they are covered by another layer of the dielectric material.

The next problem in constructing an compression piezoelectric harvester is the wiring of the individual elements as the serial connection is supposed to increase the

magnitude of the obtained signal and the parallel connection is to result in increasing the current density of the harvester. After preliminary connection testing, the established conclusion is that when the serial element connection is used the output power is obtained only when every connected element in given line is simultaneously compressed because when one of them is not pressed then the circuit is actually open one. Because of this, the electrical wiring is chosen to be from the parallel type which will guarantee the undisturbed operations for the all active harvester elements as is shown on Fig. 4.

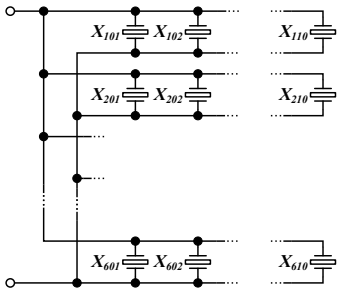


Fig. 4. *Electrical wiring of the active elements*

C. Preliminary ("Static") Experiments

Experiments are done only for the active part of the compression harvester as for the interface circuit is used simplified version of the energy collecting system which actually consists of full rectifier bridge, condenser in the role of energy storage and load resistance with chosen value for calculating the obtained electrical power. Electrical circuit is given on Fig. 5 as parallel to the load measurement voltmeter can be connected.

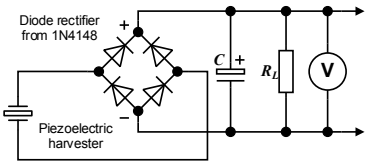


Fig. 5. *Simplified testing interface*

The capacitance for the condenser is chosen to be with standard value of *1 μF* and the load resistance is chosen to be *1 MΩ* due to the fact that piezoelectric elements have low current density.

The experiments are carried out with connected digital measurement unit *DT9201A* as voltmeter in parallel (Fig. 5) and these are designated as "static" because the only maximal amplitude of the signal is monitored for given time. In the initial experiments a group of volunteers is initially interviewed for determining their shoe size, then they are weighed by digital scales *SWG180A1* (Silver Crest®). The volunteers are asked from one and the same standing position to board the pad by placing both feet one next to each other and then to descent from it for given time. Each participant is asked to repeat the procedure ten times as maximum voltage value is taken into account for every iteration;

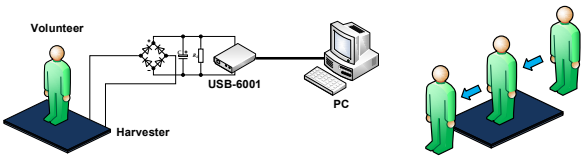
Obtained voltage results for each participant as well as its mass and shoe size are given in *Table 1*. Data from the conducted experiments shows a large dispersion of the obtained values, which indicates that the processes in the harvester should be considered not purely static but have a definite dynamic component that has not been counted in these initial experiments.

TABLE 1. "STATIC" EXPERIMENTAL RESULTS

Shoe size	*Mass, kg*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	*Average*	*Power, μW*
45	**96,5**	0,3	0,51	0,38	0,61	0,47	0,58	0,75	0,37	0,43	0,49	0,489	0,239121
42	**90,2**	0,26	0,65	1	0,91	0,84	0,69	0,34	0,54	0,8	0,6	0,663	0,439569
37,5	**75,7**	1	0,65	0,27	0,35	0,49	1,03	0,64	0,61	0,3	0,64	0,598	0,357604
37	**66,7**	0,92	0,76	0,34	0,27	0,51	0,83	0,21	0,49	0,52	0,43	0,528	0,278784
43	**90,5**	0,46	0,52	0,7	0,85	0,4	0,43	0,69	0,39	1,02	0,41	0,587	0,344569
45	**80,5**	0,77	0,34	0,2	0,45	0,47	0,42	0,81	0,22	0,45	0,6	0,473	0,223729
45	**96**	0,22	0,66	0,81	0,41	0,54	0,34	0,78	0,34	0,31	0,53	0,494	0,244036
42	**100,2**	0,48	0,54	0,36	0,14	0,47	0,13	0,22	0,29	0,62	0,24	0,349	0,121801
37	**65**	0,04	0,2	0,87	0,03	0,06	0,24	0,9	0,27	0,05	0,35	0,301	0,090601
39	**72**	0,55	0,45	0,18	0,16	0,65	0,06	0,26	0,27	0,11	0,4	0,309	0,095481
											Total	***0,4791***	***0,24353***

D. Experiments with Dynamic Component

Measurement DAQ board *USB-6001* (*NI*) is used for monitoring the dynamic component of the harvester signal (Fig. 6).



a) experimental connections b) passage of participant

Fig. 6. *Experimental set with DAQ board*

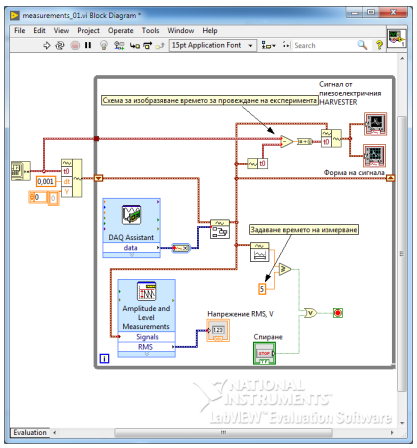


Fig. 7. *Application provision for the experiments*

For this task in program environment *LabView*® a block-diagram (Fig. 7) controlling the data obtaining process is designed which uses "*while*" cycle for measurements as this action will be executed at least once. The measurements are being repeated until the preset time is over or the command for stoppage is not selected. All of the obtained results for the voltages are displayed in RMS form for increased clarity and the measurement time period is set to be *5 s*. The measurement procedures are the same as with the preliminary experiments but the participants pass over the active part of the harvester in one direction in time (as shown on Fig. 6,b).

a)

Mass, kg		Shoe Size	
98		45	
Measurement	U_{RMS}, V for 5 s	U_{RMS}, V for 1 s	Energy, W/s
1	0,868691	0,1737382	3,0185E-08
2	1,4554	0,29108	8,47276E-08
3	1,2826	0,25652	6,58025E-08
4	1,02731	0,205462	4,22146E-08
5	1,07012	0,214024	4,58063E-08
6	1,20689	0,241378	5,82633E-08
7	1,52894	0,305788	9,35063E-08
8	1,03778	0,207556	4,30795E-08
9	0,691448	0,1382896	1,9124E-08
10	0,71072	0,142144	2,02049E-08
Average	**1,0879899**	**0,21759798**	**5,02914E–08**

b)

Mass, kg		Shoe Size	
90		43	
Measurement	U_{RMS}, V for 5 s	U_{RMS}, V for 1 s	Energy, W/s
1	0,792981	0,1585962	2,51528E-08
2	0,576948	0,1153896	1,33148E-08
3	1,10898	0,221796	4,91935E-08
4	1,43602	0,287204	8,24861E-08
5	0,768947	0,1537894	2,36512E-08
6	0,999946	0,1999892	3,99957E-08
7	1,78872	0,357744	1,27981E-07
8	1,38203	0,276406	7,64003E-08
9	0,958657	0,1917314	3,67609E-08
10	1,33549	0,267098	7,13413E-08
Average	**1,1148719**	**0,22297438**	**5,46277E-08**

a) data for Participant 1 b) data for Participant 4

Fig. 8. *Experimental data for two participants*

The average quantity energy obtained for four participants passing the active part of the energy harvester is displayed in *Table 2*.

TABLE 2. DATA FOR "DYNAMIC" EXPERIMENTS

Parameter	*Participant 1*	*Participant 2*	*Participant 3*	*Participant 4*
Mass, kg	90	64,5	76	98
Shoe Size	43	37/38	36/37	45
Average Energy, W/s	$5{,}4628.10^{-08}$	$2{,}4317.10^{-08}$	$2{,}7723.10^{-08}$	$5{,}0291.10^{-08}$

It is interesting to compare the readings for the different participants that pass through the harvester which demonstrate different "signatures" of their gait (Fig. 9).

The obtained energy curves for the different participants are defined by the stepping force and the acceleration with which every participant pass through the active surface of the harvester. The participants are doing two steps on the dielectric mat averagely which is illustrated by the curves for three different passings of the volunteers (Fig. 9).

It is evident that every passing has own unique features but the passing patterns for a specific participant have similarities which are predefined by the inherent height, weight, the shoe size, the gait amplitude, the speed of passing, etc.

a) Participant 1 b) Participant 2 c) Participant 4

Fig. 9. *Comparison between the participants*

E. Evaluation for the developed harvester

The developed piezoelectric compression harvester in principle can obtain energy from the passing through pedestrians but the energy quantity is impractical for powering any of presently existing low consumption devices. Also the experiments reveal that there is high

degree of randomness in acquiring the energy from pedestrians as this is connected with the mechanism of human gait and motions. Factors that have influence over energy acquisition in the current case are the size of the foot; the gait pattern; the weight of the pedestrian; exerted force per unit area; speed of passing; biological sex and age of the pedestrians; the used footwear; the expected numbers of the traffic. All of the listed factors are highly random in their nature, except for the traffic numbers as the harvester can be put in locations with highly concentrated traffic (for example building entrances, hallways, etc.) which can guarantee in some degree a relatively stable energy flux.

CONCLUSION

The currently chosen distribution pattern for the active piezoelectric elements is not optimal as there are "blind" spots in the active area that are not used efficiently. The chosen transducers are not sufficiently effective in transforming the mechanical energy, i.e. there is a need for specialized (more expensive) piezoelectric elements. The device currently can be used as sensor device for human recognition from their gait after applying the required processing circuits with self learning capacities.

REFERENCE

[1] Xiong H. *Piezoelectric Energy Harvesting for Public Roadways*. PhD dissertation thesis in Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, December 2014.

[2] Kim S., J. Shen, M. Ahad. *Piezoelectric-Based Energy Harvesting Technology for Roadway Sustainability*. International Journal of Applied Science and Technology, Vol. 5, No. 1, February 2015, ISSN 2221-0997.

[3] Wang H., A. Jasim, X. Chen. *Energy harvesting technologies in roadway and bridge for different applications – A comprehensive review*. Applied Energy, Vol. 212 (2018), pp. 1083–1094, ISSN: 0306-2619.

[4] Yang C.-H. and team. *Feasibility study of impact-based piezoelectric road energy harvester for wireless sensor networks in smart highways*. Sensors and Actuators A, Vol. 261 (2017), pp. 317–324, ISSN: 0924-4247.

[5] Comet Electronics – E-Магазин, каталог: https://store.comet.bg/CatalogueFarnell/Product/178687/

ВЗАИМНО ВЛИЯНИЕ ОТ РАБОТАТА НА ПРЕОБРАЗУВАТЕЛИ В СИСТЕМА ЗА СЪХРАНЕНИЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ

MUTUAL INFLUENCES IN THE OPERATION OF CONVERTERS IN AN ELECTRICAL ENERGY STORAGE SYSTEM

Krasimir Kishkin, Dimitar Arnaudov, Vladimir Dimitrov, Lachezar Nikolov
Technical University of Sofia, Bulgaria
k.kishkin@abv.bg, dda@tu-sofia.bg, dimitrov@tu-sofia.bg, lachivd@abv.bg

Abstract

This article studies the influence of simultaneous operation between a converter for charging a Li-Ion batteries and a converter for active voltage balancing (active BMS). The voltage equalizing system consists of resonant inverters with synchronous voltage doubler rectifier (SVDR) connected to their output. This system is applicable for batteries made of either Li-Ion cells or supercapacitor cells. Simulation model has been developed for the purpose of analysis of the converters.

Keywords: energy storage, voltage balancing, resonant converters, BMS.

ВЪВЕДЕНИЕ

Different active and passive voltage balancing methods are known for Li-Ion cells connected in series. [1, 2, 3, 4]. In active voltage balancing methods, a DC-DC convertors connected in parallel to each cell are used. The voltage at the input of the DC/DC converter has different potential than the voltage at its output. That's why the input of the converter is galvanically isolated from its output. One of the most commonly used circuits is a flyback converter [5].

For realization of a DC/DC converter, other circuits like a single ended resonant converter (SERC) can be used [6,7].

The most significant advantages of SERC are:

- Using only one power switching element working in ZVS and ZCS mode.
- Lower voltage drop due to the synchronous operation mode of the MOSFET rectifying transistors. Additional characteristics of this circuit are mentioned in [6,7].

There are two basic methods for voltage equalization. In the first method, the energy is taken from the whole battery pack and it is delivered to the cell with the lowest voltage. In the second method the energy is taken form the maximum charged cell and it is delivered to the whole battery pack.

In the proposed variant, the inputs of the DC/DC converters are connected in parallel. This causes the influence between the individual converters with respect to their inputs.

On the other hand the converters work along with the main charging converter with common load (the charging cells). This causes the influence between the converters with respect to their outputs.

That influences has to be considered when this circuit is being designed.

Other methods are also known for voltage balancing across energy storage cells connected in series. [8, 9, 10].

BLOCK DIAGRAM

Fig. 1 shows the block diagram of the system for charging and voltage equalization across Li-Ion cells connected in series.

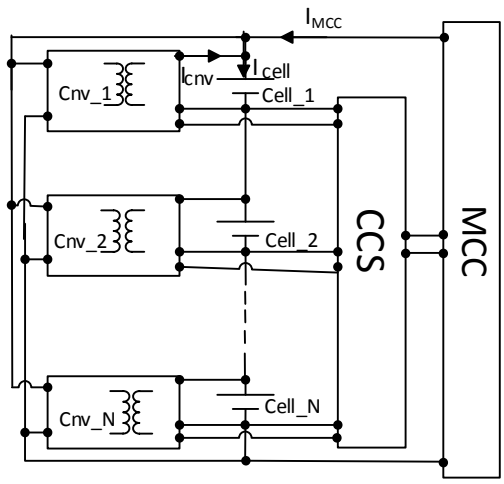


***Fig. 1**. Block diagram of the charging system*

The research is done for battery pack made of 10 Li-Ion cells connected in series. In the block diagram they are marked as Cell_1 to Cell_N. The blocks marked as Cnv_1 to Cnv_N are DC/DC converters (SERC with SVDR described above). The block marked as MCC is DC/DC converter working in current source mode. It makes CC and CV modes for charging the battery pack. The block marked as CCS is central control system and it is used to control the MCC and the converters Cnv_1 to Cnv_N.

WORKING ALGORITHM

Before starting the process of charging, the system determines the capacitance of the each individual cell by measuring the voltage variation of each cell. This is done by discharging the whole battery pack for a very short period of time. After determination the capacitance for each cell by using some of the well-known methods [6,7], the main charging process is started. The charging current for each cell is a sum of the current of the MCC and the current of the respective to each cell DC/DC converter.

$$Icell = Imcc+Icnv.N \quad (1)$$

The current Icnv for each DC/DC converter is determined with respect to the capacitances of each cell. The current Icell must not exceed the maximum possible current for the cell. The current Icnv is determined on the base of the capacitance of the particular cell and the capacitance of the rest of the cells. The current for each DC/DC converter will be different. The current from the MCC is given by the next equation:

$$Imcc = Icellmax - Icnvmax \quad (2)$$

where:
Icellmax – the maximum possible current for the cell;
Icnvmac – the maximum current for the converter;

When the charging process is started, MCC and the converters Cnv_1 to Cnv_10 work simultaneously with different output currents. The time of simultaneous working for all converters is calculated with so called method of predictive control. After this time, each individual cell will be at different state of charge. The cells with higher capacitance will have higher SOC than the cells with lower capacitance. After that, the charging of the battery is done only by the MCC. The charging current for all cells connected in series is one and the same. This current is equal to the maximum possible current for one cell. When the currents Icnv_1 to Icnv_N are determined correctly, the individual cells will be charged to different voltage levels in such way that at the end of the charging process the voltages on the cells will be equal. From the described algorithm can be seen that there is a moment that all DC/DC converters work simultaneously. This paper studies exactly this period of time.

SIMULATION MODEL

On Fig.2 is shown an LTspice simulation model of the described above charging system. This is developed version of the circuit shown in [6,7].

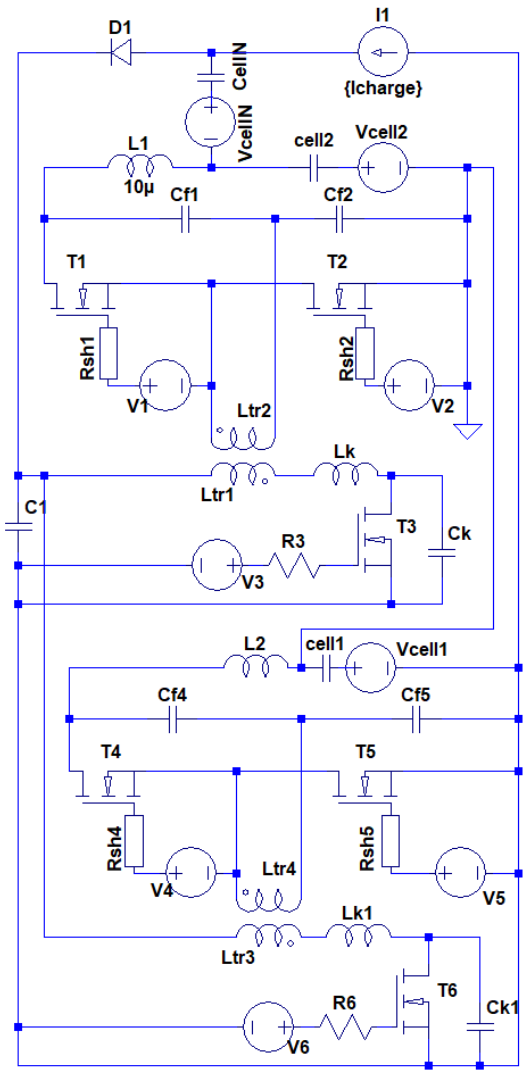


***Fig. 2**. Simulation model*

In this model is assumed that two cells (Cell_1 and Cell_2) will have different capacitance. So they have to be charged to different voltage levels. The rest 8 sells are represented by one supercapacitor cell marked as Cell_N which has the equivalent capacitance of 8 supercapacitor cells connected in series.

The main charging converter is represented by constant current source I_1.

In this simulation model, the capacitance of the supercapacitor cells is highly reduced only for purpose of faster simulation process.

Parameters of the elements used in this simulation are as follows:

- Cell_1 = 0.8F, Cell_2 = 1.2F
- Cell_N = 0.125F
- $C_{f1} = C_{f2} = 100\mu F$
- $C_k = 0.1\mu F$
- $L_k = 75\mu H$
- $V_d = 42V$
- Transformer ratio is 2.13.
- The transformer coupling is 0.995

In this simulation model, the battery cells are represented by combination of voltage source and supercapacitor. The voltage source represents the initial voltage of the cell and the supercapacitor represents the remaining capacitance of the cell. In Fig.2 these are Cell2 with Vcell2 and Cell1 with Vsell1.

The voltage sources V_1, V_2, V_4 and V_5 represent the control systems (CS) for the rectifying transistors T_1, T_2, T_4 and T_5 and ensures synchronous operation* with ZCS and/or ZVS working mode for these transistors.

SIMULATION RESULTS

Fig.3 shows the voltage across two cells from the battery pack and currents through the outputs of the converters - I(L1) и I(L2).

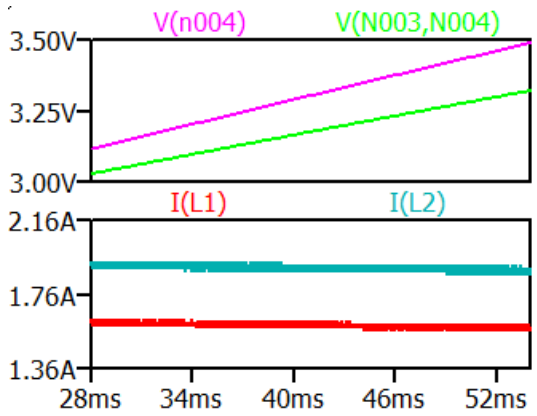


***Fig. 3**. Voltage across two cells*

Fig. 4 and fig. 5 shows the voltages across two of the cells cell1 – V(n004) and cell2 – V(N003,N004) and the currents at the output of the converters Cnv_1 – I(L1) and Cnv_2 I(L2) used for voltage balancing .

Fig. 4 shows voltage and current time diagrams for the transistors T6 and T3. As it can be seen, both converters work with ZVS and ZCS mode. For getting different output currents for the both converters, the transistors T3 and T6 are turned on for different time intervals. To keep ZVS working mode, the operating frequency of the converter needs to be changed which means that the two convertors work with different operating frequencies.

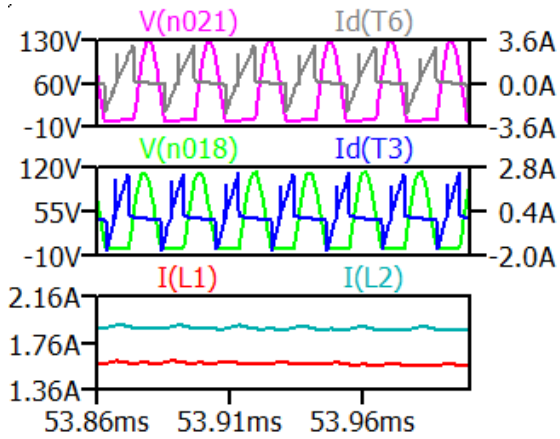


***Fig. 4**. Voltage and current for transistors T6 and T3*

Fig. 5 shows the voltage and the current time diagrams for the synchronous rectifying transistors T1 and T2.

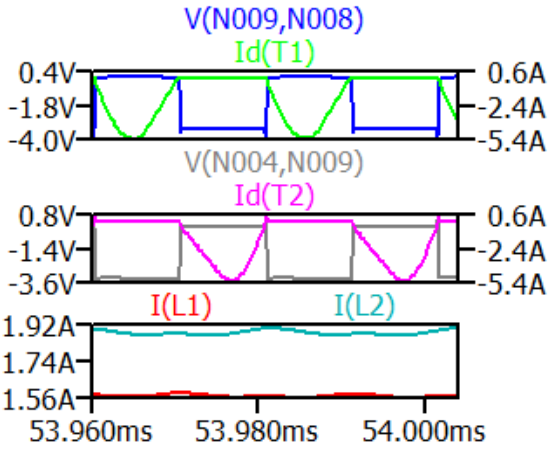


***Fig. 5**. Voltage and current for transistors T1 and T2*

Fig. 6 shows the current time diagrams for the resonant inductances Lk1 I Lk1.

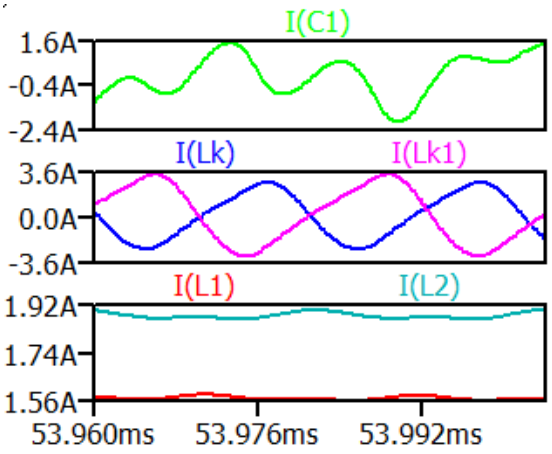


***Fig. 6**. Current through the inductances Lk1 I Lk1*

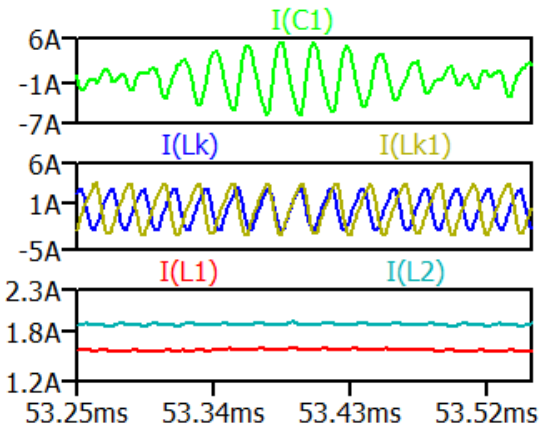


***Fig. 7**. Current through the inductances Lk1 I Lk1*

Fig. 7 shows again the currents through the resonant inductances Lk1 I Lk1 and the current through the input capacitor C1. It can be seen that the maximum value of the current through this capacitor changes. This is due to the different frequencies of the driving signals for the two converters. In simultaneous working of more than two converters, this current has high harmonic spectrum. This have to be considered when this capacitor is being chosen.

CONCLUSION

It is studied the influence of simultaneous work of the converters for charging and equalizing the voltages across Li-Ion cells, connected in series. It is developed a BMS model. Software simulation of the working of the convertors is done.

From the results can be seen that with the proposed algorithm the simultaneous working of the convertors is possible. The influence between the converters is with respect to the input power source. This influence is insignificant and the charging system can operate normal.

The proposed algorithm for voltage balancing is applicable not only in the case when the supplying for the converters Cnv_1 to Cnv_N is taken from the battery itself but also when the supplying is taken from the main energy source.

Half bridge driver circuits can be used for controlling the synchronous rectifiers. The supplying for this drivers can be delivered by using third auxiliary winding of the transformer. It is enough to be used half wave

rectifier, connected to this winding. The disadvantage of this method is that when the voltage of the charging cell changes between 2.7 and 4.2 volts, the voltage from the auxiliary winding also changes. (the auxiliary winding is not shown) This also need to be considered when a BMS with such topology is being designed.

ACKNOWLEDGEMENT

The research is carried out within the framework of the "Electronic converters for energy exchange between energy storage systems" project, contract № 192ПД0015-03, Scientific and Research Sector at the Technical University of Sofia.

REFERENCE

[1] A. F. Moghaddam and A. Van Den Bossche, "An Active Cell Equalization Technique for Lithium Ion Batteries Based on Inductor Balancing," 2018 9th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE), Budapest, 2018, pp. 274-278.

[2] T. H. Phung, J. C. Crebier and Y. Lembeye, "Voltage balancing converter network for series-connected battery stack," IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, Montreal, QC, 2012, pp. 3007-3013. doi: 10.1109/IECON.2012.6389418.

[3] L. Rui, W. Lizhi, H. Xueli, D. Qiang, and Z. Jie, "A review of equalization topologies for lithium-ion battery packs," in 2015 34th Chinese Control Conference (CCC), 2015, pp. 7922–7927.

[4] Y. Shang, C. Zhang, N. Cui, and J. M. Guerrero, "A Cell-to-Cell Battery Equalizer With Zero-Current Switching and Zero-Voltage Gap Based on Quasi-Resonant LC Converter and Boost Converter," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 7, pp. 3731–3747, Jul. 2015

[5] "2.5A Monolithic Active Cell Balancer with Telemetry Interface", https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/8584fb.pdf

[6] D. D. Arnaudov and K. Y. Kishkin, "Modelling and Research of Active Voltage Balansing System for Energy Storage System," 2019 X National Conference with International Participation (ELECTRONICA), Sofia, Bulgaria, 2019, pp. 1-6. doi: 10.1109/ELECTRONICA.2019.8825643

[7] D. Arnaudov and K. Kishkin, "Modelling And Research Of Synchrounous Converter For Active Balansing System," *2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)*, Varna, Bulgaria, 2019, pp. 1-4. doi: 10.1109/ELMA.2019.8771689

[8] K. Kroics, A. Sokolovs, U. Sirmelis and L. Grigans, "Interleaved series input parallel output forward converter with simplified voltage balancing control," PCIM Europe 2016; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, Nuremberg, Germany, 2016, pp. 1-8.

[9] G. Min and J. Ha, "Active cell balancing algorithm for serially connected li-ion batteries based on power to energy ratio," *2017 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Cincinnati, OH, 2017, pp. 2748-2753. doi: 10.1109/ECCE.2017.8096514

[10] S. Goodarzi, R. Beiranvand, S. M. Mousavi and M. Mohamadian, "A new algorithm for increasing balancing speed of switched-capacitor lithium-ion battery cell equalizers," *The 6th Power Electronics, Drive Systems & Technologies Conference (PEDSTC2015)*, Tehran, 2015, pp. 292-297. doi: 10.1109/PEDSTC.2015.7093290

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОГРАМИРУЕМИ ПРЕОБРАЗУВАТЕЛИ В ХИБРИДНА ЗАХРАНВАЩА СИСТЕМА

Владимир Димитров, Георги Зашев, Димитър Арнаудов, Красимир Кишкин,
Технически университет – София, България

INVESTIGATION OF PROGRAMMABLE CONVERTERS IN HYBRID POWER SUPPLY SYSTEM

Vladimir Dimitrov, Georgi Zashev, Dimitar Arnaudov, Krasimir Kishkin,
Technical University of Sofia, Bulgaria
dimitrov@tu-sofia.bg, georgi_zashev_@abv.bg, k.kishkin@abv.bg, dda@tu-sofia.bg,

Abstract

A hybrid power system was investigated in the paper. The system consists of a fuel cell as the main energy storage element, a dc- dc converter that transfers its energy to a supercapacitor, and a second dc -dc converter that regulates the load voltage. The peculiarities of the system operation when using programmable power sources are investigated. The results of the study were confirmed by examining the operation of the converters in the experimental stand.

Keywords: hybrid power supply, dc-dc converters, fuell cell.

ВЪВЕДЕНИЕ

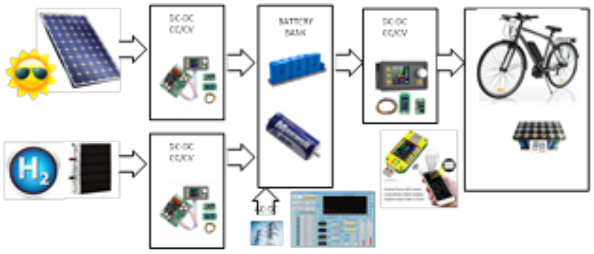
За използването на енергията получена от различни алтернативни източници се прилагат комплексни захранващи системи [1, 2, 3, 4]. В работата е предложена и изследвана комплексна захранваща система, имаща като източници на енергия горивна клетка [5, 6] и фотоволтаична система. Системата за съхранение на електрическа енергия е базирана на суперкондензатори. Предложената система е с възможност за бързо зареждане на Li-ion батерии. Като модул за съхранение на енергията е използвана Li-ion батерия от електровелосипед. За натрупването и отдаването на енергията се използват високоефективни електронни преобразуватели на ел. енергия. В работата е изследван и програмируем dc-dc преобразувател.

СИТЕМА ЗА СЪХРАНЕНИЕ НА ЕНЕРГИЯ

Разработен е експериментален стенд за изследване на система за съхранение на електрическа енергия базирана на li-ion акумулаторни батерии и суперкондензаторни батерии. Преобразувателите в системата са избрани да бъдат високоефективни и с възможност за управление от приложение за мобилно устройство. Системата е гъвкава и позволява разширяване и включване на различни източници на енергия. Изследвани са схеми на електронни преобразуватели на електрическа енергия, предназначени за използване в системата и подобряващи нейните характеристики. Предложеното решение за система е подходящо за реализиране на бързи зарядни станции в различни локации с различни по тип възобновяеми и конвенционални източници на енергия.

На фиг. 1 е показана блокова схема на системата. За натрупване на енергия в суперкондензаторната банка от фотоволтаичната система и от горивната клетка се използват високоефективни синхронни повишаващи-понижаващи dc-dc преобразуватели. Тези преобразуватели са програмирани да работят в режим с константен ток (constant current – CC), а при достигане на максималното напрежение на суперконден-

заторната банка да премината в режим на работа с константно напрежение (constant voltage – CV).

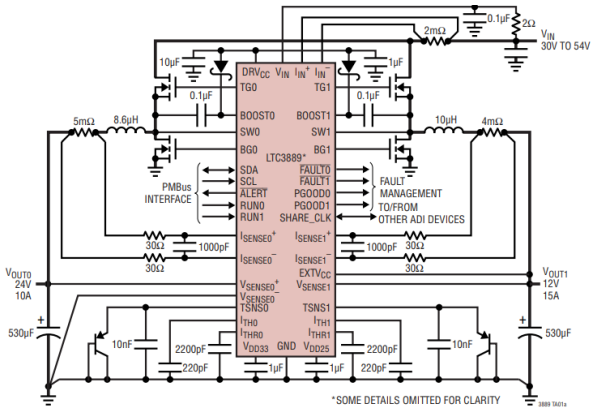


***Фиг. 1**. Блокова схема на комплексната система*

За прехвърлянето на енергията от суперкондензаторната клетка в li-ion акумулаторна батерия, също се използва понижаващ-повишаващ преобразувател, програмиран да работи в режими CC и CV. Този преобразувател също може да бъде програмиран и от мобилно устройство.

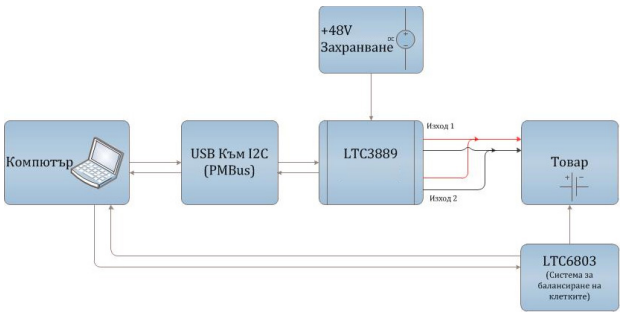
ПРОГРАМИРУЕМ DC-DC ПРЕОБРАЗУВАТЕЛ

Проведени са екесперименталнии и симулационни изследвания на синронен повишаващ-понижаващ dc-dc преобразувател на базата на интегрална схема LTC3889 [7].



***Фиг. 2**. Синхронен преобразувател с LTC3889* [7]

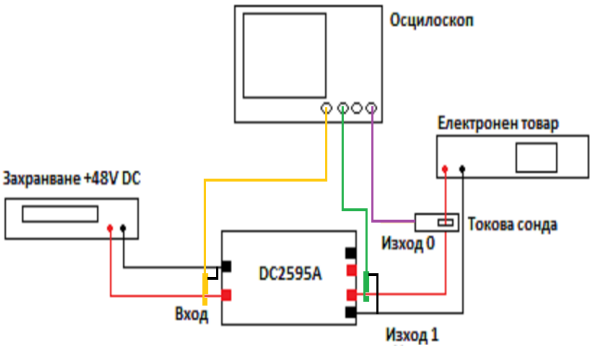
На фиг. 2 е показана схемата на двуфазен синхронен програмируем dc-dc преобразувател. За изследването на преобразувателя е използвана следната тестова постановка показана на фиг. 3.



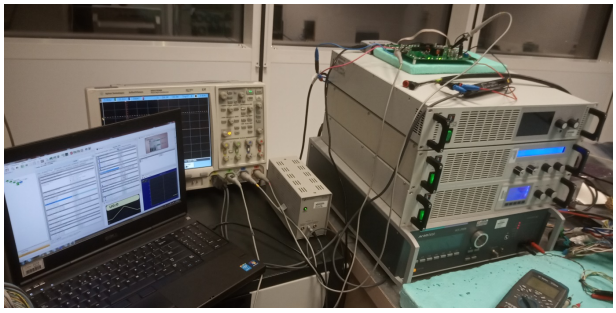
***Фиг. 3**. Тестова постановка за изследване и конфигуриране на програмируем dc-dc преобразувател*

Конфигурирането и следенето на параметрите на преобразувателя се извършва чрез PMBus и специализиран софтуер LTpowerPlay [8, 9].

Експерименталното изследване на програмируемия модел е извършено по следната опитна постановка показана на фиг. 4 и фиг. 5.



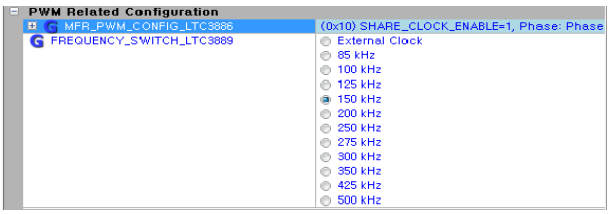
***Фиг. 4.** Блокова схема на тестова постановка за изследване на програмируем dc-dc преобразувател*



***Фиг. 5.** Тестова постановка за изследване на програмируем dc-dc преобразувател*

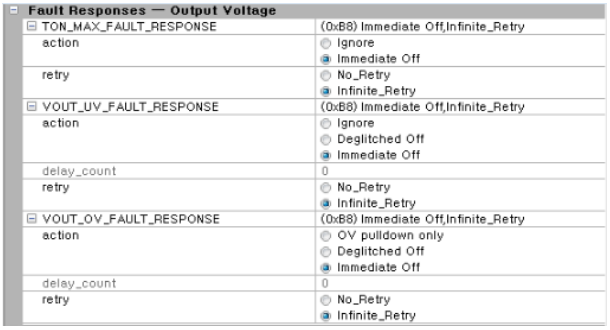
На фиг. 6 е показан екран от софтуерния пакет LTpowerPlay. В това меню се кон-

фигурира честотата на работа на преобразувателя и други параметри свързани с управлението на dc-dc преобразувателите.



Фиг. 6. *Екран от менюто за конфигуриране*

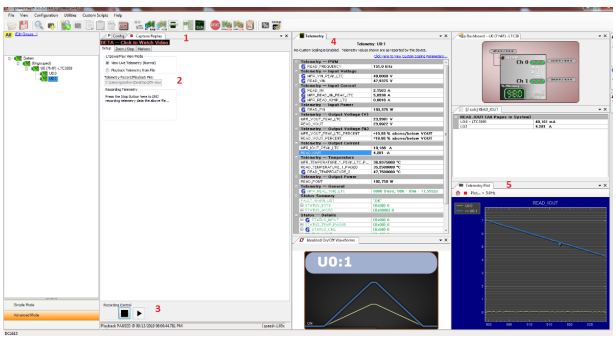
На фиг. 7 е показан екран от софтуерния пакет LTpowerPlay свързан с действията и индикациите на контролера при възникване на грешки свързани с изходното напрежение на преобразувателя.



Фиг. 7. *Fault Responses- Output Voltages*

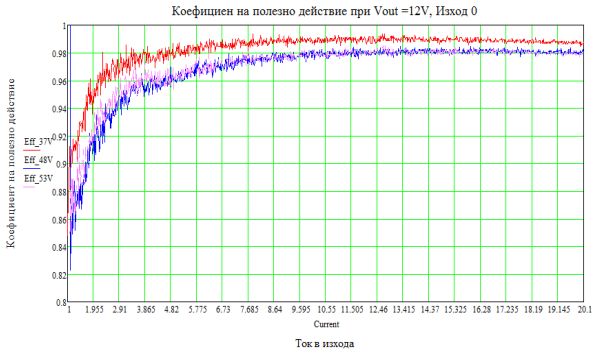
LTpowerPlay средата ни позволява да се следят някои от параметрите на контролера в реално време. Това става в прозорец “Telemetry”. Може да се избират параметрите на кой от каналите да се следи и визуализира.

На фиг. 8 е показан екран от LTpowerPlay, софтуерът ни позволява да записваме данните от теста в лог файл.



Фиг. 8. *LTpowerPlay Capture*

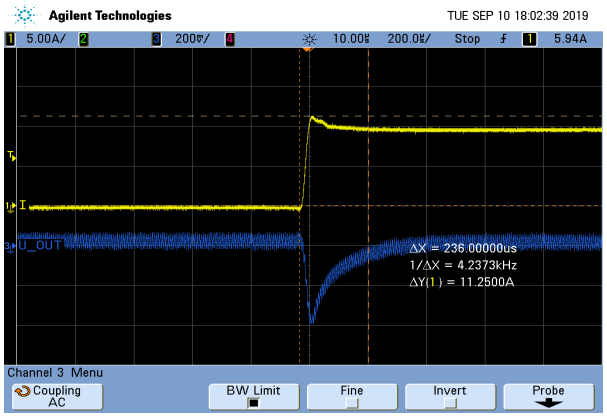
С помощта на тази функция и програмиране на електронния товар е променян тока в изхода е снета характеристиката за коефициента на полезно действие при три входни напрежения – 37V, 48V и 53V. Получените резултати са показани на фиг. 9.



Фиг. 9. *Коефициент на полезно действие*

От резултатите се вижда, че при промяна на товарния ток в диапазона 5-20A, коефициентът на полезно действие е над 98%.

Проведени са и изследвания при стъпална промяна на товарния ток от 10A на 20A. Промяната е реализирана чрез програмируемия електронен товар. Осцилограмата показваща промяната на товарния ток и напрежението в изхода е показана на фиг. 10.



Фиг. 10. *Експериментални резултати*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Асемблирана е система за съхранение на енергия базирана на суперкондензаторна батерия и li-ion акумулаторна батерия. Изследвани са възможностите за използване на програмируеми „ин-

телигентни“ преобразуватели от постоянно в постоянно напрежение. С помощта на интерфейсите и протоколите за връзка с контролера управляващ dc-dc преобразувателите, могат да се задават софтуерни различни режими на работа в зависимост от нуждите на системите за съхранение на енергия, между които се осъществява обмена на енергии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследването е извършено в рамките на проект “Интелигентни програмируеми захранващи източници” проект № 191ПР0011-03, финансиран от НИС при ТУ-София.

REFERENCE

[1] G. Dotelli, R. Ferrero, P. G. Stampino, S. Latorrata, and S. Toscani, “Supercapacitor Sizing for Fast Power Dips in a Hybrid Supercapacitor—PEM Fuel Cell System,” IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 65, no. 10, pp. 2196–2203, 2016.

[2] A. Kuperman et al., “Supercapacitor Sizing Based on Desired Power and Energy Performance,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 29, no. 10, pp. 5399–5405, 2014.

[3] J. Hawke, P. Enjeti, L. Palma and H. Sarma, "A modular fuel cell with hybrid energy storage," 2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, Phoenix, AZ, 2011, pp. 2971-2976.doi: 10.1109/ECCE.2011.6064169.

[4] Q. Li, X. Tang, X. Shi, H. Liu, Z. Li and J. Yan, "Demonstration and Application of AC/DC Hybrid Power Supply System in Building," 2018 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), Beijing, 2018, pp. 1-6., doi: 10.1109/EI2.2018.8582268

[5] W. Li, "Modeling, Control and Simulation of a Small Photovoltaic Fuel Cell Hybrid Generation System," 2009 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering, Wuhan, 2009, pp. 1-6. doi: 10.1109/CISE.2009.5364886

[6] V. DIMITROV, P. PUNOV and D. ARNAUDOV, "Fuelcell power supply system – modelling and optimization," 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), Varna, Bulgaria, 2019, pp. 1-4. doi: 10.1109/ELMA.2019.8771519

[7] „LTC3889“, https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/LTC3889.pdf.

[8] www.ltpowerplay.com.

[9] https://www.analog.com/design-center/dc2595a

ПРАКТИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА МЕТОДА С МУЛТИПЛЕКСИРАНЕ НА ЧЕСТОТИТЕ ЗА ЕДНОВРЕМЕННО БЕЗКОНТАКТНО ПРЕДАВАНЕ НА ЕНЕРГИЯ И ИНФОРМАЦИОННИ СИГНАЛИ ПРЕЗ ОБЩА ИНДУКТИВНА ВРЪЗКА

инж. Людмил Петков
Технически университет - Габрово

PRACTICAL INVESTIGATIONS OF THE FREQUENCY MULTIPLEXING METHOD OF SIMULTANEOUS CONTACTLESS TRANSMISSION OF ENERGY AND INFORMATION SIGNALS THROUGH COMMON INDUCTIVE LINK

Lyudmil Petkov
Technical university of Gabrovo

Abstract

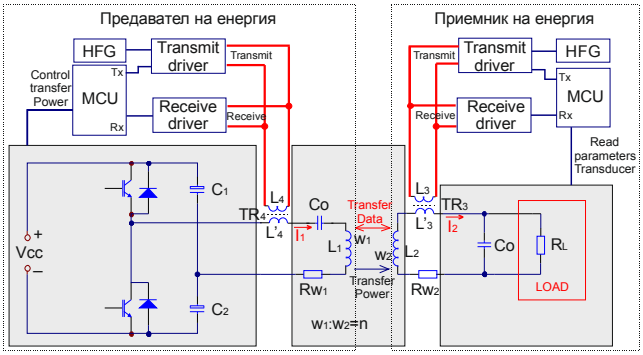
Wireless energy transfers and bidirectional transmission of information and control signals using the same inductive connection has been a hot topic of research in recent years. Depending on the transmitted power and the required rate of exchange of information and control signals, different methods are used to fulfill these requirements. Frequency multiplexing was required to transfer energy from several kilowatts and transfer rates up to 1Mbit / s. In this report, based on a laboratory model developed, experimental studies have been performed on the effect of the power sinusoid fill factor on data transmission.

Keywords: Wireless energy Transfer, Frequency Multiplexing, Information Signals, Signal Controls.

ВЪВЕДЕНИЕ

Съществуват различни методи и схемотехнични решения за реализиране на едновременния трансфер на енергия и управляващи сигнали използвайки обща индуктивна връзка [4, 7, 8, 11, 12]. В зависимост от трансферираната енергия и скоростта и обема на предаваната информация се използват различни методи. За предаване на мощност до 100W и данни до няколко kbit/s се използва метода с последователен трансфер на енергия и данни. Методът използващ промяна на честотата на инвертора за предаване на данни към приемника на енергия и товарното съпротивление на приемникът за предаване на данни към предавателя на енергия е подходящ за използване при мощности до около 500W и скорост на данните няколко kbit/s. При тези два метода основен недостатък е отместване от оптималната точка на работа на инвертора, което намалява ефективността му, и поради това се използва за предаване на ниски мощности.

За трансфер на енергия от порядъка на няколко киловата и скорост на данните до 1Mbit/s е подходящ да се използва методът с мултиплексиране на честотите. При този метод се използва честота от порядъка на десетки килохерца за трансфер на енергия, и висока честота от порядъка на MHz за предаване на данни. Блоковата схема е представена на фиг.1. Честотния инвертор на енергия работи на честота от порядъка на няколко десетки килохерца. В зависимост от скоростта на предаваните данни, честотата за трансфер на данни може да бъде от няколко стотин килохерца до няколко мегахерца.

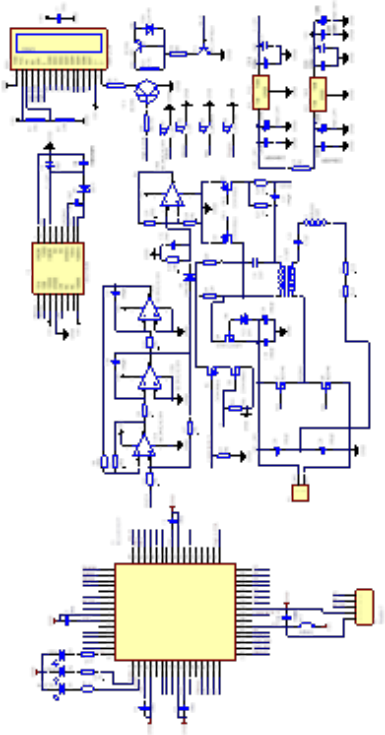


Фиг.1. *Блокова схема за индуктивно предаване на енергия и двупосочно предаване на управляващи сигнали чрез мултиплексиране на честотите*

Предавателят и приемникът съдържат Transmit и Receive driver – схеми които осигуряват съгласуване на входно-изходните вериги на микропроцесора с тези на веригите, към които е свързан. Чрез тях се осъществява предаване и приемане на данните. Комуникацията се извършва от микроконтролери MCU, които на базата на получените команди и измерените данни, осъществяват управление и връщат съответните информационни сигнали и данни. За предаването на данните се използва високочестотен генератор HFG, чрез който се модулира напрежението при наличие на 1 в предаваните данни. Мултиплексирането на данните и предаваната енергия се осъществява чрез трансформаторите TR_3 и TR_4.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В настоящия доклад, са изложени експериментални резултата, за влиянието на коефициента на запълване на силовата синусоида върху предаването на информационни и управляващи сигнали. За целта беше разработени лабораторни макети на предавател и приемник на енергия. Схемата на предавателя на енергия е представена на Фиг.2. Високочестотния генератор в случая се явява самият микроконтролер U1 – PIC16F19197, който на изход CLOCKOUT генерира честота 1MHz. На изход Tx се получават управляващите и информационни сигнали. Transmit driver е реализиран с Q1, Q2, Q4, Q6, VT2, VD1, VZ1, R11, R16, R19, R20, R21, R22 и C14. C14 заедно с намотката на T1 образуват трептящ кръг настроен на високата честота. Receive driver е реализиран с Q3, Q5, U3, U4, D5, R6, R7, R9, R12, R13, R14, R15, R17, R18, R23, R24, C10, C11, C12, C21 [9]. Той е съставен от нискочестотен, високочестотен и лентов филтър, които формират заграждащ филтър настроен на високата честотата използвана за предаването на данните 1MHz. От филтъра сигнала постъпва на диоден детектор който съдържа диод, кондензатор и резистор и широко се използва при демодулация на сигнала заради ниските си разходи и лесно изпълнение Управлението на честотния инвертор [1, 2, 3, 5, 6, 10] се извършва от микроконтролера U1. U2 е драйвер за управление на транзисторите на честотния инвертор и осигуряване на

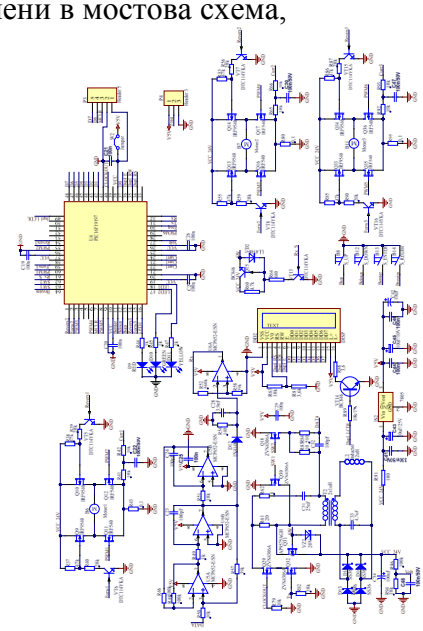


Фиг.2. *Схема за предаване на енергия и двупосочно предаване на управляващи и информационни сигнали*

галванично разделяне. Инверторът е реализиран от Q7, Q8, R26, R27, L1, T1, C18, C19, C20, C22, C28. за избор на команди и конфигуриране, се използват бутони B1, B2, B3 и B4, а за визуализиране на командите и получените данни е предвиден буквено-цифров LCD дисплей DD1. за осигуряване на необходимите захранвания се използват линейни стабилизатори на напрежение реализирани с IS1, IS2, R25, C13, C15, C16, C17, C23, C24, C25, C26, C27, C29.

Схемата за приемане на енергията и приемане и предаване на данни е предста-

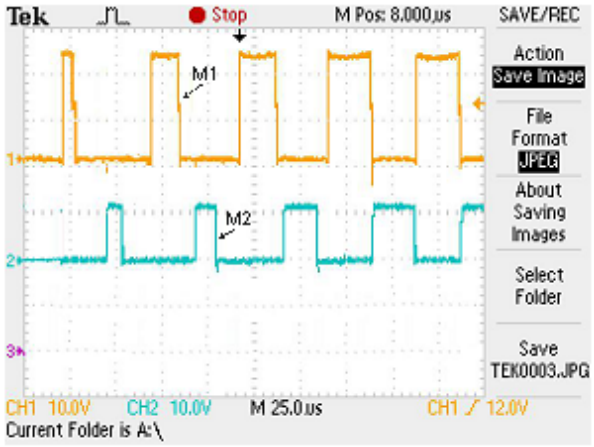
вена на Фиг.3. Тя е предвидена за захранване и управление на 3 постоянно токови двигателя. При нея отново е използван микроконтролер PIC16F19197, който генерира висока честота 1 MHz, приема и предава информационни и управляващи сигнали, управлява посоката, скоростта и измерва напрежението и тока на съответния постояннотоков двигател. Двигателите са включени в мостова схема,



Фиг.3. *Схема за приемане на енергия и двупосочно предаване на управляващи и информационни сигнали*

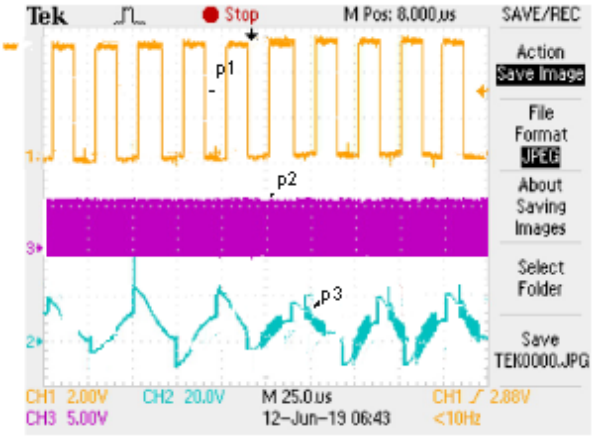
като два от транзисторите Q9, Q10 се определя посоката на въртене, а с другите два Q11, Q12 се определя скоростта на въртене. За измерване тока на двигателя е предвиден резистор R43. Приемането на енергия се извършва от L2, T2, R33. Изправянето на напрежението се осъществява от Грец схема реализирана с D13, D14, D15 и D16. C34 е филтров кондензатор, а с делителя R94, R96 и C48 се осъществява измерване на приетото и изправено напрежение. Transmit driver е реализиран с Q15, Q29, Q31, Q32, VT13, VD2, VZ2, R60, R61, R62, R64, R79, R82, C31 и T2. Тук отново е изпълнено условието, че трептящия кръг образуван от T2 и C31 е настроен на високата честота 1MHz. Receive driver е изпълнен от U5, U6, Q30, Q18, D12, R46, R48, R49, R50, R51, R52, R54, R57, R58, R83, R84, C23, C24, C28, C32. За управление са предвидени бутони B8, B12, B13, B14, а за визуализация буквено-цифров LCD дисплей. За захранване е използван линеен стабилизатор IS2, R91, C41, C42, C43, C44, C45, C46.

За извършване на експерименталните изследвания е разработена програма, която извършва промяна в коефициента на запълване в управлението на транзисторите на инвертора Q7 и Q8, като се започва от малък коефициента на запълване 10% и се стига до 49%. Изменението е показано на фиг.4. На нея са показани измененията на



Фиг.4. *Управляващи импулси M1 и M2 на транзисторите Q7 и Q8 на инвертора*

управляващите импулси на двата транзистора на инвертора. При коефициент под 25% нямаме предаване на данни, както се вижда от Фиг.5.



Фиг.5. *Предавани данни – p1, висока честота за предаване на данните p2, мултиплексиран сигнал - p3*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените изследвания и експерименти, можем да заключим, че предаването на данни зависи от коефициента на запълване на управляващите импулси на транзисторите, на честотния инвертор. Този кое-

фициент определя предаваната мощност към безконтактния приемник на енергия, от което следва, че с този метод с мултиплексиране на честотите не може да се използва за предаване на малка мощност с коефициент на запълване на управляващите импулси под 25%, поради невъзможността от трансфер на данни.

REFERENCE

[1] Kraev, G., Hinov, N., Arnaudov, D., Rangelov, N., Gilev, B., Serial ZVS DC-DC converter for super capacitor charging, 19th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2016; Bourgas; Bulgaria; DOI: 10.1109/SIELA.2016.7543018.

[2] Kraev, G., Hinov, N., Gradinarov, N., Arnaudov, D., Study of parallel single transistor ZVS resonant inverter with direct settle of steady mode, International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, PCIM Europe 2013; Nuremberg; Germany; 14 May 2013 through 16 May 2013, Pages 1102-1109

[3] Van den Bossche A., V. C. Valchev, D. Van de Sype, Lode P. Vandenbossche, 'Ferrite Losses of cores with square wave voltage and DC bias', Journal of Applied Physics, USA, Vol. 99, Issue 8, 15 April, 2006, ISSN 0021-8979.

[4] Hr.Daskalova. On the choice of wireless data transmission systems. T. Atanasova (Editor), Compendium "Modeling and Management of Information Processes", Sofia, Bulgaria, 2009, Sofia, 2009, ISBN: 978-954-9332-55-1, pp. 18-29.

[5] G. A. Covic and J. T. Boys, "Inductive Power Transfer", Proceedings of the IEEE, vol. 101, no. 6, pp. 1276-1289, June 2013.

[6] Harakawa, Kenichi (2014), "Wireless power transmission at rotating and sliding elements by using the capacitive coupling technology". 2014 ANSYS Electronic Simulation Expo October 9–10, 2014, Tokyo. ExH Corporation.

[7] U. K. Madawala, J. Stichbury, and S. Walker, "Contactless power transfer with two-way communication", in proc. IEEE Conf. Ind. Electron., Busan, Korea, Nov. 2004, pp. 3071-3075.

[8] W. P. Choi, W. C. Ho, X. Liu, and S. Y. R. Hui, "Bidirectional communication techniques for wireless battery charging systems & portable consumer electronics", in proc. IEEE Conf. Applied Power Electron., Palm Springs, CA, 2010, pp. 2251-2257.

[9] George Clayton and Bruce Newby, "Operational amplifiers", Technique, Sofia, Bulgaria, 1997.

[10] Nedyalkov I., Arnaudov D., Hinov N.,"Modelling of a Bi-Directional Converter from a Power Supplying System With Application", PCIM Europe 2018; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management.

[11] Madzharov N., Petkov L., Kogias P., Karakoulidis K.,"Contactless transmission of power and control signals by multiplexing the frequency", 2018 IEEE XXVII International Scientific Conference Electronics, Pages 1- 4.

[12] Madzharov N., Ilarionov R., Petkov V., Petkov L., "Inductive Power Transfer Systems for Rotating Applications", PCIM Europe 2018; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, Nuremberg, Germany.

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

РАВНИННО-МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЕН МИКРОСЕНЗОР НА ХОЛ

IN-PLANE MAGNETOSENSITIVE HALL MICROSENSOR

S. V. Lozanova

Institute of Robotics at Bulgarian Academy of Sciences

"Acad. G. Bonchev" Str., Bl.2, Sofia 1113, Bulgaria
Email: lozanovasi@abv.bg

Abstract

A functionally integrated in-plane magnetosensitive device is proposed where, for the first time, its no-circuitry output is the sum of all Hall voltages generated within the structure. The specific focus of the solution is that the supply is concentrated into two sources operating in constant current mode. Through the original construction two individual Hall elements in the plate is formed. The advantages are the possibility for independent control of the sensitivities of the two Hall elements; the opposite output signs of the separate Hall devices allow for the offset and its temperature drift to be drastically reduced - the residual offset is about 140 times smaller than the single configuration one, and through the used fabrication technology, high sensitivity of $S_{RI} \approx 171$ V/AT is reached. The signal-to-noise ratio is increased and the lowest detected induction is improved, $B_{min} \approx 9$ μT. This performance is very promising for industrial applications.

Keywords: silicon Hall microsensor, in-plane magnetosensitive device, double Hall element, Lorentz force

ВЪВЕДЕНИЕ

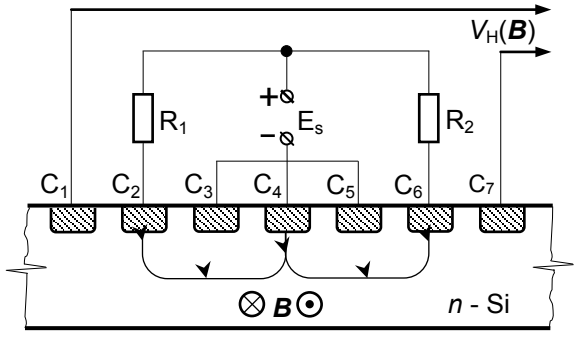
Един от най-разпространените равнинно-магниточувствителни елементи на Хол е структурата с пет планарно разположени контакти (5С). Тя съдържа силициева пластина с *n*-тип примесна проводимост конфигурирана като правоъгълен паралелепипед. Върху едната й страна и на разстояния един от друг са формирани последователно петте контакта, които са омични и с правоъгълна форма – първи C_1, втори C_2, трети C_3, четвърти C_4 и пети C_5. Всички те са успоредни помежду си. Първият C_1 и петият C_5, и съответно вторият C_2 и четвъртият C_4 контакт са симетрично разположени спрямо третия C_3, който е централен, [1 - 3]. Първият и петият контакт са съединени непосредствено и през токоизточник E_s са свързани с централния електрод C_3. В резултат захранващият ток $I_{in} \equiv I_{C3}$ се разделя на две равни части $I_{in}/2 = I_{C1} = I_{C5}$, които се инжектират в двата крайни захранващи контакта C_1 и C_5. Така токът I_{in} в сензора представлява два противоположно насочени потока. Зоните между захранващите контакти C_1, C_5 и C_3, и в областите под тях съдържат съответно хоризонтални и вертикални токови компоненти. Вторият C_2 и четвъртият C_4 контакт са диференциалният изход $V_H(\boldsymbol{B}) \equiv V_{C2,4}(\boldsymbol{B})$ на микросензора на Хол. Измерваното магнитно поле $\boldsymbol{B}$ е успоредно както на равнината на подложката, така и на дългите страни на контактите, [1 - 6]. Именно тази специфика дава наименованието на този клас елементи равнинно-магниточувствителни. Действието на Холовия преобразувател се основава на силата на Лоренц $\boldsymbol{F}_L$, която променя разпределението на потенциалите наляво и надясно от централния контакт C_3. Независимо от множеството технологични подобрения, този елемент на Хол притежава сериозни недостатъци. Неговата метрологична точност е редуцирана в резултат на високия офсет - паразитното изходно напрежение $V_H(B = 0) \neq 0$ в отсъствие на магнитно поле $\boldsymbol{B}$ и намаленото отношение сигнал/шум, поради нарастналата стойност на нискочестотния (фликер) шум $1/f$, $f \leq 10^3$ Hz. Шумът $1/f$ основно се генерира от дискретната природа на захранващия ток, който протича хоризонтално през зоните с изходните контакти както и от дефектите по повърхността, [5,6]. Освен това магниточувствителността

на този елемент е принципно понижена от използване само на напрежението на Хол, генерирано от двете срещуположно насочени хоризонтални компонента на захранващия ток $I_{C3,C1}/2$ и - $I_{C3,C5}/2$. Вертикалните потоци на тока I_{in} практически не участват във формирането на изходния сигнал, [4,7]. Най-разпространеният способ за повишаване на напрежението на Хол е усилването, което обаче вкарва допълнителен шум и ефектът от този подход е незначителен.

В настоящата статия е представен силициев равнинно-магниточувствителен микросензор на Хол със съществено подобрени метрологични характеристики. Той съдържа седем контакта 7С и в отличие от 5С модификациите, при него се използват като изходен сигнал сумирани всички генерирани напрежения на Хол от захранващия ток.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП НА ДЕЙСТВИЕ

Микросензорът на Хол съдържа *n*-Si подложка с примесен тип проводимост, върху едната страна на която са формирани последователно и на разстояния седемте планарни контакти C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6 и C_7, Фиг. 1. Те са омични и с правоъгълна форма. Електрод C_4 е централен, а останалите са симетрични спрямо него. Контактите са заобиколени с дълбок правоъгълен *p*-ринг. Неговото предназначение е да ограничи разтичането на повърхностните токове и да дефинира в обема на подложката сензорната зона.



***Фиг. 1**. Напречно сечение на новия равнинно-чувствителен микросензор на Хол. Омичните контакти са заобиколени с дълбока p-зона.*

Специфичен фокус на решението е, че с един източник E_s захранването на сензора е организирано в два генератора на ток. Това се осъществява с два еднакви по стойност товарни резистори $R_1 = R_2 = 10$ kΩ, които са най-малко на порядък по-големи от вътрешното съпротивление на структурата, съставляващо около 870 Ω, Фиг. 1. Изводите с една и съща полярност на генераторите на ток са свързани с контакти C_2 и C_6, а другият извод е включен към централния електрод C_4. Захранващите контакти C_2, C_6 и C_4 представляват еквипотенциални равнини, към които в отсъствие на външно магнитно поле $\boldsymbol{B}$, $B = 0$, токовите компоненти I_2, I_4 и I_6 са винаги перпендикулярни спрямо горната страна на *n*-Si подложка и проникват дълбоко в обема й около 30 – 40 μm. В останалата част на пластината те са успоредни на горната й повърхност. Следователно токовите компоненти $I_{C4,2}$ и $I_{C4,6}$ са криволинейни. Прилагането на външно магнитно поле $\boldsymbol{B}$ успоредно на равнината на пластината, чрез силите на Лоренц $\boldsymbol{F}_{L,i} = q\boldsymbol{v}_{dr} \times \boldsymbol{B}$ осъществява дефлекция на токоносителите, респективно на траекториите $I_{C4,2}$ и $I_{C4,6}$, където q е елементарният товар на електрона, а v_{dr} е средната дрейфова скорост на движение на носителите. В резултат криволинейните траектории се свиват и/или разширяват в зависимост от посоките на двата тока $I_{C4,2}$ и $I_{C4,6}$ (полярността на източника E_s), и на магнитното поле $\boldsymbol{B}$. По тази причина при равни токове $I_{C4,2} = I_{C4,6}$, две двойки потенциали на Хол с еднаква стойност, но с противоположен знак се генерират върху горната повърхност с контактите, $V_{HC1}(\boldsymbol{B})$ и $-V_{HC3}(\boldsymbol{B})$; и съответно $V_{HC5}(\boldsymbol{B})$ и $-V_{HC7}(\boldsymbol{B})$. Следователно в новото решение ясно са разграничени ефектите на Хол от вертикалните и хоризонталните компоненти на захранващия ток като напреженията на Хол са две: $V_{HC1,3}(\boldsymbol{B})$ и $-V_{HC5,7}(\boldsymbol{B})$, $V_{HC1,3}(\boldsymbol{B}) = |-V_{HC5,7}(\boldsymbol{B})|$. Ето защо новият микросензор на Хол съдържа два функционално интегрирани четири контактни (4С) елемента на Хол с равнинна чувствителност и обща преобразувателна зона, [8-10]. В резултат на генераторите на ток действието на тези два елемента е независимо един от друг, Фиг. 1. Чрез електрическата връзка на контакти C_3-C_5 двете напрежения на Хол се сумират алгебрично чрез диференциалния изход $V_H(\boldsymbol{B})$, докато почти еднаквите по стойност и знак паразитни офсети се изваждат, [10]. За повишаването на чувствителността съдейства магнитноуправляемият повърхностен ток в проводящите материали, [11].

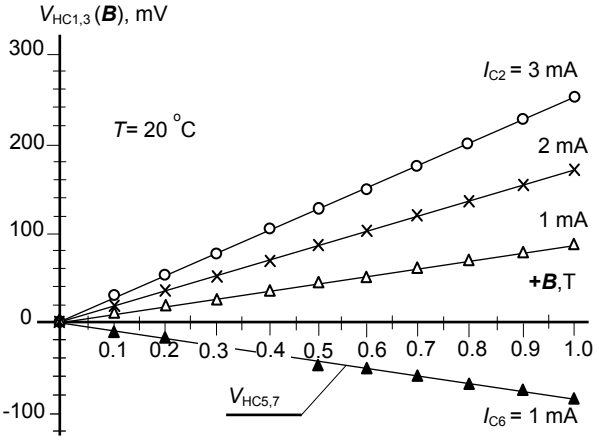
Анализът на новия микросензор на Хол показва: 1). той съдържа два функционално интегрирани елементи на Хол; 2). магниточувствителността е повишена чрез алгебричното сумиране на всички генерирани в структурата напрежения на Хол; 3). паразитните офсети на двата елемента поради общата преобразувателна зона и реализацията в единен технологичен цикъл са практически еднакви по стойност и са с един и същ знак, и при алгебричното сумиране те се изваждат, т.е. осъществява се редуциране на офсета; 4). температурният дрейф на офсетите също е драстично минимизиран, и 5). отношението сигнал/шум е повишено.

РЕАЛИЗАЦИЯ НА МИКРОСЕНЗОРА НА ХОЛ

Експерименталният прототип на микросензора на Хол с равнинна чувствителност е реализиран с част от процесите, използвани в биполярната IC технология с любезното съдействие на колегите от Imtek, Фрайбург, Германия. Силициевите пластини са с дебелина 300 μm и специфично съпротивление $\rho \approx 7.5$ Ω.cm, концентрацията на примесните атоми и електроните съставлява $N_D = n_0 \approx 4.3 \times 10^{15}$ cm^{-3}. Технологичната реализация, аналогично на [12] е осъществена с четири маски. Маска 1 определя отворите за n^+ имплантацията на омичните контакти C_1, $C_2 \ldots C_7$ с n-Si подложка като дълбочината на n^+-n зоните е около 1 μm. Легиращата донорна концентрация n^+ при имплантацията съставлява 10^{20} cm^{-3}. Маска 2 дефинира дълбокия правоъгълен p-ринг като на повърхността ширината му е около 25 μm (по маска). Маска 3 е предназначена за метализацията на шините и площадките за бондиране. Маска 4 дефинира контактните отвори върху SiO_2 слой на повърхността за електричните контакти между метала и n^+-областите. Размерите на омичните правоъгълни контакти C_1, $C_2 \ldots C_7$ са 5 x 20 μm^2 при разстояние между тях 10 μm. Експериментите са осъществени на тъмно с електромагнит от тип на Вайс с водно охлаждане и прецизен измервателен модул с обща грешка около 3 %.

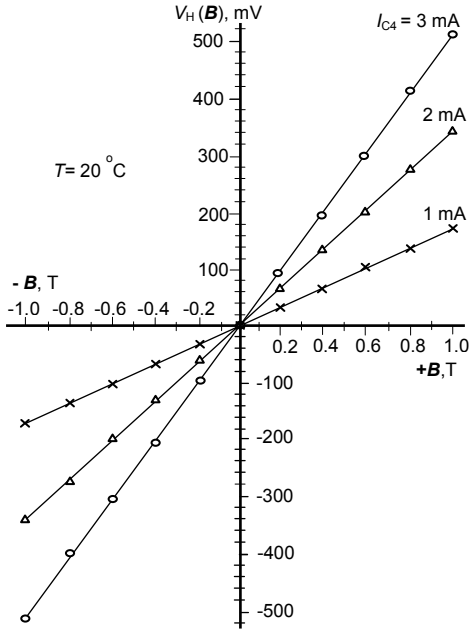
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Основните сензорни характеристики на микросензора на Хол са показани на Фигури 2 – 5. Двата 4C елемента на Хол C_1-C_2-C_3-C_4 и C_4-C_5-C_6-C_7 функционират независимо един от друг, поради избрания режим на работа, Фиг. 2.



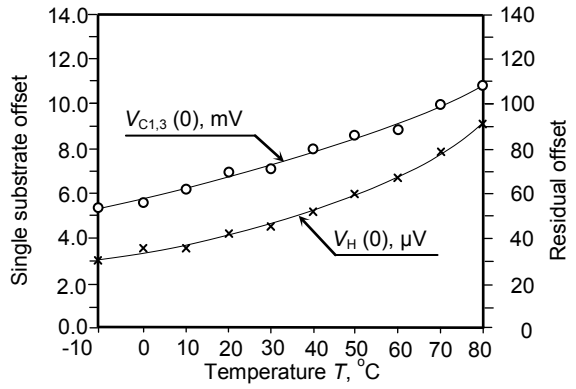
***Фиг. 2**. Магнитно управление на елементите на Хол C_1-C_2-C_3-C_4 и C_4-C_5-C_6-C_7, функциониращи независимо един от друг – промяната на тока I_{C6} с резистора R_2 модулира изхода само на елемента C_4-C_5-C_6-C_7.*

Техните чувствителности S_{RI} при еднакви токове са равни по стойност и с противоположен знак, $S_{RI} \approx 85$ V/AT. При същите токове изходното напрежение на Хол $V_H(\boldsymbol{B})$ на сензора от Фиг. 1 е удвоено, достигайки $S_{RI} \approx 171$V/AT, Фиг. 3.



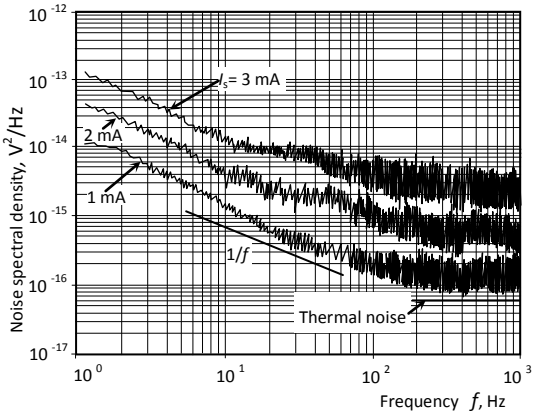
***Фиг. 3**. Изходни характеристики $V_H(\boldsymbol{B})$, при параметър захранващия ток. Чувствителността на новия микросензор е увоена, S_{RI} = 171 V/AT*

Преобразувателната ефективност на добре известния 5С микросензор на Хол C_2-C_3-C_4-C_5-C_6, при същите начални условия е $S_{R\ I} \approx 122$ V/AT. Фактически новата конструкция е с около 30 % по чувствителна от 5С варианта.



***Фиг. 4**. Температурни зависимости на офсета за единичен елемент на Хол $V_{C1,3}(0)$ и на новия микросензор $V_H(0)$ при ток I_{C4} = 3 mA*

Остатъчният офсет $V_H(0)$ след алгебричното сумиране на изходните сигнали на двата единични елемента на Хол както и температурният дрейф на микросензора от Фиг. 1 са драстично редуцирани спрямо тези параметри при единичните елементи на Хол. Остатъчният офсет на изхода на микросензора е около 140 пъти по-нисък при температура T = 30 ºC в сравнение с този на единичен елемент, Фиг. 4.



***Фиг. 5**. Спектрална плътност на шума на седемконтактния микросензор на Хол без магнитно поле,при параметър тока I_{C4}, T = 20 °C*

Чрез нарастналото отношение сигнал/шум и понижения фликер 1/f шум, Фиг. 5, е постигната подобрена резолюция при минимално регистрираната магнитна индукция, $B_{min} \approx 9$ μT. Тази стойност е постигната при честота f ≤ 500 Hz и отношение сигнал/шум = 1. Предстои изследване на термичния шум (шум на Джонсън-Найквист) при f > 1 kHz, генериран основно от вътрешното съпротивление на сензора както и генерационно-рекомбинационните шумове на образците.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новият микросензор на Хол се характеризира с драстично редуциран офсет и температурен дрейф, висока магниточувствителност и нарастнало отношение сигнал/шум, водещо да повишена резолюция при детектиране на минималната индукция. Постигнатият перформанс на новия преобразувател е подходящ за множество безконтактни приложения в роботиката, медицината, индустрията, автоматизацията и др. Освен тях следва да се добавят сензорните модули в автомобилите, индикиращи наличието на отворени врати по време на движение, в пералните машини за определяне скоростта на въртене на барабаните, при кафе-машините за регистриране нивото на водата, за определяне количеството на горивото (бензин и дизел) в цистерните, при климатиците и вентилаторите за регистриране скоростта на въртене на двигателите и др. На основата на новата модификация равнинно-чувствителен микросензор на Хол се планира конструиране на 2D и 3D магнитометри.

Изследванията са осъществени с финансовата подкрепа на ФНИ по проект № DN 07/18 – 15.12.2016.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Popovic R., The vertical Hall-effect device, IEEE Electron Device Letters, 5(9) (1984) 357-358.

[2] Huiser A.M.J., Baltes H.P., Numerical modeling of vertical Hall-effect devices, IEEE Electron Device Letters, 5(9) (1984) 482-484.

[3] Popovic R., Integrated Hall element, US Patent 4 782 375/01.11.1988.
[4] Kaufmann T., On the offset and sensitivity of CMOS-based five-contactvertical Hall devices, Der Andere Verlag, Uelvesbul, MEMS Technol. Eng. 21, 2013, 147; ISBN: 978-3-86247-374-8.
[5] Roumenin Ch., Solid State Magnetic Sensors, Elsevier, Amsterdam, 1994, p. 450; ISBN: 0 444 89401.
[6] Roumenin Ch., Microsensors for magnetic field, Ch. 9, in „MEMS – a practical guide to design, analysis and applications", ed. by J. Korvink and O. Paul, William Andrew Publ., USA, 2006, p. 453-523; ISBN: 0-8155-1497-2.
[7] Lozanova S.V., Roumenin C.S., Parallel-field silicon Hall effect microsensors with minimal design complexity, IEEE Sens. J., 9 (7), 2009, 761–766.
[8] Roumenin C.S., Kostov P.T., Semiconductor Hall element, Bulg. Patent № BG 39283 B/ 08.01.1985.
[9] Roumenin C.S., Kostov P.T., Silicon Hall-effect microsensor, Compt. rendus Acad. Bulg. Sci., 39(5) (1986) 63-66.
[10] Steiner R., Rotary switch and current monitor by Hall-based Microsystems, Phys. Electr. Lab. Publ. (ETH) Zurich; ISBN: 3-89649-446-5.
[11] Roumenin C., Lozanova S., Noykov S., Experimental evidence of magnetically controlled surface current in Hall devices, Sensors and Actuators, A 175, (2012) 45-52.
[12] Schott C., Popovic R., Integrated 3-D Hall magnetic field sensor, Proc. of Transducers '99, Sendai, Japan, v. 1, 1999, p. 168-171.

СИСТЕМА ЗА ПОДВОДНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

SYSTEM FOR UNDERWATER RESEARCH

S. V. Lozanova

Institute of Robotics at Bulgarian Academy of Sciences

"Acad. G. Bonchev" Str., Bl.2, Sofia 1113, Bulgaria
Email: lozanovasi@abv.bg

Abstract

An innovative system for underwater research is proposed, containing a hydrostatic pressure-resistant chamber with ellipsoid, cylindrical or spherical form. Attached by a solid tie under the chamber is a ballast volume filled with water, the upper side contains a hermetically closing manhole for people to go in and out. On both opposite sides of the cell, two symmetrically positioned observation illuminators are formed. For the first time ever, a physiological approach is used for people breathing. The volume of the chamber is about by an order greater than the required amount of air needed for the observers to breathe. The total weight of the chamber and the ballast is greater than the lifting Archimedes force. The mechanism is moved by a surface floating vessel connected by a tether with cables in it for communication with the ship.

Keywords: system for underwater research, Archimedes force, microsensor control of a ballast module, underwater stay of people.

ВЪВЕДЕНИЕ

Пребиваването под вода е сериозно предизвикателство не само за специализираните приложения – подводници, батисфери и батискафи, подводни станции, разузнавателни мисии и др., но и за любителите на подводни развлечения и изследвания. Във всички случаи от съществено значение е както надежността на подводния апарат, така и дълбочината на потапяне. Ако до около 5 – 6 m подводното пребиваване на човек без специални предпазни съоръжения е безопасно, въздействието на дълбочината при потапяне над 10 m и повече метра крие реални рискове от възникване на кесонна болест. Ако не се постави човека, пребивавал на дълбочини повече от 30 – 50 m в барокамера и по определен алгоритъм не се „научи" отново да диша при нормално атмосферно налягане, изходът от обогатяването на кръвта с кислород при подводния му престой е винаги летален. Правени са опити от времето на Втората световна война със смеси от кислород O_2, хелий He_2 и азот N_2 в определени пропорции, но положителният ефект е несъществен. Ето защо за този проблем, независимо че от десетилетия е в процес на най-интензивни изследвания, все още отсъства приемливо и работещо решение.

Другият компонент на пребиваване под водата е конструкцията на използваните апарати. Тук прогресът е категоричен, стартирайки от последното пето поколение атомни подводници и батискафи и решенията, заложени в станциите със специално предназначение на дъното на морета и океани. Ключовият резултат е, че хората се намират в нормални атмосферни условия и не се налага да дишат въздух при повишено налягане. Постигнатите дълбочини на потапяне безспорно са впечатляващи – от няколко стотин метра до 5000 – 6000 m. Сериозни успехи бележи и роботизираната подводна технология, с която се правят опити за изследване на Марианската падина в Тихия океан, [1 - 3].

ПРЕДПОСТАВКИ И ЦЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Съществува, обаче един диапазон от „несериозни" потапяния между 5-10 m и 25-30 m, за които техническите решения са твърде оскъдни. Тези „приповърхностни" морски, речни или езерни дълбочини са особено важни както за ентертеймънта и туризма, така и за сигурността на акваторията на държавните граници. За съжаление подходящи универсални системи, които да предоставят възможност хората комфортно да пребивават на тези „малки" дълбочини в литературата почти отсъстват. Изключвайки акваланга като един от най-често използваните за такива дълбочини устройства, за пребиваване под вода също е конструирана водолазната камбана или кесон. Подобен апарат е изобретен за първи път от Е. Никонов в Русия през 1721 г. с форма на бъчва и дълбочина на потапяне до около 2 метра. Любопитен е фактът, че тази „подводница" е била екипирана с шнорхелна система за дишане. В по-нови времена апаратът е заменен с метална камера с камбановидна форма, отворена отдолу. Камбаната е разположена под водата на фиксирана дълбочина чрез корда, свързана с надводен плавателен съд. Теглото на съоръжението надхвърля многократно генерираната от него подемна сила на Архимед $\boldsymbol{F}_{\mathrm{A}}$. Наблюдателите са разположени в горната част на камерата, където са формирани илюминатори за наблюдение на подводната среда. С маркуч от плавателния съд в камерата се подава въздух за дишане на хората с налягане, равно на водния стълб за съответната дълбочина на потапяне на камбаната, [3]. Недостатък на тази система е, че хората са постоянно в неестествени условия на повишено налягане на въздуха по отношение на атмосферното, водещо при продължително дишане до прояви на вредната за здравето на наблюдателите кесонна болест. Недостатък е още трудното предвижване на камбаната под вода, поради несъразмерно голямото й тегло по отношение на архимедовата вертикална сила.

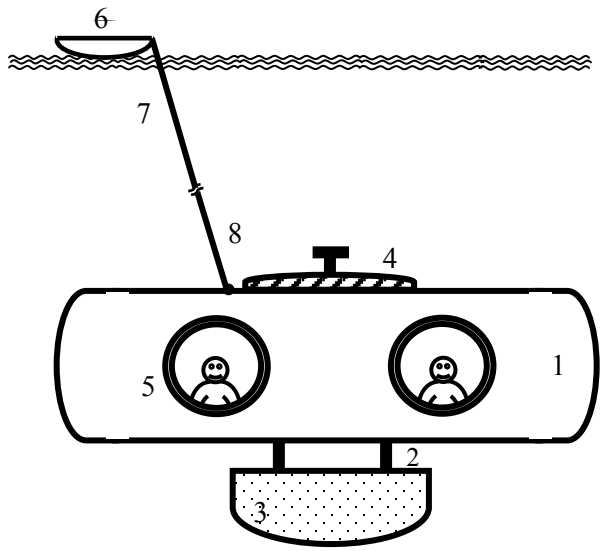
Целта на статията е да предложи универсална и удобна за експлоатация система за пребиваване на хора под вода в обхвата 10 - 35 m, при която да отпадне престоя при повишено налягане на въздуха и да се неутрализират вредните за здравето условия, водещи до кесонна болест като се повиши нейната мобилност. Приложенията на тази иновация се планират в областта на развлекателния курортен бизнес и туризъм; подобряване на качеството на живота чрез атрактивна рекреация на почиващите; екологията и мониторинга на замърсявания на водата в реки, езера, морета и океани, включително с химически, био-патогенни, радиоактивни нуклеиди и пластмасови частици; наблюдение, изследване и фотографиране на обекти и забележителности от подводната флора и фауна; подводната археология; добива на миди и бисерни образования; инспекцията и контрола на морската и речната акватория; роботизираните и мехатронните устройства за превенция и наблюдение на рискови обекти от критичната инфраструктура; подводни дейности с многопрофилно предназначение; сигурността, контратероризма и военното дело, и др

КОНСТРУКЦИЯ И ФУНКЦИОНИРАНЕ НА СИСТЕМАТА

Системата за пребиваване под вода е представена схематично на Фиг. 1. Тя съдържа подводна камера 1 от устойчив на хидростатично налягане материал с елипсовидна, цилиндрична или сферична форма. В конкретния случай камерата е цилиндрична. Под камерата е установен с твърда връзка 2 баластен обем 3, запълнен с вода. Горната страна на камерата съдържа херметично затварящ се люк 4. От двете й срещуположни страни са формирани симетрично по два илюминатора 5 за наблюдение. Сумарното тегло на камерата и баласта е по-голямо от подемната архимедова сила $\boldsymbol{F}_{\mathrm{A}}$. Придвижването на камерата се осъществява с надводен плавателен съд 6, съединен чрез корда 7 с нея като в кордата 7 има кабели 8 за комуникация на хората с плавателния съд, [4].

Функционирането на системата от Фиг. 1 се основава на съотношението между теглото $\boldsymbol{P}$ на камерата и баласта, и подемната вертикална сила на Архимед $\boldsymbol{F}_{\mathrm{A}}$.

Теглото $\boldsymbol{P}$ следва да е по-голямо от подемната сила на Архимед $\boldsymbol{F}_A$, действаща вертикално нагоре към повърхността на водата, $\boldsymbol{P} \geq \boldsymbol{F}_A$.



***Фиг. 1**. Система за подводни изследвания, [4]*

Това условие е необходимо, за да може камерата да потъне на нужната дълбочина, определена от дължината на кордата. Размерите на цилиндъра са такива, че обемът му V да генерира подемна сила $\boldsymbol{F}_A$ по-малка от сумарното тегло $\boldsymbol{P}$ на камерата и баласта. Ролята на обема 3, фиксиран с твърда връзка към дъното на камерата е да гарантира потапянето й, независимо от общото тегло на хората. Това условие се налага, за да се гарантира винаги потапяне, независимо от броя на наблюдателите, на които средното тегло е около 320 kg. Чрез количеството вода в баласта може прецизно да се отрегулира сумарното тегло $\boldsymbol{P}$ по отношение на силата на Архимед $\boldsymbol{F}_A$, $\boldsymbol{P} \geq \boldsymbol{F}_A$. Наблюдателите се разполагат до страничните илюминатори. Илюминатор може да се постави и на дъното на камерата, за да се разшири при необходимост обхвата за разглеждане на водния басейн. Излизането и влизането на хората в камерата се осъществява през херметично затварящия се люк, разположен в горната й част, аналогично на подводници или батискафи, [1].

Ключов компонент на новата система е обезпечаването на достатъчно количество въздух с атмосферно налягане за дишане на хората по време на наблюдението. За първи път в предложението от Фиг. 1 се използва физиологичният подход - количеството вдишан/издишан въздух от човек. Изследванията на акад. Вл. Овчаров показват, че за една минута човек вентилира с белите си дробове в нормални условия не повече от 8 - 10 *l*/min, [5]. Ето защо за 20 min, колкото най-често би продължило туристическото пребиваване под водата, количеството въздух за един наблюдател съставлява около 200 *l*. Ако наблюдателите са четирима, което е оптималният им брой в камерата, количеството въздух съставлява около 0.8 m^3. От друга страна обемът на пространството 1, в което ще се разположат хората заедно с необходимите за комфортно наблюдение седалки ще бъде около $V \approx 7$ - 8 m^3. Най-общо това е обемът $V = \pi r^2 h$ на цилиндър с диаметър $d = 1.8$ м и дължина $h = 2.8$ м, където r е радиусът на цилиндъра, $r = 0.9$ m, Фиг. 1. Това означава, че наличният обем въздух за дишане е не по-малко от 8 пъти по-голям от необходимия за четиримата наблюдатели при престой под вода от 20 min. Ситуацията е аналогична на пребиваването на група хора в затворени помещения – зала, кабинет, метро и др. Следователно решението не изисква допълнително количество пресен въздух, който да се доставя с маркучи при определено налягане от плавателния съд. Доставянето on-line на въздух от повърхността усложнява изключително много системата и силно ограничава приложимостта й. При всяко ново настаняване на наблюдатели в камерата, след отваряне на люка на повърхността, тя по естествен начин се вентилира, запълвайки се със свеж въздух за дишане. Предложената конструкция на системата, Фиг. 1, гарантира нормално атмосферно налягане на въздуха за дишане като отсъства опасност от възникване на кесонна болест за наблюдателите.

Материалът за камерата следва да е достатъчно устойчив на хидростатичното налягане на водата за съответните дълбочини на експлоатация, [1,2]. Сигурността на хората под вода се осъществява с баластния обем, запълнен

предварително с вода и прикачен с твърдата връзка към долната страна на камерата. Теглото на водата в него следва да се оразмери така, че камерата да се потопи независимо от наличието на хора в нея на съответната дълбочина, определена от дължината на кордата. По тази причина тежестта на баласта и теглото на камерата следва да са по-големи от силата на Архимед $\boldsymbol{F}_{\mathrm{A}}$. В случай на непредвидени критични обстоятелства, например, скъсване на кордата, проникване на вода в камерата и др., хората ще могат да освободят баласта чрез сензорен модул като под действие на силата $\boldsymbol{F}_{\mathrm{A}}$ те екстрено ще изплуват на водната повърхност. За целта от съществено значение са класа сензори, предоставящи възможността за безконтактно управление откачването на баласта, [6-8]. Безконтактното управление на окачването чрез връзката с камерата е най-ефективен и надежден чрез новосъздадените силициеви микросензори на Хол. За това допринася повишената им преобразувателна ефективност чрез новооткрития магнитноуправляем повърхностен ток в полупроводниковите структури, [9]. Сензорният модул ще съдържа още електромагнитен блок, задействан при необходимост от хората в камерата. В допълнение кордата съдържа кабели за комуникация с плавателния съд, което също повишава сигурността.

ПРЕДИМСТВА И ОСОБЕНОСТИ НА СИСТЕМАТА

Увеличеният обхват за преместване на камерата е в резултат на високата мобилност на цялата система в резултат на съотношението тегло $\boldsymbol{P}$ и сила $\boldsymbol{F}_{\mathrm{A}}$. Освен престой на фиксирана дълбочина, предвижването на хората под водата става лесно с надводния плавателен съд, съединен с камерата чрез дълга корда. За предпочитане е тя да бъде многожилна и от стомана. Така се разширява обхватът за наблюдение на подводната флора и фауна. Дължината на кордата се управлява лесно с лебедка, разположена на съда. Усилието за спускане или издигане е облекчено от подемната вертикална сила $\boldsymbol{F}_{\mathrm{A}}$. Хората ще излизат и влизат в камерата от палубата на плавателния съд. Той може да бъде кораб, яхта, скутер и др. Скоростта на предвижване следва да е относително ниска. Така подводното наблюдение или фотографирането на обекти е ефективно. Дълбочината на потапяне може да бъде различна – от 15 m до 20 m и повече метра, а при специализирани операции над 40 - 50 m. При необходимост влизането и излизането на подводния сегмент 1 заедно с хората на брега на водния басейн – река, езеро, море или океан може да става чрез подходящо монтирани към долната му част четири колела (две отпред и две отзад) със съответен диаметър.

Предимствата на системата за подводни изследвания е отпадане на необходимостта наблюдателите да дишат въздух с повишено налягане като престоят им е в естествена атмосферна среда и е отстранена кесонната болест. Също така преимущество е повишената мобилност и лесното изменение на дълбочината на потапяне чрез промяна на дължината на кордата. От значение за комфорта на туристите е отсъствието на специални помощни средства като бутилки със сгъстен въздух и маски с шнорхелни устройства, индивидуални въздухопроводи (маркучи), прикрепващи колани и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Иновативността на новото решение се заключава в предложената за първи път конструкция на мобилен апарат за подводно пребиваване на дълбочина 20 - 40 m при атмосферно налягане на хората в него без необходимост от подаване на въздух за дишане от повърхността на водата. Действието на системата е безопасно, предсказуемо и винаги възпроизводимо. Камерата не създава дискомфорт на хората, тъй като не са им необходими помощни средства. Освен за подводно развлечение, решението предоставя твърде широк спектър от специализирани дейности – от контратероризъм до подводно-технически операции на различни дълбочини. Системата за престой под вода може да има многобройни еквивалентни реализации. Например, за целите на развлекателния

курортен туризъм тя може да се използва и за атрактивно нощно разглеждане на подводната флора и фауна. В този случай се монтират прожектори, разположени на камерата и захранвани от съда. На настоящия етап усилията ни са насочени към прототипиране на системата за целите на развлекателния туризъм, за което има проявен интерес от производители.

Резултатите са постигнати с финансовата подкрепа на ФНИ по проект № DN 07/18 – 15.12.2016.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Dugarti M., Modern weapons: Warships and submarines, Ateya Books, 2015 г., ISBN: 9789548999854.

[2] Goldovskiy G.I., Dikarev H.F., Petrushin G.G., Multyfunctional complex for underwater technical activities, Russia Patent № B63G8/00, B63C11/34 / 25.12.2000.

[3] Landsberg G.S., Physics, v. I, chapt. VII, p. 575, Science Publ., Moskow, 1966.

[4] Lozanova S., Roumenin C., Apparatus for underwater stay, Bulg. Patent № BG 113001 A/25.09. 2019.

[5] Vankov V., Ovcharov V., Human anatomy, Arco Edit. SA, 2008 г., ISBN: 9789549301329.

[6] Lozanova S., Ivanov A., Roumenin C., From magnetoresistor element to in-plane sensitive Hall device, Sensors and Actuators, A 299 (2019) 111596; doi/org/ 10.1016 j.sna. 2019.111596.

[7] Lozanova S., Noykov S., Ivanov A., Roumenin C., Temperature and 3D magnetic field measurement using the same sensing zone, Sensors and Actuators, A 242 (2016) 27-31..

[8] Lozanova S.V., Roumenin C.S., Paralell-field silicon Hall effect microsensors with minimal design complexity, IEEE Sensors Journal, 9(7) (2009) 761-766

[9] Roumenin C., Lozanova S., Noykov S., Experimental evidence of magnetically controlled surface current in Hall devices, Sensors and Actuators, A 175, (2012) 45-52.

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

ПРОЕКТИРАНЕ НА МУЛТИФУНКЦИОНАЛНА СЕНЗОРНА СИСТЕМА

DESIGN OF A MULTIFUNCTIONAL SENSOR SYSTEM

Ivaylo Belovski
Prof. Assen Zlatarov University

Anatoliy Aleksandrov
Technical University of Gabrovo

Abstract

In recent decades, there has been a rapid development in the electronic industry around the world. This, mainly due to the rapidly evolving processing technique, which succeeded in successfully replacing many electronic components and integrated circuits with special reassignment. Microcontrollers are indispensable in the embedded systems and are especially useful when a computer device performing a large number or relatively complex functions must be implemented.

This paper presents the design of a multifunctional sensor system based on Arduino MEGA microcontroller. Several sensors with different function and principle of operation are included in the system. With their help different physical magnitudes and processes are taken into account, such as: temperature, humidity, atmospheric pressure, distance, etc.

Keywords: sensor system, embedded systems, arduino.

ВЪВЕДЕНИЕ

В системите, оборудвани със сензори с различно предназначение и принцип на работа, основния управляващ блок е микроконтролерът - (*MCU*) е едночипова система, съчетаваща в себе си микропроцесор, тактов генератор, оперативна памет и програмируеми входно-изходни устройства. Често на същия чип има и различни видове компютърна памет. За разлика от микропроцесорите, които се използват в персоналните и други компютри, микроконтролерите са незаменими във вградените системи и са особено полезни, когато трябва да се реализира компютърно устройство, изпълняващо голям брой или сравнително сложни функции, например – комуникация с други устройства, управление на буквено - цифрови или графични дисплеи, измерване на различни величини, управление на технологични процеси и др [1, 2].

За да могат микроконтролерите да се използват успешно в бита и ежедневието, те трябва да могат да събират разнородна информация от околния свят, да я обработват и да извършват определени операции, заложени в програмната им памет. Имено тук се появява нуждата от сензори които да предадат тази информация към микроконтролера.

Сензорът е първичен преобразува-тел на физични или химични параметри в удобен за използване сигнал. Тези устройства представляват неизменна част от системите с автоматизирано управление [3, 4]. Разграничаването на термините сензор и измервателен елемент е проблематично, тъй като не съществуват единни дефиниции.

Целта на настоящата статия е да представи проект и прототип на мултифункционална сензорна система, снабдена със съответното програмно осигуряване, съчетаваща няколко сензора с различно предназначение и принцип на работа.

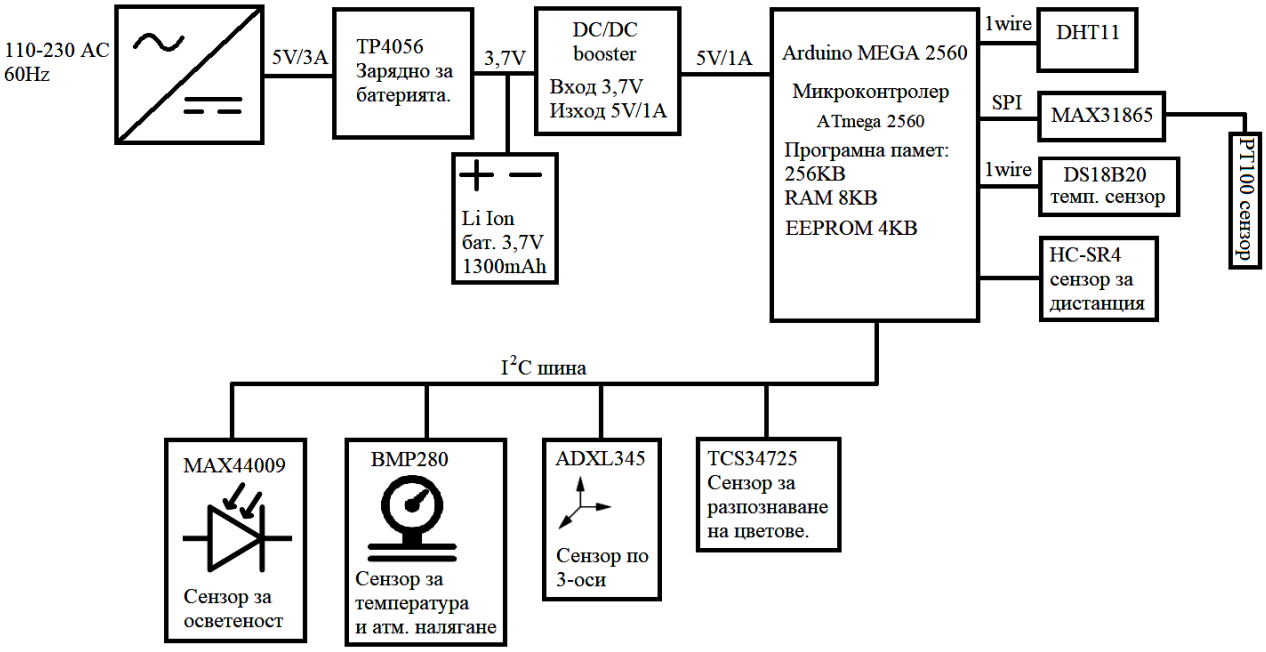
ИЗЛОЖЕНИЕ

Мултифункционалната сензорна система трябва да разполага с възможности за измерване на няколко различни физични величини, като:

- температура;
- влажност;
- атмосферно налягане;

- ниво на осветеност;
- дистанция до даден обект;
- ъглово преместване;
- разпознаване на цветове.

За реализирането на всички тези функции е синтезирана следната блокова схема на системата – фиг. 1.



***Фиг. 1** Блокова схема на мултифункционалната сензорна система*

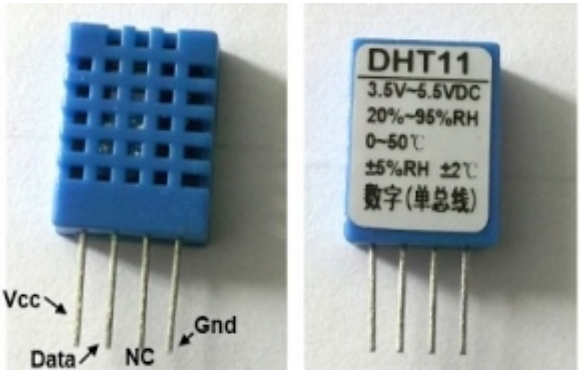
Тя се състои от следните блокове:

- захранващ блок, състоящ се от изправител, зарядна верига, батерия, DC/DC преобразувател;
- сензор за температура и влажност DHT11;
- сензор за температура PT100 и преобразувателна платка на базата на MAX31865;
- сензор за температура DS18B20;
- сензор за осветеност MAX44009;
- сензор за ъглово преместване ADXL345;
- сензор за атмосверно налягане BMP280;
- микровълнов сензор за дистанция HC-SR4
- сензор за разпознаване на цветове TCS34725;
- микроконтролерна платка Arduino MEGA 2560

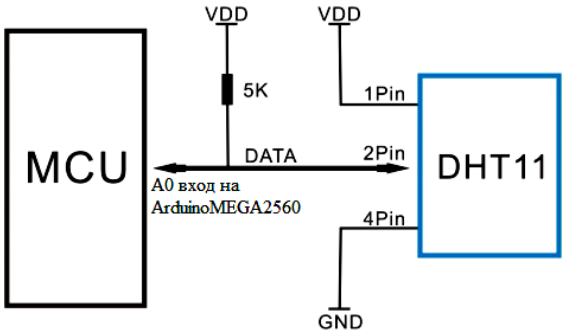
Захранващият блок се състои от стандартен електронен изправител с първично напрежение 110-230VAC и вторично 5V/3A. Вторичното напрежение се подава на заряден блок, изграден на базата на интегрална схема TP4056. Зарядното напрежение е фиксирано на 4.2V, а зарядния ток може да бъде регулиран чрез резистор. TP4056 автоматично прекратява зарядния цикъл, когато зарядния ток падне под 1/10 от зададената стойност.

Последния модул от захранващия блок е DC/DC преобразувател. Той е необходим поради факта, че за работата на микроконтролерната платка е необходимо захранващо напрежение от 5V.

Сензор за температура и влажност DHT11 е сензор от нисък клас предназначен за измервания на температура и относителна влажност [5]. Използва капацитивен сензор за относителна влажност и термистор за измерване на температурата на въздуха. Примерни изображения на DHT11 са показани на фиг. 2., а на фиг. 3 е представена схемата на свързване на сензора към микроконтролера. Информацията от тези сензори се подава на 8bit микроконтролер, които я обработва и комуникира с главния контролер (Arduino Mega 2560) по еднопроводен интерфейс.



Фиг. 2 *Сензор за температура и влажност DHT11*



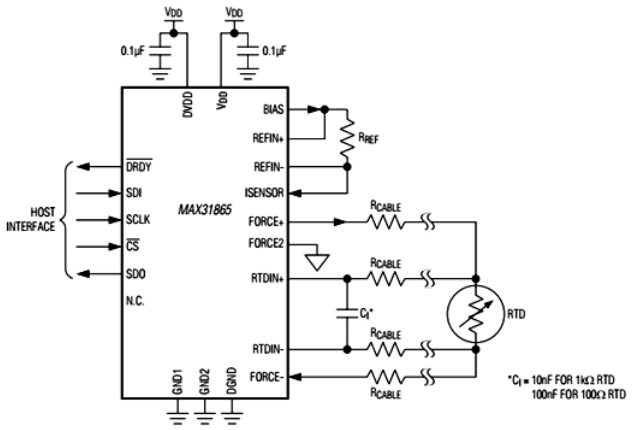
Фиг. 3 *Схема на свързване на DHT11 към микроконтролера*

Сензор за температура PT100 и преобразувателна платка на базата на MAX31865 - PT100 сензор или още наричан резистивно - температурен детектор (RTD) е едни от най-често използваните сензори за измерване на температура в индустрията, поради своята линейност в широк температурен диапазон.

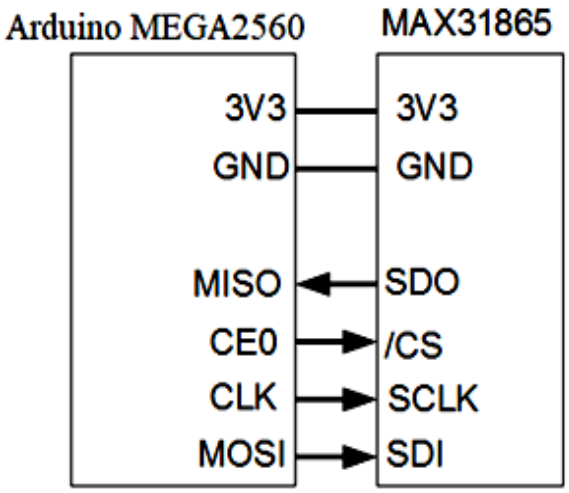
Сензорът е свързан към микроконтро-лерната платка посредством MAX31865. Това е преобразувател на резистивна величина каквато е PT100 към цифрова стойност с която работи имикроконтролера. MAX31865 притежава 15 битов аналогово - цифров преобразувател с точност 0,5%.

Схемата на свързване на MAX31865 към микроконтролера и сензора е показана на фиг. 4.

Сензорът за температура DS18B20 е цифров сензор за температура, които комуникира с микроконтролера по един проводник.



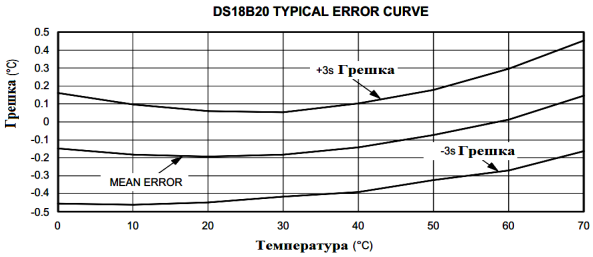
а)



б)

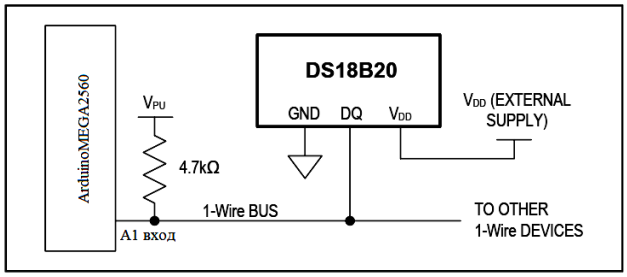
Фиг. 4 *Схема на свързване на MAX31865 към микроконтролера – а) и сензора – б)*

Сензорът за температура DS18B20 е цифров сензор за температура, които комуникира с микроконтролера по един проводник. Този тип сензор може да бъде захранен директно от проводника за комуникация, без да бъде необходимо външно захранване. Всеки DS18B20 сензор има 64bit сериен код, което позволява свързването на много сензори от този тип на един проводник за комуникация. DS18B20 измерва температури от -55 ^{o}C до +125 ^{o}C. Точност ±0.5 ^{o}C в диапазона -10 до +85^{o}C. На графиката от фиг.5 е представена грешката на измерване в диапазона 0-70 ^{o}C.



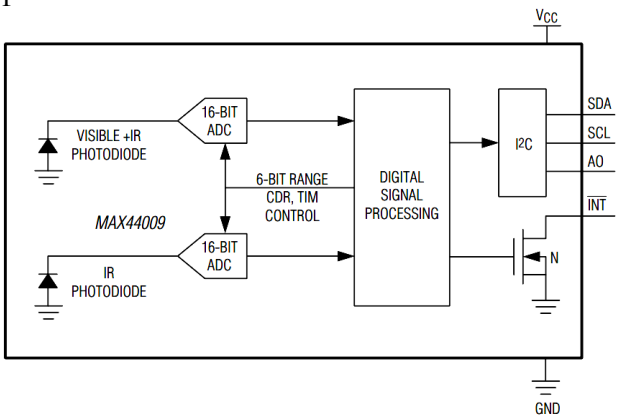
Фиг. 5 *Грешка на измерване в температурния обхват*

На фиг. 6 е представена схемата на свързване на сензора към микроконтролера.



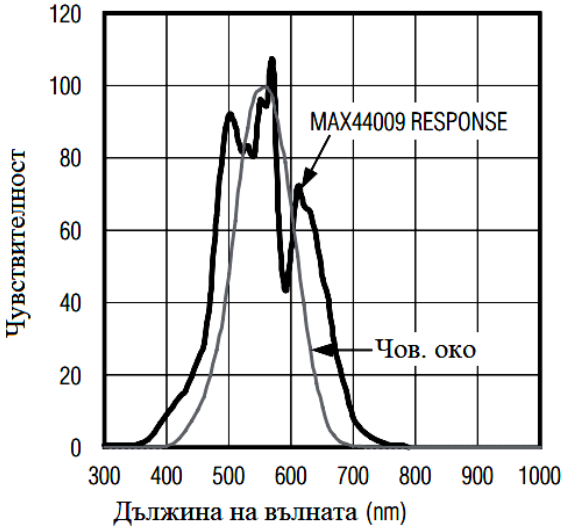
Фиг. 6 *Схема на свързване на DS18B20 към микроконтролера*

Сензор за осветеност MAX44009 (luxmeter) е производство на компанията MAXIM Intergrated. Произвежда се в много малък размер което го прави подходящ за използване в мобилни устройства, таблети и индустриални сензори. Комуникира по I2C протокол с микроконтролера. Има много малък ток на консумация около 1µA. Много широк обхват на измерване от 0.045 lux до 188000 lux. Има голям толеранс на работна температура от -40 °C до +85 °C. Блокова схема може да бъде видяна на фиг.7.



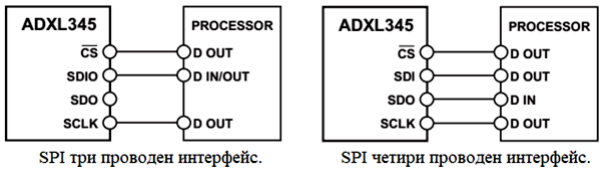
Фиг. 7 *Блокова схема на MAX44009*

На фиг.8 е представена спектралната характеристика на MAX44009, съпоставена с тази на човешкото око.

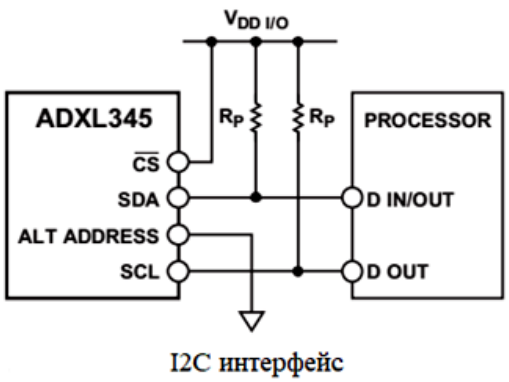


Фиг. 8 *Спектрална характеристика на MAX44009*

Сензорът за ъглово преместване ADXL345 има възможност за измерване на ъгъл по трите оси с висока 13bit резолюция, а също така и за измерване и ускорение до 16g. Комуникацията с микроконтролера може да се осъществи по три или четири проводен SPI интерфейс – фиг.9 или по I2C – фиг. 10 [7].

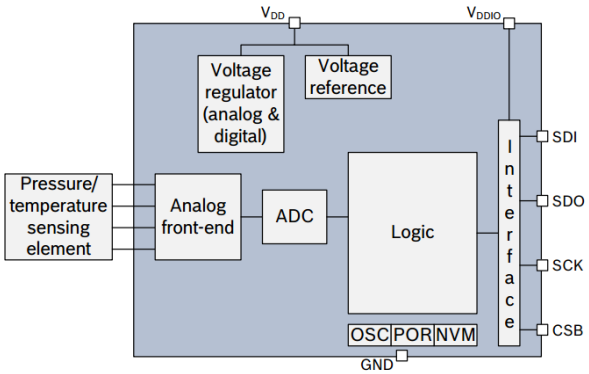


Фиг. 9 *Схема на свързване на ADXL345 към микроконтроллера по SPI интерфейс*



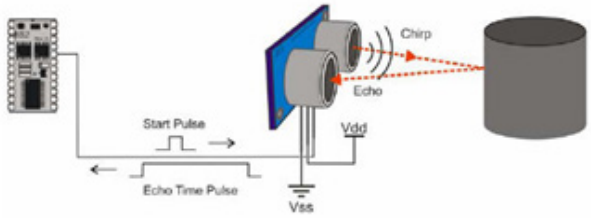
Фиг. 10 *Схема на свързване на ADXL345 към микроконтроллера по I2C интерфейс*

Сензор за температура и атмосферно налягане BMP280 е сензор на компанията BOSCH [6]. Това е сензор за абсолютно налягане с дизайн предназначен за мобилни устройства. Комуникацията с микроконтролера може да се осъществи по SPI или I2C интерфейс. Блоковата схема на сензора е показана на фиг. 11.



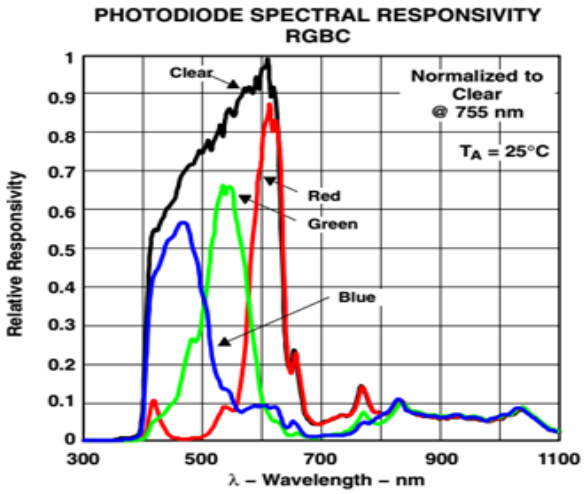
Фиг. 11 *Блокова схема на BMP280*

Микровълновият сензор за дистанция HC-SR4 работи на принцип на ехолокацията. На базата за измереното време за разпространение на сигнала до обекта и обратно до приемника се изчислява дистанцията до обекта. Обхватът на този сензор е от 2см до 400см, а честотата на излъчения сигнал е 40kHz. На фиг. 12 е показана схема, поясняваща принципа на работа на HC-SR4**.**



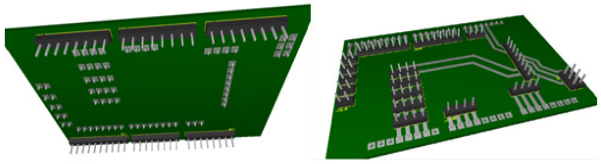
Фиг. 12 *Схема на работа на HC-SR4*

Сензор за разпознаване на цветове TCS34725 - разлага приетият цветови сигнал на трите основни цвята, плюс бяло. Сензорът разполага с инфрачервен филтър разположен пред цветочуствителните фотодиоди, като минимизира инфрачервения компонент на входната светлина и позволява по-добро цветоразпознаване. Чувствителността на фотодиодите при различни дължини на вълната е показана на фиг. 13.



Фиг. 13 *Спектрална характеристика на фотодиодите в TCS34725*

За свързването на всички по-горе описани сензори към микроконтролерната платка специално за целта е създадена преходна платка – фиг. 14.



Фиг. 14 *3D изглед на преходната платка*

Фиг. 15 *Общ вид на сензорната система*

Използваният дисплей е TFT IPS на компанията ILITEK, а моделът му е ILI9341. Това е цветен дисплей с резолюция 320x480 пиксела. Той комуникира с микроконтролера посредством 16bit паралелен интерфейс. Има способност да визуализира 65 535 цвята. Общия вид на сензорната система е показан на фиг. 15.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектирана е мултифункционална сензорна система с процесорно управление на основата на микроконтролерна платка Arduino MEGA 2560. Разработена е блокова и принципна електрическа схема на устройството и тяхна база е създен работещ прототип.

Устройството би намерило широко приложение при измерване на различни физични велични, а също и като макет за лабораторни упражнения по дисциплината "Сензори и сензорни устройства", изучавана от студентите в спец. "Електроника".

ЛИТЕРАТУРА

[1] Krishnamurthi K., S. Thapa, L. Kothari, A. Prakash, Arduino Based Weather Monitoring System, International Journal of Engineering Research and General Science Volume 3, Issue 2, pp.452-458, 2015

[2] Steven F. Barrett, Arduino Microcontroller Processing for Everyone!, Morgan and Claypool Publishers, ISBN:1608454371 9781608 454372, 2010

[3] L. Junior, O. Neto, M. Hernandez, P. Martins, L. Roger, F. Guerra, A Low-Cost and Simple Arduino-Based Educational Robotics Kit, Journal of Selected Areas in Robotics and Control (JSRC), 2013 Volume 3, Issue 12, pp.1-7

[4] Michael Margolis, Arduino Cookbook, ORailly Media Inc., 2012

[5] https://www.adafruit.com

[6] https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all products/bmp280

[7] http://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/detecting-falls-3-axis-digital-accelerometer.html

НАПРАВЛЕНИЕ 4

КОМУНИКАЦИОННА ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

SESSION 4

COMMUNICATION ENGINEERING AND TECHNOLOGIES

BER ANALYSIS USING RECOMMENDATIONS ITU G.821 AND ITU G.826

Aleksandar Lebl
Institute for Telecommunications and Electronics, IRITEL a.d. BELGRADE, Serbia

Dragan Mitić
Institute for Telecommunications and Electronics, IRITEL a.d. BELGRADE, Serbia

Verica Vasiljević
Faculty of Information Technology, University Slobomir P, Bjeljina, Bosnia and Herzegovina

Abstract

The standards for measurements and testing procedures in ISDN networks are defined in the ITU recommendation G. 821. ITU recommendation G. 826 deals with the error rate for data transmission on high flow-rates links. The decisive factor applied to determine the quality of high flow-rate digital networks is bit error rate (BER). In this paper the main goal is to analyse and suggest the model to determine BER for three relative error parameters defined in the G.821 and G.826 recommendations: Errored Second Ratio (ESR), Background Block Error Ratio (BBER) and Severely Errored Second (SES).

Keywords: Bit Error Rate, Errored Second , Severely errored second, Background Block Error Ratio.

INTRODUCTION

The relative error parameters presented in various definitions must be perceived in order to implement ITU recommendations G.821 and G826. It is first necessary to explain the relation between bit errors defined in the Recommendation ITU G.821 [1] and errored blocks defined in the Recommendation ITU G.826, [2]. The distribution of faulty bits has a great influence on these relations. After that in the Section 3 is explained the dependence of Errored Second Ratio (ESR) on the Bit Error Rate (BER), assuming that error distribution is Poissonian. The BER dependence on the part of blocks with error Y assuming that error distribution is expressed by Poissonian distribution is presented in the Section 4. The dependence of BBER according to the Recommendation ITU G.826 and ESR according to the Recommendation ITU G.821 on the value of BER assuming that error distribution is Poissonian is considered in the Section 5. At the end, the conclusions are in the Section 6.

MATHEMATICAL MODEL AND ERROR PARAMETER DEFINITION - ITU RECOMMENDATION G. 826

In the following sections the highly simplified statistical model for the time distribution of bit errors is going to be considered and presented. It is further supposed that the error probability of each bit is the same and that bit errors are mutually independent. Such a model may be designed using binomial distribution [3] [4], or, under some assumptions, Poissonian distribution may be applied [4] [5].

The Recommendation ITU G.826 defines four main parameters for bit error estimation [2]:

- **Errored Block (EB):** a block in which one or more bits are in error;
- **Errored Second (ES):** A one second period with one or more errored blocks or at least one defect (see Note 1 in 5.1.1.3, [2]);
- **Severely Errored Second (SES):** a one-second period, which contains more than or equal to 30% errored blocks or at least one defect. SES is a subset of ES;
- **Background Block Error (BBE):** an errored block not occurring as a part of SES.

Parameter Degraded Minute (DM) is not defined in the Recommendation G.826, [2], because it is also not defined in the Recommendation G.821 [1]. The Recommendation ITU G.826 defines three relative error parameters:

- **Errored Second Ratio (ESR):** the ratio of ES to total seconds in available time during a fixed measurement interval;
- **Severely Errored Seconds Ratio (SESR**): the ratio of SES to total seconds in available time during a fixed measurement interval;
- **Background Block Error Ratio (BBER):** is the ratio of errored blocks to total blocks during a fixed measurement interval, excluding all blocks during SES and unavailable time.

Error parameter determination is applied only when the supervised system is in the operation.

ERRORED SECOND

According to the Recommendation G.821, errored second occurs if at least one error happens during one second interval (ES). The principle of the error in a block measurement is applied, according to G.826 – one second is errored if it contains at least one errored block (EB). In this case a block is designated as faulty if it contains one or more errors, meaning that two recommendations have the same definition. The difference is that the Recommendation G.826 is related to the higher transmission rates, while the Recommendation G.821 is related to the channel with the fixed bit rate 64 kbit/s. The parameter which does not depend on the transmission rate is BER. That's why it is important to calculate ES rate (ESR) as a function of BER [6], [7].

Generally speaking, the relation between ES number and BER may be represented approximately applying a Poisson distribution:

$$ESR = 1 - \exp(-BER \cdot R) \qquad (1)$$

where R is transmission rate.

The Figure 1 is formed on the base of equation (1). The graphs in this figure correspond to four flow-rates. Three of these flow-rates are defined in the Recommendation G.826 (graphs 1, 2 and 3) and one in the Recommendation G.821 (graph 4). The graphs present ESR as a function of BER for the following systems: the graph 1 is for Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH) system at a flow-rate 2048 kbit/s, the graph 2 is for Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (virtual container, VC) VC-3, whose rate is 48,96 Mbit/s, the graph 3 is for SDH VC-4 at a flow-rate 150,336 Mbit/s, while the graph 4 is related to the channel which operates at a flow-rate 64 kbit/s according to ITU G.821. Figure 2 gives graphical presentation of the equation (1), where the arrows point to the following allowed error rate values:

-- for the curve 1 and the allowed error ESR $4 \cdot 10^{-2}$ BER is $1.4843 \cdot 10^{-9}$,
-- for the curve 2 and the allowed error ESR $8 \cdot 10^{-2}$ BER is $1.7031 \cdot 10^{-9}$,
-- for the curve 3 and the allowed error ESR 2 10^{-1} BER is $1.3317 \cdot 10^{-8}$ and
-- for the curve 4 and the allowed error ESR 8 10^{-2} BER is $1.3028 \cdot 10^{-6}$.

.

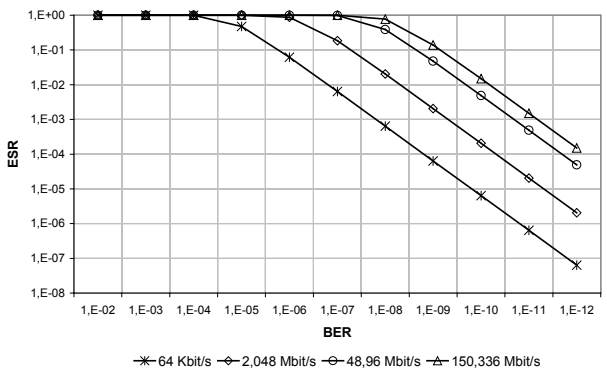


Fig. 1. *Errored Second Rate (ESR) as a function of BER when errors are distributed according to Poissonian distribution.*

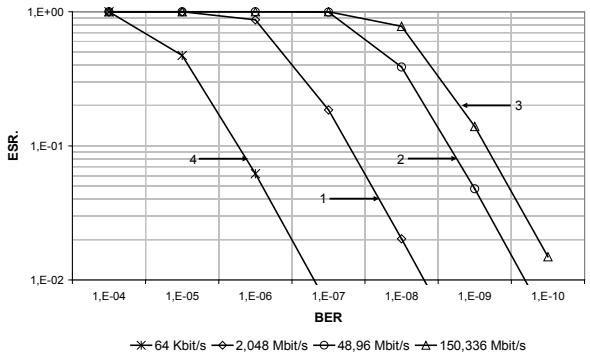


Fig. 2. *Errored Second Rate (ESR) as a function of BER, where arrows point to the values of allowed error probability.*

The conclusions from the Fig. 1 are the following:

-- The Recommendation G.821 is related to the channel with the flow-rate 64 kbit/s. If the flow-rate of such a channel is increased, it may be noticed sharpening the requests for ESR about 60 times (the ratio between graphs 1 and 3 for BER=10^{-9} is 68.3).

-- The curves 1 to 3 show that the parameter ESR, defined in the Recommendation G.826, is increased when the flow-rate is increased. This increasing is not proportional, as it may be expected, but deviation is negligible (if the value ESR=10^{-2} is selected, then it is BER=$4.9074 \cdot 10^{-9}$ for the curve 1, BER=$2.0528 \cdot 10^{-10}$ for the curve 2, BER=$6.6852 \cdot 10^{-11}$ for the curve 3 and BER=$1.5704 \cdot 10^{-7}$ for the curve 4). The value ESR as a function of BER is decreased as the flow-rate increases, for example: in the case of BER=10^{-9} ESR=$6.40 \cdot 10^{-5}$ for the curve 4, ESR=$2.05 \cdot 10^{-3}$ for the curve 1, ESR=$4.78 \cdot 10^{-2}$ for the curve 2 and ESR=$1.40 \cdot 10^{-1}$ for the curve 3.

Appearance of errored seconds is not always caused by independent disturbances in the transmission system, but often the cause is extern errors, which are not connected with the system function. These disturbances are related to the fixed time interval independent of the flow-rate of the considered transmission line.

SEVERELY ERRORED SECOND (SES)

In order to compare these parameters in both recommendations, [1] and [2], the following questions have to be answered:

What is the definition of the parameter Severely Errored Second (SES) in the recommendations [1] and [2] ?

What is the allowed part of SESs in the investigated area?

Before comparison of these parameters in both recommendations, the answer to the first and then to the second question is given. It follows the answer to the first question.

In the Recommendation ITU G.821 SES is defined as the BER value greater than 10^{-3}. In the Recommendation ITU G.826 SES is modelled by the following two criteria:

1. errored second (ES): A one-second period with one or more errored blocks or at least one defect.
2. severely errored second (SES): A one-second period which contains ≥30% errored blocks or at least one defect. SES is a subset of ES.

The first criterion expresses the number of errored bits in a block [2]. The second criterion investigates whether also severe errors in a second come to the consideration. This corresponds to the events with extreme level of errors.

From the assumption that errors may be modelled by Poissonian distribution it follows that the first criterion is more severe than the second one. The ratio of the part of blocks with errors Y and its corresponding error BER(Y) may be approximately expressed by the equation:

$$BER(Y) = -\frac{1}{N}\ln(1-Y) \qquad (2)$$

where N is the number of bits in a block.

The value of N is not constant in the Recommendation G.826, but it is variable when the bit rate is variable [2]. However, the critical value of Y for the determination of SES is equal 0.3 for all data flow-rates. According to the equation (2), it follows that the equivalent value BER(Y) for some Y decreases when data flow-rate increases. Similar to the definition of ES, the definition of SES is stricter when flow-rate is increased. The relations of N and Y according to (2) are presented in the Figure 3 for different flow-rates.

For example, it may be seen that BER(Y)=2·10^{-5} for Y=0.3 if the flow-rate is 150.336Mbit/s which corresponds to VC-4 systems. This value is 50 times more strict than the value defined in the Recommendation ITU G.821 (SESR=0.001 in [1]). The value of BER is 3 to 10 times less strict for the remaining two flow-rates comparing to VC-4.

When answering to the second question, it is necessary to note that both recommendations allow the same SESR=0.002 in the end-to-end connection. The Recommendation ITU G.826 is more strict than the Recommendation ITU G.821, because the equivalent BER(Y) is lower than 10^{-3} for the critical Y values when SES=0.3 for all data flow-rates, Figure 3.

The differences in SESR concepts in the Recommendations ITU G.821 and G 826 have two important effects:

1. For the transmission systems in the international connections, the parameter SESR in the Recommendation G.826 is less strict than in the Recommendation G.821. The corresponding requirements in the Recommendation G.826 do not directly guarantee fulfilling the requirements from the Recommendation G.821.
2. For the long-distance radio-systems the Recommendation G.826 requests significantly lower SESR than the target value in the Recommendation G.821. When planning new routes, the requests may be increased taking into the consideration the selection of the route length and device dimensions.

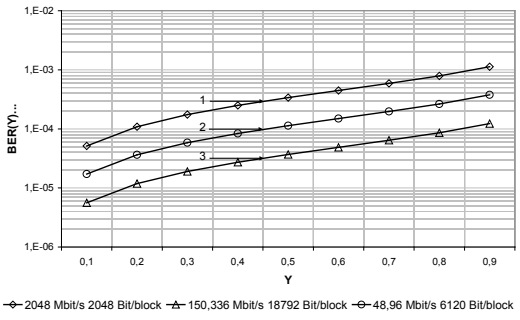


Fig. 3. *BER as the function of the part of blocks with errors Y assuming that error distribution is Poissonian.*

ERRORS IN A BLOCK

The variable BBE, which is associated to the parameter BBER and which is defined in G.826, is not defined in the Recommendation G.821. However, comparison is possible.

These parameters have the similar function as the other error parameters in G.821. That's why it is suitable to compare BBER parameter in G.826 and ESR in G.821.

It is first necessary to calculate the values of BBER for the desired BER. If it is supposed that error distribution is Poissonian, the approximate relation is:

$$BBER = 1 - e^{-BER \cdot N} \qquad (3)$$

The equation (3) does not present the results if the error value is over the equivalent BER (Y) given by (2) for severe errors in a second. BBE definition in G.826, as it is already explained, refers to the seconds without severe errors. The equation (3) is graphically presented in the Figure 4.

The arrows in the Figure 4 point to the values of the allowed errors in the following cases:

-- on the curve 1 for the allowed error BBER=3·10^{-3} the achieved value is BER=1.4670·10^{-6},
-- on the curve 2 for the allowed error BBER=2·10^{-3} the achieved value is BER=3.2712·10^{-7},
-- on the curve 3 for the allowed error BBER=2·10^{-3} the achieved value is BER=1.3317·10^{-8} and
-- on the curve 4 for the allowed error ESR=8·10^{-2} the achieved value is BER=1.4670·10^{-6}.

Comparing the Figures 1 and 4, it is concluded that BBER end points are in the area which corresponds to the end points from G.826. The BBER value in G.826 is lower than the ratio of errored seconds from the Recommendation G.821.

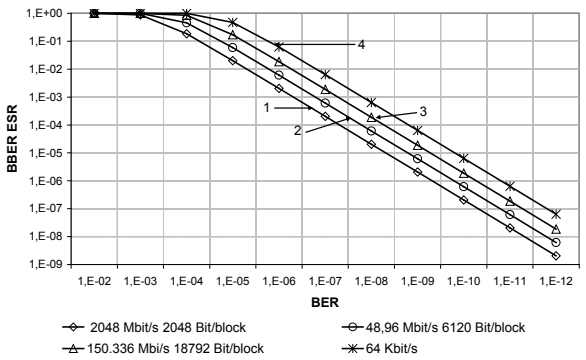


Fig. 4. *Variables BBER and ESR as a function of BER assuming that error distribution is Poissonian.*

From the Figure 4 it is also possible to see that BBER target value is significantly lower than the ESR value from the Recommendation G.821. This is the proof that the Recommendation G.826, with the regard that BBER is a parameter, set higher requirements for the data transmission than the Recommendation G.821. Such assumptions may be expressed in the case that error distribution is Poissonian.

CONCLUSION

The Recommendation G.826 does not include the analysis of the errored bits in an errored block except if it exists SESR time period Recommendation G.826 is tolerant of burst errors, since in this case a large number of erroneous bits in one second results in a significantly smaller number of error blocks.

In this case a high number of errored bits in a second time interval is the cause of significantly smaller number of errored blocks. Second time interval existence causes a lower number of errored blocks. In the case that the same number of errored bits is uniformly distributed during one second, each single errored bit may produce errored block. In the Recommendation G.821 the total number of errored bits is only important, not their distribution in second time intervals.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper is realized in the framework of project TR 32051 and TR32007, which is cofinanced by Ministry of Education, Science and Technological Development of Republic of Serbia.

REFERENCE

[1] ITU-T: Recommendations G.821, Error performance of an international digital connection operating at a bit rate below the primary rate and forming part of an Integrated Services Digital Network, 12/2002.

[2] ITU-T: Recommendations G.826, Series G: Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks, Digital networks – Quality and availability targets, 12/2002.

[3] Hamilton Institute. The Binomial Distribution, October 20, 2010.

[4] Roy D. Yates, David Goodman, Probability and Stochastic Processes: A Friendly Introduction for Electrical and Computer Engineers, page 60.

[5] Michael Mitzenmacher & Eli Upfal. *Probability and Computing: Randomized Algorithms and Probabilistic Analysis*. Cambridge University Press. January 31 2005, p. 97. ISBN 978-0521835404.

[6] Feher, K. Telecomunications Measurement, Analysis and Instrumentation, ISBN-10: 0139024042, Prentice-hall, April 3 2017.

[7] Coenning, F., Meyer, J. Die ITU-T-Empfehlung G.826 - Eine neue Empfehlung zur Definition der Qualitätsparameter und der Zielwerte für das Fehlerverhalten digitaler Übertragungseinrichtungen, Fernmelde-Praxis, 1994, pp. 44-52.

ERROR ESTIMATION FOR NETWORKS WITH HIGHER DATA RATES

Dragan Mitić
Institute for Telecommunications and Electronics, IRITEL a.d. BELGRADE, Serbia

Aleksandar Lebl
Institute for Telecommunications and Electronics, IRITEL a.d. BELGRADE, Serbia

Verica Vasiljević
Faculty of Information Technology, University Slobomir P, Bjeljina, Bosnia and Herzegovina

Abstract

The decisive factor for determination of the quality in higher speed digital networks is Bit Error Rate (BER). BER definition in the Recommendation G.821 is based on measuring the number of errored bits, which significantly complicates practical measurements. The Recommendation G.826 defines qualitative parameters and end points for BER estimation in higher speed networks and overcomes the problems whose answer is not specified in the Recommendation G.821. The variable BER for data transmission in optical networks is defined in the Recommendation G.8201, which follows Recommendations G.826, G.828 and G.829. Asymptotic method for error performance parameters prediction based on normal approximation of binomial distribution is going to be defined. A simple conversion method, which is developed for the case of time variant with the constant index of BER(t) distribution and invariant mean threshold length is also going to be presented.

Keywords: Bit Error Rate, Errored second , Errored block , Severely errored second, probabilities.

INTRODUCTION

The Recommendation ITU G.826 [1] defines qualitative parameters and end points for BER estimation for higher data flow-rate transmission networks. The Recommendation is intended for the hypothetical reference connection of 27500 km, for different transmission media such as optical fiber, classical lines with metallic conductor wire or satellite transmission systems. This Recommendation is supplemented by the more precise specification for synchronous, plesiochronous and asynchronous systems [2] for its practical implementation. The errors in the block [1], error units and parameters are defined in the Section 2. Asymptotic event probabilities P_{EB}, P_{ES} and P_{ESE} are defined in the Section 3, while the analysis of event probabilities P_{EB}, P_{ES} and P_{ESE} as a function of time is given in the Section 4. The error definition for modern SDH systems is presented in the Section 5, while error explanation for the Optical Transport Network, OTN [3] is the subject of the Section 6. At the end, the conclusions are emphasized in the Section 7.

DEFINITION OF ERRORS IN A BLOCK, ERROR UNITS AND PARAMETERS

While defining the Recommendation G.826, it was set the main goal to model the BER characteristics for the measurements in system function, thus enabling implementation of the equipment for error monitoring on the instantaneous transmission systems. However, the measuring technics had to be removed

from the field of measuring errored bits, according to the Recommendation G.821 [3], onto the field of measuring errored blocks.

Monitoring of errors in block uses existing transmission systems based on Cyclic Redundancy Check (CRC 4) and bits Parity Control. According to the Recommendation G.826, the errors should be detected with the probability of at least 90%. This request is satisfied for CRC 4 and BIP-8, but not for BIP-2 (Bit Interleaved Parity, BIP) [4], [5], [6].

The Recommendation ITU G.826 defines four main parameters for BER estimation in a block:

- **Errored Block (EB):** a block in which one or more bits are in error;
- **Errored Second (ES):** A one second period with one or more errored blocks or at least one defect;
- **Severely Errored Second (SES):** a one-second period, which contains ≥ than 30% errored blocks or at least one defect. SES is a subset of ES.
- **Background Block Error (BBE):** an errored block not occurring as a part of SES.

Severely disturbed time domains measured in practice for Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH) and Synchronous Digital Hierarchy (SDH) systems are defined differently. In this category several alarm types are defined, as: signal loss, frame synchronization loss, multiframe synchronization loss, alarm indication signal (AIS).

Severely disturbed time domains occur when the error rate is greater than 10^{-3}. Measurements of error variables give absolute values of these variables. However, it is more useful to use relative values. The recommendation G.826 defines three parameters of relative error [7]:

- **Errored Second Ratio (ESR):** the ratio of ES to total seconds in available time during a fixed measurement interval;
- **Severely Errored Seconds Ratio (SESR)**: the ratio of SES to total seconds in available time during a fixed measurement interval;
- **Background Block Error Ratio (BBER):** the ratio of errored blocks to total blocks during a fixed measurement interval, excluding all blocks during SES and unavailable time.

These error parameters are valid if the system is in operation. According to the Recommendation ITU G.826, a system is supposed to be defective if the BER value is at least 10 seconds higher than the allowed BER for the considered transmission system. The system becomes operative after at least 10 consecutive seconds which are not of SES type [1], [7].

P_{EB}, P_{ES} AND P_{SES} - ASYMPTOTIC PROBABILITIES OF THE EVENTS EB, ES AND SES

The relation between error performance parameters and BER may be estimated using Poisson distribution or Neiman-A bit error distribution during an error burst. As Poisson distribution is more pragmatic and offers useful results with minimum complexity, it is going to be implemented [8].

THE PROBABILITY OF ERRORED BLOCK P_{EB}

Assuming that the distribution of errored bursts is Poissonian, the probability of the errored block P_{EB} may be expressed as:

$$P_{EB} = 1 - \exp\left(-\frac{N_B \cdot BER}{\alpha}\right) = 1 - \exp\left(-\frac{BER}{\tau}\right), \qquad (1)$$

where N_B is the number of bits per block, α is the mean number of errors per burst ($\alpha \geq 1$), the constant $\tau = \alpha/N_B$ is used to estimate the rate of exponent variation. On the base of fact that the value of negative exponential function is changed from 1 to 0.05 when the value of exponent is changed from 0 to $3 \cdot \tau$, it is possible to be concluded that when BER is changed from 0 to $3 \cdot \alpha/N_B$, the probability of errored block P_{EB} is changed from 0 to 0.95.

This relation which makes connection between the area of P_{EB} values with the block size and the number of errors per burst is very useful when it is necessary to perform numerical integration.

THE PROBABILITY OF ERRORED SECOND P_{ES}

Starting from the probability of errored block according to the equation (1), it is possible to define the probability of the errored second P_{ES} as:

$$P_{ES} = 1 - \exp(-n \cdot P_{EB}), \qquad (2)$$

where n is the number of blocks per second. On the base of „rule $3\cdot\tau$", it may be concluded:

$$P_{ES} = 0.95 \text{ if it is } P_{EB} = 3/n, \quad (3)$$

i.e. P_{ES} is in the interval $0 \le P_{ES} \le 0.95$ where P_{EB} is divided by 1/n. According to this statement, the linear approximation of the equation (1) may be formed and it is possible to write the expression:

$$P_{ES} = 1 - \exp\left(-n \cdot \frac{N_B \cdot BER}{\alpha}\right) = 1 - \exp\left(-n \cdot \frac{BER}{\tau}\right), \quad (4)$$

which is practically accurate (the error is less than $1/n^2$). Comparing the expressions (1) and (4), it is possible to conclude that the following relation is valid for any fixed value of BER and the same parameters:

$$P_{EB}(BER) = P_{ES}(BER/n). \quad (5)$$

It is obvious from the equation (5) that the agreement exists between different BER values, which assure the same probability of errored blocks and errored seconds, $P_{EB} = P_{ES}$. For example, from the Figure 1 $BER=1.91\cdot10^{-5}$ for $P_{EB}=0.3$ in the case of VC-4 container when it is N_B = 18720, n = 8000 and taking into account the values $P_{EB}=P_{ES}=0.3$. If this BER value is divided by n=8000, according to the equation (5), it is obtained (see Figure 1):

$$P_{EB}(1{,}91\cdot10^{-5}) = P_{ES}(2{,}3\cdot10^{-9}) = 3. \quad (6)$$

THE PROBABILITY OF SEVERE ERRORS IN SECOND P_{SES}

In order to estimate the probability of errored seconds, it is first necessary to define the probability P_{nk} where k is the number of errored blocks of total n blocks. It is realized using binomial distribution as:

$$P_{nk} = \left[\frac{n!}{(n-k)!}\right] \cdot \left[\left(1 - P_{EB}^{n-k}\right) \cdot \left(P_{EB}\right)^k\right]. \quad (7)$$

Normal distribution with the main value μ and variance σ^2 is defined as [9]:

$$\mu = n\cdot P_{EB}, \ \sigma^2 = n\cdot P_{EB}\cdot(1-P_{EB}), \quad (8)$$

and it gives very accurate approximation of binomial distribution when n is great. As a consequence it is possible to write the equation (7) in the case that n tends to infinity as:

$$\lim_{n\to\infty} P_{nk} = f(x) = \frac{1}{\sigma\cdot\sqrt{2\cdot\pi}} \cdot e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\cdot\sigma^2}}. \quad (9)$$

The random normal variable n in the expression (10) represents the number of errored blocks in second. Considering all cases when it is $(k/n) \ge 0.3$ the probability P_{SES} may be calculated as the sum:

$$P_{SES} = \sum_{k=0.3\cdot n}^{n} P_{nk}, \quad (10)$$

and using (9) this expression may be replaced by integral. It means that P_{SES} is then:

$$P_{SES} = \int_{x=0.3\cdot n}^{n} f(x)dx. \quad (11)$$

As earlier, f(x) is the probability density function of normal random variable x with mean value μ and variance σ^2. The characteristics of integral (11) are explained in detail in [10, Supplement A]. The main conclusion may be summarized as the statement that the probability P_{SES} may be expressed in normal distribution as:

$$P_{SES} = 1 - F(u_1), u_1 = \frac{0.3\cdot n - \mu}{\sigma} = \frac{n(0.3 - P_{EB})}{\sqrt{n\cdot P_{EB}\cdot(1-P_{EB})}}, \quad (12)$$

where $F(u_1)$ is cumulative standard normal distribution of random variable u with the mean value equal to zero and variance equal to 1, where u_1 is normalized lower limit of the integral (11).

The probability P_{SES} is changed in the interval [0.005, 0.995] if the probability of errored block P_{EB} is changed for 0.3±3. The corresponding BER is defined as:

$$0.005 \le P_{SES} \le 0.995 \text{ under } BER = B_{SES} \pm 3\cdot(\alpha/N_B). \quad (13)$$

Therefore, the expression (13) proves in an analytical way the commonly accepted assumption that P_{SES} is really a step function. The graphs of P_{EB}, P_{ES} and P_{SES} as a function of BER are presented in Figure 1 for a VC-4 link.

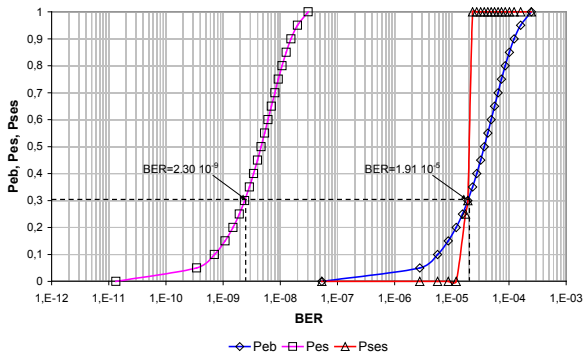


Fig. 1. *The presentation of P_{EB}, P_{ES} and P_{SES} as a function of BER for the VC-4 link.*

THE PROBABILITY OF EVENTS P_{EB}, P_{ES} AND P_{ESE} AS A FUNCTION OF TIME

Under the remainder of the function BER (t), in the case of the Danish domain, the data shall be [10]:

$$BER(t) = B_0 \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^m, \tag{14}$$

where m is a known value greater than one.

When the relation for BER(t) is known, the error probabilities may be expressed as a function of relative time t. If Poissonian distribution of error cluster is supposed, the probability of errored block P_{EB} is written as [11], [12]:

$$P_{EB} = 1 - \exp\left(-N_B \cdot \frac{BER}{\alpha}\right), \tag{15}$$

where it is N_B – number of bits in a block and α – the mean number of errors in a cluster (α ≥ 1).

If BER(t) in the equation (15) is replaced, the new expression for P_{EB} as a function of time is obtained as

$$P_{EB} = 1 - \exp\left(-N_B \cdot \frac{B_0}{\alpha} \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^m\right). \tag{16}$$

The probability that there is an error in a second, P_{ES}, is presented as:

$$P_{ES} = 1 - \exp(-n \cdot P_{EB}), \tag{17}$$

where it is n – number of blocks in a second, and P_{EB} – probability that there is an errored block.

If the expression for P_{EB}, equation (16) is replaced in the equation (17), the new expression for P_{ES} as a function of time is:

$$P_{ES} = 1 - \exp\left(-N_B \cdot n \cdot \frac{B_0}{\alpha}\left(\frac{t_0}{t}\right)^m\right). \tag{18}$$

Now it is possible to calculate the probability of Severely Errored Second (SES) P_{SES} as a second interval with at least 30% errored blocks [1], [13].

$$P_{SES} = 1 - F[u_1(t)], \tag{19}$$

where $F[u_1(t)]$ is a function of normal distribution and $u_1(t)$ is presented as:

$$u_1(t) = \frac{0.3 \cdot n - n \cdot P_{EB}(t)}{\sqrt{n \cdot P_{EB}(t) \cdot (1 - P_{EB}(t))}}. \tag{20}$$

The probabilities $P_{EB}(t)$, $P_{ES}(t)$ and $P_{SES}(t)$ for a given time dependence may be used for an integration of relevant functions in relative time interval [0,1]. The parameters ESR and SESR may be calculated as:

$$\text{ESR} = \int_{t_0}^{1} P_{ES}(t)dt, \tag{21}$$

$$\text{SESR} = \int_{t_0}^{1} P_{SES}(t)dt, \tag{22}$$

where the lower limits, t_0, are the part of time when the error is greater than its highest value 10^{-3}. The upper limit, which is equal to one, corresponds to the considered time [1], [13].

Based on the definition from ITU-T G.826, BBER may be estimated using integral:

$$\text{BBER} = \int_{t_{SES}}^{1} P_{EB}(t)dt, \tag{23}$$

where the lower limit of integration is taken as a part of time, which corresponds to the Severely Errored Second (SES), with the value $P_{EB} = 0.3$. For $t > t_{SES}$ (SESR = $t > t_{SES}$) there is not a characteristic of severely errored second.

The equation (23) is useful from two reasons. The first one is that it gives implicit, in very simple way, the relation between BBER and P_{EB}, and the second one is that it significantly simplifies numerical integration [7], [10]. Trigonometric, the integrals from equations (21), (22) and (23) correspond to the graphs in Figure 2.

Figure 2 presents the curves for $P_{EB}(t)$, (16), $P_{ES}(t)$, (18) and $P_{SES}(t)$, (19) with the following parameters: N_B = 18792; B_0 = 0.001; α = 1; t_0 = 0.0001; m = 10; n = 8514 and n = 17028.

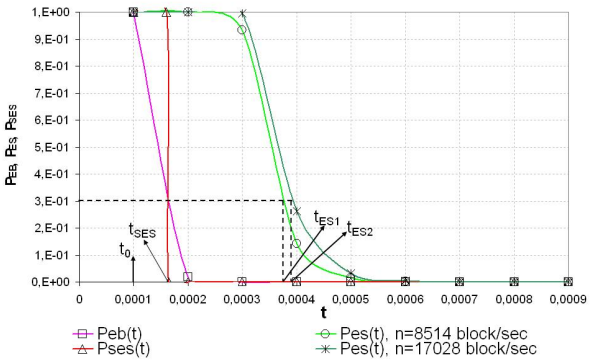


Fig. 2. *Presentation of the curves $P_{EB}(t)$, $P_{ES}(t)$, and $P_{SES}(t)$ for VC-4 link*

It is obvious from the Figure 2 that P_{SES} is the step function. That's why the simple relation may be used to calculate SESR with the significant precision:

$$SESR = t_{SES} = 1.486518 \cdot 10^{-4} \quad . \qquad (24)$$

It is also evident that the value $t_{ES2} = 3.938097 \cdot 10^{-4}$, the graph for n = 17028, is higher than the value $t_{ES1} = 3.674374 \cdot 10^{-4}$, the graph for n = 8514, all other parameters are the same.

THE ERROR DEFINITION FOR THE NEWER SDH SYSTEMS [14]

The target values which are defined in the Recommendation G.826 do not correspond to the modern SDH systems, where the physical layer transmission is realized by the optical fiber technology. The allowed error rates for modern SDH systems according to G.828 are stricter than according to G.826. The Recommendation G.828 is pretty the same as G.826. The great emphasis is on the possibility to perform measurements during the system functioning. The Recommendation defines the new error type Severely Errored Period (SEP), which is based on the results of practical measurements. SEP is defined as the time period with more than 3 and less than 9 consecutive seconds with severe errors. SEP may have the same effect as the micro-interruption and may lead to the high impairment of Quality of Services which are supported by SDH. The parameter which corresponds to the period with severe errors is called Severely Errored Period Intensity (SEPI) and its unit is 1/time. The suggested value of this parameter is 518 micro-pauses per month. The new Recommendation takes into account tandem connections monitoring, which is especially useful for modern SDH systems.

ERRORS FOR THE OPTICAL TRANSPORT NETWORKS, OTN [3]

The new Recommendation G.8201 defines the error rate characteristics for transmission in optical networks. The structure of G.8201 is very similar to the G.82x recommendation. It is also based on the principle of errored block measurement by code errors detection, which is very useful in operational measurements. The new term, so called domain operator, is established in the hypothetical reference optical trace. The border between domains is called Operator Gateway (OG). In order to keep the continuity with the Recommendations G.826 and G.828, the local and regional operator domain is related to the national part and to the main operator domain with the international part. To keep the further consistency with G.826 and G.828, four main operator domains are used (one for each transit country) and two pairs of local and regional operator domains, total 8 operator domains. The allocation principles may be implemented to achieve the desired error rate for national and private optical links. Hypothetical reference optical link is presented in the Figure 3 [1], [14], [15], [16],

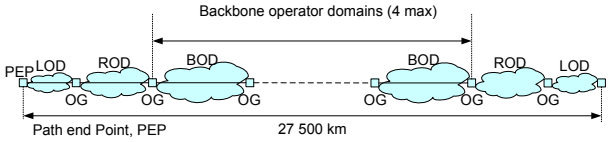


Fig. 3*. Hypothetical reference optical link according to G.8201, [16]*

CONCLUSION

The instantaneous number of errored bits in an errored block is not important for the estimation according to the Recommendation G.826, except if it exists the period with severe errors. The Recommendation G.826 tolerates errored bits appearing in clusters, because in this case the high number of errored bits in one second causes lower number of errored blocks. In this paper the asymptotic method for error performance parameters prediction based on normal approximation of binomial distribution has been presented. It is determined the simple

relation between the thresholds for P_{EB} and P_{ES}. It is proved that P_{SES} (Figure 2) s practically the step function and that it completely depends on the mean BER value and the block dimension.

The simple conversion method is developed for the case of time variant with the constant distribution index BER(t) and invariant mean threshold length. The analytical relations between ESR, SE and EB, which depend on the number of blocks in a second and BER distribution index, are determined under these conditions.

It is also elaborated the prediction method and the estimation of gradual treatment for the complete distribution BER(t) with the mean time variant of errors number.

It is also possible to notice in the Figure 1 that P_{SES} is step function and that it changes its value from 0 to 1 in a short time interval.

The new Recommendation G.828 takes into account tandem connection monitoring. It also defines new parameters SEP and SEPI, which tighten the criteria for error characteristics, thus making an effect to the ESR and BBER parameter. The Recommendation G.8201 defines error parameters and characteristics for optical transmission systems. Due to higher transmission rate ESR loses its meaning in the Recommendation G.8201, and only the parameters SESR and BBER are defined. The Recommendation G.8201 is still in the phase of redefinition.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper is realized in the framework of project TR 32007 and TR32051, which is cofinanced by Ministry of Education, Science and Technological Development of Republic of Serbia.

REFERENCE

[1] ITU-T Recommendation G.826, End-to-end error performance parameters and objectives for international, constant bit rate synchronous digital paths. 12/2002.

[2] ITU-T Recommendation G.783, Characteristics of synchronous digital hierarchy equipment functional blocs. 03/2006.

[3] ITU-T Recommendation G.821, Error performance of an international digital connection operating at bit rate below the primary rate and forming part of an integrated services digital network. 12/2002.

[4] Feher, K. Telecommunications Measurement, Analysis and Instrumentation, ISBN-10: 0139024042, Prentice-hall, April 3 2017.

[5] David Eckhardt, Peter Steenkiste. Measurement and Analysis of the Error Characteristics of an In-Building Wireless Network, https://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/cmcl/archive/CreditNet-papers/96sigcommwl.pdf.

[6] Carolina Pinart, Alternatives for in-service BER estimation in all-optical networks: towards minimum intrusion, Journal of Computers, May 2007; 2(3).

[7] Jahangir Alam SM, Rabiul Alam M, Guoqing Hu, Zakirul Mehrab Md. Bit Error Rate Optimization in Fiber Optic Communications, International Journal of Machine Learning and Computing, December 2011; 1(5).

[8] ITU-R Recommendation S.1062, Allowable error performance for a hypothetical reference digital path operating at or above the primary rate. ITU. Geneva. 01/2007.

[9] Walpole RE, Myers RH. Probability and statistics for engineers and scientists, 9th Edition, Macmillan publishing company, New York, 2012.

[10] Minkin V, Voschinin A. Asymptotic method for predicting Error performance parameters and objectives for constant bit rate digital paths. Journal of Radio Electronic N.2/2000, February 22, 2000, Russian Academy of Sciences. ISSN 1684-1718.

[11] Weinberg GV, Bit error rate approximations using Poisson and negative binomial sampling distributions, Electronics Letters, January 31, 2008; 44(3).

[12] Schmidt JF, Schilcher U, Bettstetter C. Exact Bit Error Rate Expressions for Interference-Limited Poisson Networks. IET Electronics Letters, November 2016; 52(23): 1961–63.

[13] David R. Smith, Digital Transmission Systems, 2.4.2 Error Performance, Third Edition, Springer Science+Business Media New York, 2012.

[14] ITU-T Recommendation G.828, Error performance and objectives for international, constant bit rate synchronous digital paths. 03/2000.

[15] ITU-T recommendation G.829, Error performance events for SDH multiplex and regenerator sections. 03/2000.

[16] ITU-T recommendation G.8201, Error performance parameters and objectives for multi-operator international paths within the optical transport network. 09/2003.

ESTIMATION OF THE BIT ERROR RATE AND QUALITY FACTOR IN OPTICAL SYSTEMS

Dragan Mitić
Institute for Telecommunications and Electronics, IRITEL a.d. BELGRADE, Serbia

Aleksandar Lebl
Institute for Telecommunications and Electronics, IRITEL a.d. BELGRADE, Serbia

Verica Vasiljević
Faculty of Information Technology, University Slobomir P, Bjeljina, Bosnia and Herzegovina

Abstract

The purpose of the paper is to define the connection between error parameters in the networks realized using optical transmission system and optical wireless systems. Due to high volume of transmitted data caused by associating the great number of data flows, very high error requests are expected during data transmission. In this paper it is to emphasize measuring procedures, estimate individual error parameters and to explain the relation between them.

Keywords: Bit Error Rate, Quality Factor, Dense Wavelength Division Multiplexing.

INTRODUCTION

The development in basic networks is performed by completely optical Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM [1], technology on terabit capacity on thousands of kilometres distance. The advantage of DWDM technology is the possibility of efficient recovery and signal amplification, using one amplifier with erbium-doped optical fiber for all channels in the same time, which is suitable for the transmission in the basic network.

Optical devices, which allow such capacity transmission, must cope with a number of physical parameters as signal attenuation, noise, polarization dispersion, nonlinear interference, and so on. The goal of this paper is to define the relation between error parameters in optical networks and optical wireless networks, where optical beam is transmitted through the atmosphere. The connections without optical fiber are sensitive to the transmission environment state and, comparing to pure optical fiber connections, their quality depends on the time of a day, climate, etc [2].

Chapter 2 explains the definition of bit error rate (BER) and defines the distribution to be used in the future. Chapter 3 defines the estimation of the accuracy of measuring the bit error ratio and determines the approximate required measurement time. The definition of the Q-factor is given in Chapter 4, while an overview of the relationship between BER and Q-Factors is explained in Chapter 5.

BIT ERROR RATE DEFINITION

One of the main parameters which define the connection quality for data transmission is BER. The quality of different data transmission systems may be compared using BER. The value of BER is expressed by the equation:

$$BER = \frac{N_{ERR}}{N_{BIT}}, \quad (1)$$

where N_{ERR} is the number of incorrectly transmitted bits and N_{BIT} is the total number of received bits in the defined time interval [3], [4].

In modern transmission networks information is transmitted in greater blocks, called packets. Each packet consists of a number of bits, which may be selected or prescribed by the network type. A faulty bit transmission causes the whole packet degradation [5]. When considering the error rate, the huge data amount is lost. This error rate is determined by the relation (2).

$$PER = \frac{N_{ERP}}{N_P}, \quad (2)$$

in this equation it is:
N_{ERP} – the transmitted packets number with at least one incorrectly transmitted bit;
N_P – the total transmitted packets number.

The relative time interval *p* is defined as the important error parameter for the connections without optical fiber. The value of *p* presents the percent of connection disruption *t* till the total time T_c according to the equation (3).

This parameter is based on the possibility of connection failure due to atmospheric turbulence and the received power fluctuation. In order to reliably determine this parameter it is necessary to select a sufficiently long period T_c. Its duration is usually one year.

$$p = \frac{\sum_{i}^{\infty} t_i}{v_i} \quad (3)$$

As it may be seen from (1), it is necessary to know the total number of transmitted bits N_{BIT}. This number may be determined by continuous monitoring of the transmitted bits number. The BER values for the analyzed systems are usually very low, for, example, 10^{-12}. In that case, at the bit-rate 155Mbps an error happens on average after each 6450s. At the bit-rate 2048 kbps the time interval between two successive errors is more than 500.000s. The measurement of BER corresponds to the Binomial distribution with the probability P_{BIN} according to the equation, [2]:

$$P_{BIN}(N_{ERR}, N_{BIT}, BER) = \frac{N_{BIT}!}{(N_{BIT} - N_{ERR})!} \cdot BER^{N_{ERR}} \cdot (1 - BER)^{N_{BIT} - N_{ERR}} \quad (4)$$

The value P_{BIN} expresses the probability that some number of errors happens in the total number of transmitted bits N_{BIT} for BER, [2], [6].

In the case that BER value is relatively low ($BER<10^{-4}$), and the total number of received bits is high ($N_{BIT}>10^5$), Poisson distribution approaches Binomial distribution and it is possible to use simpler Poisson distribution. In order to express the probability of some number of erroneous bits by Poisson distribution, it is necessary to define the parameter μ, which represents the probability of one erroneous bit transmission. The parameter μ may be defined as, [2], [6]:

$$\mu = BER \cdot N_{BIT}. \quad (5)$$

In such a case the Probability Density Function (PDF) of Poisson distribution for the a priori defined value of BER as the measurement experiment:

$$P_{POISS}(N_{ERR}, \mu) = e^{-\mu} \cdot \frac{1}{N_{ERR}!} \cdot \mu^{N_{ERR}}, \quad (6)$$

where N_{ERR} must be an integer, while μ may be any non-negative real number.

On the base of relations (4), (5), (6) and the BER values, it is possible to determine the probability of N_{ERR} erroneous bits in a total number of bits N_{BIT}. It is also possible to determine the total number of transmitted bits N_{BIT} for some value of BER with the desired accuracy.

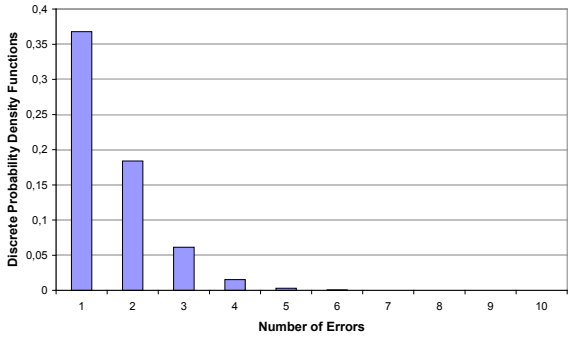
THE MEASUREMENT ACCURACY ESTIMATION OF ERRONEOUS BITS RELATIONS

The measurements realized on the base of PDF which defines BER allow presentation of accuracy estimations. As an example, it is possible to compare three BER values on a system with real $BER=10^{-12}$ and the only compared number of bits:

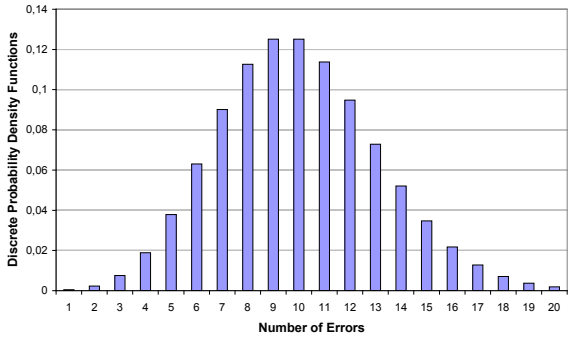
• $N_{BIT} = 10^{12}$ (μ =1). The probability to obtain one error in a test (which corresponds to the exact $BER=10^{-12}$) is 0.3679;

• $N_{BIT} = 10^{13}$ (μ =10). The probability of 10 errors (BER = 10^{-12}) is only 0.1215;
• $N_{BIT} = 10^{14}$ (μ =100). The probability of 100 errors (BER = 10^{-12}) is even lower. i.e. 0.0399.

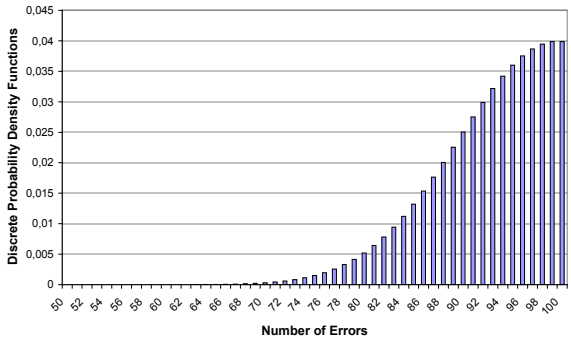
Does it mean that the results will be better if the lower number of bits is compared? The situation is quite the opposite. The Figure 1 presents discrete PDF values for various μ=1, μ=10 and μ=100. The absolute probability values are really higher for μ=1, but only because there is lower number of possible outcomes.



a)



b)



c)

Fig. 1. *Probability Density Functions for a Poisson distribution with μ=1 a), μ=10 b) and μ= 100 c)*

It is interesting to notice that for μ=1 the probability of no errors (BER=0) is completely the same as the probability of one error (BER=10^{-12}). But, for μ=10 the probability that there is no error is nearly zero ($4.54 \cdot 10^{-5}$). Besides, the probability of two errors for μ=1 (BER = $2 \cdot 10^{-12}$, two-fold real value) is 0.1839, but the probability of 20 errors in a case μ=10 (for the same BER) is only 0.00187. If it is supposed that only one incorrectly transmitted bit N_{ERR}=1 is considered and that the accuracy in error determination $P_{POISS}(N_{ERR},\mu)$ = 0.99 is expected, minimum and maximum values of parameter μ may be determined numerically. For the known BER value according to (5) the number of transmitted bits N_{BIT} may be also determined. The values μ_{min} = 0.1486 and μ_{max} = 6.6384 for N_{ERR} = 1 and $P_{POISS}(N_{ERR},\mu)$ = 0.99 are determined using the program Microsoft Excel. Min and max total number of received bits, N_{BIT}, for the specified BER are calculated using (5) and presented in Table 1.

Starting from the total number of bits, N_{BIT} and the transmission rate, v_i in bps, the necessary measurement time may be determined as,

$$t_{mer} = \frac{N_{BIT}}{v_i}. \qquad (7)$$

The calculated minimum values of measurement time to determine the value of BER are presented in Table 1.

Table. 1. *Measurement time for the transmission speed 2.048 Mbps in the range of 10^{-6} - 10^{-14}*

BER	N_{BIT} (bit)		t_{mer}	
	Min	Max	Min	Max
10^{-14}	$1.49 \cdot 10^{13}$	$6.64 \cdot 10^{14}$	84d 06:13:20	3750d
10^{-13}	$1.49 \cdot 10^{12}$	$6.64 \cdot 10^{13}$	8d 10:13:20	375d
10^{-12}	$1.49 \cdot 10^{11}$	$6.64 \cdot 10^{12}$	0d 20:13:20	37d 12:00:00
10^{-11}	$1.49 \cdot 10^{10}$	$6.64 \cdot 10^{11}$	0d 02:01:20	3d 18:00:00
10^{-10}	$1,49 \cdot 10^{9}$	$6.64 \cdot 10^{10}$	0d 00:12:08	0d 09:00:00
10^{-9}	$1,49 \cdot 10^{8}$	$6.64 \cdot 10^{9}$	0d 00:01:13	0d 00:54:00
10^{-8}	$1,49 \cdot 10^{7}$	$6.64 \cdot 10^{8}$	0d 00:00:07	0d 00:05:24
10^{-7}	$1,49 \cdot 10^{6}$	$6.64 \cdot 10^{7}$	0d 00:00:01	0d 00:00:32
10^{-6}	$1,49 \cdot 10^{5}$	$6.64 \cdot 10^{6}$	0d 00:00:00	0d 00:00:03

QUALITY FACTOR

Quality factor (Q-factor) determines the quality of digital signal from the analog view-point. That's why it is supposed to be the relation signal/noise. In practical measurements it is possible to determine the difference in signal level comparing to the noise level and additionally to estimate parameters as BER and Q-factor [7], [8], [9].

The difference between the signal level and noise level may be determined from the equation:

$$OSNR = 10\log\left(\frac{P_i}{N_i}\right) + 10\log\left(\frac{B_m}{B_r}\right), \qquad (8)$$

where it is:

P_i – mean power of optical signal in the i^{th} channel [W];

N_i – interpolated value of the mean noise power [W];

B_m – spectral bandwidth where measurements are performed [nm]:

B_r – reference bandwidth.

Quality factor may be calculated from the following equation (Figure 2):

$$Q = \frac{i_H - \gamma_{opt}}{\sigma_{iH}} = \frac{\gamma_{opt} - i_L}{\sigma_{iL}}, \qquad (9)$$

where it is:

γ_{opt} – optimum decision threshold,

i_L – the current which corresponds to the optical power level on a foto detector for the logical 0 signal,

i_H - the current which corresponds to the optical power level on a foto detector for the logical 1 signal.

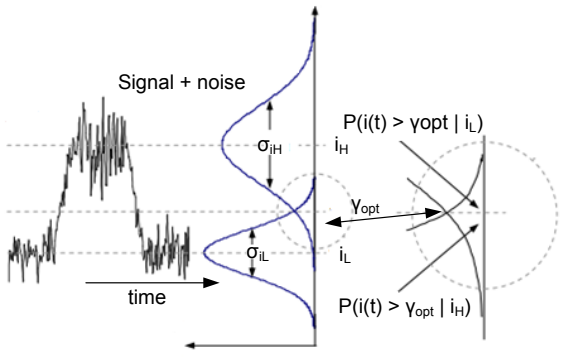


Fig. 2. *Probability of error for binary signalling, [11]*

If γ_{opt} is eliminated from (9), it is obtained the relation:

$$Q = \frac{i_H - i_L}{\sigma_{iH} + \sigma_{iL}} \qquad (10)$$

THE RELATION BETWEEN BIT ERROR RATE AND QUALITY FACTOR

Quality factor expresses the quality of DWDM systems, [2], [11], [12]. The characteristic of these systems is reliable transmission of high data quantities with small error probability. According to this consideration, error measurement in classical way would be very long-term, as presented in Table 2.

Synchronous Transport Module, STM is designated abbreviated as STM-x, where x is the variable representing the multiplier of the basic rate 155.52. Therefore, the transmission rate of STM-1 system is 155.52 Mbit/s, while the transmission rate of STM-4 is 622.08 Mbit/s (4·155.52 Mbit/s).

The transmission rate of Optical Carrier (OC) presents transmission speed of optical network and it is designated as OCk, where k is variable representing the multiplier of the basic rate 51.84 Mbit/s. Therefore, OC-1 fibers have the transmission rate 51.84 Mbit/s, while the transmission rate of OC-3 network is 155.52 Mbit/s (3·51.84 Mbit/s).

Table. 2. *Relationship between the length measurement of BER and Q-factor*

BER	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}	10^{-15}	10^{-16}	Speeds
STM-16/OC-48	7 min	70 min	11 hrs	6 days	46 days	2.5 Gb
STM-64/OC-192	2 min	17 min	3 hrs	28 hrs	12 days	10 Gb
STM-69/OC-420	1.75 min	2.05 min	1.83 hrs	2.57 hrs	1.9 days	20 Gb
STM-256/OC-768	52.5 sec	1.03 min	54.9 min	1.29 hrs	57 hrs	40 Gb
STM-640/OC-1920	12 sec	1.7 min	18 min	2.8 hrs	1.2 days	100 Gb
STM-1234/OC-3840	10.5 sec	12.3 sec	10.98 min	15.42 min	4.96 hrs	200 Gb

If suppose that the probabilities of bit values 0 and 1 are equal, the relation between BER and Q factor may be expressed as [13]:

$$BER = P(Error) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{iL}^2}} \int_{\gamma_{opt}}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{i-i_L}{\sigma_{iL}}\right)^2} di = \frac{1}{2} erfc\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \approx \frac{1}{Q \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \exp\left(-\frac{Q^2}{2}\right) \quad (11)$$

If the equation (11) is used for some range of Q-factor values, it is obtained the relation to BER, as presented in Figure 3. It is obvious from the Figure 3 that for the value Q = 6 BER is $1.012647 \cdot 10^{-9}$, while for Q = 7 BER is $1.304960 \cdot 10^{-12}$.

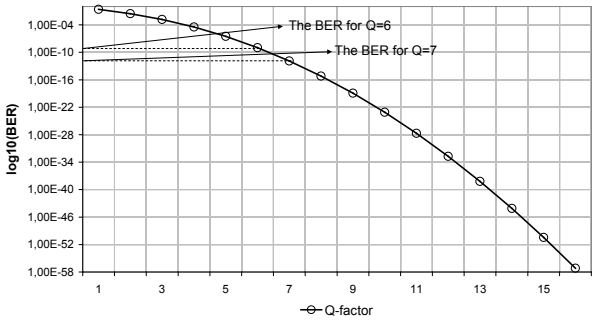


Fig. 1. *The relation between BER and Q-factor*

CONCLUSION

Optical fibers are dominant in basic networks and the development is realized by DWDM multiplexing of wavelenghts. The purpose of optical hierarchy is to compose the common platform for different network types to support the advanced service parts. In this paper the goal was to explain the connection between error parameters in optical wireless networks and nodes, leading to the conversion of optical signals into electrical signal [2], [10]. Further, the relation between Q-factor and BER is analyzed. The rate measurement, the independent digital signal structure and the wide area of transmission rates nominate Q-factor for DWDM systems monitoring.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper is realized in the framework of project TR 32007 and TR32051, which is cofinanced by Ministry of Education, Science and Technological Development of Republic of Serbia.

REFERENCE

[1] Stamatios V. Kartalopoulos. Introduction to DWDM Technology. Chapter 14: DWDM Systems, IEEE Communications Society. Sponsor. New York: John Wiley and Sons, Inc. Publication, 2000.

[2] Tomáš Ivaniga, Petr Ivaniga. Evaluation of the bit error rate and Q-factor in optical networks. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE). Nov - Dec. 2014; 9(6): 01-03.

[3] Andrea Goldsmith. Wireless Communications. by Cambridge University Press, 2005.

[4] Jahangir Alam S M, Rabiul Alam M, Guoqing Hu, Zakirul Mehrab Md. Bit Error Rate Optimization in Fiber Optic Communications. International Journal of Machine Learning and Computing, December 2011: 1(5).

[5] Ramin Khalili, Kavé Salamatian. A new analytic approach to evaluation of packet error rate in wireless networks. 3rd Annual Communication Networks and Services Research Conference (CNSR'05). 2005. DOI:10.1109/CNSR.2005.14.

[6] Mÿeller M, Stephens R, Mchugh R. Total Jitter Measurement at Low Probability Levels. Using Optimized BERT Scan Method. February 12. 2007. www.agilent.com/find/dca, http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5989-2933EN.pdf

[7] Neha Vaishampayan. Comparative Analysis of Bit Error Rate and Quality Factor at Different Power Levels over Fiber Optic Link . IJSRD - International Journal for Scientific Research and Development. 2015; 3(8).

[8] Anis1 AA, Rashidi CBM, Rahman AK, Aljunid SA, Ali N. Analysis of the effect of BER and Q-factor on free space optical communication system using diverse wavelength technique. EPJ Web of Conferences 162 01024, 2017. DOI: 10.1051/epjconf/201716201024.

[9] Lian K Chen, Calvin C K Chan, Lu GW, Ku YC, Ho ST, Chinlon Lin. Optical Performance Monitoring and Network Diagnosis in Reconfigurable Optical Networks. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, December 2007. DOI: 10.1117/12.747236.

[10] Maxim Integrated. Optical Signal-to-Noise Ratio and the Q-Factor in Fiber-Optic Communication Systems. Application Note HFAN-9.0.2. Rev.1. 04/2008.

[11] Tony Antony, Ashwin Gumaste. WDM Network Design. Chapter 4: Design of a Point-to-Point Link Based on Q-Factor and OSNR. Chapter 5: Calculation of Q-Factor from OSNR

Published Feb 7. 2003 by Cisco Press. Part of the Networking Technology series.

[12] Ashwin Gumaste, Tony Antony. DWDM Network Designs and Engineering Solutions. Chapter 2: Design and evaluate optical components in a DWDM network. Chapter 6: Design optical links based on OSNR. Chapter 7: Design a real DWDM network with impairment due to OSNR, dispersion and gain tilt. Part of the Networking Technology series. Published Dec 13. 2003 by Cisco Press.

[13] ITU-T O.201. Series O: Specifications of Measuring Equipment, Q-factor test equipment to estimate the transmission performance of optical channels. 07/2003.

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

SOME ADVANTAGES OF MULTI-BEAM TRANSMIT DIVERSITY SCHEME IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM

Verica Vasiljevic
Faculty of Information Technologies, Slobomir P Univerzitet, Bijeljina, Republic of Srpska, BIH

Hana Stefanovic
Information Technology School Belgrade, Serbia

Slobodan Obradovic
Information Technology School, Belgrade, Serbia

Ana Savic
School of Electrical and Computer Engineering of Applied Studies, Belgrade, Serbia

Abstract

In this paper some system performance measures of multi-beam transmit diversity scheme and diversity reception technique are compared. A flat fading Rayleigh multipath channel is assumed, while the noise is supposed to have the Gaussian probability density function on each receive antenna. It is assumed that channel response is known at the receiver side, while the channel experience by each transmit antenna to receive antenna is independent from the channel experience by other transmit antennas. Simulation models are developed using MATLAB, showing BER performance improved when more antennas are present at transmitter or receiver.

Keywords: transmit diversity, receive diversity, beamforming, fading channel, multi-beam.

INTRODUCTION

In mobile wireless communications, a profound understanding and improvement of propagation channel models are very important for system design and related performance analysis. Many modern communication systems, like wireless cellular systems or satellite communication systems operate in environments that are interference and bandwidth limited, where propagation characteristics are more complicated and multipath-induced fading and shadowing are a common problem [1]. A great number of channel models have been proposed to describe the statistics of the amplitude and phase of multipath faded signals [2]. As the result of multipath reception, the mobile antenna receives a large number of reflected and scattered waves [3]. The rapid fluctuations of the instantaneous received signal power due to multipath effects are usually described with Rayleigh, Rician, Nakagami-*m*, Nakagami-*q* or Weibull model [1]. This paper discusses the case of Rayleigh distribution, which models radio transmission in urban areas [1] where the direct LoS (line-of-sight) component between transmitter and receiver doesn't exist and the random fluctuations of the instantaneous received signal power are very frequent and fast.

Several models for simulating Rayleigh fading channel for different propagation conditions have been proposed [2, 6]. Some simulation algorithms used for generation of independent and correlated Rayleigh random variables are presented in [6]. Simulation models proposed for ad hoc mobile wireless networks and mobile-to-mobile communication channels are presented in [7, 8].

In order to combat multipath fading and shadowing effects and also effects of co-channel interference, the complex receiver structures, using complicated synchronization schemes, symbol estimators and diversity and MIMO (Multiple Input Multiple Output) techniques, are often applied [9, 10]. An efficient method for mitigating fading effects by using multiple receiver antennas is called space diversity [1, 4]. The main goal of space

diversity techniques is to improve transmission reliability without increasing transmission power and bandwidth while increasing channel capacity. There are several types of space combining techniques that can be generally performed depending on the amount of channel state information (CSI) available at the receiver. The most frequently used space-diversity schemes are: selection combining (SC), equal-gain combining (EGC) and maximal ratio combining (MRC) [1, 3].

MIMO (Multiple Input Multiple Output) antenna diversity systems have reached a great interest in recent years because if their possibility to increase a system performance and capacity [11, 12]. Because of these benefits, MIMO technology becomes an important part of modern wireless communication standards.

The main goal of using multiple antennas at both the transmitter and receiver is to improve communication performance, offering a significant increases in data throughput and link range, without additional bandwidth or additional transmit power [12]. It is realized by spreading the same total transmit power over antennas to achieve an array gain that improves the spectral efficiency or to achieve a diversity gain that improves the link reliability and also to reduce fading [4, 13].

MIMO technique increase either signal-to-noise ratio (SNR) or data throughput for a defined resource, or both [11]. In MIMO system, different signals are transmitted from the antennas at the same time and same frequency, using one of multiple antenna system concepts: diversity mode, spatial division multiplexing and beamforming [13, 14]. In the diversity mode, the same content is transmitted from the antennas with different coding (space-time coding), which leads to SNR increase. Spatial division multiplexing refers to system where different data streams are transmitted from the antennas. The different fading channels make it possible to distinguish between the data streams and thus increase the data rate. Beamforming is a technique where the signals are not transmitted omnidirectionally but where antenna arrays form a beam aimed toward each mobile user, which reduces interference between subscribers [13, 14].

In this paper the performance measures of transmit diversity system and system that uses beamforming scheme are derived and compared with receive diversity system performance measures.

SYSTEM MODEL

The Rayleigh distribution is frequently used to model multipath fading in mobile systems where no LoS path exists between transmitter and receiver antennas. It also applies to the propagation of reflected and refracted paths through the troposphere and ionosphere and ship-to-ship radio links [4].

For simulating the Rayleigh fading effect, each transmitted symbol gets multiplied by randomly varying complex number, which real and imaginary parts are Gaussian distributed variables having mean 0 and variance 0.5. It is assumed that noise on each fading path is independent from the noise on the other fading paths.

In simulation models presented in this paper MIMO systems are analyzed with one or two transmit antenna (L_t=1, 2) and one or two receive antenna (L_r=1, 2) under Rayleigh fading conditions.

When multiple antennas are available at the receiver, the transmission quality can be improved through exploiting receive beamforming, which is useful for uplink, such as from mobile transmitter to base station, as the base station is usually equipped with multiple antennas [13]. Equipping multiple antennas at the mobile terminal may not be practical due to size limitations and complexity constraint. The downlink performance is usually improved using the base station antennas creating transmit beamforming or transmit diversity [14].

When the channel state information (CSI) at the transmitter is known, transmit beamforming can be used to achieve array gain, but no diversity, and when CSI is not available, transmit diversity technique can be used to achieve diversity gain with no array gain.

In this paper the performance of transmit diversity system and transmit beamforming system are evaluated, and also compared to some other techniques used in fading propagation conditions.

It is assumed that the channel is flat fading (which means the channel has only one tap) and the channel experience by each transmit antenna to receive antenna is independent from the channel experience by other transmit antennas.

Each transmitted symbol from *i*-th transmit antenna to receive antenna gets multiplied by randomly varying complex number h_i. For simulating the Rayleigh fading effect, the real and imaginary parts of h_i are generated as Gaussian distributed variables, having mean 0 and variance 0.5. It is also supposed that the channel parameters h_{ji} are known at the receiver. The effect of additive white Gaussian noise (AWGN) is added at the receiver, having the Gaussian probability density function. It is assumed that noise on each fading path is independent from the noise on the other fading paths.

In transmit beamforming system, signal at the receive antenna is given by:

$$y = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ x \end{bmatrix} + n = (h_1 + h_2)x + n \qquad (1)$$

where y is the received symbol, x is the transmitted symbol, h_i is the channel state on the *i*-th transmit antenna, and n is the noise on the receive antenna

When transmit beamforming is applied, the symbol from each transmit antenna is multiplied by a complex number corresponding to the inverse of the phase of the channel so as to ensure that the signals add constructively at the receiver. In this scenario, the received signal is given by:

$$y = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \exp(-j\theta_1) \\ \exp(-j\theta_2) \end{bmatrix} x + n \qquad (2)$$

Since $h_1=|h_1|\exp(j\theta_1)$ and $h_2=|h_2|\exp(j\theta_2)$, the received symbol is:

$$y = (|h_1| + |h_2|)x + n \qquad (3)$$

For equalization, the received symbol is divided by new effective channel, and it is given by:

$$\hat{y} = \frac{y}{(|h_1| + |h_2|)} = x + \frac{n}{(|h_1| + |h_2|)} \qquad (4)$$

In simulation process, the random binary sequence of +1 and -1 is generated, and the symbols are multiplied by a complex number corresponding to the inverse of the phase of the channel. After performing equalization at the receiver and hard decision decoding, the bit error are calculated and plotted for different values of E_b/N_0.

Simulation results are presented in Fig.1, and compared with simulation results presented in [16, 17].

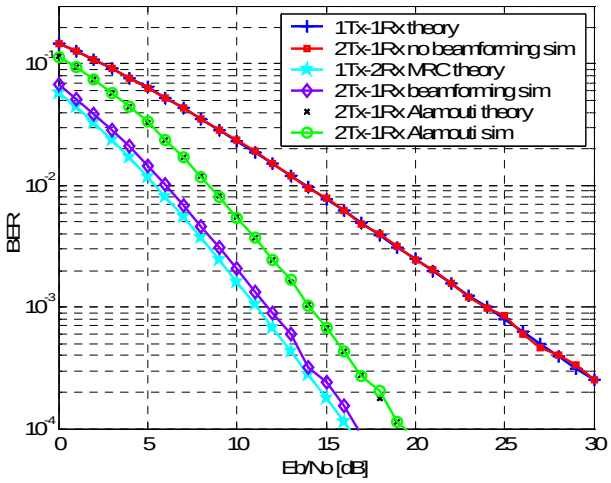


***Fig. 1**. BER performance of transmit diversity, transmit beamforming and receive diversity reception with MRC, in Rayleigh fading channel*

Alamouti transmit diversity scheme based on Space Time Block Coding (STBC) is analyzed in [10], while some simulation results are presented in [17]. In Alamouti based transmit system, symbols are grouped (into groups of two), so two time slots are required to send two symbols. Hence, there is no change in the data rate in Alamouti scheme.

In Alamouti STBC, the total transmit power is twice of that used in MRC, since symbols are transmitted from two antennas. In order to make a good comparison, the total transmits power from two antennas in STBC case are scaled to be equal to the power transmitted from a single antenna in the MRC case. With this scaling, BER performance of Alamouti STBC scheme with two transmit and one receive antennas, has a roughly 3 dB poorer performance [17] than MRC diversity system

with one transmit and two receive antennas, as it is illustrated in Fig.1.

DISCUSSION OF RESULTS

Simulation results show that sending the same information on two transmit antenna does not provide diversity gain, as it is expected. Due to the fact the effective channel h_1+h_2 in two transmit antenna system without beamforming is again a Rayleigh channel, BER performance is identical to one transmit-one receive antenna system in Rayleigh fading conditions.

In the case when beamforming is applied, the transmit symbols are multiplied by a complex number corresponding to the inverse of the phase of the channel so as to ensure that the signals add constructively at the receiver, and diversity gain is achieved. BER performance is slightly poorer than in one transmit-two receive antenna system with MRC, because the noise is scaled by $|h_1|+|h_2|$ in transmit beamforming system, while the noise is scaled different in receive diversity system using MRC.

The beamforming system uses closely spaced antennas, while transmit diversity uses widely spaced antennas. It is well known that the fading correlation between two antennas decreases as the separation and the angular spread increase. It can be concluded that using closely spaced antennas, the beamformer will achieve most of available array gain, but spacing the antennas relatively far apart will enable the transmit diversity system to operate with uncorrelated fading in significant angular spread conditions. When angular spread is small, the fading will be partially correlated.

CONCLUSION

The objective of this paper is to examine the difference between performance of transmit diversity system and transmit multi-beam scheme, which uses beamforming to point a relatively narrow beam at the mobile station. Both systems are assumed to use the same number of transmit antennas and same transmit power. Simulation results show that beamforming scheme leads to considerable performance improvements, but still inferior to ideal receive diversity system that uses MRC, which offers both diversity and array gain.

The beamforming system is assumed to be designed so that the fading at the antennas is highly correlated for a wide range of angular spreads, and transmit diversity system is designed so that the fading is uncorrelated for all angular spreads in small range. For a given number of antennas and transmitters and for a given fading channel conditions, the system designer may choose to put the antenna close together and form a beam, or to put them far apart and use transmit diversity.

ACKNOWLEDGEMENT

The work presented in this paper has partially been funded by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia: III44006

REFERENCE

[1] B. Kumbhani, R.S. Kshetrimayum, *MIMO Wireless Communications over Generalized Fading Channels*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 2017.

[2] W. Y. C. Lee, *Mobile Cellular Communications,* McGraw-Hill Education, 2005.

[3] M. Pätzold, *Mobile Radio Channels*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2012.

[4] J. Proakis, *Digital Communications*, 3rd ed., McGraw-Hill College, New York, 1999.

[5] W. H. Tranter, K. S. Shanmugan, T. S. Rappaport and K. L. Kosbar, *Principles of Communication Systems Simulation with Wireless Applications*, Prentice Hall, 2004.

[6] D. J. Young and N. C. Beaulieu, "The Generation of Correlated Rayleigh Random Variables by Inverse Discrete Fourier Transform", *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 48, pp. 1114-1127, July 2000.

[7] K. K. Loo *Mobile Ad Hoc Networks: Current Status and Future Trends,* CRC Press, Boca Raton, Florida, 2017.

[8] .C.G. L. Stüber, *Principles of Mobile Communication 4th ed.* Springer, New York, 2017.

[9] L. Zheng and D. Tse, "Diversity and multiplexing: a fundamental tradeoff in multiple-antenna channels", *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol. 49, pp. 1073-1096, May 2003.

[10] S. M. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communication", *IEEE J. Select. Areas*

Commun., vol. 16, no. 8, pp. 1454-1458, October 1998.

[11] P. Li, D. Paul, R. Narasimhan and J. Cioffi, "On the distribution of SINR for the MMSE MIMO receiver and performance analysis," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 52, pp. 271-286, January 2006.

[12] N. Prasad and M. K. Varanasi, "Analysis of decision feedback detection for MIMO Rayleigh fading channels and the optimization of rate and power allocations," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 50, pp. 1009-1025, June 2004.

[13] D. Palomar, J. Cioffi, and M. Lagunas, "Joint Tx-Rx beamforming design for multicarrier MIMO channels: A unified framework for convex optimization," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 51, pp. 2381-2401, September 2003.

[14] B. Friedlander and S. Scherzer, "Beamforming vs. Transmit Diversity in the Downlink of a Cellular Communications System," *in Proc. Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computers*, vol. 2, November 2001, pp. 1014-1018.

[15] O. E. Ayach, R.W. Heath Jr., S. Abu-Surra, S. Rajagopal, and Z. Pi, "The capacity optimality of beam steering in large millimeter wave MIMO systems," in *Proc. IEEE Intern. Workshop Signal Process. Adv. Wireless Commun*. (SPAWC12), Jun. 2012, pp. 100-104

[16] H. Stefanovic and D. Milic, "Some statistical characteristics of MRC signal envelope in Rayleigh fading environment", *Int. J. of Engineering Research and Applications–IJERA*, vol. 3, no. 5, pp. 672-675, September-October 2013.

[17] H. Stefanovic, I. Stefanovic and D. Milic, "Some Simulation Models of MIMO Systems under Rayleigh Fading Conditions", *in Proc. Int. Conf. Information Systems and Technology Innovation–ISTI 2012*, Tirana, Albania, June 2012, pp. S1_15.

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

МОДЕЛИРАНЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ НА МНОГОКАНАЛНИ ОПТИЧНИ КОМУНИКАЦИОННИ ЛИНИИ

MODELLING AND OPTIMIZATION OF MULTICHANNEL OPTICAL COMMUNICATION LINES

Krasen Kirov Angelov
Technical University of Gabrovo, Bulgaria

Stanimir Mihailov Sadinov
Technical University of Gabrovo, Bulgaria

Panagiotis Gregorios Kogias
International Hellenic University, Greece

Abstract

The paper presents a modeling and optimization process for multi-channel optical communication lines. For this purpose, a 4-channel optical WDM network is considered at a 40 Gbps transmission rate. The objective is to achieve optimization of the optical transmission line parameters when using basic modulation formats, according to criteria providing a minimum value of BER (Min. BER) or maximum Q factor (Max. Q).

Keywords: WDM, NRZ, RZ, OSNR, SMF.

INTRODUCTION

The modern optical communications networks are based on WDM technology and its varieties [3, 9].

In a large number of cases, the necessary design and calculations use a combination of specialized calculation methods and complex specialized software tools [1, 2, 5-8]. Taking into account the multiple interconnected parameters, achieving an optimal solution for the parameters of the communication system is an extremely complex task.

The main purpose of this work is modeling, simulation and optimization of a 4-channel optical communication line with spectral multiplexing at 40 Gbps and different output data: optical line length, optical power of transmitters and modulation formats used (NRZ and RZ).

MODELING OF MULTICHANNEL OPTICAL COMMUNICATION LINE

A. Model description

The implementation of a simulation model of a multichannel WDM system for the study of the parameters and characteristics of the transmitted optical signals will be described. The selection and setting of the individual blocks in the model is consistent with the following initial conditions:

- number of multiplexing channels: 4;
- wavelength range: $\lambda = 1550$ nm;
- number of amplifying sections: 5;
- line length: 500 km
- type of optical fiber: SMF;
- optical signal modulation format: NRZ, RZ;
- channel bandwidth: 40 Gbps.

It is used Optiwave OptiSystem as a modeling software, which is a comprehensive software package for planning, designing, testing and simulation of the optical links at the physical layer of modern optical networks [1, 2, 4, 6].

For the realization of a 4-channel optical system, it is necessary to multiplex / demultiplex the optical signals from 4 separate optical signal sources. For this purpose, 4 externally modulated optical transmitters were created, each containing a continuous wave laser source, random bit sequence generator, NRZ or RZ signal encoder and Mach-Zender optical signal modulator – Fig. 1.

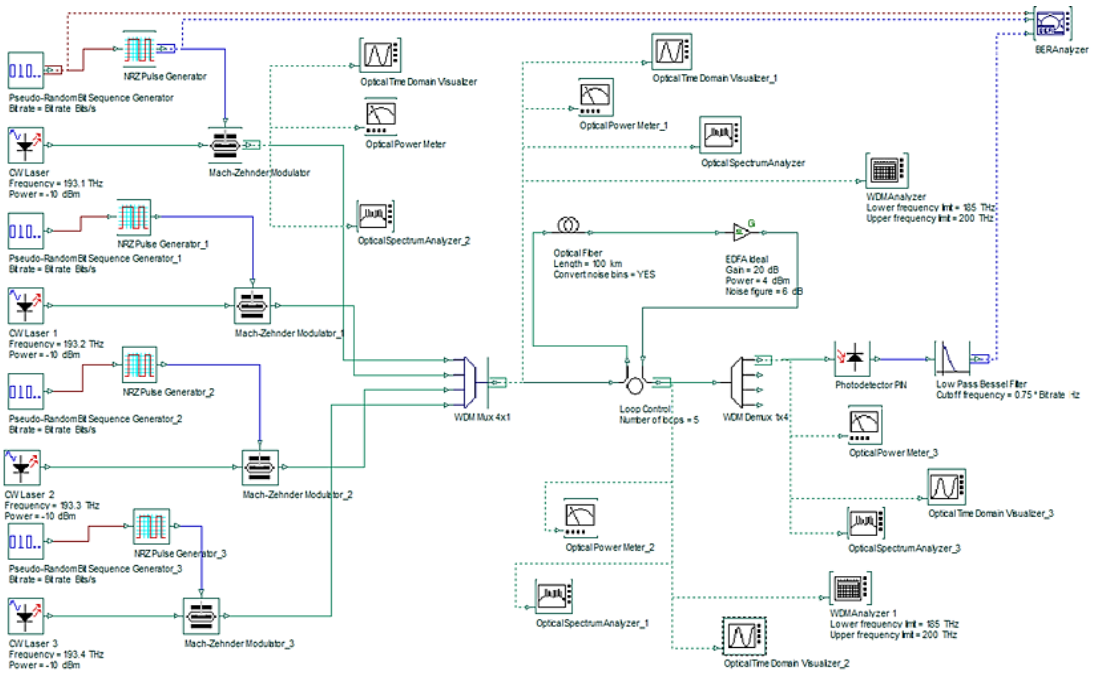


Fig. 1. *Simulation model of a 4-channel optical communication line with spectral multiplexing*

The frequency / wavelength settings for each of the optical transmitters are summarized in Table 1.

Table 1. *Frequency / wavelength settings of the optical transmitter in 4-channel WDM system*

Optical transmitter	Carrier wavelength, nm	Frequency, THz
CW laser 0	1552,52438115	193,1
CW laser 1	1551,720797101	193,2
CW laser 2	1550,91804449	193,3
CW laser 3	1550,116122027	193,4

In RZ coding, a RZ block impulse generator is used instead of the NRZ pulse generator (Fig. 1).

The resulting 4 NRZ/RZ modulated optical signals at different wavelengths in the 1550 nm range have to be spectrally multiplexed using a WDM 4x1 multiplexer.

The length of each amplifying section is set by the length of the optical fiber in the Optical Fiber block (Fig. 1). The length of the optical fiber for the simulation model is 100 km. The fiber optic block settings are as follows:

- attenuation of the fiber: 0,2 dB/km;
- dispersion: 17 ps/nm/km;
- effective area: 80 μm^2;
- refractive index of the fiber: $n_2 = 2{,}6.10^{-20}$ m^2/W;
- fiber length: 100 km.

Five amplifying sections are modeled, which sets the overall length of the 500 km.

An EDFA amplifier performs the amplification in each amplifying section with the following settings:

- amplifier gain: 20 dB;
- output optical power level: 4 dBm;
- noise figure: 6 dB.

The following blocks are used to create an optical receiver:

- PIN photodetector with sensitivity –25 dBm;
- Low Pass Bessel Filter, which filters the noise after the decision device in the optical detector; the filter parameters are: 4th order filter wit cut-off frequency of 0,75* Bit rate = 30 GHz.

The full model by which the simulation studies of the 4-channel WDM system will be realized in the case of NRZ encoding the optical signal is shown in Fig. 1.

The following virtual measuring blocks are used for the study:

- optical time domain visualizer;
- optical spectrum analyzer;
- BER analyzer;
- WDM analyzer;
- optical power meter.

B. Optimization task

The basic criteria for optical communication lines with spectral multiplexing in an optimal case search are the following:

- maximum permissible BER value: it is accepted BER = 1.10^{-12};
- Q-factor value at BER admissible value: Q > 6;
- optical signal-to-noise ratio (OSNR): OSNR > 12.

As a further criterion in the evaluation of the system parameters, the basic characteristics of the optical signal are used:

- eye-diagram;
- spectral characteristics of the optical signal - to evaluate the effects of various effects such as signal dispersion, four-wave mixing, and the noise level in the channel;
- time diagrams of the optical signal – to evaluate the interference, group velocity dispersion, etc.

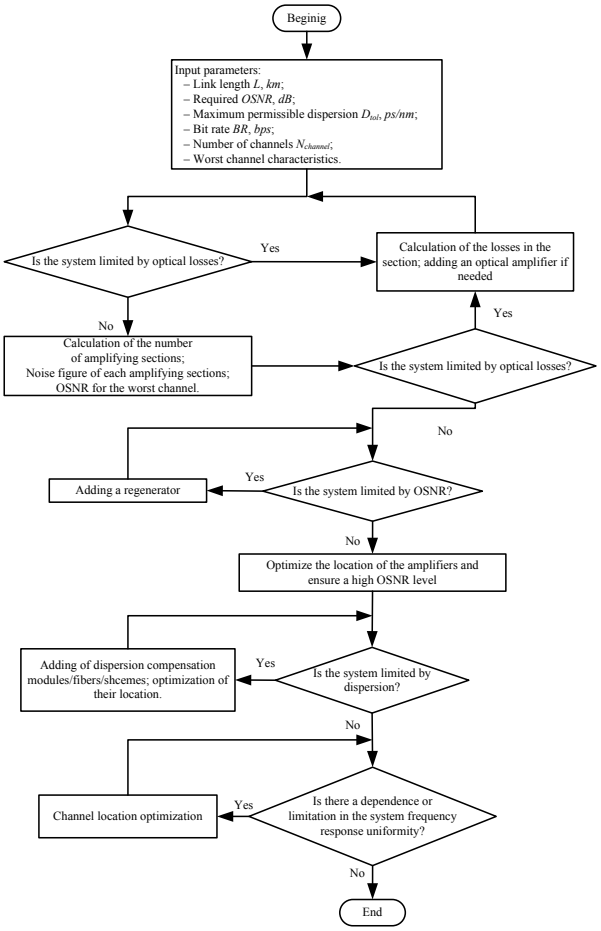


Fig. 2. *WDM optical line optimization algorithm*

Based on these characteristics, in Fig. 2 is shown an algorithm for optimal planning and optimization of parameters for WDM optical communication line.

RESULTS

In Fig. 3 and Fig. 4 are shown graphical dependencies for determining the optimum power of optical transmitters in the case of RZ and NRZ modulation.

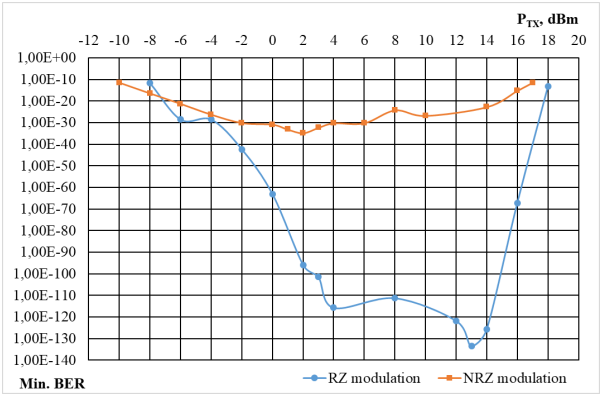


Fig. 3. *Comparative graphic dependency* $P_{TX} = f(Min.\ BER)$

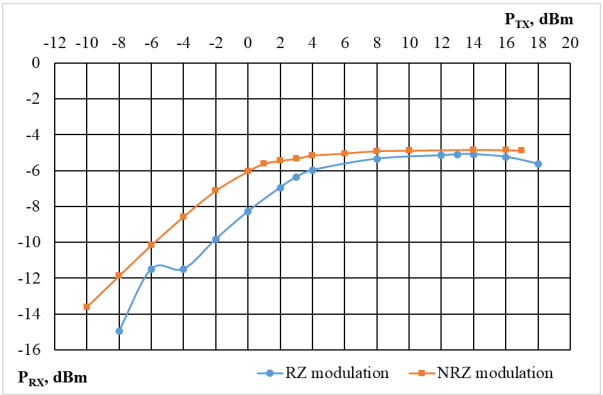


Fig. 4. *Comparative graphic dependency* $P_{TX} = f(P_{RX})$

As can be seen from Fig. 3 and Fig. 4, using RZ modulation, much better BER (the highest minimum) or Q-factor (the highest maximum) values are achieved for a wide range of variation of the input optical power P_{TX}.

From the transmission characteristic in Fig. 4 it is evident that the NRZ modulation has more linear characteristic but the saturation zone occurs at a significantly lower input optical power P_{TX}.

Drawing from the graph in Fig. 3, the following special cases may be defined:

– lower boundary case (Min. BER = 1.10^{-12}): for NRZ modulation $P_{TX\ min}$ = –10 dBm, and for RZ modulation $P_{TX\ min}$ = –8 dBm;
– optimal case (lowest possible value for Min. BER): for NRZ modulation $P_{TX\ opt}$ = 2 dBm, and for RZ modulation $P_{TX\ opt}$ = 4 and 13 dBm;
– upper boundary case (Min. BER = 1.10^{-12}): for NRZ modulation $P_{TX\ max}$ = 17 dBm, and for RZ modulation $P_{TX\ max}$ = 18 dBm.

Table 2 summarizes the values of the measured basic parameters obtained for both for both boundary cases ($P_{TX\ min}$ и $P_{TX\ max}$) and for the optimum value ($P_{TX\ opt}$) of the optical power of the transmitter for NRZ modulation, and Table 3 – for NRZ modulation.

Table 2. *Experimental results for NRZ modulation*

Parameters	$P_{TX\ min}$ = -10 dBm	$P_{TX\ opt}$ = 2 dBm	$P_{TX\ max}$ = 17 dBm
Power P_{RX}, dBm	-13,603	-5,454	-4,876
Average noise level in single channel, dBm	-80	-83	-84
Average noise level, dBm	-53,5	-54,5	-56,2
Optical rise time, ns	0,283	0,409	0,430
Output OSNR for single channel, dBm	12,03	22,03	23,18
Optical Bandwidth, pm	80	130	240
Level and number of parasitic wavelengths	-	-44,7 dBm x 1	-44 dBm x 2

Table 3. *Experimental results for RZ modulation*

Parameters	$P_{TX\ min}$ = - 8 dBm	$P_{TX\ opt1}$ = 4 dBm	$P_{TX\ opt2}$ = 14 dBm	$P_{TX\ max}$ = 18 dBm
Power P_{RX}, dBm	-4,953	-5,977	-5,094	-5,62
Average noise level in single channel, dBm	-80,23	-82,35	-83,26	-82,96
Average noise level, dBm	-53,50	-55,81	-56,01	-56,13
Optical rise time, ns	0,297	0,308	0,335	0,377
Output OSNR for single channel, dBm	10,77	21,46	23,02	22,87
Optical Bandwidth, pm	80	150	200	290
Level and number of parasitic wavelengths	-	-45,39 x 1	-44,09 x 2	-

Since one of the main objectives of the presented model is to determine the optimal solution – the optimum optical power of the transmitter in function of the value of several parameters, in Table 4 and Fig. 5 are summarized the results of the multiparametric analysis for NRZ modulation and in Table 5 and Fig. 6 – for RZ modulation.

Table 4. *Multiparametric analysis $Q = f(P_{TX}, l)$ for NRZ modulation*

Q-factor		Link length (*l*), km		
		400	500	600
P_{TX}, dBm	0	14,858	11,612	10,005
	1	15,499	12,053	10,307
	2	16,324	12,369	10,582
	3	15,617	11,9	10,111
	4	14,709	11,492	9,978
	6	14,577	11,479	9,876

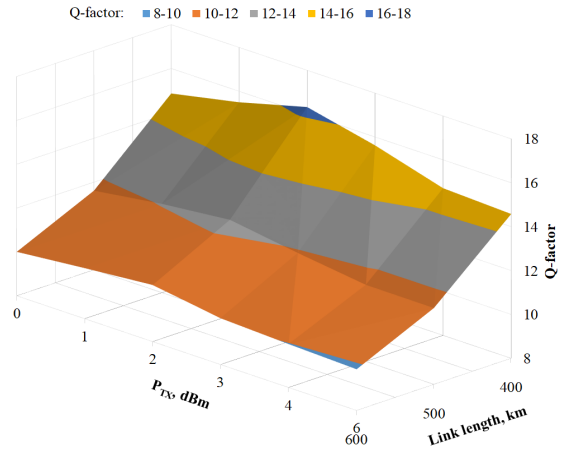


Fig. 5. *Graphical dependence of Q-factor from P_{TX} and line length l for NRZ modulation*

Table 5. *Multiparametric analysis $Q = f(P_{TX}, l)$ for RZ modulation*

Q-factor		Link length (*l*), km		
		400	500	600
P_{TX}, dBm	0	14,858	11,612	10,005
	2	16,324	12,369	10,582
	4	14,709	11,492	9,978
	8	28,954	22,443	16,173
	12	30,347	23,494	17,087
	13	29,84	24,615	17,184
	14	29,438	23,876	17,383
	16	20,228	17,344	13,354

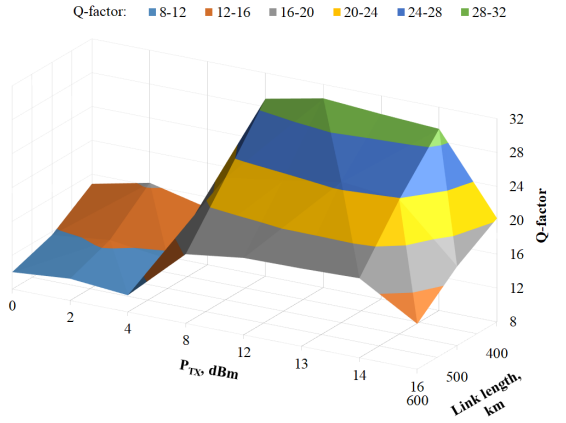


Fig. 6. *Graphical dependence of Q-factor from P_{TX} and line length l for RZ modulation*

From the graphical dependencies, the maximum Q-factor is determined: for NRZ modulation Q_{max} = 16,324 at the optical line length 400 km and P_{TX} = 2 dBm, and for RZ modulation Q_{max} = 30,347 at the optical line length 400 km and P_{TX} = 12 dBm.

CONCLUSION

The developed model and algorithm offer a convenient and easy analysis and solving of optimization tasks in designing, planning and analyzing the behavior of optical networks with spectral multiplexing.

The use of RZ modulation provides better signal parameters – a minimum BER value and a maximum Q-factor for a wide range of optical transmitter power, compared to the use of NRZ modulation.

Regardless of the better parameters, using RZ modulation results in worse time and spectral characteristics – a higher level of intersymbol interference and wider spectra with higher level of sideband lobes than NRZ modulation.

ACKNOWLEDGMENT

The presented work is supported under project 1910E “Development and Research of Innovative Information-Based Modules and Systems for Communications in Internet of Things (IoT)” by the University Center for Research and Technology at the Technical University of Gabrovo.

REFERENCES

[1] Hristov G., T. Iliev, P. Zahariev, and M. Iliev. Simulation and evaluation of the bandwidth estimation algorithm with various types of filters. Proceedings of the International Conference on Information Technology Interfaces, ITI, art. no. 4588521, pp. 845-850. 2008.

[2] Sadinov S., Simulation Study and Analysis in Transmitting RZ and NRZ Coded Signals into 10Gbpz Optical Line with Optical Amplifying Sections, Scientific and technical journal “Electrotechnica & Electronica E+E”, Vol. 52, No 9-10/2017, CEEC, Sofia, Bulgaria, 2017, pp.9-14, ISSN 0861-4717.

[3] Nahal F., M. Alhalabi, and A. Husein, Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network (WDM - PON) Technologies For Future Access Networks, Journal of engineering research and technology, Vol. 2, Issue 1, 2015, pp.34-40.

[4] Latak J., J. Vitasek, P. Koudelka, P. Siska, R. Poboril, L. Hajek, A. Vanderka, and V. Vasinek, Simulation of Modulation Formats for Optical Access Network Based on WDM-PON, IEEE conference, 978-1-4799-5601-2, 2014.

[5] Singh J., P. Gilawat, B. Shah, Performance Evaluation of 32×40 Gbps (1.28 Tbps) FSO Link using RZ and NRZ Line Codes, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Vol. 85, No 4, 2014, pp.32-36.

[6] Angelov K., S. Sadinov, P. Kogias and M. Malamatoudis, Simulation Study and Analysis of High Speed Single Channel Transmission in Optical Communication Line, Proc. IX National Conference with International Participation Conference "Electronica 2018", Sofia, Bulgaria, IEEE Catalog Number CFP18P58-POD, ISBN (online) 978-1-5386-5801-7, pp. 162-165.

[7] Kaur M., Er. Bharti, Performance Analysis of Optical Fiber Communication Systems For NRZ, RZ and Doubinary Formats, International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS), Vol. 1, Issue-5, 2015, pp.81-84.

[8] Sadinov S., K. Angelov, P. Kogias, M. Malamatoudis, Iterative Estimation and Simulation Analysis of the Amplifying Sections in Optical Communication Network, Proc. XXVI International Scientific Conference Electronics - ET2017, September 13-15, 2017, Sozopol, Bulgaria, ISBN 978-1-5386-1752-6, pp.300-303.

[9] Gupta M., G. Singh, 2×40 Gbps WDM-PON long haul system using FBG and Dicode, Workshop on Recent Advances in Photonics (WRAP), Bangalore, 2015, 2015 pp. 1-4.

ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА ПРЕД НОВИЯ РАДИО ИНТЕРФЕЙС ПРИ 5G МРЕЖИТЕ

CHALLENGES TO THE NEW RADIO-ACCESS NETWORK, IMPLEMENTED IN 5G

Teodor Iliev, Grigor Mihaylov, Elena Ivanova, Ivaylo Stoyanov
University of Telecommunications and Post, 1 acad. Stefan Mladenov, Sofia 1700, Bulgaria
University of Ruse, 8 Studentska, Ruse 7017, Bulgaria
tiliev@uni-ruse.bg, gregmihaylov@gmail.com, epivanova@uni-ruse.bg, stoyanov@uni-ruse.bg

Abstract
5G wireless access is envisioned to enable a networked society, where information can be accessed and shared anywhere and anytime, by anyone and anything. To enable a truly networked society, there are three major challenges: a massive growth in the number of connected devices; a massive growth in traffic volume and a wide range of applications with diverse requirements and characteristics. To address these challenges, 5G wireless access not only requires new functionalities but also substantially more spectrum and flexible new radio interface.

Keywords: 5G networks, radio access, MIMO.

ВЪВЕДЕНИЕ

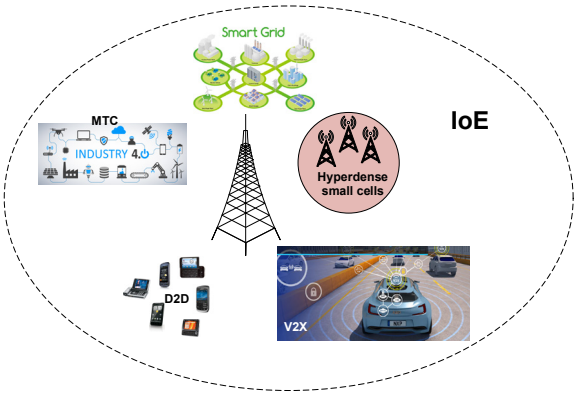
Нарастването на мобилния трафик се дължи главно на увеличеното потребление на мобилни устройства и най-вече на смартфони. Темпът на нарастване на мобилния трафик на данни е много по-висок от гласовия трафик. Мобилният гласов трафик е изпреварен от мобилния трафик на данни, като нарастването на тази тенденция показва, че в световен мащаб мобилният трафик се увеличава с 1000х от 2010 до 2020 г. Друг основен фактор, свързан с огромния растеж на мобилния трафик, е нарастващото търсене на усъвършенствани мултимедийни приложения – с високо разделителна способност, 3D видео, както и виртуалната реалност. [1]

Освен увеличеният мобилен трафик, нарастващият брой свързани устройства налага още едно предизвикателство пред бъдещата мобилна мрежа от пето поколение. Може да се твърди, че в бъдеще всички устройства ще бъдат взаимно свързани – под общото наименование Интернет на всичко (*Internet of Everything IoE*), където десетки до стотици устройства ще бъдат свързани едно с друго и могат да бъдат използвани от всеки. Тази инфраструктура на мрежите от пето поколение и използването на големи бази данни ще бъдат началото на създаването на интелигентни градове. Данните ще бъдат генерирани навсякъде – както от хора, така и от машини, и ще бъдат анализирани в реално време, за да се извлече полезна информация, от навиците и предпочитанията на хората към състоянието на движението по улиците, както и мониторинг на здравето на пациентите и възрастните хора. Мобилните комуникации ще играят основна роля в осигуряването на ефективен и безопасен транспорт, като позволяват на превозните средства да комуникират както помежду си, така и с пътна инфраструктура, за да предупреждават или дори да помагат на водачите в случай на непредвидими опасности. Този тип комуникация между отделните устройства изисква много малко закъснение (по-малко от 1 ms), което налага допълнителни предизвикателства при разработването на бъдещата мрежа. [2]

ИЗЛОЖЕНИЕ

Както е показано на фиг. 1, 5G мрежата е конвергентна комуникационна система, поддържаща широка гама от приложения

от мобилен гласов трафик, мобилен интернет (Gbps) до комуникация устройство до устройство (*D2D*) и моторно превозно средство до всичко (*V2X*), както и приложения за обществена безопасност. Производителността на комуникационната система по отношение на покритие, капацитет и енергийна ефективност (*EE*) ще бъде допълнително подобрена в зоните с радио сянка с помощта на релейни станции, използване на малки клетки или разтоварване на трафика посредством Wi-Fi мрежи или милиметрови вълни. Облачните технологии може да бъдат приложени към мрежата за радио достъп (*RAN*), а от там и на мобилните потребители, които могат да формират виртуални ресурси, управлявани от мрежата. Привеждането на приложенията през облачната инфраструктура по-близо до крайния потребител позволява да се намали латентността при комуникацията. [3]



***Фиг. 1**. Архитектура на мобилна мрежа от пето поколение*

Радио интерфейсът при 5G мрежите е отговорен за всички функции на цялата мрежа, свързани с планиране, управление на радио ресурси, протоколи за препредаване, кодиране и различни схеми с множество антени.

Основната мрежа при 5G е отговорна за функции, които не са свързани с радио интерфейса, но са необходими за осигуряване на пълното функциониране на мрежа. Това включва удостоверяване, функционалност за зареждане и настройка на комуникациите от край до край. Обработката на тези функции се осъществяват поотделно, вместо да се интегрират в RAN, тъй като позволява няколко технологии за радио достъп да се обслужват от една и съща основна мрежа. Възможно е обаче мрежата за радио достъп да се свърже и с основната част от архитектурата на LTE (*Long-Term Evolution*), известна като еволюирано пакетно ядро (*Evolved Packet Core EPC*).

Основната мрежа при 5G се основава на EPC, но с допълнени три нови области, в сравнение с EPC: архитектура, базирана на услуги, поддръжка на мрежово разделяне и разделяне на контролна равнина / потребителска равнина.

Базираната на услуги архитектура е в основата на 5G ядрото. Това означава, че спецификацията се фокусира върху услугите и функционалностите, предоставени от основната мрежа, а не върху възли като такива. Това се дължи на факта, че основната мрежа днес е силно виртуализирана с функционалността на основната мрежа, работеща на общ мрежови хардуер.

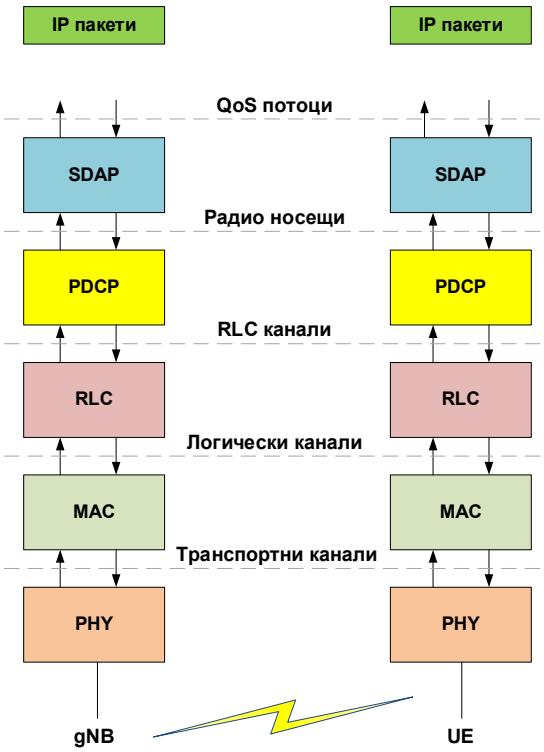
5G NR ФИЗИЧЕСКИ СЛОЙ

Подобно на всяка безжична технология, физическият слой формира гръбнака на новият радио интерфейс при 5G мрежата. Физическият слой трябва да поддържа широк диапазон от честоти (от под 1 GHz до 100 GHz) и различни вариант за изграждане на мрежата (пико клетки, микро клетки, макро клетки). Очаква се в бъдеще да има и нови приложения с нови изисквания. За успешно справяне с тези предизвикателства, 3GPP разработват гъвкав физически слой за новият радио интерфейс (*NR*). Новият радио интерфейс е първата по рода си технология за мобилен достъп до радиочестотния спектър от милиметрови вълни (с честота до 100 GHz), насочена към честотната лента на каналите в диапазона GHz, и дава възможност за използването на масивни многоантенни системи.

В 3GPP, базовата станция е реализирана на логически мрежов възел за радиодостъп. 5G NR базовата станция е наречена възел B от следващо поколение (gNB). Важно е да се подчертае, че gNB е логическа единица, а не физическа реализация на базова станция. Базова станция може да бъде реализирана по различни начини въз основа на стандартизиран gNB протокол.

Архитектурата на протоколите за новият радио интерфейс може да бъде разделена

на архитектурата на контролната равнина и архитектурата на потребителската равнина. Потребителската равнина доставя потребителски данни, докато контролната равнина е главно отговорна за настройката на връзката, мобилността и сигурността. На фиг. 2 е показан протоколният стек на потребителската равнина на NR.



***Фиг. 2**. 5G NR User-plane protocol stack*

Протоколът е разделен на следните слоеве: физически (*PHY*) слой, слой за контрол на достъпа до средата (*MAC*), слой за контрол на радиовръзка (*RLC*), слой протокол за сближаване на пакети данни (*PDCP*) и слой за протокол за адаптация на данни за услуги (*SDAP*). [4]

✓ SDAP слоят обработва потока за качеството на услугата (*QoS*) и данните от радио каналите, в права и обратна посока. IP пакетите се съпоставят с радио каналите в съответствие с техните изисквания за QoS. Радио каналът може да се разглежда като комуникационен канал, през който се предават IP пакети и получава приоритет според определеното изискване за QoS.

✓ PDCP слоят е отговорен основно за компресиране/декомпресиране на IP заглавната част, пренареждане и откриване на дубликати, шифриране/дешифриране и защита на пакетите като цяло.

✓ RLC слой основно извършва корекция на грешки чрез механизъм за автоматично повторение на заявка (*ARQ*), сегментиране / повторно сегментиране на (IP) пакети, компресирани в заглавието и последователна доставка на данни към по-високи слоеве.

✓ MAC слоят осъществява коригиране на грешките чрез хибриден ARQ (*HARQ*) механизъм и планиране на връзката в права и обратна посока.

✓ PHY слоят обработва сигналите посредством кодиране/декодиране, модулация/демодулация, многоантенна система към физическите времево-честотни ресурси;

Контролната равнина е отговорна за сигнализиция и контрол за настройка на връзката, мобилност и сигурност. Основните услуги от слоя на радио ресурсите (RRC) включват излъчване на системна информация, предаване на информационни съобщения, управление на сигурността, предаване на сигнали, избор на клетка / повторно избиране, управление на качеството на услугите (QoS), и откриване и възстановяване от неизправности на радио връзките. RRC съобщенията се предават, като се използват същите слоеве PDCP, RLC, MAC и PHY за потребителя при предаване в права и обратна посока, както при технологията LTE. Освен това се поддържа π/2-BPSK в права посока, за да се даде възможност за допълнително намаляване на съотношение пикова към средна мощност и повишена ефективност на усилвателя на мощност при по-ниски скорости на предаване на данни. [5]

***Табл. 1.** Параметри на новият радио интерфейс при 5G мрежата*

OFDM	**15 kHz**	**30 kHz**	**60 kHz**	**120 kHz**
Честотен обхват	*0.45-6 GHz*	*0.45-6 GHz*	*0.45-6 24-52.6 GHz*	*24-52.6 GHz*
Продълж. на OFDM символа	*66.67 µs*	*33.33 µs*	*16.67 µs*	*8.33 µs*
Цикличен префикс	*4.69 µs*	*2.34 µs*	*1.17 µs*	*0.59 µs*
Максимална честотна лента	*50 MHz*	*100 MHz*	*200 MHz*	*400 MHz*

МНОГОАНТЕННИ СИСТЕМИ

Предимствата на многоантенните системи са важни не само в LTE, но и в NR, тъй като те имат основна роля в проектирането на системата. Многоантенните техники са от решаващо значение за изпълнение на изискванията за производителност за 5G, както и за традиционните клетъчни мобилни мрежи.

Напредъкът в технологията с активна антенна система дава възможност за управление на голям брой антенни елементи, понякога наричани масивни многовходни множествени изходи (MIMO). Това позволява по-висока пространствена разделителна способност при мултиантенната обработка, която може да даде по-висока спектрална ефективност. За тази цел NR осигурява подобра поддръжка за многопотребителска MIMO (MU-MIMO) система. Разработена е нова рамка за получаване на информация за състоянието на канала (CSI), за да се даде възможност за по-голяма гъвкавост при предаването на референтни сигнали и да се даде възможност на CSI с по-висока пространствена резолюция.

За високи честоти получаването на покритие е основното изискване, а не толкова постигането на висока спектрална ефективност. Причината за това е, че загубите при предаване, когато се използват съществуващите методи за разпространение на радио вълните, са значително по-високи, докато в спектъра на милиметровите вълни има налична широка честотна лента. За преодоляване на по-високите загуби при предаване и осигуряване на достатъчно покритие, се използва техниката за формиране на насочени лъчи. [6]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новият радио интерфейс при 5G мобилни мрежи е гъвкава платформа, способна да се развива, за да задоволи нуждите на бъдещите безжични комуникации. NR ще допринесе за създаването на допълнителни възможности и допълнително ще повиши производителността на системата. Допълнителните възможности не само ще осигурят по-добра производителност в съществуващите приложения, но и ще бъдат отворени или дори мотивирани от нови области на приложение.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящият материал е изготвен с финасовата помощ на проект НИД-№17/26.03.2019 “Разработване на комплексна охранителна система за нуждите на Висше училище по телекомуникации и пощи” от Висше училище по телекомуникации и пощи, София.

ЛИТЕРАТУРА

[1] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, 4G LTE-Advanced Pro and The Road to 5G, Academic Press, 2016.
[2] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology, Academic Press, 2018.
[3] 3GPP, TS 38.211 NR Physical channels and modulation, June 2018.
[4] 3GPP, TS 38.213 NR Physical layer procedures for control, June 2018.
[5] 3GPP, TS 38.214 NR Physical layer procedures for data, June 2018.
[6] A. Zaidi, F. Athley, J. Medbo, et al., 5G Physical Layer: Principles, Models and Technology Components, Academic Press, 2018.

BIT ERROR RATE ESTIMATION AND CONFIDENCE LEVELS

Aleksandar Lebl
Institute for Telecommunications and Electronics, IRITEL a.d. BELGRADE, Serbia

Dragan Mitić
Institute for Telecommunications and Electronics, IRITEL a.d. BELGRADE, Serbia

Verica Vasiljević
Faculty of Information Technology, University Slobomir P, Bjeljina, Bosnia and Herzegovina

Abstract

The quality of digital transmission system may be expressed in a best way as the ratio of the number of bits which are received with error to the total number of transmitted bits. The received bits are compared to the corresponding expected bits: each comparison increases the value of the compared bits counter. In the same time the value of the error counter increases for each unsuccessful comparison. The measurement methods and estimations of individual error parameters are identified and the relations between them are explained in this paper. The special attention is devoted to the estimation of BER measurement accuracy and to the confidence level to the measured BER value. It is often not necessary to get the accurate BER value in the measurement, but only to conclude whether the BER value is lower or higher than some threshold value. It is explained in the paper how to determine the confidence level that the measured results satisfy this in advance defined limit value and what number of bits has to be tested.

Keywords: Bit Error Rate, Binomial Process, Poisson distribution, Confidence Levels.

INTRODUCTION

The quality of digital transmission system may be expressed as the ratio of incorrectly transmitted bits to the total number of transmitted bits. This is usually applied on a tester (Bit Error Ratio Tester, BERT), the part of test equipment composed of the referent receiver, the generator of in advance defined data, digital apparatus for comparison and the counter of received bits and errors. During the test, the received bits are compared to the corresponding expected bits: each operation of comparison increases the value compared bits counter and the value of error counter is increased for each unsuccessful comparison.

The Bit Error Rate (BER) definition together with the distribution, which is going to be used in the paper, is explained in the Section 2. The estimation of BER measurement accuracy is analyzed in the Section 3. The reliability level of BER measurement sets the limit to the maximum and minimum measurement time, which is analyzed in the Section 4.

DEFINITION OF BER

One of the main parameters, which model the connection quality for data transmission, is BER. It is possible to compare quality of different data transmission systems applying BER. The value of BER is defined by the equation:

$$BER = \frac{N_{ERR}}{N_{BIT}}, \tag{1}$$

where N_{ERR} is the number of incorrectly received bits and N_{BIT} is the total number of received bits in a predefined time interval [1], [2].

Information transmission in greater blocks called packets is the characteristic of modern

transmission networks. The packet content selection or recommendation depends on the network type. A phenomenon of erroneously transmitted bit causes degradation of the whole packet [3]. When considering error rate, high data content is lost. This error is determined by the relation (2)

$$PER = \frac{N_{ERP}}{N_P}, \quad (2)$$

where it is:

- N_{ERP} – the number of transmitted packets with at least one incorrectly transmitted bit,
- N_P – total number of transmitted packets.

As it may be concluded from the formula (1) for BER determination, it is necessary to know the total number of transmitted bits, N_{BIT}. This number may be assessed by continuous monitoring the number of transmitted bits. The measured error probability in transmitted bits (P_{BIN}) is expressed by binomial distribution according to the equation [4]:

$$P_{BIN}(N_{ERR}, N_{BIT}, BER) = \frac{N_{BIT}!}{(N_{BIT} - N_{ERR})!} \cdot \cdot BER^{N_{ERR}} \cdot (1 - BER)^{N_{BIT} - N_{ERR}} \quad (3)$$

The value P_{BIN} presents the probability of a number of errors in the total received bits number N_{BIT} for some BER value [4], [5].
Poisson distribution is used for modelling events in some time interval. The formula for the Poisson distribution function is:

$$p(x;\lambda) = \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^x}{x!} .....for....x = 0,1,2,...., \quad (4)$$

where λ is shape parameter which corresponds to the mean number of events in the selected time interval.

The graph of Poisson probability density function for four values of λ is presented in the Figure 1.

In the case of relatively low BER value ($BER<1 \cdot 10^{-4}$) and the high number of total received bits ($N_{BIT}>1 \cdot 10^5$), Poisson distribution approaches binomial distribution and it is possible to use simpler Poisson distribution. If the goal is to express the probability of some number of errors by Poisson distribution, it is necessary to define the parameter μ, which presents the probability of incorrectly transmitting one bit [4], [5]. The value of μ corresponds to parameter λ, which is the mean number of events in some time interval (4). The parameter μ is defined as:

$$\mu = BER \cdot N_{BIT}. \quad (5)$$

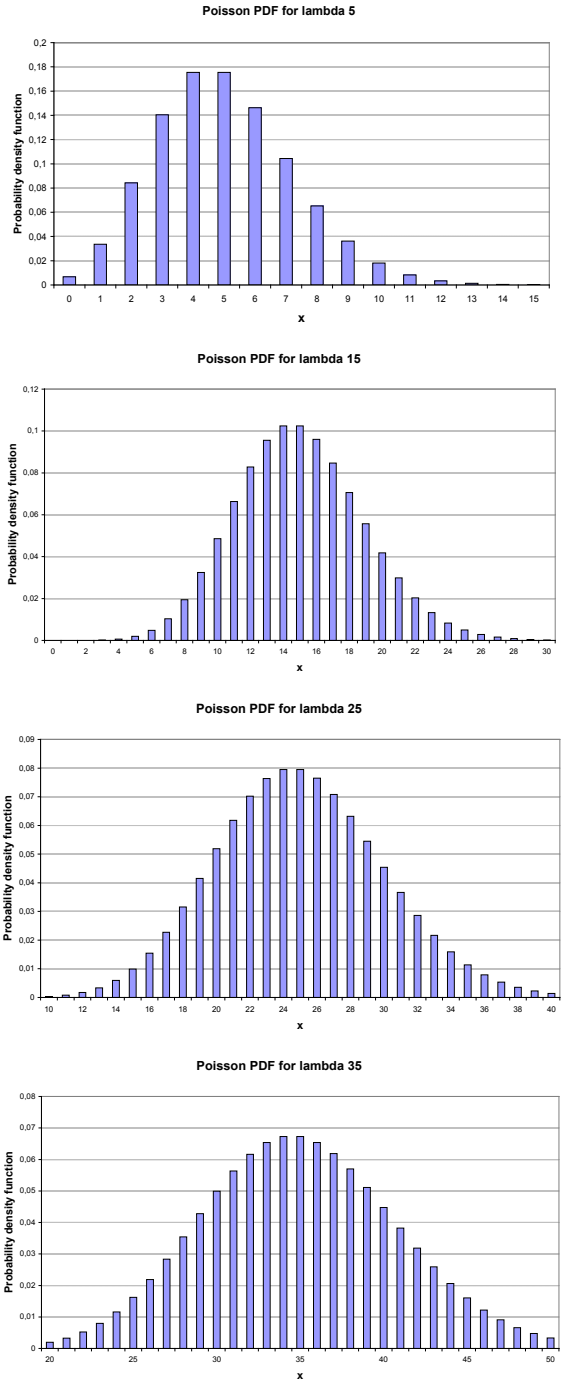


Fig. 1. *Poisson probability density function for four values of λ*

The probability density function (PDF) of the Poisson distribution for some BER value as the result of some measurement experiment according to (4) where λ is replaced by μ, and x is replaced by the number of erroneous bits, N_{ERR}, may be defined as:

$$P_{POISS}(N_{ERR},\mu)=e^{-\mu}\cdot\frac{1}{N_{ERR}!}\cdot\mu^{N_{ERR}}, \qquad (6)$$

where N_{ERR} must be an integer, while μ may be any non-negative real number.

The error probability for N_{ERR} erroneous bits in the total number of bits N_{BIT} may be determined by the application of relations (3), (5), (6) and known BER values. Also the total number of transmitted bits N_{BIT} for the BER value may be determined with the desired accuracy.

If the same measurement is repeated again and again, the N_{ERR} values are distributed according to the standard deviation $\sqrt{\mu}$. The N_{ERR} value is increased when μ is increased, but the PDF graph width as the function of BER is decreased (it is important to have in mind that BER is equal to μ divided to N_{ERR}). Figure 2 presents PDF functions for three μ values (μ=1, μ=10, μ=100), using BER values instead of N_{ERR} on the x-axis. The values of probabilities are normalized to 1 on y-axis. The distribution of the measured bit error ratio becomes narrower if μ is increased, which is equivalent to the number of compared bits increase if the real BER value is constant.

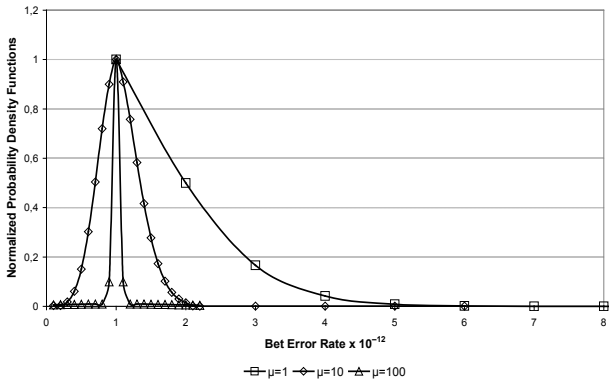


Fig. 2. *Normalized Probability Density Functions for Poisson distributions with μ=1, μ=10, and μ=100, in terms of Bit Error Ratio*

Until now it has been supposed that real BER is known, and the derived accuracy estimates are based on this knowledge. However, the BER value is obviously unknown in real situation. How is then possible to obtain accuracy estimates after the measurements when only N_{BITS} and N_{ERR} values are known? Fortunately, N_{ERR} may be easily used as the estimation for μ, and then standard deviation for the measurement may be derived.

ESTIMETION OF BER MEASUREMENT ACCURACY

The measurements allows accuracy estimation if the PDF function which describes BER is known. As an example, three BER values on the system with the real BER value $1\cdot10^{-12}$ are compared, varying only the number of bits which are compared:

- $N_{BIT} = 1\cdot10^{12}$ (μ=1). The probability to have only one error (which is equivalent to the accurate BER=10^{-12}) is 0.3679, Figure 3;
- $N_{BIT} = 1\cdot10^{13}$ (μ =10). The probability to have 10 errors (BER = $1\cdot10^{-12}$) is only 0.1215, Figure 3;
- $N_{BIT} = 1\cdot10^{14}$ (μ=100). The probability to have 100 errors (BER = $1\cdot10^{-12}$) is even lower, i.e. 0.03986, Figure 3.

Does it mean that the results are going to be better if the lower number of bits is compared? The situation is quite opposite. Figure 3 presents discrete PDF values for different μ=1, μ=10 and μ=100. The values of absolute probability are really higher for μ=1, but only because there are less possible outcomes.

It is interesting to notice that the probability of no errors (BER=0) for μ=1 is the same as in the case of one error (BER=$1\cdot10^{-12}$). However the probability that there are no errors is nearly zero ($4.54\cdot10^{-5}$) for μ=10. Besides, the probability of two errors for μ=1 (BER = $2\cdot10^{-12}$, two-fold real value) is 0.1839, but the probability of 20 errors in the case of μ=10 (for the same BER) is only 0.00187.

If one incorrectly transmitted bit N_{ERR} =1 is considered, and the accuracy $P_{POISS}(N_{ERR},\mu)$ = 0.99 is required in error determination, minimum and maximum values of parameter μ may be derived by numerical methods application. The number of transmitted bits N_{BIT} may be also determined according to (5) for the known value of BER.

The values μ_{min} = 0.1486 and μ_{max} = 6.6384 for N_{ERR} = 1 and P_{POISS} (N_{ERR},μ) = 0.99 are calculated using the program Microsoft Excel. The minimum and maximum number of received bits, N_{BIT} (Min and Max) may be determined according to (5). The results are presented in Table 1.

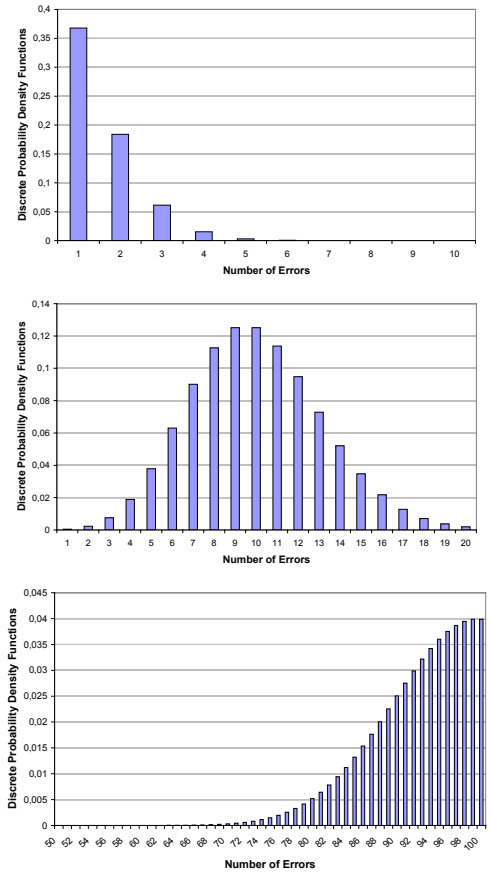


Fig. 3. *Probability Density Functions for a Poisson distribution with μ=1 (first), μ=10 (second) and μ= 100 (third)*

Table 1. *Minimum and maximum number of bits (min and max), N_{BIT} for the defined BER, on the 99% confidence level.*

BER	N_{BIT} (bit)	
	Min	Max
$1 \cdot 10^{-14}$	$1.49 \cdot 10^{13}$	$6.64 \cdot 10^{14}$
$1 \cdot 10^{-13}$	$1.49 \cdot 10^{12}$	$6.64 \cdot 10^{13}$
$1 \cdot 10^{-12}$	$1.49 \cdot 10^{11}$	$6.64 \cdot 10^{12}$
$1 \cdot 10^{-11}$	$1.49 \cdot 10^{10}$	$6.64 \cdot 10^{11}$
$1 \cdot 10^{-10}$	$1.49 \cdot 10^{9}$	$6.64 \cdot 10^{10}$
$1 \cdot 10^{-9}$	$1.49 \cdot 10^{8}$	$6.64 \cdot 10^{9}$
$1 \cdot 10^{-8}$	$1.49 \cdot 10^{7}$	$6.64 \cdot 10^{8}$
$1 \cdot 10^{-7}$	$1.49 \cdot 10^{6}$	$6.64 \cdot 10^{7}$
$1 \cdot 10^{-6}$	$1.49 \cdot 10^{5}$	$6.64 \cdot 10^{6}$

CONFIDENCE LEVEL OF BER MEASUREMENT

In many cases it is not necessary to measure the accurate BER value, but the measurement may be stopped if the BER value is certainly under or above the limit. For example, in the tolerance test it is necessary to confirm that the device under test functions with the BER better than $1 \cdot 10^{-12}$; it doesn't matter whether the real BER value is $1.1 \cdot 10^{-13}$ or $2.7 \cdot 10^{-15}$. The confidence in such a statement may be expressed in the sense of confidence level.

The confidence level sets the limit to the maximum or to the minimum of real value, on the base of measurements. If $3 \cdot 10^{12}$ bits are compared without detecting any error, the value of BER is under $1 \cdot 10^{-12}$ on the confidence level 95%. This example demonstrates the power of this approach: it is measured that BER=0, but applying the number of compared bits and some reasonable assumptions, it is doubtless that BER is lower than $1 \cdot 10^{-12}$. How this confidence levels may be derived?

The following example may be analyzed: if $5 \cdot 10^{12}$ bits are compared and one error is obtained, is it sure that it is BER<$1 \cdot 10^{-12}$? The measured value of BER is $0.2 \cdot 10^{-12}$ (1), which proves that BER is really lower than $1 \cdot 10^{-12}$, but the measurement is performed with the high uncertainty. The probabilities that there is zero or one error in $5 \cdot 10^{12}$ bits may be calculated by the application of Poisson distribution assuming that BER is exactly $1 \cdot 10^{-12}$. The values P(0.5) = 0.0067 and P(1.5) = 0.0337, may be estimated from Figure 1 for $\lambda = 5$. That's why the probability of no or one error for $5 \cdot 10^{12}$ bits equals 4.04% (the sum of values for P(0.5) and P(1.5)) if it is BER=$1 \cdot 10^{-12}$. The confidence level that BER is lower than $1 \cdot 10^{-12}$ is then 95.96%, thus providing the upper limit for BER.

The Table 2 presents the statistics for the upper and lower BER limit on the confidence level 95%. In order to set the upper limit, it is necessary to transfer at least *y* bits with not more than *x* errors. When the lower limit is set, it is necessary to detect at least *k* errors in not more than *i* transferred bits. The numbers for the upper limits are derived according to the presented example, solving the equation:

$$\sum_{0}^{N_{ERR}} P_{POISS}(N_{ERR}, \mu_{\max}) = \\ = (1 - P_{REQ}) = 1 - 0{,}95 \quad , \tag{7}$$

for μ; the number of bits necessary for the confidence level 95% is divided then by the target BER. Similar to this, the numbers for the lower limit may be derived solving

$$\sum_{0}^{N_{ERR}} P_{POISS}(N_{ERR}, \mu_{\min}) = P_{REQ} = 0{,}95 \, . \tag{8}$$

Unfortunately, a closed solution for these equations doesn't exist, but they can be solved numerically. The detailed description of the alternative method for confidence level calculation by the Bayes technique [6] may be found in the Figure 3.

Using the upper and lower limits presented in the Table 2, it is possible to investigate for each measurement whether BER is under or above $1 \cdot 10^{-12}$ with 95% confidence. The minimum and maximum number bits for the low number of errors are presented graphically in the Figure 4. There is a great problem when BER is near to $1 \cdot 10^{-12}$ because the reliable decision may not be made. For example, if $3 \cdot 10^{12}$ bits have been compared and two errors have been detected (the measured BER = $0.667 \cdot 10^{-12}$, (1)), the results are in the „unreliable" area in the graph between the upper and lower limit, Table 3, $1.182 \cdot 10^{-13}$, Figure 4.

Table 2. *The statistics for the lower and the upper limit for BER = $1 \cdot 10^{-12}$ with the confidence level 95%.*

95% confidence level lower limits, BER>$1 \cdot 10^{-12}$		95% confidence level upper limits, BER<$1 \cdot 10^{-12}$	
Min number of Errors	Min number of compared bits ($x \cdot 10^{-12}$)	Max number of Errors	Min number of compared bits ($x \cdot 10^{-12}$)
1	0.05129	0	2.996
2	0.3554	1	4.744
3	0.8117	2	6.296
4	1.366	3	7.754
5	1.970	4	9.154
6	2.613	5	10.51
7	3.285	6	11.84

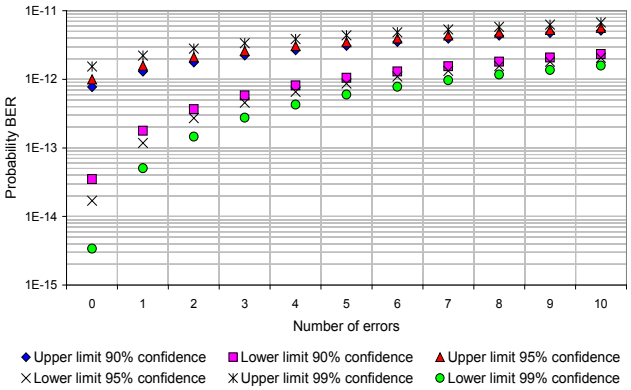


Fig. 4. *The BER probability presentation as a function of the number of errors for the confidence level 99%, 95% and 90%*

Figure 5 presents the value of μ, which is the average number of errors as a function of the number of errors for the confidence level 99%, 95% and 90%.

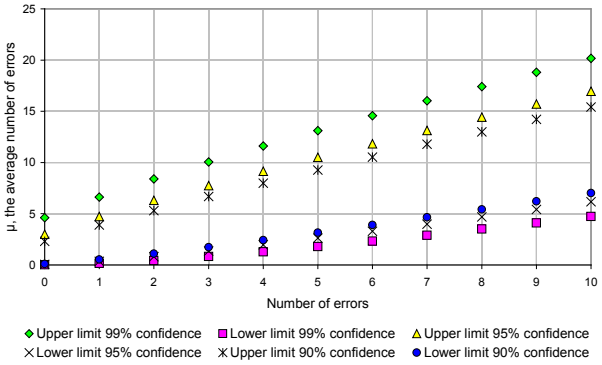


Fig. 5. *The average number of errors μ as a function of the number of errors for the confidence level 99%, 95% and 90%*

In such a case it is necessary to transmit more bits until this number of bits reaches the upper limit ($4.744 \cdot 10^{12}$, Table 2), or until more errors appear. If the real BER value is very near to $1 \cdot 10^{-12}$ and it is not possible to set the upper or the lower limit for BER regardless of the number of transmitted bits, the test success or failure completely depends on the application.

Table 3. *The statistics for the lower and the upper limit of BER = 10^{-12}, at the confidence level 90%, 95% and 99% for $N_{BIT} = 3 \cdot 10^{12}$.*

Num. error Bit	90% confidence level		95% confidence level		99% confidence level	
	lower limits	upper limits	lower limits	upper limits	lower limits	upper limits
0		2.31		3		4.62
1	0.105	3.9	0.051	4.74	0.0102	6.63
2	0.531	5.31	0.3546	6.3	0.1515	8.4
3	1.101	6.69	0.813	7.74	0.438	10.05
4	1.743	7.98	1.368	9.15	0.825	11.61
5	2.433	9.27	1.968	10.5	1.281	13.11
6	3.15	10.53	2.613	11.82	1.788	14.58
7	3.9	11.79	3.285	13.14	2.328	16.02
8	4.65	12.99	3.978	14.43	2.901	17.4
9	5.43	14.22	4.695	15.705	3.51	18.81
10	6.21	15.42	5.424	16.95	4.11	20.16

CONCLUSION

One of the main parameters which illustrate the quality of the data link is Bit Error Rate (BER). The quality of different data transmission systems may be compared on the base of BER. The information transfer in greater blocks called packets is applied in

modern transmission networks. The packet consists of a number of bits which may be freely selected or recommended depending on the network type. The incorrectly transferred bit causes the whole packet degradation [3], thus leading to the high data content loss.

The certain number of errors in data transmission is modelled by Poisson distribution. The parameter μ has been introduced in the presented analysis. This parameter expresses the probability of one bit incorrect transmission and the corresponding parameter λ presents the mean number of events in a specified time interval, [4], [5].

It is often not necessary to measure the exact value of BER. In such a case the measurement may be stopped when it is sure that BER is under or above in advance defined limit. It is proved in a tolerance test that the tested device satisfies the BER value better than $1 \cdot 10^{-12}$; whether the real BER is $1.1 \cdot 10^{-13}$ or $2.7 \cdot 10^{-15}$ is not important. The reliability of such a statement may be expressed using confidence level. The confidence level sets the restriction to the maximum or minimum of the variable real value, based on the measurement results presented in tables and on the graphics.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper is realized in the framework of project TR 32007 and TR32051, which are cofinanced by Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

REFERENCE

[1] Andrea Goldsmith, Wireless Communications, 2005 by Cambridge University Press, 2005.

[2] S. M. Jahangir Alam, M. Rabiul Alam, Guoqing Hu, and Md. Zakirul Mehrab, Bit Error Rate Optimization in Fiber Optic Communications, International Journal of Machine Learning and Computing, Vol. 1, No. 5, December 2011.

[3] Ramin Khalili, Kavé Salamatian, A new analytic approach to evaluation of packet error rate in wireless networks, 3rd Annual Communication Networks and Services Research Conference (CNSR'05), 2005, DOI:10.1109/CNSR.2005.14.

[4] Tomáš Ivaniga, Petr Ivaniga, Evaluation of the bit error rate and Q-factor in optical networks, IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE),e-ISSN: 2278-2834, p- ISSN: 2278-8735. Vo. 9, Issue 6, pp. 01-03, Ver. I (Nov - Dec. 2014).

[5] Müeller, M., Stephens, R, Mchugh, R., Total Jitter Measurement at Low Probability Levels, Using Optimized BERT Scan Method, February 12, 2007,www.agilent.com/find/dca, http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5989-2933EN.pdf.

[6] Casper J. Albers, Henk A. L. Kiers and Don van Ravenzwaaij, Credible Confidence: A Pragmatic View on the Frequentist vs Bayesian Debate, Collabra: Psychology, Vol.4, No.1, 31, 2018, DOI: https://doi.org/10.1525/collabra.149

ОПТИЧНА МРЕЖА ЗА ПРЕДОСТАВЯНЕ НА УСЛУГАТА TRIPLE-PLAY

Емилия Димитрова **Божидар Розев**
Висше транспортно училище "Тодор Каблешков" - София

OPTICAL SERVICE PROVISION NETWORK TRIPLE-PLAY

Emilia Dimitrova **Bozhidar Rozev**
Todor Kableshkov University of Transport – Sofia

Abstract

The ongoing development of telecommunications services is a mobile factor for the Internet service provider that provides widespread services such as Broadband Internet, Voice over IP, Video on Demand and IPTV.

Delivering the services of the right quality is vital for all operators, and the ever-evolving technologies are placing an increasing emphasis on environmental transfer and subscriber access technologies.

Thanks to modern methods, using the necessary quality of service, IP based networks offer the opportunity to integrate services such as voice, video and high-speed Internet on a single transmission platform.

Defined by ITU-T and IEEE standards for APON, BPON, EPON and GPON, optimized technologies in the access network can be implemented in different ways. The passive optical network PON enters near the home of subscribers. It uses cheap passive optical splitters for distribution of signals. The combination of PON optical technology with electronic version as a method of using an affordable EPON network is suitable for simultaneous provision of multiple broadband services.

The purpose of this paper is to explore the FTTx network topologies, namely point-to-point and point-to-multipoint, as well as to analyze the features provided by Triple play.

Keywords: Passive Optical Network PON; Triple play; Video on Demand VoD; Voice over IP VoIP.

TRIPLE PLAY

В сектора на телекомуникациите услугата Triple play е пазарен термин, свързан с доставката на две широколентови услуги – висикоскоростен интернет достъп и телевизионно съдържание (видео по поръчка – VoD, стандартен сигнал или сигнал с висока резолюция) и една теснолентова – телефония (VoIP).

Използван до преди години само в телекомуникационните среди, днес терминът Triple play обозначава по-скоро самият бизнес модел, отколкото хардуерна или софтуерна технология или единен стандарт. В ежедневието терминът често е заменян от определението тройна услуга. Тя е не само удобна, защото абонатът има един доставчик, но по този начин се намаляват месечните сметки за телекомуникационни услуги и телевизия. Доставянето едновременно на трите услуги се осъществява предимно от кабелните оператори, а в по-ниска степен и от телефонни компании и интернет доставчици.

Може да се използват редица технологии за пренос в опорната и мрежата за достъп. Най-широко разпространение има Етернет пренос върху оптични мрежи, използващи мултиплексиране по дължина на вълната (WDM) или стандарта синхронна цифрова йерархия (SDH) [1-3]. Въпреки, че Triple play услугата все още няма повсеместно разпространение и се приема като новост, вече съществува и нейното естествено разширение Quadruple play (Voice+Video+ Internet Wireless), обозначавана още като 4play или Quad play. При 4play се въвеждат безжичните телекомуникационни технологии като допълнителен вариант за пренос на глас, видео и данни. Това вече е възмож-

но благодарение на все по-бързо навлизащите 3G стандарти и на новата технология за безжичен достъп WiMAX (802.16) [1].

ВИДЕО ПО ПОРЪЧКА

Услугата видео по поръчка VoD (Video on Demand) осигурява възможност на абонатите да избират и да гледат видео съдържание посредством интернет достъп. Поддържат се опциите play, pause, skip, fast forward, rewind и bookmark индивидуално за всеки потребител.

Основни преимущества на VoD услугата, за разлика от традиционните кабелни и сателитни платени услуги са, че позволява много повече гъвкавост по отношение на телевизионното съдържание, достъп до услугата от телевизор или компютър и контрол на достъпа.

Поддържаните стандарти са MPEG-2, MPEG-4 и HiDef [7-9]. Не на последно място е и по-ниската цена [4].

VoIP

VoIP (Voice over IP) осигурява пренос на глас на базата на IP протокола от мрежовия слой на OSI модела.

Технологията VoIP позволява пренос на цифрови телефонни сигнали (кодирана реч, музика и др.) между компютри, снабдени с микрофони и говорители. Друга предлагана от производителите възможност са IP телефони, снабдени с графични дисплеи и осигуряващи разнообразни възможности.

Една от основните причини за все по-масовото използване на VoIP услугата е изключително ниската цена за провеждане на телефонни разговори. Други функционални възможности като изграждане на конферентна връзка, автоматично преизбиране, интегриране с други IP базирани приложения (видео връзки, обмен на данни и др.) правят VoIP изключително търсена и все по-широко използвана услуга [4].

DOCSIS

DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Device) е международен стандарт, дефиниращ спецификациите и изискванията относно пренос на данни по кабелна система.

Стандартът описва препоръки за високоскоростен трансфер по вече съществуващата преносна среда на кабелните оператори (CATV system). Версия 2.0 от декември 2001 г. увеличава преносните скорости в обратна посока докато версия 3.0 от 2006 г. стандартизира по-високи скорости и в двете посоки. (табл.1)

Версия	DOCSIS		EuroDOCSIS	
	Права посока	Обратна посока	Права посока	Обратна посока
1.x	38 Mbps	9 Mbps	50 Mbps	9 Mbps
2.0	38 Mbps	27 Mbps	50 Mbps	27 Mbps
3.04 канал	+152 Mbps	+108 Mbps	+200 Mbps	+108 Mbps
3.08 канал	+304 Mbps	+108 Mbps	+400 Mbps	+108 Mbps

Табл. 1. *Скорости, дефинирани от DOCSIS и EuroDOCSIS стандартите*

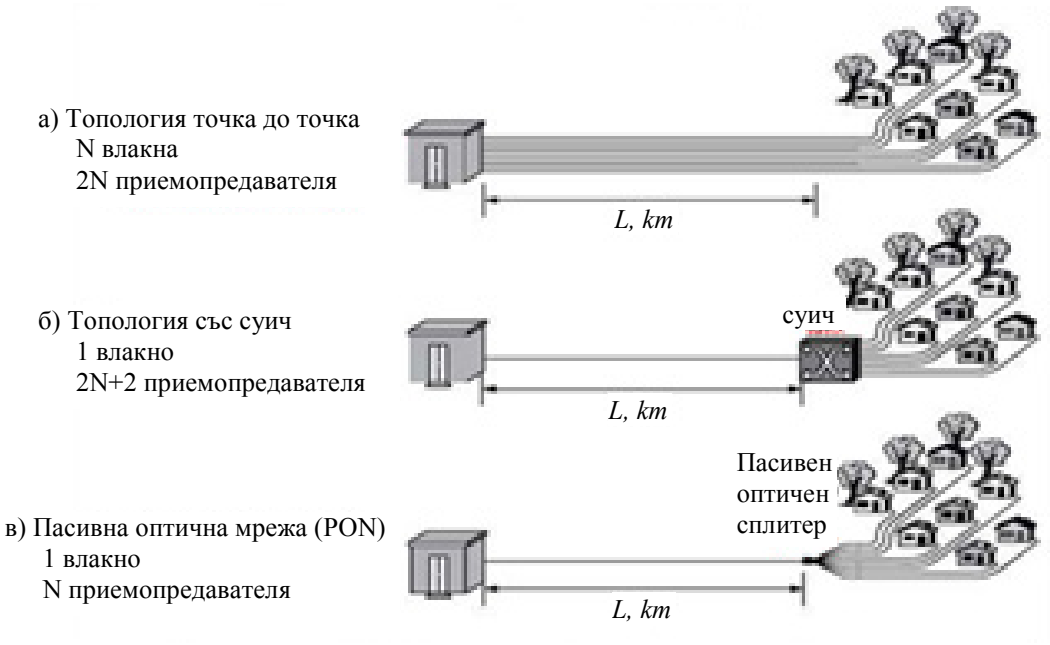
ТЕХНОЛОГИИ ЗА АБОНАТЕН ДОСТЪП

Технологията FTTx (Fibre To The x) прилага оптичните влакна в мрежата за достъп. Реализирането на изцяло оптична мрежа може да бъде до дома на абоната (x=Home), до жилищната или офис сграда (x=Building), до хъб на определено разстояние (x=Curb) или до кабина, разположена някъде в квартала (x=Cabinet).

FTTH е единствената архитектура, при която линията до абоната е изцяло по оптични влакна. Прилага се, когато е необходимо да се гарантира високо-качествена широколентова връзка [2].

При FTTB оптичната линия стига до сградата на абонатите, които най-често са свързани помежду си в LAN мрежа чрез медни усукани двойки (най-често UTP или SFTP кабел).

Границата между FTTC и FTTCab в реалните мрежи е трудно да се дефинира. Като разграничаващ фактор се използва разстоянието от крайното оптично устройство, което преобразува оптичния сигнал в електрически, до потребителите. В първия случай (FTTC) то е по-малко отколкото при FTTCab (Фиг. 1).



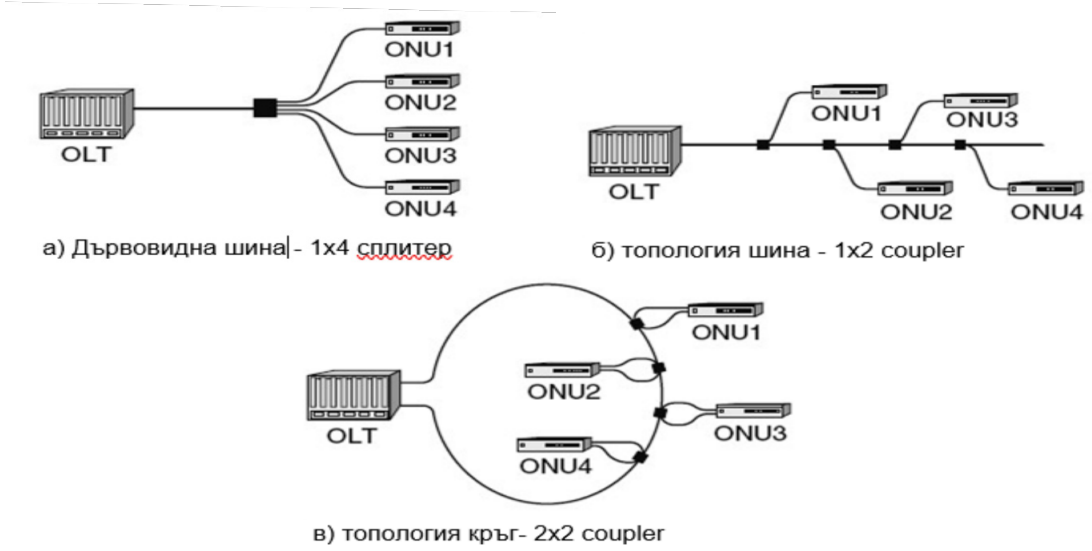
***Фиг. 1** FTTx абонатен достъп*

PASSIVE OPTICAL NETWORK (PON) ТОПОЛОГИИ

В point-to-multipoint базираните мрежи за достъп всички сесии се осъществяват между главни терминали OLT (Optical Line Termination) и крайни устройства ONU (Optical Network Unit). Съществуват няколко P2MP топологии, подходящи за изграждане на абонатни мрежи - дърво, шина и кръг (фиг. 2).

Топология дърво – едно или повече оптични влакна доставят сигнала от OLT до сплитери, разположени в комуникационен шкаф. Връзките от сплитер до терминал са P2P (point-to-point). Тази топология позволява лесна смяна на интернет доставчиците, без да е необходимо да се сменят оптични влакна от ONU до абонатите (фиг. 2.а).

Топология шина – физическата топология шина изисква най-къса преносна среда и има ниска цена за инсталация, позволява лесно да се добавят и премахват нови работни станции. Основни недостатъци на топология шина са трудно идентифициране местоположението при повреда, евентуално прекъсване на шината води до разпадане на цялата мрежа, слаба защита на информацията, тъй като всички данни се предават по общата шина. Подходяща е за малък брой работни станции (фиг. 2.б) [1].



***Фиг. 2.** Passive Optical Network - PON топологии*

Топология кръг – в случая кръг е само физическата топология. Логическата е отново шина, като за по-голяма сигурност връзките между сплитер и оптичен терминал са посредством две отделни влакна. Изискванията за надеждност на шината са изключително високи. Това води до необходимост от удвояване на оптичните влакна, съставящи шината. Използването на големи количества оптични компоненти я правят скъпа и неефективна (фиг. 2.в) [1].

TDM БАЗИРАНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПАСИВНИ ОПТИЧНИ МРЕЖИ

Стандартизирани са няколко основни технологии, използващи разделяне на каналите по време – TDM (Time and Wavelength Division Multiplexed). Това са стандарти G.983 на ITU-T за asynchronous transfer mode – ATM базирана PON (APON), G.984 за Gigabit PON (GPON) и 802.3ah на IEEE за Ethernet PON (EPON) (табл.2).

APON, наричана още широколентова PON (Broadband PON – BPON), и GPON са оптимизирани за трафик и основната им структура за пренос е рамката.

Един от основните недостатъци идва именно от използването на клетъчния режим за пренасяне на информация. За да се транспортират IP пакетите с променлива дължина, е необходимо да се разделят и да се инкапсулират в много на брой малки клетки. Честото добавяне на служебна информация – хедъри (cell tax), увеличава значително големината на трафика.

Стойността на хедърите при ATM е 13,22%, докато при Етернет е около 7,42% (фиг. 3) [5, 6].

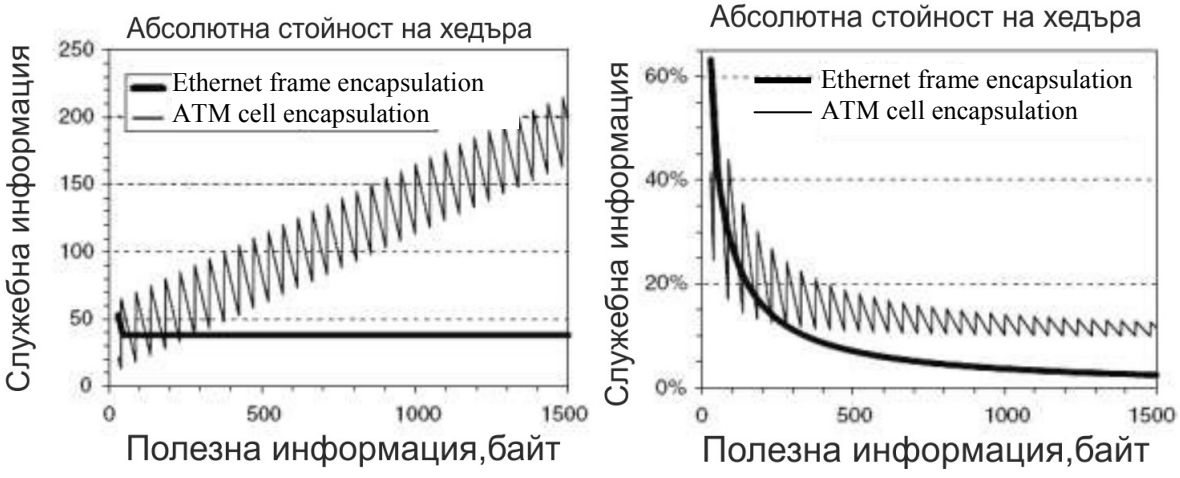
Друг недостатък на ATM технологията е, че изпусната или повредена клетка прави невалидна цялата дейтаграма, докато останалите части продължават пътя си и заемат излишно преносните ресурси.

	APON	**BPON**	**EPON**	**GPON**
Стандарт	ITU-T G.983	ITU-T G.983	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984
Технология	ATM	ATM Етернет	Етернет	GPON Enc mode
Права посока	622 Mbps	1,244 Gbps	10 Gbps	2,488 Gbps
Обратна посока	622 Mbps	622 Mbps	10 Gbps	2,488 Gbps

***Табл. 2**. Стандарти в PON*

ПРЕДАВАНЕ НА ДАННИ В TDM PON

IEEE 802.3 стандартът [10] дефинира две основни конфигурации за Етернет мрежа. Едната използва CSMA/CD (Carrier-sense multiple access with collision detection) механизъм за достъп до споделените ресурси. Във втората конфигурация работните станции са свързани посредством суич и връзките между тях са пълен дуплекс (full-duplex) point-to-point.

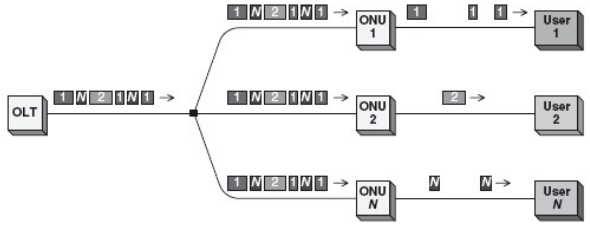


***Фиг. 3.** Хедъри при ATM и IP режими на предаване*

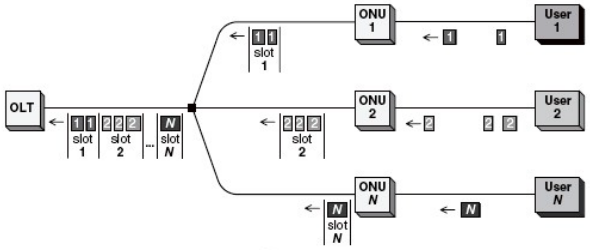
Особеностите на EPON изискват използването на обща среда и на P2P връзки едновременно.

В права посока (фиг. 4) всички Етернет рамки, предавани от OLT през сплитера. достигат до всеки възел. Това поведение е близо до мрежа със споделени ресурси. Достигналите до ONUs рамки се изпращат в съответствие с техните MAC адреси [1, 5].

В обратна посока, поради насочеността на оптичния съединител, рамките от всеки ONU достигат само до OLT, без да имат директен контакт с останалите възли. В този аспект поведението на EPON може да се разглежда като P2P архитектура (фиг. 5) [1, 5].



Фиг. 4. *Предаване в права посока*



Фиг. 5. *Предаване в обратна посока*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развиващите се с бързи темпове широколентови приложения водят до необходимостта от все по-големи преносни ресурси и имплементирането на нови технологии за повишаване на скоростите и качеството на обслужване.

Съществуват различни стандарти за изграждане на абонатни мрежи за достъп на базата на оптични системи. Изборът на определена технология и архитектура зависи от инфраструктурата на населеното място, желаните скорости, цената на преносната среда и мрежовите компоненти и не на последно място - от стойността за изграждане на мрежата.

Оптиката до дома представлява огромна възможност за много оператори и доставчици на оборудване. Чрез FTTx те могат да предложат на потребителите не само висока пропускателна способност и надеждност, но и възможност да доставят различни пакети от скъпи услуги с добра печалба. Все по-голямата популярност на Ethernet PON се дължи на отношението предоставени възможности към разходи за експлоатация и поддръжка.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Chinlon Lin, editor. Broadband – Optical Access Networks and Fiber-to-the-home. England: John Wiley & Sons Ltd.; 2006.

[2] Gerd Keiser. FTTX – Concepts and applications. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.; 2006.

[3] Dimitrov V., Systems for monitoring and management of electricity efficiency, Sofia: Avangard prima, 2019.

[4] Optical Line Construction Guide, 2015.

[5] Optical Line Construction Instructions, 2017

[6] Dimkina E., Dimitrov V., Cherneva G., Examination of Synchronization of Communication Chaotic Systems by Simulink Simulation, 5th Int. Conf. EpsMsO, Athens, Greece, Proceedings, Vol. I, 2013, pp. 218 – 221

[7] Cianci, Philip J. High Definition Television. NC, USA: McFarland. 2012, pp. 1–25.

[8] Wiegand, T; Sullican, G J; Bjontegaard, G; Luthra, A. "Overview of the H.264/AVC video coding standard - IEEE Journals & Magazine". ieeexplore.ieee.org. Retrieved 19 October 2018.

[9] ISO/IEC 13818-1:2000 – Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems. www.iso.org. Retrieved 4 May 2018

[10] http://www.ieee802.org/3/index.html

ПРИЛОЖЕНИЕ НА СПЪТНИКОВИТЕ НАВИГАЦИИ В УПРАВЛЕНИЕТО НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИЯ ТРАНСПОРТ

Емилия Димитрова **Светлин Стефанов**
Висше транспортно училище "Тодор Каблешков" - София

APPLICATION OF SATELLITE NAVIGATION IN THE MANAGEMENT OF RAILWAY TRANSPORT

Emilia Dimitrova **Svetlin Stefanov**
Todor Kableshkov University of Transport – Sofia

Abstract

Navigation systems have evolved rapidly in recent years, along with developments in other fields of science and technology. The navigation instruments are becoming more widespread in many areas of the economy due to the development of contemporary measuring and computing technologies and information measuring systems. The implementation of navigation systems in the management of vehicles and the development of multimodality, which is based on the use of GLONASS/GPS systems, lead to the creation and development of the so called intelligent transport systems. In this paper, the application of navigation technologies in the railway transport is considered.

Keywords: navigation systems; railway transport; positioning.

ВЪВЕДЕНИЕ

Навигационните системи се развиват бързо през последните години редом с развитието на другите области на науката и техниката. С развитието на съвременните технологии в областта на измервателната и изчислителната техника и информационно-измервателните системи, навигационните устройства навлизат все повече в почти всички области на икономиката.

Внедряването на навигационните системи в управлението на транспортните средства и развитието на мултимодалност, чиято основа е използването на системите GLONASS/GPS, водят до създаването и развитието на така наречените интелектуални транспортни системи.

В доклада се разглеждат възможностите за внедряване на навигационните технологии в управлението на железопътния транспорт с цел намаляване на интервала на попътно следване и увеличаване на трафика и безопасността.

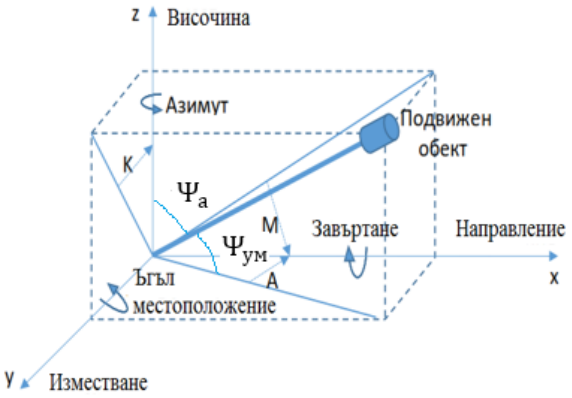
ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ ПРИ ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МЕСТО-ПОЛОЖЕНИЕТО

Подвижният обект може да се разглежда като твърдо тяло, което се намира в еднородно поле с известни пространствени координати. За да се определи положението на обекта, е необходимо да се разчетат координатите на полето, в което се намира.

За положението на обекта се използва декартова координатна система, която позволява да се определи азимут, завъртане и ъгъл на местоположението.

Местоположението на координатите на подвижен обект, които определят неговото положение и ориентация, се счита за основната задача. На фиг. 1 е показана схема за определяне на линейното положение на

подвижен обект и неговата ъглова ориентация в неподвижна координатна система (*x, y, z* са линейни координати на подвижния обект). Положението на подвижния обект в пространството се характеризира с декартовите координати x, y, z с избрана опорна точка на обекта, взети по оста на неподвижната система. Ориентацията на подвижния обект се определя от ъгъла на Ойлер, отразяващ последователното завъртане на обекта в кръг около координатните оси – азимут (кръг около оста z), ъгъл на местоположение (кръг около оста y), завъртане (кръг около оста x).



Фиг. 1. *Положение и ориентация на подвижен обект в декартова координатна система*

По значението на дискретните координати може да се проследи траекторията на движението, моментното положение и ориентацията на обекта в произволен момент от времето между измеренията. Използва се съвременен модел на интерполация, с който е възможно да се предположи бъдещото положение на обекта с помощта на метода на моделиране. Важна характеристика на движещия се обект е честотата от изходни данни – координати, определяни както като измерителни средства, така и приложими към математически апарат:

$$f_0 = 1/(T_И + T_В) \qquad (1)$$

където: f_0 – честота на изходните данни;
$T_И$ – времето на измерения компонент на физическото поле;
$T_В$ – време за изчисляване на координати.

Поради изменението на динамичната грешка в позиционирането обикновено се предполага, че по време на измерването обектът не променя своите координати. Това се постига с достатъчно висока честота на измерванията и позволява разглеждането на движението като последователност от статични положения, бързо сменящи се едно с друго.

Всяка схема за позициониране включва излъчвател на сигнал с известни пространствени координати и приемник за измерване, който по-често се разполага на подвижния обект [1].

Съществуват и грешки при определянето на местоположението с ъглова ориентация, като сумарната грешка се състои от следните основни компоненти:

1.Случайна съставка;

2.Съставящи грешки, обусловени от неточности при зададените навигационни координати в спътника и обекта;

3.Йоносферна и тропосферна грешки;

4.Грешки, обусловени от неточно зададени параметри или нестабилност в основната им част;

5.Грешки, причинени от отражението на сигнала;

6.Апаратна систематична грешка при измерване на фазовата разлика.

Значителен процент за грешката при определяне ориентацията на обекта внася случайната грешка при измерване на фазовата разлика на приетия сигнал. Разработени са алгоритми за оценка на грешките при определяне на ориентация и разстоянията на антените на обекта за случаите, като измерените фазови разлики на сигнала са за различен брой навигационни излъчватели и съществува между тях взаимна корелация.

Последната стъпка в определянето на ориентацията на обекта се явява изчисляването на ъгъла по азимут $\Psi_а$ и ъгъла на местоположението $\Psi_{ум}$. Ъгълът по азимут $\Psi_а$ се счита за ъгъл между проекциите на надлъжната ос на обекта, по хоризонталната плоскост и направлението на север (оста 0Xт). Ъгълът за местоположение $\Psi_{ум}$ е

между продължението на оста на обекта и хоризонталната плоскост.

Двата ъгъла $\Psi_{ум}$ и $\Psi_{а}$ са свързани с косинусите на базовите вектори и връзка с координатната система на обекта със следното съотношение:

$$\Psi_{а} = arctg\left(Z_T/X_T\right) \quad (2)$$

$$\Psi_{ум} = \arcsin(X_T) \quad (3)$$

В дадения случай величините $\Psi_{ум}$ и $\Psi_{а}$ са функционално свързани с величините Z_T, X_T и се явяват резултатни косвени измервания. Намира се дисперсията на грешки за ъгъла по азимут $\Psi_{а}$ и ъгъла за местоположението $\Psi_{ум}$ и след редица изчисления се достига до корелационната матрица на грешките при ориентация на обекта:

$$P_{\Psi} = \begin{pmatrix} \sigma^2_{\Psi_{а}} & K_{\Psi_{а}\Psi_{ум}} \\ K_{\Psi_{а}\Psi_{ум}} & \sigma^2_{\Psi_{ум}} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Тази матрица позволява да се оцени дисперсията на грешките, които са базови линии на обекта, две пространствено разнесени антени на потребителя, а също така корелацията се свързва с грешките, определени по азимут и ъгъла на местоположението [2].

ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕСТОПОЛОЖЕНИЕТО

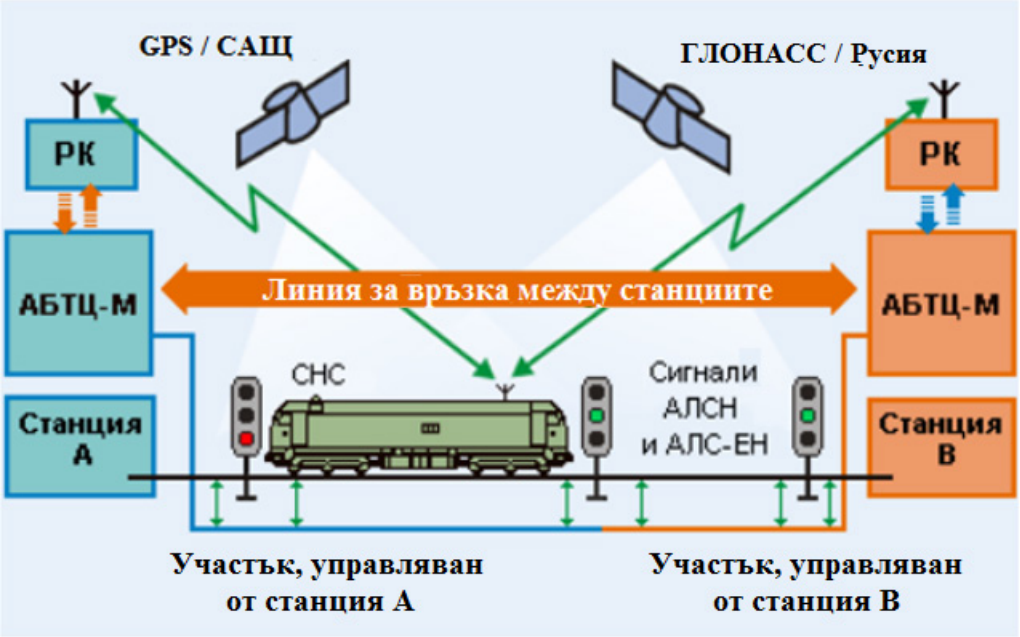
В последните години в руските железници масово се внедряват спътниковите навигационни системи GPS и GLONASS като средства за управление на движението и обезпечаване на безопасността. ОАО "РЖД" е една от малкото железопътни компании, които реализират програми за широко приложение на космическите технологии за собствени цели. Железопътният транспорт на Руската федерация има изградена стратегия за внедряване на спътниковите навигационни системи в транспортните средства до 2030 г. Темповете за внедряване на тези технологии се определят от степента на развитие на спътниковите системи и от възможностите за внедряване на комплексни много-функционални системи за управление в железопътния транспорт.

Една от първите иновации в Стратегията-2030 е внедряване на система за автоматично управление на движението на влаковете, мониторинг на състоянието на инфраструктурата и подвижния състав с използването на спътниковите технологии.

Използването на космическите триади (GLONASS/GPS, системата ДЗЗ за дистанционно сондиране на Земята и системата за подвижни спътникови връзки) практически без-алтернативно осигурява мониторинг на железопътния транспорт на разстояние около 85 000 км. В същото време се извършва постоянен мониторинг на десетки хиляди обекти (подвижен състав), което е възможно единствено с помощта на спътниковите технологии и съвременните средства за комуникация. Спътниковите технологии, на основата на обективна информация (без фактора на човешка намеса) в режим на реално време, ще могат да се използват за отговор на следните въпроси:

- къде в даден момент се намира подвижният състав;
- с каква скорост и в какво направление се движи;
- след колко време ще пристигне на местоназначението;
- какви са параметрите на работа на механизмите [4].

Пример за комплексните системи за управление с използването на спътникови технологии може да послужи регулирането на интервала на попътно следване на подвижните състави, показано на фиг. 2. Използвани са следните означения: РК –канал за радиовръзка; АБТЦ-М – автоматична блокировка с тонални релсови вериги – микропроцесорна; АЛСН – автоматична локомотивна сигнализация с непрекъснато действие; АЛС-ЕН – автоматична локомотивна



Фиг. 2. *Приложение на спътниковите технологии за регулиране на интервала между подвижните състави*

сигнализация единична непрекъсната; СНС – приемане и обработване на сигнал от спътниковите навигационни системи GPS/ГЛОНАСС.

Интервалното регулиране включва:

- движението на подвижния състав;
- обезпечаване на безопасността;
- устойчивост в графика на движение на интервали. Това е ново приложение в сравнение с настоящето, където интервалите се осигуряват от блок-участъци. Свързано е с това, че техническото оборудване на локомотива не информира, ако отпред идва подвижен състав. Използването на тази система дава предимства като:

- Осигуряване на интервал попътно следване до две минути;
- Съкращаване на разходите за инфраструктурни обекти с 15 %;
- Разширяване на безопасността на движение и съответствие с международни стандарти CENELEC.

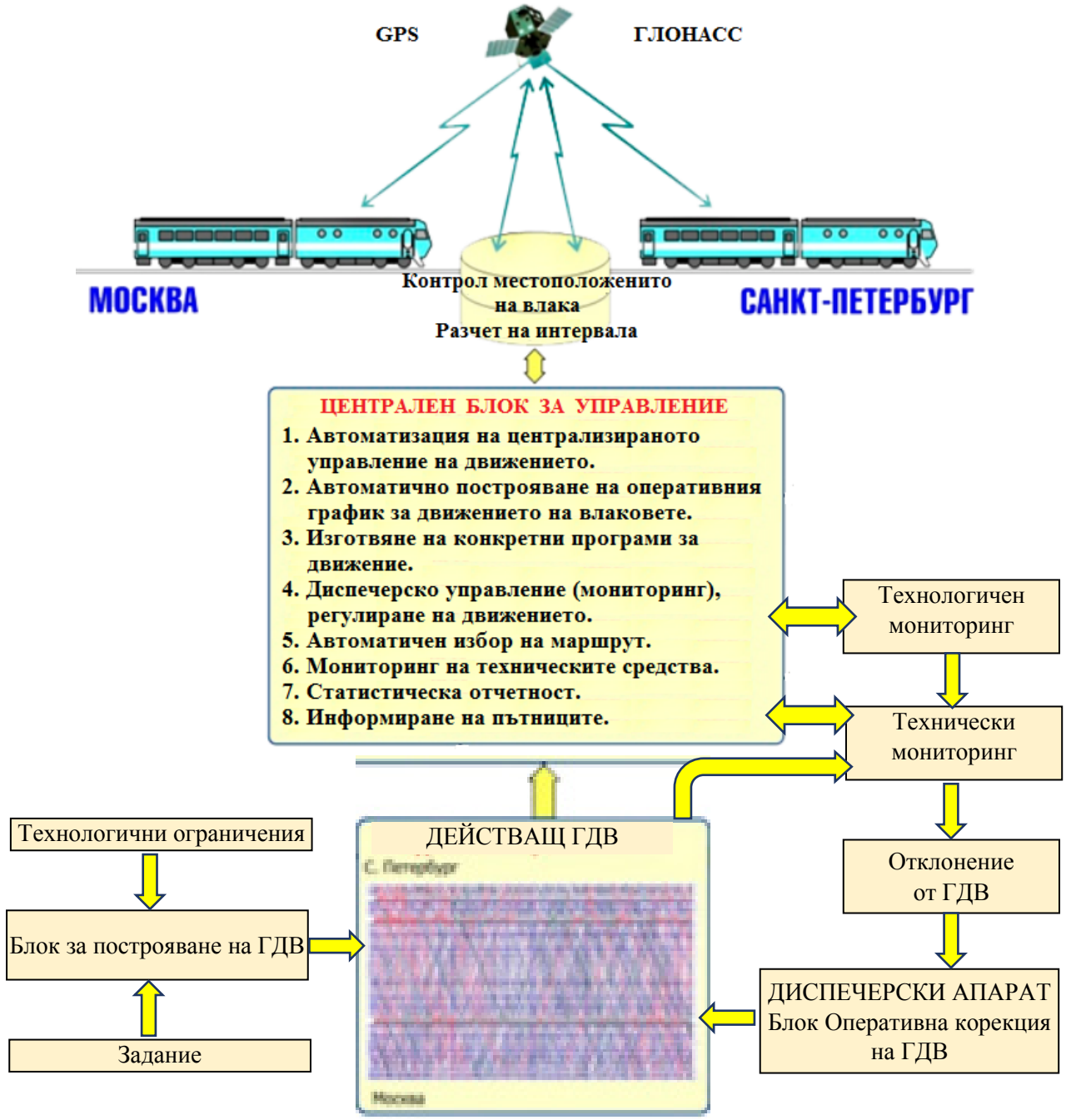
Въплъщение на подхода към интеграцията на спътникови технологии може да бъде и проектът „Интелектуална система за комплексно управление на движението на подвижен състав по скоростното направление Москва – Санкт Петербург“, който може да се превърне в първообраз на бъдещите системи за интелектуален транспорт (фиг. 3).

При автоматичното построяване на ГДВ се вземат предвид технологични ограничения от инфраструктурата и за различни видове дейности, включително пътникопотока,

Извършва се в реално време технологичен и технически мониторинг: спазване на ГДВ, контрол на скоростта и на попътно следване, работа на устройствата, състояние на пътя [4, 5]. При отклонение от ГДВ се задейства Диспечерският апарат и се нанасят необходимите произтичащи от това корекции.

С тази технология се постигат:

- Осигуряване на графика на движение на влаковете (ГДВ) с точност до една минута;
- Повишаване възстановяването на графика на движението с 15 – 20 % при възникване на извънредни ситуации;
- Осигуряване на енерго-оптимален график на движение с икономия от 7 – 8 %;
- Постоянен мониторинг на инфраструктурата и подвижния състав [3].



Фиг. 3. *Система за автоматизирано управление на подвижния състав (автопилот) по скоростния участък Санкт-Петербург – Москва*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Всички сателитни навигационни системи предават два вида сигнали:

- За граждански цели (общодостъпни);
- Сигнали с повишена точност.

Високоточните сигнали са тези, които могат да бъдат използвани за мониторинг и въздействие на подвижен състав.

2. Директно разпространяващите се сигнали служат за навигация и определяне на точното местоположение, а също и за синхронизация на отделни възли.

3. Използването на навигационните системи за мониторинг и контрол на подвижния състав повишава ефективността и надеждността, допринася съществено за понижаването на разходите по експлоатацията и техническото обслужване.

4. Повишената ефективност и понижаването на разходите са висок стимул за

развитието на тази област. Търсенето на решения и разрешаването на появилите се проблеми са само малка част от усъвършенстването на процеса.

5. Внедряването на навигационните системи в управлението на железопътния транспорт ще доведат до включването му към интелектуалните транспортни системи.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Isaev A. O., Modern methods for determining location and orientation of objects for various purposes., Saint Petersburg 2016.

[2] Aleshechkin A. M., Determining the angular orientation of objects., Moscow, INFRA-M. Krasnoyarsk SFU 2018

[3] Vakulenko S. P., P. A. Egorov, Introduction of navigation systems in the organization of the transportation process., Moscow, 2011

[4] Dimitrov V., L. Popov, Identification of significant movement parameters of trains powered by electric locomotive series 45, Acad. Journal Automatics and Informatics, Issue 2/2018

[5] Todorov Y., R. Valkov, Modern methods and tools for performing complex of measurements of the rail track and facilities, Acad. J. Mechanics Transport Communications, Vol. 14, Issue 3/3, 2016, pp. VI-59 – VI-63

ПРИЛАГАНЕ НА 5G FBMC PHYDYAS ПРОТОТИП НА ФИЛТЪР

Траян Иванов[1], Станимир Садинов[1]
[1]*Технически Университет Габрово, България*

IMPLEMENTATION OF 5G FBMC PHYDYAS PROTOTYPE FILTER

Trayan Ivanov[1], Stanimir Sadinov[1]
[1] *Technical University of Gabrovo, Bulgaria*

Abstract

There are a lot of problems in the 4G (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) system, and the most prominent of those problems is using a big number of cyclic prefixes (CPs) at the header of each symbol in each sub-carrier, which used to reduce the multipath effects, that increasing the symbols length therefore not exploiting the channel capacity and increasing the latency. In this paper, we introduced a description of the next 5G (Filter Bank Multi-Carrier- FBMC) system that reducing the problems in the 4G (OFDM) system, and that is through using the banks of filter instead of using the CPs. In this work, we implemented the response of prototype filter called (PHYsical layer for DYnamic spectrum AccesS and cognitive radio – PHYDYAS) that used in 5G (FBMC) using the MATLAB.

Keywords: 4G, OFDM, 5G, FBMC, PHYDYAS.

ВЪВЕДЕНИЕ

Появата на първите мобилни комуникации през 1980 г., чрез мобилният аналогов стандарт наречен първо поколение - 1G, който въведете услугите за гласово повикване през мобилни клетъчни мрежи промени живота на хората и света като цяло [1].

По-късно през 1990 г. се представи и второто поколение 2G по изцяло цифров стандарт на обработка и транслиране на сигналите наречен GSM, които се явява изцяло цифрова телекомуникационна мрежа за гласово повикване [1]. След това стандартите динамично се развиха и надградиха в 2.5G, наречен GPRS, който се използва за предаване на информационни пакети и за комутация на домейни [2]. Следва стандарта 2.75G, наречен EDGE, въведен през 1999 г. в САЩ, като системата използва 8PSK кодиране, с цел подобряване на скоростта на трансфер на данни [2].

Услугите за скорост от 1Mbps за мобилна телевизия, видео разговори и други услуги са въведоха в 3G системата [1]. Първата 3G мобилната технология е изградена през 2000г. от IMT-2000.

Новият стандарт 4G, които е актуален и до днес е представен през 2010г., използва усъвършенстваната IMT технология [1].

Технологията по стандарт 5G, която се очаква да бъде въведена през 2020 г., ще осигури по-голяма скорост на данни, за да бъде съвместима с бъдещия стандарт «интернет на нещата» (IoT) [3]. 5G системата ще използва синхронно много технологии за постигане на основните потребителски изисквания [4]. Сравнителен анализ на възможностите на изброените стандарти е представен в Таблица 1.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Описание на възможностите пето поколение (5G) мобилни клетъчни мрежи

Това ще бъде основна технология в света, защото ще осигури по-висока скорост на данни на потребителите в съвременната епоха. Сегашните технологии не могат да постигнат бъдещите изисквания IoT услуги [5, 6].

Настъпващата 5G технология ще свърже милиарди устройства помежду си и ще

поддържа повече от 9 милиарда комуникационни връзки и тези абонати ще могат да споделят своите данни по всяко време и навсякъде [1].

Системата 5G ще изисква много надстройки за устройствата и оборудване в сравнение с настоящото и миналото поколение [1]. А основните 5G системни изисквания са [7]:

- 10 пъти по голям живот на батерията;
- 10–100 пъти повече скорост на предаване на данни;
- 5 пъти по-ниско забавяне (или латентност);
- 10 - 100 пъти по-висока способност на устройства да се свързват;
- 1000 пъти по-голям обем на мобилни данни.

5G ще поддържа по-високи скорости с качество (QoE) и свързване на голям брой устройства заедно [8].

В планираните стандарти на 5G системата, ще се акцентира върху милиметровата дължина на вълна (mm-Wave) за постигане на масов по-висок капацитет, който осигуряват честотна лента 10 пъти повече от 4G честотната лента. 5G ще поддържа MIMO технология за реализиране на покриване малката клетка, която изпитва малка вътрешна интерференция между потребител и клетка и следователно получават по-висока производителност. FBMC (Filter Bank Multi-Carrier- FBMC) е способ използващ много нови техники за множествен достъп, които ще се прилагат в 5G [8].

Реално се въвеждат техники за адаптивна модулация, като OQAM за постигне на гигабитови скорости. Multi-RAT ще помогне за увеличаване на честотната лента. Нови топологии и устройство към устройство (D2D) технологията ще участват в намаляване на латентността на мрежата [1].

Сравнително описание на OFDM (4G) и FBMC (5G)

За да се намалят многоцелевите ефекти, се използва модулацията на подносещите (MCM), която разделя пълната честотна лента на малки групи.

В настоящите 4G техники MCM е представена от OFDM технологията. OFDM има доказана добра синхронизация поради използването на правоъгълната импулсна форма, наречена ICI, също така OFDM може да се реализира практически на базата на FFT. Затова и OFDMA е актуална техника за множествен достъп, използвана в 4G LTE системите [9].

Поради по-голямата интензивност на грешки при синхронизация и Доплеров ефект, MCM техниката може да използва филтриращи банки с OQAM „мапиране“ за подобряване на спектралната ефективност и капацитет на канала [10] и тази техника се именно се нарича Filter Bank Multi Carrier (FBMC), която ще се използва в следващия 5G стандарт. Основният блок приемо-предавателна диаграма OFDM и FBMC е показана на фиг.1.

A. OFDM

Както се вижда на фиг. 1.а, потокът с висока скорост на предаване на данни се разделя в поток с по-ниска скорост от етапа на кодиране, тогава се преобразува в сложна форма на QAM ((I) от етапа на „мапиране“ и (Q) на cn (m)).

Сложните данни се преобразуват от серийни в паралелни от S\P етапа, след което се прилага M обратна FFT (IFFT) дължина при IFFT етапа, за да се направи ортогонален случай между подносещите и неизползваните подносещи се запълват с нули. Времето за дискретизация на полето на OFDM модулацията на базовата лента е [9]:

$$s(k)=\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\prod(k-nM)\sum_{m=0}^{M-1}c_n(m)e^{\frac{j2\pi mk}{M}}, \quad (1)$$

където M е подносещата, $c_{n(m)}$ е QAM информацията и $\prod$ е функция от [9]:

$$\prod=\begin{Bmatrix}1\,if & 0\le k\le M-1,\\ 0 & elsewhere.\end{Bmatrix} \quad (2)$$

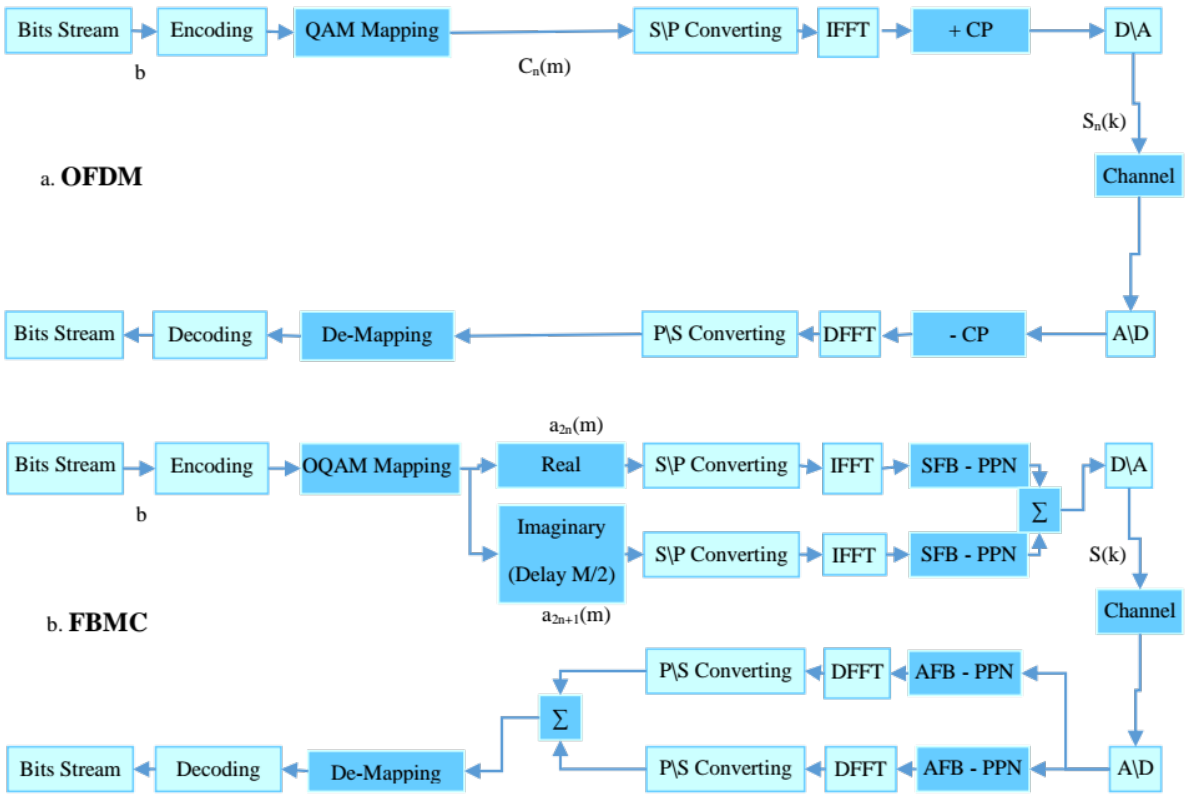
В честотната област функцията $Sinc$ се представя за всяка носеща и изразяването ѝ става посредством [9]:

$$s_n(k)=\sum_{m=0}^{M-1}c_n(m)e^{\frac{j2\pi mk}{M}}, \quad (3)$$

За да се избегне разпространението на ефектите на забавяне в многоцелевите канали, CP се използва в заглавката на символа при OFDM за намаляване на ISI, но тези CP причиняват запълване на честотната лента на канала и спектралната ефективност.

Таблица 1. *Базисно описание на основните генерации*

Main Features / Main Generations		Launch	Main Standard	System	Main Technology	Data Rate (bps)	Main Service
0G		1946	MTS	Analog	FM-SSB	-	Wireless Communicate
0.5G		1970	ARP	Analog	FM-SSB	-	Remote Communicate
1G		1980	AMPS	Analog	FDMA	-	Mobile Communicate
2^{nd} G		1990	GSM	Digital	TDMA	9.6 K	International Communicate
	2G	1993	CDMA One	Digital	CDMA	9.6 K	Coded Communicate
	2.5G	1997	GPRS	Digital	FDMA/TDMA	35 to 171 k	SMS
	2.75G	1999	EDGE	Digital	FDMA/TDMA	120 to 384 K	MMS
3^{rd} G	3G	2000	UMTS	Digital	WCDMA	384 K to 1 M	Multimedia
	3.5G	2007	HSDPA	Digital	WCDMA	1 to 2 M	Internet
	3.75G	2009	HSUPA	Digital	WCDMA	2 to 3 M	High Data
4G		2010	WIMAX	Digital	OFDM	3 to 10 M	Higher Data / Speed
		2013	LTE	Digital	OFDM	20 to 100 M	Internet Higher Data / Speed
5G		2020	WWWW	Digital	FBMC (Candidate)	1 to 100 G	Internet of Things (IoT)



Фиг. 1. *Базова блок диаграма на OFDM и FBMC приемно-предавателни устройства*

B. FBMC

Както е показано на фиг. 1.b, FBMC модулацията се различава от OFDM в три етапа. Първо, той намалява ICI и ISI чрез използване на OQAM мапер с подходящ филтър. Тук OQAM въвежда компенсиране на времевата област от $M/2$ проби от $c_{n(m)}$ компоненти, които са I $(a^2n\ (m))$ и Q $(a^2n + 1\ (m))$ [9].

Второ, тя използва многофазна мрежа (PPN) като филтър за обработка след етапа на IFFT. Тази филтърна обработка въвежда добра локализация във времето (намалява ISI) и честотата (намалява ICI) [9]. За оптимална локализация както по време, така и по честота, се използва филтърът на прототипа PHYDYAS [13], също така повишен косинус филтър може да се използва за същата цел, чрез Roll-off фактор, но теоретично той трябва да има много голяма дължина на филтъра [13]. В този труд предпочитаме PHYDYAS заради по-добрата му локализация и по-просто изравняване на предавателя и приемника.

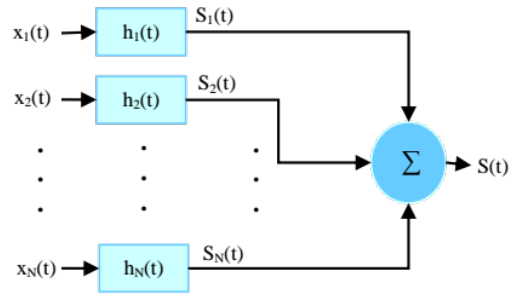
Трето, комбинацията от PHYDYAS филтриране и процесите на модулация OQAM

въвеждат ортогоналност, без използването на CP и така се подобри спектралната ефективност и капацитет на канала [9]. Дискретната времева област на базовата лента FBMC/OQAM е [9]:

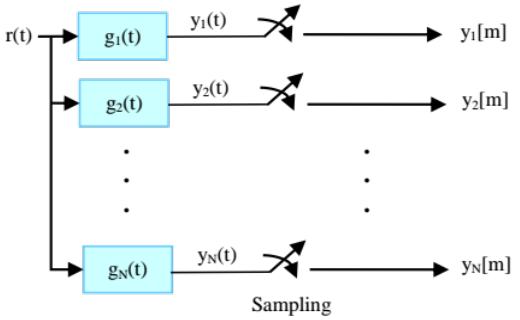
$$s(k)=\sum_{n=-\infty}^{+\infty} p(k-n\frac{M}{2})\sum_{m=0}^{M-1} a_n(m) j^{n+m} e^{j\frac{2}{\pi}m(k-\frac{L-1}{2})}, \quad (4)$$

където $e^{-j\frac{2\pi}{M}m\frac{L-1}{2}}$ е фазова компонента.

Съвкупното филтриране е синтезиране и анализиране на многоносещите сигнали. В представения труд е избран моделът PPN-FBMC, където се представя ниска сложност на предавателя и приемника. Фиг. 2, показва опростен PPN приемо-предавател.



Фиг. 2а. *Синтез на PPN съвкупен филтър в предавателя (SFB)*



Фиг. 2б. *Синтез на PPN съвкупен филтър в приемника (AFB)*

В този труд се използва PPN PHYDYAS филтърът с коефициент на припокриване (K = 2, 3, 4). Таблица 2 показва коефициентите на PHYDYAS[13].

Таблица 2 *Коефициенти на Phydays в честотната област*

K P±к	P±0	P±1	P±3	P±3
2	1		-	-
3	1	0,911438	0,411438	-
4	1	0,971960		0,235147

Те се изразяват от уравнението:

$$\frac{1}{k}\sum_{k=-K+1}^{K-1}\left|P_k\right|^2=1, \quad (5)$$

където P_k е коефициент на импулсен отговор, K е припокриващ филтър, k е индекс на подносещата.

Честотната характеристика на M подносещите се изразява от уравнението:

$$P(f)=\sum_{k=-K+1}^{K-1} P_k \frac{\sin\left(\pi\left(f-\frac{k}{MK}\right)MK\right)}{MK\sin\left(\pi\left(f-\frac{k}{MK}\right)\right)}, \quad (6)$$

Импулсният отговор на прототипния филтър след IFFT обработката е:

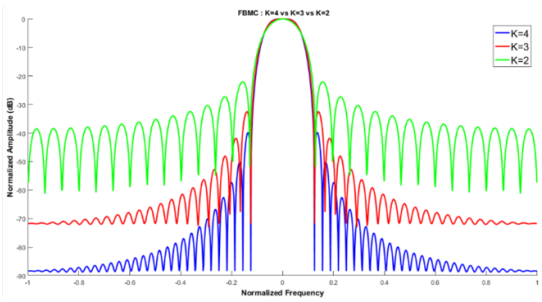
$$p[L]=1+2\sum_{k=1}^{K-1}(-1)^k P_k \cos\left(\frac{2\pi k}{MK}L\right), \quad (7)$$

p[0]=0; Използва се за избор на нечетни коефициенти, където *L* е дължината на прототипния филтъра ((M × K) -1). За да се получи пълния капацитет на канала, OQAM осъществява ортогоналност между подканалите.

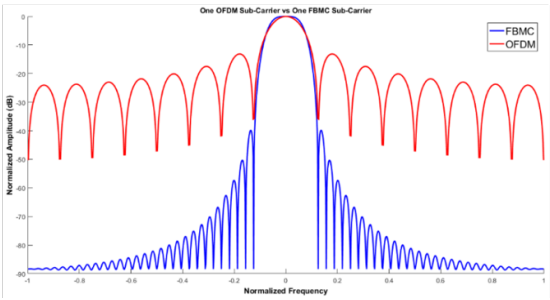
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представената статия се реализира реакцията на прототипния филтър наречен PHYDYAS, използван в системата FBMC (5G), чрез използване на софтуеър MATLAB.

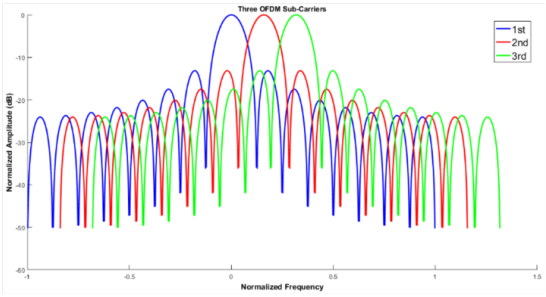
Разгледани са три различни дължини на филтъра за прототип ((M × K) -1) на припокриващи се фактори (K) 2, 3, & 4; и 16 подносещи (M). Като на фиг. 3, е представена реакцията на PHYDYAS филтъра с различни дължини (K = 2, 3 и 4) на една подносеща. Фиг. 4, показва сравнение на една FBMC & OFDM подносеща. На фиг. 5, и съответно на фиг. 6 са представени три подносещи на OFDM и на FBMC технологии.



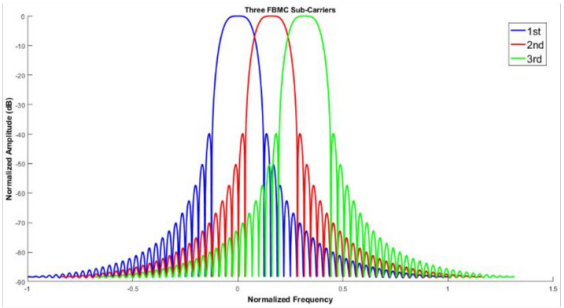
Фиг. 3*. Реакция на PHYDYAS филтър с различни дължини*



Фиг. 4. *Една FBMC подносеща и една OFDM подносеща*



Фиг. 5. *Три OFDM подносещи*



Фиг. 6. *Три FBMC подносещи*

Целта на 5G (FBMC) системата е да намали проблемите на 4G (OFDM) технологията и това е възможно, чрез използването на съвкупен филтър (Filter Bank) за всеки символ, вместо да се използва CP за всеки символ във всяка подносеща. По този начин, с премахването на CP, намаляваме високите странични нива, които причиняват високи ISI, ICI, OOB, PAPR; и намаляване дължината на символите и следователно получаване на високи експлоатационни нива на канала.

Анализирайки резултатите се вижда, че дължината на прототипния филтъра PHYDYAS (L=(MK)-1) на припокриващите се фактори (K=4) се представя най-добре спектралната ефективност.

ACKNOWLEDGEMENT

The presented work is supported under project 1910E “Development and Research of Innovative Information-Based Modules and Systems for Communications in Internet of Things (IoT)” by the University Center for Research and Technology at the Technical University of Gabrovo.

REFERENCE

[1] F. Hu, Opportunities in 5G Networks: A Research and Development Perspective: CRC Press, 2016.

[2] S. Lasek, D. Tomeczko, J. T. Penttinen, D. Valerdi, and I. Güemes, "GSM refarming analysis based on Orthogonal Sub Channel and interference optimization," in Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP), 2012 8th International Symposium on, 2012, pp. 1-6.

[3] Nokia Siemens Networks "2020: Beyond 4G Radio Evolution for the Gigabit Experience " Aug. 2011.

[4] B. S. Rawat, A. Bhat, and J. Pištora, "THz band nanoantennas for future mobile communication," in Signal Processing and Communication (ICSC), International Conference 2013, pp. 48-52.

[5] J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. V. Hanly, A. Lozano, A. C. Soong, et al., "What will 5G be?," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 32, pp. 1065-1082, 2014.

[6] P. Pirinen, "A brief overview of 5G research activities," in 5G for Ubiquitous Connectivity (5GU), 2014 1st International Conference on, 2014, pp. 17-22.

[7] P. Popovski, V. Braun, H. Mayer, P. Fertl, Z. Ren, D. Gonzales-Serrano, et al., "Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless systems," The METIS project: Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society, Tech. Rep. ICT-317669-METIS D, vol. 1, 2013.

[8] DMC R&D Center, Samsung electronics “5G Vision,” White Paper (Online), Feb. 2015.

[9] J. Nadal, C. A. Nour, A. Baghdadi, and H. Lin, "Hardware prototyping of FBMC/OQAM baseband for 5G mobile communication," 2014 25th IEEE International Symposium on Rapid System Prototyping (RSP), 2014, pp.72-77.

[10] M. Gharba, R. Legouable, and P. Siohan, "Analternative multiple access scheme for the uplink 3GPP/LTE based on OFDM/OQAM," in Wireless Communication Systems (ISWCS), 2010 7th International Symposium on, 2010, pp. 941-945.

[11] A. Jasim, "A Novel MIMO-OFDM Technique for Improving Wireless Communications System Performance based on SF--BC," International Journal of Computer Applications, vol. 131, pp. 28-31, 2015.
[12] D. Dhawan and N. Gupta, "Performance Analysis of Post Compensated Long Haul High Speed Coherent Optical OFDM System," International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), vol. 7, no. 1, pp. 160-168, 2017.
[13] M. Bellanger, D. Le Ruyet, D. Roviras, M. Terré, J. Nossek, L. Baltar, et al., "FBMC physical layer: aprimer," PHYDYAS, January, 2010.
[14] A. Sahin, I. Guvenc, and H. Arslan, "A survey on multicarrier communications: Prototype filters, lattice structures, and implementation aspects," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 16, pp. 1312-1338, 2014.

НАПРАВЛЕНИЕ 5

КОМПЮТЪРНИ СИСТЕМИ

SESSION 5

COMPUTER SYSTEMS

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА LTE СИМУЛАТОРИ ЗА ЦЕЛИТЕ НА ОБРАЗОВАНИЕТО

COMPARATIVE EVALUATION OF LTE SIMULATORS FOR PURPOSES OF EDUCATION

Aydan Haka
Technical University of Varna, Bulgaria
aydin.mehmed@tu-varna.bg

Abstract
LTE is the most widespread wireless mobile network worldwide. This is a prerequisite for exploring mechanisms to improve the quality of service that can be achieved through the use of simulation products. This paper proposes a comprehensive quantitative assessment of the quality of various network simulators that allow the investigation of service quality across LTE networks. A set of criteria to perform a comprehensive comparison of popular LTE simulators is proposed.

Keywords: LTE, Network Simulators, Comparison

ВЪВЕДЕНИЕ

Активното развитие на LTE мрежите в цял свят [1, 2] допринася за навлизането на тази технология не само в ежедневието на обикновения потребител, но и в сферата на обучението. За целите на обучението не е практично и икономически изгодно да се изгражда структура на клетъчна мрежа. Затова обикновено се използват продукти за симулиране работата на конкретната технология, разглеждана в учебния процес.

Използваният симулатор е необходимо да отговаря на редица критерии според които да се избере най-практичния и икономически изгоден продукт за целите на обучението. Освен това той трябва да е интерактивен, интуитивен и лесен за работа от крайния потребител, като позволява визуално представяне на получените резултати от симулацията или статистически такива.

ИЗБОР НА КРИТЕРИИ ЗА АНАЛИЗ НА СИМУЛАЦИОННИ СРЕДИ ЗА БЕЗЖИЧНИ МРЕЖИ

В литературата има редица проучвания, реализиращи сравнителен анализ на симулационните продукти, позволяващи софтуерно изграждане на безжична мрежа. Направените сравнения според всеки автор се базират на различни критерии.

В [3] са предложени две групи критерии за сравняване на симулатори – общи критерии за сравнение и критерии за сравнение според свойствата на симулаторите.

Общи критерии за сравнение:

- тип на лицензa;
- език на програмиране;
- поддържана операционна система;
- поддържане на графичен потребителски интерфейс;
- ръководство на потребителя;
- лекота на работа.

Критерии за сравнение според свойствата на симулаторите:

- тип на симулираните събития;
- налични модули за симулиране;
- скалируемост;
- брой поддържани устройства;
- паралелизъм.

В [4] са предложени следните критерии за реализиране на сравнителен анализ между симулационни продукти:

- тип;
- енергийно моделиране;
- скалируемост;
- поддръжка на код;

- радиомоделиране;
- експортиране на симулационен код;
- симулиране на LTE мобилност;
- поддръжка на операционна система в реално време.

В [5] за най-натоварения трафик са предложени следните критерии за сравняване работата на симулаторите:

- използване на паметта;
- време за изчисление;
- използване на процесора.

За да се избере подходящ LTE симулатор за целите на обучението са предложени следните критерии:

- моделиране на различни механизми за приоритизация на трафика при LTE;
- моделиране на различни методи за разпределяне на ресурсите;
- моделиране на различни видове трафик;
- възможност за създаване на различни симулационни модели (мрежови архитектури) за LTE мрежи;
- възможност за елементарен статистически анализ на мрежовия трафик;
- измерване на типични характеристики на производителност;
- анализ на получените резултати;
- възможност за визуално представяне на изследваната мрежа;
- лесна инсталация;
- време за изучаване.

За извършване на комплексен сравнителен анализ на продукти за симулиране работата на LTE безжични мобилни мрежи е необходима комбинация от критерии, с която да се прецизира изборът на най-подходящ симулатор за учебни цели. Тази комбинация може да бъде следната:

- моделиране на различни механизми за приоритизация на трафика при LTE;
- моделиране на различни методи за разпределяне на ресурсите;
- симулиране на LTE мобилност;
- генериране формата на LTE вълни;
- моделиране на различни видове трафик;
- възможност за създаване на различни симулационни модели (мрежови архитектури) за LTE мрежи;
- поддържане на графичен потребителски интерфейс;
- наличие на ръководство за потребители и разработчици;
- възможност за елементарен статистически анализ на мрежовия трафик;
- измерване на типични характеристики на производителност;
- анализ на получените резултати;
- възможност за визуално представяне на изследваната мрежа;
- поддържана операционна система;
- лесна инсталация;
- скалируемост;
- език на програмиране;
- време за изучаване;
- използване на процесора (Average CPU);
- използване на паметта (Commit);
- лиценз за ползване.

КОМПЛЕКСНА ОЦЕНКА ЗА КАЧЕСТВО НА СИМУЛАЦИОННИ СРЕДИ

Поради очакваната разнотипност на показателите за оценка на симулаторите, извеждане на конкретна функция за качеството на оценявания симулатор е невъзможна. Поради тази причина подобно на изследванията в [6, 7] за извършване на комплексен сравнителен анализ се избира да се изчисли средна аритметична и средна геометрична математическа зависимост.

Аритметичният комплексен показател се изчислява по формулата:

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^{n} b_i \, d_i}{\sum_{i=1}^{n} b_i} \qquad (1)$$

Геометричният комплексен показател се изчислява по следната формула:

$$R_г = \left(\prod_{i=1}^{n} d_i^{b_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} b_i}}, \qquad (2)$$

където нормираната количествена оценка на i-тия показател е

$$0 \le d_i \le 1 \tag{3}$$

n - брой на показателите, а b_i е i-я тегловен коефициент, като

$$\sum_{i=1}^{n} b_i = 1 \tag{4}$$

За целите на изследването тегловните коефициенти b_iсе вземат равни.

Сравнителният анализ е направен на база на симулаторите, описани в Таблица 1.

Таблица 1. *Симулатори на LTE мрежа*

Тип на софтуера	Симулационен софтуер
Комерсиален	OPNET, QualNet, MATLAB, LTE PHY Lab
С отворен код	NS2, NS3, OMNeT++, Vienna Simulator, Предложен от автора

За постигане на сравними резултати всеки от симулаторите е използван за симулиране на една и съща LTE мрежа, като е направено изследване на всеки от тях спрямо предложената комбинация от критерии. Това е направено, за да се определи доколко начинът на работа със симулатора е удобен за потребителя. Тъй като не всички от предложените критерии имат ясни количествени измерители, за да се намали субективността при избора на най-подходящ симулатор, е приложен методът за комплексна оценка на качеството. Целта е да се дефинира най-подходящият симулатор, позволяващ проектиране на LTE мрежа и модификация на нейните компоненти, така че да се реализират различни механизми за приоритизиране на трафика.

OPNET [8] – обектно-ориентирана програма, която предоставя среда за моделиране на комуникационни системи и мрежи. Може да се използва за разглеждане на комуникационни мрежи, устройства, протоколи и приложения. Графичният интерфейс на средата позволява формиране на топология на мрежата от физическия до приложния слой. OPNET предоставя поддръжка на LTE модули от версия 17.5. позволява моделиране на почти всички основни характеристики на LTE.

QualNet [9] – мрежов симулационен софтуер за планиране, тестване и обучение. Към QualNet може да бъде включен симулационният модел за LTE. За създаване на типични мрежови модели продуктът предоставя графичен потребителски интерфейс. За добавяне на по-специализирана функционалност и мрежови протколи са налични допълнителни библиотеки от компоненти. Библиотеката за LTE осигурява симулация, базирана на 3GPP стандартите.

MATLAB [10] – изчислителна среда и патентован език за програмиране, разработен от MathWorks. Продуктът позволява матрични манипулации, графики на функции и данни, прилагане на алгоритми, създаване на графичен потребителски интерфейс и взаимодействие с програми, написани на други езици, включително C, C++, C#, Java, Fortran и Python. MATLAB има разработен продукт за LTE - „LTE Toolbox“. Той предоставя функции, съвместими със стандарта и приложения за проектиране, симулация и проверка на LTE, LTE-Advanced и LTE-Advanced Pro комуникационни системи.

LTE PHY Lab [11] – представлява цялостна реализация на физическия слой на E-UTRA съгласно 3GPP Release 8, със съществени елементи от Release 9 и 10. Работи под MATLAB/Octave и може да се използва като инструмент за симулация на ниво връзка или като библиотека на физическо ниво. Продуктът е разработен да обслужва клиентите на всички етапи на LTE разработката – софтуер, хардуер, проучвания, създаване на прототипи и внедряване, сравнение, проверка и тестване. Може да моделира процесите в честотната лента за UE и eNB физическо ниво в Uplink и Downlink посока. Имплементира всички съвместими с 3GPP функционалности за транспортни канали, контролна информация, физически канали и обработка на физически канали (включително кодиране на канали, MIMO и OFDM/SC-FDMA модулация). Реализира се като модулни функции с добре дефинирани интерфейси, което позволява на потребителя да включва свои собствени алгоритми.

OMNeT++ [12] – мрежов симулатор с отворен код, който се основава на графичен потребителски интерфейс. Представлява симулатор на дискретни събития и има архитектура, базирана на компоненти, наричани още модули се програмират на C++. Те мо-

гат да бъдат използвани повторно и основните характеристики на продукта може да бъдат комбинирани по различни начини.

NS-2 [13] – мрежов симулатор, базиран на дискретни събития, написан на C++. Той осигурява симулиране на TCP трафик, протоколи за маршрутизиране и мултикаст по жични и безжични мрежи. Осигурява подробна документация. Не е мащабируем за по-широки мрежи.

NS-3 [14] – симулатор, базиран на дискретни събития с отворен код, предназначен за научни и образователни цели. Продукта е лицензиран за изследвания и разработки. NS-3 не е актуализирана версия на NS-2, а го заменя.

Vienna LTE System Level Simulator [15] – софтуер с отворен код, разработен на MATLAB. Първо е разработен като Link Level симулатор, а след това е разширен до симулатор на системно ниво. Докато симулаторите на Link Layer позволяват изследване на въпроси свързани с Multiple Input Multiple Output (MIMO), Adaptive Modulation and Coding (AMC), моделиране на кодирането и декодирането на канала, симулаторите на системно ниво се използват основно за изследване на проблеми, свързани с мрежата, като планиране, управление на мобилността, управление на смущения или разпространение на сигнали. При симулациите на системно ниво физическият слой се абстрахира от резултатите на ниво връзка и се използват за оценяване работата на мрежата.

Предложен от автора симулатор на LTE мрежа [16] – представлява софтуер с отворен код, разработен в среда Visual Basic. Позволява моделиране на различни механизми за приоритизиране на трафика и механизми за разпределяне на ресурсите. Позволява симулиране на различен вид трафик. Елементите на симулатора се базират на 3GPP стандарта. Предоставя лесен и интуитивен графичен потребителски интерфейс. Позволява изграждане на LTE мрежа, в която всяка eNodeB имплементира механизъм за приоритизиране на трафика и разпределяне на ресурсите, може да се симулира хоризонтален хендовър на мобилните потребители към друга eNodeB, осигурява изследване на матрицата на предаване според OFDM модулация.

Таблица 2 представя сравнение на девет симулатора на LTE мрежа. Сравнението е извършено чрез провеждане на експерименти с въвеждане на параметри на една и съща LTE мрежа, с едни и същи входни данни. Симулирани са едни и същи ситуации и са анализирани получените резултати.

На база проведените експерименти в Таблица 2, са представени и комплексните оценки на същите симулатори в Таблица 3 – комплексен аритметичен и комплексен геометричен показател изчислени по формули, съответно (1) и (2).

Получените резултати за комплексната оценка доказват, че симулаторите MATLAB, Vienna LTE Simulator и NS-3 са най-добри за изследване на LTE мрежи.

Таблица 2. *Сравнение на симулатори на LTE мрежи*

Критерии за сравнение на LTE симулатор	Изследвани симулатори								
	OPNET	QualNet	OMNeT ++	NS-2	NS-3	Vienna LTE Sim	MATLAB	LTE PHY Lab	Предложен
Моделиране на различни механизми за приоритизация на трафика при LTE	Да напълно	Да частично	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Моделиране на различни методи за разпределяне на ресурсите	Да напълно	Да частично	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Симулиране на LTE мобилност	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Генериране формата на LTE вълни	Не	Не	Не	Не	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Не

Моделиране на различни видове трафик	Да напълно	Да частично	Да частично	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Възможност за създаване на различни симулационни модели (мрежови архитектури) за LTE мрежи	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Поддържане на графичен потребителски интерфейс	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да частично	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Наличие на ръководство за потребители и разработчици	Да частично	Да напълно	Да частично	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да частично	Да напълно
Възможност за елементарен статистически анализ на мрежовия трафик	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Измерване на типични характеристики на произво-дителност	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да частично
Анализ на получените резултати	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
Възможност за визуално представяне на изследваната мрежа	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да частично	Да частично
Пддържана операционни системи	Windows, Linux	Windows, Linux	Linux, MACOS, Windows	Linux, Win9x, 2000,XP	Linux, MACOS, Windows experimental	Linux, MAC OS, Windows	Linux, MAC OS, Windows	Linux, MACOS, Windows	Windows
Лесна инсталация	Да частично	Да напълно	Да частично	Да частично	Да частично	Да частично	Да напълно	Да частично	Да напълно
Скалируемост	Да напълно	Да напълно	Да частично	Да частично	Да частично	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да частично
Език на програниране	C и C++	C++	C++	C++, OTCL	C++, Optional Python Bindings	Matlab script, Python	Matlab script, Python	Matlab script, Python	Visual Basic
Време за изучаване	Продъл-жително	Кратко	Средно	Продъл-жително	Продъл-жително	Продъл-жително	Продъл-жително	Продъл-жително	Кратко
Използване на процесора	9.70	27.65	7.57	12.42	11.56	26.21	28.43	27.20	5.43
Използване на паметта	549 510KB	950 874KB	439 500KB	560 840KB	570 932KB	940 732KB	940 832KB	940 800KB	245 708KB
Лиценз за ползване	Безплатен академичен, но платен за LTE	Платен търговски	Безплатен	Безплатен	Безплатен	Безплатен за академични цали	Платен стандартен и академичен	Платен	Безплатен

Таблица 3. *Сравнение на комплексните оценки на симулатори за LTE мрежи*

Комплексен показател	Изследвани симулатори								
	OPNET	QualNet	OMNeT ++	NS-2	NS-3	Vienna LTE Simulator	MATLAB	LTE PHY Lab	Предложен
R_a	0.444	0.446	0.434	0.460	0.479	0.472	0.501	0.451	0.443
R_c	0.336	0.372	0.347	0.362	0.398	0.403	0.418	0.376	0.332

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен е набор от критерии за сравнение и комплексна оценка на симулатори за LTE мрежи. Предложените комплексни оценки осигуряват сравнимост на резултатите и намаляват субективността в оценяването на симулационните среди. Според представените резултати от изследването поради широкия набор от разглеждани критерии най-подходящ за изследване на LTE мрежите се явява MATLAB. При изследване на критериите поотделно, обаче, се вижда, че предложеният симулатор предоставя оптимални стойности спрямо – „Лесна инсталация“, „Време за изучаване“, „Използване на процесора“, „Използване на паметта“, „Лиценз за ползване“, които са от изключителна важност по отношение на обучението. Също така предоставя съизмерими, с останалите симулатори, резултати спрямо много други критерии. Това доказва, че предложеният симулатор е подходящ за целите на обучението.

ПРИЗНАТЕЛНОСТ

Представените резултати от изследванията в настоящата публикация, са проведени по Националната научна програма „Млади учени и постдокторанти“, която се финансира от държавния бюджет.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ericsson Mobility Report, June 2019. https://www.ericsson.com/en/mobility-report, Last visit on 26.08.2019.

[2] Global Statistics, 5G Americas. June 2019, https://www.5gamericas.org/resources/charts-statistics/global/, Last visit on 26.08.2019.

[3] Kabir, M. H., Islam, Y., Hossain, J., Hossain, S. Detail Comparison of Network Simulators. //International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 5, Issue 10, October 2014, pp: 203-218, ISSN: 2229-5518.

[4] Venkataramanan, V., Lakshmi, S. A Case Study of Various Wireless Network Simulation Tools. //International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS), Vol.10, No. 2, August 2018, pp: 389 – 396.

[5] Abreu, T., Baynat, B., Gachaoui, M., Jimenez, T., Nya, N. Comparative study of LTE simulations with the ns-3 and the Vienna simulators. //SIMUTOOLS 2015, August 24-26, Athens, Greece.

[6] Haka, A., Aleksieva, V., Valchanov, H. Camparative Evaluation of Mechanisms for Traffic Prioritization in LTE Networks. //Proceedings, 2019 16-th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, pp: 406-410, ISBN: 978-1-7281-1412-5, IEEE Catalog number: CFP19L07-USB.

[7] Dinev, D., Aleksieva, V., Valchanov, H. Comparative Analysis of Prototypes Based on Li-Fi Technology. //Proceedings, 2019 16-th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, pp: 531-534, ISBN: 978-1-7281-1412-5, IEEE Catalog number: CFP19L07-USB.

[8] (OPNET). OPNET Modeler Suite. http://opnetprojects.com/opnet-network-simulator/, Last visit on 28.08.2019.

[9] (QualNet). QualNet Network Simulator Software. https://web.scalable-networks.com/qualnet-network-simulator-software, Last visit on 26.08.2019.

[10] (MATLAB). MATLAB Simulator. https://uk.mathworks.com/products/matlab.html, Last visit on 20.08.2019.

[11] (LTE PHY Lab). LTE PHY Lab Simulator. https://www.is-wireless.com/downloads/lte-phy-lab/, Last visit on 20.08.2019.

[12] (OMNeT). OMNeT++ Simulator. https://omnetpp.org/, Last visit on 25.08.2019.

[13] (NS2). NS2 Simulator. http://ns2simulator.com/, Last visit on 24.08.2019.

[14] (NS3). NS3 Simulator. http://ns3-code.com/ns3-download/, Last visit on 24.08.2019.

[15] (Vienna LTE-A). Vienna LTE-A Simulators. https://www.nt.tuwien.ac.at/research/mobile-communications/vccs/vienna-lte-a-simulators/, Last visit on 24.08.2019.

[16] Aleksieva V., Haka A. Modified Scheduler for Traffic Prioritization in LTE Network. //Proceedings of the Second International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'17), 2017, Volume 2, pp. 228-238.

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СИГУРНОСТТА В БЕЗЖИЧНИ МРЕЖИ

STUDY OF WIRELESS NETWORKS SECURITY

Hristo Valchanov
Technical University of Varna

Veneta Aleksieva
Technical University of Varna

Jan Edikyan
Technical University of Varna

Abstract

Wireless network allow easy to build small enterprise and home networks based on IEEE 802.11 standard. The spreading of IoT is a prerequisite for a growing number of users worldwide. However, wireless networks are easily susceptible to attacks against their security. This requires an analysis of the problems and creating recommendations to improve their security. This paper presents a methodology and study of wireless network security in Varna city. The information was collected using the war-driving technique. The obtained results are analyzed and compared with those from previous studies.

Keywords: Wireless Security, Wi-Fi, War Driving.

ВЪВЕДЕНИЕ

Безжичните мрежи позволяват лесно изграждане на малки по размер както фирмени, така и домашни мрежи [1]. Отпадането на необходимостта от изграждане на кабелни трасета, допълнителни мрежови устройства, както и възможността за мобилност, са в основата на тяхното все по-масово използване в последните години. Навлизането на IoT е предпоставка за нарастването на броя на потребителите в световен мащаб. Типично, безжичните мрежи са базирани на стандарта IEEE 802.11 [2]. Технологиите са развиват непрекъснато, предоставяйки все по-големи скорости на потребителите. Но поради естеството на използване на радио сигнали, безжичните мрежи са лесно податливи на атаки срещу сигурността. Това може да включва както атаки от типа прекъсване на конекции, така и неоторизиран достъп до ресурси в дадена мрежа, откраднване на информация или скриване зад легитимна мрежа за провеждане на атаки срещу други мрежи. Една от основните задачи към мрежовата сигурност е изследване на рисковете и потенциалните уязвимости на Wi-Fi мрежите, което ще позволи дефиниране на препоръки към потребителите за подобряване на тяхната сигурност [3].

В настоящия доклад е представена методика и изследване на сигурността на безжични мрежи в района на град Варна. Информацията е събрана чрез използване на техниката war-driving. Получените резултати са анализирани и сравнени с тези от предишни изследвания.

ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ

Безжичните мрежи се изграждат основно на базата на стандарта 802.11. Той включва множество стандарти, определящи използването на различни технологии за безжичен достъп, като се започне с 802.11a и скорост от 54Mbs до съвременния 802.11ah със скорост от 347Mbps [4]. Развитието на стандарта 802.11 е свързано и с развитие на протоколи за сигурност на безжични мрежи. Съществуват три основни протокола: WEP, WPA, WPA2 [5].

Wired Equivalent Privacy (WEP) – това е исторически първият протокол, позволяващ криптиране на връзката между безжични устройства на базата на предварително споделен ключ. Това е и основният му недостатък, позволяващ атакуващият след прехващане на голям брой пакети да получи този

ключ. Не се препоръчва неговото използване.

Wi-Fi Protected Access (WPA) – подобрява сигурността спрямо WEP. Предоставя два начина за контрол на достъпа: за персонално използване WPA Pre-Shared Key с дължина на ключа от 256Bit. За корпоративни решения се използва WAP Enterprise (802.1x) и автентикационен сървър. За осигуряване на интегритет на данните се използва TKIP, позволяващ динамично генериране на 128Bit ключове за всеки пакет. Въпреки подобренията се препоръчва използването на протокола WPA2.

WiFi Protected Access 2 (WPA2) е подобрена версия, по-устойчива на атаки. При нея се използва нов асиметричен алгоритъм за криптиране Advanced Encryption Standard (AES) и нов протокол заменящ TKIP – CCMP (Counter Cipher Mode with Block Chaining Message Authentication Code Protocol).

Въпреки подобрената сигурност на WPA и WPA2 и двата имат един и същи проблем – възможна атака през Wireless Protected Setup (WPS) [6]. Това е стандарт, улесняващ конфигурирането на безжични устройства. Уязвимостта се изразява във възможността атакуващият в рамките на 2-4 часа да разбие използваната парола и да получи несанкциниран достъп до мрежата.

МЕТОДОЛОГИЯ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Целта на проведеното изследване е да се отговори на основния въпрос:

Какво е текущото състояние на сигурността при безжичните мрежи в района на град Варна?

Реализацията на целта изисква изпълнението на следните задачи:

- да се получи информация за голям брой безжични мрежи във Варна;
- да се определи процентното съотношение на криптираните мрежи;
- да се определят видовете производители и мрежите;
- да се определи процентното съотношение на използване на WPS.

За изпълнението на тези задачи изследването е проведено в няколко фази: разработване на система за анализ; събиране на информация; анализ на събраната информация; сравняване с предишни резултати.

ПРОЕКТИРАНЕ НА СИСТЕМАТА

Изследването на сигурността на безжични мрежи е процес извършван ръчно още от тяхното създаването, но поради множеството достъпна информация, той не е бил ефективен за използване в по-голям мащаб. Първите автоматизирани изследвания на сигурността на безжични мрежи са приложени в края на 1999г. в Калифорния, САЩ от Pete Shipley и представени за първи път на конференцията DEFCON-9 [7] през 2001г. Основния принцип представлява посещение на района, който ще бъде изследван и обхождането му (пеша, с велосипед или автомобил) с хардуер, способен да събира и записва информация излъчвана от безжичните точки за достъп, както и GPS информация за приблизителната тяхна позиция.

Настоящото изследване използва техниката war-driving с цел обхождане на по-големи райони за анализ [8, 9, 10]. Извършено е пасивно изследване, като изводи за сигурността се формулират единствено от публично достъпната информация, излъчвана от всяка точка на достъп в безжична мрежа [11].

Системата за събиране на данни е изградена на базата на едноплатков компютър Raspberry Pi 3 Model B, с процесор ARM Cortex-A53, 1.2GHz, вградена Wi-Fi и Bluetooth функционалност. За целта на реализацията е нужно записването на позицията на всяка безжична точка за достъп. Избраният GPS модул, поради поддръжка на стандарта NMEA 0183, дълготрайна батерия и голяма памет е Holux M-1200E.

За сканиране на безжичните мрежи се използва модул CanaKit Wi-Fi Module. За да се осигури продължително захранване на едноплатковия компютър, се използва портативна батерия Canyon CNS-TPBP5DG с капацитет 5000mAh (фиг.1).

***Фиг. 1**. Система за сканиране*

Сканирането на безжичните мрежи е реализирано посредством софтуер с отворен код Kismet. Софтуерът е компилиран и инсталиран под операционната система Raspbian OS. Получените от Kismet данни се записват в *netxml* формат. Събраната информация са конвертира чрез скрипт на Python в *csv* формат. Това е необходимо, за да могат данните да се представят в табличен вид с цел по-лесна обработка и анализ чрез Microsoft Excel.

СЪБИРАНЕ НА ДАННИ

Избраният район за анализ включва централната част на гр. Варна, тъй като в нея се намират по-голяма част от офисите и голяма част от живущите. Също така, районът съвпада с проведено подобно изследване от 2008г. [12], с цел сравнение на получените резултати (фиг.2).

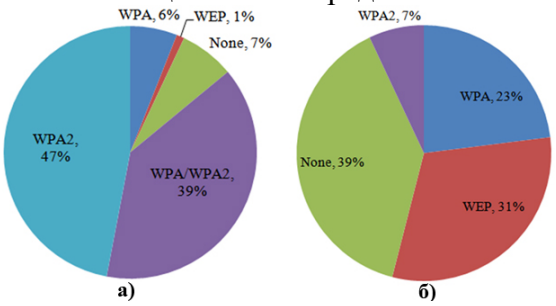
***Фиг. 2**. Сканиран район*

Обикалянето на района е извършено с автомобил с поддържана скорост в рамките на 0-35 км/ч. За да бъде наблюдаван и контролиран процеса в реално време, чрез Ethernet порта на Raspberry Pi се извършва връзка към лаптоп, на който благодарение на VNC клиент се наблюдава състоянието и информацията, представяна от Kismet (фиг. 3). Събраните данни включват информация за общо 19136 мрежи.

***Фиг. 3**. War-driving в действие*

WI-FI СИГУРНОСТ

Фигура 4-а представя процента на използваните методи за криптиране. Тези данни водят до обобщени резултати, показващи, че процентът на мрежите без или с WEP защита е пренебрежимо малък. Вероятна причина е използването на стари устройства или некомпетентност на потребителя за уязвимостта на WEP. Установено е, че 7% не използват криптиране. По-вероятно е това да са обществени мрежи с отворен достъп, отколкото те да не са конфигурирани. Това е характерно за ресторантите и магазините, както и за обществените градски зони.

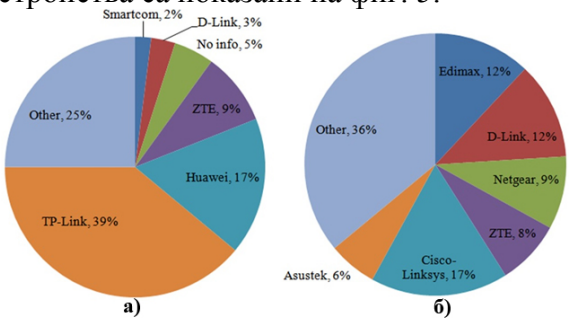


***Фиг. 4**. Използване на Wi-Fi криптиране през 2018 (а) и 2008 (б)*

Само 6% от мрежите, използват WPA, което е положително, но други 39% също го поддържат, тъй като освен протокола AES CCMP (показващ, че поддържат и WPA2), те поддържат и TKIP. По този начин, тези мрежи, които изглеждат сигурни (тъй като на пръв поглед са WPA2), всъщност се оказват несигурни, поради факта, че работят в смесен режим. В много случаи обаче смесеният режим е нужен, тъй като се поддържа от стари модели устройства, които не могат да работят с WPA2.

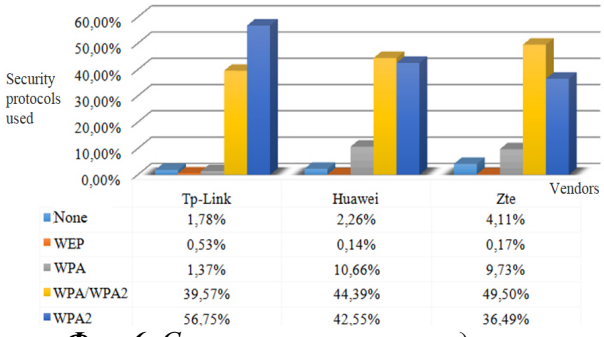
WI-FI ПРОИЗВОДИТЕЛИ

Най-често използваните марки Wi-Fi устройства са показани на фиг. 5.



***Фиг. 5**. Използвани марки устройства през 2018 (а) и 2008 (б)*

Видимо на първо място е марката TP-Link – причините за това, са както ниската цена, така и факта, че един от големите доставчици в града предоставя модели на това устройство безплатно на своите клиенти. При второ и трето място, Huawei и Zte, ситуацията е подобна – Mtel предоставя устройства Huawei, Vivacom преди е предоставял ZTE, а в последните години също Huawei. Въпреки това обаче, благодарение на по-добри настройки по подразбиране, единствено при TP-Link процентът на мрежи с метод на защита WPA2 е по-голям от комбинирания WPA/WPA2 (фиг.6).



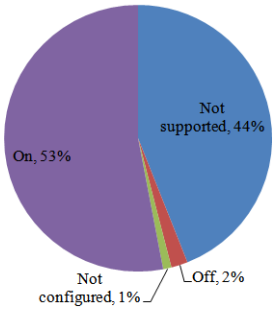
	Tp-Link	Huawei	Zte
None	1,78%	2,26%	4,11%
WEP	0,53%	0,14%	0,17%
WPA	1,37%	10,66%	9,73%
WPA/WPA2	39,57%	44,39%	49,50%
WPA2	56,75%	42,55%	36,49%

***Фиг. 6**. Сигурност при производители*

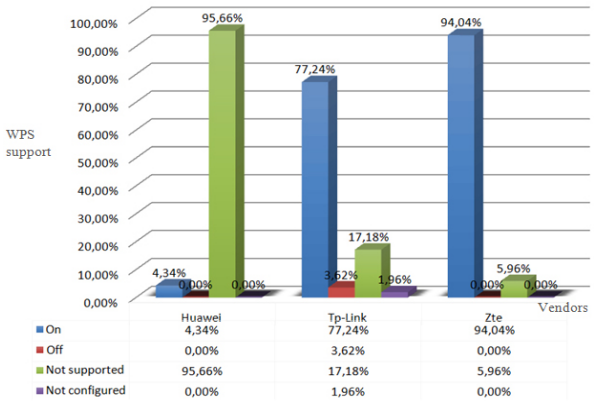
ИЗПОЛЗВАНЕ НА WPS

Следващите анализирани данни показват каква част от мрежите в гр. Варна предлагат функцията WPS. Тя е много важен фактор за сигурността, поради проблемите в технологията (фиг.7).

При анализ на поддръжката на WPS при топ марките, се забелязва факта, че при TP-Link 77% от устройствата дават възможност за използване на WPS. При Mtel и устройствата Huawei, по подразбиране WPS е изключен. При Vivacom и ZTE, ситуацията е обратната – WPS е по подразбиране включен (фиг. 8).



***Фиг. 7**. Използване на WPS*



	Huawei	Tp-Link	Zte
On	4,34%	77,24%	94,04%
Off	0,00%	3,62%	0,00%
Not supported	95,66%	17,18%	5,96%
Not configured	0,00%	1,96%	0,00%

***Фиг. 8**. Поддръжка на WPS при производители*

СРАВНЕНИЕ С РЕЗУЛТАТИ ОТ ПРЕДИШНО ИЗСЛЕДВАНЕ

Предишно проучване през 2008 [12] анализира данни за 688 мрежи. В сравнение с настоящия брой сканирани мрежи това означава, че за 10 години в града има значително увеличение на броя на мрежите – повече от 16 пъти. В допълнение, има и значително подобрение на мрежовата сигурност, както е показано на фиг.4-б.

Процентът на мрежите без каквато и да е защита е намалял почти 4 пъти, от 39% на 7%, а мрежите със защита на WEP са пренебрежимо малък брой (за разлика от над 30% през 2008г.). Използването на WPA е намаляло до само 6%. За разлика от това, увеличението е в полза на WPA2 (40% ръст) и WPA/WPA2 смесени устройства.

По отношение на доставчиците, ZTE е единствената запазена марка и дори е увеличила своя дял на пазара. Всички останали основни играчи през 2008г. вече имат пазарен дял под 5% (Cisco-Linksys има 2%, а D-Link – 3%). Получените по-рано резултати са представени на фиг.5-б.

Може да се обобщи, че за този период от 10 години нивото на сигурност е значително повишено. Сега 47% от мрежите в града използват стандарта WPA2, в сравнение със 7% от предишното проучване.

Изключително тревожен факт е обаче, че 59% от защитените WPA2 мрежи във Варна използват функцията WPS, което значително намалява тяхната сигурност. Известни са множество средства и програми, които позволяват на всеки лесно да извърши атака с няколко клика на мишката.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящият доклад представя проучване на сигурността на безжични мрежи, проведено в град Варна. Използвана е техника war-driving, базирана на разработена система за сканиране с Raspberry Pi. Получените резултати са сравнени с подобни, получени през 2008г.

Отговорът на поставения като основна цел на изследването въпрос може да се формулира така: *Резултатите показват значително увеличаване на сигурността на Wi-Fi мрежите в града, но въпреки това има какво още да се подобри в тази насока*.

Причините за подобряване на сигурността могат да се разгледат в две насоки. Първо, производителите предлагат устройства, които по подразбиране имат конфигуриран протокол WPA2. Второ, по-големите организации имат ИТ отдели, които се грижат за сигурността. Въз основа на резултатите за откритите SSID, смесен режим WPA/WPA2 и WPS, може да се заключи, че повечето от анализираните Wi-Fi мрежи принадлежат на обикновени потребители, които нямат достатъчно знания за сигурност.

Основните препоръки могат да бъдат представени в следните направления:

1. Да се използва само метод WPA2 за криптиране. В случай на по-стари устройства, за предпочитане е да се изгради отделна мрежа, която поддържа смесен режим WPA/WPA2.
2. Да се деактивира WPS за всички устройства.
3. Да се избира сложна парола.
4. Да се актуализира софтуера на устройствата до последната версия.
5. Да се информират потребителите за проблемите в сигурността на Wi-Fi мрежата.

Като насоки за бъдещата работа се предвижда анализ на най-новите мрежи 802.11ac и 802.11ah, както и проучване на нивото на сигурност в по-разширени райони на град Варна и региона.

ЛИТЕРАТУРА

[1] G. Colbach. Wireless Networking: Introduction to Bluetooth and WiFi. Independently published. 2017.

[2] IEEE 802.11 Wireles local area networks, http://www.ieee802.org/11/.

[3] S. Gopalakrishnan. A survey of wireless network security. IJCSMC, 1(3), 53–68. 2014.

[4] IEEE 802.11-2016 - IEEE Standard for Information technology. https://standards.ieee.org/standard/802_11-2016.html.

[5] NetSpot Wireless security protocols: WEP, WPA, WPA2, and WPA3, https://www.netspotapp.com/ wifi-encryption-and-security.html.

[6] S.Viehböck, Brute forcing Wi-Fi Protected Setup, https://sviehb.files.wordpress.com/ 2011/12 /viehboeck_wps.pdf.

[7] P.Shipley, 802.11b War Driving and Lan Jacking, https://www.defcon.org/html/defcon-9/defcon-9-speakers.html.

[8] D.Dobrilovic. A method for comparing and analyzing wireless security situations in two capital cities. Acta Polytechnica Hungarica, 3(13), 67–86. 2016.

[9] S.S.Sebbar (2016). An empirical study of WIFI security and performance in Morocco - wardriving in Rabat. DOI:10.1109/EITech.2016.7519621.

[10] K.A.Kyaw, Z.Tian and B.Cisak. Wi-Pi: a study of WLAN security in Auckland city. IJCSNS, 8(16), 68–80. 2016.

[11] S.U.Priya. The Impact of War Driving On Wireless Networks. IJCSET, 3(6), 230–235. 2013.

[12] H.Valchanov, I.Ruskov and A.Varbanov. A Study of the Wireless Network Security. Proc of “Computer Science 2009”, 273–278. 2009.

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИНТЕРФЕЙСИ ЗА СМАРТ ЧАСОВНИЦИ

STUDY OF SMART WATCH INTERFACES

Veneta Aleksieva
Technical University of Varna

Hristo Valchanov
Technical University of Varna

Yuri Dimitrov
Technical University of Varna

Abstract

Smart watches are wearable devices' small sizes. Their display size and limited space for input controls require specific attention to the device interfaces development processes. The research in this paper aims to compare two different approaches in the interface design - a Novel interface based on two-finger touch interface input on touch sensitive device bezel (the surface that is around the display) to a Standard "wristwatch" style input interface based on side push buttons.

Keywords: Bezel, Interface, Smart watch, Touch, Wearable.

ВЪВЕДЕНИЕ

Носимите устройства стават популярни през последните няколко години [1], но техниките за взаимодействие между потребител и устройство остават същите като при класическите часовници (с бутони) или както при смартфоните (с тъчскрийн). Интерфейсите, базирани на допир са ефективни, когато се използват в смартфони, но когато потребителят ги използва върху малки повърхности (дисплей на смарт часовник) се забелязват определени затруднения. Малкият размер на интерфейсните контроли затруднява потребителите да ги посочват правилно. Това е дефинирано от изследователите като проблем на „дебелия пръст“ [2]. Освен това поради линията на зрение, потребителите не могат да видят какво натискат от собствения си пръст и да проследят визуалното потвърждение на предприетите действия.

Опитвайки се да разрешат проблема с "дебелия пръст", някои от доставчиците в областта на смарт часовниците са въвели в последните си модели различни нови интерфейси: цифрова въртяща се корона [3], чувствителен на допир пръстен на дисплея [4], завъртане и натискане на рамката [5].

Алтернативните интерфейси на носимите устройства и по-специално тези, които позволяват взаимодействие без прекъсване на зрението на потребителя, трябва да бъдат допълнително проучени. Ето защо е разработен нов интерфейс на смарт часовник, базиран на чувствителния на допир пръстен [6]. Тъй като този интерфейс е обещаващ в областта на решаването на проблемите на взаимодействието с малки носими устройства, той трябва да бъде сравнен със съществуващия доказан интерфейс, за да бъде оценена неговата приложимост в областта на интерфейсите на носимите устройства.

ЦЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Целта на това проучване е да се сравни процеса на взаимодействие човек– смарт часовник, когато един и същ потребител изпълнява една и съща задача (една и съща последователност от командни интерфейси „Нагоре“, „Надолу“, „Избери“, „Назад“) при използване на два прототипа на смарт часовници, разработени за целта. Прототипите са с различни входни интерфейси (активиране на функции с допир и активиране на функции с бутони). Представена е и по-

требителската субективна оценка на интерфейсите.

ПРОТОТИПИ НА ИНТЕРФЕЙСИ НА СМАРТ ЧАСОВНИЦИ

За целите на изследването са изработени два експериментални прототипа с различни входни интерфейси - „Нов“ с интерфейс с чувствителен на допир пръстен, който е разработен за предишно изследване [6], и „Стандартен“ с четири бутона отстрани на устройството, който е проектиран и разработен за настоящото изследване (фиг.1).

***Фиг. 1**. „Нов”(отляво) и „Стандартен”(отдясно) прототипи*

За да са напълно сравними резултатите от изследванията, двата модела са изработени въз основа на един и същ 3D модел на ръчен часовник, проектиран за предишни изследвания [6]. Експерименталните модели се управляват от компютър Arduino Mega 2560, като експерименталната постановка е представена на фиг. 2.

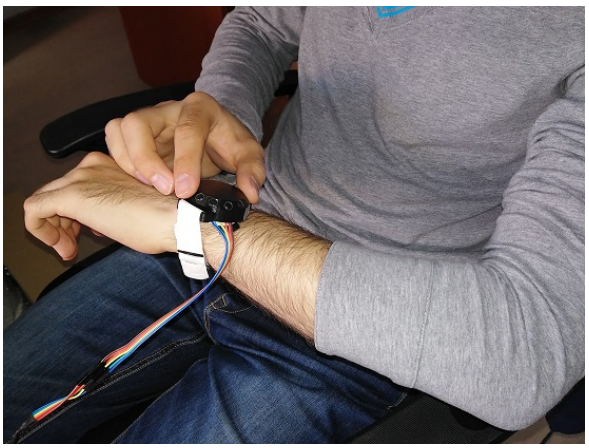
Разработен е софтуер за управление на всеки един модел на база на Arduino. И двата софтуерни продукта разпознават четири основни командни интерфейса за взаимодействие - „Нагоре“, „Надолу“, „Избери“ и „Назад“. Софтуерът за „Нов” модел е разработен за предишното изследване [6], но е модифициран чрез добавяне на още една функция („Назад“). В допълнение към стандартния набор от команди, софтуерът показва също последователности от докоснати и освободени точки (пинове). Софтуерът за „Стандартен” модел е разработен за настоящото изследване. Компютърът Arduino Mega 2560 се свързва към лаптоп чрез USB интерфейс и изпраща данните на Arduino IDE сериен монитор.

***Фиг. 2**. Експериментална постановка*

СЪБИРАНЕ НА ДАННИ

Първичните данни от всеки опит, генерирани от всеки експериментален прототип, се прехвърлят в MS Excel за по-нататъшна обработка.

Тестовата група се състои от 10 доброволци, ползващи дясна ръка за работа с прототипите. Средната възраст на участниците в експериментите е 37,6 години. Всички експерименти са проведени при равни други условия - в едно и също помещение, без наличие на изкуствено осветление. Процесът на експерименталните изследвания е показан на фиг. 3.



***Фиг. 3**. Провеждане на експериментите*

ИЗСЛЕДВАНЕ

Изследването на разработените модели на интерфейси на смарт часовници се проведе в три етапа – на първия етап се сравняват времето и точността на изпълнение на проста задача (избор само на една функ-

ция), на втория етап се сравняват времето и точността на изпълнение на сложна задача (избор на функция в няколко стъпки), а на третия етап доброволците дават субективна оценка за комфорта на работа с двата интерфейса.

Изследването на интерфейсите при изпълнение на проста задача на смарт часовник се провежда в следните стъпки:

1. Активиране на интерфейса (с натискане на произволен бутон на „Стандартен" модел и докосване с два пръста върху „Нов" модел);

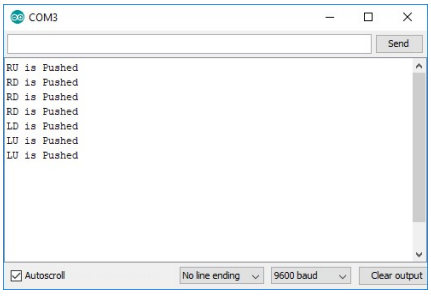
2. Скролиране с функция „Надолу" на три стъпки във виртуалното меню на устройството – „Избиране" на елемента от менюто, „Назад" към главното меню;

3. Деактивиране на интерфейса (бутон „Назад" след изпълнение на последователността при „Стандартен" модел, а на „Нов" модел – с докосване с два пръста).

Инструкциите, дадени на всеки участник, са еднакви и за двата експериментални модела – да се започне от отпуснато положение на тяло и ръце, да се извършват всички действия с нормална скорост и темп и да се поддържа контакт с очите с дисплея на виртуалното устройство през цялото време. След всеки един опит участникът е инструктиран да се върне в отпуснато положение.

Изходът от софтуера на Arduino, използван за регистриране на изпълнението на набора от команди за „Стандартен" модел е показан на фиг. 4. Извежданите команди са:

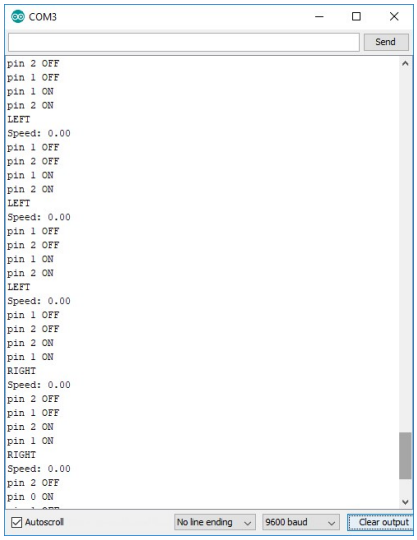
- RU - означава избор на бутон „Нагоре";
- RD - означава избор на бутон „Надолу";
- LU - означава избор на бутон „Назад";
- LD - означава избор на бутон „Избери".



***Фиг. 4**. Изход от тестовете на „Стандартен" модел за проста задача*

Изходът от софтуера на Arduino, използван за регистриране на изпълнението на набора от команди за „Нов" модел е показан на фиг. 5. Извежданите команди са:

- RIGHT – завъртане на дясно е „Нагоре";
- LEFT – завъртане на ляво е „Надолу";
- ENTER – активно натискане с пръст е „Избери";
- BACK – задържане на пръста е "Назад".



***Фиг. 5**. Изход от тестовете на „Нов" модел за проста задача*

Резултатите от тези опити са представени в Табл.1, където са показани всеки номер на участник [P], всеки номер на опит за всеки участник [A] и стойностите, получени при експеримента – време в секунди за изпълнение на всеки експериментален опит [T] и направени грешки от участника по време на всеки опит [ERR].

***Табл. 1**. Експериментални резултати*

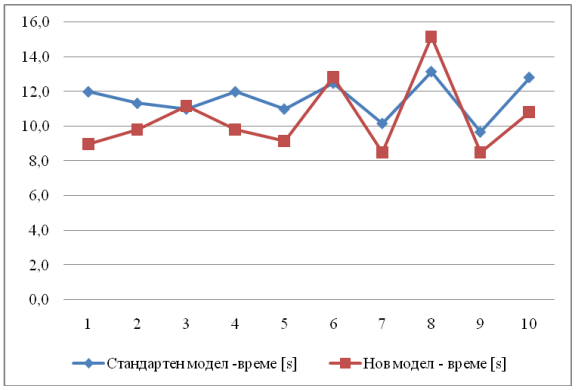
P	A	Проста задача			
		Стандартен модел		Нов модел	
		T [s]	Err	T [s]	Err
1	1	12.5	0	9.5	0
	2	11.5	0	9.0	1
	3	12.0	0	8.5	0
2	1	10.5	1	10.0	0
	2	12.0	0	9.5	0
	3	11.5	0	10.0	0
3	1	11.0	0	12.0	1
	2	11.5	0	11.0	0
	3	10.5	0	10.5	0
4	1	12.5	1	10.5	0
	2	11.5	0	10.0	0
	3	12.0	0	9.0	0
5	1	11.0	0	9.5	1
	2	11.5	0	9.0	0
	3	10.5	1	9.0	0

6	1	13.0	0	14.0	1
	2	12.0	0	13.0	0
	3	12.5	0	11.5	0
7	1	11.0	0	9.0	0
	2	10.0	0	8.0	0
	3	9.5	0	8.5	0
8	1	13.0	1	16.0	2
	2	14.0	1	14.0	1
	3	12.5	0	15.5	0
9	1	10.5	0	9.0	0
	2	9.5	0	8.0	0
	3	9.0	0	8.5	0
10	1	14.0	0	12.0	1
	2	13.0	0	10.5	0
	3	11.5	0	10.0	0

Средното време за изпълнение на проста задача, използвайки „Стандартен" модел, е 11,6s, а за „Нов" модел е 10,5s, т.е изпълнението на проста задача от „нов" модел е с 1,1s по-бързо.

Средният брой на грешките по време на изпълнението на експеримента с помощта на „Стандартен" модел е 0,17 грешки/опит, а за „Нов" модел е 0,33 грешки/опит.

Средните времена на изпълнение и с двата модела за всеки участник са представени на фиг. 6.



***Фиг. 6**. Средни времена за изпълнение на проста задача с двата модела*

На втория етап от експериментите се сравнят времето и точността за изпълнение на по-сложна задача на смарт часовник. Процесът е подобен на изследването на интерфейсите с проста задача, но е с по-дълга последователност на взаимодействията с интерфейса. Сега стъпките са:

1. Активиране на интерфейса;
2. Скролиране „Надолу" на 3 стъпки, „Избиране", превъртане „Нагоре" на 2 стъпки, "Избиране", превъртане "Надолу" на 4 стъпки, "Избиране", "Назад" към главното меню;
3. Дезактивиране на интерфейса.

Общият брой на стъпките на работа с интерфейса в експерименталния процес е 15 в сравнение със 7 в първия етап на изследването.

Резултатите от тези опити са представени в Табл.2, където са използвани същите означения като в Табл.1.

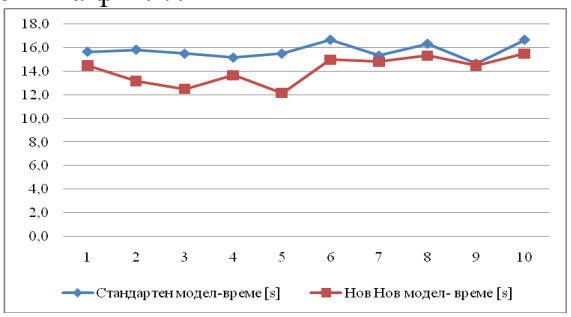
***Табл. 2**. Експериментални резултати*

P	A	Сложна задача			
		Стандартен модел		Нов модел	
		T [s]	Err	T [s]	Err
1	1	16.5	1	17.0	0
	2	15.0	0	14.0	1
	3	15.5	0	12.5	0
2	1	17.0	0	14.0	0
	2	15.5	0	12.5	0
	3	16.0	0	13.0	0
3	1	15.5	0	12.0	1
	2	15.0	0	13.0	0
	3	13.5	0	12.5	0
4	1	17.0	1	15.5	1
	2	16.0	0	13.0	0
	3	15.5	0	12.5	0
5	1	15.5	0	12.5	0
	2	14.5	1	11.5	0
	3	14.0	0	11.0	0
6	1	16.5	0	18.0	1
	2	16.5	0	16.0	1
	3	16.0	0	16.5	0
7	1	15.5	0	15.0	0
	2	14.5	0	13.0	0
	3	14.0	0	12.5	0
8	1	18.0	0	17.5	1
	2	17.0	0	16.0	1
	3	16.5	0	17.0	0
9	1	14.0	0	14.0	0
	2	13.5	0	12.5	0
	3	13.0	1	12.0	0
10	1	18.0	0	16.0	0
	2	16.5	0	15.5	1
	3	15.5	0	15.0	0

Средното време за изпълнение на сложна задача, използвайки „Стандартен" модел, е 15,6s, а за „Нов" модел е 14,1s, т.е изпълнението на сложна задача от „Нов" модел е с 1,5s по-бързо.

Средният брой на грешките по време на изпълнението на експеримента с помощта на „Стандартен" модел е 0,13 грешки/опит, а за „Нов" модел е 0,27 грешки/опит.

Средните времена на изпълнение и с двата модела за всеки участник са представени на фиг. 7.



***Фиг. 7**. Средни времена за изпълнение на сложна задача с двата модела*

На третия етап от експериментите се оценява мнението на потребителите. Те дават субективна оценка на комфорта на работа с двата модела на интерфейси, като с 4 се оценява „лошо”, 3 – „неутрално”, 2 – „добре”, 1 – „отлично”. Резултатите са представени в табл.3. Средното ниво на удобство на потребителя със „Стандартен” модел е 1,5. Средното ниво на удобство на потребителя с „Нов” модел е 2,2, т.е. потребителите предпочитат работата с бутони пред интерфейса с чувствителен на допир пръстен. Това се дължи на изградени потребителски навици от работа с електронни часовници с бутони.

***Табл. 3**. Субективна оценка на комфорта на потребителите*

Потребител	Стандартен модел	Нов модел
1	2	2
2	1	3
3	1	1
4	2	1
5	1	2
6	2	4
7	2	2
8	1	3
9	2	1
10	1	3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящият доклад представя изследване и сравнение на два различни входни интерфейса за смарт часовници – „Стандартен” с активиране на функциите с 4 бутони отстрани на корпуса на часовника и „Нов” – с активиране на функции чрез чувствителен на допир пръстен, обрамчващ корпуса на часовника. Те са изследвани по отношение на скорост и точност по време на навигационния процес в менюто на устройството. Направена е субективна оценка на потребителя за комфорта на работа с двата експериментални модела.

Изводите от проучването могат да се обобщят в следните:

• Новият експериментален модел превъзхожда стандартния по скорост на работа. Когато наборът от команди е по-дълъг, ползата от използването на новия модел на интерфейс е по-голяма.

• Коефициентите на грешки при работа с новия модел са по-високи от тези при използване на стандартния модел. Причината може да е фактът, че традиционните интерфейси със странични бутони на електронен часовник са познати на повечето хора, но интерфейсът на новия модел с чувствителен на допир пръстен е нещо ново за тях.

• Оценката на потребителите за комфорта на работа с двата интерфейса е по-висока за работата със стандартен модел.

ЛИТЕРАТУРА

[1] IDC, “International Data Corporation (IDC) Worldwide Quarterly Wearable Device Tracker - Q3 2017, https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS43260217” - last visited on March 6, 2019.

[2] K. A. Siek, Y. Rogers, and K. H. Connelly, “Fat Finger Worries: How Older and Younger Users Physically Interact with PDAs,” pp. 267–280, 2005.

[3] Apple, “https://www.apple.com/watch/” - last visited on March 6, 2019.

[4] Misfit, “https://misfit.com/misfit-vapor” last visited on March 6, 2019.

[5] Samsung Electronics, “http://www.samsung.com/uk/wearables/gear-s3/” last visited on March 6, 2019.

[6] Yuri Dimitrov, Two-finger Touch Interface for Wearable Devices Prototype Model, „Computer Sciences and Technologies“, TU Varna, 2018, issue.1, pp.11-16, ISSN 1312-3335

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СИМУЛАТОРИ ЗА 6LOWPAN БЕЗЖИЧНИ СЕНЗОРНИ МРЕЖИ ЗА ЦЕЛИТЕ НА ОБУЧЕНИЕТО

STUDY OF 6LOWPAN WIRELESS SENSOR NETWORK SIMULATORS FOR PURPOSES OF EDUCATION

Aydan Haka
Technical University of Varna, Bulgaria
aydin.mehmed@tu-varna.bg

Abstract

The widespread use of Internet of Things technologies and their increasing use in recent years requires the study of these technologies in terms of quality of service. This can be done by using simulation software that will minimize the cost and time of building such a network. This paper presents a comprehensive comparative evaluation of some of the most well-known simulators to explore the quality of service on the 6LoWPAN Internet of Things network. A system of criteria for performing a comprehensive comparative analysis of simulators for the 6LoWPAN network is proposed.

Keywords: 6LoWPAN, Sensor Network Simulators, Comparison

ВЪВЕДЕНИЕ

С активното развитие на клетъчните мрежи от четвърто и пето поколение [1] се развиват и клетъчните Internet of Things (IoT) мрежи [2]. Постепенното навлизане на тези мрежи в заобикалящия ни свят през последните години [1] и внедряването им за различни приложения в ежедневието диктува необходимостта от изследване на такъв тип мрежи. Изследването на една такава мрежа изисква закупуване на оборудване, с което да се изгради и тества исканата функционалност. Преди обаче да се инвестира във физическото оборудване е по-разумно да се изгради и изследва такава мрежа, като се използва симулационна среда. След изследване на симулирана примерна мрежа може да се прецени дали е реално необходима инвестицията или какви са недостатъците на първоначалната идея и как да се подобри тя. Този подход за изследване на безжична сензорна мрежа за IoT може да се въведе и в образованието. За целите на обучението основните изисквания към една симулационна среда може да са:

- моделиране на различни механизми за приоритизация на трафика при 6LoWPAN;
- моделиране на различни видове трафик;
- възможност за изграждане на различни мрежови архитектури за 6LoWPAN;
- възможност за визуално представяне на изследваната мрежа;
- анализ на получените резултати;
- лиценз за ползване;
- лесна инсталация;
- време за изучаване;
- нагледно представяне на въведените данни;
- извеждане на статистически резултати за направените тестове;
- използване на процесора;
- използване на паметта.

КРИТЕРИИ ЗА АНАЛИЗ НА СИМУЛАЦИОННИ СРЕДИ ЗА БЕЗЖИЧНИ СЕНЗОРНИ МРЕЖИ

За извършване на комплексен сравнителен анализ на симулационни среди за 6LoWPAN сензорни мрежи е необходимо да се използва набор от критерии, според които да се определи кой от изследваните симулатори е най-подходящ за целите на обучението.

Направени са множество сравнителни анализи на симулатори за безжични сензорни мрежи като при различните проучвания се разглежда различен набор от критерии за извършване на сравнението, както е направено в [3] и [4].

В [3] се разглеждат следните критерии за извършване на сравнение:

- среда, на която работи;
- входни данни за симулатора;
- скалируемост;
- модел на комуникационния канал;
- мобилни възли;
- поддържана хардуерна платформа;
- разширение на функционалността;
- PHY модел;
- сензорен канал;
- енергийно профилиране;
- оценяване батерията/времето за живот;
- точност по време/мощност.

Изследването представено в [4] отисва два набора от критерии за сравнение на симулатори за безжични сензорни мрежи:

- първи набор: език за програмиране, документация, използвана операционна система, графичен потребителски интерфейс, година на последна версия;
- втори набот: моделиране на консумацията на енергия, моделиране на мобилност, скалируемост, разширение на функционалността.

В разгледаните проучвания използваните критерии не са достатъчни за оценяване на симулационните среди по отношение на обучението. За целта може да се обединят част от представените в [3] и [4] критерии с тези, касаещи обучението. Това се прави, за да се прецизира комплексната оценка на сравняваните симулатори. За извършване на комплексния сравнителен анализ се предлага следната комбинация от критерии:

- моделиране на различни механизми за приоритизация на трафика при 6LoWPAN;
- моделиране на различни видове трафик;
- възможност за изграждане на различни мрежови архитектури за 6LoWPAN;
- симулиране на 6LoWPAN мобилност;
- анализ на получените резултати;
- възможност за визуално представяне на изследваната мрежа;
- нагледно представяне на въведените данни;
- извеждане на статистически резултати за направените тестове;
- поддържане на графичен потребителски интерфейс;
- наличие на ръководство за потребители и разработчици;
- поддържана операционна система;
- скалируемост;
- поддържана хардуерна платформа;
- оценяване батерията/времето за живот;
- моделиране на консумацията на енергия;
- език за програмиране;
- лесна инсталация;
- време за изучаване;
- използване на процесора (Average CPU);
- използване на паметта (Commit);
- лиценз за ползване.

КОМПЛЕКСНА ОЦЕНКА ЗА КАЧЕСТВОТО НА СИМУЛАЦИОННИ СРЕДИ ЗА 6LOWPAN СЕНЗОРНИ МРЕЖИ

Разнотипността на разглежданите критерии за оценка на симулаторите, не позволява извеждане на конкретна функция за качеството на оценяваните симулатори. Заради това комплексният сравнителен анализ може да се извърши чрез изчисляване на средна аритметична и средна геометрична математическа зависимост, както е направено в [5, 6].

Аритметичният комплексен показател се изчислява по формулата:

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^{n} b_i \, d_i}{\sum_{i=1}^{n} b_i} \qquad (1)$$

Геометричният комплексен показател се изчислява по следната формула:

$$R_{\text{г}} = \left(\prod_{i=1}^{n} d_i^{b_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} b_i}}, \quad (2)$$

където нормираната количествена оценка на i-тия показател е:

$$0 \le d_i \le 1 \quad (3)$$

n - брой на показателите, а b_i е *i*-я тегловен коефициент, като:

$$\sum_{i=1}^{n} b_i = 1 \quad (4)$$

За целите на изследването тегловните коефициенти b_iсе вземат равни.

Съществуват редица симулационни среди, позволяващи симулиране на 6LoWPAN технология. В настоящото изследване са разгледани едни от най-известните: COOJA, OMNET++, NS-3, QualNet, TOSSIM. Разглежданите среди са сравнени с предложения симулационен софтуер и е представена средна аритметична и средна геометрична оценка на всеки от тях. На база получените оценки може да се определи най-подходящият симулационен софтуер за целите на обучението.

COOJA [7] – мрежов симулатор, позволяващ емулиране на истински хардуерни платформи. Предложена е от Contiki OS, съсредоточена към изследване поведението на безжична сензорна мрежа. Симулаторът поддържа четири модела на разпространение, един от които трябва да се избере при нова симулация:

- Constant Loss Unit Disk Graph Medium – модел с постоянна загуба, който поддържа идеален обхват на предаван, при който възлите в обхвата получават пакети, а тези извън него не получават такива;
- Distance Loss Unit Disk Graph Medium – разширение на Constant Loss Unit Disk Graph Medium модела, като взема предвид и радиосмущенията при предаване;
- Directed Graph Radio Medium – разглежда закъсненията при разпространението на пакеките по радиовръзките;
- Multipath Ray-tracer Medium – използва методите за проследяване на лъчи, за да изчисли мощността на приемника, също може да изчисли дифракциите, отраженията и пречупванията по радиовръзките.

OMNeT++ [8] – модулна платформа, базирана на C++ с възможност за разширяване. Предоставя модули за симулиране на специфична за блaсста функционалност като поддръжка на сензорни мрежи, безжични ad-hoc мрежи, Интернет протоколи, моделиране на производителността и др. През 2013г. е представен модела за симулиране на 6LoWPAN сензорна мрежа, който интегрира в себе си част от функциите, дефинирани от Contiki [9]. Разпространява се под академичен публичен лиценз.

NS-3 [10] – симулатор с отворен код на C++, разработен през 2006г. и базиран на дискретни събития, предназначен за изследователска и образователна работа. NS-3 изучава механизми за предаване и интеграция. Обвързванията на Python не работят на Cygwin, поддържа се само IPv4.

QualNet [11] – комерсиално производно на GloMoSim, базиран на C++. Издаден е през 2000г. от Scalable Network Technology (SNT). Основава се на GUI модел, използван за проектиране, анимация и анализ. Предоставя комерсиални протоколи и модели за устройства с висока точност, сравнителна оценка на производителността на различни протоколи на всеки слой, мащабируемост, чрез поддръжка на паралелно изпълнение.

TOSSIM [12] – представлява емулатор специално създаден за безжични сензорни мрежи, работещи на TinyOS. Представлява мрежов симулатор с отворен код, базиран на дискретни събития, който е изграден на NesC, C++ и Python. Може да се стартира на Linux или Cygwin под Windows. Предоставя графичен потребителски интерфейс и може да поддържа симулиране на хиляди възли. Библиотеката от протоколи съдържа и 802.15.4 MAC. TOSSIM е специално разработен за TinyOS приложения.

Предложен [13] – предложената симулационна среда представлява продукт с отворен код, написан на езика C#. Предоставя интуитивен и лесен за работа графичен потребителски интерфейс. Позволява изследване на 6LoWPAN сензорна мрежа, като

предоставя графики и статистически данни за симулираните действия.

В Таблица 1 е извършено сравнение на шест симулатора на 6LoWPAN мрежа. Сравнението е извършено чрез провеждане на експерименти с въвеждане на параметри на една и съща 6LoWPAN мрежа, с едни и същи входни данни. Симулирани са едни и същи ситуации и са анализирани получените резултати.

В Таблица 2 са представени комплексните аритметични и комплексните геометрични оценки на изследваните симулатори, съгласно формули (1) и (2), базирайки се на извършените експерименти, резултатите, от които, са описани в Таблица 1.

Резултатите от комплексните оценки доказват, че **COOJA** и **QualNeT** симулаторите предоставят най-добри възможности за изследване на 6LoWPAN мрежи.

Таблица 1. *Сравнение на симулатори на 6LoWPAN мрежи*

Критерии за сравнение на 6LoWPAN симулатори	Изследвани симулатори					
	COOJA	QualNet	OMNeT++	NS-3	TOSSIM	Предложен
моделиране на различни механизми за приоритизация на трафика при 6LoWPAN	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
моделиране на различни видове трафик	Да напълно	Да частично	Да частично	Да напълно	Да напълно	Да напълно
възможност за изграждане на различни мрежови архитектури за 6LoWPAN	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
симулиране на 6LoWPAN мобилност	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да частично	Да напълно
анализ на получените резултати	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
възможност за визуално представяне на изследваната мрежа	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да частично	Да частично
нагледно представяне на въведените данни	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
извеждане на статистически резултати за направените тестове	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно
поддържане на графичен потребителски интерфейс	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да частично	Да напълно
наличие на ръководство за потребители и разработчици	Да напълно	Да напълно	Да частично	Да напълно	Да напълно	Да напълно
поддържана операционна система	Linux (Tiny OS)	Windows, Linux	Linux, MAC OS, Windows	Linux, MAC OS, Windows experimental	Linux, Windows (Tiny OS)	Windows
скалируемост	Да частично	Да напълно	Да частично	Да частично	Да напълно	Да частично
поддържана хардуерна платформа	Tmote sky, Z1, WiSMote, MicaZ, ESB	Виртуална	Z-Wave, EnOcean	STM32,	MicaZ	Виртуална

оценяване батерията/времето за живот	Да напълно / Да напълно	Да частично / Да напълно	Да частично / Да частично	Да напълно / Да напълно	Да напълно / Да напълно (при разновидност mTossim)	Не/Не
моделиране на консумацията на енергия	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно	Да напълно (при разновидност mTossim)	Не
език за програмиране	Java, Contiki	C++	C++	C++, Optional Python Bindings	NesC, C++, Python	C#
лесна инсталация	Да напълно	Да напълно	Да частично	Да частично	Да частично	Да напълно
време за изучаване	Средно	Кратко	Средно	Продъл-жително	Средно	Кратко
използване на процесора	10.85	27.65	7.57	11.56	9.59	4.20
използване на паметта	566 782KB	950 874KB	439 500KB	570 932KB	498 950KB	200 520KB
лиценз за ползване	Безплатен	Платен търговски	Безплатен	Безплатен	Безплатен	Безплатен

Таблица 2. *Сравнение на комплексните оценки на симулатори за 6LoWPAN мрежи*

Комплексен показател	Изследвани симулатори					
	COOJA	QualNet	OMNeT++	NS-3	TOSSIM	Предложен
R_a	0.481	0.474	0.415	0.466	0.417	0.417
R_c	0.414	0.402	0.345	0.402	0.358	0.302

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена е система от критерии за сравнение и комплексна оценка на симулатори за 6LoWPAN мрежи. Предложените комплексни оценки осигуряват сравнимост на резултатите и намаляват субективността в оценяването на симулационните среди. Според представените резултати от изследването поради широкия набор от разглеждани критерии най-подходящ за изследване на 6LoWPAN сензорни мрежи е симулатор COOJA. Ако се разгледат критериите поотделно, се вижда, че предложеният симулатор предоставя оптимални стойности спрямо – „Лесна инсталация“, „Време за изучаване“, „Използване на процесора“, „Използване на паметта“, „Лиценз за ползване“, които са от изключителна важност по отношение на обучението. Също така предоставя съизмерими, с останалите симулатори, резултати спрямо много други критерии. Това доказва, че предложеният симулатор е подходящ за целите на обучението.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ericsson Mobility Report June 2019, https://www.ericsson.com/en/mobility-report, Last visit on 18.09.2019

[2] 5G Americas, IoT Deployments, https://www.5gamericas.org/resources/deployments/deployments-iot/, Last visit on 18.09.2019

[3] Minakov, I., Passerone, R., Rizzardi, A., Sicari, S. A Comparative Study of Recent Wireless Sensor Network Simulators. //ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), August 2016, Volume 12, Issue 3, pp: 20 – 20:39, ISSN: 1550-4859

[4] Saidallah, M., Fergougui, A. E., Elalaoui, A. E. A Survey and Comparative Study of Open-Source Wireless Sensor Network Simulator. //International Journal of Advanced Research in Computer Science (IJARCS), Vol. 7, No. 3, 2017, E-ISSN: 0976-5697

[5] Haka, A., Aleksieva, V., Valchanov, H. Camparative Evaluation of Mechanisms for Traffic Prioritization in LTE Networks. //Proceedings, 2019 16-th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, pp: 406-410, ISBN: 978-1-7281-1412-5, IEEE Catalog number: CFP19L07-USB

[6] Dinev, D., Aleksieva, V., Valchanov, H. Comparative Analysis of Prototypes Based on Li-Fi Technology. //Proceedings, 2019 16-th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, pp: 531-534, ISBN: 978-1-7281-1412-5, IEEE Catalog number: CFP19L07-USB

[7] (COOJA). Contiki OS, COOJA Network Simulator, http://www.contiki-os.org/, Last visit on 15.09.2019

[8] (OMNeT++). OMNeT++ Network Simulator, What is OMNeT++?, https://omnetpp.org/intro/, Last visit on 15.09.2019
[9] Kirsche, M., Hartwing, J. Poster Abstract: A 6LoWPAN Model for OMNeT++. //Proceedings of the 6th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques, Cannes, France – March 05-07, 2013, pp: 330-333, ISBN: 978-1-4503-2464-9
[10] (NS3). Network Simulator 3, https://www.nsnam.org/, Last visit on 18.09.2019
[11] (QualNet). QualNet simulator, https://www.scalable-networks.com/qualnet-network-simulation, Last visit on 18.09.2019
[12] (TOSSIM). TOSSIM simulator, http://www.tinyos.net/, Last visit on 18.09.2019
[13] Vasilev, R., Haka, A. Enhanced Simulation Framework for Realisation of Mobility in 6LoWPAN Wireless Sensor Networks, in press (paper presented to XXVIII International Scientific Conference Electronics – ET2019, September 12-14, 2019, Sozopol, Bulgaria, https://e-university.tu-sofia.bg/e-conf/files/24/Prog_ET2019.pdf)

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

MODIFICATION OF ALGORITHM FOR GLOBAL MEDIAN THRESHOLDING

Atanaska Bosakova-Ardenska
dep. of Computer Systems and Technologies
University of Food Technologies – Plovdiv

Angel Danev
dep. of Computer Systems and Technologies
University of Food Technologies - Plovdiv

Abstract

The thresholding is an important part of image processing. The results of thresholding are binary images which are base for object recognition. The thresholding could be global or local when image processing is performed in a space domain. This paper presents one modification of an algorithm for global median thresholding named HisMedian. The modification is proposed to accelerate image processing by this algorithm. Both algorithms- HisMed and its modification are implemented on Java. It is presented a theoretical evaluation for time complexity of both examined algorithms. Test images with different sizes are used for experimental evaluation of examined algorithms. The results show that proposed modification is faster than original algorithm for global median thresholding (HisMed) when the count of zero values in a histogram of processed image is not very big.

Keywords: image processing, thresholding, HisMedian algorithm, histogram, median.

INTRODUCTION

Visual information is very important for the human who accept about 90% of information for environment through visual receptors and thus the image processing is an important part of data processing. Last years computer technologies are rapidly improved and there are developed a lot of applications for images processing [1, 2, 3, 4]. The algorithms for image processing could be grouped according their purpose into following categories:

- algorithms for images compression: there are known two basic types of images compression- with information loss and without information loss;
- algorithms for images enhancement: this group contains i.e. algorithms for filtering, brightness and contrast adjustment. Image processing with specific filter could be executed in a space domain or in a frequency domain;
- algorithms for images segmentation: these algorithms significantly reduce count of colors in processed image. When the result image contains only two colors then the processing is known as thresholding (binarization) and the image is called a binary image;
- algorithms for objects and patterns recognition: these algorithms use some features extracted from segmented images and their aim is to identify some objects as a member of specific group;
- algorithms for images transformation: this group includes algorithms for rotation, resizing, convolution, Fourier transformation and etc.

Thresholding algorithms could be grouped into two main groups – algorithms for global thresholding and algorithms for local thresholding [5]. The main aim of this paper is to present a modification of one algorithm for global thresholding.

THE ALGORITHM FOR GLOBAL MEDIAN THRESHOLDING

The algorithm for global median thresholding (HisMedian) falls in the group of thresholding algorithms which use real color value from the image as a threshold [6]. Figure 1 presents an image before and after processing with HisMedian algorithm.

(a) Original image *(b) Binary image*

Fig. 1. *Thresholding with HisMedian algorithm*

HisMedian algorithm uses histogram data to build sub-histogram and to find threshold value. Figure 2 presents the main steps of the algorithm as a flowchart.

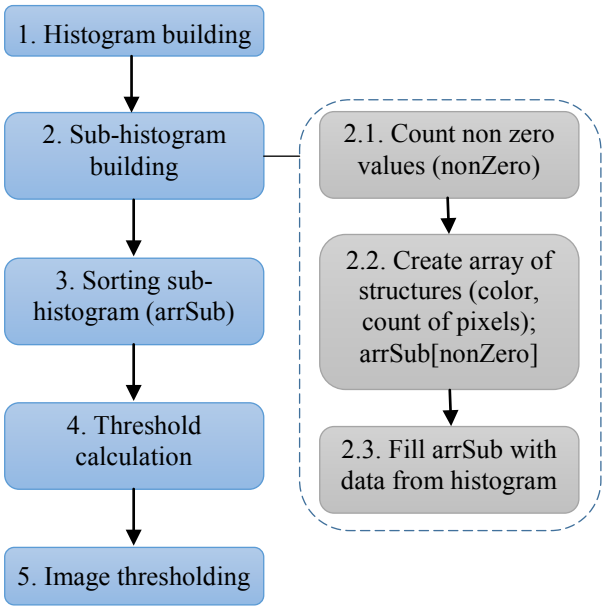


Fig. 2. *HisMedian algorithm*

Histogram building is performed through passing all pixels of the image and incrementing count of color for processed pixels.

The sub-histogram building contains several steps as follows:

Step 2.1. – Count non zero values in the histogram and store this count in variable nonZero;

Step 2.2. – Create array of structures (arrSub[]) with size equal to nonZero. The structure contains two fields- color (the value between 0 and 255) and count (number of pixels with specific color).

Step 2.3. – Filling the array of sub-histogram is performed through passing histogram of the image and copying information for color and count of pixels only for colors with non-zero count of pixels.

The array arrSub is sorted according to the values of field for count of pixels.

Threshold value is set to be equal to color of median element into sorted array of sub-histogram.

The binary image is produced by using the calculated threshold value.

Time complexity for threshold calculation by HisMedian algorithm could be calculated by formula 1.

$$T = \sum_{}^{m.n} t_{inc} + \sum_{}^{256} t_{cmp} + k.t_{inc} + \sum_{}^{k} t_{store} + t_{sort} \quad (1)$$

where m and n are sizes of the image in pixels, t_{inc} is time for performance of operation increment, t_{cmp} is time for performance of operation comparison, k is the number of non-zero values in the histogram (this value is between 0 and 256), t_{store} is time for performance of store operation for one element of the structure and t_{sort} is time for sub-histogram sorting.

THE MODIFIED ALGORITHM FOR GLOBAL MEDIAN THRESHOLDING

The main idea of the proposed modification is that a lot of real situation are source of grayscale images with many colors (above 200) and because of this the building of sub-histogram could be replaced with building array of structures (color, count of pixels) sized 256. This array will contains full information of the histogram, i.e. colors with zero count of pixels will be also presented. The array could be used for the threshold calculation after sorting. Figure 3 presents the main steps of the proposed algorithm as a flowchart.

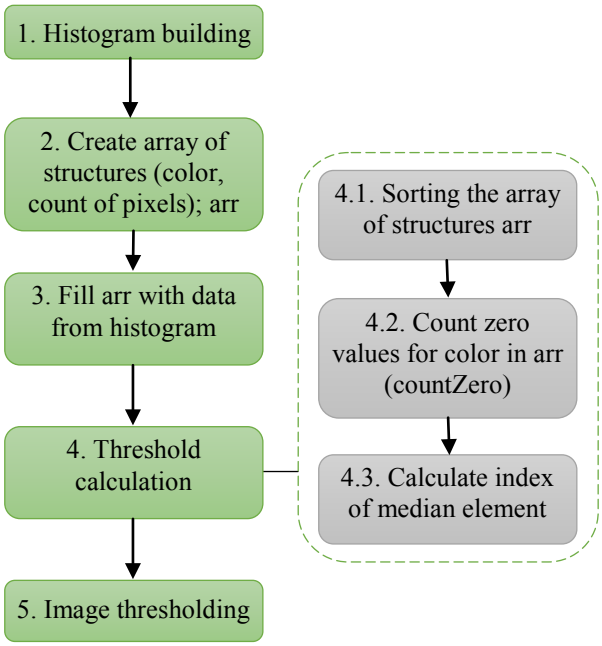


Fig. 3. *Modified HisMedian algorithm*

Histogram building is performed through passing all pixels of the image and incrementing count of color for processed pixels.

It is created array of structures (color, count of pixels) with size 256.

Filling the array is performed through passing histogram of the image and copying information for color and count of pixels.

Threshold calculation contains three steps:

Step 4.1. – Sorting the array of structures (color, count of pixels) arr according to the values of field for count of pixels.

Step 4.2. – Count the zero values for color (countZero) through passing sorted array arr.

Step 4.3. – Calculation of index of median element in a sorted array by formula:

$$idx = countZero + (256-countZero)/2 \quad (2)$$

The threshold value is equal to color of median element in sorted array of structures (arr[idx].color).

The last step of the algorithm is image thresholding, i.e. the image is binarized using calculated threshold.

Time complexity for threshold calculation by modified HisMedian algorithm could be calculated by formula 3.

$$T = \sum^{m.n} t_{inc} + \sum^{256} t_{store} + t_{sort} + \sum^{p} (t_{cmp} + t_{inc}) + t_{idx} \quad (3)$$

where m and n are sizes of the image in pixels, t_{store} is time for performance of store operation for one element of the structure, t_{sort} is time for sorting array of structures arr, t_{cmp} is time for performance of operation comparison, t_{inc} is time for performance of operation increment, p is number of elements with value zero for pixels count in arr, t_{idx} is time for calculation of index by formula 2.

The proposed modification of the algorithm HisMedian will be faster than HisMedian algorithm if next inequality is true:

$$\sum^{256} t_{cmp} + k.t_{inc} + \sum^{k} t_{store} > \sum^{256} t_{store} + \sum^{p} (t_{cmp} + t_{inc}) + t_{idx} \quad (4)$$

If value of k is near to 256, i.e. zero values in histogram are small number, then inequality (4) could be transformed to inequality (5).

$$\sum^{256} (t_{cmp} + t_{inc}) > \sum^{p} (t_{cmp} + t_{inc}) + t_{idx} \quad (5)$$

Time for index calculation (t_{idx}) is small because it includes only three arithmetic operations (one addition, one subtraction and one division) because of this it could be ignored. The value of p is small because it is equal to 256-k and also it could be ignored. Finally inequality (4) could be transformed to inequality (6) when value of k is near to 256 (this value corresponds to a lot of real images).

$$\sum^{256} (t_{cmp} + t_{inc}) > 0 \quad (6)$$

The proposed modification of HisMedian algorithm is faster than original HisMedian algorithm when the number of zero values in histogram is small, which is proved by inequality (6).

RESULTS AND DISCUSSION

The proposed modification of the HisMedian algorithm and the original HisMedian algorithm are implemented on Java. Figure 4 presents graphical user interface (GUI) of developed application.

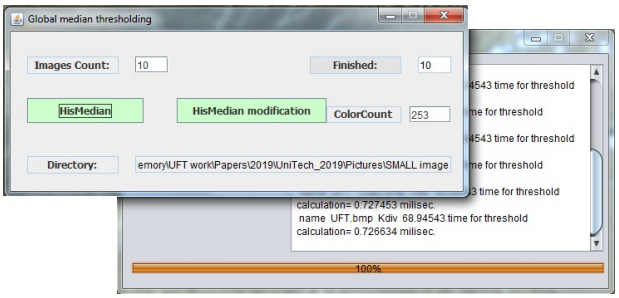


Fig. 4. *Application for thresholding with HisMedian algorithm and its modification*

The application has two windows- one for settings and second one for results. The settings window has two buttons- one for thresholding with HisMedian algorithm and second for thresholding with modified HisMedian algorithm. The results window presents information about name and location of processed images and time for thresholding calculation without time for histogram building. Developed application processes images in 24 BMP format. Every image is converted to grayscale using formula (7) which uses popular gamma correction for luminosity [7].

$$gray = 0.21*red + 0.71*green + 0.07*blue \quad (7)$$

Six images with different sizes and different count of non-zero values in histogram are used for experiments. Table 1 presents information about these images.

Table 1. Details for experimental images

	Size [pixels]	Count of non-zero values in histogram
IMG1	1417x970	253
IMG2	2048x1536	251
IMG3	3000x2250	253
IMG4	1420x939	86
IMG5	2048x1355	86
IMG6	3000x1984	86

Time evaluation is done using Java method nanoTime() and computer system with Intel Celeron E3300 Dual Core 2,5GHz processor and RAM-3GB. Figures 5 and 6 present fragment of source code where is performed time measuring. After the time measuring a conversion form nanoseconds to milliseconds is performed.

```
start=System.nanoTime();
int nonZeroColors=0;

for(int counter=0; counter<256; counter++)
  if(histogram[counter]!=0) nonZeroColors++;

HistogramMed arrSub[]=new
HistogramMed[nonZeroColors];
for(int c=0; c<nonZeroColors; c++)
  arrSub[c]=new HistogramMed();
int index=0;
for(int counter=0; counter<256; counter++)
{
  if(histogram[counter]!=0)
  {
    arrSub[index].color=counter;
    arrSub[index].count=histogram[counter];
    index++;
  }
}
Comparator<HistogramMed> comp =
Collections.reverseOrder();
Arrays.sort(arrSub,comp);
myThreshold=arrSub[nonZeroColors/2].color;
end=System.nanoTime();
diff=end-start;
```

Fig. 5. *Time measuring for algorithm HisMedian (source code- fragment)*

Class HistogramMed contains data variables for color and count of pixels and it is defined to implements java interfaces Comparator and Comparable. The methods compare() and compareTo() are implemented to performe comparison between two objects (instances of HistogramMed class) by their values for count of pixels. The array, of objects instanced of class HistogramMed, is named arrSub in figure 5 and it presents sub-histogram (fig. 2). The sub-histogram is sorted using method sort() which is member of java class Arrays.

```
start=System.nanoTime();
HistogramMed arr[]=new HistogramMed[256];
for(int counter=0; counter<256; counter++)
  arr[counter]=new HistogramMed();
for(int counter=0; counter<256; counter++)
{
  arr[counter].color=counter;
  arr[counter].count=histogram[counter];
}
Comparator<HistogramMed> comp =
Collections.reverseOrder();
Arrays.sort(arr,comp);
int idx=0;
for(int counter=0; counter<256; counter++)
  if(arr[counter].count==0)
    idx=counter;
  else
    break;
myThreshold=arr[idx+((256-idx)/2)].color;
end=System.nanoTime();
diff=end-start;
```

Fig. 6. *Time measuring for modified algorithm HisMedian (source code- fragment)*

Every image is processed 20 times with implemented algorithms and average time results are presented in graphics. Figures 7 and 8 present time for thresholding calculation (without time for histogram building) using HisMedian algorithm and its modification.

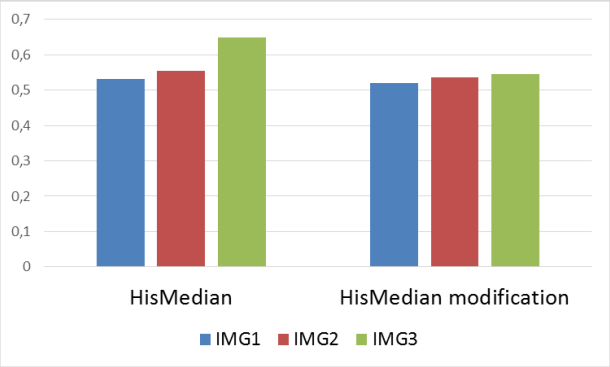


Fig. 7. *Time [ms] for processing images with many colors with algorithms HisMedian and its modification*

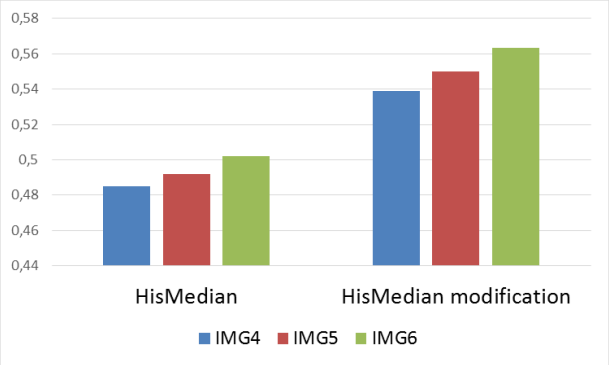


Fig. 8. *Time [ms] for processing images with small number of colors with algorithms HisMedian and its modification*

It is observed that modified algorithm HisMedian is faster than original algorithm by processing images IMG1, IMG2 and IMG3. These images contain small number of zero values in histogram (3 to 5). When the processed images have a lot of zero values in histogram (170) then the modified algorithm is slower than original HisMedian algorithm. It is observed also that time for processing increases when size of images increases too.

CONCLUSION

One modification of global median thresholding algorithm HisMedian is presented in this paper. The algorithm HisMedian and its modification are implemented on Java in application with GUI. There are presented theoretical and experimental evaluations of the HisMedian algorithm and the proposed modified HisMedian algorithm. The results show that theoretical analysis is correct and the proposed modification is faster than original HisMedian algorithm when the processed image has small number of zero values in the histogram.

REFERENCE

[1] S. Naseera, G.K. Rajini, B. Venkateswarlu, J. Priyadarsini, A Review on Image Processing Applications in Medical Field, Research Journal of Pharmacy and Technology, 2017, vol. 10, pp 3456-3460, DOI: 10.5958/0974-360X.2017.00644.8

[2] P. Mihova, G. Petrov, F. Andonov, Applications of open source frameworks for advanced medical image processing, Bulgarian Journal of Public Helth, 2015, vol VII, issue 1, ISSN: 1313-860X, pp 69-77

[3] Hema L. Chavan, Santosh A. Shinde, A Review on Application of Image Processing for Automatic Inspection, International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET), 2015, vol. 4, Issue 11, ISSN: 2278 – 1323, pp 4073-4075

[4] I. Nikolova, G. Zapryanov, K. Alexiev, Detecting of Unique Image Features by Using Camera with Controllable Parameters, Proceedings of the Fourth International Bulgarian-Greek Conference Computer Science, 2018, Vol. 3, pp. 18-19

[5] Gonzalez R., R. Woods, Digital Image Processing, Pearson Education, 2009, ISBN 978-81-317-2695-2

[6] A. Bosakova-Ardenska, A. Danev, An Algorithm for Histogram Median Thresholding, CompSysTech 2018, ISBN: 978-1-4503-6425-6, pp 62-67, DOI: 10.1145/3274005.3274019

[7] Kanan C, Cottrell GW, Color-to-grayscale: does the method matter in image recognition?, PLoS ONE, 2012, vol. 7, issue 1, DOI: 10.1371/journal.pone.0029740.

DATABASE MANAGMENT SYSTEM SELECTION

Stanišević Ilja
Valjevo Business School of Applied Studies,
Valjevo, Serbia

Slobodan Obradović
Faculty of Electrical Engineering
East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

Mladjen Vićentić
Valjevo Business School of Applied Studies,
Valjevo, Serbia

Abstract

In order to select optimal database managment system for information system developed for Valjevo Business School of Applied Studies, testing of three available options (i.e. MS SQL, MySQL and Access) was performed. Instead of using existing banchmark software providing general evaluation, the development team has built a simple software tool to test features relevant for the system. This paper describes applied methodology and displays realised results.

Keywords: Database management systems, Microsoft SQL Server, MySQL, Access, benchmark, performance evaluation.

INTRODUCTION

During realization of information system for Valjevo Business School of Applied Studies the question of selection the most adequate database management system has arisen. Members of the development team had various suggestions and proposals depending on their experience. Therefore, it was necessary to develop unique and objective testing criteria and tool to provide an adequate answer.

One way to resolve the issue was to rely on some of already existing benchmark tools. These tools should be relevant, portable, simple and general [1], and they are designed to be applicable to as many cases as possible [2]. The problem with these testing tools is that they take into consideration many different aspects, many of them irrelevant for our purpose [3]. Furthermore, the best evaluated system according to achieved general marks may not be the best one for our aim. Finally, the development team has agreed to develop a new testing tool according to the specific requirements of the school's information system.

The tool and criteria had to be based on the requests and demands characteristic for the particular system. This paper describes usage of the developed software testing tool and it presents the results achieved.

DETERMINATION OF THE TESTING DOMAIN

The testing system was designed for relational databases since the school information system's database schema was relational [4]. Activities on the targeting information system should be happening in a real time. Therefore, basic evaluation criterium was response speed. According to that, the testing tool should measure response speed on generated queries, select queries (i.e. SELECT SQL command) as well as action queries (i.e. INSERT, UPDATE and DELETE SQL commands). Furthermore, the generated queries could have defined logical condition (i.e. WHERE clause). The user can determine if he wants to measure response speed to queries executed on one or more related tables (i.e. if the queries should contain JOIN clause). Since the number of existing data effects measuring results, tests could be performed with different number of already existing records. The data were generated in a way that 20% of the records meet the logical requirement defined through WHERE clause.

To determine the amount of data for testing, it was necessary to estimate the largest amount of data during transactions as well as the number of rows in the largest tables.

The largest transaction happens in the beginning of a schoolyear when new students

are enrolled and when existing students enroll for a new academic year. Large transactions also happen in an examination period when students register for the exams. Number of records for these transactions seldom exceeds 1.000.

To determine size of the largest table it was necessary to detect the most numerous objects in the database. It was detected by looking at the previous data. The table that contains the largest number of rows was the table containing data about the exam registrations. The annual number of rows for the table can be estimated using the following formula (1):

$$\boldsymbol{RN} = \sum_{i=u,m,d} (\Delta_i * \boldsymbol{\alpha_i} * \boldsymbol{SN_i} * \boldsymbol{EN_i}) \qquad (1)$$

where:

-**i** represents level and kind of study (u for undergraduate study, m for master study, d for distance learning study);

-**RN** represents number of exam registrations;

-**Δ** represents duration of the studies in academic years;

-**α** represents ratio of active students;

-**SN** represents number of students;

-**EN** represent number of examinations during academic year.

The school has accreditation for 165 students on the undergraduate (bachelor) level, 50 students on master level, and 32 students for distant learning studies. Average annual number of exams on undergraduate level and distance learning studies is 14, while on master level is 6. Undergraduate and distance learning studies last three academic years while master studies last two years. Ratio of active students for undergraduate studies is 0.38, for distance learning studies is 0.15 and for master studies is 0.57. Having all these values and including them in the equation (1), we get:

$$RN = RN_u + RN_m + RN_d \qquad (2)$$

where

$$RN_u = 3 * 0.38 * 165 * 14 = 2.633.4$$

$$RN_m = 2 * 0.57 * 50 * 6 = 342$$

$$RN_d = 3 * 0.15 * 32 * 14 = 201.6$$

Entering these numeric values into the equation (2), finally we have:

$$RN = 2633.4 + 342 + 201.6 = 3177 \qquad (3)$$

On the annual level it was estimated that the largest table in the database will have increase of 3,177 rows. For three years it will be 9,531 rows.

Applying similar estimates for other large tables in the database (held lectures records, employee's presence records, students' attendance records...) it was estimated that testing queries execution including tables larger than 10,000 would be irrelevant for our purpose.

On the other hand, majority of tables in the database (like student's register, employee's register, classrooms register, subjects list, list of graduate students...) are not that large. They usually have 10-1,000 rows.

Having previous estimations in mind, it was decided that all measurements would be performed on tables having 10, 100, 250, 500, 1000, 2500, 5000, 7500 and 10000 rows. This range would cover all the cases presented in the real database.

Three most common database management systems [5] were selected to be tested: Microsoft SQL Server (version 2016, Standard, 64-bit); MySQL (version 8.0.16. MySQL Community Server GPL) and Microsoft Access (version Professional Plus 2016.).

MS SQL Server is the most popular RDBMS in organizations, while MySQL is the third most popular [6]. In overall usage MySQL is the second most widespread DBMS, and MS SQL Server is the third (the first one is Oracle DB) [7]. It can be told that MS SQL Server dominates for business purposes within organizations while MySQL is leading for internet applications supported by Linux (and other UNIX-like operating systems), Apache server and PHP programming language. Important factor in MySQL popularity for internet applications is the fact that it is used by WordPress, the most popular tool for WEB page development. Despite many limitations, Microsoft Access is still the fifth most popular database [7]. The fact that Access is a part of Microsoft Office significantly contributes its popularity.

Selection of DBMSs was determined by the technical capabilities of the school, as well as previous experience of the development team

members in working with various databases. The school did not have a license for some other commercial DBMS (e.g. Oracle DB, IBM DB2, Informix...). Furthermore, the team members had no experience with some other open-source and freeware DMBS (e.g. PostgreSQL, Ingres, SQLite...). It was estimated that involving some of these systems in the project would require significant resources (either in additional funding, or in additional workload) and, therefore, would not be acceptable.

TECHNICAL PRESUMPTIONS

In order to avoid influence of the network environment (eventual delays due to network protocols) and to avoid influence of various processors, several operating systems and different PC configurations, all testing were performed locally, on a single computer.

The computer was run under Windows 10 Professional 64-bit edition, operating system. The processor was 64-bit AMD Ryzen 7 27000X on 3.7 GHz, with 8 cores. The motherboard was Gigabyte X470 AORUS 5 Wi-Fi. The computer had 16 GB RAM memory, Kingston SUV 500/480 SSD disk used as a primary partition and a Western - Digital hard disk drive capacity 4 TB with 3 partitions. The working partition (i.e. the one containing the software and data) had capacity of 976 GB.

There are about 120 personal computers in the school running on different versions of MS Windows operating system (Windows XP, Windows 7, Windows 2008 Server, Windows 10). Some of PCs are relatively obsolete while others are brand new, but all of them has installed .NET Framework 3.5 which was accepted as a standard for the school information system. The same version was applied for the testing software. Due to the same reason (i.e. compatibility with older computers) executable version was built for 32-bit processors.

RESULTS PRESENTATION

Separate measurements were performed for the following query types: INSERT, conditional (i.e. containing logical condition and WHERE clause) SELECT, UPDATE and DELETE, and finally conditional SELECT, command containing JOIN clause. The trivial cases of unconditional SELECT, UPDATE and DELETE were not tested since these cases are of no relevance in the school information system.

For each case there were 7 measurements, each measurement with different number of records (from 10 to 10,000 records, as already mentioned above). The highest and the lowest results were rejected, and arithmetic mean of the remaining five results was calculated and accepted as a final result.

The INSERT command was the simplest one, since there were neither WHERE nor JOIN clause involved. It should be told that every inserted record was a separate query, just like in the real system. Therefore, for each record it was necessary to establish a connection, send a request for the query execution and closing the connection. The respond time performing the INSERT command in seconds depending on number of records for all three databases is given in Table 1.

Records	10	100	250	500	1000
MS SQL	0.0595	0.4223	0.4253	0.4828	0.5889
MySQL	0.0667	0.4324	0.7876	1.0737	2.1799
Access	0.4837	4.3298	7.5662	12.034	24.098
Records	**2500**	**5000**	**7500**	**10000**	
MS SQL	1.4154	2.7311	4.0398	5.2746	
MySQL	6.2132	10.2802	20.3841	30.444	
Access	72.355	143.9219	274.5308	401.34	

Table 1. *Results for INSERT command*

Graphical presentation of the results is given in Figure 1.

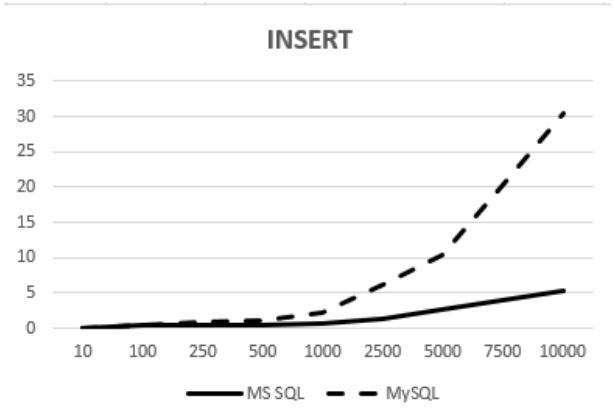


Fig. 1. *Results for INSERT command (in seconds)*

There are not presented results for Access in the diagram, since it scored from 8 to 76 times slower result. If it was presented, the difference between MS SQL and MySQL would have been practically indistinguishable.

The respond time performing the UPDATE (including WHERE clause) command in seconds depending on number of records for all three DBMSes is given in Table 2.

time (in seconds)

Records	10	100	250	500	1000
MS SQL	0.0036	0.0039	0.0029	0.0050	0.0060
MySQL	0.0067	0.0070	0.0060	0.0070	0.0078
Access	0.0472	0.0480	0.0477	0.0493	0.0481
Records	**2500**	**5000**	**7500**	**10000**	
MS SQL	0.0078	0.0098	0.0146	0.0194	
MySQL	0.0117	0.0146	0.0216	0.0250	
Access	0.0520	0.0527	0.0567	0.0614	

Table 2. *Results for UPDATE command*

It is noticeable that results are significantly faster then performing the INSERT command. It seems a bit confusing, since the UPDATE is much more complicated and time-consuming operation than the INSERT. The explanation for this is that UPDATE command is performed as a single query, demanding opening and closing the connection to the database only once for any number of records, while execution of the INSERT command requests separate query (i.e. opening and closing a separate database connection) for each record.

Graphical presentation of the execution of the UPDATE command results is given in Figure 2.

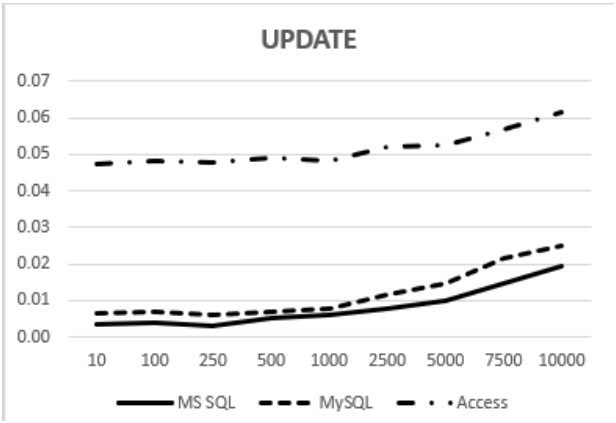


Fig. 2. *Results for UPDATE command (in seconds)*

Just like in execution of the INSERT command, MS SQL Server achieved the best score, but the difference among different DBMSs is significantly smaller and barely depended on number of records.

The respond time performing the DELETE (including WHERE clause) command in seconds depending on number of records for all three databases is given in Table 3.

time (in seconds)

Records	10	100	250	500	1000
MS SQL	0.2344	0.2760	0.2987	0.3426	0.3876
MySQL	0.4504	0.5075	0.5299	0.5693	0.5978
Access	0.5460	0.5565	0.5987	0.6109	0.6301
Records	**2500**	**5000**	**7500**	**10000**	
MS SQL	0.3990	0.4216	0.4499	0.4942	
MySQL	0.6524	0.6988	0.8121	0.9857	
Access	0.7102	0.7783	0.9875	1.2282	

Table 3. *Results for DELETE command*

Graphical presentation of the results in execution of the DELETE command is given in Figure 3.

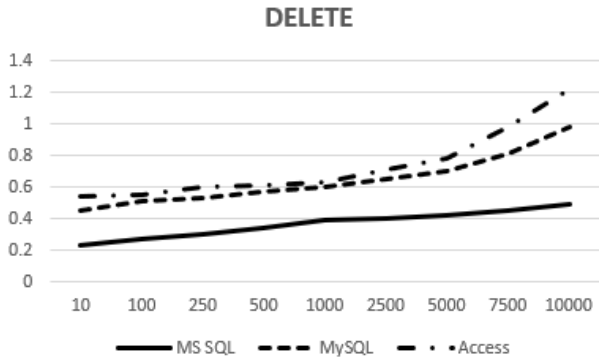


Fig. 3. *Results for DELETE command (in seconds)*

The measured response time on executing the DELETE command including logical condition is almost linearly increasing depending on number of records. The most rapid response is achieved by MS SQL server. Interesting fact is that MySQL's result on deleting records is much closer to Access then to MS SQL.

The most important command is SELECT, since it will be the most frequently used in day-to-day work. The respond time performing the SELECT (including WHERE clause) command in seconds depending on number of records for all three databases is given in Table 4. Graphical presentation of the results in

execution of the UPDATE command is given in Figure 4.

time (in seconds)

Records	10	100	250	500	1000
MS SQL	0.0027	0.0100	0.0101	0.0149	0.0190
MySQL	0.0030	0.0101	0.0201	0.0400	0.0601
Access	0.0077	0.0471	0.0575	0.0761	0.0948
Records	**2500**	**5000**	**7500**	**10000**	
MS SQL	0.0200	0.0300	0.0500	0.2328	
MySQL	0.0696	0.0960	0.1801	0.4341	
Access	0.1050	0.1513	0.5504	0.6098	

Table 4. *Results for SELECT command*

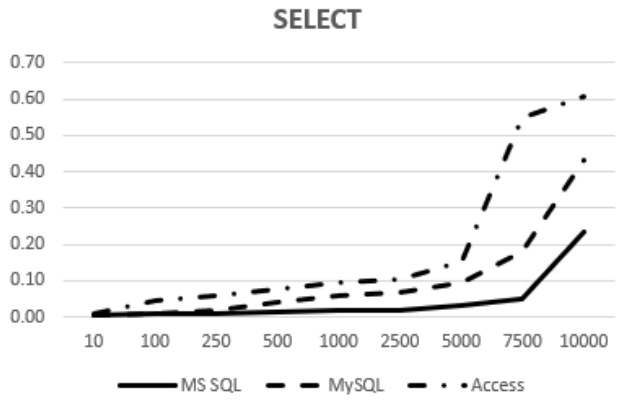


Fig. 4. *Results for SELECT command (in seconds)*

As anticipated, the result gets slower as number of records increases, but that retardation is very slow for fewer number of records (i.e. less then 5,000 records). As number of records increases beyond that number, slowing down becomes more extensive and the delay gets more significant.

time (in seconds)

Records	10	100	250	500	1000
MS SQL	0.0109	0.0117	0.0168	0.0230	0.0401
MySQL	0.0101	0.0215	0.0301	0.0512	0.0691
Access	0.0542	0.0612	0.0748	0.0989	0.1421
Records	**2500**	**5000**	**7500**	**10000**	
MS SQL	0.0804	0.1220	0.2769	0.3921	
MySQL	0.1029	0.2102	0.2942	0.4334	
Access	0.2118	0.4398	0.6113	0.8069	

Table 5. *Results for SELECT command including JOIN clause*

The most important case, according to the school information system's requirements is performing the SELECT command including logical condition (i.e. WHERE clause) and establishing relationship among several tables (i.e. existence of JOIN clause). Many of the queries performed by the target system would be of that kind, therefore the response time of performing this kind of queries is the most important for our purpose. The measured results for this type of query is given in Table 5. The graphical representation of the results is provided in Figure 5.

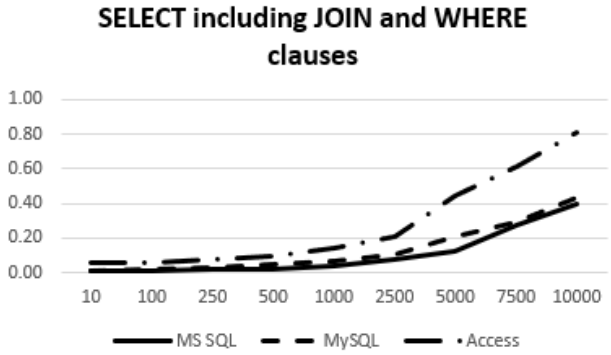


Fig. 5. *Results for SELECT command with JOIN clause (in seconds)*

The results show a little difference among tested DB management systems for tables that contains less then 2500 records. For larger tables there is still no significant difference between MS SQL Server and MySQL, while MS Access starts to noticeably lag behind.

According to all performed measurements, undoubtedly best result in all cases is achieved by MS SQL Server. While under light load (i.e. less than 1,000 records) the difference between MS SQL Server and MySQL is almost negligible, under higher load the difference becomes more serious in MS SQL Server favor. This is especially true of INSERT and SELECT command (with no JOIN clause included) execution. Delay in performing INSERT command would be noticeable during inserting enrollment data. Delay in executing SELECT command is much more serious since the command is the most commonly used and it would affect performance of the school information system in general.

MS Access achieved by far the worse results in our testing and it was shown as not suitable for our purpose at all. That sort of database may be convenient for smaller tables and smaller amount of data, but even for the system size like ours, it is completely inappropriate.

CONCLUSION

As a final conclusion of the presented testing, a Microsoft SQL Server, 64-bit 2016 version has been chosen as a database management system for information system of Valjevo Business School of Applied Studies. In the system exploitation so far, the choice has been proved justified, since response speed for all workstations in the school local network was quite satisfactory. Neither delays nor cease of functioning caused by the database management system has been recorded until today.

It should be emphasized that the purpose of this research was not to provide general and comprehensive comparative analysis or to provide overall evaluation of the tested DMBSs. The purpose was to establish which DBMS is the most appropriate for defined specific environment and conditions according to the concrete requirements. Testing the same DBMSs under different conditions (e.g. in internet environment or with many users logged on the system and using database simultaneously) could lead to entirely different results.

This research proved that it is possible, with a little effort, to make a testing tool to determine the most suitable DMBS for a specific condition instead of usage of standard general-purpose benchmarks which test many irrelevant features and functionalities. That enabled the best performance of the new information system, which was the primary objective of this analysis.

REFERENCE

[1] Gray, J. (ed.). "The Benchmark Handbook for Database and Transaction Processing Systems 2nd edition". Morgan Kaufmann, 1993;

[2] Darmont, Jérôme, "Data Processing Benchmarks", Encyclopedia of Information Science and Technology, Third Edition, pp.146-152, 2014.

[3] Cudre-Mauroux Philippe, Kimura Hideaki, Lim Kian-Tat, Rogers Jennie, Madden Samuel, Stonebraker Michael, Zdonik Stanley B., Brown Paul G. "SS-DB: A Standard Science DBMS Benchmark" XLDB 2010, Stanford University, CA, Oct. 6-7, 2010.

[4] Alagić Suad, „Object-oriented Database Programming", Springer-Verlag, 1989.

[5] Saikia Amlanjyoti, Joy Sherin, Dolma Dhondup, Mary Roseline R., "Comparative Performance Analysis of MySQL and SQL Server Relational Database Management Systems in Windows Environment", International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 4, Issue 3, pp. 160-164, March 2015.

[6] Emison J.M., "2014 State of Database Technology", Information Week, San Francisco, CA, Rep. R7770314, 2014.

[7] DB-Engines.com, DB-Engines Ranking, on-line, August 2019., available on: http://db-engines.com/en/ranking_trend

DBMS RESPONSE SPEED TESTING SYSTEM

Stanišević Ilja
Valjevo Business School of Applied Studies,
Valjevo, Serbia

Slobodan Obradović
Faculty of Electrical Engineering
East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

Mladjen Vićentić
Valjevo Business School of Applied Studies,
Valjevo, Serbia

Abstract

During the development of the information system for Valjevo Business School of Applied Studies it was necessary to evaluate available DMBS alternatives. Instead of using some of existing banchmark software tools, the development team has built a simple software adapted to test features relevant for the school's system. This paper describes applied methodology, design, development and evaluation of the realized response speed testing software.

Keywords: Benchmark, Performance evaluation, Database management systems, Microsoft SQL Server, MySQL, MS Access

INTRODUCTION

The need for objective database management system evaluation had emerged during realization of the information system for Valjevo Business School of Applied Studies. Instead of using some of existing benchmark tools it was decided to develop a software tool for measuring response speed during execution of various SQL commands. This paper describes criteria determination, development and functionalities of the realized testing tool.

It was necessary to perform adequate measurements to provide objective evaluation of the tested DBMSs. One approach is to apply some of many existing benchmark tools. Good and high-quality benchmark system for testing database management systems, according to Gray [1] should have the following characteristics:

- relevance – it has to be adequate for the largest number of potential users;
- portability – it can be applied on many different (desirably all) existing DBMSs;
- simplicity – it has to be simple, easy to use and not to consume too many resources;
- scalability – it has to be adequate for many different (desirable all) computer systems and architectures, large as well as small.

These characteristics, by its nature, are frequently contradictory. For instance, feature of simplicity is opposite to portability feature. Therefore, it is necessary to establish adequate compromise among these characteristics [2].

Many factors can have an impact on the measuring outcome. The results can be depended on hardware (i.e. CPU speed, number of cores, memory access speed, the amount of RAM memory in the system, bus speed, hard disc drive speed etc.), on system software (the way operating system deals with the memory, threading or locking), on data schema, on amount of previously recorded data, on database access application, on database configuration (cash amount dedicated to queries, limit of established client connections to the tested database, the way of index implementation, network protocols used for database access...) [3].

Development of database technology led to development of number of measuring software tools (benchmarks) which test and evaluate various database features. Therefore, we have

transaction processing benchmarks, benchmarks for relational databases, for object-oriented databases, XML based databases benchmarks, decision support systems (DSS) benchmarks, benchmarks for non-SQL databases, for cloud databases [2] [4]. There is a separate organization dealing with relational databases benchmark standards, Transaction Processing Performance Council – TPC. The organization issues standards and verifies correctness of benchmark tools [4].

There are many database benchmarks on the market today, like Quest [5], STS Soft [6], Hammer DB [7], etc. Many of these tools are open source and freeware, therefore they can be used without a need for additional funding. Anyway, there is a significant problem related to reliance on these tools. Most of them are created and designed to be generally applicable. As a result, the tools test and evaluate many features irrelevant for our purpose. For instance, our system has only few input points, therefore performance of dealing with many users is not relevant. The system is planned to be used in the local area network, so internet performance is of no importance.

There are distinct benchmark tools intended to evaluate special kind of databases [8], as well as tools which evaluate particular database features [9] but neither of these is appropriate for determination of the best DBMS for the school system, due to its narrow applicability domain.

Taking all of the above in consideration, the development team has adopted a different strategy. Instead of using pre-made general purpose benchmark tool, the team has developed a separate testing software to objectively evaluate features relevant for the school system. Furthermore, the software will be developed and implemented in the exactly same hardware and software environment as the school system.

Of course, the testing tool like this would not fulfil requests for portability and scalability according to Gray [1], but these features have no importance for our purpose. On the other hand, the tool would at the most fulfil request for relevance (as being designed for particular system and environment) and simplicity (only features relevant for the school information system would be tested). This will provide that the tests will show the most adequate DBMS for the school's system.

TECHNICAL PRESUMPTIONS

Information system for Valjevo Business School of Applied Studies was developed for exploitation in the school's local area network (LAN), according to client-server model. The network consists of four servers (domain control server, database server, internet access control server and back-up domain control server) and approximately 120 workstations. The servers run under Windows 8 server operating system. The workstations, due to different age of the stations (some are quite new, but some are almost obsolete), work on different operating systems, i.e. Windows 10, Windows 7 and Windows XP, but they all have .NET framework 3.5 installed.

The testing tool was realized using C#.NET programming language. The programming environment was MS Visual Studio Community 2017, version 15.9.14. The school information system was developed in the same environment using the same programming language. Due to compatibility the .NET Framework version 3.5 was adopted as a software framework since it can be installed and run to all school's computers, regardless operating system version and hardware obsolescence.

The school management has decided for security and control reasons that system should be available only through the local area network, i.e. access through internet would not be supported. Since there is domain control server which controls user's roles, prerogatives and access rights, the school system can rely on security primitives provided by the operating system.

The school information system should provide functionalities to support following activities:

- all activities performed by student service office (i.e. student's registry, enrollment track, exam's registration, issuing various certificates, etc.);
- lectures organization activities (management of classes, lectures record, track of attendance, records of the realization of the curriculum during

a semester as well as during a school year, etc.)
- mentor activities (success monitoring of the students for various subjects, departments, sections, school years, tracking attendance at the exams individually as well as for different groups of students, etc.);
- activities performed by the human resources department (registry of employees, track of staff attendance, etc.).

From the list of required functionalities can be noticed that the system will be less burdened by inserting and updating data. The emphasis will be put on retrieving data and generating various reports. Most of data entry activities on everyday basis will be performed from one spot at the student service office. On the other hand, data search activities will be performed by all users of the system.

All activities on the system will be happening in real time (many of them on the desk window). Therefore, the rapid response of the system is required and the most important criterion for the database management system is its speed.

DESIGN OF THE SYSTEM

The conceptual design of the testing system is displayed on Figure 1.

The topmost layer is the user interface. It was built using Windows Forms library, and controls provided within that library. The reason for choosing the WinForms library (instead of, for instance, Microsoft Presentation Foundation – MPF as a graphical subsystem for rendering user interface) is the fact that WinForms is used for development of the user interface in the school information system, so this option is more suitable for our purpose. Furthermore, the most common controls are used (i.e. text boxes, buttons combo and list boxes) which makes the interface user friendly and intuitive for a user. He can be trained to use the system in a very short time.

The user interface enables the user to define parameters for basic SQL selection and editing commands. He enters only specific parts of a command, such as field names, logical operators or constant values (e.g. "name = 'Peter' and year = 2019"). All other parts of the command are automatically generated by the software. This solution speeds up the whole measurement process.

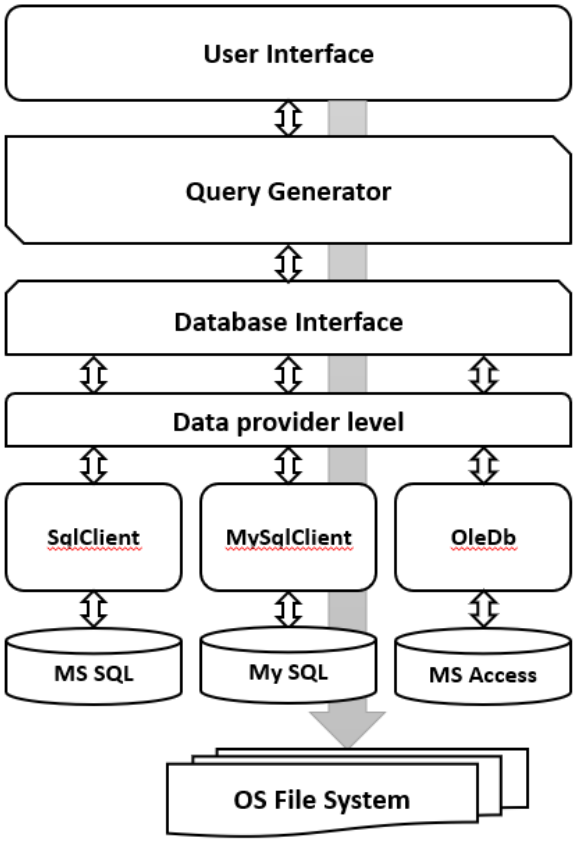


Fig. 1. *The testing system design*

The user has two additional options. One displays results of query/content of the database (depends on previous action) in a database view control. The other one deletes all data in all tables and clears the database, which is convenient for repetitive measurements. At the end, the user interface can invoke saving content of the list box where results are displayed in a separate file, by sending a request to the native operating system file system.

User interface designed in this way is simple and intuitive for usage, but yet has an option for all available functionalities. Interface form containing all functionalities is presented in Figure 2.

Interrupt caused by a click on some of the main command buttons invokes the query generator. It creates adequate SQL command, depending on the values entered in the check and text boxes on the user interface form. The

queries consist of a basic command (i.e. SELECT, INSERT, UPDATE, DELETE) and an optional part (i.e. JOIN and/or WHERE clause defined by user).

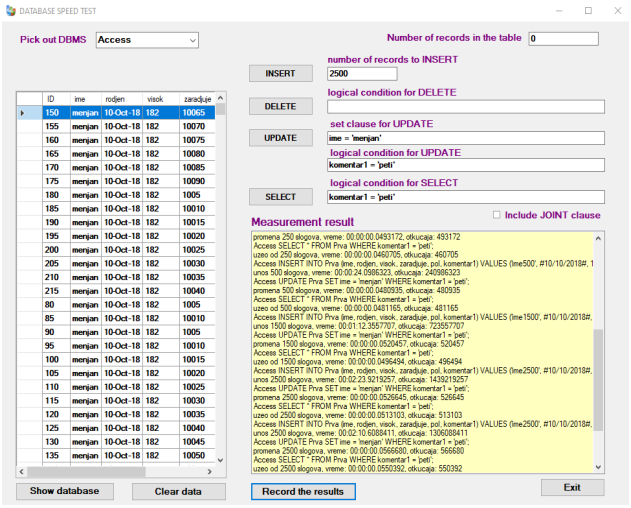


Fig. 2. *User interface form*

The query generator transfers the queries to the database interface. Depending on the chosen DBMS, the database interface calls the adequate method appropriate for the chosen database. This layer performs a simple parsing and takes care of syntax differences among SQL dialects used by tested DBMSes (for instance, the syntax to indicate data/time values, or to include necessary brackets where requested).

There are global variables in the system which contains values of separate connection strings for each tested database. The database interface then invokes appropriate method and sends the query as a parameter. The method then establishes connection to the wanted DBMS using corresponding data provider, sends a request for execution of the received query, picks up a result, closes the connection, and finally, if the query was for SELECT command, it fulfills the database table with the query result (i.e. received relation). The user can then by clicking the appropriate button see the resulting data table in a DataGrid View control on the user interface form.

This design enables relatively simple extension to include additional DBMSes. All that is required is reference to the adequate data provider and writing the corresponding method within database interface.

Data providers, each for a single database, receive requests from database interface and send them to the right DBMS for the execution.

The query and response time are recorded in a list-box on the main interface form, and the next query can be performed. Of course, this approach measures not only response time of the DBMS but the time needed for software processing of a query within the testing system as well. In ordinary benchmark tools this would be a serious deficiency, but in this case, it is an advantage since the same methods are designed to be used by the school information system for accessing the database. Therefore, this approach provides us a more adequate evaluation of the tested database management systems.

Finally, at the end of a session, all results can be recorded in a text file on a hard disk drive for further processing by simple click on the corresponding button.

THE SYSTEM FUNCTIONALITY

The testing software was intended to be user friendly as much as possible, but still to keep all required functionalities.

In the beginning, a user is able to choose the wanted DBMS (i.e. MS SQL Server, MySQL, Access) by simple selection of the appropriate combo-box option. Next, the user has option to choose among four basic SQL commands (i.e. SELECT, UPDATE, INSERT and DELETE). Optionally, he can activate automated filling of the tables with given number of rows by simple entering desired number of rows. The user can include logical condition in generated SELECT, UPDATE or DELETE query by simple entering content of WHERE clause. The clause will be then automatically added into the query. Additionally, he can define fields editing by entering SET clause when UPDATE query is to be performed.

Finally, since the relational database defined by the school system project is strictly normalized and is in Boyce-Codd normal form [10], it is important to evaluate DMBSs response speed for SELECT queries containing JOIN clause.

By checking the appropriate check-box on the form, user can initiate addition of a JOIN clause into the query. There are two tables and a multiple functional dependency (i.e. M: N relation) between them, so the third table, the link table, is used. In case of checked check-box, the testing system automatically loads generated data into the secondary table and establishes relation between depended tables by filling the auxiliary table. The JOIN clause is added to the generated query, so the response to the query when all three tables are involved can be measured. Described database schema is presented in figure 3.

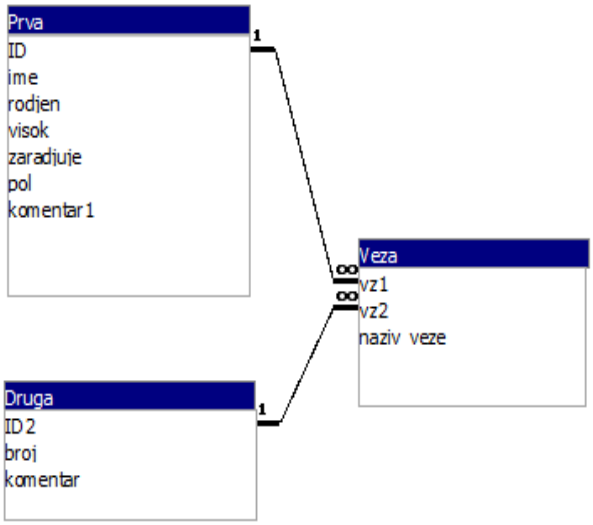


Fig. 3. *The testing database schema*

This structure was adopted for the test database as the most generic one, i.e. all other cases can be derived from this structure. Of course, the school information system will contain much complicated structure, but, at the end, it always can be reduced to the set of structures presented in Figure 3.

Response records containing the executed query, number of records and duration of execution are automatically added into the list box control. At the end of a session by clicking the corresponding button on the form, content of the list control can be saved in a separate file on the hard disk drive, and used later in additional processing of the results.

CONCLUSION

By realization of this testing system, we have got a tool to evaluate different DBMSes according to the specific requirements of the software system we were going to develop. The testing tool was not intended for general evaluation of tested DBMSes but to provide a guideline that lead us to choose of the most suitable database management system for our particular need.

It can be concluded that this tool completely answered the task. The development team had the opportunity to test the acceptable alternatives regarding DBMS selection in the real environment and to, according to the objective results, make justified decisions

REFERENCE

[1] Gray, J. (ed.). "The Benchmark Handbook for Database and Transaction Processing Systems 2nd edition". Morgan Kaufmann, 1993;

[2] Darmont, Jérôme "Object Database Benchmark", Encyclopedia of Information Science and Technology, I-III, Idea Group Publishing, pp.2146-2149, 2005.

[3] MySQL, "MySQL Performance Benchmarks – Measuring MySQL Scalabilitz and THroughput", A MySQL Technical White Paper, March 2005, available at: http://www.jonahharris.com/osdb/mysql/mysql-performance-whitepaper.pdf

[4] Darmont, Jérôme, "Data Processing Benchmarks", Encyclopedia of Information Science and Technology, Third Edition, pp.146-152, 2014

[5] Quest, Benchmark Factory For Databases, available at: https://www.quest.com/products/benchmark-factory/

[6] STS Soft, Database Benchmark, available at: http://stssoft.com/products/database-benchmark/

[7] HammerDB, available at: https://www.hammerdb.com/

[8] Cudre-Mauroux Philippe, Kimura Hideaki, Lim Kian-Tat, Rogers Jennie, Madden Samuel, Stonebraker Michael, Zdonik Stanley B., Brown Paul G. "SS-DB: A Standard Science DBMS Benchmark" XLDB 2010, Stanford University, CA, Oct. 6-7, 2010.

[9] McKnight William, Dolezal Jake and Barker Roger, "Cloud Database Performance Benchmark, Product Profile and Evaluation: Actian Vector and Microsoft SQL Server", MCG Global Services, February 2018.

[10] Alagić Suad, „Object-oriented Database Programming", Springer-Verlag, 1989.

LORAWAN БАЗИРАН КРАЕН ВЪЗЕЛ НА КОМПЮТЪРНА СИСТЕМА ЗА ИНТЕРНЕТ НА ХРАНИТЕ

Красимир Илиев Колев[1], Росица Райчева Максимова[2], Атанас Николов Костадинов[3]

[1]*Университет по хранителни технологии – Пловдив, e-mail: kr_kolev@abv.bg*
[2]*Университет по хранителни технологии – Пловдив, e-mail: rossirm@abv.bg*
[3]*Технически университет – София, филиал – Пловдив, e-mail: kostadat@tu-plovdiv.bg*

LORAWAN BASED END NODE ON COMPUTER SYSTEM FOR THE INTERNET OF FOOD

Krassimir Iliev Kolev[1], Rositsa Raycheva Maksimova[2], Atanas Nikolov Kostadinov[3]

[1]*University of Food Technologies – Plovdiv, e-mail: kr_kolev@abv.bg*
[2]*University of Food Technologies – Plovdiv, e-mail: rossirm@abv.bg*
[3]*Technical University – Sofia, Plovdiv branch, e-mail: kostadat@tu-plovdiv.bg*

Abstract

The paper focuses on an approach for using LoraWan technology for food traceability. The end node for traceability of foods based on microprocessor modules is synthesized. A structure diagram of the end node is given. The synthesized end node is based on a modern microcontroller ATmega2560 and on LoRa module RN2483A. A schematic diagram of the synthesized end node is given. An algorithmic diagram of the microprocessor end node is given. A variant of an information service to the end node on computer system is proposed. The functional analysis is performed. The paper provides provides information about original designed food traceability end-node using modern computer systems.

Keywords: Internet of Food; LoRa; LoRaWAN; Computer systems, Food Traceability.

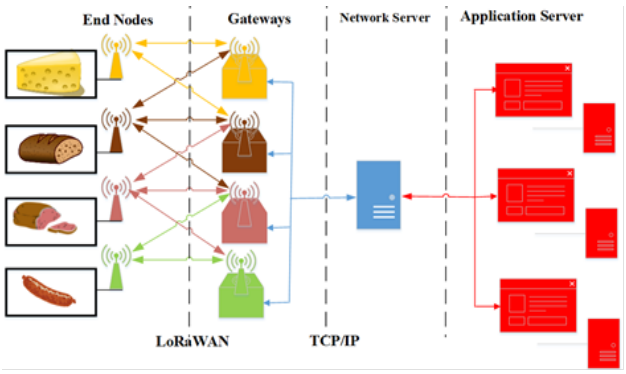
ВЪВЕДЕНИЕ

Контролът на качеството на храните е важен фактор за избягване на хранителни отравяния. В последните години се обръща особено внимание на проследимост на влаганите суровини в хранителната промишленост [1]. Задължение на всички предприятия от хранително-вкусовата промишленост е да изграждат и поддържат системи за анализ на опасностите и контрол на критичните точки (HACCP). С развитие на компютърните технологии се изисква преминаване на проследимостта в реално време [2]. За изграждане на такива съвременни системи може да се използва натрупаният опит от развитието на Интернета на нещата. На база на използване на мрежова свързаност на обекти се развива едно ново направление Интернет на храните. Изграждането на инфраструктурата на Интернета на храните е в начален етап и много учени предлагат различни модели на реализация. Целта на всички предлагани решения е да се събира обективна машинна информация за основни технологични параметри при преработка и реализация на храни. Съвкупността от програмно-техническите средства за реализиране на Интернет на храните е разнообразна. Независимо от предлаганите решения, основен момент във всяка система за активно проследяване на качеството на храни заема крайният възел. Той се намира в непосредствен достъп до суровини и крайни продукти и определя какви технологични параметри ще се наблюдават и архивират. Настоящата публикация дава едно примерно решение за реализация на краен възел, позволяващ да се контролират в мре-

жова среда основни параметри за съхранение на храни като температура, влажност, цвят. За мрежова свързаност е използвана съвременна безжична технология с обхват достатъчен за голямо предприятие, осигуряваща активно проследяване. Взети са в пред вид тенденциите за мрежова свързаност между обекти, на база на съвременни компютърни системи и технологии.

LORAWAN ИНФРАСТРУКТУРА ЗА ПРОСЛЕДИМОСТ НА ХРАНИ

Възможен вариант е да се използват модули, поддържащи стандарт за ниско консумираща глобална мрежа (LPWAN) тип LoRaWAN™. Спецификациите на стандарта LoRaWAN™ са различни в зависимост от разрешения спектър на комуникация. За Европа честотният обхват е от 867 MHz до 869 MHz, разделен на десет канала (осем за скорост на предаване 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 5 км. LoRaWAN™ има две нива за сигурност, базирани на 802.15.4 Security [3]. Защитата на мрежата гарантира автентичността на възела в мрежата, докато слоят за сигурност на приложението гарантира, че мрежовият оператор няма достъп до данни за приложението на крайния потребител. 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 показана на фиг. 1.



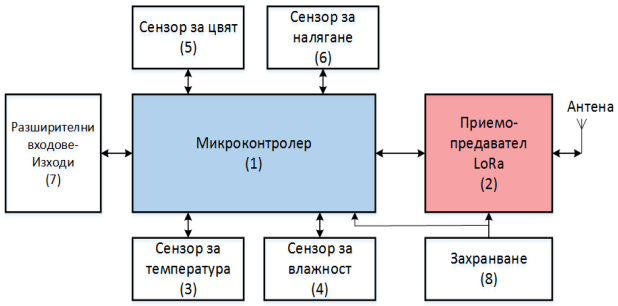
Фиг. 1. *LORAWAN инфраструктура за проследяване на храни*

Крайните хостове на мрежите на Интернет на храните се състоят от множество сензорни възли, разположени в близост до хранителни продукти, намиращи се в различни териториални локации. Тези сензорни възли трябва да притежават по-голяма функционалност за свързване на различни технологични сензори [4].

LORAWAN БАЗИРАН КРАЕН ВЪЗЕЛ

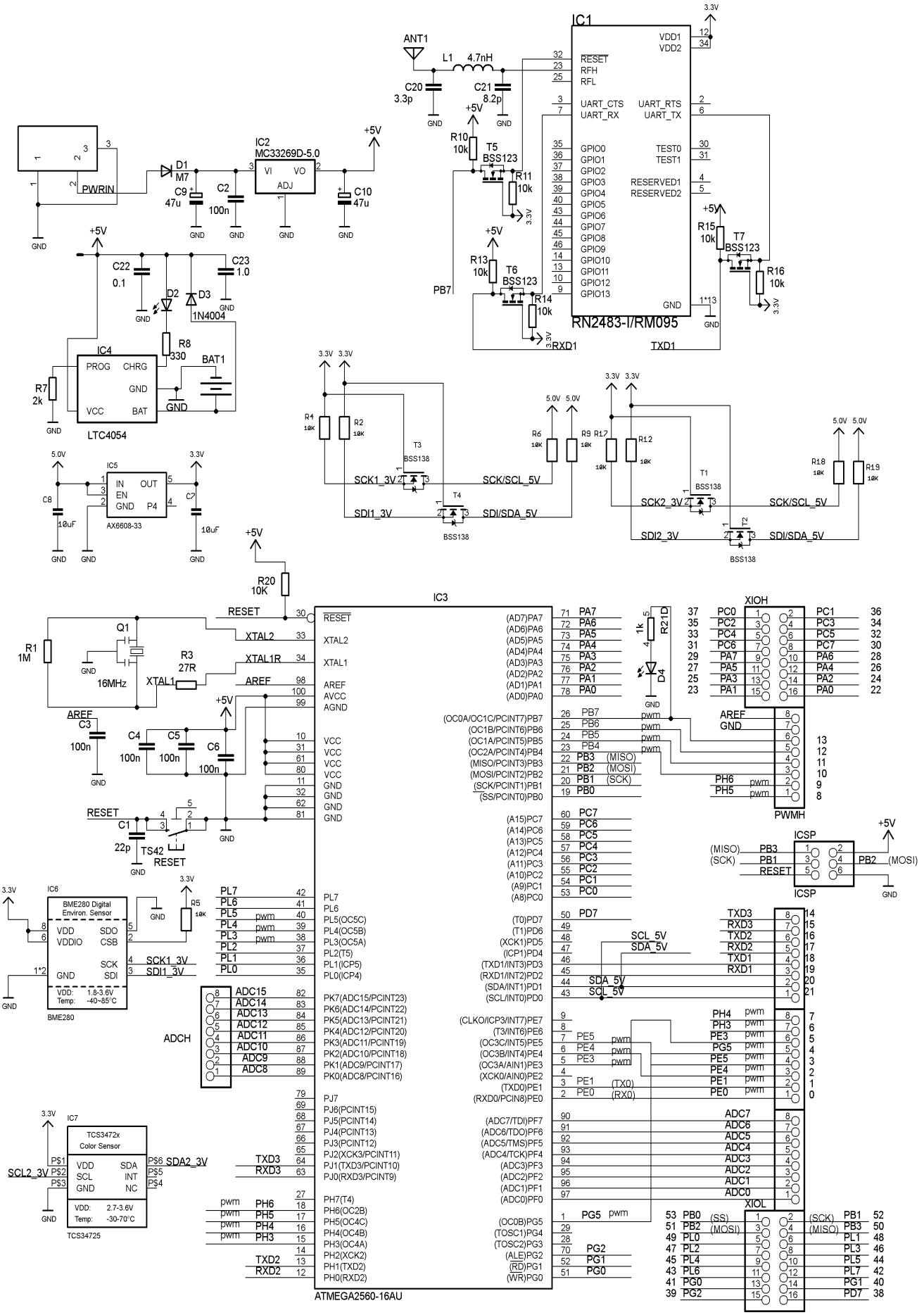
Апаратна (схемна) част

На фиг. 2 е показана структурната схема на предложения краен възел на компютърна система, използваща мрежова свързаност на база технологията LoRa за активна проследимост на храни. Тя се състои от следните основни компоненти - микроконтролер (1), приемо-предавател LoRa (2), сензор за температура (3), сензор за влажност (4), сензор за цвят (5), сензор за налягане (6), разширителни входове - изходи (7), захранване (8) и антена.



Фиг. 2*. Структурна схема на краен възел*

За реализация на апаратната част на микропроцесорната система реализираща крайният възел, се изхожда от общите принципи за проектиране на база възприетата структурна схема. Като първа стъпка се избират съвременни цифрови сензори по показаните технологични параметри. Подходящо е да се използва цифров миниатюрен сензор за няколко параметъра с общ I^2C интерфейс за температура, влажност и налягане BME280. На фиг. 3 е показана принципната схема на реализирания краен възел за проследяване на храни. Синтезът на микропроцесорната система е на база на вграден микроконтролер в един чип ATmega2560 (IC3).



Фиг. 3. *Принципна схема на LORAWAN базиран краен възел*

ATmega2560 е с ниска консумация, бързодействащ 8-битов RISC (Reduced Instruction Set Computer, с намален брой инструкции) базиран микроконтролер на фирмата Atmel, който притежава 256KB ISP (In-System Programming, която се програмира след реализирането на микропроцесорната система) вградена флаш памет, 8KB SRAM (Static Random-Access Memory, статична RAM памет), 4KB EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, електрически изтриваема ROM памет), 86 входно-изходни извода, 32 броя регистри с общо предназначение, брояч на реално време, шест модула таймери/броячи с режим за сравнение, PWM, 4 програмируеми USART (Universal Synchronous and Asynchronous Receiver-Transmitter, универсален синхронен и асинхронен приемо-предавател), байтово ориентиран двупроводен сериен интерфейс, SPI (Serial Peripheral Interface) последователен порт, 16-канален 10-битов АЦП (Аналогово-Цифров Преобразувател), програмируем стражеви таймер с вътрешен тактов генератор, както и шест програмно избираеми режима с намалена консумация на електрическа енергия. Микро-контролерът има производителност 16 MIPS (Million Instructions Per Second, милиони инструкции за секунда) при тактова честота 16 MHz и захранващо напрежение 5V [5].

Групата от елементи R20, C1 и бутонът RESET е стандартна за този тип микроконтролери и произвежда сигнал за начално установяване на микропроцесорната система. Групата елементи R1, R3 и Q1 е стандартна за реализация на външна честотно задаваща група на тактовия генератор на микропроцесора. Захранването на микропроцесорната система е реализирано посредством акумулаторна батерия, като е предвидена възможност за зареждане посредством специализирана интегрална схема LTC4054 (IC4) за зареждане на акумулаторни батерии за осигуряване на автономното захранване на проектирания възел за проследимост на храни. Регулаторът IC2 осигурява 5V постоянно напрежение за заряд, а регулаторът IC4 осигурява 3.3V постоянно напрежение за приемо-предавателя и сензорите. Lora приемо-предавателят е реализиран на база на специализирана интегрална схема RN2483 (IC1) на фирмата Microchip. Модулът RN2483 е напълно сертифициран за безжична технология LoRa 868 MHz със скорост на предаване 10937 bps. RN2483 притежава чувствителност на приемане около -146dBm [6]. Консумацията на приемо-предавателя в спящ режим е 0.2uA, а в готовност 2.8 mA. Изходната мощност на предаване е 14 dBm. Групата елементи за реализация на честотно задаваща група на тактовия генератор на приемо-предавателя са вградени. Приемо-предавателният тракт използва обща антена. Антената е сменяема с куплунг SMA/UFL с цел използване на различни антенни системи в зависимост от покритието на шлюза. Всички команди на RN2483 се задават по сериен интерфейс с параметри: 57600 bps, 8bits, no parity, no flow control.

Сензорът за влажност, налягане и температура BME280 (IC7) е с малка консумация 3.6 μA и обхвати на измерване за относителна влажност 0…100 % (точност ±3 %) , налягане 300…1100 hPa (точност ±0.12 hPa) и температура -40…+85 °C (точност ±0.5°C) [7]. Разделителната способност на измерването на влажност е зададена от 16 битов АЦП изход. При измерването на налягане и температура се използват 20 битови стойности. След приключване на измерителния цикъл, данните за температура и налягане преминават през вграден ниско честотен цифров IIR филтър. Адресът за избор на сензора по I^2C е 1110110 (0x76). Четенето на данни става чрез последователно прочитане на вътрешните регистри от адрес 0xF7 до 0xFE (температура, налягане и влажност). При запис на стойност 0xB6 във вътрешния регистър на сензора на адрес 0xE0 “reset”, сензорът се нулира, извършвайки пълна процедура на захранващо нулиране. Подавайки команди, в регистрите за конфигуриране се избират различни възможности за филтриране на данните.

Сензорът за цвят TCS34725 (IC6) позволява измерване на цветовите компоненти R, G, B и сила на осветеност L в двубайтов формат. TCS34725 преобразува светлината в цифров вид посредством 3×4 фотодиодна матрица и четири АЦП и вътрешни регистри за управление и данни [8]. След за-

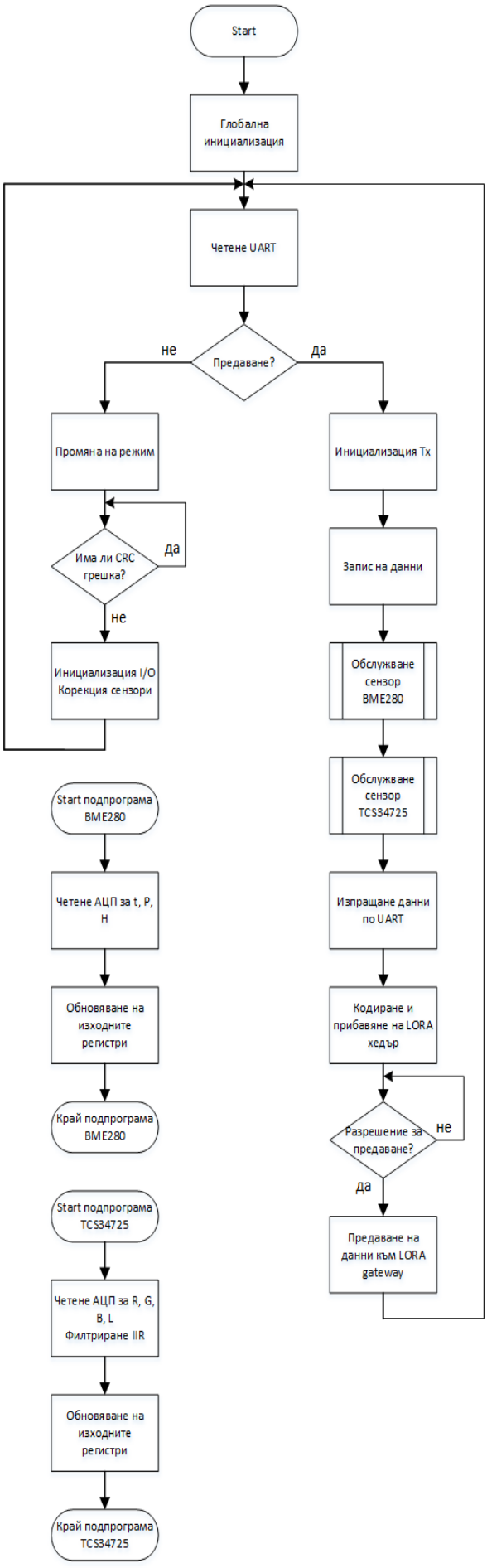
вършване на преобразуването в цифров вид резултатът се прехвърля автоматично към изходни регистри. Комуникацията със сензора се извършва по I^2C посредством адрес за избор 0x29. TCS34725 се управлява, конфигурира и се четат данните посредством вътрешни регистри, описани от производителя. Вградената система за контрол на преобразуването има следните особености: при включване на захранването вътрешно се инициализира режим на ниска консумация (Sleep state), при стартиране на измерване и разрешен регистър (0x00) PON и AEN битове започва преобразуване RGBC. Преобразуването RGBC се управлява посредством избор на усилване за всеки канал (AGAIN) за всеки АЦП. Времето за интегриране (ATIME, на експозицията) също може да се променя за промяна на чувствителността на сензора. Всеки цветови канал е независим и работят в паралел за да не си влияят помежду си.

Използвана е антена тип ABRACON - AEACAQ190012-S868, 868MHz, 3.5dBi.

Програмна част

ATmega2560 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. Системното осигуряване (firmware) е подготвено посредством външен програматор за микроконтролер с 2560 mega bootloader за STK500v2 protocol. Приложното програмно осигуряване е реализирано в безплатната среда на Arduino IDE. За осъществяване на инициализация и управление на LORA е използвана модифицирана версия на библиотеката RN2483-Arduino-Library-master. Алгоритмичната диаграма на проектираният краен възел е показана на фиг. 4. Конфигурирането на възела става, като се задават DevUEI, DevAddr, NwkSKey и AppSKey. За получаване на адреса на възела DevEUI може да се използват следните команди:

```
Serial1.write("sys get hweui\r\n");
delay(1000);
while(Serial1.available())
Serial.write(Serial1.read());
```



Фиг. 4. *Алгоритмична диаграма на възела*

Когато RN2483 получи, че няма DevAddr, трябва да се конфигурира чрез: *"Serial1.write ("mac set devaddr* ***assigned address*** *\ r \ n ");"*

За да се зададе NwkSKey, се използва *Serial1.write("mac set Nwkskey ################################\r\n");*
За да се зададе AppSKey се използва *Serial1.write("mac set appskey ################################\r\n");*

За реализиране на мрежовата инфраструктура се използва платформата The Things Network и е избран протоколът MQTT, осигуряващ качество на услугата и пълен дублекс между мрежови устройства.

При заявен интерес авторите биха могли да предоставят програмния код за обслужване на системата. Крайният възел позволява комуникация до 5 км. Проектираното крайно устройство отговаря напълно на стандарта LoRa Alliance и е съвместим с различни фабрично предлагани шлюзове. Направени са тестове за съвместимост с Field Test Device LoRaWAN EU 863Mhz-870MHz на фирмата ADEUNIS. Цената на предложената микропроцесорна система без допълнителни елементи по цени за 2019 г. е около 30 евро.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на предимствата на технологията LoRa и инфраструктурата на Интернета на нещата (IoT) позволява да се реализират динамични системи за проследяване на храни. За апаратната реализация са избрани съвременни модули. Представената реализация на LORAWAN базиран краен възел на база на микроконтролер ATmega2560 и приемо-предавателя RN2483 позволява да се контролират основни параметри на хранителните продукти като температура на съхранение, влажност и цвят. Предложената система е хардуерно отворена и позволява да се разширява с различни видове сензори. Предложената система използва софтуер с отворен код и лесно се модифицира в среда Arduino за включване към различни инфраструктурни шлюзове. Съществено предимство е достатъчния 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 с цел масово използване с опаковки за храни. Подготвеният доклад представя резултати от научен проект с тема „Изграждане на модерна локална инфраструктура за Интернет на храните", финансиран от Университета по Хранителни технологии (договор No. 08/18H).

REFERENCE

[1] Espiñeira M., F. Santaclara, Advances in Food Traceability Techniques and Technologies, Elsevier Woodhead Publishing, 2016.

[2] Montet D., R. Ray, Food Traceability and Authenticity, CRC Press, 2018.

[3] LoRa Alliance, LoRaWAN™ 1.1 Specification, LoRa Alliance Inc., 2017.

[4] Yang, S. H., Wireless Sensor Networks: Principles, Design and Applications, Springer-Verlag, 2014.

[5] Atmel Corporation, Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V Datasheet, Atmel., 2014.

[6] Microchip Technology Incorporated, RN2483 Low-Power Long Range LoRa® Technology Transceiver Module, Microchip Technology Inc.2019.

[7] Bosch, Final Datasheet BME280 Environmental sensor BST-BME280-DS001-10, Bosch, 2015.

[8] Ams, Datasheet TCS3472 Color Light-to-Digital Converter, Ams, 2018.

DATA EXCHANGE USING WSO2 ENTERPRISE SERVICE BUS

Stefan Pitulić[1], Slaviša Ilić[2], Siniša Ilić[1], Dragana Radosavljević[1]
[1]*Faculty of Technical Sciences, K. Mitrovica University of Priština, Serbia*
[2]*Faculty of Informatics and Computing University Singidunum, Serbia*

Abstract
In this paper the advantages of using Enterprise Service Bus in data exchange using SOAP and RESTful web services on particular examples are presented. The WSO2 open source ESB is used to connect different Web services deployed on different endpoints. Also, the possibility of transformation of messages used in data exchange between different web services is demonstrated in WSO2 API.

Keywords: ESB, connecting web application to ESB, connecting SOAP and RESTful to ESB.

INTRODUCTION

Many applications from time to time require the data from external resources and from various services. Usually this communication is realised on the Intranet or Internet.

Nowadays, data exchange is performed using the Web Services, whose main objective is to provide a service abstraction that allows interoperability between applications built using disparate platforms and environments [1]. Such architecture is known as Service Oriented Architecture (SOA). The data is mainly exchanged using XML message formats, and the services are interconnected by a P2P (point to point) connection. Complexity arises when there is a need to interconnect a large number of services within some organisation (company, clusters of companies, e-government of a country, etc.).

A typical scenario is that an enterprise runs hundreds or thousands of applications, which could be custom built, acquired from a third party or parts of legacy systems [2]. Then each service requires one communication interface with another service. Sometimes it is very hard and time consuming to establish such (multiple point to point) connections and reconfigure active network equipment. Also, there is a problem how to configure connection and access security for each new connection node with the data source.

The solution to this problem is to create a single interface - a single point of access for all communication services and this interface is actually the Enterprise Service Bus (ESB). With the advent of the ESB there is now a way to incorporate web services into a meaningful architecture for integrating applications and services into a backbone that spans the extended enterprise in a large-scale fashion [1]. In this way, all web services and applications can request and receive the data in a supported message format, and each node (where applications are deployed) will be connected via one interface to that unique access point (ESB).

All messages exchanged between the services are transmitted via an ESB that acts as a courier. The ESB can receive messages from one service, pack and forward them to another service, and/or return a message (response) to the sender.

In a general case a set of applications in a production environment may be built in different platforms and share data in different formats. Some applications may be parts of larger applications that use pre-defined format of messages and protocols, some other applications may use modern messages and protocols. That is the reason why ESB is designed to handle many different message formats and protocols and is able to: check messages, change their format, filter them, redirect them to different endpoints, process and change the content of initial messages, etc.

In addition to being the main point of message mediation, the ESB also provides security at the highest level, and it also has the

ability to log events. The ESB enables easy integration of various services without a need for a user to write a source code.

Some of the well-known commercial ESB solutions are: Microsoft BizTalk Server, Oracle Enterprise Service Bus, IBM Integration Bus. In this paper, the implementation of the open-source solution WSO2 is presented.

The main goal of this paper is to present usage of WSO2 ESB [3] and connecting of the RESTful (Representational state transfer) and SOAP (Simple Object Access Protocol) Web Services on particular examples.

SOAP AND RESTFULL WEB SERVICES

SOAP is a standard protocol proposed by the W3C [4,5] to interface Web Services, and that extends the remote procedure call (XML-RPC). Thus, SOAP can be considered as an evolution of XML-RPC protocol, much more complete and mature, that allows to perform remote procedure calls to distributed routines (services) based on an XML interface as interfacing language. Thus, SOAP clients can access to objects and methods that are residing in remote servers, using a standard mechanism that makes transparent the details of implementation, such us the programming language of the routines, the operating system or the platform used by the provider of the service. At the moment, there exist complete implementations of SOAP for Perl, Java, Python, C++ and other languages [6].

SOAP sends and receives messages using XML [7-9], wrapped HTTP-in headings. The interfaces of the methods that can be accessed using SOAP services are specified by a Web Services Description Language (WSDL) [10, 11]. Using an WSDL file, that it is based on a neutral language such as XML, the service can be specified for different languages, so that a Java client can access a Perl server.

REST is a style of software architecture for distributed hypermedia systems such as the World Wide Web. The term Representational State Transfer was introduced and defined in 2000 by Roy Fielding in his doctoral dissertation [12, 13]. Fielding is one of the principal authors of the Hypertext Transfer Protocol (HTTP) specification versions 1.0 and 1.1 [14, 15].

REST-style architectures consist of clients and servers. Clients initiate requests to servers; servers process requests and return appropriate responses. Requests and responses are built around the transfer of representations of resources. A resource can be essentially any coherent and meaningful concept that may be addressed.

Although REST was initially described in the context of HTTP, is not limited to that protocol. RESTful architectures can be based on other Application Layer protocols if they already provide a rich and uniform vocabulary for applications based on the transfer of meaningful representational state. RESTful applications maximize the use of the pre-existing, well-defined interface and other built-in capabilities provided by the chosen network protocol, and minimize the addition of new application-specific features on top of it.

CREATION OF TESTING ENVIRONMENT

In order to test the usage of WSO2 ESB several endpoints with web services are created. Two SOAP Web Services (WS): “BibService” and “ServiceB”, each with several functions are created, and one RESTful WS (“TutorialService”) with four functions. Also, two client applications were built: one for exchanging data with SOAP WS and one for retrieving, inserting, updating and deleting data using the RESTful web services.

Initially, client applications were connecting to the WS directly in a peer to peer fashion and were used to issue the request to an endpoint demanding the data from a WS deployed at that endpoint. Our goal was to modify client application to issue request to the ESB (not to a particular endpoint) for a specific WS and receive data from ESB regardless from which endpoint data actually were coming from. For each WS appropriate API had to be developed and implemented in ESB in order to process request from a client application, create own request to the particular endpoint, receive data from a web service and transfer those data to a client application in desired format.

For issuing the WS request (beside client applications we developed) we used also SoapUI (https://www.soapui.org/) application

for testing requests and responses to and from Web Services.

Creation of SOAP Web Services for experiment 1

All Web Services in the experiment were created using the Microsoft .Net platform. The first SOAP WS "BibService" was designed to exchange data related to small library. The service was connected to the MS Access Database and the functions of this WS were:

- ***AddBook****(pWriterID, pBookTitle),*
- ***GetWriterID****(pWriterName),*
- ***ShowAllWriters****(), and*
- ***ShowWritersAndBooks****().*

The second SOAP WS "ServiceB" was designed to exchange data related to Book Writers, it is also connected to (another) MS Access database and there was only one function:

- ***GetNumberOfBooks****(pWriterID)*

The initial architecture for experiment 1 is presented in Fig. 1.

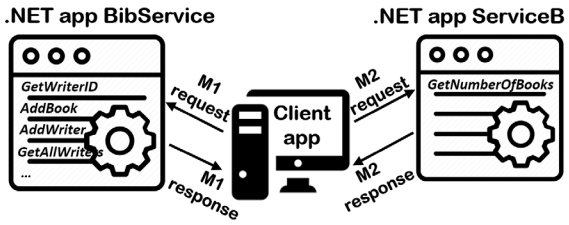


Fig. 1. *Initial architecture of test environment for experiment 1*

When implementing .Net web services, WSDL description for the developed WS can be downloaded from the web address http://hostname/WebServiceName.asmx?WSDL. The WSDL file can be later uploaded to the SoapUI for proper configuring application to issue request to that Web Services.

The request and response messages for function *GetWriterID* (using parameter *pWriterName = "Desanka Maksimovic"*) of WS "BibService" in SoapUI application are presented in Fig. 2.

Creation of RESTful Web Services for experiment 2

One RESTful WS [16] with four functions: POST, GET, PUT, DELETE was developed and deployed. This Web Service was not connected to the database.

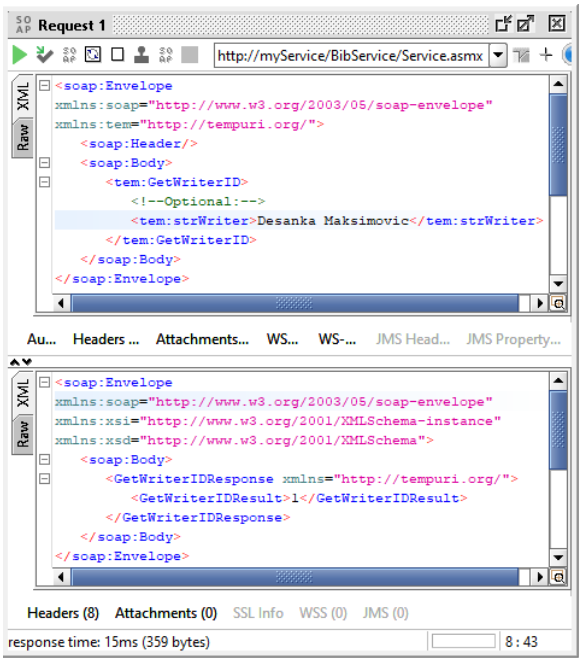


Fig. 2. *Request from SoapUI to the function GetWriterId of WS BibService*

Its purpose was to test aforementioned functions on an initial array of strings. The initial architecture of test environment for experiment 2 is presented in Fig. 3

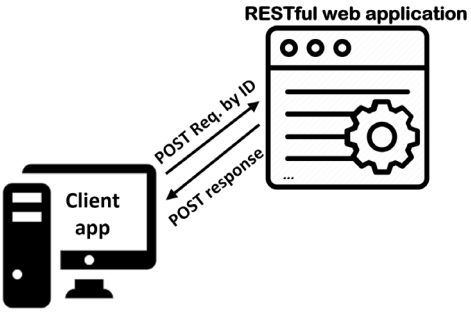


Fig. 3. *Initial architecture of test environment for experiment 2*

CONNECTING WEB SERVICES TO ESB AND API COMPONENTS

As stated above, the WSO2 ESB (https://wso2.com/) solution was used to connect the Web Services and create needed APIs. WSO2 uses modified Eclipse version for building the APIs and configuring endpoints. Because the ESB has to communicate with available Web Services, each WS has to be defined for access within the ESB. For this purpose, the names of WS, appropriate endpoints (Web URLs) and WDSL files had to be defined in ESB API as well as the context of API. In order to create an WSO2 API, certain objects called mediators (the building blocks of each API) were used. Mediators were defined in the development environment, the number of

them was large. The mediators used in our experiments were:

Log mediator - the object that shows events for all messages that pass through ESB WSO2 API.

Send mediator – the object that sends a message to some Endpoint. For each message a Message ID will be assigned.

Property mediator - the container of variables. It can set or unset the value of some variable. It can also extract some content from a message (i.e. from XML, JSON, Envelope, etc.).

PayloadFactory mediator - the object that transforms the content of a message.

Call mediator - the object that is used to send a message outside of ESB-a to some endpoint. The response is then received back to the working area (called Synapse) of the WSO2 ESB.

Respond mediator - the object that stops the message processing within the Synapse and sends back the message to the client as a response.

Implementation of the Experiment 1 (connecting SOAP Web Services to ESB)

The goal of experiment 1 was to connect client application to ESB and create request for new function *GetNumberOfBooks (pWriterName)* (function with the same name of WS BibService has parameter *pWriterID*). The new function (created in WSO2 API) would firstly call function *GetWriterID* from the WS "BibService" and after receiving response (the value WriterID) would call function *GetNumberOfBooks* from the WS "ServiceB" by passing the parameter WriterID obtained from "BibService" previously. The response of the later WS would be then returned back to the client application.

The architecture of the experiment 1 is presented in Fig 4.

In this scenario the client application issues request to the ESB by sending message m1wn (Message 1 contains WriterName). The ESB processes the request and sends a message m1wn (with a Writer Name received from a client request) to the WS "BibService"; "BibService" responds and sends back the message m1id response to the ESB that contains value of WriterID.

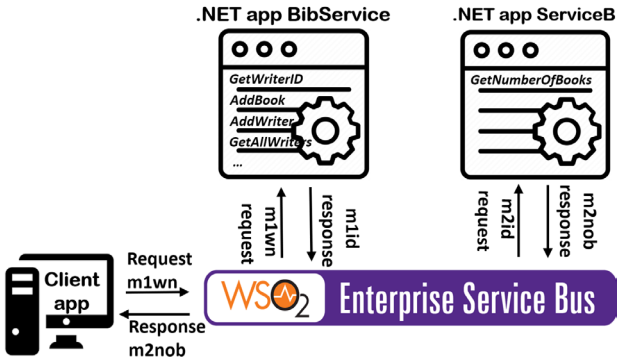


Fig. 4. *The final architecture of SOAP services in experiment 1*

The ESB transforms received envelope in message m1id (extracts the WriterID value) and call another WS "ServiceB" by sending the message m2id request (with WriterID received in m1id), receives the response m2nob (Message 2 Number of Books) and passes the response to the client application.

In Fig 5, the architecture of created API for experiment 1 (by combining and configuring the appropriate mediators) is presented.

From Fig. 5 two sequences of objects can be seen: first group in upper part with arrows going from "Resources" object and second group in lower part with arrows going to "Resources" object.

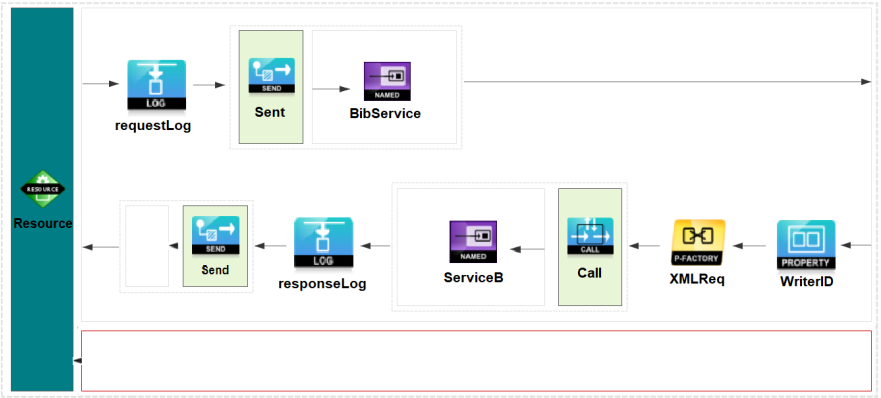


Fig. 5. *Mediation components of API for experiment 1*

The objects in the first group receive request from a client application and send the request to "BibService" WS, and the second group receive response from "BibService" WS, create request to "ServiceB", receive response from "ServiceB" and send response to a client application.

The first mediator in the first group is Log mediator *requestLog* that logs the request event and passes the received SOAP envelope to the Send mediator that forwards the message content to the endpoint "BibService".

In the second group of mediators, the Property mediator *WriterID* extracts the value of *WriterID* from "BibService" response and passes it to the Factory mediator *XMLreq* that creates format of envelope for the Web Service "ServiceB" and function *GetNumberOfBooks*. The created message is then sent to the "ServiceB" endpoint via Call mediator. The response message from "*ServiceB"* is received by Log mediator *responseLog* and sent back to a client application through the Send mediator. If error occurs, a developer may put mediators in the red rectangle at the bottom of Fig. 5 to handle that error.

When API is created, it should be deployed in ESB server through the Management Console as Carbon application in a format of Composite Application Project. The API called *GetNumberOfBooks* is thus deployed in the Management Console.

Implementation of the Experiment 2 (connecting RESTful Web Services to ESB)

The goal of experiment 2 was to connect client application with existing RESTful Web Services via ESB and receive required data in JSON format. A client application needed to exchange data with ESB instead to exchange data with each WS deployed on specific endpoint. In this case, the ESB was configured to return back response to a client application in JSON format by reformatting data received from RESTful WS in XML format.

The desired configuration is presented in Fig. 6.

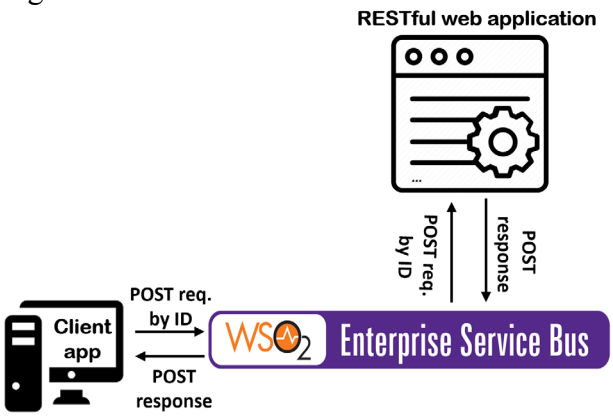


***Fig. 6** – Desired architecture for RESTful service*

In this scenario a client application had to send request to the ESB (POST request by ID), the ESB had to forward request to the RESTful WS, receive response from the RESTful WS (POST response), transform the format of data and send back to a client application (POST response).

Unlike in SOAP Web Services, in RESTful services the context is more dynamic. There are GET, POST, and DELETE methods, so more Resource objects should be defined. In this case only GET method is described. The task of GET function in "TutorialService" WS was to return the string from the string array at required position in XML format.

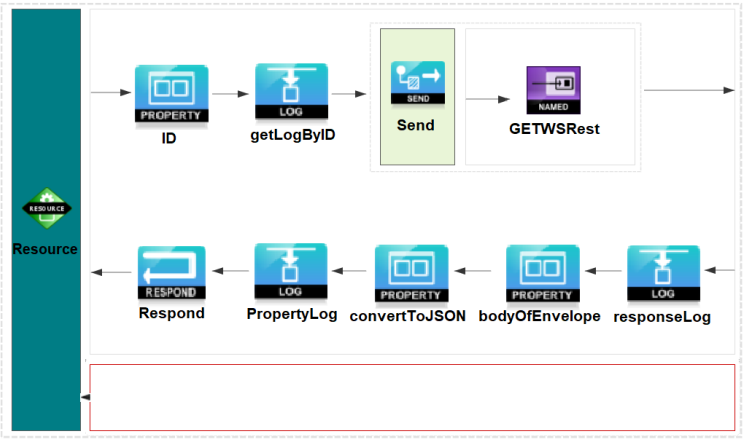


***Fig. 7.** Mediation components of API for experiment 2*

In Fig 7, the architecture of created API for experiment 2 (by combining and configuring the appropriate mediators) is presented.

Like in SOAP API, the first group of mediators receive request from a client application and send the request to RESTful WS, and the second group receive response from RESTful WS and send response to a client application.

The first Property mediator (*ID)* extracts from the context of POST request the parameter -sequence number of the string in an array, and passes request to the Log mediator *GetLogByID*. Log mediator logs the request event and passes the received POST request to the Send mediator that forwards the message content to the endpoint *GetWSRest* (it is actually "TutorialService" WS). The Log mediator *ResponseLog* logs the response event and passes it to the Property mediator *BodyOfEnvelope* that extracts the return value from the received envelope. The envelope is then passed to the PayLoadFactory mediator *ConvertToJSON*, that converts envelope content from XML to JSON. The Log mediator *PropertyLog* logs the content of the parameters in the envelope, and the created response is sent back to a client application via *Respond* mediator. The request and response messages to and from this API is tested via SoapUI application.

CONCLUSION

In modern age many applications can exchange data with another applications regardless of platforms they were developed and implemented using the Web Services (WS). The advantage of using WS is that data can be exchanged in a standard format (usually XML or JSON).

When the number of applications that exchange data, becomes large, it is easier to create a single point of access for all communication services rather than to establish multiple point to point connections. This backbone interface is actually the Enterprise Service Bus (ESB).

In this paper we presented a usage of WSO2, the open source ESB solution for handling SOAP and RESTful Web Services and demonstrated on particular examples how WSO2 can handle multiple WSs in one request and response to a client and how WSO2 can process and transform response messages successfully.

ACKNOWLEDGMENT

This work has been supported by the Ministry of Science and Technological Development of the R. of Serbia under Project No.TR-35026.

REFERENCE

[1] Chappell D. Enterprise Service Bus O'Reilly, 2004.

[2] Menge F. Enterprise Service Bus, Free and open source software conference, 2007.

[3] Indrasiri K. Beginning WSO2 ESB, First Edition, 2016.

[4] Box D, Ehnebuske D, Kakivaya G, Layman A, Mendelsohn N, Nielsen H, Thatte S, and Winer D. Simple Object Access Protocol (SOAP) 1.1, W3C Note 08 May 2000, available at: http://www.w3.org/TR/SOAP, 2019.

[5] Avila P. SOAP: revolucion en la red, *Linux actual*, no. 19, pp. 55–59, 2001.

[6] SOAP software, available at: *http://www.soaprpc.com/software* , 2011.

[7] Ray E. T, *Learning XML: creating self describing data*. O´Reilly, January 2001.

[8] Harold E. R. *XML Bible*. IDG Books worldwide, 1991.

[9] Box D. Inside SOAP, available at: *http://www.xml.com/pub/a/2000/02/09/feature/index.html ,* 2019.

[10] Ryman A. Understanding web services, available at: *http://www7.software.ibm.com/vad.nsf/Data/Document4362?OpenDocument&p=1&BCT=1&Footer=1* , 2011.

[11] Vasudevan V. A web services primer, available at: *http://www.xml.com/pub/a/2001/04/04/webservices/index.html* , 2011.

[12] Fielding R. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures, *Doctoral dissertation, University of California, Irvine*, 2000.

[13] Fielding and Taylor R. Principled Design of the Modern Web Architecture, *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT) (New York: Association for Computing Machinery) 2 (2): 115-150*, 2002.

[14] IETF, RFC 1945, available at: *http://tools.ietf.org/html/rfc1945* , 2019.

[15] HTTP/1.1, RFC 2616, available at: *http://tools.ietf.org/html/rfc2616* , 2019.

[16]RESTful service, available at: https://www.guru99.com/restful-web-services.html, 2019.

IMPLEMENTATION OF RECORDING LOG EVENTS IN WSO2 ESB COMMUNICATION

Stefan Pitulić[1], Slaviša Ilić[2], Siniša Ilić[1], Vladimir Veljović[3]
[1]*Faculty of Technical Sciences, K. Mitrovica University of Priština, Serbia*
[2]*Faculty of Informatics and Computing University Singidunum, Serbia*
[3]*Faculty of Technical Sciences, Čačak University of Kragujevac, Serbia*

Abstract
In this paper the implementation of recording the log of communication events to the external database servers from WSO2 - open source Enterprise Service is presented. The WSO2 ESB is used to connect different Web services deployed on different endpoints. Also, the analysis of data from communication events stored in the external databases is demonstrated using the built-in ESB dashboards.

Keywords: WSO2 ESB communication tracking, ESB logging to an external database, ESB Dashboard

INTRODUCTION

Almost all companies today rely own business on the software applications they use. A typical scenario is that an enterprise runs hundreds or thousands of applications, which could be custom built, acquired from a third party or parts of legacy systems [1]. One of the main tasks then is to make these software applications and services work together to produce unified business functionality.

The task of plumbing different software applications, services, and systems, and forming new software solutions out of that is known as enterprise integration. The software application that is designed to enable that task is known as the Enterprise Service Bus (ESB). An ESB enables diverse applications, services, and systems to talk to each other, interact, and transact. It acts as the main messaging backbone in any Service Oriented Architecture (SOA); it's lightweight, built on top of open standards such as web services standards, and supports commonly used patterns in enterprise integration known as Enterprise Integration Patterns [2]

An enterprise service bus (ESB) is a software architecture construct that enables communication among various applications. Instead of having to make each of applications communicate directly with each other in all their various formats, each application simply communicates with the ESB, which handles transforming and routing the messages to their appropriate destinations [3].

Different services may be using different data formats and communication protocols. Physical locations of services can change arbitrarily. An ESB can be used to loosen these couplings between different services and service consumers [3].

In a such environment it is very important to keep a log of data exchange events between applications. A properly configured logging system is vital for identifying errors, security threats, and usage patterns [4]. The structured log data are usually stored in a reliable database, from where the functioning of the ESB can be analysed. In order to ensure business contingency of IT services in a production environment a redundancy of log database is usually implemented. Such a database environment must be reliable and with help of reporting and analytic tools capable to produce different usage reports and analyses.

In this paper we described the re-configuration of default settings of WSO2 – the open-source ESB in order to enable standard logging configuration architecture in a production environment. In more details we described implementation of logging events and data using the external database and implementation of analyses of data exchange events and usage of Web Services APIs.

DEFAULT LOGGING SETTINGS IN THE WSO2 ESB

In the WSO2 ESB server, which needs to run side by side with the WSO2 ESB Analytics server, tracking can be enabled for execution of specific services such as REST and SOAP APIs and Proxy services, connecting to different EndPoints where Web Services are deployed.

There are several ways to log events in WSO2 ESB. WSO2 ESB is a Java application underneath, and as it is a typical in this type of application, it uses *log4j* for logging purposes. It means that one can manually edit the configuration file that can be found in <ESB_HOME>/repository/conf/log4j.properties to suit the architectural needs.

On the other hand, this configuration can be changed also through the management console. The changes are persisted in the registry so that they are available after restarting the server and overwrite the configuration in the log4j.properties. The logging configuration settings can be found in the Configure/Logging window of the Management Console.

By default, WSO2 ESB store logs on the OS filesystem and H2 database.

WSO2 log database

H2 database is default database for all WSO2 ESB products. According to the recommendation of WSO2 developers, the embedded H2 database is NOT recommended in enterprise testing and production environments. It has lower performance, clustering limitations, and can cause file corruption failures [3]. One more disadvantage of using H2 is that since it stores the data in the memory, it is volatile. H2 uses the memory much more than others databases especially when the size of data increases [5].

WSO2 ESB uses three H2 databases to store: configuration (regdb), metrics (wso2 metrics), and log analytics (wso2_analytics, wso2_analytics_processed).

By default, in database regdb the following properties are set: configuration paths, user accounts to access WSO2 ESB Management Console, user roles in WSO2 ESB registry, history of configuration changes, etc. In the databases wso2_analytics and wso2_analytics_processed the encrypted data needed for analysis are stored, such as: number of connection requests to some EndPoint, number of usage of some API, statuses of requests, etc. In the wso2 metrics the following data are stored: server load, the memory used, the load speed of some classes, average processor load, etc.

The detailed configuration of database functioning can be set in the following configuration XML files: registry.xml (general configuration of datasources), master-datasources.xml (the main database configuration), metrics.xml (general configuration of metrics), metrics-datasources.xml (configuration of database for metric tables), analytics-config.xml (the analytics dataservice configuration) and analytics-datasources.xml (configuration of database for analytics).

WSO2 log files

The log files are typically stored in the <ESB_HOME>/repository/logs/ folder. The following types of log files can be found by default:

- **http_access_management_console.log:** the basic information of each HTTP access to WSO2 ESB.
- **patches.log:** the log information when any patches are installed.
- **tm.out:** Atomikos transaction logs.
- **wso2carbon.log:** This is the main log file of WSO2 ESB, and this is the file one can see when he/she accesses or logs to the management console. This is the log that will be checked most of the times.
- **wso2-esb-errors.log:** all warning and error messages from wso2carbon.log
- **wso2-esb-service.log:** specific log from the proxy services deployed in WSO2 ESB. This is a way to extract the service logging entries from the general log (wso2carbon.log).
- **wso2-esb-trace.log:** more detailed information about the steps performed in designed sequences, mediators, or services when tracing has been enabled on them.

By default, all these files are configured as daily rolling log files. These files can be found with the date attached to the core names of the files [6].

A user does not have to open log files in order to read the logs. They can be accessed by Management Console. In this case, the log shown in the console is the carbon_memory logger, that is by default set in log4j.properties file, and can be changed by a user.

CHANGING THE DEFAULT LOG WSO2 CONFIGURATION

In a production environment, the typical architecture for keeping the logs of data exchange is shown in Fig. 1.

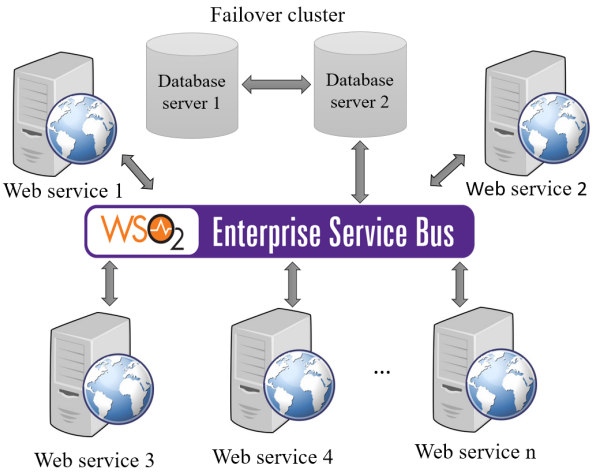


***Fig.** 1 Architecture of ESB in a production environment*

In order to keep track of all logs, a redundant database cluster (to support running of one database in the event of failure of another) should be created. In this experiment we decided to use and configure MySQL database in a master-slave replication mode.

Replacement of WSO2 default database

In order to redirect WSO2 ESB to send log data to MySQL database (instead to send it to the H2 DB), the configuration file regdb should be adjusted. The tags related to connection parameters (url, driverClassName, username, password) should be set to the MySQL jdbc values. The content of the adjusted master-datasources.xml file where the settings of regdb database can be set is shown in Fig. 2.

In a similar way the settings should be changed in other configuration files (analytics and metrics). Before starting the log collection to the new databases, a set of tables in databases should be created by running the predefined SQL query script. The WSO2 ESB has those scripts with SQL dialects for most of modern databases that can be found in <ESB_HOME>\dbscripts. After creation of new tables, the WSO2 ESB server should be started with the switch -Dsetup from a terminal in order to ESB copy data from default H2 databases to the new (MySQL) databases. From this moment ESB will send log data to the new MySQL databases.

```
<datasources-configuration
    xmlns:svns="http://org.wso2.securevault/configuration">
    <providers>
        <provider>
            org.wso2.carbon.ndatasource.rdbms.RDBMSDataSourceReader
        </provider>
    </providers>
    <datasources>
        <datasource>
            <name>WSO2_CARBON_DB</name>
            <description>
                The datasource used for registry and user manager
            </description>
            <jndiConfig>
                <name>jdbc/WSO2CarbonDB</name>
            </jndiConfig>
            <definition type="RDBMS">
                <configuration>
                    <url>jdbc:mysql://localhost:3306/regdb</url>
                    <username>regadmin</username>
                    <password>regadmin</password>
                    <driverClassName>
                        com.mysql.jdbc.Driver
                    </driverClassName>
                    <maxActive>80</maxActive>
                    <maxWait>60000</maxWait>
                    <minIdle>5</minIdle>
                    <testOnBorrow>true</testOnBorrow>
                    <validationQuery>SELECT 1</validationQuery>
                    <validationInterval>30000</validationInterval>
                    <defaultAutoCommit>false</defaultAutoCommit>
                </configuration>
            </definition>
        </datasource>
    </datasources>
</datasources-configuration>
```

***Fig.** 2 The content of adjusted master-datasources file*

The collection of log data to the analytics database in MySQL server is shown in Fig. 3.

In order to obtain the desired architecture of redundant database servers presented in Fig. 1. the MySQL master-slave replication configuration is created [7] by changing the default settings in mysqld.cnf files of both: master and slave database servers.

Configuring appender to send desired log data to the database

In general, WSO2 ESB stores complete log of all events in the files. Luckily, there is a tool called appender that can "catch" the content of a log and transfer it in a separate file or to the database.

Thus, by default, for data analysis purposes, the data from various events are sent to the H2 database in encrypted format. These data can be analysed in WSO2 Analytics server where are firstly decrypted and presented in the graphical format.

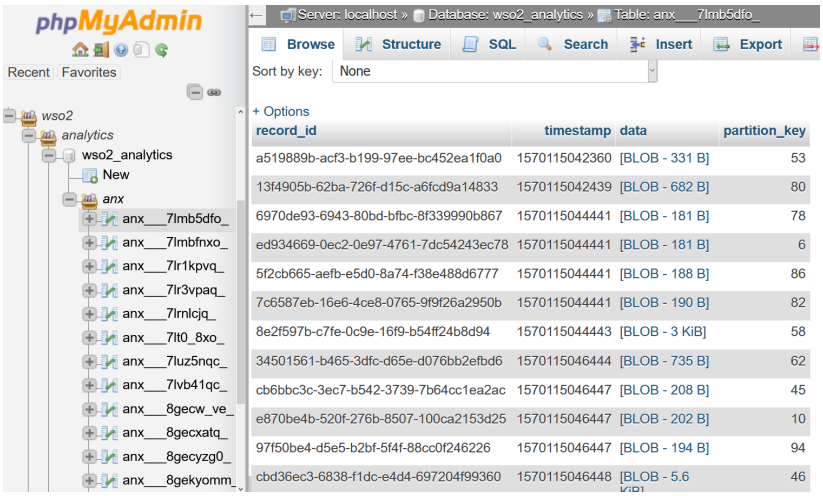


***Fig.** 3 Screenshot of MySQL analytics database*

WSO2 ESB APIs that connect different applications are created using the components called "mediators". Some of such mediators are: Log, Send, Property, Call, Respond etc. In the WSO2 ESB any service can be built by connecting afore mentioned mediators. The task of Log mediator is to allow tracking of all kinds of data that pass through that mediator. Using this component is common in most cases. The log mediator can be configured to log static and dynamic content and can also be configured to track properties of other mediators in an API by using method *get-properties ('propery_name')*. In order to configure WSO2 ESB to send messages that pass through a Log mediators of APIs to an external (MySQL) database server, a new database and the tables need to be created first.

The appropriate settings must be then set in the log4jproperty file (/repository/conf) and the "sql" appender for the log4j.rootLogger must be added. The following code should be added to the log4jproperty file for database [8]:

```
log4j.rootLogger=ERROR,
CARBON_CONSOLE, CARBON_LOGFILE,
CARBON_MEMORY, CARBON_SYS_LOG,
ERROR_LOGFILE, SQL
log4j.appender.sql=org.apache.log4j.jdbc.J
DBCAppender
log4j.appender.sql.URL=jdbc:mysql://localh
ost/LOG_DB
# Set Database Driver, uname and pass
log4j.appender.sql.driver=com.mysql.jdbc.D
river
log4j.appender.sql.user=root
log4j.appender.sql.password=root
# Set the SQL statement.
log4j.appender.sql.sql=INSERT INTO wso2-
esb-api VALUES ('%x', now()
,'%C','%p','%m')
# Define xml layout for file appender
log4j.appender.sql.layout=org.apache.log4j
.PatternLayout
```

In order to test sending the log to a MySQL database from a running WSO2 Web Service (WS) API, the appropriate log data are stored in MySQL database (Fig. 4) by issuing the WS request from SoapUI application (Fig. 5).

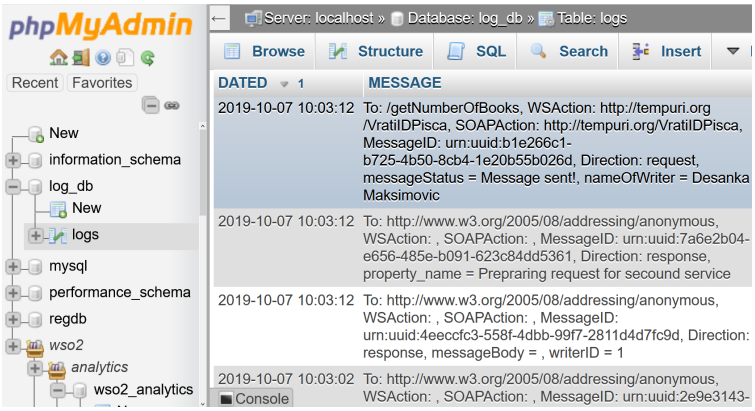


***Fig. 4** Log data in MySQL database received by getNumberOfBooks API*

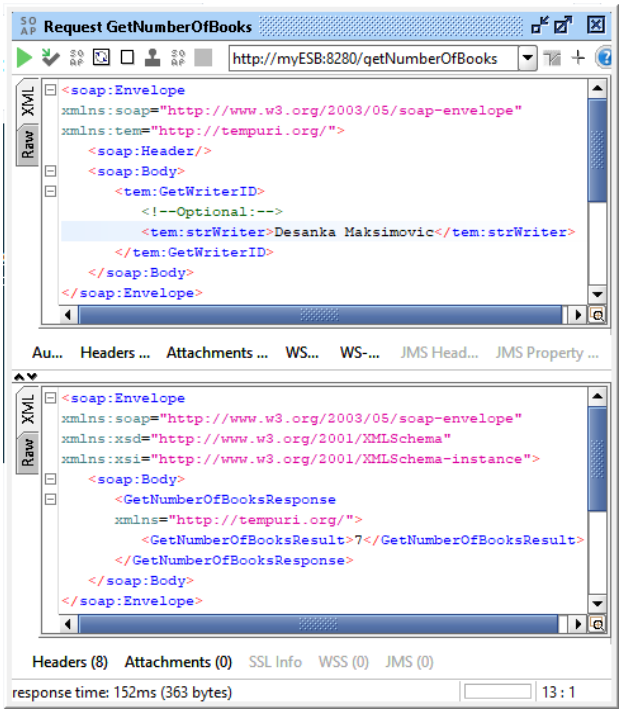


Fig. 5 *Request issued from SoapUI to API getNumberOfBooks of ESB*

This setup with running log appender can lead to performance reduction of ESB. One way to handle the performance issue is to define a large buffer to store the log data. In this way the data will be stored in a database when a buffer is almost full rather than to insert data on each log event. The size of a buffer can be set through the log4j method "bufferSize" where the number to be set is actually the number of log events to be stored in a buffer. Another way for achieving better performances is to filter the log events by keywords (log4j.appender.sql.filter.01.String ToMatch= "message") that will enable inserting only the filtered log events to a database. The similar approach can be used to capture Log mediator messages to a new file instead to a new database.

IMPLEMENTATION OF WSO2 ESB DATA EXCHANGE EVENTS ANALYSES

As already mentioned above, in order to connect external database server for analytic purposes to WSO2 ESB, one has to change settings in analytics-datasources.xml and in metrics-datasources.xml files, and then to run SQL script from <HOME ANALYTICS>\dbscripts to copy data from existing H2 database. After these steps, the ESB Analytics Dashboard will use data from a new external database for data analysis. Which data can be used for analytical purposes must be configured in the Management console.

One of the typical dashboard screen is shown in Fig. 6. From the figure it can be seen the overview of all web services in last 30 days, total number of web services requests and responses, the average time of responses, number of requests to a different APIs, number of requests to different EndPoints, statuses of requests, etc.

The more detailed analysis can be obtained by selecting appropriate menu items on the left side of the dashboard.

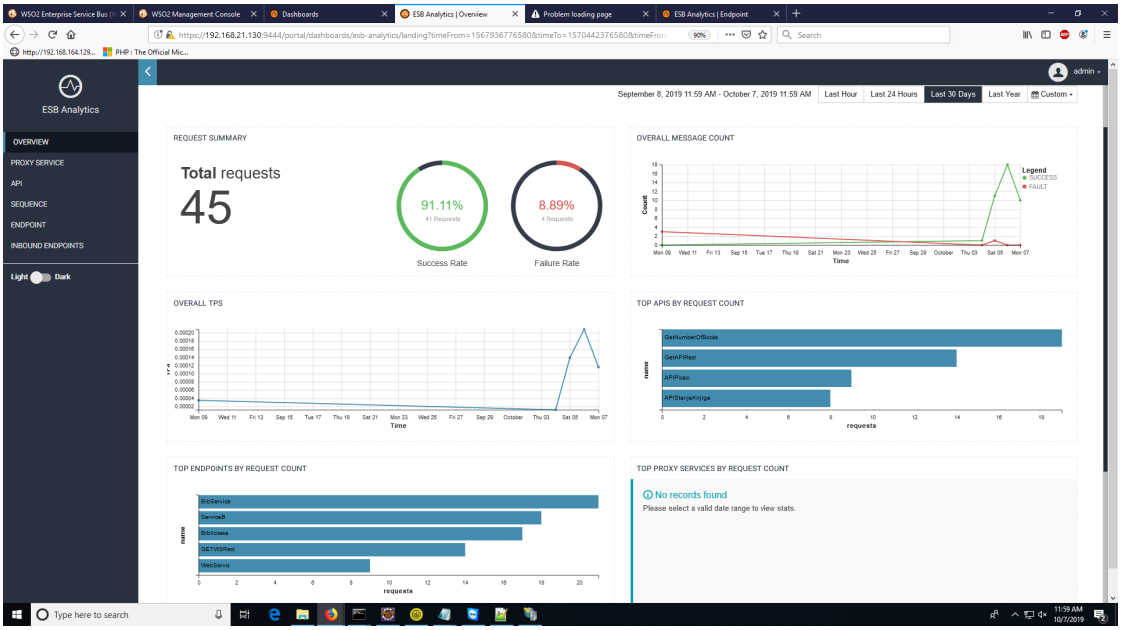


Fig. *6 Dashboard ESB Analytics Overview*

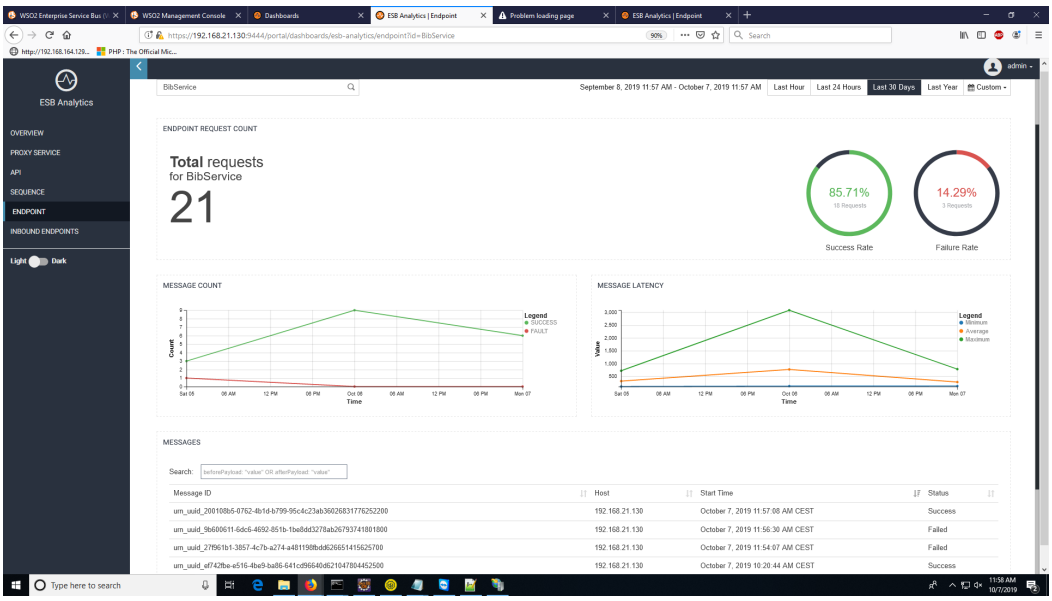


Fig. *7 Dashboard ESB Analytics for Web Service BibService*

The list of request messages to the appropriate endpoints with the graphical statistics of the statuses of requests, message count and latency for the Web Service can be seen in Fig. 7 by using data from external MySQL database server.

In the details pane of the dashboard it can be seen the following data related to each request: ID of the message, the URL of web service requested, timestamp of the issued request and the status of request.

CONCLUSION

Nowadays modern applications frequently exchange data in a controlled way using the Web Services. Usually it is easier to create a single point of access for all communication services rather than to establish multiple point to point connections. This backbone interface is the Enterprise Service Bus (ESB).

In a such environment it is very important to keep a log of data exchange events between applications. A properly configured logging system is vital for identifying errors, security threats, and usage patterns.

Some open-source ESB solutions by default do not offer professional setup of log events storage, but enable modification of initial setup.

In this paper we have shown that by modification of initial setup of WSO2 – open source ESB, we configured it to track communication events in redundant external database servers.

Using the built-in analysis tool (dashboard) we were able to create various reports from recorded data from the external database and make analysis of: statistics for defined period and detailed log of each request.

ACKNOWLEDGMENT

This work has been supported by the Ministry of Science and Technological Development of the R. of Serbia under Project No.TR-35026.

REFERENCE

[1] Menge F. Enterprise Service Bus, Free and open source software conference, 2007.
[2] Indrasiri K. Beginning WSO2 ESB, First Edition, 2016
[3] WSO2 Enterprise Service Bus, Version 5.5.0, 2016.
[4] ESB Documentation, 2017.
[5] Kabakus A. T, Kara R, A performance evaluation of in-memory databases, Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences, (2017) 29, 520–525, available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157816300453, 2019.
[6] Prieto F, Ramón E, Lázaro G. WSO2 Developer's Guide, 2017.
[7] MySQL DB Replication, available at: https://medium.com/@madumalt/mysql-db-replication-63786ac8241e, 2019.
[8] Configuring Apache Log4j, available at: https://logging.apache.org/log4j/log4j-2.2/manual/configuration.html, 2019.

СЪСТОЯНИЕ, ВЪЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВИ НА КОМПЮТЪРНИ СИСТЕМИ ЗА ОКАЧЕСТВЯВАНЕ НА ХРАНИ

Ивайло Иванов Драгнев

Университет по хранителни технологии – гр. Пловдив, Технически факултет, Катедра Компютърни системи и технологии, e-mail:ivaylo1991@abv.bg

STATE, CAPABILITIES AND PROSPECTS OF COMPUTER SYSTEMS FOR FOOD QUALITY EVALUATION

Ivaylo Ivanov Dragnev

University of Food Technologies – Plovdiv, Technical faculty, Department of Computer Systems and Technologies, e-mail:ivaylo1991@abv.bg

Abstract

In this publication a study about the technologies used to evaluate the quality of different types of food products has been made. The presented review shows technologies such as computer vision, ultrasound, the use of infrared light and more. Various characteristics of products from food industry, which are subject to qualification are also shown. A study on the needs for improving the quality of food has also been made.

Keywords: computer system, food quality, food evaluation.

ВЪВЕДЕНИЕ

Разнообразието от множество хранителни продукти води до още по-голямо разнообразие от компоненти, които подлежат на окачествяване. С бързото развиване на технологиите, нарастват и се подобряват методите, чрез които се извършва това окачествяване. Нуждата от разработване на нови системи, гарантиращи качеството на предлаганите храни е постоянна. Съвременните компютърни и микропроцесорни системи са неизменен помощник при обективното определяне на качеството на храните. Съществуват различни методи за окачествяване на множество характеристики на хранителните продукти. В настоящия обзор са разгледани едни от често използваните технологии за определяне на качеството на храните. Също така са разгледани и конкретни хранителни характеристики, подлежащи на окачествяване. Целта на обзора е да се анализират перспективите и възможността за осъвършенстване на методите за определяне на качеството на храните в реално време чрез използването на мобилна вградена компютърна система.

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Окачествяване на храни според вида на технологията

1.1. Чрез използване на компютърно зрение

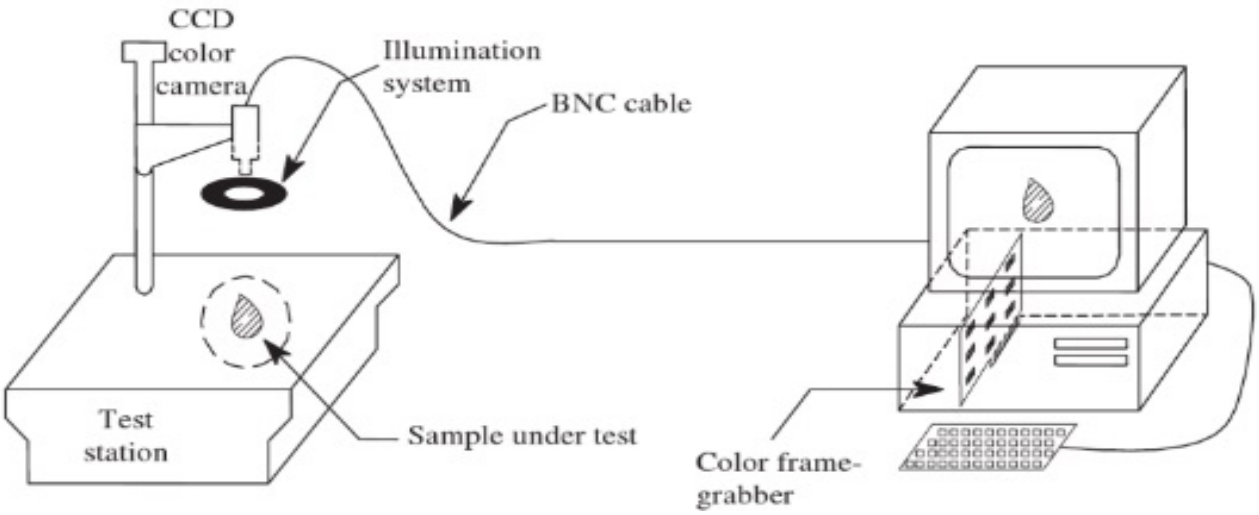
На базата на обработка и анализ на изображения, компютърното зрение е технология за разпознаване на обекти и извличане на количествена информация от цифрови изображения, с цел осигуряване на бърза и обективна оценка на качеството. Значителното увеличаване на компютърната мощност и бързото развитие на технологиите и софтуера за обработка на изображения, са причина, приложението на компютърното зрение да се е разширило до оценката на качеството на разнообразни храни. През последните години компютърното зрение е доста използван метод при изследванията в хранителната промишленост.

Изображенията несъмнено са предпочитаният метод за представяне на концепции пред човешкия мозък. Много от качествените фактори, влияещи върху хранителните продукти, могат да бъдат определени чрез визуална проверка и анализ на образа. Проверката на хранителните продукти за различни фактори на качеството е многоповтаряща се задача, която има и много субективен характер.

Хардуерната конфигурация на системите за компютърно зрение е сравнително стандартна. Обикновено зрителната система се състои от:

- устройство за осветяване, което осветява тестваната проба;
- CCD камера за получаване на изображение;
- софтуер, чрез който да се изчертае графика;
- персонален компютър или микропроцесорна система, за осигуряване на дисково съхранение на изображения и изчислителни възможности, с приложен от доставчика софтуер и специфични приложни програми;
- цветен монитор с висока разделителна способност, който подпомага визуализацията на изображенията и ефектите от различни процедури за анализ на изображения.

Конфигурацията, показана на Фигура 1, е пример за системи за компютърно зрение, които могат да бъдат намерени в много лаборатории за окачествяване на храни [1].



Фигура 1. Примерна конфигурация за окачествяване на храни чрез използване на компютърно зрение [1]

1.2. Чрез използване на ултразвук

В допълнение към компютърното зрение, друга технология е използването на ултразвук за качество и оценка на храната. Една от причините за това е, че промените в акустичните свойства могат да бъдат свързани с промените в плътността на хранителния продукт. Освен това, ултразвукът има способността да прави разлика между скоростта на разпространение в различни среди и разликите в акустичния импеданс.

В миналото ултразвукът се е използвал за измерване на съдържанието на влага в хранителните продукти, прогнозиране на вътремускулното съдържание на мазнини в говежди продукти, както и за изследване и оценка на здравината и хидратацията на портокаловата кора. В допълнение към тях, едно от най-разпространените и обещаващи ултразвукови приложения е за измерване на състава. Измерванията на базата на ултразвук, могат точно да се използват за определяне на количеството мазнини, вода, протеини и други химически състави на продукти на месна основа [2].

1.3. Чрез използване на инфрачервена светлина

Когато и компютърното зрение, и ултразвуковите системи не успяват да създадат желаните изображения, за по-доброто окачествяване на храни, може да се прибегне до използването на много по-големи дължини на вълната за получаване на

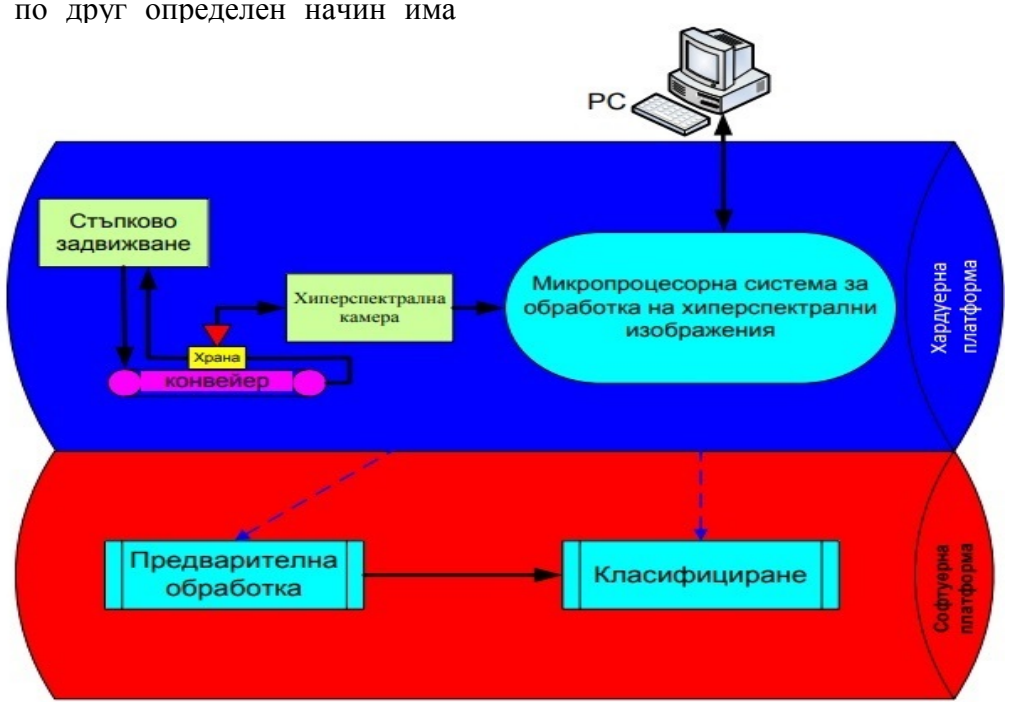
изображения. В обхвата на 700-1000 nm се намира инфрачервеният (IR) диапазон, а техниката, която се използва за генериране на изображения с инфрачервена светлина, е известна като термографска фотография. Термографското изображение се основава на простия факт, че всички обекти излъчват определено количество топлинно лъчение, като резултат от тяхната температура.

Като цяло, колкото по-висока е температурата на обекта, толкова повече IR лъчение излъчва. Специална камера, известна като IR камера, може да открие това лъчение по начин, подобен на този, използван в обикновена камера за видима светлина. Въпреки това, за разлика от компютърното зрение, термичните изображения не изискват източник на осветяване за спектрално отражение, което може да бъде повлияно от разнообразния цвят на повърхността на обекта или от системата на осветлението [1].

1.4. Чрез използване на Спектрални методи

Тази технология се отнася до спектроскопия в ултравиолетовата (UV) и инфрачервената област (IR), също така и ядрено магнитен резонанс. Тези техники са широко изпозлвани в окачествяването на храни. Те често се комбинират с химиометрия, което всъщност е химическа дисциплина, която използва математически и статистически методи за предоставяне на максимална химическа информация чрез анализ на химични данни. При спектроскопията, изследвания предмет поглъща, отразява, изпуска или по друг определен начин има някакво взаимодействие с лъчи, звуци, частици и др. Прави се анализ на даденото взаимодействие и по този начин се получават необходимите резултати за качеството на конкретен продукт. Техниките на спектроскопията са подходящ инструмент за оценка на качеството на месото, поради факта, че те позволяват измерването на няколко параметъра едновременно с по-голяма честота на измерване.

В последните години едни от най-перспективните методи за определяне на качеството на храни са спектралните методи за експресна оценка, позволяващи компютърна обработка в реално време. При съвременното окачествяване, изискванията са да се следи непрекъснато процеса на производство и да се правят нужните действия незабавно при неочаквани технологични нарушения и отклонения от стандарта за храни. Поради тази причина се налага внедряване на методи, способни да обработят информационния поток и да вземат решение за определяне на качеството в реално време. На Фигура 2 е показан разработен модел на компютърна система за окачествяване на храни чрез обработка на хиперспектрални характеристики [3]. При хиперспектралните сензорни системи, сензорът събира и обработва информацията от целия електромагнитен спектър (от ултравиолетовия до инфрачервения спектър). Хиперспектрални системи за изображение могат да бъдат използвани както при пропускливост, така и при отражение.



Фигура 2. Модел на компютърна система за окачествяване на храни [3]

1.5. Чрез използване на Мултисензорни технологии

Обективното определяне на качеството на храни изисква измерване и обработка на информация постъпваща по няколко информационни канала. Един от съвременните методи да се получи това е като се анализира информация от няколко сензора. Това са така наречените мултисензорни системи [4]. При тях информацията постъпва от няколко сензора и специален микроконтролер обработва тази информация, като взима средната стойност получена от всички сензори.

Днес мултисензорният синтез на данни е по-благоприятен отколкото получаването на информация само от един сензор, поради значителни предимства в сравнение с единичния източник на данни и има по-добро определяне на качеството на обекта за изследване. Мултисензорните технологии се използват за комбиниране на данни от сензори и за обобщаване в общ представителен формат [5].

2. Окачествяване на храни според технологичен параметър

2.1. Температура на съхранение

Температурата е една от най-често измерваните величини. Доста често когато се измерват други температурно зависими величини, с цел по-точното им измерване, се налага отчитане на температура. Отчитането на температура само в една точка е недостатъчно, тъй като температурата се разпределя неравномерно. В тези случаи се налага да се измерва температура в повече от една точка едновременно, чрез използването на мултисензорна технология. Резултатите могат да бъдат визуализирани както графично, така и в цифров вид [6].

2.2. Оценка на качеството на грозде

Множество публикации, свързани с окачестяването на храни, показват използването на горепосочените технологии. Например, информация относно заболявания при различните сортове грозде се получава чрез анализиране и обработване на спектрални характеристики и изображения, извършени върху изследваните сортове.

При някои от изследванията са използвани спектри в инфрачервената област и във видимата светлина на спектъра. За определяне на влиянието на слънчевата светлина върху гроздето, т.е. слънчево изгаряне, се използват спектрални характеристики от видимата светлинна област от спектъра. Иизползването на спектрални характеристики от инфра-червената област от спектъра, служи за определяне на качеството на гроздето.

2.3. *Оценка на качеството на кисело мляко*

От направеното литературно проучване се разбира, че за определяне на качествените показатели на киселото мляко се използва анализ на спектрални характеристики. За тази цел са използвани следните спектрални области от спектъра на светлината:

- спектър във видимата област;
- спектър в близката инфрачервена област;
- инфрачервена спектрална област**.**

Анализът на получените резултати е свързан с оценката на възможността за прогнозиране на физични и химични свойства на киселото мляко, чрез различни технологични методи. Проучването показва, че в последните години се правят много изследвания, свързани с киселото мляко, като главната цел е да се повишат лечебните му свойства [7].

2.4. Оценка на качеството на етерични масла

Етеричните масла от бял риган се използват широко в хранителното производство, парфюмерията и фармацевтиката. При оценка на качеството на белия риган се правят изследвания на неговите свойства и състав. От направения литературен преглед се разбира, че за тази цел се използват мултисензорни устройства, които използват сензори за газ. Показанията на тези сензори се използва за анализиране на аромата [7].

3. Резултати

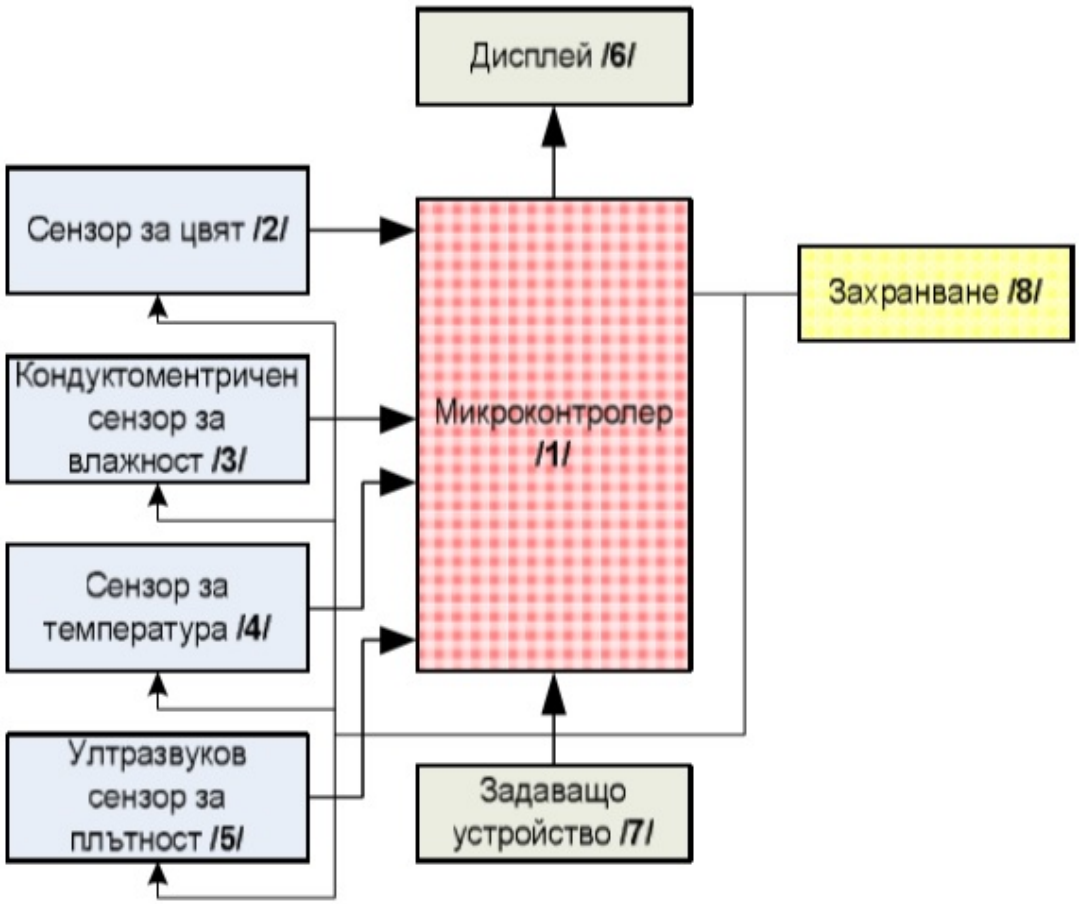
Настоящият обзор показва съществуването на голямо разнообразие от технологии и методи за окачествяване на множество продукти от хранително-вкусовата промишленост. Съвременната напреднала техника дава възможност да се създават и доразвиват разнообразни системи за определяне на качеството на храните. Едни от най-срещаните характериситики, които

подлежат на измерване и окачествяване са следните: цвят, температура, влага, размер, форма, външни дефекти, зрялост, твърдост и др. В Таблица 1 са обобщени методите и техниките за окачестваване на различни признаци на разнообразни хранителни обекти.

Таблица 1. Обобщаваща таблица на различни признаци и методи за окачествяване на хранителни обекти.

Продукт	**Признак за окачествяване**	**Използван метод**
Пшеница	Идентификация на сорт	*Спектрална технология*
	Откриване на болести	
Месо	Водно и мастно съдържание	*Рентгенова томография*
Царевица	Определяна на размер	*Мултисензорна технология*
	Откриване на цели и счупени зърна	
Грозде	Гниене	*Спектрална технология*
Ориз	Сортиране	*Мултисензорна технология*
	Откриване на цели и счупени зърна	
Сирене	Качество	*Спектрални методи*
Кашкавал	Наличието на различни видове патогенни микроорганизми	*Спектрален анализ*
Млени меса	Качество	*Хиперспектрална технология*
Етерични масла от бял риган	Вискозитет	*Спектрална технология Мултисензорна технология*
	Плътност	
Ябълки	Външни дефекти	*Мултисензорна технология*
Кисело мляко	Физико-химични показатели	*Спектрална технология*
Овесени ядки	Температура	*Мултисензорна технология, чрез еталонен цифров термометър за хранителни цели*
	Цвят	*Мултисензорна технология, чрез еталонен колориметър*
	Влажност	*Мултисензорна технология, чрез еталонен влагомер*
Брашно	Температура	*Мултисензорна технология, чрез еталонен цифров термометър за хранителни цели*
	Цвят	*Мултисензорна технология, чрез еталонен колориметър*
	Влажност	*Мултисензорна технология, чрез еталонен влагомер*

От направеното проучване се вижда, че няма създадени много техники и системи за окачествяване на гроздовия сок и в частност виното. Поради тази причина вниманието на автора е насочено към създаване на експресен метод за окачествяване чрез мобилна вградена компютърна система, която да прави оценка на качествата на виното. Фигура 3 показва примерна конфигурация на една такава мобилна система, използваща микроконтролер STM32F429IDISCOVERY.



Фигура 3. Примерна конфигурация на мобилна вградена система за обективно окачествяване [4]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В днешно време всички ние търсим на пазара хранителни продукти с възможно най-добро качество. Поради тази причина все повече нараства и нуждата от създаване на технологии и устройства, с които да се извършва възможно най-бързо и точно обективното окачествяване на храните. С бързите темпове на развитие на технологиите, все повече се усложняват и използваните методи за измерване и оценка на качеството на хранителните продукти. Все повече започват да се интегрират и използват компютърните и мобилните технологии. Множеството вещества, съдържащи се в хранителните продукти и съществените разлики в химичните им свойства, довеждат до нуждата за използване на голямо количество от сензори, така че да се получи добро и обективно окачествяване.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Sun, D-W., Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation, Academic Press, 2008;

[2] Du, C-J., Sun, D-W., Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation, Trends in Food Science & Technology, Volume 15, Issue 5, May 2004, Pages 230-249;

[3] Kolev, K,. A microprocessor system for food quality evaluation, Science & Technologies. Volume IV, Number 4, 2014, Pages 103-107;

[4] Kolev, K,. ARM Based microprocessor system for multi-sensory food evaluation, Scientific works of University of food technologies – Plovdiv, Volume LXI, 2014, Pages 666-671;

[5] Vasilev, R., Katrandzhiev, N., Shopov, N., Kansazov, A., Computer methods for multisensory qualification of food, Scientific works of University of food technologies – Plovdiv, Volume LXII, 2015, Pages 685-690;

[6] Katrandzhiev, N., Karnobatev, N., Multisensory microprocessor device for temperature measuring, Scientific works of University of food technologies – Plovdiv, Volume LXII, 2015, Pages 731-735;

[7] Zlatev, Z., Methods and tools for sensors information processing, Yambol, 2018.

HACK COMPUTER: FPGA IMPLEMENTATION AND SYSTEM PROGRAMMING SUPPORT

Duško Kovačević, Dejan Vujičić, Slađana Đurašević, Marina Milošević, Uroš Pešović
University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences in Čačak, Serbia

Abstract
The Hack computer is custom-made computer system which is primarily built as a teaching architecture. Its design and functions are relatively simple, but still emphasize all the complexity of modern hardware and software approaches in computer design. In this paper, the FPGA realization of Hack computer is shown. We demonstrated its implementation on Altera DE2 FPGA development system, along with appropriate software support in terms of high-level language compiler, virtual machine translator, and assembler.

Keywords: Hack computer, FPGA, system programming, program translators

INTRODUCTION

Hack computer system is simple enough to be build by students in few hours using basic logic gates. Yet, it is complex enough, to demonstrate to students basic principles of computer hardware and system software [1]. Originally, this computer system is build using Nand2Tetris Software Suite, which enables virtual creation of computer hardware and software components and testing build components on simulator which runs on personal computer [2], [3].

This computer system has been implemented on FPGA platforms by various researchers. In this paper we demonstrated work flow of design and implementation of Hack computer system on Altera DE2 FPGA development board, along with appropriate software support.

The software support of Hack computer is comprised of rudimentary operating system support, high-level language compiler, virtual machine translator, and assembler. Altogether, they ideally represent the architecture of modern software systems.

HACK COMPUTER

Hack computer employs Harvard architecture with independent program and data memory. Program is executed from 32KWord ROM, where instructions are 16 bit long. CPU has 16-bit wide data bus and supports two types of instructions: A-instruction used for loading literals and C-instruction which could perform one of the eighteen basic logical and arithmetical operations. All instructions are one word long and PC is incremented on every new instruction, except instructions with jump conditions which load content of A-register into PC if jump condition is met.

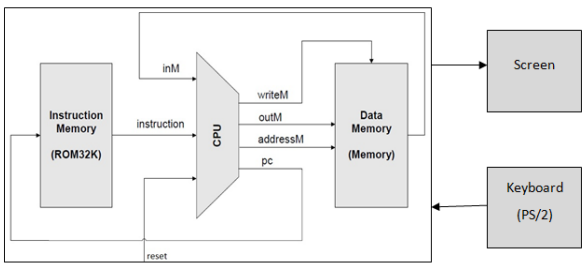


Fig. 1. *Structure of Hack computer*

CPU has two registers, A – register which is loaded by A-instructions, or by ALU output and D register which can be loaded from ALU output, Fig. 2. Content of D-register is used as the first operand and the second operand can originate either from A-register or from Data memory. ALU unit has simple structure and has 6 control inputs which could zero or negate input, select addition or logical AND operation, and negate ALU output. These control inputs have 64 possible combinations which my using De Morgan theorems provide 18 different operations.

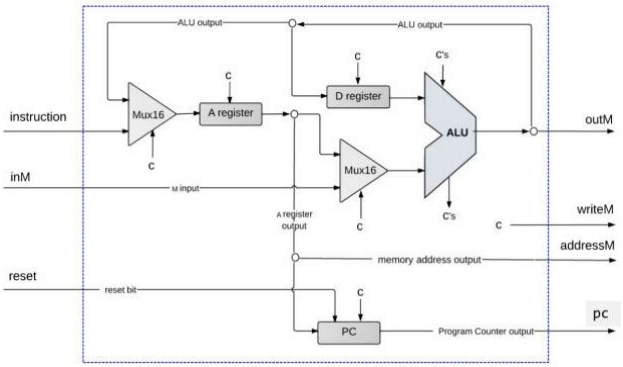


Fig. 2. *Structure of Hack CPU*

Data memory is divided into 16KW RAM memory for program variables, 8KW Screen memory and one memory location for keyboard. Screen memory is used to present monochromatic image on 512x256 screen resolution, Fig. 3 [4].

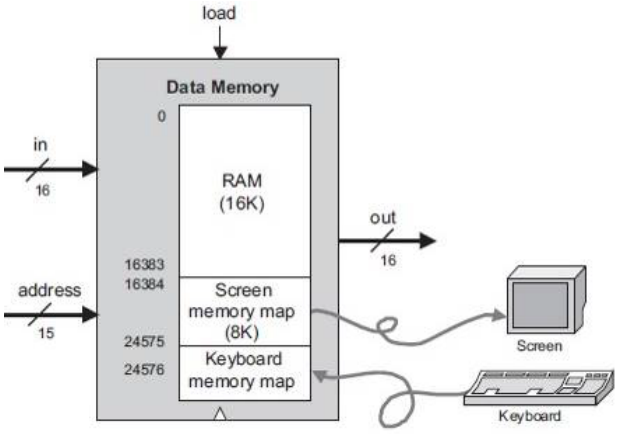


Fig. 3. *Structure of Data memory*

Hack computer was implemented on Altera DE2 development board, equipped with Cyclone II FPGA with 35k logic elements. Among many peripherals, this board also includes 512k SRAM, VGA DAC and PS2 interface. All computer components, except ROM are implemented by FPGA.

Cyclone II has 105 M4K memory blocks which were sufficient to implement Data Memory (Fig. 4), while Program memory was implemented on SRAM chip which was loaded from personal computer using Altera Control Panel application.

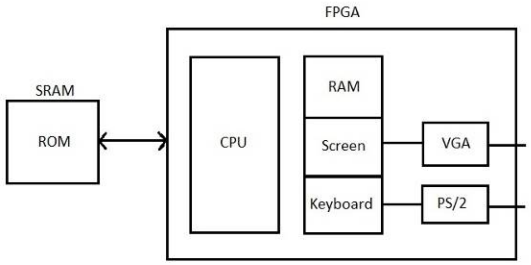


Fig. 4. *FPGA realization block diagram*

CPU is realized in VHDL language, according to the CPU structure shown on Fig2. CPU is composed from two registers, program counter and ALU unit and control unit which decodes instructions and controls all other parts of CPU. Data memory is composed from three different types of memory components which are generated using Memory Compiler. RAM memory which is 16k word is realized as single port memory which is only accessible by CPU on lower addresses. Screen RAM is realized as true dual-port memory which can be read/written from CPU and which is cyclically read by VGA controller and data are send to VGA DAC. Role of the VGA controller is to control position of the beam on screen and to generate strobes for horizontal and vertical synchronization. Based on the current pixel position, appropriate bit is red from particular address in Screen RAM. Based on the bit value, blue color pixel is generated by VGA DAC for value one, otherwise white one is generated.

Since Screen resolution was set to 640x480, pixels outside of 512x256 zone are colored in black. VGA controller cycles trough Screen RAM 60 times per second and it uses 50MHz clock to drive VGA clock to desired frequency using PLL.

Keyboard is implemented as simple dual-port memory, which enables keyboard to write the ASCII code for pressed key in one location, which can be subsequently read by CPU. These three memory components are controlled by address decoder, shown in Fig. 5, in order to activate just one which is accessed according to address ranges presented in Fig. 3.

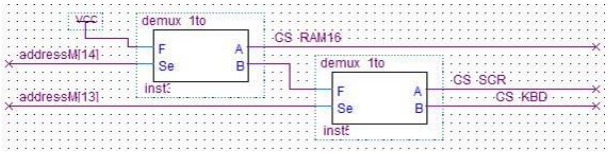


Fig. 5. *Address decoder for Data memory*

PS/2 keyboard is interfaced to FPGA using PS/2 controller which communicates with keyboard using I2C protocol. Since Hack computer uses different key encoding than PS/2 keyboard, appropriate key mapping is added to convert key presses. Structure of complete Hack computer system is presented on Fig. 6.

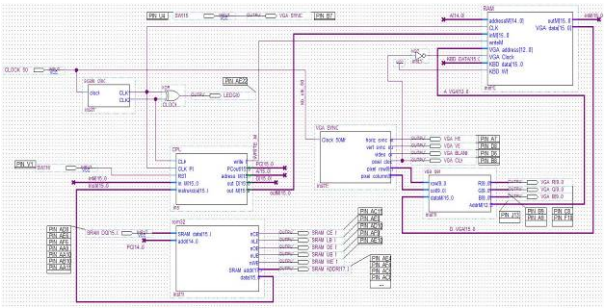


Fig. 6. *Structure of implemented Hack computer*

Hardware components of computer system are tested using simple program written in assembler which fills screen with line segments when any key is pressed (Fig. 6).

```
0   @20480
1   D=A
2   @16
3   M=D
4   @16
5   D=M
6   @24575
7   D=A-D
8   @0
9   D;JLT
10  @24576
11  D=M
12  @20
13  D;JNE
14  @16
15  D=M
16  A=D
17  M=-1
18  @24
19  0;JMP
20  @16
21  D=M
22  A=D
23  M=0
24  @16
25  M=M+1
26  @4
27  0;JMP
```

Fig. 6. *Assembly code for Hack computer testing*

SOFTWARE SUPPORT

Along with the hardware realization on FPGA platform, the Hack computer suite is comprised of assembler, virtual machine interpreter, and Jack compiler. Jack is object-based high-level language with support for classes, basic I/O capabilities, and possibility of library updates [1].

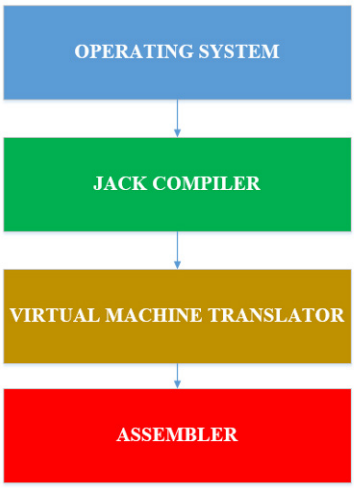


Fig. 7. *The software support of Hack computer*

The Hack software support is represented in Fig. 7. The top level part is operating system, which in fact represent the software libraries to support functioning of Jack programming language and its compiler.

The second layer in software architecture is Jack compiler, which translates code written in Jack programming language into virtual machine code. The main parts of Jack compiler are syntax analyzer and code generator. Within syntax analyzer, there are tokenizer and parser. Tokenizer is responsible for creating elementary tokens, and parser for comprising tokens into statements (Fig. 8).

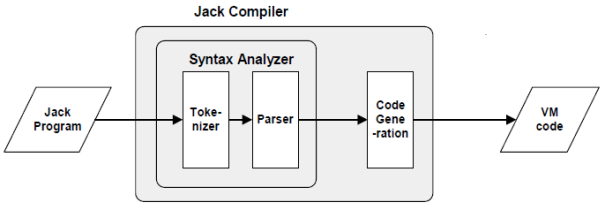


Fig. 8. *Structure of Jack compiler [4]*

The third layer in software architecture is virtual machine translator. Its function is to translate code generated by Jack compiler into assembler code. The virtual machine is based on several memory segments in which the

global variables, local variables, function parameters, etc. are stored. It is somewhat similar in functioning to Java virtual machine and is mainly stack-oriented [5].

The final layer in Hack software support is the assembler. Its function is to translate the assembler code generated by virtual machine interpreter into machine language. The assembler is two-layer, where the first layer is responsible for translating code without populating actual addresses from symbol table, and the second layer populates missing addresses that correspond to ones in the symbol table.

CONCLUSION

The Hack computer is simple, but yet powerful enough to be taught to students as an example of modern hardware and software computer architecture. The FPGA realization of Hack computer is presented in this paper. We successfully demonstrated that although relatively simple, this computer can be implemented in FPGA environment, together with its processor, memory system, and basic I/O support for screen and keyboard.

The software part of the Hack computer is presented as well. It is consisted of several layers, together with high-level language compiler, virtual machine translator, and assembler. In this configuration, it fairly resembles the software architecture of modern object-oriented programming languages and their compilers, primarily based on virtual machine implementation.

The architecture of Hack computer enables improvements in terms of different hardware design and support to various I/O modules. Of course, it would be accompanied by appropriate software support, which can be done as a future work in this direction.

ACKNOWLEDGMENT

The work presented in this paper was funded by grant TR32043 by the Ministry of Education, Science, and Technological Development of the Republic of Serbia.

REFERENCE

[1] Noam Nisan, Shimon Schocken, A Synthesis Course in Hardware Architecture, Compilers, and Software Engineering, SIGCSE 2009, Chattanooga, TN, USA, March 4-7, 2009

[2] Shimon Schocken, Taming Complexity in Large Scale System Projects, SIGCSE'12, February 29–March 3, 2012, Raleigh, North Carolina

[3] Nand2Tetris Official Site, https://www.nand2tetris.org, accessed on: October 2019

[4] Noam Nisan, Shimon Schocken, The Elements of Computing Systems: Building a Modern Computer from First Principles, MIT Press, 2005

[5] Shimon Schocken, Virtual machines: abstraction and implementation, SIGCSE Bull. Vol. 41, No. 3, July 2009, pp. 203-207.

РАЗРАБОТВАНЕ НА СУШИЛНЯ ЗА ПРЕРАБОТЕНО МЕСО ЗА ДОМАШНО ПОЛЗВАНЕ БАЗИРАНА НА ARDUINO МИКРОКОНТРОЛЕР

Христо Килифарев[1]
[1]*Технически университет - Габрово*

DEVELOPMENT OF A PROCESSED MEAT DRYER FOR HOME USE BASED ON AN ARDUINO MICROCONTROLLER

Hristo Kilifarev[1]
[1] *Technical University of Gabrovo*

Abstract

In the present paper is shown the development process of a dryer unit for processed meat for home purposes. The functional block diagram of the dryer is presented. The choice of the components and units for realization is made. The graphical user interface is realized by Nextion display which have touch functionality. The algorithm of work of the dryer is presented and described. On its base the software for Arduino microcontroller is made. The developed dryer unit gives the opportunity to be adapted for the drying process of other materials without changes in the current hardware configuration.

Keywords: Arduino microcontroller, dryer unit, processed meat.

ВЪВЕДЕНИЕ

При сушенето водното съдържание на месото и месните продукти се намалява с цел да се повиши осмотичното налягане в клетките, към което микроорганизмите са особено чувствителни. Процесът на сушене се прилага обикновено след осоляването на месните продукти с цел консервирането им.

В домакинството това става най-често в открити сушилни, като се използват слънцето и вятърът. При сушенето на открито трябва да се подбере място, което е запазено от прах и пряка слънчева светлина. Сушенето трябва да става постепенно и равномерно. При бързото сушене на повърхността на месото се образува твърда корица, която пречи за изсушаването на вътрешността. При този начин на сушене времетраенето на процеса е различно (може да бъде и повече от 14 дена), а качеството на изсушените продукти не може да се гарантира, че ще бъде еднакво.

Сушилния процес може да се извърши и в промишлени сушилни инсталации, но за сравнително малките количества месни продукти в едно домакинство, това значително оскъпява крайния продукт.

В настоящия доклад се разглежда разработването на една сушилня за домашно ползване, към която са поставени някои от следните изисквания: трябва да е сравнително евтина като компоненти и материали, да има възможност за настройване на параметрите на процеса за сушене на различни видове преработено месо, да бъде лесна за обслужване, да бъде със сравнително компактна конструкция, за да бъде преносима, но в същото време да осигурява достатъчно високо качество на сушене.

ИЗЛОЖЕНИЕ

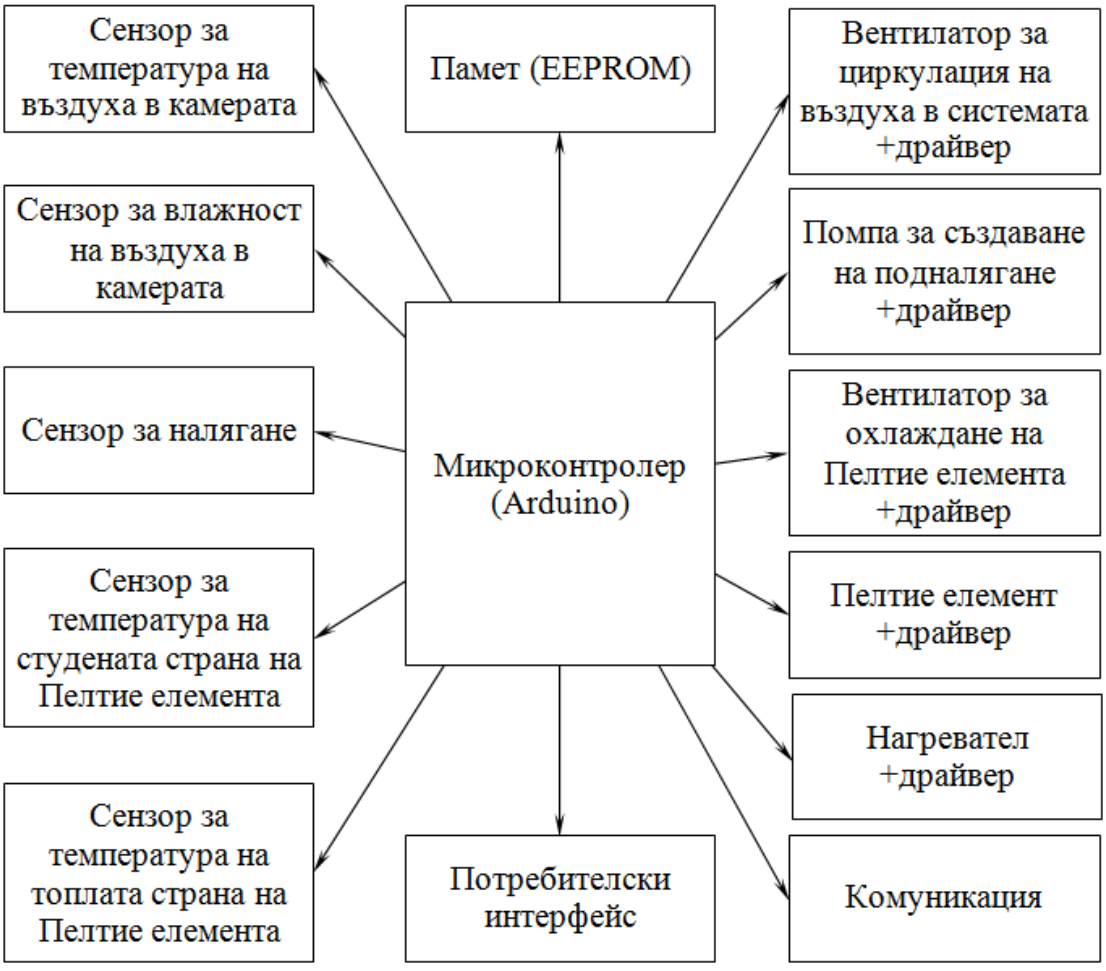
След проучване за технологиите на сушене и на съществуващите конструктивни решения на сушилни, беше избрано разра-

ботваната сушилня да бъде: от камерен тип; с прекъснато периодично действие; с конвективно подаване на топлина; с понижено атмосферно налягане; с въздушен сушилен агент; с надлъжна циркулация на въздуха.

За спазване на технологията на процеса на сушене е необходимо да се контролират следните основни показатели:

- **Температура** - работната температура на въздуха (сушилния агент) е необходимо да бъде между 10° и 15°C, тъй като при температури над 15°C се създава благоприятна среда за развитие на бактерии, които повреждат преработеното месо, а под 10°C се забавя процесът на отделяне на влага от повърхността му;
- **Влажност** - работната влажност на въздуха трябва да се поддържа в границите между 70 и 75 процента. При влажност на въздуха под 70%, ще се получи изсушаване на външността на месото, което не позволява на влагата във вътрешността му да се изпари, което може да причини разваляне на месото, а ако влажността е твърде висока (над 75%) се създават условия за размножаване на нежелани типове бактерии и плесени, които също повреждат преработеното месо;
- **Въздушен поток** - ползата от него за процеса на сушене е двойна. Първо, той извлича влагата от повърхността на това, което се суши. Второ, той спомага да се държи под контрол вредната плесен, като намалява количеството влажен въздух около месото;
- **Въздушно налягане** - налагането на въздуха в сушилната камера влияе върху скоростта на извличане на влагата от вътрешността на сушения материал. Колкото е по-ниско налягането, толкова влагата се отделя по-бързо и в по-голяма степен, т.е. съкращава се времетраенето на процеса на сушене.

На фиг. 1 е представена функционалната блокова схема на разработваната сушилня. За контролираните параметри на сушилния



Фиг. 1. *Функционална блокова схема на разработваната сушилня*

процес в блоковата схема са предвидени сензори за температура, влажност, а също и за въздушното налягане на въздуха в системата.

Сензор за измерване на въздушния поток не е необходим, тъй като той е пропорционална величина на скоростта на въртене на вентилатора за циркулация и може да се пресметне. Тази скорост може да се контролира от микроконтролера чрез силовата част (драйвера) в схемата, чрез широчинно-импулсна модулация на захранването на вентилатора или чрез специализирания контролер, вграден във вентилатора.

За постигане на работните температури (около 10 ÷ 15 °C) в сушилнята се използва елемент на Пелтие. Той работи като охлаждащ елемент, като за управление на температурата на студената му страна се включва и изключва захранването му, а горещата му страна се охлажда чрез вентилатор, който също може да се контролира според нейната температура.

Температурите на студената и горещата страна на Пелтие елемента се измерват чрез подходящи температурни сензори. Налага се следенето на температурата на топлата страна, защото е възможно високата температура на радиатора да предизвика повреда в корпуса на сушилнята или пожар. Температурата на студената страна на елемента трябва да се измерва, защото е възможно прекаленото му изстудяване да доведе до заледяване на радиатора и забавяне (спиране) на процеса сушене. За управление на Пелтие елемента и на охлаждащия го вентилатор от микроконтролера е нужна силова част (драйвери).

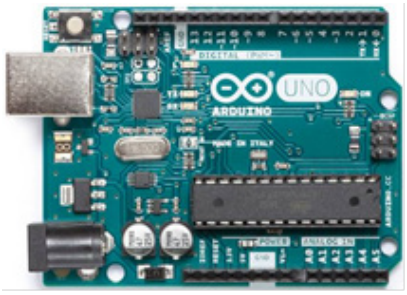
За да е възможно да се използва сушилнята при околна температура, която е под 10 °C, в системата е предвиден нагревател. При преминаването на влажния въздух през охладения радиатор на Пелтие елемента, който трябва да бъде най-студената точка в системата, влагата кондензира върху него, но също така въздухът се охлажда. Чрез нагревателя въздухът се загрява до желания температурен диапазон, подходящ за сушилния процес, преди постъпването му в сушилната камера. Управлението на температурата на нагревателя се извършва от микроконтролера чрез силова част (драйвер), която включва и изключва захранването му чрез широчинно-импулсна модулация с ниска честота.

За постигане на понижено въздушно налягане в системата е поставена въздушна помпа със съответната силова част (драйвер), който включва и изключва захранването ѝ при необходимост;

За локално визуализиране на текущото състояние и за настройване на параметрите на сушилния процес, в блоковата схема на системата е предвиден блок за потребителски интерфейс. Този потребителски интерфейс може да се осъществи също и отдалечено чрез компютър, като за това е предвиден блок за комуникация.

За съхраняване на предварително зададени параметри на процеса на сушене за няколко различни продукти, както и за текущо настройваните, в схемата е предвиден блок памет, който трябва да бъде реализиран чрез енергонезависима памет (например EEPROM).

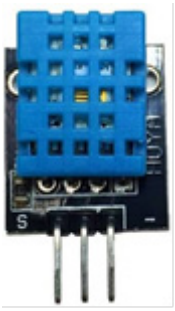
В блоковата схема на проектираното устройство управлението на всички блокове и процесът на сушене се извършва от микроконтролер, който е базиран на Arduino развойна среда. Избран е този подход, за да се осигури възможност за развитие на системата – хардуерно и програмно, а също така, за да се намали цената на компонентите и времето за реализиране, чрез съществуващи разширителни модули и софтуерни библиотеки за тях.



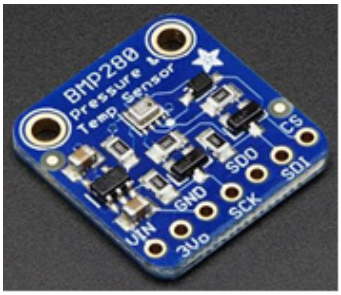
Фиг. 2. *Arduino Uno R3 микроконтролер*

При разработването на сушилнята са избрани следните компоненти: микроконтролер Arduino Uno R3 [1] (фиг. 2); цифров температурен сензор DS18B20 [2] – за измерване на температурите на топлата и на студената страна на Пелтие елемента [3] (фиг. 3); комбиниран цифров сензор DHT11 [4] за измерване на температурата и относителната влажност на въздуха в сушилната камера (фиг. 4);

Фиг. 3. *DS18B20 и Пелтие елемент*



Фиг. 4. *DHT11*

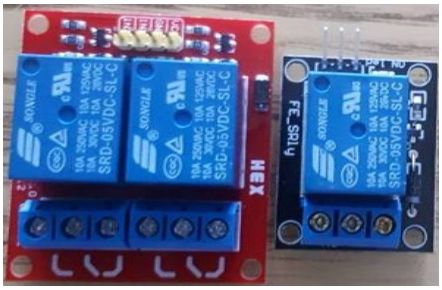


Фиг. 5. *BMP280*

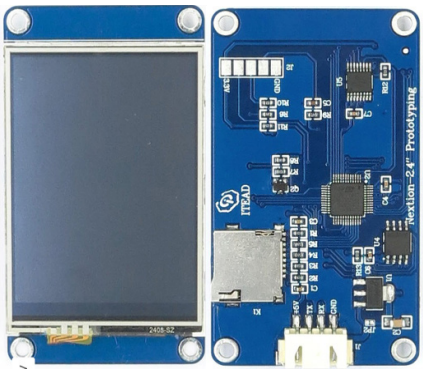
Фиг. 6. *Нагревател*

комбиниран цифров сензор BMP280 [5] – за измерване на атмосферното налягане и температурата на въздуха (с висока точност) в сушилната камера (фиг. 5); нагревател за въздуха (фиг. 6); вибрационна въздушна помпа за вакуум (фиг. 7); модули на релета за управление/захранване на мощните компоненти (фиг. 8); Nextion 2.4" HMI (NX3224T024) [6] програмируем TFT дисплей с резистивна тъч-функция (фиг. 9); охлаждащ вентилатор на Пелтие елемента (фиг. 10) и циркулационни вентилатори (фиг. 11).

Фиг. 7. *Въздушна помпа*



Фиг. 8. *Модули на релета*

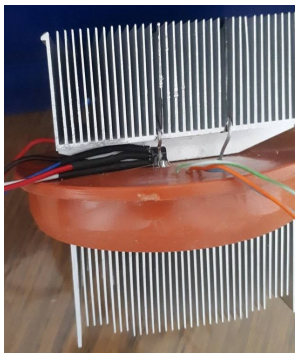


Фиг. 9. *Nextion 2.4" дисплей*

Фиг. 10. *Охлаждащ вентилатор*

Фиг. 11. *Циркулационни вентилатори*

Конструктивното решение включва: възел за охлаждане с Пелтие елемент и температурни сензори (фиг. 12); възел за нагряване на въздуха (фиг. 13); възел за измерване на влажност и температура на въздуха и дизинфекция с ултравиолетов светодиод (фиг. 14).



Фиг. 12. *Възел Пелтие*

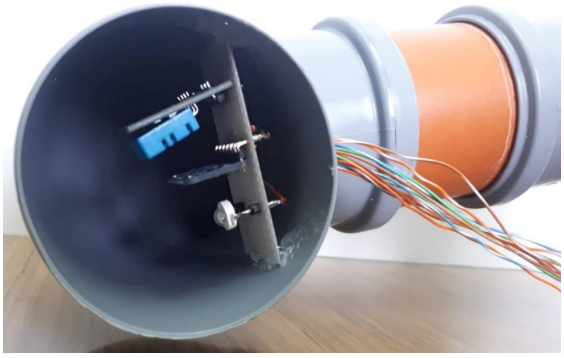
Камерата на сушилнята е реализирана чрез платмасова кутия с херметично уплътнение, а въздуховодът е изграден от стандартни PVC компоненти с гумени уплътнения.

На фиг. 15 е представена разработената сушилня в полусглобен вид.

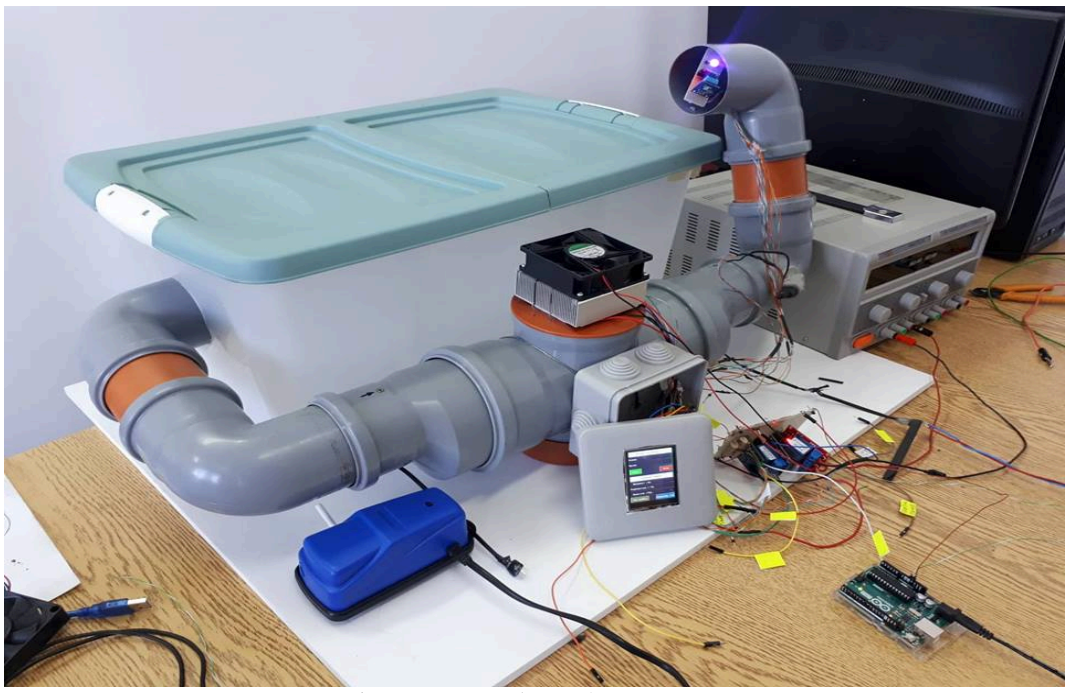
С помощта на Nextion Editor са разработени два графични екрана за визуализиране на текущото състояние на сушилнята и четири екрана за настройване на параметрите за контрол на тепературата, влажността и налягането на въздуха и на времетраенето на процеса на сушене.

На фиг. 16 е представен обобщения алгоритъм на работа на системата, където след включване на захранването на системата се извършва начална инициализация на работни променливи в системата, на комуникационните интерфейси и на хардуерните компоненти.

Фиг. 13. *Възел нагряване*

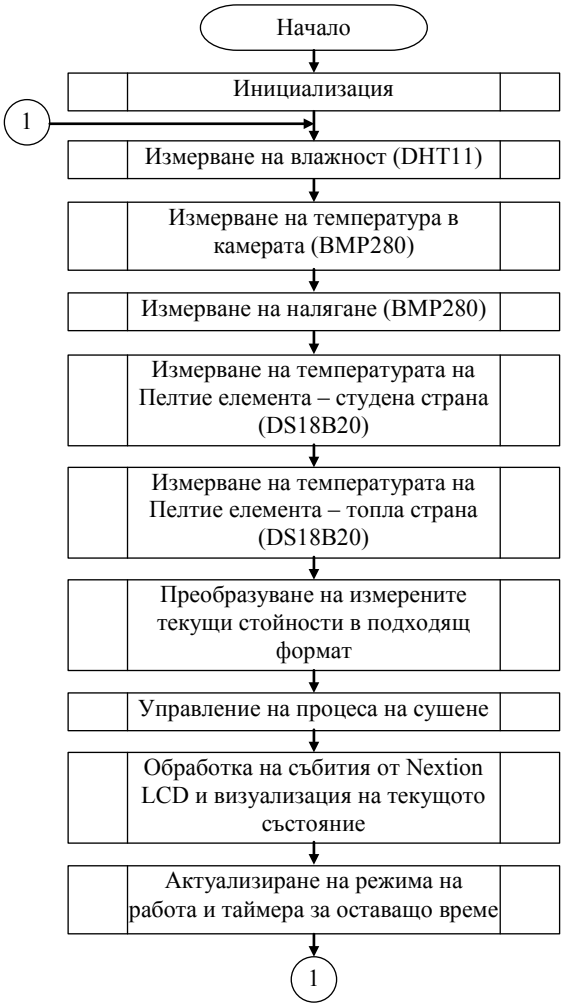


Фиг. 14. *Възел измервателен*



Фиг. 15. *Полусглобен вид на сушилнята*

Следва циклично изпълнение на останалата част от алгоритъма до изключване на захранването.



Фиг. 16. *Обобщен алгоритъм на работа*

В първата част последователно се прочитат текущите измерени стойности от сензорите в системата – относителна влажност на въздуха, температура на въздуха в камерата, въздушно налягане в системата, температурите на топлата страна и на студената страна на Пелтие елемента, след което величините се преобразуват до подходящ за работа формат.

В частта за управление на процеса се следи за достигането на зададените прагови стойности за всеки от измерваните параметри на процеса, в резултат на което се превключват по релеен закон съответните изпълнителни механизми в системата.

Циклично се проверява за събития от потребителския интерфейс и се актуализира режимът на работа и таймера за оставащо време на сушилния процес.

За реализирането на програмното осигуряване в средата Arduino IDE са използвани готови библиотеки от различните производители на графичния дисплей, на сензорите, както и такива от интернет портала на Arduino за използваните видове комуникационни интерфейси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработената сушилня за месни продукти може да намери приложение във всяко домакинство. Тя е със сравнително ниска цена, компактна е и осигурява лесно управление на сушилния процес чрез графичния потребителски интерфейс с тъч функция.

В бъдеще сушилнята може да се адаптира за сушене и на други материали без промяна в хардуерната част. Софтуерно могат да се реализират и други закони за управление на процеса на сушене, а също така може да се реализира и профилно управление чрез промяна на заданието на контролираните величини в различни времеви сегменти.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящият документ е изготвен с финансовата помощ на договор № 1907Е за провеждане на научни изследвания по проект на тема: „Внедряване на иновационни ИКТ технологии в обучението“ към Технически университет – Габрово.

REFERENCE

[1] Arduino, Arduino Uno Rev3, https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3, 2018.
[2] Maxim Integrated Products, Inc., DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer, https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf, 2015.
[3] HB Corporation, TEC1-12706 Thermoelectric Cooler, https://www.electron.com/peltier-module-hebei-tec1-12706-p357, 2018.
[4] Aosong(Guangzhou) Electronics Co., Ltd., DHT11 product manual, https://www.waveshare.com/w/upload/c/c7/DHT11_datasheet.pdf, 2018.
[5] Bosch Sensortec GmbH, BMP280 Digital Pressure Sensor, https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf, 2015.
[6] ITEAD STUDIO, Nextion HMI display, https://nextion.itead.cc, 2018.

НАПРАВЛЕНИЕ 6

КОМПЮТЪРНИ ТЕХНОЛОГИИ

SESSION 6

COMPUTER TECHNOLOGIES

ОТЧИТАНЕ НА ФИНАЛНО ВРЕМЕ ЧРЕЗ ТРАНСПОНДЕРИ НА КОНЕТЕ В СЪСТЕЗАНИЯ ПО ИЗДРЪЖЛИВОСТ

Ружа Недкова-Иванова
Национална Спортна Академия „Васил Левски" – гр. София

END TIME REPORTING THROUGH HORSE TRANSPONDERS IN ENDURANCE RACES

Ruzha Nedkova-Ivanova
National Sports Academy "Vasil Levski"- Sofia

Abstract

The discipline endurance has a long history. In Bulgaria it exists since 11-12 years. Endurance can be equated to a long ride with a distance between 30 and 160km in the course of the day. The ride aims to test the rider's leadership ability and the horse's stamina while going through the track with certain speed for a certain time period and taking into account the rules of the discipline. This study focuses on the final time of the horses in endurance races and especially on the end time reporting through devices called horse transponders. The use of transponders is the most objective way for judges to report the end results in endurance races. In this study 47 riders from an international ride CEI2 120km held in France during June 2019 took part, using the ActivePro transponder on the head of their horses. The results show that 90% of all riders finished in a group of 2 or more horses in a time difference between 0 and 2 seconds with a speed more than 16km/h. The conclusion is that such transponders are becoming very popular and should be used in the course of all endurance competitions to guarantee objective results.*

Key words: final, time, transponder, horse, endurance

ВЪВЕДЕНИЕ

Първите основи на дисциплината издръжливост са поставени още през 15 в. Пр.хр., но дисциплината в днешния ѝ вид съществува от около 70 години, а в България се развива едва от 11-12 години. Въпреки че е млада дисциплина в България, тя много бързо се развива, набира популярност и големи успехи. За 10 години българският национален отбор достигна до 5-то място на европейското първенство по издръжливост през 2017г. в Белгия.

Издръжливостта (Endurance) е изпитание (от 40 до 160 км на ден), което цели да тества възможностите на ездача правилно и безопасно да ръководи издръжливостта и фитнеса на коня в пресечен терен по време на състезание, като се съобразява с трасето, дистанцията, климата и часовника (времето) [1].

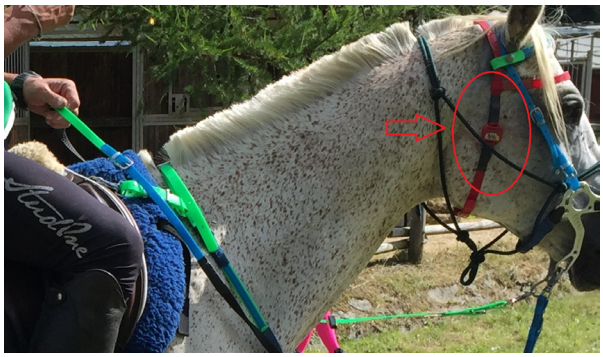
Състезанията по издръжливост се ръководят от квалифицирани съдии и ветеринарни лекари в дисциплината, като това важи както за национални, така и за международни състезания [2].

В тази статия ще се обърне внимание на засичането на времето на финала, тъй като то е решаващо за класирането и награждаването на състезателната двойка кон-ездач. Тъй като в едно състезание с масов старт могат да участват от 1 до над 300 коня, е интересно да се обърне внимание на засичането на времето на финала на състезание с над минимум 30 (тридесет) участника и как това време се отчита обективно.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Предмет на това изследване е времето за пресичане на финала. Трябва да се прави разлика между „финал на етапите" и „финал на последен етап". Финалната линия между етапите може да се различава от тази на последния етап, като тази статия изследва едновременно времената на финала между етапите и на последния финален етап.

Уредът, който се използва за автоматично засичане на времето на финала на състезания по издръжливост, е транспондер. Транспондерите се позиционират на главата (Фиг.1) или врата на коня (Фиг.2) и не се свалят по време на цялото състезание [3].



Фиг. 1 *Транспондер на главата на коня (ActivePro Transponder)*

Фиг. 2 *Транспондер на врата на коня*

ЦЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Това изследване цели да представи техническото оборудване, необходимо за обективното и точно засичане на времето на финал в състезания по издръжливост с над 30 състезатели. Подобни уреди намират приложение и в други спортове като колоездене, ориентиране, бягане и др., затова е интересно да се проследи начинът им на работа и ползите от използването им. Подобни уреди са високо специфични, а работата с тях улеснява решенията на съдиите в състезанията по Издръжливост.

ОСНОВНА ТЕЗА

Използването на транспондери на конете гарантира обективното отчитане на времето на пресичане на финала в състезания по Издръжливост.

МЕТОДОЛОГИЯ

За целите на това изследване се анализират данни от международно състезание по издръжливост ранг CEI2* на дистанция 120 км в Compiegne/Франция на 16 юни 2019 г., където са взели участие общо 47 (четиридесет и седем) състезателни двойки кон-ездач [4]. Ще се разгледа транспондер модел, показан на Фиг. 3, като работата му с модела от фиг. 2 е идентичен.

Фиг. 3 *Модел ActivePro Transponder*

Характеристики на транспондера:

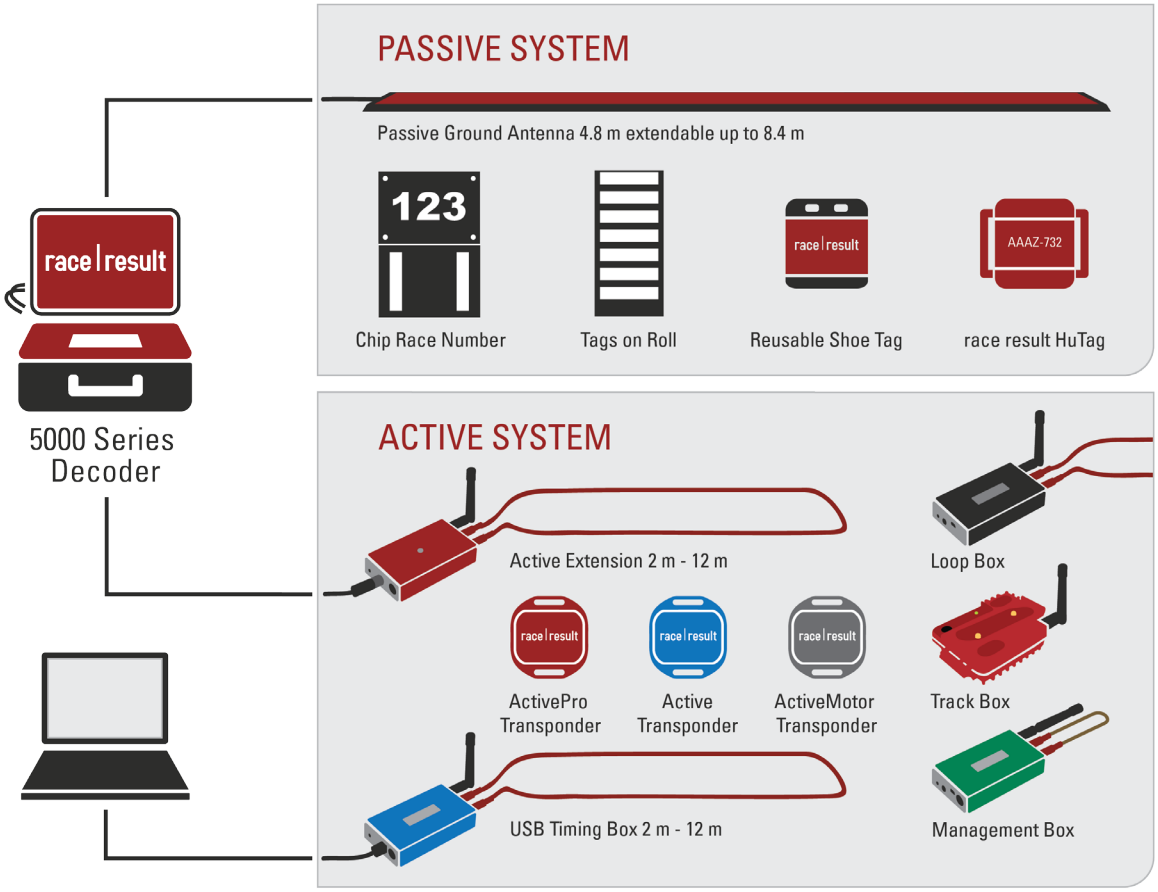
Табл. 1 *Характеристики на модел ActivePro Transponder*

Произведен от:	Устойчив TPE материал
Обхват на четеца:	4 метра хоризонтално 6 метра вертикално
Размер (мм):	50.5 x 44.5 x 12
Тегло (гр.)	24
Обхватна честота (MHz)	866-868
Температурна поносимост:	-40 до +80 °C
Прецизност:	**0,01 сек.**
Максимална скорост:	**150 km/h**

Табл. 1 показва общите и най-важни характеристики на ActivePro – транспондера. Най-голямо внимание трябва да се обърне на възможността му да засича време с прецизност до 0,01 сек. при движещи се

обекти със скорост до 150 км/ч. Тези две характеристики удовлетворяват нуждите на състезанията в дисциплината Издръжливост. При тях едновременно могат да финишират от 2 до над 300 коня със скорост над 14 км/ч и то не само на финала, а и на няколко етапа от състезанието. Освен на финала, транспондерът засича и времето за влизане на преглед на конете при ветеринарните лекари. Именно това време е ключово за напредване в класирането. Колкото по-бързо се влезе на преглед, толкова по-бързо започва почивката на коня (40 или 50 минути, еднаква за всички участници) и след изтичането ѝ конят стартира за следващ етап [5].

Начинът на работа на ActivePro – транспондера е показан на фиг. 3.



Фиг. 3 *Схема на работа на ActivePro – транспондер (ACTIVE SYSTEM)*

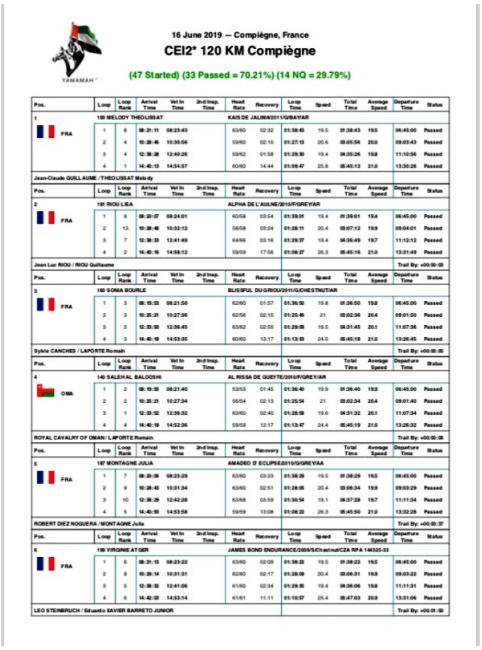
Транспондерът предава времето автоматично към централния компютър посредством безжична връзка, като той отчита, когато конят премине над кабел, скрит в земята, свързан за USB Timing Box. Обиколките се проследяват чрез Loop Box, а за информация по самото трасе могат да бъдат поставени Track Box (напр. за отчитане на скоростта по трасето, за средната скорост на 5, 10 или 20 км от трасето и т.н.). При работа на повече компютри се използва Management Box, който позволява обмяната на информация между тях посредством локална Wi-fi връзка. Цялата информация се обработва след това директно на платформата на raceresult [6] на техния сайт и чрез предварителна регистрация.

АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Темата е особено актуална през последните години предвид нарасналия брой участници и все по-високата конкуренция. Фиг. 4 ясно показва, че подобен финал затруднява дори и опитни съдии при вземане на решение за крайното класиране. На снимката от фиг. 4 конете финишират с разлика по-малка от 1 секунда, която е отчетена от ActivePro – транспондера.

Фиг. 4 *Финал на коне в дисциплината Издръжливост*

Международното приложение YamamahApp позволява да бъдат разгледани в детайли резултатите от повечето международни състезания по издръжливост. Всички резултати са в таблична форма и показват точно времената на финал на всеки един етап от състезанието, както и на крайното класиране (фиг. 5 и 6). Таблиците с резултатите съдържат информация за пресичането на финала по време на етапите, часът, в който конят е представен на ветеринарен преглед, времето за възстановяване, пулса, ездовото време на обиколките и общо, времето за тръгване. Тази информация се съхранява на сайта на международната федерация по конен спорт и във всяко едно време достъпът до нея е свободен.



16 June 2019 – Compiègne, France

CEI2* 120 KM Compiègne

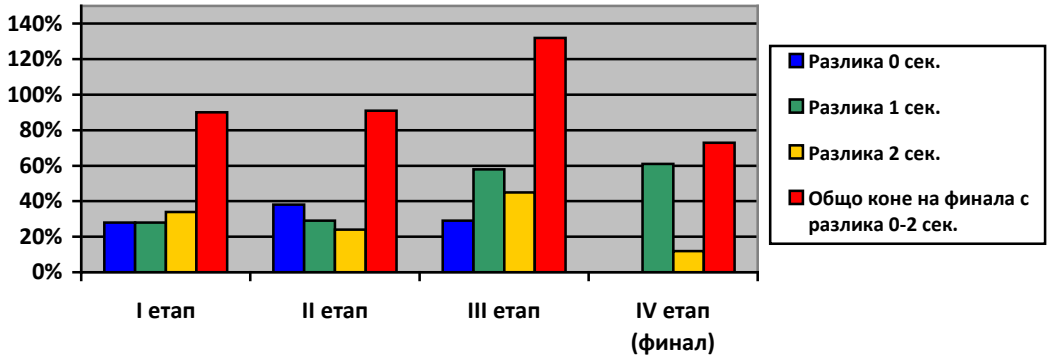
(47 Started) (33 Passed = 70.21%) (14 NQ = 29.79%)

Фиг. 5 *Таблица на резултатите*

Pos.	Loop	Loop Rank	Arrival Time	Vet In Time	2nd Insp. Time	Heart Rate	Recovery	Loop Time	Speed	Total Time	Average Speed	Departure Time	Status
1	198 MELODY THEOLISSAT					KAIS DE JALIMA/2011/G/BAY/AR							
FRA	1	8	08:21:11	08:23:43		63/60	02:32	01:38:43	19.5	01:38:43	19.5	06:45:00	Passed
	2	4	10:28:46	10:30:56		59/60	02:10	01:27:13	20.6	03:05:56	20.0	09:03:43	Passed
	3	4	12:38:28	12:40:26		59/62	01:58	01:29:30	19.4	04:35:26	19.8	11:10:56	Passed
	4	1	14:40:13	14:54:57		60/60	14:44	01:09:47	25.8	05:45:13	21.0	13:30:26	Passed
Jean-Luc RIOU / THEOLISSAT Melody													
2	191 RIOU LISA					ALPHA DE L'AULNE/2010/F/GREY/AR							
FRA	1	9	08:20:07	08:24:01		60/58	03:54	01:39:01	19.4	01:39:01	19.4	06:45:00	Passed
	2	10	10:28:48	10:32:13		58/58	03:24	01:28:11	20.4	03:07:12	19.9	09:04:01	Passed
	3	7	12:38:33	12:41:49		64/66	03:16	01:29:37	19.4	04:36:49	19.7	11:12:12	Passed
	4	2	14:40:16	14:58:12		59/59	17:56	01:08:27	26.3	05:45:16	21.0	13:31:49	Passed
Jean Luc RIOU / RIOU Guillaume												Trail By: +00:00:08	
3	160 SONIA BOURLE					BLISSFUL DU GROU/2011/G/CHESTNUT/AR							
FRA	1	3	08:19:53	08:21:50		62/60	01:57	01:36:50	19.8	01:36:50	19.8	06:45:00	Passed
	2	3	10:26:21	10:27:36		62/56	02:15	01:25:46	21	03:02:36	20.4	09:01:50	Passed
	3	2	12:33:50	12:36:43		63/62	02:53	01:29:08	19.5	04:31:45	20.1	11:07:36	Passed
	4	3	14:40:18	14:53:35		60/60	13:17	01:13:33	24.5	05:45:18	21.0	13:26:45	Passed
Sylvie CANCHES / LAPORTE Romain												Trail By: +00:00:05	
4	140 SALEHAL BALOOSHI					AL RISSA DE QUEYTE/2010/F/GREY/AR							
OMA	1	2	08:19:35	08:21:40		53/53	01:45	01:36:40	19.9	01:36:40	19.9	06:45:00	Passed
	2	2	10:26:21	10:27:34		56/54	02:13	01:25:54	21	03:02:34	20.4	09:01:40	Passed
	3	1	12:33:52	12:36:32		63/60	02:40	01:28:58	19.6	04:31:32	20.1	11:07:34	Passed
	4	4	14:40:19	14:52:26		59/59	12:17	01:13:47	24.4	05:45:19	21.0	13:26:32	Passed
ROYAL CAVALRY OF OMAN / LAPORTE Romain												Trail By: +00:00:06	
5	187 MONTAGNE JULIA					AMADEO D' ECLIPSE/2010/G/GREY/AA							
FRA	1	7	08:20:06	08:23:29		63/60	03:23	01:38:29	19.5	01:38:29	19.5	06:45:00	Passed
	2	9	10:28:43	10:31:34		63/60	02:51	01:28:05	20.4	03:06:34	19.9	09:03:29	Passed
	3	10	12:38:29	12:42:28		63/58	03:59	01:30:54	19.1	04:37:28	19.7	11:11:34	Passed
	4	5	14:40:10	14:53:58		59/59	13:08	01:08:22	26.3	05:45:50	21.0	13:32:28	Passed
ROBERT DIEZ NOGUERA / MONTAGNE Julia												Trail By: +00:00:37	
6	199 VIRGINIE AT GER					JAMES BOND ENDURANCE/2009/S/Chestnut/CZA RP A 146525-33							
FRA	1	6	08:21:13	08:23:22		62/60	02:09	01:38:22	19.5	01:38:22	19.5	06:45:00	Passed
	2	8	10:28:14	10:31:31		62/60	02:17	01:28:09	20.4	03:06:31	19.9	09:03:22	Passed
	3	5	12:38:32	12:41:06		61/60	02:34	01:29:35	19.4	04:36:06	19.8	11:11:31	Passed
	4	6	14:40:08	14:53:14		61/61	11:11	01:10:57	25.4	05:47:03	20.9	13:31:06	Passed
LEO STEINBRUCH / Eduardo XAVIER BARRETO JUNIOR												Trail By: +00:01:30	

Фиг. 6 *Подробно описание на резултатите*

На фиг. 7 са представени броя на конете в проценти, пресекли заедно с друг кон или група коне финала на всеки един от етапите, включително и на финалния четвърти етап с разлика от 0, 1 и 2 секунди.



Фиг. 7. *Процентни резултати на времевите разлики при пресичане на финала*

След анализ на табл. 7 резултатите са следните: В международното състезание по Издръжливост във Франция са взели участие общо 47 коня и ездачи, за втория етап са стартирали 45 коня, за третия 38 коня и финала са пресекли 33 коня. Най-близки по време конете са финишрали след I етап, тоест от общо 47 коня 90 % са финишрали с друг кон или група коне с разлика от 0 до 2 секунди. На финала на II етап се наблюдава същият резултат, като тук най-много коне са пресекли групирано (по два или три коня) по едно и също време финала. След III етап най-много коне са финишрали с разлика 1 секунда. Общата процентност тук е над 100 %, тъй като броят коне се припокрива в различните категории от времева разлика. На финала няма коне, които да са финишрали заедно, затова пък 60 % от конете са финишрали с друг кон или група коне с разлика 1 секунда. Всички коне в състезанието са се движели със средна скорост над 16 км/ч.

Всички тези минимални разлики във времето на пресичане на финала са отчетени от ActivePro – транспондера и са признати от съдиите за достоверни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показаните резултати доказват, че времената на пресичане на финала могат да бъдат отчетени обективно чрез ActivePro – транспондер и да се считат от съдиите за достоверни. Мануалното отчитане на пресичането на финала би довело до грешни резултати, тъй като е практически невъзможно да се свалят ръчно резултати на коне, пресичащи финала с разлика във времето по-малка от 2 секунди и със скорост над 16 км/ч.

Все още се провеждат състезания, които не използват компютъризирана техника за отчитане на времето на финала, но за избягване на неточности и протести от страна на състезателите, е нужно въвеждането на технологии като ActivePro – транспондер за пълна точност и обективност на резултатите.

REFERENCE

[1] Parsler, N., The Pony Club Guide to Endurance Riding, Pony Club, Amersham, 2014, pp.10-12.
[2] Loving, Nancy S., Go the distance: the complete resource for endurance horses, , ISBN-13: 978-1-57076-342-7, Vermont, 1997, pp.115-116.
[3] Valev, Y., Nedkova-Ivanova, R., Theory and methodology of the discipline "all-round riding and endurance", Sofia, 2018, p.181.
[4] www.fei.org, 08.07.2019.
[5] Fédération Equestre Internationale, ENDURANCE RULES Updated 9th Edition, effective January 2018 1 February 2019, Switzerland.
[6]www.raceresult.com, 08.07.2019.

GENERATING AND SOLVING OF THE MAZE BY USING KRUSKAL'S AND FLOYD'S ALGORITHM

Suzana Marković
Academy of Business Applied Studies Belgrade, suzana.markovic@bpa.edu.rs

Jasmina Novakovic
Academy of Business Applied Studies Belgrade

Anja Marković
Faculty of Electrical Engineering, Belgrade

Abstract

Graphs are used in computer systems as models for presenting certain objects and mutual relationships among them. The simplest data structure, which is used for presenting graphs in computer programs, is the adjacency matrix. This matrix enables easy manipulation of nodes and edges so it is used in the realization of the maze. A maze implies a set of connected passages in which movement is possible in a space filled with obstacles (walls). Following conditions should be determined when generating the maze: set of maze's nodes, initial state - entrance to maze and end state - exit from maze. Kruskal algorithm was used to generate the maze. In solving the maze, it is necessary to determine a set of possible actions - the path choice (the next node of the maze) at each step and the transition determined by the relations between the maze's nodes. Finding the best path to exit the maze was implemented using the Floyd algorithm.

Keywords: Graph, spanning tree, adjacency matrix, Kruskal's algorithm, Floyd's algorithm, maze.

INTRODUCTION

Algorithm is one of the basic building blocks for the implementation of program systems [1]. It is a precisely defined procedure realized by a final set of commands, which a computer should execute for solving a problem. Algorithm analysis determines the use of computer resources. The tendency is to minimize the most expensive resources – execution time and memory requirements.

Graphs are used in computer systems as models for presenting certain objects and mutual relationships among them. They can be used in numerous ways: maps of cities and roads among them, maps of city transportation with marked stops, the connection of computers in a computer network, pages of a certain website connected by hyperlinks, etc. Graphs are, in mathematical terms, binary relations which are visually presented by points (nodes) and lines (edges), which are used to connect those points. More precisely, a graph is a couple of sets (V, E) –> G = (V, E), where V is a final blank set, the elements of which are nodes (vertices) (also called nodes or points), and set E presents binary relations of elements of set V, the elements of which are called (edges) (also called links or lines).

One of the basic operations in the graph is the movement through a series of nodes connected with edges. The undirected simple graph is connected if there is a path between every two nodes. Otherwise, it consists of more than one connected component. A tree is a special case of a graph, i.e. the simplest type of connected graphs (by removing any line from the tree, it becomes disconnected). A graph in which all components are connected stand for free trees themselves is called a forest.

G is an undirected, connected graph. Spanning tree of the graph G is any tree which contains all the nodes and only a certain number of edges of graph G, is required for connecting all nodes so that there is no loop (a loop is simple path which starts and ends in one node).

In the weighted graph, all edges have their weight which is expressed numerically. If (V,T) is a connected subgraph of the weighted graph G = (V, E), whose total weight of edges is the least, then (V,T) is a free tree.

The simplest data structure which is used for presenting graphs in computer programs, and which enables easy manipulation of nodes and edges is the adjacency matrix – a two-dimensional series, in which the numbers of rows and columns are equal to the number of graph nodes. Graph G has n nodes, which are numerated from 1 to n [2]. This graph can be presented by a square matrix M, of dimensions nxn, the members of which m[i,j] have binary values m[i,j]=1, if edge (i,j) belongs to a set of edges, and m[i,j]=0 if the edge does not belong to set of edges of graph G.

The rest of this paper presents the way of generating and solving the maze by using the graph theory and algorithms, which solve the problems of generating trees, and passing through it by choosing the most favorable paths.

INTRODUCTION TO THE MAZES

A maze implies a set of connected passages in which movement is possible [3] in a space filled with obstacles (walls). Every passage has one or more fields and two ends. One field is the entrances, and another is the exit of the maze. The entrance, exit, ends of the passage, as well as the fields, which are mutual for both passages made up the nodes of the maze. The aim is to find the way from the entrance to the exit through maze nodes. In generating the maze, it is necessary to determine the following states: set of maze nodes, the initial state – entrance in the maze and the final state – exit from the maze. In solving the maze, it is necessary to determine the set of possible actions – the choice of the path (the next maze node) in each step and the transitions, which are determined by links between the maze nodes.

Every classical rectangular maze can be presented by a graph so that the maze nodes represent graph nodes, and edges comprise the paths (passes) through the selected nodes. Mazes do not have unconnected parts because there is a unique path between every two points, so the appropriate graph which fits them is actually a tree which can be considered as a maze outline scheme.

Entertainment and brain training may be considered as primary goals of maze application [4]. Logic mazes are special mazes with specifically defined rules altering the usual way of maze solving. Also, there are life size mazes as tourist attractions and finally application of mazes can be found in the video game and film industry.

According to Walter D. Pullen [4], there are seven categories mazes can be classified by:

- dimension
- hyper-dimension
- topology
- tessellation
- routing
- texture
- focus

According to *dimension*, there are two-dimensional mazes (rectangle) and three-dimensional (cube). This paper focuses on two-dimensional mazes.

Hyper-dimension category refers to the dimension of the object the solver moves through the maze. The *topology* category divides mazes according to the space they exist in (normal and plainair). The *tessellation* categorization divides mazes into several groups according to the shape of their basic units they are composed of – cells (orthogonal, omega, theta, crack, fractal). The *routing* category classifies mazes into several subcategories according to the properties of their passage (path) system (perfect, braid, unicursal, sparseness). Identifying a maze's *texture* can be done by observing the maze or by expressing it using mathematical evaluation (symmetry, river).

Walter D. Pullen uses *focus* category to distinguish various methods of maze creation. There are two basic algorithmic ways: wall adders (focusing on wall positioning) and passage carvers (concentrate on paths and cell positioning).

There are two basic ways of maze generation: algorithmic and non-algorithmic. Algorithmic methods create mazes according to a predefined step order. This paper puts focus on graph based algorithms. Graph based maze generation algorithms create mazes by building a spanning tree.

KRUSKAL'S AND FLOYD'S ALGORITHM

The minimum spanning tree for the given weighted graph G = (V, E) finds a subset of

edges T, so that subgraph (V,T) is connected and the total weight of edges in T is minimum. It is called minimum because it has the lowest price, and spanning because it encompasses all nodes of the given graph G.

A graph can have numerous spanning trees, the structures of which are completely different. However, the aim is to find a spanning tree with the lowest possible price. There are numerous algorithms which solve that successfully. The property of the graph division enables a gradual selection of its edges which belong to the minimum spanning tree. One of the representatives of such an approach is Kruskal's algorithm [5]. This algorithm is applied in real life in numerous situations: in computer networks, it finds the shortest path between two nodes (computers) taking into consideration the type of the connection (telephone line, optic cable, etc.); in transport infrastructure, it finds the shortest path between two nodes (city, street) considering the type of the path, etc.

The application of Kruskal's algorithm for the purposes of creating a made will be explained in more detail.

Aside from that, one of the basic algorithm problems related to graphs is finding the shortest paths between its nodes. The problem consists of the fact that for the given node s in the weighted graph G to determine the shortest paths from that node to all other nodes in the graph, whereby the complexity of finding the shortest path from the given node s do another given node does not become more simple in relation to the previous one. In other words, the problem of the shortest paths between all nodes comes down to finding the shortest paths between every two nodes of the weighted graph. One of the representatives of such an approach which is used in this paper is Floyd's algorithm [2]. This algorithm finds its application in determining the shortest distance between all nodes (cities) in a certain transport network.

The application of Floyd's algorithm for the purposes of solving the maze is presented in more detail as follows.

GENERATING THE MAZE

A graph as a data structure is used for presenting the maze in this paper that is its matrix representation, presented in the form of the adjacency matrix. If between nodes iij there is a branch, then m[i,j]=1; otherwise, m[i,j]=INT_MAX, except on the main diagonal, where m[i,j]=0 because those elements present edges from the nodes to themselves.

Maze realization is performed in C programming language. The following options are available from the defined menu:

1. Creation of the maze
1.1. Creation of the maze by entering coordinates of the passage
1.2. Generating of the maze
2. Creation of the passage
3. Creation of walls
4. Adding nodes
5. Deleting nodes
6. Destroying mazes
7. Solving mazes
7.1. Path from entrance to exit
7.2. Path between certain coordinates
8. Printing of maze
8.1. Maze printing on the standard output
8.2. Printing maze to a file
9. Program abortion

For *generating the maze*, two options are used. The first option enables the creation of the maze by entering coordinates of the passage through a standard entrance. The second option is more significant for the purposes of this paper and it enables the generating of the maze by using Kruskal's algorithm.

In Kruskal's algorithm, it is started from the forest of unconnected nodes of a graph, of which every node presents a specially connected component, without any edge, and then an edge is added one by one until the forest becomes a tree [6]. For the given tree, it is guaranteed that it is a minimum spanning tree. Then, an edge is chosen by applying the function rand(), by choosing four pseudo-coincidental numbers which signify coordinates of the two nodes in the adjacency matrix. If both nodes are in the same connected component, an edge is rejected so that the cycle disappears from the graph, and in contrast, an edge is joined to the set of graph edges. An algorithm ends when n-1 edge is joined because then all nodes are in one

connected component. At the end of this option, through a standard entrance to the maze, coordinates of entrance are entered, as well as all the coordinates of all exits from the maze (if there are several).

For the realization of this algorithm, sets must be used. An auxiliary node structure is used, realized by the following code (1):

```
typedef struct node {
int id;
struct node *parent;
struct node *left;
struct node *right;
} Node;                                    (1)
```

Through the given structure, every graph node in the beginning is presented in the form of the structure node. When an edge between two graph nodes is found, those two nodes are entered into the same connected component, that is in the same disjunctive set, so that certain nodes (with the chosen Ids) are connected by an auxiliary node which presents a new root of the tree in which the given two nodes can be found. The algorithm ends when all initiated nodes are entered into one tree. The realization of an algorithm is presented by the following code (2).

```
pair1 = parent(mat[i][j]); // the first selected
node
pair2 = parent(mat[x][y]); // the second
selected node
if (pair1->id == pair2->id) continue; // in the
same connected component
else {
pair = malloc(sizeof(Node));
pair->parent = NULL;
pair->id = n++; cnt++; //cnt is a node
counter; n is id of a node
pair->left = pair1;
pair->right = pair2;
pair1->parent = pair;
pair2->parent = pair;
int no1 = (x*lav->column) + y;
lav->mat[number][no1] = lav-
>mat[no1][number] = 1; // branch becomes
valid
}                                          (2)
```

According to the menu defined on the previous page, what follows are options for additional adjustment of the maze, the addition and deleting elements, as well as for destroying the maze. After creating the maze, the menu options (2. Creation of the passage and 3. Creation of the walls) serve for adding the passage and for adding the walls in the maze. That is achieved through simple positioning of elements of the adjacency matrix, determined by the entered coordinates, on the value of 1 for adding a passage, that is the value of 0 when creating the wall.

The next two options of the defined menu provide the opportunity of adding and deleting nodes. When adding nodes (option 4) in the graph, it is necessary to allocate the new types and columns in the adjacency matrix, considering that it must be squared, whereas when deleting nodes (option 5) the column in which the node is located is being deleted. The created maze can be destroyed by choosing option 6 from the defined menu. Destroying the maze (option 6) is performed by deallocating the adjacency matrix and other required structures created when generating the maze, like the series of exits from the maze is dynamically allocated.

SOLVING THE MAZE

In order to find the exit from the maze, two options are used. One option is to find a path to one of the existing exits from the maze. Another option is to find the path between two random nodes in the graph. In both cases, Floyd's algorithm is used [2]. Floyd's algorithm is used for finding the shortest distance between all sets of nodes in the graph and reconstruction of the discovered shortest paths. For the realization of this algorithm, it is necessary to allocate a new matrix of the predecessor T, which has the same dimension as the adjacency matrix. Element t[i,j] identifies the node which is a direct predecessor of the node j on the shortest path from node i. If there is no path between nodes i and j, then t[i,j]=0. A copy is made from the adjacency matrix in the form of the matrix D which contains currently the shortest distance between nodes. The algorithm is presented as follows (3).

This algorithm is based on the relaxation principle, so that in each moment the highest limit is maintained for evaluating the length of

the shortest path, which is initially equal to the weight of the direct edge or its value is INT_MAX if there is no edge. In the following iterations, it is checked whether the current evaluation can be shortened through another node. The reconstruction of the shortest path between two random nodes i and j can be performed by using the matrix of the predecessor T.

```
for (k = 0; k < n; k++)
for (i = 0; i < n; i++)
for (j = 0; j < n; j++)
if (d[i][j] > d[i][k] + d[k][j] && d[i][k] >= 0
&& d[k][j] >= 0 && d[i][k] != INT_MAX
&& d[k][j] != INT_MAX) {
t[i][j] = t[k][j];
d[i][j] = 1;
}                                          (3)
```

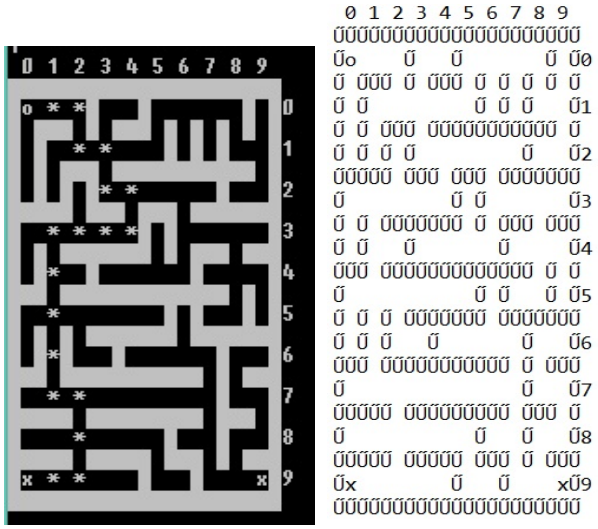


Fig. 1. *Printing the maze through the standard exit (left)/in the file (right)*

Solving the maze (option 7 from the defined menu) solves the whole maze (it finds the path from the entrance to the exit) or only its part (it finds the path between certain coordinates). Printing of maze (option 8) is realized in two ways: printing (drawing) the maze on the standard exit (Fig 1. Left) or printing the maze (Fig 1. Right) on the file. By choosing the second option, a text file is created Lavirint.txt with the stated content.

CONCLUSION

The maze presents a set of connected nodes and edges in which movement is enabled. They are mostly used in games and when created in the physical environment, they enable the practice of the spatial orientation. There are several methods for generating the maze. In this paper, the spanning tree algorithm is used. For generating the maze, Kruskal's algorithm was used, which passes from the forest of unconnected graph nodes, until it obtains a tree which is guaranteed to be minimally spanning. For the purposes of solving the maze, Floyd's algorithm was used. This algorithm was used for finding the shortest distance between all sets of nodes in the graph and the reconstruction of the discovered shortest paths. Drawing the generated maze with the choice of the appropriate entrances and exits and paths between them is performed through the standard exit or an appropriate text file. Further development of this work should be directed towards the use of other algorithms for generating a maze, where their comparative analysis will be performed through an adequate metric.

REFERENCE

[1] Levitin A., The Design and Analysis of Algorithms, Pearson Education, 3rd ed, 2012.

[2] Tomašević M., Algoritmi i strukture podataka, Akademska misao, 2008.

[3] Janičič P., Nikolić M., Veštačka inteligencija, Elektronsko izdanje, Beograd, 2019.

[4] Foltin M., Automated Maze Generation and Human Interaction, Masaryk University Faculty of Informatics, Brno 2011.

[5] Haiming L., Qiyang X., Yong W., Research and Improvement of Kruskal Algorithm, Journal of Computer and Communications, 2017, 5, 63-69.

[6] Ramadhian F. H., Implementation of Prim's and Kruskal's Algorithms' on Maze Generation, Makalah IF2120 Matematika Diskrit – Sem. I Tahun 2012/2013.

A DATA MINING APPROACH TO WINE QUALITY PREDICTION

Dragana Radosavljević
Faculty of Technical Sciences of University in Pristina, Kosovska Mitrovica, Serbia

Siniša Ilić
Faculty of Technical Sciences of University in Pristina, Kosovska Mitrovica, Serbia

Stefan Pitulić
Faculty of Technical Sciences of University in Pristina, Kosovska Mitrovica, Serbia

Abstract

Many people choose the wine based on its rating. The quality of the wine is set by organoleptic (tasting-sensory) and chemical analysis. Organoleptic characteristics are of primary importance for wine quality, while chemical analysis is performed for market control of the wine. The basic idea presented in this paper is to categorize wine only on the basis of its physicochemical properties. The research is performed using the vinho verde wine database from the northwest of Portugal, taken from the Center for Machine Learning and Intelligent Systems (UCI Machine Learning) website. The following classification algorithms were used to estimate the quality of the wine: Decision Tree, Random Forest, Algorithm k star, Support Vector Machine, Multilayer perceptron, and Naïve Bayes Classifier. Comparing the results of these algorithms, it can be seen that the Random Forest algorithm provides promising results that could potentially lead to conclusions that would be useful for future application in wine quality evaluation.

Keywords: Data Mining, Wine, Classification, Decision Tree, Random Forest, k star, Support Vector Machine, Neural Network, Naïve Bayes.

INTRODUCTION

Wine occupies an important place in human life from the era of the ancient Greeks and Romans until today. It is an integral part of religious life. It was made immortal by poets, historians, philosophers, artists. Describing the taste of wine, and therefore assessing its quality, is a real challenge, but also a science.

It is difficult to define the quality of the wine, as it is a multi-faceted construct, lacking a uniform and generally accepted definition [1]

To determine the quality of the wine sensory tests are used, which rely on human experts' knowledge, but physicochemical properties of wine can also be used.

The experts (sommeliers) use their vast experience to evaluate the quality of the wine. Depending on the scoring system used by wine judges, wine can be ranked on scales of 0-10, 0-20 and 0-100 points [2]. Their grades are subjective and it is very difficult or almost impossible to define it precisely. Research shows that only about 10% of judges can repeat their wine rating within one group of medals [3].

Also, the relationships between physicochemical and sensory analysis are complex and not yet fully understood, but significant correlations can be found between the quality of wine and some of its physicochemical properties [1, 4]

Investing in new technologies in the wine production process allows wineries to maintain the quality of production, and thus to secure their place in the wine market. Sensors are already being used in the wine industry to collect and monitor different data, from those related to the condition of the vine plant to those that monitor the entire wine production process. The question is: How to extract some useful knowledge from such large-scale, often very complex, datasets?

Data mining (DM) techniques are a powerful tool that allows to easily analyze relationships between different attributes of datasets. These techniques can be used for classification, clustering, forecasting, optimization and summarization.

In the wine industry, DM is used to make recommendations on the purchase of wine,

based on expert wine ratings, consumer criticisms and wine prices. There are a large number of websites and mobile applications that make recommendations for choosing wines based on that information (e.g. www.go-wine.com, www.cnbc.com, www.wine-searcher.com, the Vivino app, etc.).

Despite its potential to "predict" wine quality based on the physicochemical properties, DM techniques are not often used in this task.

In this paper we present a classification of wines based on their physicochemical properties that are easily measurable and accessible. This analysis can be valuable to wine producers (to improve the production process), to consumers (to select wine), but it can also be used by experts to support their evaluation of wine and to potentially improve the speed and quality of their decisions.

MATERIALS AND METHODS

Dataset and features

The data set is a wine quality dataset that is publicly available for research purposes from UCI – Machine Learning [5]. The dataset contains real data on vinho verde wines from the northwest of Portugal. The dataset consists of 4898 white wine and 1599 red wine samples. Data were collected from May 2004. to February 2007 using an iLab computerized system that automatically manages the process of wine samples testing starting from the manufacturer's requirements to laboratory and sensory analysis [4].

Table 1 presents the physicochemical statistics for each dataset.

Table 1: The physicochemical data statistics per wine type

	All wine (6497 instances)		White wine (4898 instances)		Red wine (1599 instances)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
fixed acidity (g/dm^3)	3.80	15.9	3.80	14.2	4.60	15.9
volatile acidity (g/dm^3)	0.08	1.58	0.08	1.10	0.12	1.58
citric acid (g/dm^3)	0.00	1.66	0.00	1.66	0.00	1.00
residual sugar (g/dm^3)	0.6	65.8	0.60	65.8	0.9	15.5
chlorides	0.01	0.61	0.01	0.35	0.01	0.61
free sulfur dioxide (mg/dm^3)	1	289	2	289	1	72
total sulfur dioxide (mg/dm^3)	6	440	9	440	6	289
density (g/cm^3)	0.99	1.04	0.99	1.04	0.99	1.00
ph	2.72	4.01	2.72	3.82	2.74	4.01
sulphates (g/dm^3)	0.22	2.00	0.22	1.08	0.33	2.00
alcohol *(% vol.)*	8.0	14.9	8.0	14.2	8.4	14.9
quality	3.00	9.00	3.00	9.00	3.00	8.00

DATA MINING TECHNIQUES

The WEKA open source software was used for data processing (preprocessing and classification). The following classification algorithms were used to solve the classification tasks: Decision Tree, Random Forest, Algorithm k star, Support Vector Machine, Multilayer perceptron and Naïve Bayes Classifier.

Decision Tree (J48) - is an open source Java implementation of C4.5 decision tree algorithm. Decision tree is constructed in a top-down recursive divide-and-conquer manner, where the internal nodes of a decision tree denote the different attributes, the branches between the nodes tell us the possible values that these attributes can have in the observed samples and the terminal nodes tell us the final value (class).

This type of algorithm is very robust in case of missing data and allows combining numerical and categorical attribute values [6].

Random forest (RF) is a classifier based on many decision trees. It is based on a simple idea: 'the wisdom of the crowd'. Aggregate of the results of multiple predictors gives a better prediction than the best individual predictor. Random Forests are a combination of tree predictors such that each tree depends on the values of a random vector sampled independently and with the same distribution for all trees in the forest [7].

Naïve Bayes (NB) - The Naïve Bayesian classifier is a classification technique based on Bayes' Theorem with an assumption of independence between predictors. It is called naive because the assumption of conditional independence in practice is generally not valid. Parameter estimation for naive Bayes models uses the method of maximum likelihood. Some of the major advantages of this method is that it needs a small amount of data and it is resistant to noise.

Multilayer perceptron (MLP) is the most commonly used architecture of artificial neural networks. MLP is a feedforward Neural Network model that maps the random data set to a set of corresponding outputs. It contains a large number of nodes – neurons. Neurons are arranged in multiple layers (input layer, hidden layer and output layer), where each neuron of one layer is linked by weighted connections with all neurons of the next layer. During the

learning phase, the network learns by adjusting the weights so as to be able to predict the correct class label of the input tuples [8].

Support vector machine (SVM) is based on a simple idea: to define a hyperplane (in boundless dimensional space) that separates data into the appropriate classes. In addition to performing linear classification, SVM can efficiently perform a non-linear classification using what is called the kernel trick, implicitly mapping their inputs into high-dimensional feature spaces where they can be linearly separated and the optimal hyperplane be determined [9].

Sequential Minimal Optimization (SMO) implements John Platt's sequential minimal optimization algorithm for training a support vector classifier [10].

K star (K*) is an Instance-Based (IB) classifier, that is the class of a test instance is based upon the class of those training instances similar to it, as determined by some similarity function.[10] The principal difference of K* against other IB algorithms is the use of the entropy concept for defining its distance metric, which is calculated by mean of the complexity of transforming an instance into another; so it is taken into account the probability of this transformation occurs in a "random walk away" manner [11].

DATA MINING ESTIMATION

There is no fixed algorithm to provide high accuracy; this is called No Free lunch theorem [13].

Several experiments were conducted to evaluate the performance of the selected tool used on a given dataset. Evaluation is done in two ways:

- using the 10-fold cross-validation method
- using the test sample method. A complete set of samples was divided into training and test set (2/3: 1/3) using the RESAMPLE filter (implemented in the WEKA software package)

The test of significance was taken as 0.05. To evaluate the effects of algorithms, some standard performance measures are also calculated: percent Correctly Classified Instances, Kappa statistics (kappa), Mean absolute error (MAE), Root mean squared error (RMSE), Recall and ROC Area.

EXPERIMENT AND RESULTS

In our study, 6 classification algorithms were used to wine samples classification. The model was built using each of the methods and is applied to:

1. a complete wine dataset
2. white wines data set
3. red wine data set.

All datasets are categorized in 2 ways following different ways of wine quality evaluating [14,15] (Table 2).

Table 2: The ways of wine categorizing according to the given quality rating

quality	Categorization 1	Categorization 2
3	Poor	Poor
4		
5	fair	Commended
6	Commended	
7	Bronze	Medal
8	Silver	
9	Gold	

The classification results of all the above algorithms are evaluated in both test methods: 10-way cross-validation and test sample method. To evaluate the performance of the classifiers, standard performance measures are calculated. Some of these are shown in the following tables.

Table 3: Performance of wine classification results - Categorization 1 in cross-validation mode

Categorization 1		J48	RF	NB	MP	SMO	k*
Correctly Classified Instances (%)	All wine	69.91	70.57	48.59	55.61	53.29	65.91
	White wine	58.53	70.05	49.04	55.12	52.08	65.50
	Red wine	61.60	70.17	59.41	60.54	58.04	65.98
Kappa statistic	All wine	0.53	0.54	0.24	0.29	0.22	0.49
	White wine	0.38	0.54	0.27	0.28	0.19	0.48
	Red wine	0.40	0.52	0.35	0.36	0.29	0.47
Mean absolute error	All wine	0.15	0.15	0.19	0.19	0.24	0.12
	White wine	0.15	0.15	0.19	0.19	0.24	0.12
	Red wine	0.16	0.17	0.19	0.19	0.26	0.14
Root mean squared error	All wine	0.26	0.26	0.34	0.31	0.33	0.30
	White wine	0.35	0.26	0.34	0.31	0.33	0.30
	Red wine	0.37	0.28	0.33	0.33	0.35	0.34
Recall	All wine	0.70	0.71	0.49	0.56	0.53	0.66
	White wine	0.59	0.70	0.49	0.55	0.52	0.66
	Red wine	0.62	0.70	0.59	0.61	0.58	0.66
ROC Area	All wine	0.88	0.88	0.69	0.73	0.68	0.86
	White wine	0.72	0.87	0.70	0.72	0.67	0.85
	Red wine	0.72	0.87	0.76	0.75	0.70	0.85

Table 4: Performance of wine classification results - Categorization 2 in cross-validation mode

Categorization 2		J48	RF	NB	MP	SMO	k*
Correctly Classified Instances (%)	All wine	78.03	85.59	67.64	77.52	74.62	82.56
	White wine	78.36	85.73	72.91	77.52	74.62	82.56
	Red wine	83.74	87.24	82.99	83.86	82.49	84.49
Kappa statistic	All wine	0.36	0.58	0.32	0.28	0.00	0.55
	White wine	0.43	0.59	0.35	0.28	0.00	0.55
	Red wine	0.40	0.48	0.40	0.37	0.00	0.45
Mean absolute error	All wine	0.19	0.16	0.24	0.20	0.28	0.12
	White wine	0.17	0.16	0.20	0.20	0.28	0.12
	Red wine	0.14	0.13	0.13	0.14	0.26	0.11
Root mean squared error	All wine	0.34	0.27	0.40	0.33	0.37	0.31
	White wine	0.35	0.27	0.37	0.33	0.37	0.31
	Red wine	0.31	0.25	0.30	0.29	0.34	0.30
Recall	All wine	0.78	0.86	0.68	0.78	0.75	0.83
	White wine	0.78	0.86	0.73	0.78	0.75	0.83
	Red wine	0.84	0.87	0.83	0.84	0.83	0.83
ROC Area	All wine	0.76	0.90	0.73	0.77	0.51	0.89
	White wine	0.75	0.90	0.76	0.77	0.51	0.89
	Red wine	0.70	0.88	0.80	0.79	0.54	0.44

Table 5: Performance of wine classification results - Categorization 1 in test sample mode

Categorization 1			J48	RF	NB	MP	SMO	k*
Correctly Classified Instances (%)	All wine	Training	91.16	100.00	50.67	57.07	53.53	100.00
		Test	57.85	68.00	48.87	55.64	53.23	64.72
	White wine	Training	90.02	100.00	50.88	56.39	51.63	100.00
		Test	57.14	66.80	48.98	57.01	54.42	61.16
	Red wine	Training	87.22	100.00	64.25	64.52	58.80	100.00
		Test	60.63	68.33	59.38	62.92	57.08	61.67
Kappa statistic	All wine	Training	0.87	1.00	0.27	0.32	0.22	1.00
		Test	0.37	0.51	0.24	0.31	0.23	0.47
	White wine	Training	0.85	1.00	0.30	0.29	0.19	1.00
		Test	0.35	0.48	0.27	0.28	0.23	0.42
	Red wine	Training	0.80	1.00	0.42	0.43	0.30	1.00
		Test	0.39	0.49	0.35	0.41	0.28	0.40
Mean absolute error	All wine	Training	0.04	0.06	0.18	0.19	0.24	0.00
		Test	0.15	0.15	0.19	0.19	0.24	0.12
	White wine	Training	0.05	0.06	0.18	0.19	0.24	0.00
		Test	0.15	0.15	0.19	0.19	0.24	0.13
	Red wine	Training	0.08	0.06	0.17	0.19	0.26	0.00
		Test	0.17	0.18	0.19	0.19	0.26	0.16
Root mean squared error	All wine	Training	0.15	0.10	0.33	0.31	0.33	0.01
		Test	0.35	0.27	0.34	0.31	0.33	0.31
	White wine	Training	0.16	0.10	0.33	0.31	0.33	0.01
		Test	0.35	0.27	0.34	0.31	0.33	0.32
	Red wine	Training	0.20	0.11	0.32	0.31	0.35	0.00
		Test	0.36	0.29	0.34	0.33	0.35	0.36
ROC Area	All wine	Training	0.99	1.00	0.71	0.75	0.68	1.00
		Test	0.71	0.86	0.69	0.74	0.69	0.84
	White wine	Training	0.98	1.00	0.73	0.74	0.67	1.00
		Test	0.71	0.85	0.71	0.74	0.68	0.83
	All wine	Training	0.96	1.00	0.80	0.80	0.71	1.00
		Test	0.72	0.85	0.75	0.76	0.70	0.81

Table 6: Performance of wine classification results - Categorization 2 in test sample mode

Categorization 2			J48	RF	NB	MP	SMO	k*
Correctly Classified Instances (%)	All wine	Training	91.62	99.98	74.91	80.34	76.80	100.00
		Test	79.13	85.38	72.67	78.10	76.00	83.54
	White wine	Training	89.91	100.00	73.66	79.03	74.24	100.00
		Test	77.07	83.61	72.65	77.55	75.51	80.41
	Red wine	Training	93.12	100.00	84.36	89.45	82.93	100.00
		Test	82.71	87.29	84.38	85.21	81.46	83.96
Kappa statistic	All wine	Training	0.76	1.00	0.35	0.31	0.00	1.00
		Test	0.41	0.55	0.29	0.25	0.00	0.54
	White wine	Training	0.73	1.00	0.37	0.33	0.00	1.00
		Test	0.36	0.51	0.34	0.25	0.00	0.48
	Red wine	Training	0.75	1.00	0.39	0.59	0.00	1.00
		Test	0.41	0.50	0.44	0.47	0.00	0.45
Mean absolute error	All wine	Training	0.09	0.06	0.19	0.19	0.28	0.00
		Test	0.16	0.16	0.20	0.20	0.28	0.12
	White wine	Training	0.10	0.06	0.20	0.20	0.29	0.00
		Test	0.18	0.17	0.20	0.20	0.28	0.14
	Red wine	Training	0.08	0.05	0.12	0.10	0.26	0.00
		Test	0.14	0.13	0.13	0.12	0.27	0.12
Root mean squared error	All wine	Training	0.21	0.10	0.36	0.31	0.36	0.00
		Test	0.34	0.28	0.37	0.32	0.36	0.30
	White wine	Training	0.23	0.11	0.36	0.32	0.37	0.00
		Test	0.36	0.28	0.36	0.33	0.37	0.33
	Red wine	Training	0.20	0.10	0.28	0.24	0.34	0.00
		Test	0.32	0.25	0.28	0.28	0.34	0.31
ROC Area	All wine	Training	0.94	1.00	0.77	0.80	0.52	1.00
		Test	0.73	0.88	0.74	0.77	0.52	0.87
	White wine	Training	0.94	1.00	0.78	0.81	0.51	1.00
		Test	0.74	0.87	0.77	0.76	0.51	0.86
	All wine	Training	0.93	1.00	0.82	0.84	0.54	1.00
		Test	0.77	0.89	0.83	0.78	0.54	0.84

Considering the results presented in the previous tables, it can be concluded that the most successful classification result for all three sets of wines was obtained with the RF algorithm for both test models and in both methods of wine categorization.

The accuracy of each cross-validation is greater than 70% for categorization of wines in 6 categories (Categorization 1) and greater than 85% for categorization of wines in 3 categories (Categorization 2). When using the test sample method, if we look only at the results of the test sets, the accuracy for both methods of categorization in all observed sets is greater than 83%.

K * algorithm in the worst case lags the RF by a maximum of 5%. The worst results in terms of accuracy are reported by NB and SVM.

Identical conclusions can be obtained from other measures: Kappa statistic, Mean absolute error, Root mean squared error and ROC Area.

Based on all of the above, it can be concluded that RF is the most appropriate algorithm for wine classification, whether we look at the whole set of wines or we separately distinguish only white and red wines, regardless of which of these methods of wine categorization is used.

CONCLUSION

In this paper a method to predict affiliation of wine to a certain category based on measured physical and chemical properties is presented.

The experiment is performed using a set of 6497 wine samples from the northwest of Portugal. The classification was made on the whole dataset but also on the two subsets containing the data about white and red wine in particular. All datasets are categorized in two different ways.

It was used 6 classification algorithms: J48, RF, MLP, SVM, NB, and k *. After analyzing the results by comparing statistical indicators (percent Correctly Classified Instances, Kappa statistics (kappa), Mean absolute error (MAE), Root mean squared error (RMSE), Recall and ROC Area), it can be concluded that the best results were achieved with Random Forest algorithm. With this algorithm wines could be classified into one of the appropriate categories with an accuracy greater than 85%.

A few percents worse results than RF were achieved by the k * algorithm, while the worst results were achieved by SVM.

In this paper we have presented the ability to provide a virtual sommelier using classification algorithms that would allow categorization of wines based on their physicochemical properties only.

Acknowledgment

This work has been supported by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia under Projects No.TR-35026 and III47016.

REFERENCE

[1] HopferH., Nelson J., Ebeler S. E. and Heymann H., Correlating Wine Quality Indicators to Chemical and Sensory Measurements, Molecules 2015, 20, 8453-8483.

[2] https://www.ucdavis.edu

[3] Hodgson R. T. An Examination of Judge Reliability at a major U.S. Wine Competition, Journal of Wine Economics, Vol. 3, Issue 2, Fall 2008, Pages 105–113

[4] P. Cortez, A. Cerdeira, F. Almeida, T. Matos and J. Reis. Modeling wine preferences by data mining from physicochemical properties. In Decision Support Systems, Elsevier, 47(4):547-553, 2009.

[5] https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Wine+Quality

[6] Quinlan, J. Ross. C4.5: Programs for Machine Learning. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA 1993.

[7] Livingston F., Implementing Breiman's Random Forest Algorithm into Weka, ECE591Q Machine Learning Conference Papers. November 27, 2005

[8] Goodman, Rodney M., and Zheng Zeng. "A learning algorithm for multi-layer perceptrons with hard-limiting threshold units." Neural Networks for Signal Processing [1994] IV. Proceedings of the 1994 IEEE Workshop. IEEE, 1994

[9] Han J., Kamber M., Data Mining: Concepts and Techniques, Morgan Kaufmann Publishers, 2006

[10] Keerthi S.S., Shevade S.K., Bhattacharyya C., Murthy K.R.K., Improvements to Platt's SMO Algorithm for SVM Classifier Design. Neural Computation, 2001, 13(3):637-649

[11] http://weka.sourceforge.net/doc.stable/weka/classifiers/lazy/KStar.html

[12] John G. Cleary, Leonard E. Trigg: K*: An Instance-based Learner Using an Entropic Distance Measure. In: 12th International Conference on Machine Learning, 108-114, 1995

[13] Kotsiantis, Sotiris B., I. Zaharakis, and P. Pintelas."Supervised machine learning: A review of classificationtechniques." Emerging artificial intelligence applicationsin computer engineering 160, 2007.

[14] www.winespectator.com

[15] www.decanter.com

APPLICATION OF CLASSIFICATION ALGORITHMS IN BREAST CANCER DIAGNOSIS

Jasmina Novakovic
Academy of Business Applied Studies Belgrade, jasmina.novakovic@bpa.edu.rs

Suzana Marković
Academy of Business Applied Studies Belgrade

Abstract

The main objective of this paper is to present the impact on classification accuracy different feature selections techniques on benchmark medical data set for breast cancer. Six feature selection techniques have been used for feature selection, evaluated and compared using different classification algorithms. Accuracy of the classifier is influenced by the choice of feature selection techniques and thresholds. In our experiment, the highest classification accuracy was obtained with the J48 algorithm using the IG method.

Keywords: breast cancer, classification accuracy, feature selection.

1. INTRODUCTION

There is a growing research interest in fields of machine learning and knowledge discovery. Recent development of technologies for collecting and storing data has led to huge data repositories, which are extremely difficult for humans to analyze. That is why, many data mining techniques are being developed in order to support extracting various knowledge representations from such large data bases.

In knowledge discovery, one of the main tasks considered is supervised classification, where learning process is provided with a set of training examples of target classes. Each example corresponds to a single object to be classified and is described by a finite of features. The goal of learning is to discover a rule or a function which maps such descriptions into those classes.

For the diagnosis and treatment of cancer is critically important precise prediction of tumors. In research of cancer, biologists have still used the traditional microscopic technique to assess tumor behavior for breast cancer patients.

In addition to microscopic technique, biologists are increasingly use modern machine learning techniques to obtain proper tumor information from the databases. In cancer diagnosis, supervised learning methods are the most popular among the existing techniques [1].

Particularly, following the authors used the machine learning techniques: Bellaachia and Guven [2], Delen, Walker and Kadam [3], used the above methods to find the most suitable one for predicting survivability rate of breast cancer patients. Soria, Garibaldi, Biganzoli and Ellis used the C4.5 tree classifier, MLP and Naïve Bayes classifier in prediction of breast cancer [4].

An algorithm, which consists of knowledge representation (learned from some training set) and the strategy of its usage, forms a classifier, which can be used to predict classes of new coming objects. Classification accuracy is typical measure used to evaluate classifier's performance. Several algorithms have been proposed over the years for inducing various knowledge representations and various classifiers [5, 6, 7]. For many classification problems those algorithms are very effective, but they don`t always lead to satisfactory classification accuracy in more complex and difficult cases. As it`s shown in theoretical studies and confirmed in empirical comparative studies there is no single best algorithm to be used for all data sets. It means that every algorithm has its own area of

superiority and specialized to solve some classes of learning problems.

The main aim of this paper is to experimentally verify, on benchmark medical data set, the impact on classification accuracy different feature selections techniques. In our paper we use classification algorithms such as: IBk (k-nearest neighbours classifier), Naïve Bayes, SVM (Support Vector Machine), J48 (J48 decision tree) and RBF (Radial Basis Function network). We also use different ranking and feature selection techniques to improve the classification accuracy of the underlying algorithm.

This paper is organized as follows. In the next section we briefly describe classification algorithms. Section 3 contains general issues concerning ranking and feature selection techniques. Section 4 presents experimental evaluation. Final section contains discussion of the obtained results and some closing remarks.

2. CLASSIFICATION ALGORITHMS

This section gives a brief overview of classification algorithms: IBk, Naïve Bayes, SVM, J48 and RBF.

The k-nearest neighbor classification was developed from the need to perform discriminant analysis when reliable parametric estimates of probability densities are unknown or difficult to determine. An object is classified by a majority vote of its neighbors, with the object being assigned to the class most common among its k nearest neighbors. In the k-nearest neighbor algorithm k is a positive integer, typically small. This algorithm is a type of instance-based learning, where the function is only approximated locally and all computation is deferred until classification.

Naïve Bayes classifier is based on the elementary Bayes' theorem. Naïve Bayes can achieve relatively good performance on classification tasks. This classifier greatly simplifies learning by assuming that features are independent given the class variable. In simple terms, a Naïve Bayes classifier assumes that the presence (or absence) of a particular feature of a class is unrelated to the presence (or absence) of any other feature. Naïve Bayes classifiers have worked quite well in many complex real-world situations in spite of their naive design and apparently over-simplified assumptions. An advantage of the Naïve Bayes classifier is that it requires a small amount of training data to estimate the parameters (means and variances of the variables) necessary for classification. Since independent variables are assumed, only the variances of the variables for each class need to be determined and not the entire covariance matrix.

SVM is a discriminative classifier formally defined by a separating hyperplane. In other words, given labeled training data (supervised learning), the algorithm outputs an optimal hyperplane which categorizes new examples. Many hyperplanes might classify the data; the best hyperplane is the one that represents the largest separation, or margin, between the two classes. In general, the larger the margin it is the lower the generalization error of the classifier. We choose, the maximum–margin hyperplane, such the hyperplane in which the distance from it to the nearest data point on each side is maximized. It happens that in a finite dimensional space the sets to be discriminated are not linearly separable. It was proposed that the original finite-dimensional space be mapped into a much higher-dimensional space to make the separation easier. In that way, mapping into a larger space, cross products may be computed easily in terms of the variables in the original space, making the computational load reasonable.

J48 decision tree works by recursively partitioning the training data set according to tests on the potential of feature values in separating the classes. The decision tree is learned from a set of training examples through an iterative process, of choosing a feature and splitting the given example set according to the values of that feature. For this algorithm, the most important question is which of the features is the most influential in determining the classification and hence should be chosen first. Entropy measures or equivalently, information gains are used to select the most influential, which is intuitively deemed to be the feature of the lowest entropy (or of the highest information gain). J48 decision tree works by: a) computing the entropy measure for each feature, b) partitioning the set of examples according to the possible values of the feature that has the

lowest entropy, and c) for each are used to estimate probabilities, in a way exactly the same as with the Naïve Bayes approach. Although feature tests are chosen one at a time in a greedy manner, they are dependent on results of previous tests.

The classification of neural networks proved to be very good just for serious classification problems, problems where is difficult or impossible to use the classical technique. Besides, neural networks are well suited to work in conditions of noise in the data. RBF is an artificial neural network that uses radial basis functions as activation functions. The output of the network is a linear combination of radial basis functions of the inputs and neuron parameters. RBF have many uses, including function approximation, time series prediction, classification, and system control.

3. FEATURE RANKING AND SELECTION

Different feature ranking and feature selection techniques have been proposed in the machine learning literature. The purpose of these techniques is to discard irrelevant or redundant features from a given feature vector.

We consider evaluation of the practical usefulness of the following ranking methods:

- Information Gain (IG) attribute evaluation,
- Gain Ratio (GR) attribute evaluation,
- Symmetrical Uncertainty (SU) attribute evaluation,
- Relief-F (RF) attribute evaluation,
- One-R (OR) attribute evaluation,
- Chi-Squared (CS) attribute evaluation.

Entropy is a commonly used in the information theory measure, which characterizes the purity of an arbitrary collection of examples. It is in the foundation of the IG, GR, and SU attribute ranking methods. The entropy measure is considered as a measure of system's unpredictability. The entropy of Y is

$$H(Y) = -\sum_{y \in Y} p(y) \log_2(p(y)) \quad (1)$$

where $p(y)$ is the marginal probability density function for the random variable Y. If the observed values of Y in the training data set S are partitioned according to the values of a second feature X, and the entropy of Y with respect to the partitions induced by X is less than the entropy of Y prior to partitioning, then there is a relationship between features Y and X. Then the entropy of Y after observing X is:

$$H(Y/X) = -\sum_{x \in X} p(x) \sum_{y \in Y} p(y/x) \log_2(p(y/x)) \quad (2)$$

where $p(y|x)$ is the conditional probability of y given x.

3.1. INFORMATION GAIN

Given the entropy as a criterion of impurity in a training set S, we can define a measure reflecting additional information about Y provided by X that represents the amount by which the entropy of Y decreases. This measure is known as IG. It is given by

$$IG = H(Y) - H(Y/X) = H(X) - H(X/Y) \quad (3)$$

IG is a symmetrical measure (refer to equation (3)). The information gained about Y after observing X is equal to the information gained about X after observing Y. A weakness of the IG criterion is that it is biased in favor of features with more values even when they are not more informative.

3.2. GAIN RATIO

The Gain Ratio is the non-symmetrical measure that is introduced to compensate for the bias of the IG. GR is given by

$$GR = \frac{IG}{H(X)} \quad (4)$$

As equation (4) presents, when the variable Y has to be predicted we normalize the IG by dividing by the entropy of X and vice-versa. Due to this normalization, the GR values fall always in the range [0, 1]. A value of GR = 1 indicates that the knowledge of X completely predicts Y, and GR = 0 means that there is no relation between Y and X. In opposite to IG, the GR favors variables with fewer values.

3.3. SYMMETRICAL UNCERTAINTY

The Symmetrical Uncertainty criterion compensates for the inherent bias of IG by dividing it by the sum of the entropies of X and Y. It is given by

$$SU = 2\frac{IG}{H(Y) + H(X)} \quad (5)$$

SU takes values, which are normalized to the range [0, 1] because of the correction factor 2. A value of SU = 1 means that the knowledge of one feature completely predicts and the other SU = 0 indicates that *X* and *Y* are uncorrelated. Similarly, to GR, the SU is biased toward features with fewer values.

3.4. CHI-SQUARED

Chi-squared attribute evaluation evaluates the worth of a feature by computing the value of the chi-squared statistic with respect to the class. The initial hypothesis H0 is the assumption that the two features are unrelated, and it is tested by chi-squared formula:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (6)$$

where *Oij* is an observed frequency and *Eij* is an expected (theoretical) frequency, asserted by the null hypothesis. The greater the value of $\chi 2$, the greater the evidence against the hypothesis H0.

3.5. ONE-R

This attribute evaluation evaluates features individually by using the OneR classifier. OneR classifier ranks features according to error rate (on the training set). It treats all numerically valued features as continuous and uses a straightforward method to divide the range of values into several disjoint intervals. It handles missing values by treating "missing" as a legitimate value.

This is one of the most primitive schemes. It produces simple rules based on one feature only. Although it is a minimal form of classifier, it can be useful for determining a baseline performance as a benchmark for other learning schemes.

3.6. RELIEF-F

Relief-F attribute evaluation evaluates the worth of a feature by repeatedly sampling an instance and considering the value of the given feature for the nearest instance of the same and different class. This attribute evaluation assigns a weight to each feature based on the ability of the feature to distinguish among the classes, and then selects those features whose weights exceed a user-defined threshold as relevant features. The weight computation is based on the probability of the nearest neighbors from two different classes having different values for a feature and the probability of two nearest neighbors of the same class having the same value of the feature. The higher the difference between these two probabilities, the more significant is the feature. Inherently, the measure is defined for a two-class problem, which can be extended to handle multiple classes, by splitting the problem into a series of two-class problems.

4. EXPERIMENT AND RESULTS

In this section, the performance of different classifiers examined and compared using benchmark real-world classification mammographic mass data set. An experiment was set up to demonstrate the effectiveness of different classifiers. In order to achieve good experimental results, we use different feature ranking and feature selection techniques.

Mammographic mass data set [8], taken from UCI repository of machine learning databases, was used for discrimination of benign and malignant mammographic masses based on BI-RADS attributes and the patient's age. Mammographic mass data set contains a BI-RADS assessment, the patient's age and three BI-RADS attributes together with the ground truth (the severity field) for 516 benign and 445 malignant masses that have been identified on full field digital mammograms collected at the Institute of Radiology of the University Erlangen-Nuremberg between 2003 and 2006.

In this data set, each instance has associated BI-RADS assessment ranging

from 1(definitely benign) to 5 (highly suggestive of malignancy) assigned in a double-review process by physicians. Assuming that all cases with BI-RADS assessments greater or equal a given value (varying from 1 to 5), are malignant and the other cases benign, sensitivities and associated specificities can be calculated. These can be an indication of how well machine learning techniques perform compared to the radiologists. Figure 1. shows a way to extract contours based on the shadows of the mammographic mass.

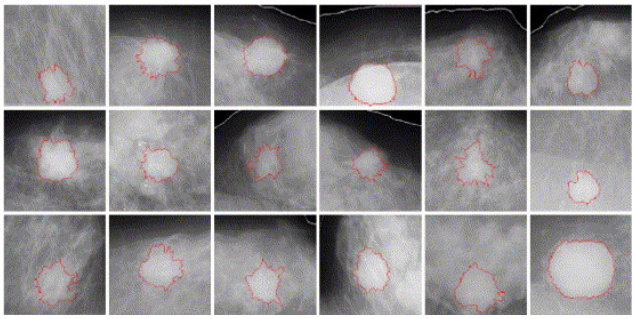


Fig. 1. *Contour extraction based on shadow mammographic mass [9]*

Table 1 presents a description of this data set. Table 2 presents number of attributes in the original dataset and number of attributes selected using filtering methods. Searching for a set of all possible solutions for each method has found the optimal number of attributes.

The table shows the original size of the set, in order to compare the effects of the reduction of the dimensionality of data. Using filter methods, four methods reduce the number of attributes more than half compare with the original data set.

Table 1. *Description of data set*

Attributes			Number of classes	Size for training
in total	categorically	numerical		
5	0	5	2	961

Table 2. *The number of attributes obtained by filter methods*

Without filtering	IG	GR	SU	RF	OR	CS
5	3	2	2	4	2	2

We present classification accuracy of different classifiers for predicting the outcomes of breast biopsies from BI-RADS findings, which have the potential to reduce the number of unnecessary breast biopsies in clinical practice.

In the table of classification accuracy "+" indicates a significantly higher value for classification accuracy, while "-" indicates a significantly lower value for classification accuracy. In the table of training time "+" indicates a significantly smaller value for training time, while "-" indicates a significantly higher value for training time. Comparison is such that the second algorithm is an algorithm in which was performed pre-selection attributes, and the first algorithm is a standard algorithm without pre-selection of attributes.

Further experimental research, the optimal number of selected attributes for each data set and filtering method, checked the accuracy of the classification algorithms.

Table 3. *Classification accuracy with filter methods*

	Without filtering	IG	GR	SU	RF	OR	CS
IBk	75.60	82.27 +	83.49 +	83.38 +	75.18	82.75 +	83.36 +
Naïve Bayes	82.64	81.62	81.58	81.26	79.59 -	80.29 -	81.25
SVM	80.29	82.68 +	83.15 +	83.06 +	79.95	82.46	83.03 +
J48	82.19	83.57 +	83.29	83.19	80.76	82.60	83.16
RBF	77.31	77.66	79.67	79.24	77.07	77.51	79.16

The highest classification accuracy without filtering for a given data set was obtained with the Naïve Bayes

algorithm (Table 3). However, the filter methods in this algorithm failed to increase the classification accuracy. The highest classification accuracy was obtained with the J48 algorithm using the IG method. Using different classifiers, we can conclude that the IG method of filtering in most cases led to better results in the classification accuracy.

Table 4. *Standard deviation with filter methods*

	Without filtering	IG	GR	SU	RF	OR	CS
IBk	3.90	3.37	3.13	3.10	3.64	3.08	3.09
Naïve Bayes	3.11	3.59	3.05	3.33	3.68	3.54	3.33
SVM	3.41	3.18	3.14	3.12	3.61	3.20	3.10
J48	3.21	3.14	3.13	3.09	3.62	3.11	3.07
RBF	3.31	3.67	4.14	4.51	3.83	4.35	4.50

Table 4 shows the standard deviation for the classification accuracy with original and reduced data set using filter methods. From the table it can be seen that the standard deviations generally not much different from standard algorithm and algorithms that use a reduced set of data.

When we show the results for the time required for training data, they were expressed in units of CPU seconds. The experiment was performed on the AMD Phenom (tm) 9650 Quard-Core Pocessor 2.31 GHz with 4GB of RAM.

Table 5. *Training time (in seconds) with filter methods*

	Without filtering	IG	GR	SU	RF	OR	CS
IBk	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17 -	0.02 -	0.00
Naïve Bayes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17 -	0.02 -	0.00
SVM	0.13	0.06 +	0.05 +	0.05 +	0.29 -	0.07+	0.05 +
J48	0.01	0.01	0.00	0.00	0.18 -	0.02 -	0.00
RBF	0.02	0.02	0.02	0.02	0.19 -	0.03 -	0.02

Table 5 shows the time required for training algorithms (in seconds) with the original and the reduced data set using the filter methods. Required time to train the data for basic classifiers is small, except SVM algorithm. The required training time is higher with the SVM algorithm compare with other algorithms, and it can be reduced by using the appropriate filter method.

Table 6. *Standard deviation during training (in seconds) with filter methods*

	Without filtering	IG	GR	SU	RF	OR	CS
IBk	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Naïve Bayes	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
SVM	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
J48	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
RBF	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Table 6 shows the standard deviation of the time required for training. Standard deviation for required time to train the data for basic classifiers and classifiers with filter methods is small.

5. CONCLUSION

Problem of discrimination of benign and malignant mammographic masses based on supervised and unsupervised learning methods to help physicians in their decision to perform a breast biopsy on a suspicious lesion seen in a mammogram is our task. According to the obtained results, we can conclude that it is possible to improve the system performance of classification algorithms in the problem of breast cancer, using the filter methods for reducing the dimensionality of the data. To prove the hypothesis, have been implemented and empirically tested filter methods for reducing the dimensionality of the data.

In further research it would be interesting to apply other techniques to solve the problem of dimensionality reduction of data, such as wrapper method and extraction of attributes and analyze and compare the effects of their implementation.

REFERENCE

[1] Nahar J, Chen Y.P, Ali S. Kernel-based naive bayes classifier for breast cancer prediction. Journal of Biological System, 15(1):17–25, 2007.

[2] Bellaachia A, Guven E. Predicting breast cancer survivability using data mining techniques. Scientific Data Mining Workshop in Conjunction with the 2006 SIAM Conference on Data Mining, 2006.

[3] Delen D, Walker G, Kadam A. Predicting breast cancer survivability: a comparison of three data mining methods. Artificial Intelligence in Medicine, 34(2):113–127, 2005.
[4] Soria D, Garibaldi J. M, Biganzoli E, Ellis I. O. A comparison of three different methods for classification of breast cancer data. Seventh International Conference on Machine Learning and Applications, IEEE Computer Society, 2008.
[5] Klosgen W, Zytkow J.M. (eds.). Handbook of Data Mining and Knowledge Discovery. Oxford Press, 2002.
[6] Stefanowski J. Algorithms of rule induction for knowledge discovery. (In Polish), Habilitation Thesis published as Series Rozprawy no. 361, Poznan Univeristy of Technology Press, Poznan 2001.
[7] Kuncheva L. Combining Pattern Classifiers: Methods and Algorithms. Wiley, 2004.
[8] Elter M, Schulz-Wendtland R, Wittenberg T. The prediction of breast cancer biopsy outcomes using two CAD approaches that both emphasize an intelligible decision process. Medical Physics 34(11), pp. 4164-4172, 2007.
[9] Nakagawa T, Harab T, Fujitab H, Iwasec T, Endod T, Horitae K. Automated contour extraction of mammographic mass shadow using an improved active contour model. Elsevier, International Congress Series, Volume 1268, June 2004, pp 882–885.

СИСТЕМА ЗА РЕЗЕРВАЦИИ НА УПРАЖНЕНИЯ ВЪВ ВИРТУАЛНА ЛАБОРАТОРИЯ

Делян Генков[1], Жулиен Иванов[1]
[1]*Технически университет - Габрово*

SYSTEM FOR RESERVATION OF EXCERSISES IN VIRTUAL LABORATORY

Delyan Genkov[1], Zhulien Ivanov[1]
[1] *Technical University - Gabrovo*

Abstract

In Technical University – Gabrovo a process for building a virtual laboratory in computer oriented disciplines is started. Using the approach of virtualization, the students can conduct laboratory exercises from any place at any time. Because the resources of the platform are limited and some preliminary tasks have to be conducted in order the exercise to be started, a reservation system is needed. This paper presents the architecture and components of the reservation system for the virtual laboratory.

Keywords: Software system, Reservation, Virtual Laboratory, Practical distance learning.

ВЪВЕДЕНИЕ

На територията на катедра „Компютърни системи и технологии“ в технически университет – Габрово е в процес на изграждане виртуална лаборатория за провеждане на лабораторни упражнения на студентите. При нея се използва десктоп виртуализация, като студентът получава достъп до предварително подготвена виртуална машина за конкретното лабораторно упражнение през web браузър. Структурата на системата и детайли за нейното използване могат да бъдат видяни в [1]. При въвеждането на лабораторията в учебния процес беше идентифицирана нуждата от създаване на система за резервиране на упражнения от страна на студентите и/или преподавателите, тъй като има необходимост от предварителни подготвителни дейности преди провеждането на дадено упражнение – създаване и копиране на необходимата виртуална машина, създаване на потребителско име и парола за достъп, даване на права върху конкретния ресурс и др. Предвижда се в бъдеще част от тези процеси да бъдат автоматизирани, но въпреки това системата за резервации все още има своето място в системата за провеждане на лабораторни упражнения.

Настоящият доклад описва структурата на системата за резервиране на упражнения детайли по нейното създаване и използване.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Системата е Web базирана и използва HTML, CSS, PHP и javaScript като езици за програмиране, както и база данни под управлението на MySQL Server. Използвани са библиотеки jQuery и fullCalendar. Изискванията, поставени към системата са:

- Вход за студенти;
- Вход за преподаватели;
- Регистрация за студенти;
- Регистрация за преподаватели;
- Начална страница с календар;
- Меню за добавяне на упражнение;
- Изкачащ прозорец с подробна информация;

- Възможност за премахване на запазено упражнение;
- Възможност за одобрение на преподавател от администратор;
- Възможност даден преподавател да прегледа всички запазени упражнения с подробна информация за студента;
- Мобилни версии на системата.

Приложението използва трислойна архитектура, състояща се от следните слоеве:

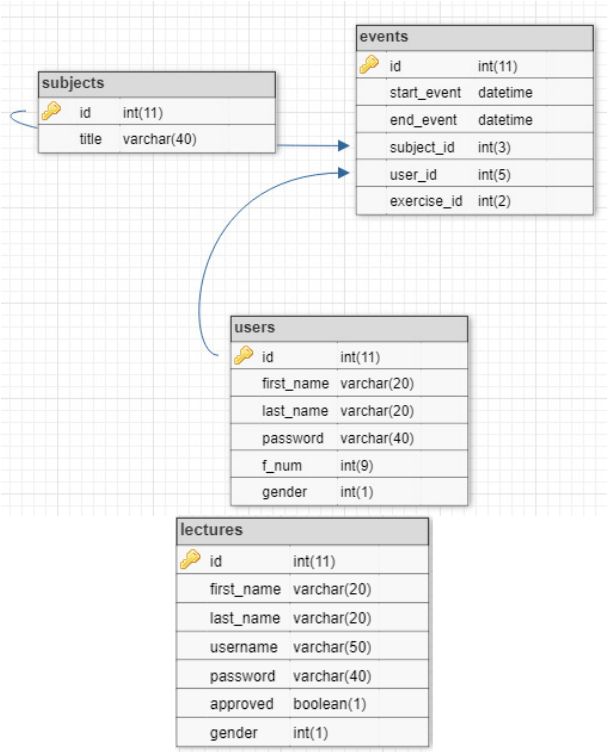
- Front-end слой – (Клиентски слой) – този слой е съдържанието, което се възпроизвежда от уеб браузъра и достига до крайния потребител, като това съдържание бива генерирано статично или динамично.
- Среден слой – реализира логиката на самото уеб приложение. Осъществява се със сървър, който обработва и генерира динамично съдържание.
- Back-end слой – представлява бази от данни, които се състоят от таблици с информация и от системи за управлението им.

Базата данни на приложението се състои от четири таблици и е показана на фигура 1.

В таблица “events” се записва инфонмнция за резервираните събития или ннпрнвннтне заявки за резервация на упражнение. В таблицата “lecturers” се пази информация за преподавателите, които могат да създават и администрират отделните упражнения. В таблицата “subjects” се записват отделните лабораторни упражнения по дисциплините, а в таблицата “users” – данните на регистрираните студенти.

На фигурата е показана и връзката на таблиците users и subjects към таблицата events.

За по-лесната визуализация на календара при резервацията на упражнение се използва библиотеката “fullCalendar” [2].



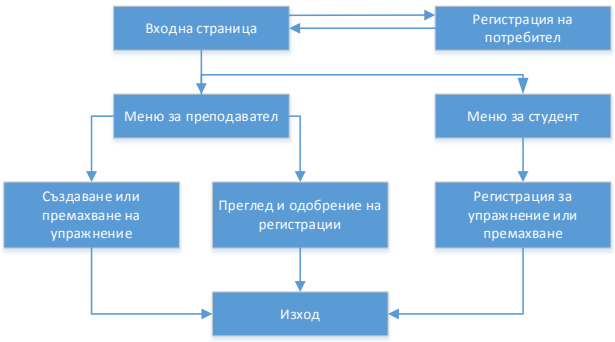
***Фиг. 1**. База данни на приложението.*

За неговата инициализация е създаден отделен файл – load.php със следното съдържание:

```
<?php
$connect= new PDO('mysql:host=localhost; dbname=‘university_lab', 'user', 'password', array(PDO::MYSQL_ATTR_INIT_COMMAND => 'SET NAMES utf8'));
$data = array();
$query = "select users.first_name, users.last_name, users.f_num, subjects.title, events.* from events left join subjects on subjects.id = events.subject_id left join users on users.id = events.user_id";
$statement = $connect->prepare($query);
$statement->execute();
$result = $statement->fetchAll();
foreach ($result as $row) {
$data[] = array( 'id' => $row["id"],
'start' => $row["start_event"],
'end' => $row["end_event"],
'title' => $row["title"],
'firstName' => $row['first_name'],
'fNum' => $row['f_num'] ); }
echo json_encode($data);
```

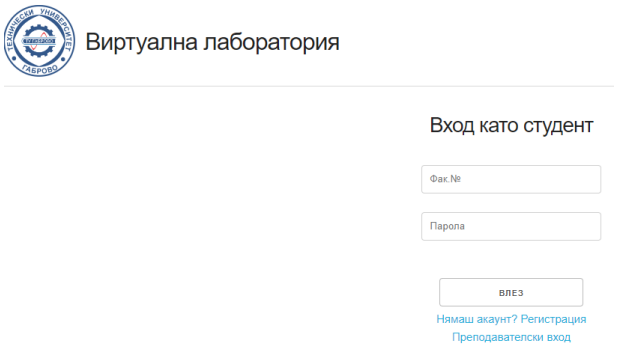
Във файла името на базата данни е university_lab, потребителското име за достъп до базата данни е user, а паролата – password. Те трябва да се заменят с истинските параметри за достъп до базата данни.

Структурната схема на приложението е показана на фигура 2.



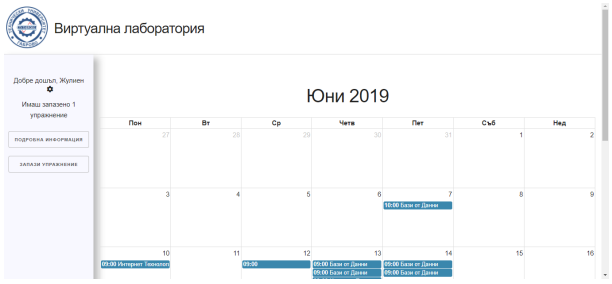
***Фиг. 2**. Структурна схема на приложението*

На фигура 3 е показана формата за вход на студент.



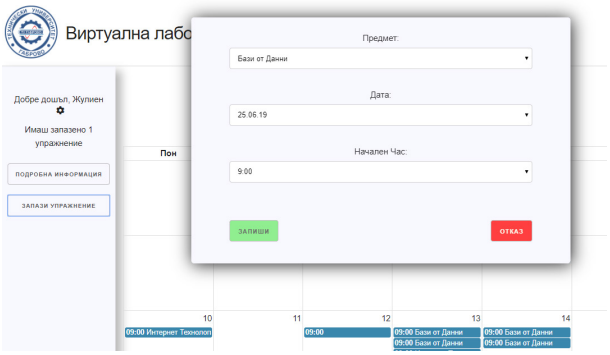
***Фиг. 3**. Вход на студент*

След успешно въвеждане на данните се дава достъп до виртуалната лаборатория, където може да се получи информация за броя на запазените упражнения, подробна информация за тях или да се запази упражнение. Екранът е показан на фигура 4.



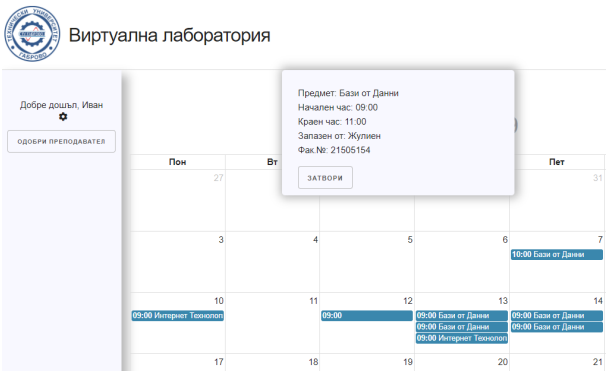
***Фиг. 4**. Екран за запазване на упражнение*

На фигура 5 е показан екранът за запазване на упражнение, от който може да се избира дисциплина, дата и час на провеждане на упражнението. Продължителността на всяко упражнение е фиксирана и за да няма претоварване на системата за виртуализация се регулира максималния брой едновременно провеждани упражнения.



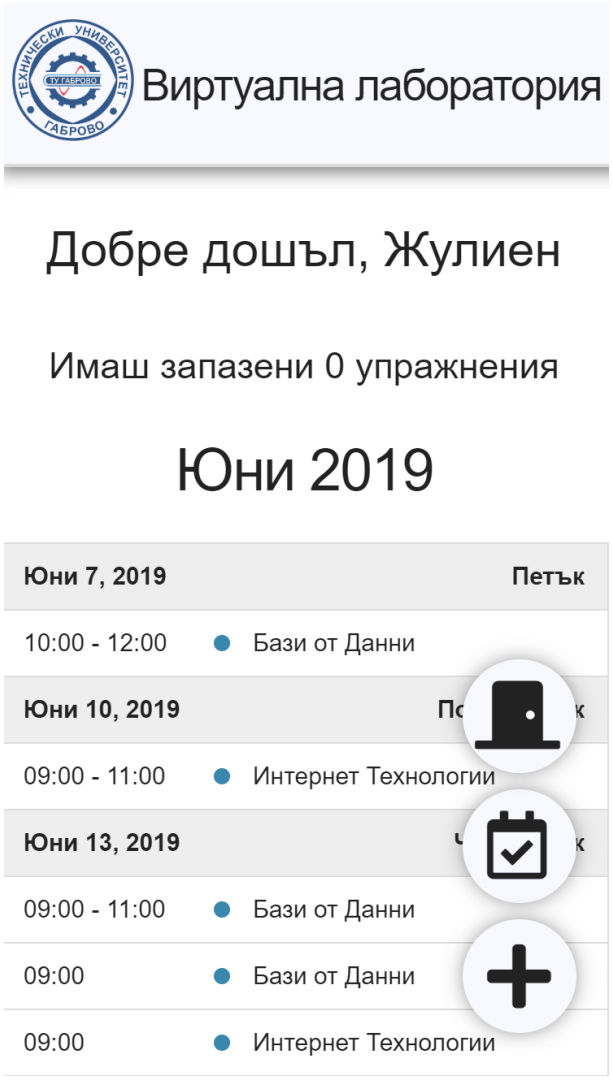
***Фиг. 5**. Запазване на упражнение*

На фигура 6 е показана формата за преподаватели със запазени упражнения по техните дисциплини от студентите.



***Фиг. 6**. Форма за преподаватели*

Тъй като е предвидена възможност упражненията да бъдат стартирани и изпълнявани от мобилните устройства на студентите са създадени и отделни мобилни версии на системата за смарт телефон и таблет. Те са съобразени с разделителната способност на екрана на устройството, от което се зарежда страницата и имат различен вид. На фигура 7 е показан изгледът на системата за умен телефон, при който бутоните са разположени в долният десен ъгъл за улеснен достъп до тях при работа с една ръка.



***Фиг.** 7. Мобилна версия на страницата.*

Системата за резервации на виртуални упражнения е тествана и се визуализира успешно на следните устройства и резолюции (ширина х височина):

- Лаптоп с тъчскрийн – 1280 x 950
- Лаптоп – 1366 x 768
- Смартфон „Pixel 2” – 411 x 731
- Смартфон „Galaxy S5” – 360 x 640
- Смартфон „iPhone 5/SE” – 320 x 568
- Смартфон „iPhone 6/7/8” – 375 x 667
- Смартфон „iPhone X” – 375 x 812
- Tablet „iPad” – 768 x 1024
- Tablet „iPad Pro” – 1024 x 1366

Системата се визуализира успешно на следните браузъри:

- Google Chrome – версия 75.0.3770.100
- Microsoft Edge – версия 44.18362.1.0
- Internet Explorer – версия 11.175.18362.0
- Mozilla Firefox Quantum – версия 67.0.4

Системата не е съвместима с Internet Explorer 8 или по-ранни версии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия документ е описана системата за резервации на лабораторни упражнения, част от разработваната виртуална лаборатория за провеждане на лабораторни упражнения на студентите по компютърно ориентирани дисциплини.

Отдаленият достъп до лабораторните упражнения дава възможност на студентите за изпълнение на задачите извън територията на университета и в произволно време от денонощието, което дава предимства при невъзможност да се посещават учебните занятия или за реализация на дистанционно обучение.

Поддръжката на много платформи и операционни системи дава възможност упражненията да бъдат стартирани и изпълнявани от мобилните устройства на студентите и по този начин намалява разходите по закупуване на стационарни устройства.

Системата за резервации дава възможност за подготовка на необходимите ресурси за провеждане на упражненията и не позволява претоварване на хардуерната платформа от стартирането на по-голям брой виртуални машини от препоръчителния. Като бъдещо развитие ще се търси интеграция с VMware Horizon за управление на потребители и пароли.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящият документ е изготвен с финансовата помощ на договор № 1907Е за провеждане на научни изследвания по проект на тема: „Внедряване на иновационни ИКТ технологии в обучението“ към Технически университет – Габрово.

REFERENCE

[1] Genkov, D. SYSTEM FOR LABORATORY EXERCISES USING VIRTUAL MACHINES. Unitech 2018, Gabrovo, 16-17 November 2018

[2] fulCalendar, The most popular full-sized JavaScript Calendar, https://fullcalendar.io, дата на използване: 06.26.2019 г.

BENEFITS OF USING EYE TRACKING TECHNOLOGY

Željko Gavrić[1], Miroslav Minović[1], Vanja Mišković[2]
[1]*Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, Serbia*
[2]*Faculty of information technology, Slobomir P University, Republic of Srpska*

Abstract
The use of eye tracking system is in constant expansion. The field of eye tracking research is interdisciplinary and requires an assistance of experts from various aspects in order to design an efficient system. The eye tracking systems are used in various fields such as safety improvement, helping people with disabilities as well as disease detection, etc. This paper presents a review on technologies used for eye tracking such as electrooculography, infrared oculography, scleral search coil method and video oculography. The paper also includes systems used for various purposes related to real-time eye tracking.

Keywords: Eye tracking system, Help for people with disabilities, Detection of Disease, Detection of Attention.

INTRODUCTION

Eye tracking system has been steadily expanding in the last years, originally due to the development and availability of technology, but also because of the possibility of their use without influencing the person who performs certain activities and whose eye movements are being tracked.

The first eye tracking systems emerged out of the need to enable human computer interaction for people with disabilities. One of the first systems that allows text to be input without using hands, i.e. using eyes movements only is described in the paper [1].

Eye tracking technology can be applied in various fields and for different purposes. One of the applications is the use of eye tracking for safety improvement. Safety improvement is needed in various fields both at work and in everyday activities. Safety improvement is based upon detection of attention. Most of the accidents happen while performing work-related or daily activities and are caused by reduction of attention. There are two approaches to this problem solving. The first approach requires the use of eye tracking system in order to prevent the accident directly. This approach involves real-time algorithm which can decide and turn off the device or a potentially dangerous part of the device by using certain electronic circuits. These systems require a constant use of eye tracking techniques. Another approach to safety improvement requires the use of eye tracking system for a certain period of time after which the collected data is analyzed and irregularities in the performance of working and daily tasks which can cause accidents are observed.

EYE TRACKING TECHNOLOGIES

There are a couple of eye tracking technologies that use different approaches. Technologies such as electrooculography, infrared oculography, scleral search coil method and video oculography are describes in this paper [2].

Electrooculography represents a simple method which requires a system of electrodes placed on a person's head. Eye movement manifests itself as a difference between the standing corneal retinal potential which varies depending on the eye position. Electrodes detect the difference between potentials, i.e. voltage based upon which is possible to determine the eye movement. The signal induced by electrodes is called the EOG signal. The Figure 1 illustrates the placement of electrodes for EOG recording.

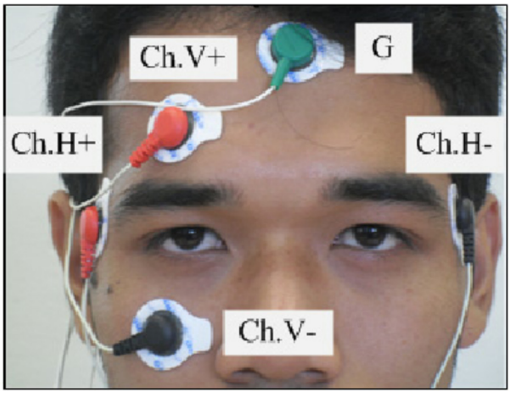


Fig. 1. *Placement of electrodes on the head [3].*

Infrared oculography is contactless technology designed to measure the eye movement. The main components needed for the utilization of this technology are infrared transmitter and infrared receiver. The receiver and transmitter need to be fixed usually for the glasses. The eye movement detection is based upon the principal that when transmitter diffuses infrared light reflected from the eye and depending on the amount of the light received in the receiver the eye movement is detected. Figure 2 shows glasses with infrared transmitter and receiver attached.

Fig. 2. *Glasses for infrared oculography [4].*

Scleral search coil method is a very precise and invasive technology which requires the placement of the search coil in the eye. The coil is incorporated into the silicone rubber that adheres to the eye and it doesn't damage the eye. The coil is inserted into the eye after local anesthetic has been introduced. A magnetic field is generated with the help of the larger coils placed either side of the head and on the top and in the back of the head as well. There is a change in the magnetic field in the outer coils due to the movement of the eye, therefore it is possible to detect the direction in the movement. Figure 3 represents scleral search coil method.

Fig. 3. *Scleral search coil method [5].*

Video oculography is the most widely used eye tracking technology. This technology requires a camera that captures the eye and a computer capable of quickly executing algorithms responsible for image analysis. Some systems require the use of a light diode that illuminates the eye to produce a reflection of the light on the eye. A camera that can create a quality and focused image in different lighting and background conditions is required for more precise eye movement. Figure 4 shows an eye illuminated by a light diode.

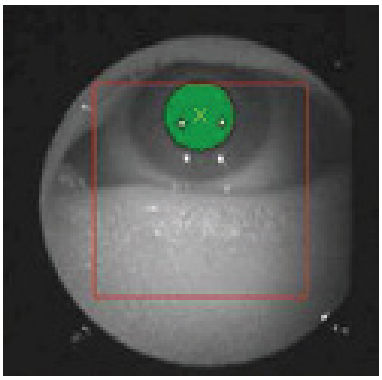


Fig. 4. *Eye illuminated by a light diode [6].*

Eye tracking methods based upon video oculography can be divided into two basic groups, i.e. the method based upon the appearance and method based upon characteristics. Appearance based methods use the eye shape and calculate the position as the relative relationship between the pupils and the corners of the eyes, while characteristics-based methods use various eye characteristics such as contours, eye corners, reflection caused by infrared light, etc. [7].

EYE TRACKING IN REAL TIME

The term eye tracking means recording eye movements in relation to the head, and in some respects, it involves gaze tracking. In addition to the eye and gaze tracking, an eye blink is also an important criterion for safety [8].

Real-time eye tracking systems are applied to detect the dangers manifested by an unexpected eye movement. Such systems can be used in cars and workplaces, but also when performing different everyday activities. Industry is the most common sector where the eye tracking application is required. According to [9], 5147 workers died at work in the USA during 2017. Human error is responsible for about 80% of these accidents. Apart from the mortal outcome, a significant number of workers experiences an accident at work every day. A certain percent of these accidents could be prevented by using a real-time eye tracking system.

Eye tracking in industry

The largest number of workers in the world is employed in industrial and manufacturing sector. Industrial workplaces mainly require workers to use dangerous machines which in a fraction of a second may kill or hurt the workers due to negligence. The main cause of accidents at work is lack of attention due to various factors such as fatigue, drowsiness and so on.

Eye movement systems can monitor the workers ' eye movement at the workplace and detect occurrences that may cause adverse effects. These systems can detect the distraction of workers gaze during the operation where they need the gaze to be directed at the work, and to effectively warn the workers or prevent the execution of potentially dangerous operation. Eye movement systems can detect an eye blink as well. If a worker blinks more than expected during the observed period or the blink lasts longer than the expected, the system should warn the worker in the right way to focus on his work. The warning can include light, sound or vibration and, in certain cases, it is possible to automatically switch off the machine. Figure 5 illustrates a proposal for a global negligence detection model in the industrial workplace.

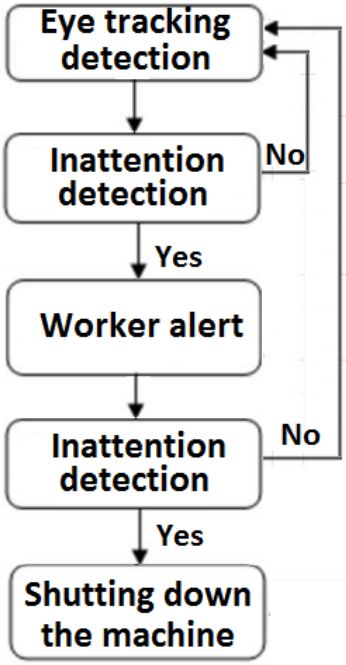


Fig. 5. *The proposal for a global safety improvement model in industry by using a real-time eye tracking system*

Eye tracking system in a car

The automotive industry is investing large sums of money in order to increase security. Since the appearance of the first cars, much has been improved in order to increase security for drivers and passengers. Mainly, there used to be devices that reduce damage from car accidents, such as various types of airbags, self-adhesive seat belts, reinforcement of the most often damaged car parts.

Nowadays, it is striven to increase security through application of various technologies to avoid traffic accidents. The biggest reason for traffic accidents is the human error. A large part of these accidents happens because of careless driving, i.e. low attention levels during driving. Eye tracking systems can be applied for the purpose of monitoring the driver's attention while driving [10]. These systems have the task to detect drowsiness and other kind of distractions and warn the driver of the detected irregularities. This paper describes one such system.

Figure 6 represents a schematic for tracking the driver’s attention.

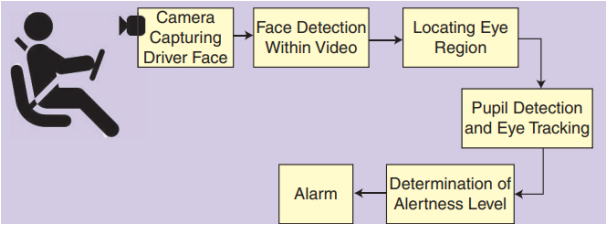


Fig. 6. *A schematic for tracking driver's attention[7]*

Assistive technology for people with disabilities

The human side of eye tracking application is the assistive technology for people with disabilities. There are numerous examples of people who couldn't communicate with the surrounding environment until the appearance of assistive technology especially intended for people with disabilities.

These systems are designed for people suffering from autism, cerebral palsy, muscular dystrophy and similar disabilities. For those people, the eye tracking systems represent the link with the surrounding environment. The link is represented through the computer interaction regardless of whether they are browsing the Internet, use social networks or communicate with the environment using specialized software that allows users to select an option only by using their gaze as well as to select the mouse click option.

Additionally, there are also systems which can pronounce a desired activity chosen by directing the gaze at it. One of the frequently used systems for this purpose is Tobii Communicator. Tobii Communicator was developed by the Tobii company, and in addition to the hardware device that is in the form of a tablet, it also comes with specialized software.

Tobii works by using forward and rearward-facing infrared cameras that are mounted on a screen. The cameras pick up the activity of the cornea, which allows a user to stare at a phrase or a symbol and "activate" it much like a mouse click would activate a computer screen. The user can then spell words, string together phrases, and express ideas that allow them to take part in conversations, build relationships, participate in educational and recreational activities and take part in aspects of life that other people enjoy. [11]

Tobbii Communicator is shown in Figure 7.

Fig. 7. *Tobii Communicator [12].*

Help in diagnosing diseases and disorders

The application of eye tracking systems is used in early detection of children's autism. This paper [13] shows such a system designed to show specific videos, and the eye tracking system records and analyzes the visual characteristic of eyes during the video playback. Thanks to the appropriate algorithm, the system is capable to detect characteristic eye movements indicating autism.

Apart from autism, eye tracking systems are also used in diagnosing obsessive-compulsive disorder, Parkinson's and Alzheimer's disease [14].

Eye tracking systems are frequently used in psychological research, mostly among children, where the collected data can help in detecting the retention and attention level. These tests are performed by requesting the reading of the text while eyes movements are being monitored, i.e. for how long the gaze is directed at the observed subject and which way the eye is moving through the text. [15]

CONCLUSION

The use of eye tracking system is in constant expansion lately. These systems can be used in different fields and they contribute to improving the quality of life, comfort and safety.

The first part of this paper shows technologies used for eye tracking. Furthermore, the paper describes the application of eye tracking systems. The paper also describes a certain field of their application, such as assistive technology for disabled people, where these systems are particularly valuable in increasing the quality of life for children who have a certain level of disability.

It is expected that a technological advancement can result in better accuracy and lower prices of eye tracking systems. In that case, they could be applied to the previously inapplicable fields, thus becoming available to those people who needed it the most- people with disabilities. Unfortunately, because of the high price, these systems are still unavailable to most of the people which need them the most.

ACKNOWLEDGMENT

This article was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of Serbia under the project TR-32013.

REFERENCES

[1] Hutchinson T. E., White K. P., Martin W. N., Reichert K. C., Frey L. A., Human-computer interaction using eye-gaze input, IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, 19(6), 1527-1534, 1989.

[2] Gavrić Ž., Minović M., Tehnologije praćenja pokreta oka, SYM-OP-IS 2017, 25-28 septembar 2017, Zlatibor.

[3] Aungsakun S., Phinyomark A., Phukpattaranont P., Limsakul C., Robust eye movement recognition using EOG signal for human-computer interface, In International Conference on Software Engineering and Computer Systems, Springer-Berlin, pp. 714-723, 2011, Heidelberg.

[4] Objective assessment of drowsiness and reaction time during intermittent Ramadan fasting in young men: A case-crossover study - Scientific Figure on ResearchGate. Available: https://www.researchgate.net/figure/Optalert-glasses-with-infrared-oculography-in-the-arm-attached-to-the-frame-The_fig2_255788553 [Accessed on: 28.09.2019]

[5] Chronos Vision, Scleral Search Coils 2D/3D, available at: http://www.chronos-vision.de/downloads/CV_Product_SSC.pdf (Accessed on: 28.09.2019)

[6] Hammoud R. I. (Ed), Passive eye monitoring: Algorithms, applications and experiments, Springer Science & Business Media, 2008.

[7] Bazrafkan S., Kar A., Costache C., Eye Gaze for Consumer Electronics: Controlling and commanding intelligent systems, IEEE Consumer Electronics Magazine, 4(4), 65-71, 2015.

[8] Polatsek P., Eye Blink Detection, Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Informatics and Information Technologies. IIT. SRC, 18, 2013.

[9] Bureau of Labor Statistics, U.S. Department of Labor, The Economics Daily, Fatal occupational injuries to foreign-born workers on the Internet at https://www.bls.gov/opub/ted/2018/fatal-occupational-injuries-to-foreign-born-workers.htm (Accessed on: 28.09.2019)

[10] Tayibnapis I. R., Koo D. Y., Choi M. K., Kwon S., A novel driver fatigue monitoring using optical imaging of face on safe driving system. In Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC), International Conference on (pp. 115-120), IEEE, 2016.

[11] Jo J., Lee S. J., Kim J., Jung H. G., Park K. R., Vision-based method for detecting driver drowsiness and distraction in driver monitoring system, Optical Engineering, 50(12), 127202, 2011.

[12] Tobii, Eye Tracking Communication for Individuals that are Non-Verbal, available at: https://www.cerebralpalsy.org/inspiration/technology/eye-tracking (Accessed on: 25.10.2019)

[13] Tobii, Speech generating device with the world's #1 eye tracker, available at: https://www.tobiidynavox.com/devices/eye-gaze-devices/I-12/ (Accessed on: 05.10.2019)

[14] Vargas-Cuentas I., Hidalgo D., Roman-Gonzalez A., Power M., Gilman R. H., Zimic M., Diagnosis of autism using an eye tracking system, IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), Seattle, WA, pp. 624-627, 2016.

[15] IMotions, Top 8 Eye Tracking Applications in Research, available at: https://imotions.com/blog/top-8-applications-eye-tracking-research/ (Accessed on: 05.10.2019)

[16] Inoue A., Paracha S., Identifying reading disorders via eye-tracking technology, In Advanced Materials for Science and Engineering (ICAMSE), International Conference, IEEE, (pp. 607-610), 2016.

КЛАСИФИКАЦИЯ НА АЛГОРИТМИ ЗА ДЕКОМПОЗИЦИЯ

Матьо Динев[1], Валентина Кукенска[1]
[1]*Технически Университет - Габрово*

CLASSIFICATION OF DECOMPOSITION ALGORITHMS

Matyo Dinev[1], Valentina Kukenska[1]
[1]*Technical University of Gabrovo*

Abstract

This paper presents the algorithms for decomposition of objects represented by graph models. A classification of these algorithms by various features is proposed.

Keywords: *decomposition, algorithm, graph, classification*

ВЪВЕДЕНИЕ

Основен подход при автоматизираното проектиране на електронни схеми, устройства и системи е системния подход. При него всеки обект се разглежда като система, която може да се раздели на подсистеми. Всяка от тези подсистеми може да се разглежда като подсистеми от по-нисък ред.

Основни принципни на системния подход са: декомпозиция, модулност и йерархичност. Декомпозицията е техника, която може да се използва в етапите на проектирането. Чрез нея обекта поетапно се разделя на самостоятелни модули, докато е необходимо или докато е възможно. Модулите са функционално или структурно обособени части от обектите. Като обекти за декомпозиция се разглеждат електронни схеми, устройства и системи. Модулите и връзките между тях представят йерархичната им структура.

Обект на настоящия доклад са различни алгоритми за декомпозиция на обекти, представени чрез графови модели. Предложена е класификация на тези алгоритми по различни признаци.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Всяка схема (система) се състои от определен брой елементи и връзки между тях. Структурата на дадена схема (система) може да се представи чрез неориентиран граф $G(V,E)$. Множеството на върховете $V=(V_1,V_2, ...,V_n)$ на графа може да се съпостави на множеството на елементите или точките с различни потенциали (възлите) на схемата. А множеството на ребрата $E=(E_1,E_2, ...,E_n)$ – на множеството на елементите или на връзките между тях. Построеният граф по тази аналогия отразява структура на схемата и е прието да се нарича топологичен граф.

Задачата за декомпозиция на дадената схема (система) на подсхеми (подсистеми) може да се приведе към задача за разделяне на топологичния граф $G(V,E)$ на подграфи $G_i(V_i,E_i)$ по определени критерии. Тази задача може да се реши по различни алгоритми, част от които са описани в изложението.

Разделянето на графа може да се извършва с алгоритми за декомпозиция. Те могат да се разделят на групи според определени зависимости.

На фиг. 1. е представена класификацията на алгоритмите за декомпозиция по различни критерии.

Фиг. 1. *Класификация на алгоритмите за декомпозиция*

Структурата на дадена електронна схема (система) може да се представи чрез неориентиран граф. Представянето може да стане по една от следните аналогии:

- *Аналогия 1:*

Множеството на върховете $V=(v_1,v_2,..,v_n)$ на графа се съпоставя с множеството на елементите на схемата, а множеството на ребрата $E=(e_1,e_2,\ldots,e_n)$ – с множеството връзките между тях.

- *Аналогия 2*

Множеството на върховете $P=(p_1,p_2,\ldots p_n)$ на графа се съпоставя на множеството на потенциалите на схемата, а множеството на ребрата $A=(a_1,a_2,\ldots a_n)$ – на множеството на елементите на схемата.

- *Аналогия 3*

Граф при който върховете са от две множества:
Множество 1 - върхове от първи вид - съответстващи на компонентите от схемата;
Множество 2 - върхове от втори вид - съответстващи на възлите на схемата.
Ребрата на графа съединяват само върхове от различни множества. Такова представяне е показано в [1].

За представянето на моделите могат да се използват както неориентирани така и ориентирани графи. Последните отразяват посоката на разпространение на сигнала.

В зависимост от представянето на обекта като графов модел алгоритмите могат да се разделят на:

- *Алгоритми за декомпозиция по аналогия 1;*

При тези алгоритми се получават външни ребра (връзки), които не принадлежат към нито един подграф, (подсхема). Към тях могат да отнасят съответно последователните алгоритми с отделяне и добавяне, както и някои интерационни алгоритми.

- *Алгоритми за декомпозиция по аналогия 2;*

Декомпозирането на графа при тези алгоритми е свързано с обособяването на

външни върхове (възли), които не принадлежат към нито един подграф, (подсхема). Към тях могат да се отнасят съответно последователните алгоритмите с припокриване и с неприпокриване.

- *Алгоритми за декомпозиция по аналогия 3.*

Тези алгоритми декомпозират схеми, структурата на която е представена чрез графов модел по аналогия 3. В резултат от декомпозицията се получава обединяване на върховете от първи вид и отделените върхове от втори вид. При тези алгоритми естествено разделяне се извършва над върховете от първи вид (елементите на схемата), а качеството на разделяне се оценява по елементите от множеството върхове от втори вид (потенциалите на схемата). Такъв алгоритъм е представен в [1].

От гледна точка на начина за намиране на решение алгоритмите се разделят на:

- *Последователни алгоритми;*

Последователните алгоритми се характеризират с това, че дават решение след окончателното си завършване. При тези алгоритми разделянето води до формиране на отделните подграфи чрез последователно прибавяне (отделяне) на връх и проверка на критерии за допустимост. След завършване на разделянето на първия подграф се преминава към формирането на следващия и така до пълното разделяне. Към последователните алгоритми за декомпозиция се отнасят алгоритмите с добавяне, алгоритъм отделяне, алгоритъм с припокриване, алгоритъм с неприпокриване [1,6,7,9].

- *Интерационни алгоритми;*

При интерационните алгоритми се използва едно предварително разделяне на графа на подграфи като първоначално решение. То се проверява по избраните критерии. В случай, че това решение не е оптимално се прилага интерационно подобрение. То обикновено е свързано с размяна на върхове от различни подграфи. Такъв интерационен алгоритъм е представен в [6].

- *Смесени алгоритми.*

Смесените алгоритми са комбинация от предните два вида. В зависимост от начина на използването им могат да бъдат интерационно - последователни или последователно - интерационни. Те обединяват предимствата на последователните и интерационните алгоритми. Целта е да се времето за решение на поставените задачи.

Декомпозирането на графовите модели е оптимизационна задача. За решаването и се използват един или няколко критерия. Най-често използваните критерии са: минимален брой външни връзки, минимален (максимален) брой върхове в даден подграф, силно свързани компоненти в графа и др.

В зависимост от използвания критерии алгоритмите се разделят на:

- *Алгоритми за декомпозиция по критерий минимален брой външни връзки;*

При тези алгоритми топологичния граф се разделя на подграфи по критерии минимален брой външни ребра или върхове в зависимост от аналогията по която е представена схемата. Такива са последователните алгоритми с препокриване и непрепокриване, алгоритмите с добавяне и отделяне, както и някои интерационни алгоритми.

- *Алгоритми за декомпозиция по критерий минимален (максимален) брой върхове в даден подграф;*

При тези алгоритми предварително е зададен допустимия брой върхове във всеки подграф. Задачата за декомпозиция на топологичния граф на подграфи може да се реши по последователни, интерационни и смесени алгоритми. Последователните алгоритми използват техника на добавяне или на отделяне.

- *Алгоритми за декомпозиция по критерий за силно свързани компоненти.*

Силно свързаните компоненти са тези компоненти в които всичките им върхове са силно свързани. Те могат да се отделят от ориентираните графи. Два върха v_i и v_j в ориентирания граф $G(V,E)$ са силно свързани, когато съществуват $(v_i\text{-}v_j)$ и $(v_j\text{-}v_i)$ пътища[2,3,4,5,8].

За намирането на силно свързани компоненти може да се използва алгоритъма за търсене в дълбочина. Друг начин е чрез

поелементното умножение на матриците за достижимост и контра-достижимост на ориентирания граф [2,3,5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разгледани са различни аналогии за представянето на електронни схеми и системи чрез графови модели. Посочени са различни критерии и алгоритми за декомпозиране. Предложена е класификация на алгоритмите.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящият документ е изготвен с финансовата помощ на договор № 1907Е за провеждане на научни изследвания по проект на тема: „Внедряване на иновационни ИКТ технологии в обучението“ към Технически университет – Габрово.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Kukenska V., Development of modular educational research dialog system for automated design in electronics., dissertation, Gabrovo, 1998.

[2] Mirchev I., Graphs Optimization algorithms in networking, University publishing "Neophyte Rilski", 2001

[3] Golumbic M., Algorithmic Graph Theory and Perfect Graphs Second Edition, Academic Press, 2004.

[4] Gould R.,C. Goodrich, Graph Theory, Department of Mathematics and Computer Science Emory University, 2012

[5] Manev K. Algorithms in graphs. Basic algorithms, Iskustvo, 2013.

[6] Dinev M., V. Kukenska, Matlab application for decomposition of graphs, XII International Conference Strategy of Quality in Industry and Enducation, Bulgaria, Varna, May 30 - June 2, 2016, pp 537-542, ISBN 978-966-2752-71-7

[7] Dinev M.., Structural decomposition OF graphs models, International Scientific Conference “UNITECH 2019” – Gabrovo, 18-19 November 2016, vol II, pp. 215-218, ISSN 1313-230X.

[8] Bojcheva S., S. Stoimenova., Discrete Mathematics. Theoretical the basic of informatics, Ciela, Sofia, 2018

[9] Dinev M., V. Kukenska, Comparison of decomposition algorithms, V – Scientific International Conference „Computer Sciences and Engineering“, Varna, 28-29 September 2018, ISSN 1312-333

PROCESS MODELING IN THE LINUX OPERATING SYSTEM

Valentina Kukenska[1], Matyo Dinev[1], Petar Minev[1], Ilian Varbov[1]
[1]*Technical University of Gabrovo*

Abstract
This paper focuses on the processes in the LINUX operating system. 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, Linux, modeling, probability analytical model, General Purpose Simulation System (GPSS)

1. INTRODUCTION

Different operating systems use different concepts: job, task, process. The term process was first used in the MIT MULTICS operating system of MIT in the 1960s and dominates today's operating systems. The shortest definition of a process is a program in the course of its implementation.

Modern computer systems can perform multiple processes simultaneously. It is accepted that this parallelism is called multiprogramming. Its purpose is more efficient use of the resources of the computer system. There are many processes at the same time, and the central processor (CPU) is only one and can perform only one of these processes at any one time. This process is running. The other processes are in some other state.

This paper focuses on the state of the LINUX operating system processes. A probabilistic analytical model based on Markov chains is proposed. It allows you to determine the probability of a process entering a certain state.

2. STATE OF THE PROCESSES IN LINUX

The LINUX processes can be found in one of the states (1 ÷ 6) represented by the state diagram of Fig. 1.

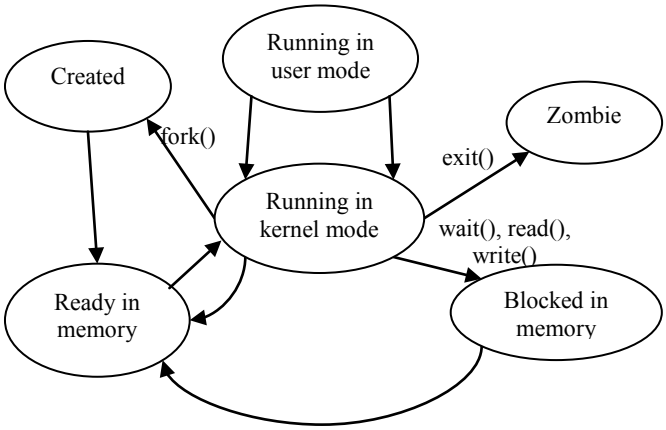


Fig. 1. *Diagram of process states*

1. Created. This is the initial state in which the process enters the system. It is a transient state of the process. It is almost created but not yet fully operational.
2. Ready in memory. The process is ready for execution and is in the memory.
3. Running in kernel mode. The process is executed in kernel mode, with the CPU executing commands from the kernel.
4. Running in user mode. The CPU executes commands from the process related user program.
5. Blocked in memory. The process awaits the occurrence of an event and is in the memory.
6. Completion (zombie). This is the final state of each process.

As shown in Figure 1, the execution state is split into two: execution in kernel mode and execution in user mode. When the process is in a state of execution in user mode, user

instructions are executed. In the kernel mode execution state, kernel instructions are performed in the context of the current process. The process can not directly go from user mode to blocking, standby, or completion. Such transitions are only possible through the "running in kernel mode" intermediate state. It is not possible to switch from "ready in memory" directly to "execution in user mode".

3. ANALYTICAL MODEL

Each process from its creation to its completion passes through different states (Figure 1). Process states are a finite number, but transition from one state to another changes over time and can be seen as a random process with discrete states. This process can be presented with a graph of states. Each state is marked with a circle, and any possible transition from state to arrow state.

Each possible sequence of process states forms a chain. Since the number of states is limited, the chain is final. Status transitions in state are performed at unknown time points, therefore the chain has a continuous time.

Let us present with a graph the state of the processes in the LINUX OS (Fig. 2).

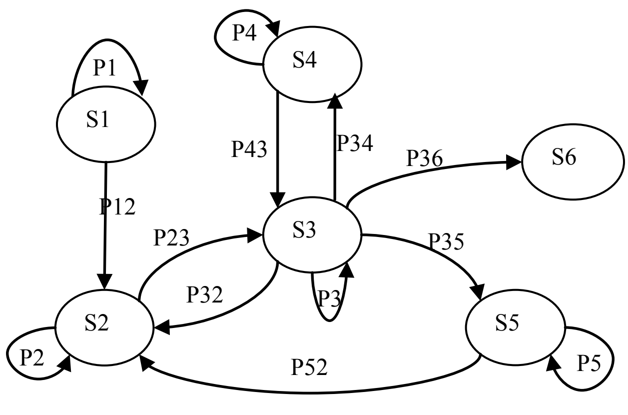


Fig. 2. *Graph of the process states*

We assume that the event $S_1(t)$ corresponds to the process creation $S_2(t)$ - the state of ready, $S_3(t)$ - of the state performed in the kernel mode, $S_4(t)$ - the state in the user mode, $S_5(t)$ - the state blocked and $S_6(t)$ - of the completed process.

Every process is always in one of the states at a time. Therefore, only one of the events $S(t) = S_i, (i = 1, 2, ..., n)$ occurs at any moment of time. If $p_i(t)$ indicates the probability of the process being in the S_i state, the normative condition (1)

$$\sum_{i=1}^{n} p_i(t) \qquad (1)$$

For every two time points, it is likely that the process will go into another state, as well as maintain its current state. These probabilities can be considered conditional.

The initial condition of the process is set with the vector of the initial probability distribution of the states (2):

$$P(0) = |p_1(0), p_2(0), \ldots, p_n(0)| = |p_i(0)|_{1\times n} \quad (2)$$

The vector $P(0)$ can be set in advance. It can also be occasional for a given time.

The state of the process after a number of times of change of time can be presented as a distribution of the probabilities of the states (3):

$$p(k) = |p_1(k), p_2(k), \ldots, p_n(k)| = |p_i(k)|_{1\times n}, \quad (3)$$

Where $k=1,2,3,...$ and $0 \le p_i(k) \le 1$. The transition probabilities $P_{ij}(k)$ for passing the process from state S_i to state S_j are set with an index matrix of transient states $P=|P_{ij}(k)|_{n\times n}$, $i,j=1,2, \ldots, n$.

With a given vector of the initial probability distribution of states $P(0)$ and a known matrix of transition probabilities P, the probability distribution vector of the states $p(k)$ for each step k can be determined.

If before step k, i.e. in the $(k-1)$ step the process is probable $p_i(k-1)$ in the S_i state, then the probability that after the step k is in the state S_j is determined by the full probability formula (4):

$$p_j(k) = \sum_{i=1}^{n} p_i(k-1).p_{ij} \qquad (4)$$

where $j = 1,2, ..., n$, and $p_i(k-1)$ are the probabilities of the hypotheses for conditions S_i $(i = 1,2, ..., n)$, and $P_{ij}(i=1,2, ..., n)$ are the probability probabilities given in j - pillar of the matrix P.

The analytical model of the process can be presented with the following equations and dependencies:

$$\begin{cases} p_1 = p_{11}.p_1 + p_{21}.p_2 + \cdots + p_{n1}.p_n \\ p_2 = p_{12}.p_1 + p_{22}.p_2 + \cdots + p_{n2}.p_n \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ p_n = p_{1n}.p_1 + p_{2n}.p_2 + \cdots + p_{nn}.p_n \\ p_1 + p_2 + \cdots + p_n = 1 \end{cases} \qquad (3)$$

If the probability matrix of the transient states is known, it is possible to determine the

probabilities of the process incident in each of the possible S_i states.

If the probability matrix of the transient states is:

$$P = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,8 & 0,2 & 0 & 0 \\ 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,3 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0,4 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0 & 0 & 0,7 \end{bmatrix}$$

the following result is obtained: P_1=0,02; P_2=0,48; P_3=0,24; P_4=0,18 and P_5=0,08.

4. MODEL SIMULATION

The proposed model is described in process-oriented language and simulated with the General Purpose Simulation System (GPSS).

```
; MS/1/
        GENERATE        90
PS1     QUEUE           QSS1
        SEIZE           SS1
        DEPART          QSS1
        ADVANCE         1
        RELEASE         SS1
        TRANSFER        .50,,PS1
PS2     QUEUE           QSS2
        SEIZE           SS2
        DEPART          QSS2
        ADVANCE         1
        RELEASE         SS2
        TRANSFER        .50,,PS2
PS3     QUEUE           QSS3
        SEIZE           SS3
        DEPART          QSS3
        ADVANCE         1
        RELEASE         SS3
        TRANSFER        .17,,PS1
        TRANSFER        .17,,PS2
        TRANSFER        .15,,PS3
        TRANSFER        .17,,PS5
        TRANSFER        .17,,PS6
PS4     QUEUE           QSS4
        SEIZE           SS4
        DEPART          QSS4
        ADVANCE         1
        RELEASE         SS4
        TRANSFER        .50,,PS3
        TRANSFER        .50,,PS4
PS5     QUEUE           QSS5
        SEIZE           SS5
        DEPART          QSS5
        ADVANCE         1
        RELEASE         SS5
        TRANSFER        .50,,PS2
        TRANSFER        .50,,PS5
PS6     QUEUE           QSS6
        SEIZE           SS6
        DEPART          QSS6
        ADVANCE         1
        RELEASE         SS6
        TERMINATE
; MS/2/
        GENERATE        100
        TERMINATE       1
```

Simulation of the model has given the status of the processes for a given time interval.

When looking at a process, part of the results obtained are:

FACILITY	ENTR.	UTIL.	AVE.TIME	AVAIL.	OWNER
SS1	2	0.010	0.500	1	1
SS2	4	0.040	1.000	1	0
SS3	2	0.020	1.000	1	0
SS4	2	0.020	1.000	1	0
SS5	1	0.010	1.000	1	0

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.
QSS1	1	0	2	2	0.000
QSS2	1	0	4	4	0.000
QSS3	1	0	2	2	0.000
QSS4	1	0	2	2	0.000
QSS5	1	0	1	1	0.000

For the specified time interval, the process under investigation was two times S_1, four times S_2, two times S_3 and S_4, one time S_5. At the end of the interval is the execution state (S_1).

The following data is obtained from ten processes:

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE.TIME	AVAIL.	OWNER
SS1	23	0.220	0.957	1	11
SS2	29	0.290	1.000	1	9
SS3	27	0.270	1.000	1	0
SS4	17	0.170	1.000	1	0
SS5	8	0.080	1.000	1	0
SS6	7	0.070	1.000	1	0

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME
QSS1	1	0	23	22	0.010	0.043
QSS2	2	1	30	28	0.020	0.067
QSS3	2	0	27	24	0.030	0.111
QSS4	1	0	17	17	0.000	0.000
QSS5	1	0	8	8	0.000	0.000
QSS6	1	0	7	7	0.000	0.000

5. CONCLUSION

A probabilistic analytical model of processes in the LINUX operating system is proposed. It determines the probability that the process being studied is in a certain state at a given time, as well as the probability of it being in a certain state after a certain time. The model is simulated with the GPSS software. The proposed model can be used to model and study discrete-state processes.

6. ACKNOWLEDGMENT

The work presented in this paper was funded been prepared with the financial assistance of contract No. 1907E for conducting research on a project "Implementation of innovative ICT technologies in training" at the Technical University of Gabrovo.

7. REFERENCES

[1] Clymer, J. System Analysis Using Simulation and Markov Models, Prentice-Hall, N. J., 1990.

[2] Daniel P Bolvet, M Cesati, Understanding the LINUX Kernel, O'Reilly Media, 2000

[3] FerreiraF., A. Pacheco, Simulation of semi-Markov processes and Markov chains ordered in level crossing, Next Generation Internet Networks, 2005, pp. 121-128.Tavel, P. 2007. Modeling and Simulation Design. AK Peters Ltd., Natick, MA.

[4] Herbort C., UNIX- Practical Visual Guide, SoftPress, 2005

[5] Silberschatz A., Operating System Concepts, N.Y., 2009

[6] Stallings W., Operating Systems: Internals and Design Principles, N.Y., 2008.

НАПРАВЛЕНИЕ 3

АВТОМАТИКА

SESSION 3

AUTOMATION

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

MEASURING THE CONSUMPTION OF ELECTRONIC DEVICES IN A SLEEP MODE WITH LOW-COST DAQ DEVICE

Stefan Ivanov
Technical University of Gabrovo

Abstract

Current paper presents a development of low-cost system for measurement of currents in micro-amps range which can be used for evaluation of consumption of electronic devices in sleep mode. The system consists of shunt resistor, amplifier devices, DAQ devices and LabVIEW virtual instrument for data processing. The system can be used for measurements of the profile of current consumption of the system with up to 10K samples/sec.

Keywords: DAQ, current measurement, virtual instrumentation.

INTRODUCTION

The current measurement [1,2] is basic task is in electrical measurements. Measuring current for a given period of time it is possible to determine the consumption of electronic devices. The consumption is vital characteristic for battery powered devices, because it characterizes the time for operation of devices related to the capacity of batteries.
Unfortunately, the equipment for measurement the current with sampling rate of several kHz is expensive while the commercially available multimeters are not suitable for measurements of short bursts of current consumption because of the slow rate of measurements.
Using DAQ devices it is possible to be built a system with sufficient sample rate which can gather measured data on PC.

TEST PROBE FOR CURRENT MEASUREMENTS

One of the ways to measure current is to use shunt resistor serially connected to the device under test. The shunt resistor can be connected to the high or low side. The voltage that can be measured across the shunt resister has a very low value because the low value of shunt resistor and therefor it is necessary to be amplified. The amplified voltage in current system is measured by DAQ NI-6008, and after that the received data are transferred to the personal computer. The block diagram of realized system is presented on Fig.1.

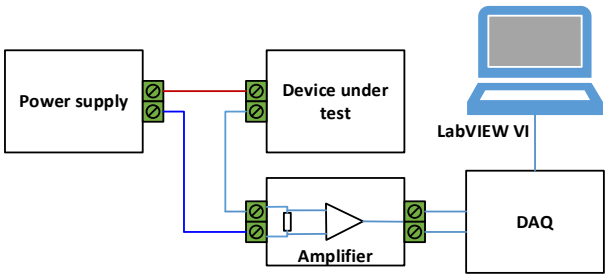


Fig. 1. *Block diagram of the system*

The main part of the system is the current sensor (Fig.2). It consists of shunt resistor and two operation amplifiers. The operational amplifier used in the circuit is OPA320AIDBVR [3]. It has the following characteristics: low offset voltage, high CMRR (common mode rejection ratio), Rail-to-Rail inputs and outputs, low noise and low quiescent current.

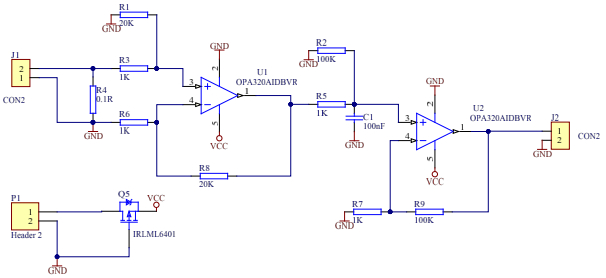


Fig. 2. *Electric circuit*

In the circuit is realized a RC filter for noise suppression. The cut-off frequency of the filter is evaluated to be 1.5kHz. The filter is used to minimize the effect of very short bursts in

current consumption. On Fig.3 is presented the response of the low-pass filter.

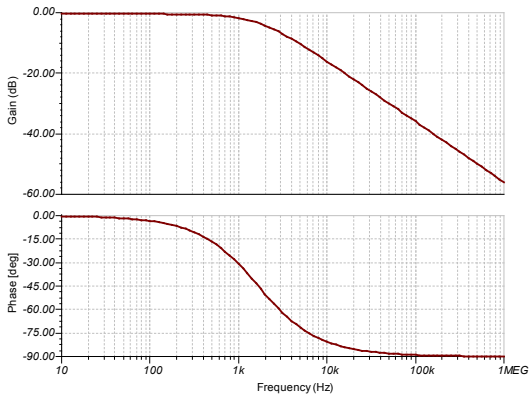


Fig. 3. *Low-pass filter characteristic*

The current sensor device is powered by two AA batteries and can be used for current measurement as low-side or high-side measurement probe. Fig.4 presents the view of the device.

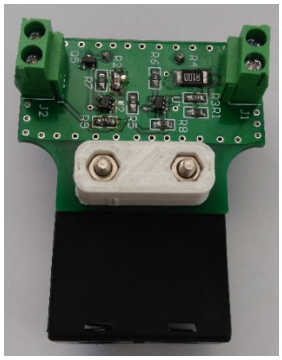


Fig. 4. *Current sensor*

LABVIEW VIRTUAL INSTRUMENT

For data acquisition is used DAQ device NI-6008 [4], a low-cost product of National Instruments. It has 8 analog inputs which can be used for data logging with up to 10ksamples/sec. The DAQ device is controlled by the personal computer which executes a LabVIEW[5] virtual instrument. The virtual instrument (VI) allows processing of incoming data for measured voltage and their conversion to current in µA range. The received data can be saved in Excel file. Fig.5 shows the Front panel of the virtual instrument.

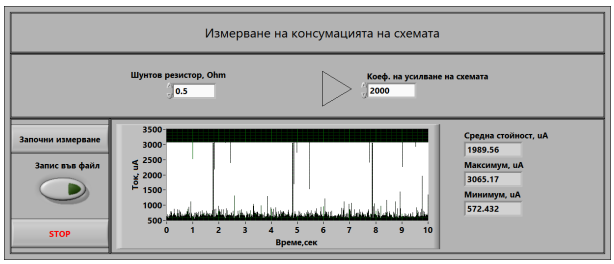


Fig.5. *Front panel of developed VI*

The Block diagram (Fig.6) of virtual instrument uses Express function for fast statistical processing of current values. The mean value for current consumption also as minimum and maximum values are evaluated.

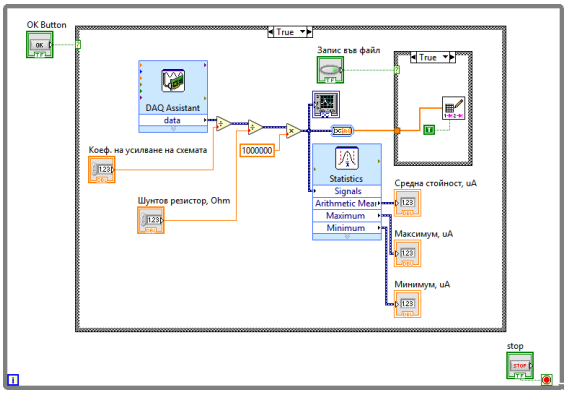


Fig. 6. *Block diagram*

TEST RESULTS

The device under test is battery powered electronic device. It works for less than 250ms with full power and next 3sec. switches off some of its periphery and operates in low-consumption modes. The DAQ system gives us possibility to gather data for relatively long periods of time. The sampling rate is selected to be 1ksamples/sec. For our case it is enough. The gathered data for current consumption is saved to a file.

Fig.7 shows the consumption of device measured by the developed current sensor for period of about 5 seconds. There definitely can be seen the moments of operation in full power of electronic device.

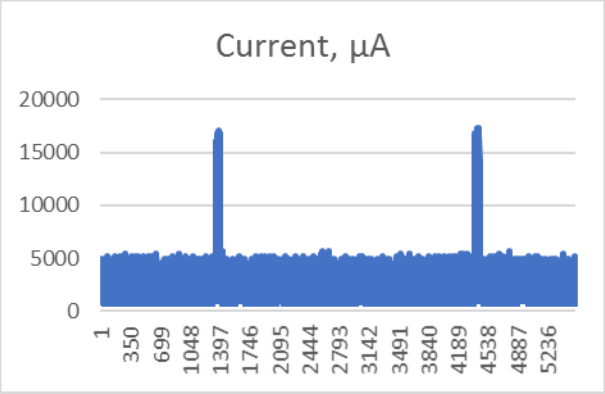


Fig. 7. *Current consumption of the device*

When we have all data, we can visualize it entirely or take portions of it for further processing. For partitioning of gathered data is developed a virtual instrument. It allows to be taken a part of entire data array and this part to be saved in new file. The VI also evaluates the mean value of selected data set. Fig.8 presents the Front panel of virtual instruments.

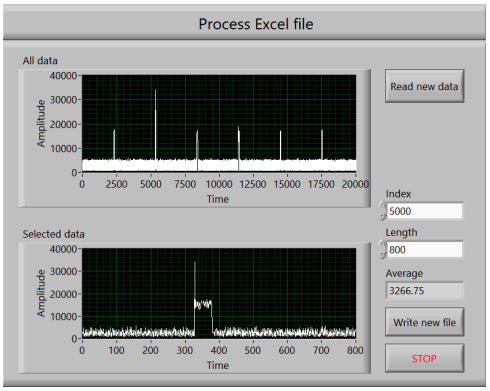


Fig.8. *Front panel of VI for data partitioning*

The block diagram of this VI is shown on Fig.9.

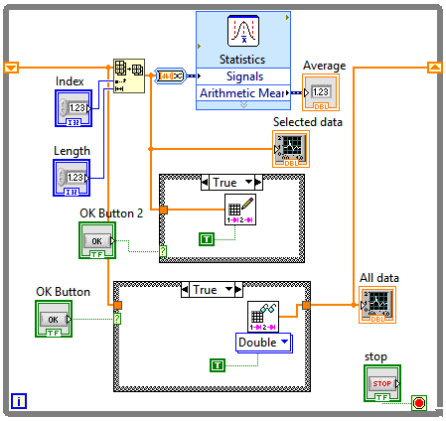


Fig. 9. *Block diagram of VI*

Using the VI for data partitioning we can separate data and after that to make more detailed view of acquired data. Fig.10 represents the current consumption of electronic device while operating in full power.

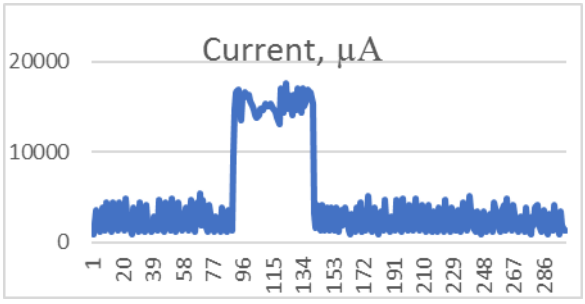


Fig. 10. *Current in full power mode of operation*

Interesting results are measured when the electronic device under test is in low consumption mode (Fig.11). In this mode of operation, the measured current is like a noise signal. The reason for this noisy signal is the operation of the buck regulator of electronic device.

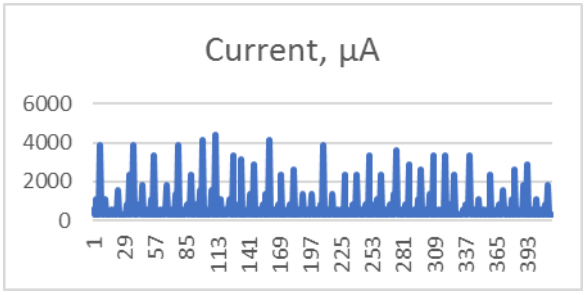


Fig. 11. *Current consumption in low-power mode*

The data acquisition can be implemented with higher sampling rate, if necessary, and in this case, we will have more detailed view of current change.

CONCLUSION

Developed system uses low-cost DAQ device and active current probe, tailored for measurement of currents in microampere and milliampere range. The system compared to other measurement hardware is cost effective alternative which can be used to measure current with speed up to 10ksamples/sec.

Developed LabVIEW virtual instruments allows visualization of measured data and partitioning of long data files to smaller ones and extraction of most interesting data sets from entire array for further analyses.

REFERENCE

[1] Simplifying Current Sensing, Texas Instruments, SLYY154, www.ti.com
[2] Current Sensing Circuit Concepts and Fundamentals, Microchip, AN1332, www.microchip.com
[3]https://www.ti.com/store/ti/en/p/product/?p=OPA320AIDBVR
[4] https://www.ni.com/en-rs/support/model.usb-6008.html.
[5] https://www.ni.com/en-rs/shop/labview.htm

OPTIMIZATION OF CONTROL ALGORITHM IN SMALL HYDROPOWER PLANT

Sladjana Djurasevic, Uros Pesovic
University of Kragujevac, Faculty of technical sciences in Cacak, Serbia

Abstract
Small hydropower plant is one of the widely used type of renewable energy sources in South Eastern Europe. Due to high investment cost the typically operate as single or two unit SHP. Due variable inflow conditions control algorithms for multi-unit SHP need to be site-specific oriented in order to maximally use available hydro potential. This paper represents methodology for improving general control algorithm by analyzing SCADA data collected for prolonged period of SHP operation in various inflow conditions. Based on the observation on real data, control algorithm is optimized for site-specific operation, which is expected to increase energy production for 2%.

Keywords: Small Hydro power plant, SCADA, Control algorithm, Energy efficiency, optimization.

INTRODUCTION

Small hydroelectric power (SHP) plants represent one of the key cornerstones of renewable energy sources. Unlike large hydro power plants, their impact on environment is considerably lower, as they don't employ large dams. They are design to run on river or as derivation type, so their production is tightly coupled with water inflow. Since they are typically build on small mountains streams and rivers which have high variations of inflow during year [1]. In order to use as much from available hydro potential they are typically build with single or two generating units. SHP with single generating unit has benefit of low investment, but their drawback is that they only use certain inflow range. They cannot work with both with small and high inflows, so in such cases available hydro potential will be lost. Two unit SHPs employs two generating units which power is arranged in ratio 2:1, so this type of SHP can use broader inflow range. For small inflows SHP operates smaller unit, for medium inflows larger unit is operated, while for large inflows both units are operational. This type of SHP has higher investment costs which pays off due better usage of hydro potential and since two unit SHP has higher availability in case of unit breakdown. Two unit SHPs, require control algorithm which will decide which unit will be operational. Challenge in control of SHP is that inflow is typically not measured directly using flow meter, since it usage will increase cost and reduce available head. Instead, inflow is typically measured indirectly using level measurement on inflow weir or in water chamber. Main objectives of control algorithm is to operate SHP at maximum efficiency by selecting appropriate unit for inflow conditions and also to keep the number of unit starts to less than five in order to reduce wear and tear on equipment [2,3]. The algorithm for switching units cannot be generalized and it's site-specific. In this paper we represent methodology of improving control algorithm of SHP by analyzing SCADA stored data.

EXPOSITION

Data on the operation of the small hydropower plant is collected and archived using the Citect SCADA (System Control and Data Acquisition), which represents software application for industrial process monitoring and control. It consists of a number of components that allow viewing and archiving current process values and alarms, generate reports and etc. The collected data can be visualized in a chart which enables staff to gain a better understanding of the operation of equipment and facilities [4,5].

The collected data is archived cyclically by the trend server and stored on the local hard drive, from where the data is accessed for analysis purposes. Citect uses a rotary storage system where logged data is archived into several files (default number is 2) that are changed every Sunday at midnight GMT. The data is stored in files with the file name and extension corresponding to the serial number of the historical file. When the last file is cycled, SCADA begins a new cycle in which previously stored values in file are lost. The data can be stored in a double precision format that takes up 8 bytes per single data, or in an abbreviated integer format that takes up 2 bytes per single data. In this particular case, the trends that are being collected in small hydropower plants can be classified into the following categories:

- Hydrostatic parameters (water level)
- Parameters of medium voltage distribution network (voltage, current, active and reactive power)
- Transformer parameters (transformer winding temperature)
- Turbine parameters (turbine speed, pipeline pressure, conduit position, hydraulic oil pressure and temperature)
- Generator parameters (voltage, current, active and reactive power, cosφ, winding temperature and bearing temperature)
- Other parameters (indoor and outdoor temperature)

In this paper data archived by SCADA system during the three months of operation (April to June) was used. From the available parameters, the following parameters, which are important for the purposes of data analysis in both hydropower plants, are monitored:

Table 1. *Parameters used in data analysis*

Parameter	Unit
Water intake level	cm
Water chamber level	cm
H1 MV cell active power	kW
H3 MV cell active power	kW
Unit funeral circuit position	%
Unit speed	%
Unit penstock pressure	bar
Unit active power	kW

The hydropower unit can operate in three control modes: manual, automatic and joint control. Manual operation requires all commands to be given by the operator in order for the unit to start operating. This control mode is only used when testing and commissioning of the unit. Automatic control allows the unit to run in a program-defined sequence whereby the unit operates independently in one of two operating modes: constant power mode and level control mode. If the unit operates in constant power mode, it will maintain the set power regardless of the water level in the water chamber, as long as the conditions for safe operation of the unit are fulfilled (water level in the water chamber is higher than the stop level). In level control mode, the unit will maintain the set level in the water chamber, adjusting the turbine power to the current water supply. SHP typically operates in the joint control mode, where unit operation is controlled by a separate PLC, which requires both units to operate at a certain constant power. The PID controller regulates the water level in the water chamber and, depending on the required power level, the PLC controller operates one or both units. The power distribution required by the PID controller is done in three stages. When the required power of the controller is less than the first level, a smaller unit with the required power will operate. When the first power level is exceeded, a smaller unit will be switched off and a larger unit will be started to operate at the required power level. When the second power level is exceeded, a smaller unit will be switched on and the required power level will be distributed as a percentage to both units. The maximum power that may be required from unit is limited by the hydropower permit of the power plant. To avoid frequent unit switching cycles, a power hysteresis is added. In case one of the units does not have all necessary conditions to start operation, the other unit will be started instead.

Since the primary task of the PID controller is to regulate the water level in the water chamber, it will require the maximum possible power according to the current control algorithm to achieve the level control. During the analysis of the data, it was observed that this phenomenon occurs frequently, leading to

situations where the units are unnecessarily switched on, which increases the wear of the equipment and reduces the efficiency of the hydroelectric power plant. For example, a slight increase in the level in the water chamber will result in a demand for more power, which in the short run will trigger the process of switching on the additional unit and if it is not currently needed. This phenomenon is also common when starting a hydroelectric power plant when the water level in the water chamber is high, as shown in Fig 1.

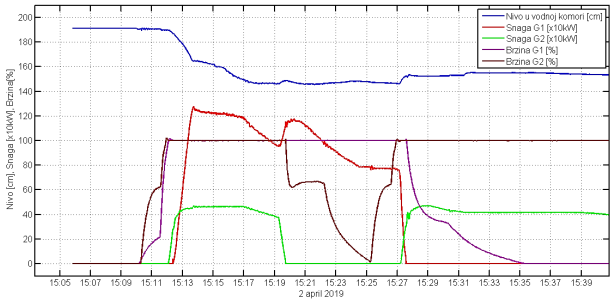


Fig. 1. *Improper start sequence of two units*

The hydropower plant was started with a high water level in the 190 cm water chamber. Since the control level in the water chamber is 160 cm, the PID controller requires operation with maximum power to reach the control level, which results in the start of both G1 and G2 units. The start-up of both units quickly lowers the water level in the water chamber because the flow of water is insufficient for the continuous operation of both units, and soon the smaller unit will shut off when the water level drops below the control level. The hydroelectric power plant continues to operate with the larger unit and the water level continues to decline, so the larger unit will be shut off so that the hydroelectric power station will continue to operate continuously with the smaller unit. This results in unnecessary switching on of both units for a short period of time, which results in unnecessary wear and tear on the equipment and reduces the accumulation of water during the switching on of the unit until the unit reaches synchronous speed and is synchronized to the distribution network.

Changes in levels can also cause a transition from a smaller to a larger unit where the larger unit can remain operating for a longer period at the low power level required. The analysis found that for the same inlet at the boundary of the transition from the smaller to the larger unit, the smaller unit produces about 60 to 70 kW more power than the larger one, as shown in Fig 2.

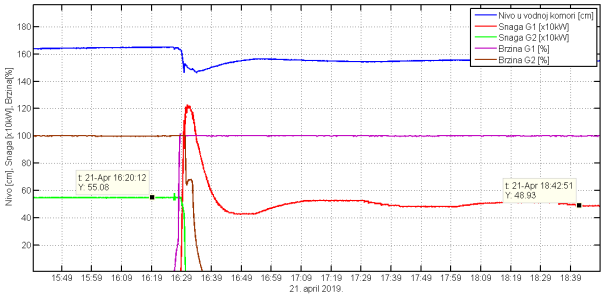


Fig. 2. *Transition from smaller to larger unit due inflow variation*

Based on the performed data analysis and the observed shortcomings of the currently implemented integrated control algorithm, the following changes in the mode of regulation by level in the water chamber are proposed:

Operation in this mode is controlled by a PID controller, which can operate in three modes (Mode G2, Mode G1 and Mode G1 + G2) between which it switches when the water level in the water chamber goes above the upper level setpoint (*Level Plus*) or drops below the lower level setpoint (*Level Minus*). These levels differ from the Setpoint Level PID control level by a few tens of centimeters, thus preventing changes to the operating mode of the controller due to small variations around the Setpoint Level control level. The formation of water reserve in intake channel prevents changes in the mode of operation due to small variations in inflow. The maximum value at which the upper switch level (*Level Plus*) can be set may correspond to the overflow level on the water chamber. The minimum value at which the lower switch level (*Level Minus*) can be set is unit shutdown level due to the low level u on the water chamber.

The hydropower plant in the joint control mode starts its operation depending on the water level in the water chamber. If the water inflow is low, an overflow in the water chamber will occur at a certain level which is less than the setpoint (*Level G2 overflow*) and the controller will start to regulate the level in Mode G2 mode, whereby the required power will be assigned to a smaller unit. In this mode

of operation, the output of the PID controller will be limited by the operating range of the permitted power of the smaller unit G2. If the overflow level is higher than *Level G2 overflow*, the PID controller will start to regulate the level in Mode G1 mode whereby the required power will be allocated to a larger unit G1. If the overflow level is higher than the *Level G1 overflow*, the controller will start to regulate the level in G1+G2 Mode whereby the required power will be divided between the smaller and larger units. The analysis of the data revealed that both units proportionally regulate the required power level, which is constantly changing in the joint control, which can cause frequent demands for positioning of the funeral circuits of both units. To overcome this situation, it is suggested that in the operating mode when both units operate, the smaller unit operates at a constant power level, while the larger unit performs power regulation. This approach will avoid the situation that a smaller unit is operating in an area where it is less efficient and a larger unit will operate in an area close to maximum efficiency, which will improve the efficiency of the hydropower plant.

CONCLUSION

The paper presents optimization of control algorithm of the SHP in order to improve energy efficiency in multi-unit SHP. Implemented algorithm is expected to improve energy production for about 2%, which will be verified by observing production data for the following year.

ACKNOWLEDGEMENT

The work presented in this paper is part of the research of project TR32043 for the period 2011-2019, funded by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia, and Innovation grant No 406 funded by Innovation Fund of Serbia.

REFERENCE

[1]Grandmaitre, Y., "Low Cost, Operator Friendly Controls for Small Hydro – Fact or Fiction?", HydroVision 2000, North Carolina, USA, August 2000.

[2]V.Rajeswari, Y.Rajeshwari,L.Padma Suresh, "Real- Time Implementation of Hydroelectric Power Plant Using PLC and SCADA", International Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 2, Issue 3, May-Jun 2012, pp.899-902

[3] E. N. Yilmaz, M. Karayel, "PLC based SCADA for micro hydroelectric power plants", International Journal of Electrical Energy, Vol. 4, No. 1, March 2016

[4] Sukhmeet Kaur, Namita Kathpal, Nitika Munjal, "Role of SCADA in hydro power plant automation",International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 4, Issue 10, October 2015

[5] M. Janković, P. Ninković, S. Dobričić, T. Gajić, J. Dragosavac, Z, Janda, "Automation of small hydropower plant Raska",

GESTURE COMMANDS IN HOME ENVIRONMENT

S. Stankov
Technical university of Gabrovo

S. Ivanov
Technical university of Gabrovo

Abstract
For disabled people it is difficult to reach a place at home for to do something specific. Using a surveillance camera we capture the gesture of a person's hand for activating a specific command.

Keywords: DNN, Gesture Recognition, Linux

INTRODUCTION

Nowadays many places are automated using sensors, artificial intelligence and other technologies. In home environment disabled people are having difficulties in reaching some areas for switching a light or some other common action. This papers presents a home automation using a camera for command recognition.

TECHNOLOGIES FOR GESTURE RECOGNITION

Many technologies exist for gesture recognition – using kinetic sensor, brain activity, skin recognition and others. The most modern and reliable method is using a camera and DNN (deep neural networks) for detecting human gesture and execute based command type. Systems like this are used in areas such as automation for different objects or areas, virtual realities, distance control and others.

SYSTEM HARDWARE

The hardware is based on a Raspberry PI linux board. The motherboard features Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU, 1GB RAM it also has Bluetooth, Wireless LAN, 40 GPIO for general purposes, 4 USB ports, camera slot and a DSI display port. With the current specification various tests can be ran with different cameras such as USB or IP and the input data can be viewed on a HDMI or DSI display. The board supports various OS types such as : Ubuntu, Raspbian, Windows 10 IoT [1].

The video controller can support modern television resolution standards such as HD and Full HD as well as higher and lower resolutions of older camcorders. Can also generate 576i and 480i composite video signals for PAL-BGHID, PAL-M, PAL-N, NTSC and NTSC-J.

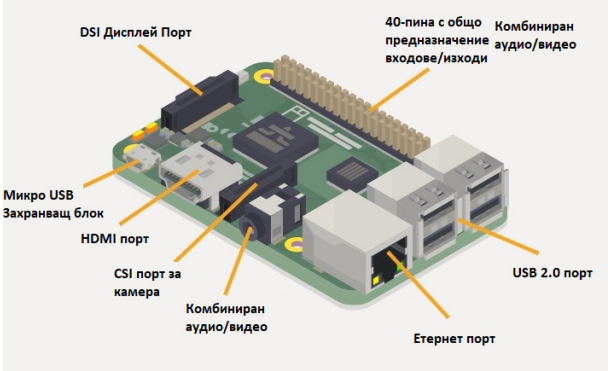


Fig. 1. *RASPBERRY PI 3 MODEL B*

PI NOIR CAMERA V2

The camera module can meet for high-definition video playback, as well as for still pictures. Support 1080p30, 720p60 and VGA90 video modes.
Video camera support h.264

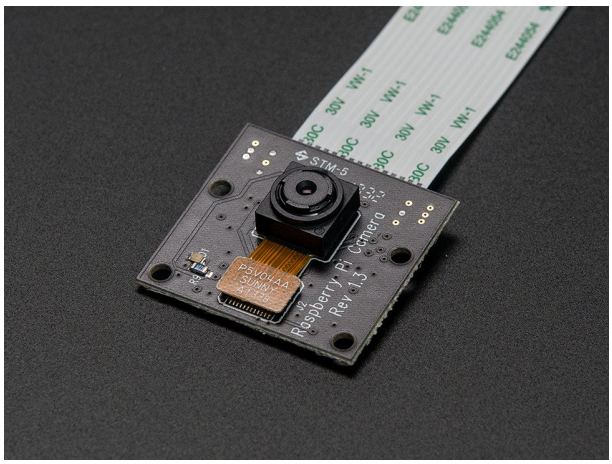


Fig. 2. *Camera Raspberry Pi Noir*

VPU UNIT

The Movidius stick is Vision Processing Unit(VPU) that uses specialized processor with high computing capacity to perform complex operations on static and dynamic data using artificial neural networks. For real-time video processing, it can derive and compare every information in the series of frames, which means that it performs calculations depending on values of image pixels. Thus, creating communication between the Raspberry Pi and the VPU as the Raspberry Pi transmitting data to the VPU for further processing it is received a significant acceleration of performance.

Fig. 3. *Movidius VPU*

TRAINING THE NEURAL NETWORK

A neural network has been trained using the MobileNet architecture which provides high speed for detecting objects and also it can be used on different platforms.

The training requires a preliminary database of photos from which it is necessary to extract the characteristics of the objects which have to be found after that.

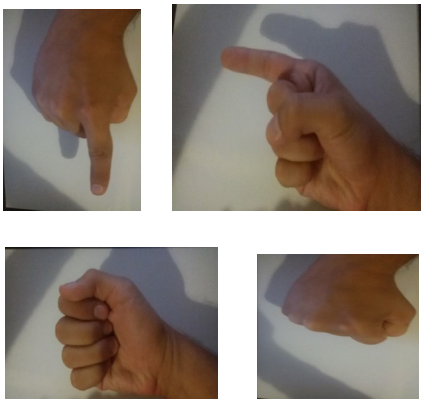


Fig. 4. *Examples of training images for neural network*

How high accuracy and depending on the architecture on the neural network different amount of images are requirered for reaching high accuracy, usually around 200 images per object. For training were used the machine learning library TensorFlow and python programming language, The neural network is able to recognize multiple objects and by doing software filtering which object is a gesture, human head or body it is possible to process commands based on the image data.

SOFTWARE TOOLS USED FOR IMPLEMENTATION OF ALGORITHM

To implement the presented algorithm are used several software technologies. For processing of images is used OpenCV [2]. This is an open source computer vision and machine learning library. It is designed to provide a common computer vision application infrastructure and accelerate machine perception. The library has more than 2,500 optimized algorithms that include a comprehensive set of classical and advanced computer visions and machine learning algorithms[3]. It has C ++, Python, Java and MATLAB interfaces and supports Windows, Linux, Android and Mac OS. OpenCV mostly relies on real-time vision applications. There are over 500 algorithms and about 10 times more features that compose or maintain these algorithms.

TensorFlow - TensorFlow is an end-to-end open source platform for machine learning. It has a comprehensive, flexible ecosystem of tools, libraries and community resources that lets researchers push the state-of-the-art in ML

and developers easily build and deploy ML powered applications.

ALGORITHM

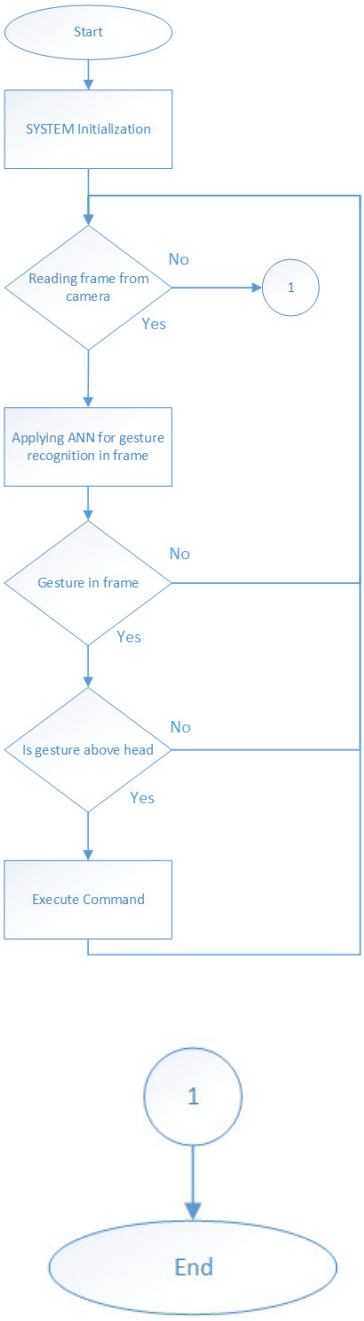


Fig. 5. *Algorithm for gesture detection*

The algorithm starts with importing the specified libraries and initializing the USB camera. After reading each frame it has been scanned applying the trained artificial neural network for gesture recognition. If the gesture is found and it is above the person's head a command is being executed.

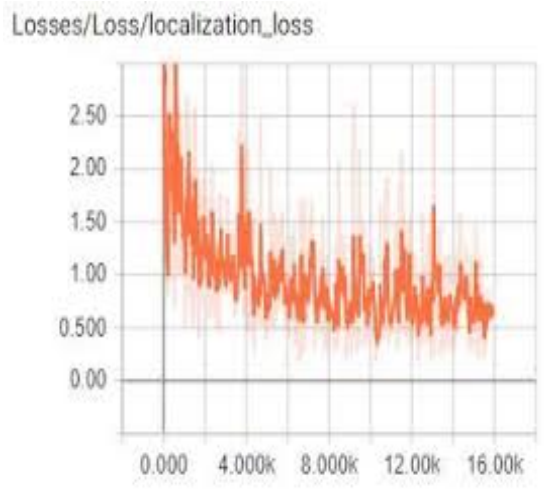


Fig. 6. *Results in training the neural network using TensorBoard*

EXPERIMENTAL RESULTS

In industrial environment it is a common problem that works may not be able to reach a control terminal for different reasons. Using artificial neutal networks a solution is provided for automated gesture recognizing system that is able to execute multiple commands based on a human gesture (if the gesture is above his head). The reason for processing the command after the gesture is above his head is because if it is below a person's head he may do that gesture by accident causing an unwanted process to execute.

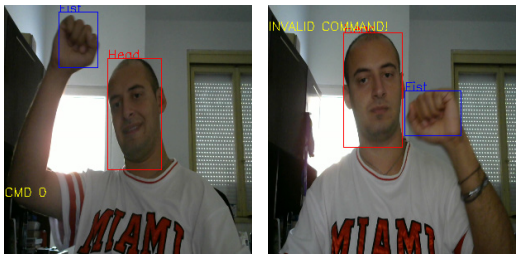


Fig. 7. *Attempting to perform first command invalid / valid state*

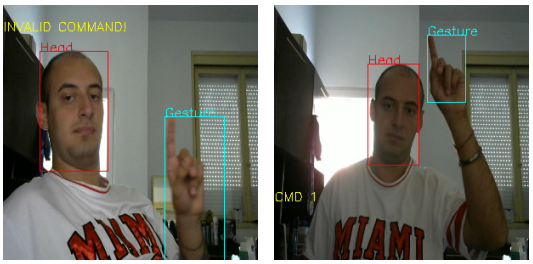


Fig. 6. *Attempting to perform second command invalid / valid state*

For training of the neural network for finding dangerous objects 300 images were used extracting their characteristics and training an neural network with MobileNet architecture for 200 000 cycles for reaching the maximum accuracy. The system can detect objects at a different instance. The neural networks find the objects and places a label with their name. The speed for finding objects is around 100ms and it is highly dependent on the input camera resolution. These results were achieved with input resolution 800x600 px. Using a higher resolution, the mentioned speed will be slower while using a lower resolution it will be faster.

CONCLUSIONS

The proposed vision system uses low-cost components and commercially available technologies for detection of gestures in a industrial zone.

The system is effective in recognition of human head, gestures and other objects if needed.

REFERENCE

[1] - https://www.raspberrypi.org
[2] - https://opencv.org/
[3] Packt Publishing, OpenCV 3 Computer Vision Application Programming Cookbook 2017.

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА ЗА ЗАГРЯВАНЕ НА ВОДА И ОТОПЛЕНИЕ

AUTOMATIC HOT WATER SYSTEM AND HEATING OF A BUILDING

Dimitar Spirov
University of Food Technologies – Plovdiv

Nikolay Komitov
University of Food Technologies – Plovdiv

Abstract

A hot water system and heating of a building was studied. The system contains a bio-fuel tank, boiler and radiators. The electro-thermal analogy was used in the modelling of the system and an electrical equivalent scheme was obtained based on the generalized heat model and the identification of the thermal parameters. An automatic water temperature control system with PI regulator has been developed. Simulation results for the water temperature and the thermal capacity in the leakage of water from the boiler was obtained.

Keywords: hot water system; electro-thermal analogy; automatic control system.

ВЪВЕДЕНИЕ

Нарастващото търсене на котли с биогориво за битово отопление е обосновано от тяхната висока ефективност достигаща 90 %, ниското количество на вредни емисии получени при работата им, лесното обслужване [1, 2]. Като биогориво могат да бъдат използвани дървесни пелети, дървесен чипс, сено, отпадъчни селскостопански продукти.

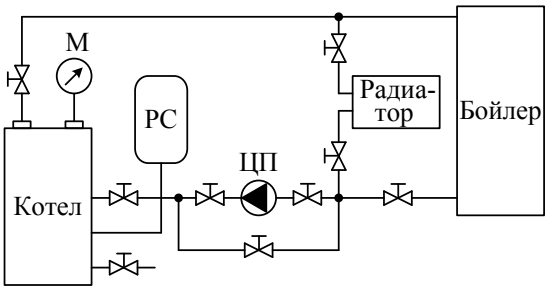
В литература [1] е направено изследване на комбинирани системи включващи различни енергийни източници като биогориво, слънце, електричество. За управление на котела е използван двупозиционен регулатор.

В литература [3] е проектирана система с котел на биомаса, два топлообменника и регулатор на Смит. Направено е сравнение със система управлявана чрез затворен контур и ПИД регулатор.

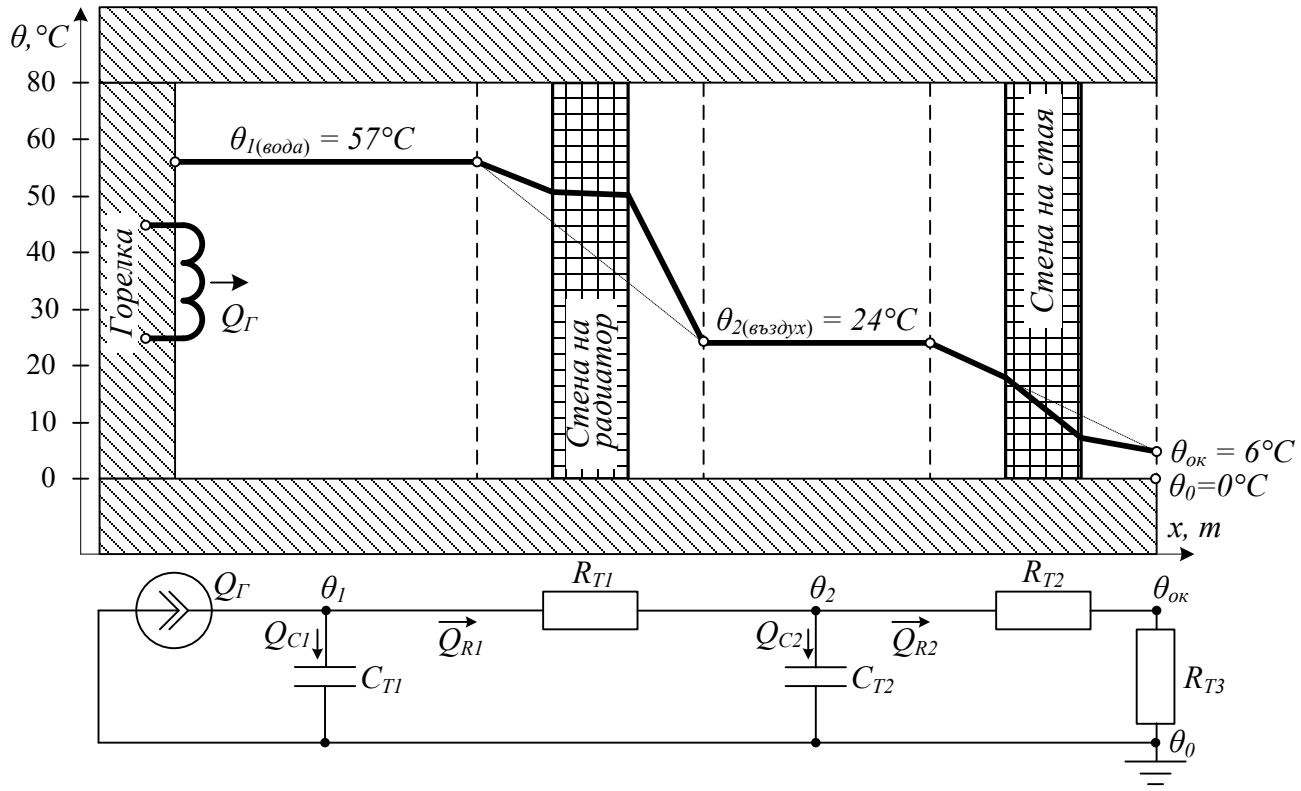
Целта на настоящото изследване е да се разработи математически модел на система с котел на биомаса, който да бъде сравнен с реално изградена система.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Схема на съществуваща инсталация е представена на фигура 1. Котелът на биомаса е с автоматично зареждане на горивото с капацитет 4.10^4 kcal/h и воден обем 80 литра. В целия обем се поддържа еднаква температура на водата посредством циркулационна помпа (ЦП) От изходната тръба на котела загрятата вода постъпва към консуматорите - радиатори и 300 литров бойлер, свързани паралелно (на фигурата е показан само един от радиаторите). На входа и изхода на котела, радиаторите, бойлера и циркулационната помпа са поставени спирателни кранове. Използван е разширителен съд (РС) с вместимост 100 литра. Към котела е монтиран манометър (М) за измерване на температурата.



***Фиг. 1**. Схема на съществуващата инсталация*



***Фиг. 2**. Обобщен модел на системата*

На фиг. 2 е даден топлинен модел на системата. При анализа на процесите е използвана електро-топлинната аналогия (Таблица 1). На същата фигура е дадена и електрическата заместваща схема, отразяваща аналогичните топлинни процеси.

***Таблица 1.** Електро-топлинна аналогия*

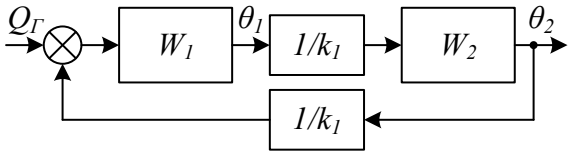
Топлинен параметър	Електрически параметър
Топлинен поток (Топлинна мощност) – Q, [W]	Електрически ток - I, [A]
Температура – θ, [°C]	Електрически потенциал – φ, [V]
Температурна разлика – $\Delta\theta$, [°C]	Електрическо напрежение – U, [V]
Топлинно съпротивление – R_T, [K/W]	Електрическо съпротивление – R, [Ω]
Топлинен капацитет – C_T, [J/K]	Електрически капацитет – C, [F]

За двата възела на заместващата схема (фиг. 2) можем да запишем:

$$\begin{aligned} Q_Г &= Q_{R1} + Q_{C1}; \\ Q_{R1} &= Q_{R2} + Q_{C2}, \end{aligned} \qquad (1)$$

където: $Q_{R1} = R_{T1}(\theta_1 - \theta_2)$; $Q_{R2} = (R_{T2} + R_{T3})\theta_2$; $Q_{C1} = C_{T1}d\theta_1/dt$; $Q_{C2} = C_{T2}d\theta_2/dt$.

На база на системата диференциални уравнения, описващи процесите в разглежданата инсталация, получена от система (1) [4] е съставена структурната схема, дадена на фиг. 3.



***Фиг. 3**. Структурна схема на обекта за управление*

Предавателните функции W_1 и W_2 на звената са:

$$W_1 = \frac{k_1}{T_1 s + 1};\ W_2 = \frac{k_2}{T_2 s + 1}, \qquad (2)$$

където: $k_1 = R_{T1}$; $k_2 = R_{T1}R_{T23}/(R_{T1} + R_{T23})$; $R_{T23} = R_{T2} + R_{T3}$; $T_1 = k_1C_{T1}$; $T_2 = k_2C_2$; R_{T1}, R_{T2}, R_{T3} – топлинни съпротивления съответно на стена на радиатора, на стена на стаята и на околната среда; C_{T1}, C_{T2} – топлинни капацитети съответно на водния обем и на въздушния обем в системата.

Едноконтурно управление

Еквивалентната предавателна функция се получава:

$$W_O = \frac{W_1 W_2 / k_1}{1 - W_1 W_2 / k_1^2} = \\ = \frac{k_2}{T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2)s + (1 - k_2 / k_1)}. \quad (3)$$

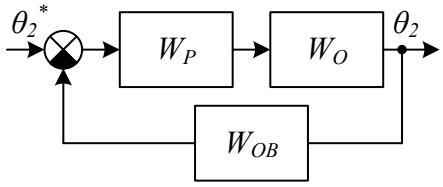
Разделяме двете страни на уравнението на $(1 - k_2/k_1)$ за да го приведем в стандартна форма. Предавателната функция на обекта, получена от уравненията на Ойлер [4] е:

$$W_O = \frac{k_e}{(T_{e1}s + 1)(T_{e2}s + 1)}, \quad (4)$$

където: $T_{e1} = -1/s_1$; $T_{e2} = -1/s_2$; $s_{1,2} = [-a_1 \pm (a_1^2 - 4a_2)^{1/2}]/(2a_2)$; $a_2 = T_1T_2/(1 - k_2/k_1)$; $a_1 = (T_1 + T_2)/(1 - k_2/k_1)$; $a_0 = 1$; $k_e = k_2/(1 - k_2/k_1)$.

Автоматично управление на температурата на въздуха в помещението

На фиг. 4 е дадена структурната схема на затворена система за управление с ПИ регулатор.



***Фиг. 4**. Структурна схема на затворената система за управление*

Предавателната функция на затворената система се получава:

$$W_3 = \frac{W_P W_O}{1 + W_P W_O W_{OB}}, \quad (5)$$

където: $W_P = k_S(T_S s + 1)/(T_S s)$; k_S и T_S са съответно коефициента на пропорционалност и времеконстантата на ПИ регулатора; $W_{OB} = 1$. Приемаме $T_S = T_{e2}$ и за W_3 получаваме [4]:

$$W_3 = \frac{1}{\frac{T_S T_{e1}}{k_S k_e} s^2 + \frac{T_S}{k_S k_e} s + 1} = \\ = \frac{1}{T_0^2 s^2 + 2\xi T_0 s + 1}. \quad (6)$$

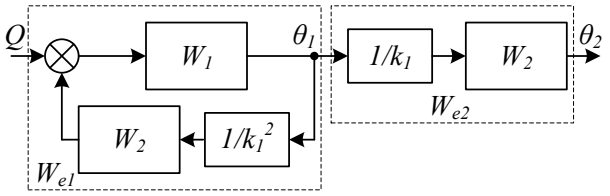
където T_0 и ξ са съответно времеконстанта и коефициент на затихване на колебателното звено [5].

Приравняваме коефициентите пред различните степени на оператора s и от получената система уравнения изразяваме T_0 и k_S. За k_S се получава:

$$k_S = \frac{T_S}{4\xi^2 k_e T_{e1}}. \quad (7)$$

Двуконтурно управление

Еквивалентната предавателна функция на едноконтурното управление не дава възможност да се отчита и регулира температурата на водата в системата, което може да доведе до превишаване на допустимите стойности. Поради тази причина се въвежда двуконтурното управление, при което се обособяват две независими системи: на водния обем и на въздушния обем. За тази цел се пренася възела на изходната схема през двете звена. Получената схема е дадена на фиг. 5.



***Фиг. 5**. Структурна схема на обекта за управление*

За еквивалентната предавателна функция W_{e1} се получава:

$$W_{e1} = \frac{W_1}{1 - W_1 W_2 / k_1^2} = \\ = \frac{\frac{k_1}{1 - k_2 / k_1}(T_2 s + 1)}{\frac{T_1 T_2}{1 - k_2 / k} s^2 + \frac{T_1 + T_2}{1 - k_2 / k} s + 1}. \quad (8)$$

Предавателната функция на звеното, получена от уравненията на Ойлер [4] е:

$$W_{e1} = \frac{k_{e1}(T_2 s + 1)}{(T_{e1} s + 1)(T_{e2} s + 1)}, \quad (9)$$

където T_{e1} и T_{e2} са определени както в израз (4), а $k_{e1} = k_1/(1 - k_2/k_1)$. За еквивалентната предавателна функция W_{e2} се получава:

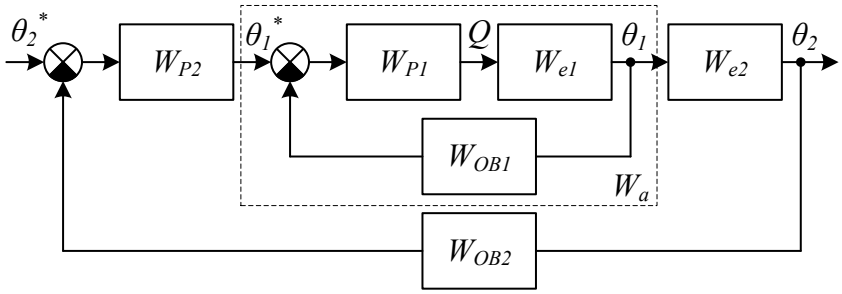
$$W_{e2} = \frac{k_2 / k_1}{T_2 s + 1}. \quad (10)$$

Настройка на регулаторите

На фиг. 6 е дадена структурната схема на затворена система с външен контур за управление на температурата на въздуха и подчинен контур за управление на температурата на водата.

Настройка на вътрешния контур за управление с ПИ регулатор

Предавателната функция на затворената система се получава:



Фиг. 6. *Структурна схема на затворената система за двуконтурно управление*

$$W_a = \frac{W_{P1} W_{e1}}{1 + W_{P1} W_{e1} W_{OB1}}, \quad (11)$$

където: $W_{P1} = k_{S1}(T_{S1} s + 1)/(T_{S1} s)$; k_{S1} и T_{S1} са съответно коефициента на пропорционалност и времеконстантата на ПИ регулатора; $W_{OB1} = 1$. Приемаме $T_{S1} = T_{e2}$ [4] и за W_a получаваме:

$$W_a = \frac{T_2 s + 1}{\frac{T_{S1} T_{e1}}{k_{S1} k_{e1}} s^2 + \frac{T_{S1} + k_{S1} k_{e1} T_2}{k_{S1} k_{e1}} s + 1} = \frac{T_2 s + 1}{T_0^2 s^2 + 2\xi T_0 s + 1}. \quad (12)$$

Приравняваме коефициентите пред различните степени на оператора s и от получената система уравнения изразяваме T_0 и ξ. За оптималната настройка на регулатора определяме $d\xi/dk_{S1} = 0$ [5], от където за k_{S1} получаваме:

$$k_{S1} = \frac{T_{S1}}{k_{e1} T_2}. \quad (13)$$

Еквивалентната предавателна функция се получава във вида:

$$W_a = \frac{T_2 s + 1}{(T_{a1} s + 1)(T_{a2} s + 1)}, \quad (14)$$

където: $T_{a1} = -1/s_1$; $T_{a2} = -1/s_2$; $s_{1,2} = [-a_1 \pm (a_1^2 - 4a_2)^{1/2}]/(2a_2)$; $a_2 = T_0^2 = T_{S1} T_{e1}/(k_{S1} k_{e1})$; $a_1 = 2\xi T_0 = (T_{S1} + k_{S1} k_{e1} T_2)/(k_{S1} k_{e1})$; $a_0 = 1$.

Настройка на външния контур за управление с ПИ регулатор

Предавателната функция на затворената система се получава:

$$W_b = \frac{W_{P2} W_a W_{e2}}{1 + W_{P2} W_a W_{e2} W_{OB2}}, \quad (15)$$

където: $W_{P2} = k_{S2}(T_{S2} s + 1)/(T_{S2} s)$; k_{S2} и T_{S2} са съответно коефициента на пропорционалност и времеконстантата на ПИ регулатора; $W_{OB2} = 1$. Приемаме $T_{S2} = T_{a2}$ [4] и за W_b получаваме:

$$W_b = \frac{1}{\frac{k_1 T_{S2} T_{a1}}{k_{S2} k_2} s^2 + \frac{k_1 T_{S2}}{k_{S2} k_2} s + 1} = \\ = \frac{1}{T_0^2 s^2 + 2\xi T_0 s + 1}. \quad (16)$$

Приравняваме коефициентите пред различните степени на оператора s и от получената система уравнения изразяваме T_0 и k_{S2}. За k_{S2} се получава:

$$k_{S2} = \frac{k_1 T_{S2}}{4\xi^2 k_2 T_{a1}}. \quad (17)$$

ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ

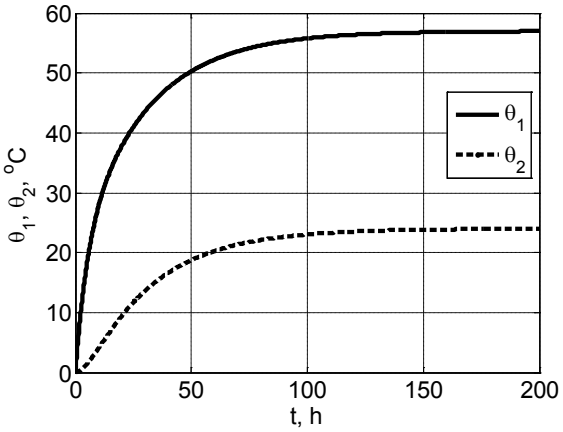
Разработената методика за автоматично управление на инсталацията за централно отопление и подгряване на вода за битови нужди е изследвана симулационно. В таблица 2 са систематизирани резултатите от аналитичното определяне на параметрите на елементите в системата.

Таблица 2. *Параметри на елементите в системата*

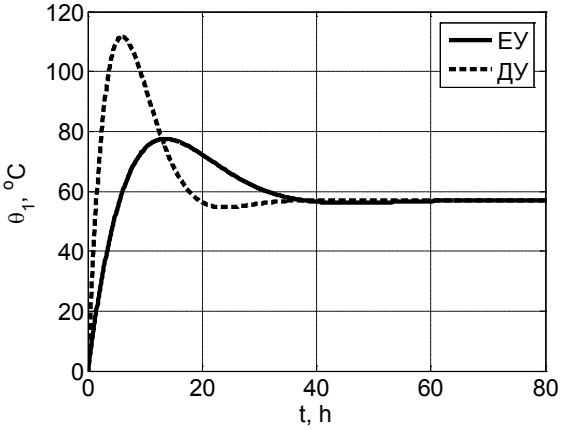
Параметър		Стойност
$Q_{ГН}$	kW	3
θ_{1H}	°C	57
θ_{2H}	°C	24
$\theta_{окН}$	°C	6
θ_0	°C	0
R_{T1}	°C/W	0,011
R_{T2}	°C/W	0,006
R_{T3}	°C/W	0,002
C_{T1}	MJ/°C	2,1
C_{T2}	MJ/°C	10,5
T_1	h	6,42
T_2	h	13,51
T_{e1}	h	5,11
T_{e2}	h	29,31

На фиг. 7 са представени характеристиките на температурата на водата θ_1 и температурата на въздуха θ_2 при подаване на постоянен топлинен поток от горелката $Q_{ГН}$ = 3kW.

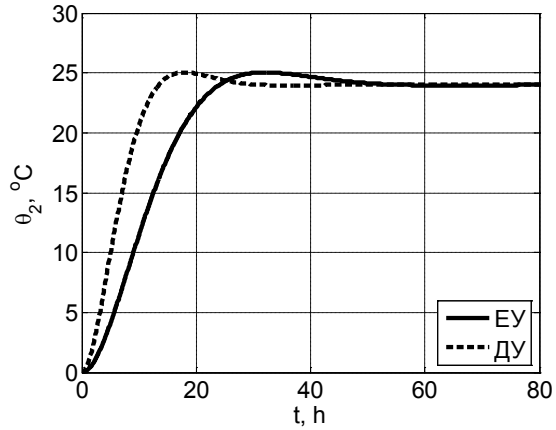
На фиг. 8, фиг. 9, фиг. 10 са представени характеристиките на величините при едноконтурно управление (ЕУ) и при двуконтурно управление (ДУ).



Фиг. 7*. Зависимости на θ_1, θ_2 = f(t)*



Фиг. 8*. Зависимости на θ_1, = f(t)*



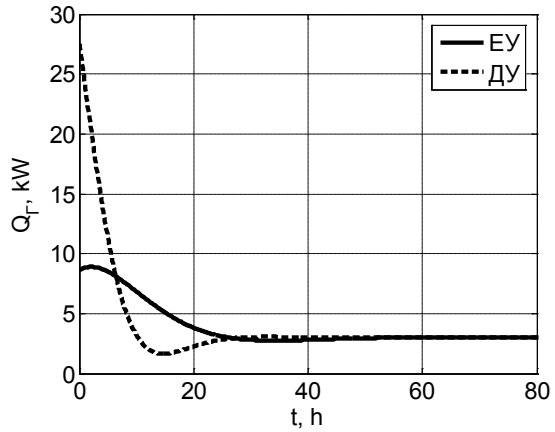
Фиг. 9*. Зависимости на θ_2, = f(t)*

В таблица 3 са представени резултатите за максималната стойност на температурата на водата θ_{1max}; максималната стойност на температурата на въздуха θ_{2max}; максималната стойност на топлиниия поток на горелката $Q_{Гmax}$, както и времето за достигане на установена температура $t_У$ при отклонение $\delta = \pm 2\%$ [5] и времето за достигане на зададената стойност на температурата t_3 при едноконтурно и двуконтурно управление. В

същата таблица са дадени и стойностите на величините при ограничение на температурата на водата θ_{1max} = 80°C.

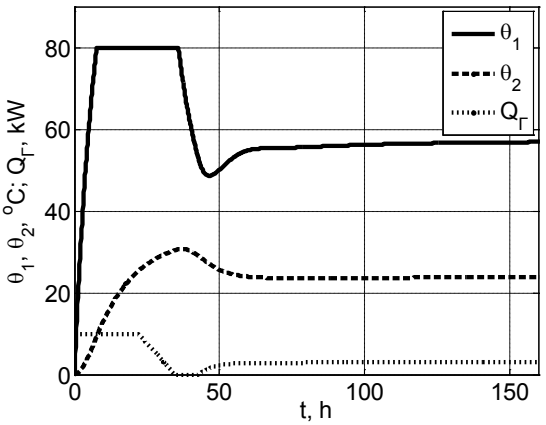
Таблица 3. *Резултати от изчисленията*

Режим	ОС	ЕУ	ДУ	ДУО
θ_{1max}, °C	57	77,5	111,6	80
θ_{2max}, °C	24	25,04	25,04	30,78
$Q_{Гmax}$, kW	3	8,9	27,54	10
$t_У$, h	118,5	43,6	24,38	90,64
$t_З$, h	118,5	22,7	12,66	19,51



Фиг. 10. *Зависимости на $Q_Г$, = f(t)*

От таблицата се вижда, че при избраната стойност на ξ = 0,707, която съответства на преходен процес с пререгулиране на изходната величина 4,33 % [4, 5] както при едноконтурното, така и при двуконтурното управление температурата на въздуха в помещението θ_1 достига зададената температура за съответно 22,7h и 12,66h. При двуконтурното управление зададената температура се достига за почти два пъти по-малко време, но това е свързано с повишаване на пиковата стойност на топлинния поток от горелката до 27,54kW, което води до повишаване на пиковата стойност на температурата на водата в системата до 111,6°C. За да се ограничат тези стойности към регулатора на водата е добавен ограничител със стойност $\theta_{1ОГ}$ = 80°C, а изхода на горелката е ограничен до 10 kW [3]. В последната колона на таблицата са дадени параметрите при този режим (ДУО). От нея се вижда, че с въвеждането на ограничителите се увеличава повече от три пъти времето за установяване на температурата на въздуха в системата и повече от 1,2 пъти нейната пикова стойност (фиг. 11). В първата колона на таблицата са дадени параметрите при отворена система на управление (ОС).



Фиг. 11. *Зависимости на θ_1, θ_2, $Q_Г$ = f(t)*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработена и изследвана е система с едноконтурно и двуконтурно регулиране за топла вода на база съществуваща система за отопление. При разработването на модела е използвана електро-топлинната аналогия за определянето на стойностите на елементите в двата контура на системата. Въвеждането на подчинен контур на управление на температурата на водата в системата води както до увеличаване на бързодействието, така и увеличаване на максималните стойности температурата и на топлинния поток.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Fiedler F., Combined solar and pellet heating systems, Mälardalen University, 2006.

[2] Verma V. K., Bram S., De Ruyck J., Small scale biomass heating systems: standards, quality labelling and market driving factors – an EU outlook Biomass and Bioenergy, 2009, 33, pp. 1393–1402.

[3] Máša V., Pavlas M., Švarc I., Mathematical model of biomass boiler for control purposes, Chemical Engineering Transactions, 2011, 25, pp. 743-748.

[4] Krishnan R. Electric motor drives. Modeling, analysis, and control. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 2001.

[5] Dragotinov I., Ganchev I., Automation of technological processes, Academic Publishing of UFT – Plovdiv, 2000.

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

МОДЕЛНО ПРЕДСКАЗВАЩО УПРАВЛЕНИЕ ЗА ВИБРАЦИОНЕН ЗАХРАНВАЩ МОДУЛ

MODEL PREDICTIVE CONTROL OF VIBRATORY BOWL FEEDER

Georgi Mihalev
Technical University of Gabrovo

Stanimir Yordanov
Technical University of Gabrovo

Abstract

In this paper, a synthesis of the CMPC control unit for a vibratory feeding and orientation module is presented. The device representing the control object is considered as a two-mass resonating system. In the presence of parametric uncertainty, a linear model of the system in state space, is produced. A robust closed-loop analysis has been accomplished, showing the robust quality and robust stability of the system provided by the CMPC controller.

Keywords: vibratory bowl feeder, CMPC controller, robust analysis

ВЪВЕДЕНИЕ

Основна задача в последно време в областта на автоматизацията е захранването на автоматичните линии с правилно ориентирани детайли. Този процес се явява тясно място и повишава многократно сложността на проектиране на автоматичните машини. Този проблем може да се реши с прилагането на автоматични захранващи устройства, при което се повишават редица работни характеристики, като производителност, надеждност, качество, време за автономна работа и др.

Вибрационните захранващи и ориентиращи устройства се явяват универсални захранващи устройства, подходящи за голям асортимент от детайли и допускащи плавно регулиране на производителността в широк диапазон. Вибрационните захранващи и ориентиращи модули са често използвани, не само като ориентиращи, но и като транспортиращи устройства поради тяхната компактност и простота на конструкцията.

Въпреки множеството им предимства вибробункерите се характеризират и с силна параметрична неопределеност, наложена от характера на режима на работата им.

Това налага да се търси такова управляващо устройство, което не само да отчита взаимодействието между входа и изхода, но и да постига желаната робастна стабилност, използвайки сложни управляващи алгоритми базирани на модели в пространство на състоянието.

Един такъв модерен метод е моделно предсказващото управление (MPC), използвано основно за регулиране на процеси при задоволяване на набор от ограничения [1,2]. Моделно предсказващото управление е една от малкото области, които получават засилено внимание, както от академичните среди, така и от индустриалната общност. Това се дължи на множество от предимства на MPC и набор от аспекти, които правят методологията на проектирането лесна, а настройването разбираемо за инженерите [3].

В настоящата статия е синтезирана система за управление на вибробункер. Устройството е представено като двумасова трептяща система. Системата за управление е базирана на синтез на CMPC регулатор с помощта на допълнителен сигнал от изхода. Посредством представения модел на обекта при наличие на параметрични неопределености е анализирано робастното качество и устойчивост на затворената система. Представени са симулационни резултати, които показват качеството на системата за целия работен диапазон.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Известно е, че моделно предсказващите регулатори притежават робастни свойства [4,5,6], дори и при отчитане на зададени ограничения. Известни са четири основни типа робастни MPC:

- Min-max MPC[7],
- MPC затягащи ограниченията [8],
- Tube MPC[9],
- Многоетапни MPC[10].

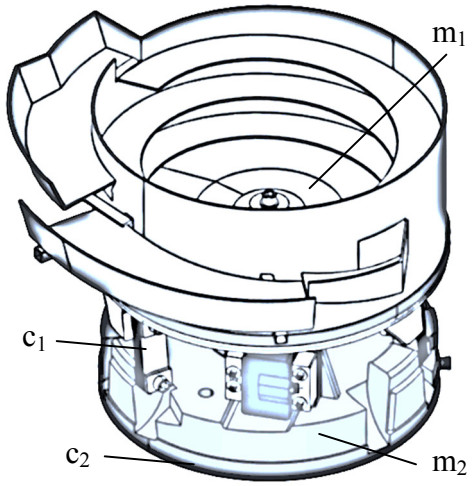
Ако за системата не са необходими ограничения по отношение на управляващия сигнал, изходния или смущенията, то може да се очакват робастни свойства и от конвенционален MPC. Синтеза на моделно предсказващи регулатори обикновено се извършва директно в дискретен вид, поради причината, че при достатъчно дълъг времеви хоризонт CMPC се доближава до CLQR с коефициент на усилване получен от минимизиране на загубите в предсказващия прозорец, независимо от наличието на ограничения. Тъй като няма известен подход за оценка на робастните свойства на дискретен MPC (DMPC), то за текущата система се синтезира непрекъснат MPC с последващ анализ на робастната устойчивост, което се явява разновидност на min-max MPC.

При проектирането на непрекъснат MPC(CMPC), се спазват същите принципи, като за дискретен регулатор от такъв тип. Разликата се изразява в това, че се използват непрекъснати модели на обектите в пространство на състоянията и съответно всички параметри на проектирането, като време на предсказване и предсказващ прозорец се базират на текущото време, вместо на набор от стойности при дискретния вариант. Синтезът на CMPC може да даде предимства на системи с голям такт на дискретизация или на системи с нерегулярен такъв, тъй като и моделът и регулаторът се описват на базата на непрекъснато време, а внедряването на системата за управление се извършва в цифрова среда. При синтеза на непрекъснат моделно предсказващ регулатор, често се използват функции на Лагер, което позволява, чрез избор на мащабиращ фактор и брой на изразите да се постигне желания преходен процес на затворената система. В разглеждания случай на синтез на CMPC регулатор за вибробункер без ограничения, моделно предсказващия контролер има аналитично оптимално решение. Тъй като потискането на смущенията, изпълнението на заданието и добър преходен процес са едни от основните изисквания, се реализира синтез на регулатор с интегратор в модела на проектиране.

МОДЕЛИРАНЕ НА ОБЕКТА ЗА УПРАВЛЕНИЕ

Вибрационните захранващи устройства (вибробункери) представляват сами по себе си колебателни (обикновено двумасови) системи, чиито характер на движение на работната маса на устройството определя, както геометричните, така и динамичните параметри на системата.

Особеност на по-голямата част от вибрационните захранващи устройства се явява приложението на резонансния принцип на действие, при който малки възбуждащи сили на вибратора могат да развият значителни усилия на работния орган. Устойчивостта на работата на вибробункера в желания резонансен режим може да се достигне само при правилно оразмеряване на колебателната система.



***Фиг. 1**. Обща изглед на устройството*

Вибробункерът може да бъде представен във вид на двумасова трептяща система с две степени на свобода, показано на фиг. 1. Масата m2 представлява основата на устройството, разположена на пружини имащи ролята на амортисьори с малки коравини c2. Чашата на вибробункера е

представена във вида на масата m_1, разположена на еластично окачване с коравина c_1. На всяка от масите действат възбудителните сили F на електромагнита, които са равни по големина и обратни по посока. В диференциалните уравнения на системата са взети под предвид и коефициентите на демпфериране n_1 и n_2, въпреки че не са определящи за собствената честота на системата, а от там за работата му в режим на резонанс.

Имайки в предвид вида на желания за синтезиране регулатор, то структурата на модела на системата се описва с матрици в пространство (A_m,B_m,C_m,D_m), като интегратора е вграден в нея, при което се получава т.н. разширен модел, дефинирайки помощни променливи:

$$z(t) = \dot{x}_m(t),$$
$$y(t) = C_m x_m(t), \quad (1)$$

и нов вектор на състоянието

$$x(t) = [z(t)^T \; y(t)^T]^T. \quad (2)$$

Така разширения модел на системата получава вида:

$$\begin{bmatrix}\dot{z}(t)\\ \dot{y}(t)\end{bmatrix} = \overbrace{\begin{bmatrix}A_m & o_m^T\\ C_m & o_{qxq}\end{bmatrix}}^{A}\begin{bmatrix}z(t)\\ y(t)\end{bmatrix} + \overbrace{\begin{bmatrix}B_m\\ o_{qxm}\end{bmatrix}}^{B}\dot{u}(t)$$
$$y(t) = \underbrace{[o_m \quad I_{qxq}]}_{C}\begin{bmatrix}z(t)\\ y(t)\end{bmatrix}, \quad (3)$$

където I_{qxq} е единична матрица, o_{qxq} и o_{qxm} са нулеви матрици, m-бр.входове и q- бр. изходи. Матриците (A_m,B_m,C_m,D_m), се получават директно от диференциалните уравнения на системата и имат вида:

$$A_m = \begin{bmatrix}0 & 1 & 0 & 0\\ \frac{-c_1}{m_1} & \frac{-n_1}{m_1} & \frac{c_1}{m_1} & \frac{n_1}{m_1}\\ 0 & 0 & 0 & 1\\ \frac{c_1}{m_2} & \frac{n_1}{m_2} & \frac{-c_1-c_2}{m_2} & \frac{-n_1-n_2}{m_2}\end{bmatrix}, B_m = \begin{bmatrix}0\\ \frac{1}{m_1}\\ 0\\ -\frac{1}{m_1}\end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$C_m = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0], D_m = 0.$$

Това се прави както от съображения за удобство, така и от факта, че съставящите вектора на състоянието са реални физични величини. Това представяне ще доведе до по-нататъшни улеснения при анализа на получените резултати и тяхното физическо тълкуване.

Така моделирания обект се характеризира със значителна неструктурирана параметрична неопределеност на пет от шестте си параметъра. Тази неопределеност се дължи главно на процеса на досипване на детайли, чиято маса се приобщава към горната маса на устройството и наличието на нелинейности и хистерезис в еластичните елементи.

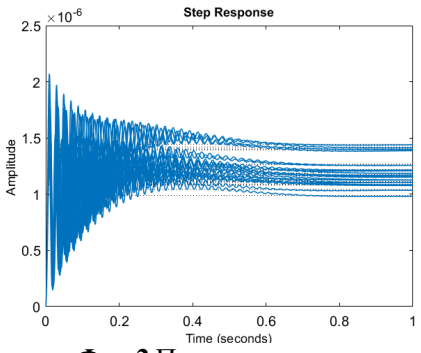
Имайки предвид стойностите на параметрите и режимите на работа на вибробункерите на база на изменението на резонансната честота, определените параметрични неопределености на параметрите са: 30% на горната маса (m_1), 20% на коефициентите на коравина(c_1 и c_2) и 10 % на коефициентите на демпфериране (n_1 и n_2).

Таблица 1. Чувствителност на системата по отношение на параметричните неопределености.

Параметър	**Чувствителност на системата към параметър**	**Намаляване на маржа на стабилност при 25% увеличение на стойността на параметъра**
c_1	38%	10%
c_2	0%	0%
m_1	145%	36%
n_1	23%	6%
n_2	1%	0%

Като цяло системата е робастно стабилна за моделираната параметрична неопределеност. Тя може да толерира до 184% от моделираните неопределености. Съществуват дестабилизиращи комбинации в 333% от възможните случай на параметричните неопределености, като те причиняват дестабилизиране при честота $4{,}56.10^{-3}$ rad/s, което е далече от нормалната работна честота на устройството. Чувствителността на системата по отношение на неопределеностите за всеки параметър е дадена в таблица 1.

На фиг. 2 са показани семейството преходни процеси на системата при пълен мащаб на параметричните неопределености.



Фиг.2 Преходни процеси

СИНТЕЗ НА СМРС ЗА ВИБРОБУНКЕР

Синтезът на непрекъснат моделно предсказващ регулатор се осъществява чрез последователност от стъпки, като използвания метод е подробно описан в [6].

След като получения модел се провери за управляемост и наблюдаемост се прибягва до моделиране на управляващия сигнал, посредством набор от функции на Лагер (Laguerre) или други ортонормални функции използвани за апроксимация. При използване на функции на Лагер е необходимо да се изпълни условието:

$$\int_0^\infty \dot{u}(t)^2 dt < \infty. \quad (5)$$

Това условие се изпълнява благодарение на интегралното действие на проектираното СМРС управление.

Имайки предвид текущия обект, чиито вектор на състоянието е напълно измерим и това, че е линейна многопраметрична управляема система описана с уравненията (3), то проблемът при конвенционалния СМРС регулатор се свежда до моделиране на управляващия сигнал *u* и намирането на оптимален управляващ входен сигнал, при който критерият за оптималност има минимална стойност.

Управляващия сигнал се моделира във плъзгащия се времеви прозорец в интервала от t_i до T_p, като вътре в него времевата променлива се означава с τ. Тъй като $\dot{u}(\tau)$ експоненциално намалява към 0, то за всяко управление по обратна връзка с матрица К има управляващ сигнал, който може да се разложи, като набор от функции в интервал $0 \le \tau \le T_p$, задоволявайки (5). Изменението на управляващия сигнал се описва с функции на Лагер и има вида:

$$\dot{x}(\tau) \approx \sum_{i=1}^{N} c_i l_i(\tau) = L(\tau)^T \eta \quad (6)$$

където η= [c1 c2 … c_n] - вектор от коеф, а $l_i(\tau)$ – вектор с набор от ортонормални функции.

След като входния сигнал е известен се приема, че вектора на състоянието е измерим в момент t_i , тогава в бъдеще време предсказания вектор x(ti+τ|ti), може да се запише във вида:

$$x(t_i + \tau|t_i) = e^{A\tau} x(t_i) + \phi(\tau)^T \eta \quad (7)$$

Където $\phi(\tau)$ е конволюционен интеграл.

От предсказания вектор на състоянието (7) се получава предсказания изходен сигнал в момент τ:

$$y(t_i + \tau|t_i) = Ce^{A\tau} x(t_i) + C\phi(\tau)^T \eta \quad (8)$$

Имайки предвид текущия обект, чиито вектор на състоянието е напълно измерим и това, че е линейна многопраметрична управляема система описана с уравнението:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + B\dot{u}(t) \quad , \quad (9)$$

то проблемът при СМРС регулатора е да се намери оптимален управляващ входен сигнал $\dot{u}(\tau)$, при който критерият за оптималност записан във вида

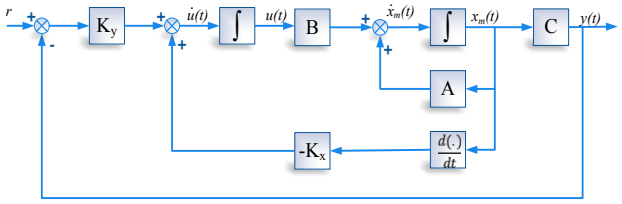
$$J = \int_0^{T_p} (x(t_i + \tau|t_i)^T Q x(t_i + \tau|t_i) + \dot{u}(\tau)^T R \dot{u}(\tau)) d\tau \quad (10)$$

приема минимална стойност, под ограниченията на матриците Q и R, които са реални, симетрични и положително определени.

Минимизацията на критерия (8) води до линейна обратна връзка от вида:

$$\dot{u}(t) = -K_{mpc} x(t) = -[K_x \quad K_y] \begin{bmatrix} \dot{x}_m(t) \\ y(t) - r(t) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Блоковата диаграма на управлението е представена на фиг. 3.



Фиг.3 Блок схема на СМРС

За текущия обект при синтеза на СМРС, матриците Q и R се избират да са:

$$Q = 1.10^6 C^T C, \quad R = 1.10^{-4} \quad (12)$$

С отчитане на избраните тегловни матрици, се получава матрицата на регулатора, която е:

$$K = 1.10^5. \quad (13)$$

[0.0093 0.0244 0.6766 0.0484 3.8409]

За разлика от други методи за управление, системата с обратна връзка по състояние не сравнява изходът със заданието, а сравнява всички състояния на системата умножени по управляващата матрица (13) със заданието. Поради тази причина не може да се очаква изходът на системата да е равен на заданието в установен режим. За да се постигне желания изход е необходимо да се мащабира заданието, така че изходът на системата да е равен на заданието в установено състояние. Това може да се постигне, чрез въвеждането на входен филтър (мащабиращ фактор), означен с V.

Входния филтър за текущата затворена система е V = 3.8409e+05 и се изчислява по формулата:

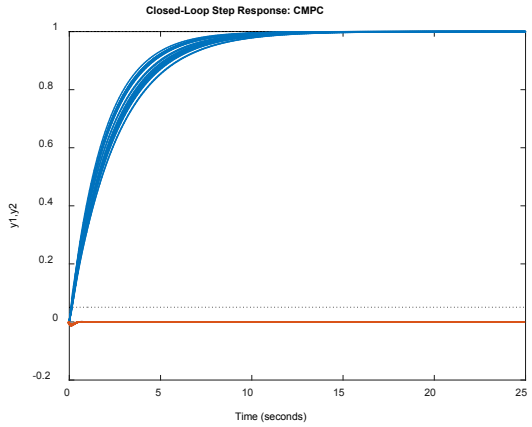
$$V = [C[BK - A]^{-1}B]^{-1} \quad (14)$$

Трябва да се отбележи, че входния филтър се изчислява на основа на модела на обекта и остава извън контура на обратната връзка. Следователно, ако има грешки в модела (параметрични неопределености или смущения), входния филтър няма да ги коригира, като по този начин приносите за робастното качество на системата ще се дължат само на LQR регулатора.

РОБАСТЕН АНАЛИЗ НА СИСТЕМАТА

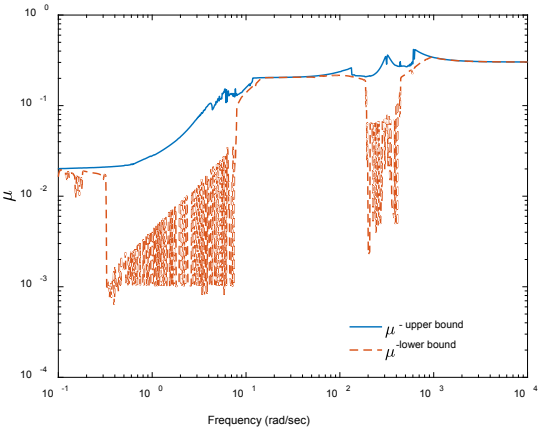
Избира се да се работи с обект, при които параметрична неопределеност е налице на параметъра m_1 в рамките на 8% и на c_1 в рамките на 20%, съгласно получените резултати от математическото моделиране, тъй като неопределеностите на другите параметри не влияят чувствително на стабилността на системата, както е видно от таблица 1. От практическа гледна точка неопределеността в горната маса на устройството, действително е осезаема, поради факта, че масата на детайлите за ориентиране се приобщава именно към нея.

Извършването на допълнителен анализ на робастността на системата е наложителен, тъй като е известно, че CMPC регулаторът не гарантира робастна устойчивост и качество на системата.

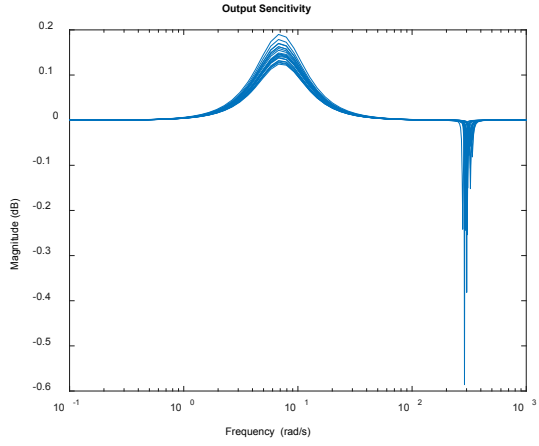


Фиг.4 Преходни процеси на затворената система

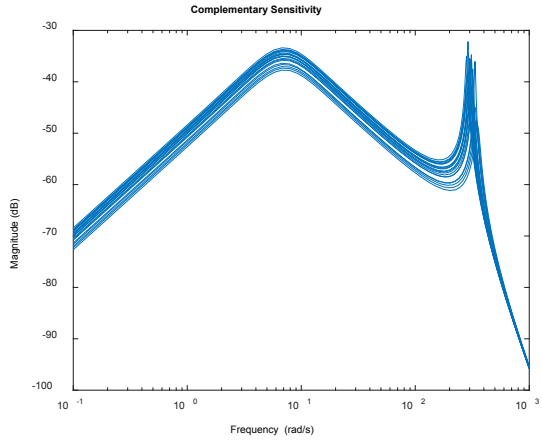
На фиг. 4 са показани семейството преходни процеси на затворената система на преместванията на двете маси, а на фиг. 5 честотната характеристика на структурираното сингулярно число μ на затворената система.



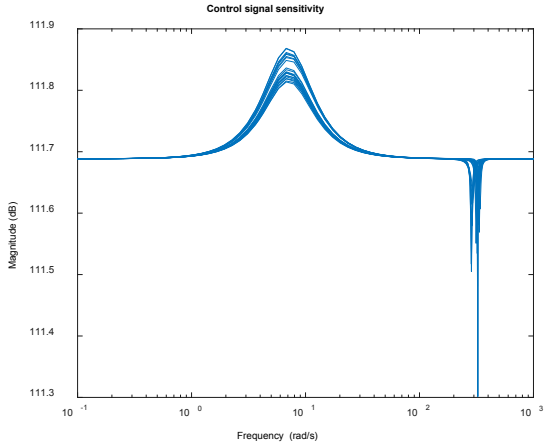
Фиг.5 Робастна устойчивост на затворената система



Фиг.6 Функции на чувствителност



Фиг.7 Допълнителни функции на чувствителност



Фиг.8 Чувствителност на управляващия сигнал към заданието

Симулациите на системата във времевата област са извършени за случайни стойности на неопределения параметър. От графиките е видно, че системата е робастно устойчива и има добър запас по устойчивост. Всички преходни процеси имат апериодичен характер, относително нечувствителни са към изменението на параметрите m_1 и c_1 и затихват за около 15 секунди, което технически допустимо време.

На фиг.6,7 и 8 са показани основните амплитудно-честотни характеристики на системата за управление при случайни стойности на неопределения параметър. От фигурите се вижда, че системата притежава робастни качества и ще отслабва по-добре ниско честотните смущения. Задания до около 1 rad/s и от 30 до собствената честота на системата ще се отработват без грешка, като отново в резонансните честоти качеството рязко се влошава. По отношение на честотната лента, системата е относително нечувствителна към неопределеността и времето за регулиране е почти еднакво за набора от допустими стойности на неопределения параметър.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синтезиран е непрекъснат моделно предсказващ регулатор за вибрационен захранващ модул, моделиран като двумасова трептяща система със параметрична неопределеност, описващ динамиката на системата в цялата работна област. Системата е робастно стабилна, не се откриват други причиняващи нестабилност смущаващи неопределености, възможността за толериране на моделираните неопределености е нараснала драстично, а чувствителността към промяната на параметър m_1 е намаляла на 60%. Извършения робастен анализ на затворената система показва нейните качества и стабилност.

БЛАГОДАРНОСТИ

Проучването е проведено в рамките на проект 1917Е/2019, финансиран от НИР на ТУ Габрово.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Yu-Geng, Xi, Li De-Wei, and Lin Shu, "Model predictive control—status and challenges." , Acta Automatica Sinica 39.3,pp 222-236, 2013.

[2] Wan, Zhaoyang, and Mayuresh V. Kothare, "Robust output feedback model predictive control using off-line linear matrix inequalities." Journal of Process Control 12.7, pp. 763-774, 2002.

[3] E. F. Camacho and C. Bordons. Model Predictive Control. Springer, New York,2004.

[4] Rossiter, J. Anthony, Basil Kouvaritakis, and M. J. Rice. "A numerically robust state-space approach to stable-predictive control strategies." Automatica 34.1,pp.65-73, 1998.

[5] Zafiriou, Evanghelos. "Robust model predictive control of processes with hard constraints." Computers & Chemical Engineering 14.4-5,pp 359-371, 1990.

[6] Wang, Liuping, Model predictive control system design and implementation using MATLAB®. Springer Science & Business Media, 2009.

[7] Scokaert, P. O.; Mayne, D.Q. "Min-max feedback model predictive control for constrained linear systems". IEEE Transactions on Automatic Control,pp 1136–1142, 1998.

[8] Richards, Arthur, and Jonathan How. "Robust stable model predictive control with constraint

tightening." 2006 American Control Conference. IEEE, 2006..
[9] Langson, W.; I. Chryssochoos; S.V. Rakovic; D.Q. Mayne, "Robust model predictive control using tubes". Automatica. 40 (1),pp 125–133, 2004.
[10] Lucia, Sergio; Finkler, Tiago; Engell, Sebastian, "Multi-stage nonlinear model predictive control applied to a semi-batch polymerization reactor under uncertainty". Journal of Process Control. 23 (9), pp.1306–1319, 2013.

СИСТЕМА ЗА СЪЗДАВАНЕ, ПРОВЕЖДАНЕ И ОБРАБОТКА НА АНОНИМНИ АНКЕТИ В ОБРАЗОВАНИЕТО

Алдениз Рашидов
Технически университет - Габрово, България

SYSTEM FOR CREATING, ORGANIZING AND PROCESSING OF ANONYMOUS SURVEYS IN EDUCATION

Aldeniz Rashidov
Technical University of Gabrovo, Bulgaria

Abstract

Presented is the information service in Internet to help of quality of education - e-Survey – creating, organizing and processing of anonymous surveys in education. The electronic survey system is developed in main for automation of processing of the surveys. The electronic survey in education shortening processing time, reducing errors, increasing the accuracy and reliability of the data being processed. The platform works through the Web at address https://anket.aldeniz.eu. Students and scholars can solve survey, which are created by team of quality of education in University (school). Also the users may make up and resolve surveys on their mobile devices.

Keywords: survey, quizzes, e-survey, information system, anonymous survey, survey processing.

ВЪВЕДЕНИЕ

Анкетата е форма на писмено разпитване, при която изследваните лица отговарят чрез писмено поставени въпроси и отговори, подредени във въпросник (анкетна карта) за набиране на първична емпирична информация относно мнението, отношението, мотивацията, ценностната ориентация, социалната позиция и роля на разпитваните лица [1].

Управлението на качеството е един от ресорите с ключово значение за функционирането на едно средно или висше училище като цялостна система в неговата вътрешна и външна среда. Съгласно Закона за висшето образование висшето училище трябва да осигурява качеството на образованието и научните изследвания чрез вътрешна Система за управление на качеството (СУК) [2]. Системата обхваща оценяване и поддържане качеството на обучение, както и оценяване на академичния състав, посредством проучване на студентското мнение минимум веднъж през учебната година. Функциите на Системата включват всички дейности, които допринасят за осъществяване на образователната политика, периодичната проверка за установяване изпълнението на изискването на съответните образователни стандарти и обратната връзка с коригиращи действия за подобряване на процесите. Ключов момент за системата на качеството са процесите, свързани с изследване на удовлетвореността от предоставяната образователна услуга от Университета. Изследването на този процес се свързва и с оценката на конкурентоспособността на един университет и на степента на съответствие на неговата услуга с потребителските изисквания. Например, оценката на качеството на обучение в Технически университет - Габрово се осъществява посредством разработени анкетни карти.

Качеството и ефективността на анкетните проучвания е в зависимост от няколко важни фактора:

- Подготовката на анкетните карти преди самото създаване на анкетата;
- Методът на анализиране на събраната информация;
- Начинът на разпространяване на анкетата;
- Последователността на въпросите и др. [3].

Необходимостта от замяната на неефективния ръчен труд, автоматизиране и оптимизиране на по-горе изброените фактори, съкращаване на времето за създаване и провеждане на анкети, намаляване на възможността за допускане на грешки, повишаване на точността и достоверността на обработваните анкетните карти са предпоставки за проектиране и разработване на програмни системи за автоматизиране на дейностите при анкетиране [4, 5].

Цел на настоящия доклад е да представи програмна система за създаване, провеждане и обработка на анонимно анкетиране в сферата на образованието.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Разработването на система за анкетиране, тясно свързана с качеството на обучение, е насочено към това:

- да се улесни създаването на електронни анкети с различни типове въпроси;
- да се предостави възможност системата да изведе подходящи статистики на база на получените резултати;
- да помогне отчетността при провеждането на масово оценяване – анкетирани обучаеми, архив на анкети и други;
- да предложи интуитивен дизайн за крайния анонимен обучаем с възможност за дистанционна експлоатация.

Формулиране на изискванията и задачите

В предвид поставената цел се определят следните изисквания към системата:

1. Изисквания по отношение на регистриране в системата:
   - Регистрацията в системата позволява регистриране на потребители – модератори, които в по-късен етап се разпределят от администратор в специфични групи от модератори;
   - Регистрацията се извършва с използване на електронна поща, на която се изпраща код за потвърждение на регистрацията;
   - Регистрацията на обучаеми и потребители, които ще бъдат анкетирани не се извършва.

2. Изисквания във връзка с администрирането на системата:
   - Регистриране на категории въпросници (обучаеми, студенти, преподаватели, кандидат-студенти и т.н.);
   - Регистриране и организиране на групи от модератори и разпределяне на достъп за:
     - Въвеждане на категории въпросници и въпроси по анкети – група „Модератори на въпросници“;
     - Провеждане на анкетно проучване – група „Анкетьори“;
     - Обработка и анализ на проведени анкетни проучвания – група „Статисти“.
   - Осигуряване на анонимност при провеждане на анкетното проучване.

3. Изисквания при съставяне на въпросници и провеждане на анкетно проучване:
   - Създаване на категории от въпросници, което включва задаване на наименование, достъпност и нативен език на въпросника;
   - Създаването на един въпросник включва следната последователност от действия:
     - Определяне на категория на въпросника;
     - Прикачване на допълнителни ресурси на въпросника – изображения, схеми, аудио и видео съдържание;
     - Съставяне на резюме (описание) на въпросника с възможност за форматиране на текста. В резюмето може да се използват прикачените ресурси на въпросника;
     - Създаване и структуриране на въпросника. Задаване на код, наименование, последователност, задължи-

телност на отговора и вид на въпросите. Вмъкване на директиви на въпросника, които позволяват промяна в структурата на въпросника, форматиране и групиране на въпросите;
- Съставяне на отговори на въпросите на определен въпросник. Задават се наименование и последователност на отговорите;
- Организиране на анкетно проучване базирано на съставен въпросник. Задават се код, наименование, начало, край, времетраене и брой попълвания на анкета, ключове за достъп на анкетното проучване. Ключовете за достъп осигуряват ограничаване на дублирането при анкетирането. Веднъж използван даден ключ при анкетиране не може да се използва повторно от анкетираните. При необходимост могат да се добавят нови, разпечатват и блокират ключове за достъп;
- Попълването на анкета се извършва от обучаеми или други потребители напълно анонимно. Необходимо е да бъде изтеглен и използван ключ за достъп, който да активира анкетното проучване. В тази връзка преди стартиране на проучването всеки потребител въвежда ключ на анкета и ключ за сигурност.

- Въпросите във въпросниците са от следния вид:
  - Въвеждане на текст;
  - Въвеждане на дълъг текст;
  - Множествен избор (от списък);
  - Множествен избор с опция;
  - Единичен избор (от списък);
  - Единичен избор с опция;
  - Единичен избор (от меню);
  - Скала от 1 до 10;
  - Избор на звено (факултет, училище);
  - Избор на специалност (група);
  - Избор на курс (клас).
- Директивите при въпросниците са следните:
  - Бележка;
  - Начало на група от въпроси;
  - Край на група от въпроси;
  - Нова страница и др.
- Осигуряване на лесен за използване интерфейс за крайния анонимен обучаем, преподавател или работодател, с възможност за дистанционна експлоатация през глобалната мрежа Интернет.

4. Изисквания при обработка на проведено анкетно проучване:
   - Определяне на тегло на отговорите на въпросите;
   - Генериране на резултат на проведено анкетно проучване в графичен или описателен вид;
   - Избор на метод-формула за обработка на резултатите;
   - Резултати на целеви групи по различни критерии (факултети, клас, курс, групи, код на анкетното проучване и др.);
   - Обобщена статистика за целева група или всички групи.

5. Изисквания към системното програмно осигуряване:
   - Платформа – Microsoft Windows;
   - Уеб сървър – Apache Web Server;
   - Система за управление на бази от данни – MySQL.

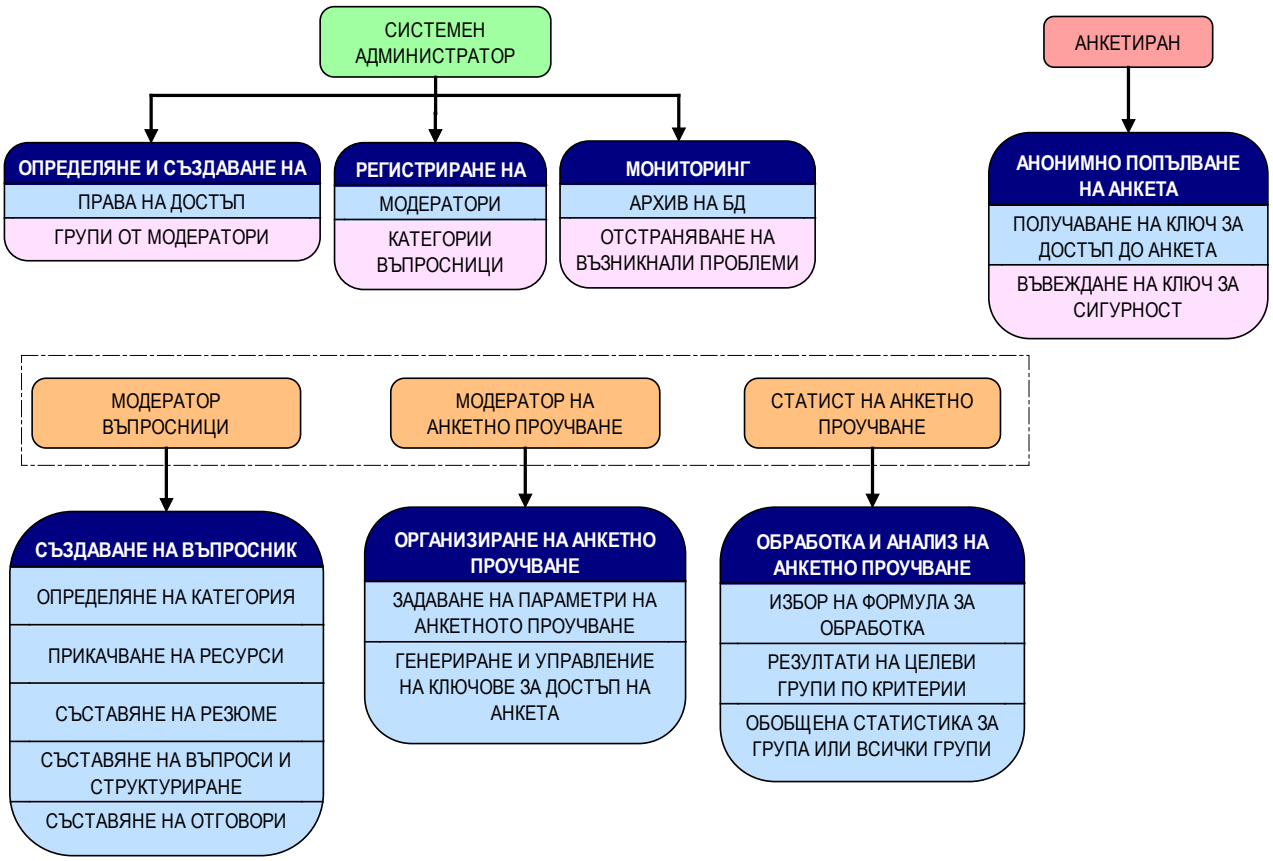
Във връзка с проектирането и разработването на системата е необходимо да се разрешат следните основни задачи:
- Определяне на информационните потоци на системата;
- Проектиране и разработване на схема на базата от данни (БД), съобразно формулираните изисквания към системата и правилата за провеждане на анкетиране в образованието;
- Проектиране на интерфейсна схема;
- Реализиране на програмното осигуряване на системата:
- Пилотен тест на системата.

Информационни потоци на системата

Схемата на информационните потоци на системата е показана на фиг. 1.

Релационен модел и схема на БД на системата

Свойствата на една система силно се влияят от начина на проектиране и реализиране на БД, особено при лошо структурирана БД. Това предполага отделяне на особено внимание при проектиране на БД на системата.



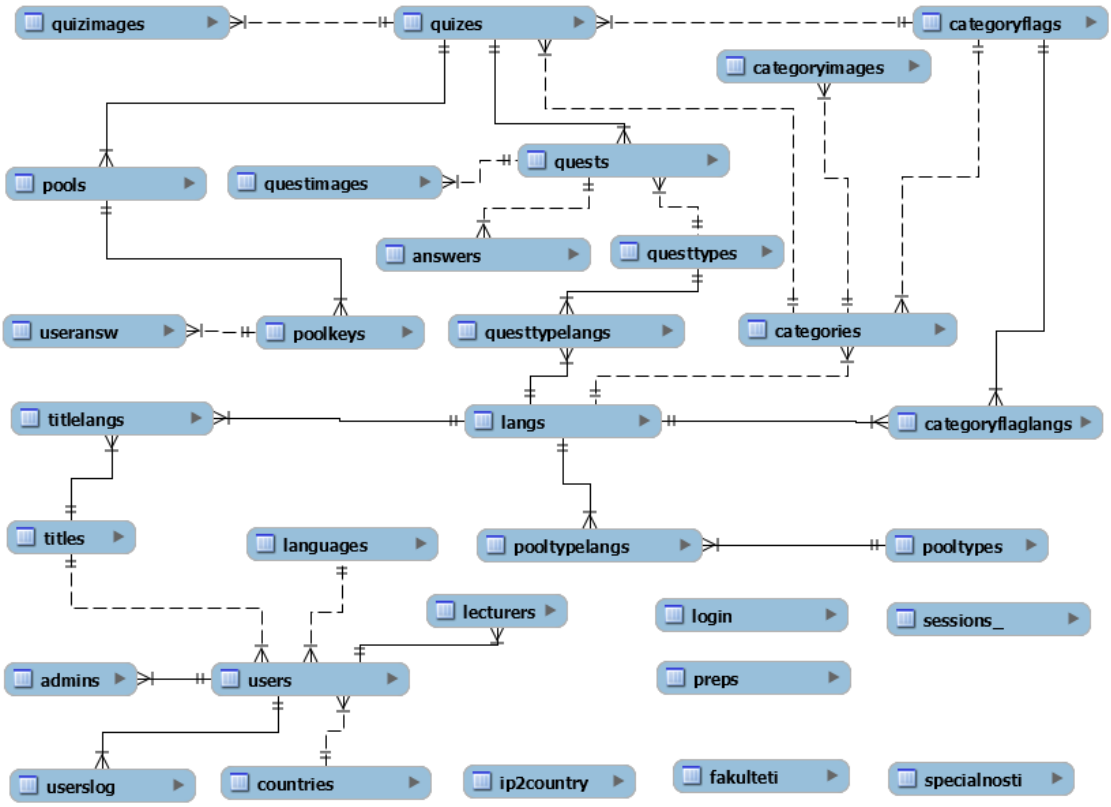
Фиг. 1. *Схема на информационните потоци*

На фиг. 2 е показан релационният модел на БД на системата. Структурата на модела на БД включва тридесет и една таблици. Таблиците „users”, „admins” и „login“ съхраняват данни за потребителите - техните регистрации, привилегии, входове и входни параметри в системата. Таблица „userlog” съхранява данни за достъпа до системата. „Sessions” съхранява данни за активните потребителски сесии. Масивите „categories”, „categoryimages”, „categoryflags” и „categoryflaglangs” съдържат данни за категориите от въпросници. Таблиците „quizes” и „quizimages“ съхраняват данни за въпросниците. Таблиците „quests”, „questimages”, „questtypes“, „questtypelangs“ и „answers” съдържат въпросите на въпросниците, техните параметри и възможни отговори. Масивите „pools”, „pooltypelangs“, „pooltypes“ и „poolkeys“ съхраняват данни за провеждане на анкетиране и ключовете за достъп на анкетното проучване. Таблица „useransw” съдържа отговорите на проведено анкетно проучване. Таблиците съдържащи в наименованието си „langs” се използват за организиране на анкетното проучване на различни нативни езици. Масивите „fakulteti“, „preps”, и „specialnosti“ се използват при съставяне на въпроси във връзка с определено звено (факултет, училище), преподавател и специалност (група).

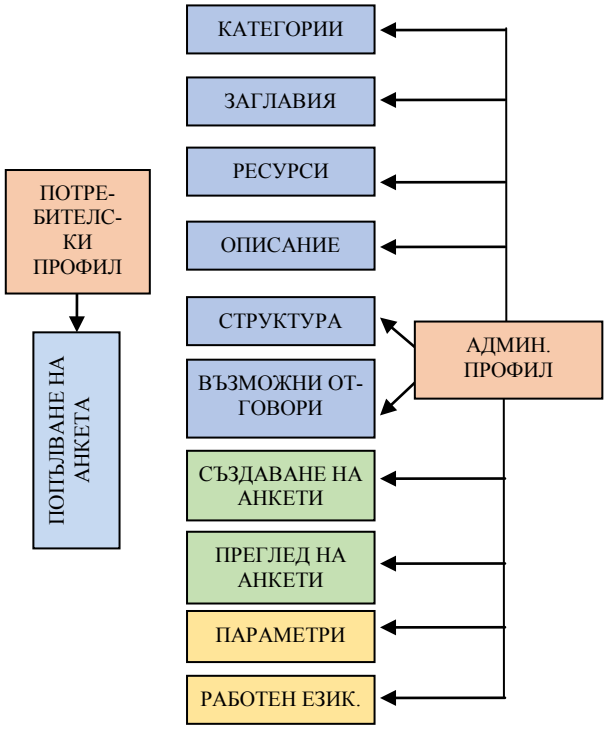
Архитектура на системата

Архитектурата на системата е показана на фиг. 3. Администраторската част на приложното програмно осигуряване включва основни модули свързани с въпросниците – „Категории“, „Заглавия“, „Ресурси“, „Описание“, „Структура“, и „Изборни отговори“. В тази част се съдържат и модулите свързани с анкетните проучвания – „Създаване на анкети“ и „Преглед на анкети“. Допълнителни модули са „Параметри“ и „Работен език“. Администраторската част основно се използва от страна на Админис-

траторите, Модераторите на въпросници, „Анкетьори“ и „Статисти“. Потребителският профил на системата включва един модул, който е предназначен за попълване на анкета.



Фиг. 2. *Релационна схема на БД*



Фиг. 3. *Архитектура на системата*

На фиг. 4 е показана част от интерфейсната схема на системата, съответно на модулите за провеждане на анкетно проучване и попълване на анкета от обучаем.

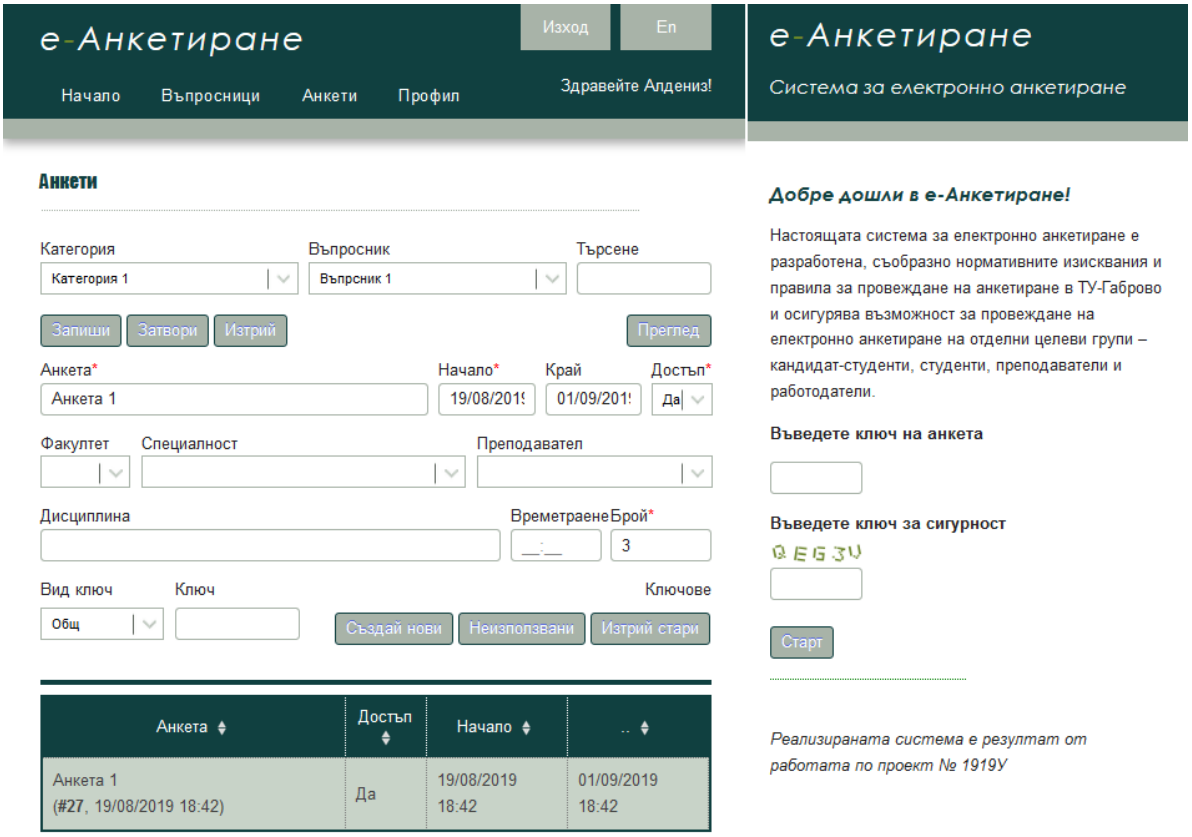
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представена е информационна услуга в Интернет – „Система за създаване, провеждане и обработка на анонимни анкети в образованието“. Проектирана е Уеб-базирана система. Представена е архитектурата на системата, която се състои от няколко програмни модула. Системата е напълно работоспособна и функционира през Уеб на адрес https://anket.aldeniz.eu.

Основните функционални възможности и характерни особености на системата са:

- Автоматизиране на цялостния процеса по анонимно анкетиране в сферата на образованието;
- Създаване на произволен брой анонимни въпросници и анкети за отделните целеви групи, с разнообразни видове на въпросите;

- Възможности за генериране на подходящи статистики на база на получените резултати:
  - Статистика и резултати за различни целеви групи по критерии;
  - Обобщена статистика за отделна целева група или всички групи.



Фиг. 4. *Част от интерфейса на системата за провеждане на анкетно проучване (вляво) и за попълване на анкета от обучаемите (вдясно)*

- Осигуряване на отчетност при провеждането на масово оценяване – анкетирани обучаеми, архив на анкети и други;
- Техническо осигуряване на процеса по създаване на анкети и провеждане на анкетно проучване на отделните целеви групи;
- Програмно осигуряване с интуитивен дизайн за крайния анонимен обучаем, с възможност за дистанционна експлоатация;
- Значително съкращаване на времето за създаване и провеждане на анкети, намаляване на възможността за допускане на грешки, повишаване на точността и достоверността на обработваните анкетните карти.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Sociological method, Assoc. Prof. Petko Salchev, available at: https://www.slideserve.com /orinda/-914595, 2012.

[2] Higher Education Act, available at: https://lex.bg/laws/ldoc/2133647361, 2018.

[3] First steps at creating a survey, available at: https://survey.bg/info, 2019.

[4] Stefanova, K., Naneva, V., I. Jelev, Development of Web-based system for creating and conducting polls, „Innovative Software Tools and Technologies with Applications in Research in Mathematics, Informatics and Pedagogy of Education", 23-24 November 2017, Pamporovo, Bulgaria, pp.47-52.

[5] Vasileva, M., Andreev, A., C. Tsoneva, Software system "Inquiry", Scientific conference with international participation MATTEX 2016, pp. 165-169.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работата, представена в тази статия, е финансирана по проект 1919У, от фонд научни изследвания на ТУ-Габрово.

НАПРАВЛЕНИЕ 8

ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНЕТО

SESSION 8

TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

PERFORMANCE DEVELOPMENT BY KAIZEN METHOD AND APPLICATION IN PACKAGING INDUSTRY – CASE STUDY

Tahir ALTINBALIK, Şahin KARAKAYA

Trakya University, Department of Mechanical Engineering, 22030, Edirne, Turkey

tahira@trakya.edu.tr

Abstract

In this study, improving production as much as required at necessary times between production lines and processes was provided for an exclusive company which works in İstanbul/TURKEY. Besides, operations of production were inspected via Lean Management methods and new development methods for products whose amount of production rate are high and for products whose amount of production rate are low were created and applied. Required studies were performed via systems which aim for increasing efficiency in developed world such as KAIZEN, 5S and KANBAN. Especially, KAIZEN system was found efficient and applied for the company. One of the applied KAIZEN methods was defined with details in this study.

Keywords: Lean Management, Production, Kaizen

INTRODUCTION

In recent years, competition in the packaging industry all around the world has remarkably increased. At the sametime, industry reports have indicated that the sector is still responsive.

In case of looking at the sector closer, it is seen that many companies have been encouraged to adopt manufacturing systems which can supply more advantaged cost and quality. Lean production has been focused on by many studies so as to indicate its efficiency. Although there have been many studies so far, the challenges still sustain in the ability for applying lean methods in manufacturing industries. According to Maarof [1], review shows that previous studies have been done to examine the contributing factors and challenges to implement Kaizen successfully among organizations in some parts of the world. Kaizen described as word is derived from two Japanese words "Kai" which means change and "zen" which means for better [2].

This study intents to find some better ways of production system in package manufacturing company in Turkey. Kaizen method as "Before - After Kaizen" was implemented in this study in order to comfort production burden at some processes. In comply with literature, Kaizen methods had been described and then required applications were tried to be performed according to the methods. In addition to all these, the results reveal that many companies perform some ways of lean manufacturing without noticing it.

MATERIAL AND METHODS

Definition of Lean Production

The production and management system, now called as lean manufacturing, was found in the 1950s at the Toyota Motor Company in Nagoya, under the leadership of Eiji Toyoda who was one of the Toyoda family and his engineer Taiichi Ohno. According to Taiichi Ohno, the foremost person of the Toyota Manufacturing System, lean manufacturing is a holistic approach based on eliminating

waste in the system and continuously increasing efficiency of the system. Taiichi Ohno [3] described waste as "an activity that consumes resources but does not create value"; in other words, it is an activity that does not add value but creates cost.

The term Lean Manufacturing was found by John Krafcik in the late 1980s. John Krafcik defines lean production as a production system that does not carry any unnecessary facts and minimizes the facts such as error, cost, stock, labor, development process, production area, waste and customers' dissatisfaction. The most comprehensive definition for lean manufacturing is made in the work of Womack et al [4]. They assert that lean production is a universal process, combining the advantageous aspects of labor-intensive dependent production with mass production. It is defined as a mode of production which is free from the high cost of labor-intensive dependent production and the rigidity of mass production. To produce a wide range of product groups in lean manufacturing, skilled workers are employed at all levels of the enterprise and machines with high flexibility are used.

Lean production, in order to meet the demands of customers instantly, thinks the company as a whole team from top management to workers, suppliers, subcontractors [5].

Some Methods of Lean Production

- KAIZEN
- JIT
- VSM
- Kanban, Milk run
- HEIJUNKA
- SMED
- 5S
- HOSHIN KANRI
- YAMAZUMİ
- Poka-Yoke
- Jidoka

Kaizen

The word Kaizen is a Japanese concept derived from the words "kai" and "zen.. "Kai" stands for change and "Zen" stands for better. If we combine the meanings of these two words, the word "Kaizen" means continuous improvement [6]. The most important feature of continuous improvement is to believe that better can be done. In the lean production system, it is stated that it is difficult to achieve the target of zero error and zero stock. In this respect, targets have been determined in the same direction as kaizen in lean production. With continuous improvement in Kaizen, there is an effort to minimize costs by getting rid of wastes in the production system [7]. This effort also serves the same goals of lean manufacturing. In companies that adopted lean production system, continuous and regular works are carried out to improve production at all levels. Improvements to be made at Kaizen should not be short-term improvements. In Kaizen studies, small but continuous improvement of the process should be prioritized. Instead of finding temporary solutions for problems, it is preferable to find permanent solutions with inspecting root cause. The goal is not to save the day, but to save tomorrow by permanent methods. Otherwise, the problem may reappear after some time. Employees in lean manufacturing take an active role in the production system rather than being variable cost. It has been noticed that__many improvements have been accelerated after the implementation of the suggestion system in enterprises.

In order to accomplish Kaizen, 3 basic conditions must be met;

1- To see the current situation as inadequate,

2- To improve human factor,

3- To use problem solving techniques widely.

There are three types of Kaizen according to complexity and importance of problem;

1. Before / After Kaizen (Point Kaizen)

It is the improvement works done for the problems which are easy to explain with the photographs that show before and after as a single page form, which usually comes with the suggestions of the employees. It takes a short time to finalize (8 days as average). This type of Kaizen increases motivation, encourages employees to think, makes smarter work, creates the habit of making suggestions. As the most important advantage, it is easily understood by everyone.

2. Kobetsu Kaizen

These are the improvement activities of a team consisting of people from different departments, using the problem solving tools and implemeting PDCA (Plan, Do, Check and Act) cycle in order to find the root cause of the problem. It takes longer time than Before/After Kaizen (40 days as average). It is the method used to solve the problem permanently. The main objective is to focus on a topic with a team and to improve the determined issue systematically.

3. Kaikaku Kaizen (System Kaizen)

Unlike Kaizen, Kobetsu is defined as improvement activities in which more radical changes are made. It is coordinated by a team and consists of experts. Production, sales, market situations and financial conditions that may change should be well analyzed at the beginning of the study. It takes the longest time (120 days as average).

CASE STUDY

The Kaizen study performed for this packaging company is called as " Kaizen for joint control". The packaging products manufactured in the company are wrapped around rolls. There are various defects in the packages on these rolls which reach to customers. These defects are such as black dots on package, printing defects, blade marks, lamination and non-adhesive areas (Shown as figure 1). For this reason, complaints are received from the customers every year and Kaizen study was carried out to reduce them.

Fig. 1. *Black dots and printing defects on package*

In Kaizen study, "Joint control" was applied to prevent these faulty products to reach the customers. Production in the packaging company starts primarily in extrusion process (Shown as figure 2). The products from the extrusion process are sent to printing process as next process (if there is no printing process, it is directly passed to the lamination process). In the printing process, when the related design is printed on the products, they are sent to the lamination process (Shown as figure 3). Here, the required layers are laminated according to the structure of the material. For example: Polyethylene-Metalized Pet-Polyethylene structure has 3 layers and lamination process is performed by adding glue-catalyst between the layers. After the lamination process, the final process is slitting process, where the products are slitted as requested amount.

Fig.2. *Extrusion and printing processes*

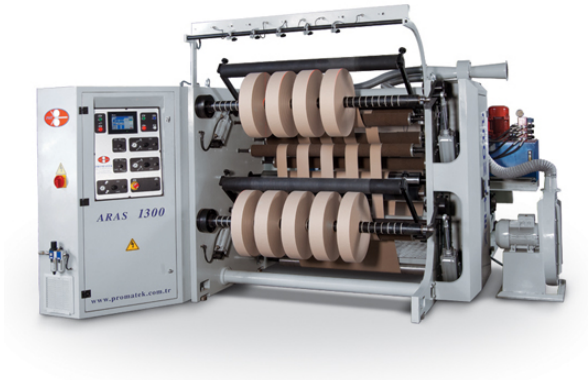


Fig.3. *Lamination and slitting processes*

What is Joint?

So as to show detected problems of all processes when they are at next process, it is made coloured joint/flag (Shown as figure 4). The joint is made in order to determine problems correctly and avoid sending problematic parts to customer via cleaning them. Operators make the joint in accordance with procedure arranged for each process (It is indicated for each process). The joint must easily be seen at the edge of reel and half of it must be out of reel. It must not fall down from reel. As soon as production operators detect the defect, they make the first mark with the appropriate additional joint (non-adhesive area, printing defect, blade mark, etc.). Then these problematic parts are cleaned at slitting process.

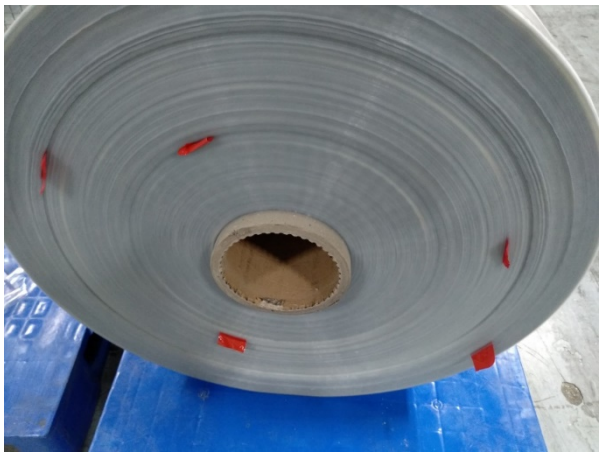


Fig.4. *Joints used inside of reel*

The Kaizen study identified why the problems occurred:

1. The joint is not used at right place.
2. Joint made does not properly indicate beginning and end of the problem.
3. Information of how many joints are done is not properly given to next process.
4. The problematic parts are not totally cleaned. (The problem can not be detected, then it is fixed on machine and keeping on production but problematic parts are sent to customer due to not cleaning)

The most important part here is whether the problematic areas are actually cleaned in the last stage. The Kaizen study is about minimizing the failure to clean the problematic parts at this stage.
If the problematic parts are not cleaned; Complaints are continuously received from customers. One of every four complaints received is due to correct joint is not made and the problematic parts are not cleaned properly.
The joints are defined by labels which are sticked onto reels from the previous process. The joint pieces on these labels indicate that there are problems in those areas and they must be cleared.

CONCLUSIONS

Before the Kaizen study;

In the final process (slitting process), the products were delivered to the customers with operator's iniative as whether the problematic parts are cleaned or not. There was no data indicating that it had been cleaned.

After the Kaizen study;

1. Control form is created for joints.

	JOINT CONTROL FORM						Machine no	
Date	Purchase order	Batch	Problem	Joint pieces written on label	Controlled joint samples	Operator no	Operator no 2	Contr

Fig.5. *Joint control form*

2. Operators working on slitting machines, which are the last process, are asked to take the samples of the problematic parts that they cleaned, and write PO, Batch and problem's definition on them.

3. Quality Assurance engineers are assigned to each of the machines. For example: Collecting and cleaning the daily cleaned joints on machine 21. Checking the pieces of joints with comparing the number of joints written on the label and the problematic parts which are cleaned. Via this method, cleaning of the joints in the final process is checked with the data.

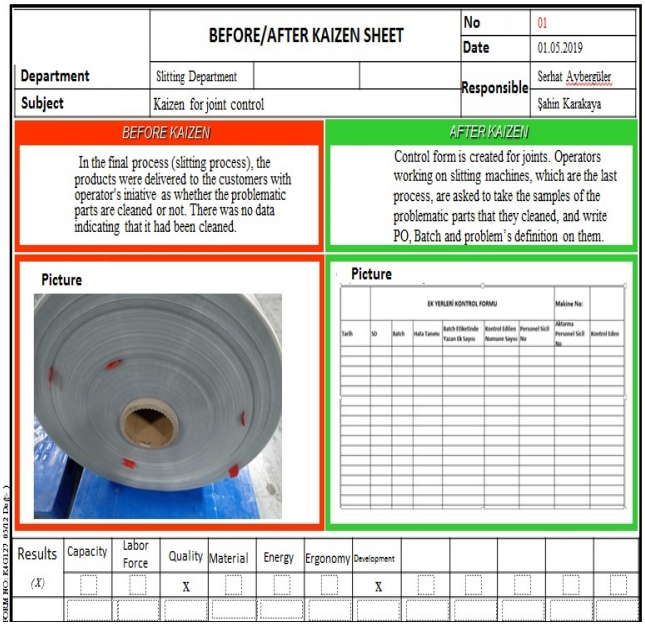


Fig.6. *Before/After Kaizen form*

REFERENCES

[1] Mohd Ghazali Maarof (2015). A Review of Contributing Factors and Challenges in Implementing Kaizen in Small and Medium Enterprises: Procedia Economics and Finance 35 (2016) 522 – 531.

[2] Palmer,V.S. (2001). Inventory Management Kaizen. Proceedings of 2nd International Workshop on Engineering Management for Applied Technology, Austin, USA. 55-56.

[3] Ohno, T. (1996). The spirit of Toyota: Born of Toyota production system and its evolution, (Translated by Canan Feyyat into Turkish) Scala publishing (2015),10-150.

[4] Womack, J., Jones, D. (2003), Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation. New York: Simon & Schuster.

[5] Marie, J.L, Bronet, V and Pillet, M.(2005), "A typology of 'best practices' for a benchmarking process", Benchmarking: An International Journal, Vol.12 No.1, pp.45-60.

[6] Imai, M. (1986). Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success. New York: McGraw-Hill.

[7] Veres, C. Case Study Concerning Effects of Japanese Management Models Application in Romania. Procedia Engineering 181 (2017) 1013 - 1020

FIGURES

Figure 2

https://images.app.goo.gl/WQHGpP1CiaX7BoXw6, 2019

https://images.app.goo.gl/ZpEQ2WEuRmszzfE49, 2019

Figure 3

https://images.app.goo.gl/qwjNkhky5SymBuZr7, 2019

https://images.app.goo.gl/4bBHQECR6R8PKzin8, 2019

ИЗСЛЕДВАНЕ ТВЪРДОСТТА НА СИСТЕМАТА Ti – ПС БС190 КРИСТАЛЕН, ПОЛУЧЕНА ЧРЕЗ МАГНЕТРОННО РАЗПРАШВАНЕ

Полина Илиева Милушева – Мандаджиева
Университет „Проф. д-р Асен Златаров“, гр. Бургас, pmilusheva@abv.bg

RESEARCH HARDNESS OF THE Ti – PS BS190 CRYSTAL SYSTEM, OBTAINED BY MAGNETRON SPUTTERING

Polina Ilieva Milusheva - Mandadzhieva
University „Prof. d-r Asen Zlatarov“, Burgas, pmilusheva@abv.bg

Abstract

The hardness of a titanium coating deposited on polystyrene PS BS190 crystal by vacuum deposition was investigated. The technological modes of deposition of the metal layer have been optimized in order to obtain a quality coating. The microhardness of the layers is measured. The results of the tests that have been carried out are graphically represented and conclusions are made.

Keywords: hardness, magnetron sputtering, thin films, vacuum deposition, titan

ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременните тенденции на промишленото развитие изискват нови технико-икономически решения за повишаване на експлоатационна надеждност на изделията, пестеливо разходване на суровините и високи якостни характеристики на материалите. Едно перспективно направление, за постигане на тези изисквания е използването на метализирана пластмаса. Това решение позволява съществено да се намали теглото на конструкцията и рационално използване на металите при запазване на якостните и технологични характеристики на изделията. Ето защо, в съвременното машиностроене и приборостроене, все по-широко се използват полимерни материали с нанесено метално покритие.

Заменяйки металните изделия с изделия от метализирана пластмаса, се постига рационално използване на металите, употребяването им в такова количество и само там, където са необходими техните метални свойства. Металният слой, нанесен върху полимерен материал, защитава същият от УВ-лъчението, топлинните потоци, намалява проницаемостта на влага и кислород. Тези свойства на металните покрития предпазват полимерните материали от бързо стареене.

Друго предимство на това решение е, че се дава възможност за заменяне на скъпо струващите метални изделия и получаване на нови структури с уникални свойства, чието използване води до намаляване на цената и теглото на изделията, както и икономия на материали и енергия.

Разработени са ефективни технологии за нанасяне на покрития, както във вакуум, чрез магнетронно разпрашване [1,2,3] при температура на обработка под температурата на топене на основния материал, така и при ниски температури, с използване на технологията на кипящия слой [4,5,6].

Тези технологии, значително повишават механичните качества на контактната повърхност, при сравнително ниска цена.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Цел и задачи на изследването

Целта и задачите, поставени в настоящата разработка е оптимизиране на техноло-

гичните режими за получаване на качествено покритие от Ti върху полистирол БС190 кристален, чрез магнетронно-йонно разпрашване и изследване твърдостта на системата покритие – полимерна подложка.

Избрани са Ti и полистирол Бустрен марка ПС БС190 кристален БДС 12603-85, като материали съответно за покритие и подложка. Изборът им е повлиян от свойствата им и практическото им приложение [7,8].

Материал за покритие и подложка

Титанът е лек, як, блестящ, устойчив на корозия преходен метал с бял сребрист метален цвят. Двете най-използвани свойства на титана са неговата устойчивост на корозия и високото съотношение здравина/тежест (най-високото спрямо всички останали метали). В чист вид без примеси титанът има здравината на някои стомани, но е с 45% по-лек от тях. [9]

Някои от механичните характеристики на титана са:

- якост на опън – *434 MPa;*
- граница на провлачване – *183 MPa;*
- относително удължение – *45 %;*
- твърдост – *51 HRC*

Полистирол Бустрен марка БС 190 кристален БДС12603-85, основните характеристики на който са представени в таблица 1, е материал със средна ударoустойчивост и с нормална течливост. Трябва да се съхранява в сухи закрити помещения, без достъп на пряка слънчева светлина и защитени от влага. Употребява се за производство на изделия за обща употреба, детайли в електротехниката, технически детайли, детски играчки, изделия за бита и др. [8].

Широкото използване на кристален полистирол в електротехниката и автомобилостроенето и ниската му цена го правят търсен и предпочитан.

Таблица 1. Основни характеристики на ПС БС190 кристален

№	Показатели	ПС БС190 кр	Методи за изпитване
1	Якост на удар по Изод с нарез, *J/m,* не по-малко от	15	ASTM D 256
2	Якост на скъсване, *Mpa, не по-малко от*	6	ASTM D 638
3	Относително удължение, %, не по-малко от	7	ASTM D 638
4	Якост на огъване, *MPa, не по-малко от*	9	ASTM D 790
5	Съдържание на летливи, *wt %,* не повече от	0,3	БДС 12603, т. 5.8
6	Съдържание на влага, *wt %,* не повече от	0,2	БДС 12603, т. 5.8
7	Топлоустойчивост по Вика, °C, не по-малко от	90	ASTM D 1525
8	Индекс на стопилка при 200 °C, натоварване 5 kg, g/*10 min*	4,0 - 7,0	ASTM D 1238

Получаване на металните покрития

Еднослойните метални покрития от Ti се получават чрез магнетронно йонно разпрашване във вакуум [10,11,12]. Използва се многофункционална вакуумна инсталация ВУП-5 (Украйна), при лаборатория „Физични технологии“ към ИЕ на БАН – гр. Сливен.

Поради наличието на органични и други замърсявания на повърхността на полимерния материал, предварително подложките трябва да се почистят. Образеца се обезмаслява с помощта на памучна кърпа и технически спирт при атмосферни условия.

Следва измиване с повърхностно активно вещество и чиста вода с температура 50 ^{o}C. Подложките се поставят във вакуум-камерата, в която ще се нанася металния слой. Там се изсушават до достигане на постоянна маса. С цел създаване на допълнителен окисен слой, подложките предварително се обработват с кислород. Стойностите на параметрите на режима са:

- налягане на кислорода – $p = 0,06$ *Pa;*
- работен ток – $Ip = 0,8$ *A;*
- работно напрежение – $Up = 390$ *V;*
- времетраене – *5 min.*

Отчитайки конкретните особености на лабораторното оборудване и след серия от експерименти са установени оптимални технологични параметри на режима на нанасяне, представени в таблица 2.

Изследване на твърдостта на системата покритие - подложка

Получените покрития от титан са с малка дебелина ≈ 2,5 μm. Измерването на

тяхната собствена твърдост е възможно само чрез измерване на микротвърдостта им [13].

Настоящото измерване на микротвърдостта е по метода на Викерс. Използван е нанотестер с компютърно управление FISHERSCOPE® H100 (Германия), представен на фигура 2.

Системата осигурява максимална чувствителност и позволява измерване при

натоварване от 0,4 до 1000 mN. На практика се използва за всички тънки покрития.

Индентор е диамантена пирамида, а натоварването е 5 mN, поради това, че подложката е полимерна.

Обект на измерване са три проби, на които е нанесено титаново покритие. Измерванията са извършени в различни точки от повърхността, при следния режим:

Начин на работа: *Натоварване в точка*

Индентор: *Викерс*

Режим на работа: *Натоварване, с последващо разтоварване*

Натоварваща сила: *Нарастваща от 0,4 mN до 5 mN*

Брой стъпки за един цикъл: *60 стъпки през 0,766 mN*

Задържане между две стъпки: *1 s*

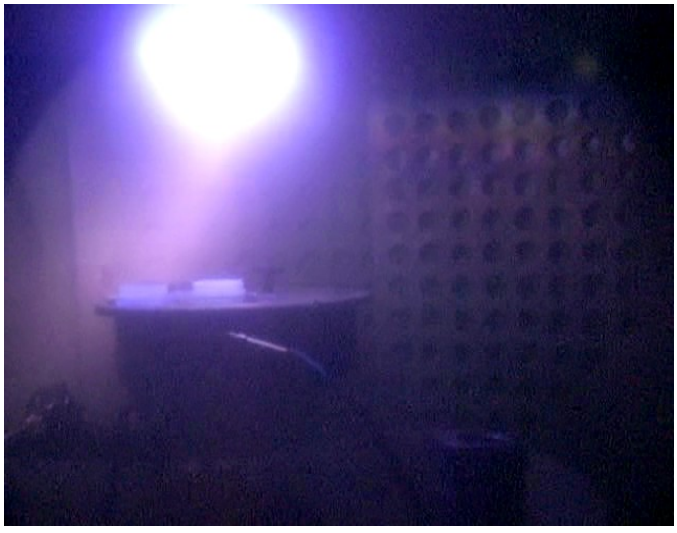
Общо време на натоварване: *60 s*

Време на задържане преди старта: *2 s*

Измерена е твърдостта на образеца от страната без покритие и твърдостта на слоя. Отчетени са средните стойности от извършените измервания. Освен твърдостта HV при измерването се отчитат стойностите на модула на еластичност E^*, GPa пълната енергия W_t, nJ и енергията на пластична деформация W_r, %. Резултатите са посочени в таблица 3.

Таблица 2. Оптимални технологични параметри на режима на нанасяне на покритието

Процес	Параметър	Означение	Стойност
предварително почистване	топла вода, веро и изплакване с дестилирана вода, изсушаване на въздух		
катодно почистване	няма		
обработка с кислород	работно налягане	p_o, *Pa*	*0,06*
	работно напрежение	U_o, *V*	*390*
	разряден ток	I_o, *A*	*0,8*
	времетраене на процеса	t_o, *s*	*300*
процес на нанасяне	налягане на работния газ	*p, Pa*	*0,09*
	напрежение на разряда	U_p, *V*	*450*
	ток на разряда	I_p, *A*	*0,8*
	време за нанасяне	*t, s*	*2400*



Фиг. 1. Процес на магнетронно йонно разпрашване във вакуум

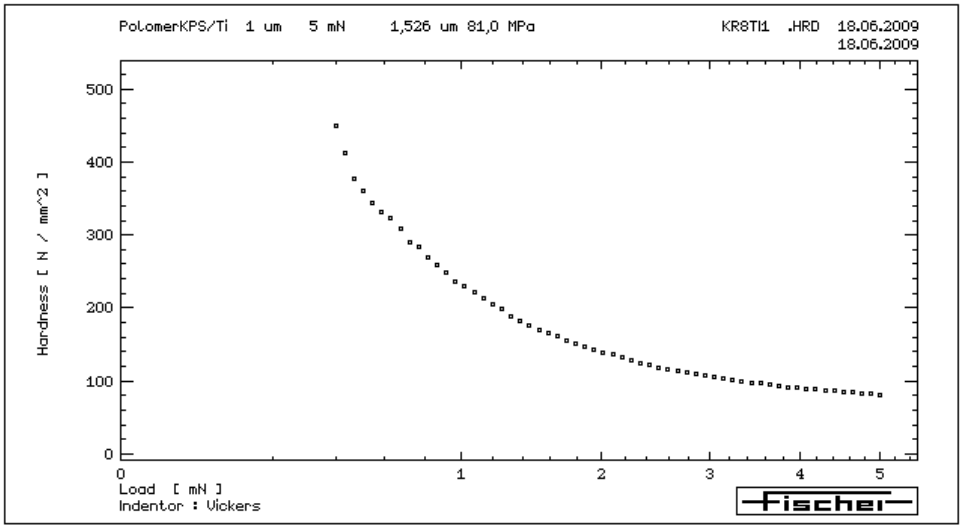
Фиг. 2. Нанотестер с кмпютърно управление FISHERSCOPE® H100

Таблица 3. Отчетени стойности на якостните характеристики на нанесеното покритие

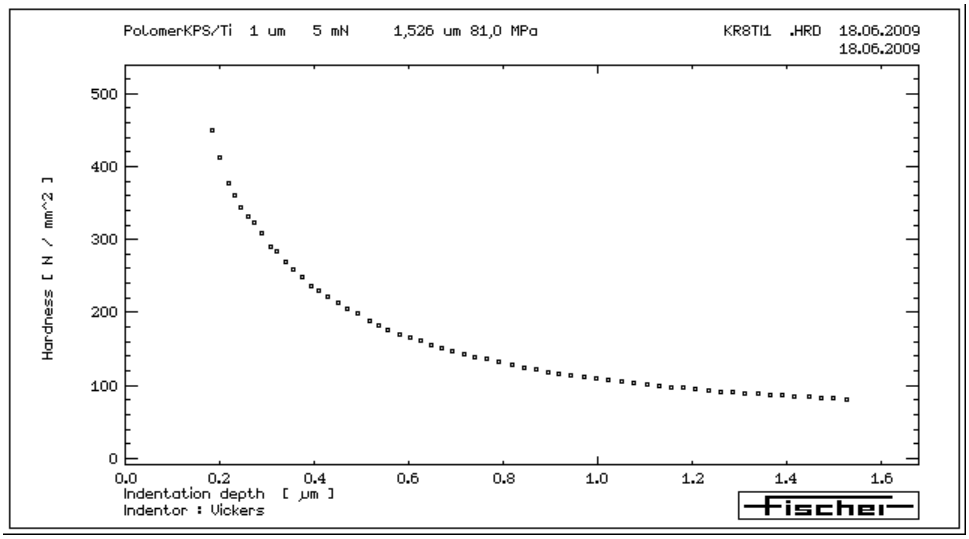
Обект на измерване	№	Твърдост *HV*	Дълбочина на проникване на индентора *h, μm*	Модул на еластичност E^*, *GPa*	Пълна енергия W_t, *nJ*	Енергия на пластична деформация W_r, *%*
Страна без покритие	1	10,1	4,676	0,19	8,8	50,82
	2	9,8	3,326	0,23	9,2	49,66
	3	8,9	5,306	0,21	9,4	47,06
	ср.ст-т	9,6	4,436	0,21	9,13	49,18
Страна с покритие	1	94,6	1,527	2,88	3,57	20,90
	2	79,4	1,391	3,57	3,29	18,44
	3	69,0	1,660	2,46	3,34	19,88
	ср.ст-т	81,0	1,526	2,97	3,40	19,74

На фигури 3-5 е показано изменението на пълната енергия и енергията на пластична деформация за системата покритие-подложка, за страна без покритие и за страна с покритие от Ti, в зависимост от натоварването.

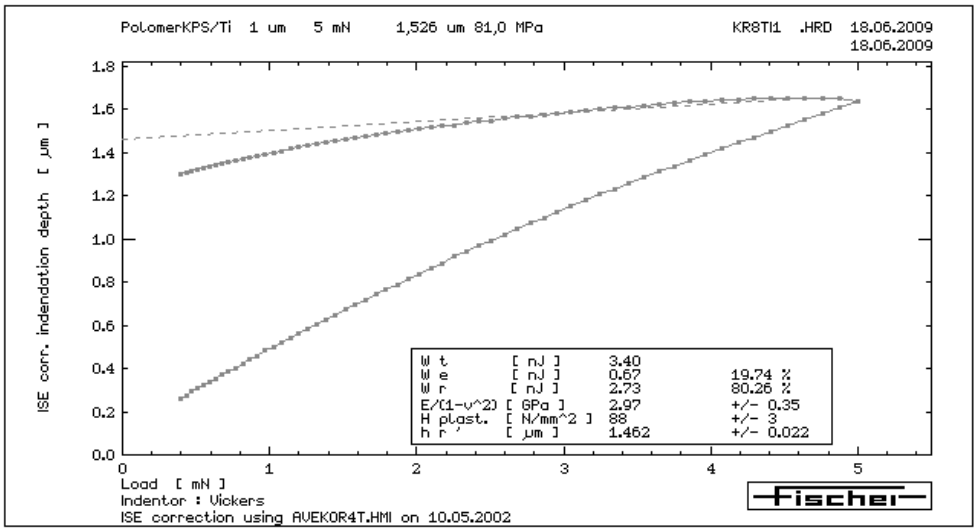
На база получените средни стойности за микротвърдостта, е построена хистограма, показана на фигура 6. От фигурата се вижда значителното увеличаване на твърдостта, след нанасяне на титановото покритие.



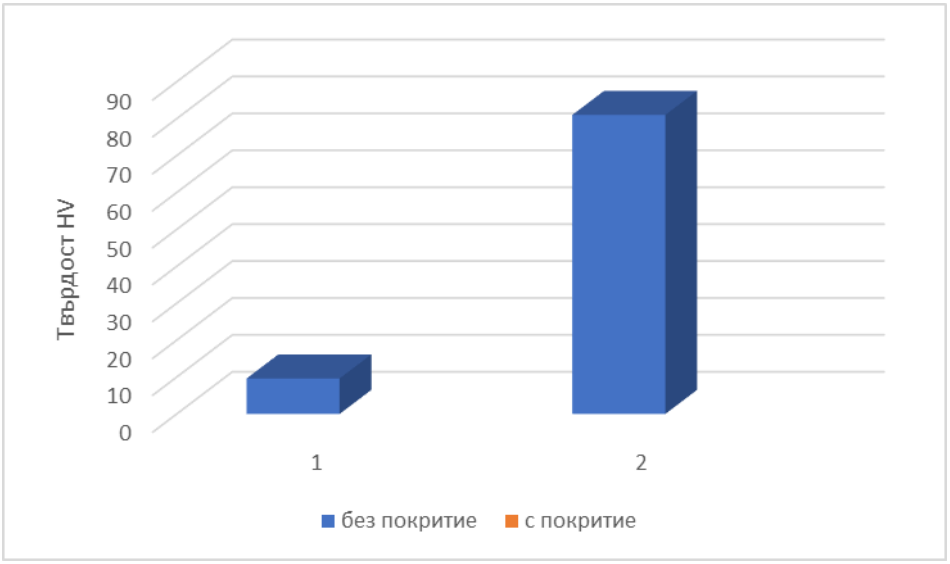
Фиг. 3. Зависимост на твърдостта HV от натоварването за покритие от Титан, нанесено върху подложка от ПС БС190 кр



Фиг. 4. Зависимост на твърдостта HV от дълбочината на проникване за покритие от Титан, нанесено върху подложка от ПС БС190 кр



Фиг. 5. Диаграма натоварване-разтоварване и механични характеристики от наноиндентация за покритие от Титан, нанесено върху подложка от ПС БС190 кр



Фиг. 6. Диаграма на микротвърдостта за покритие от Титан, нанесено върху подложка от ПС БС190 кр

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените изследвания на микротвърдостта могат да се направят следните изводи:

- получени са покрития от титан върху кристален полистирол по метода на вакуумно магнетронно разпрашване;
- получените покрития са равномерни и с дебелина, позволяваща измерване на микротвърдост;
- измерването на микротвърдостта е извършено с помощта на ултра-ниско натоварвана динамична система за микро отстъп, позволяваща бързо и лесно автоматизирано тестване на микротвърдост и други физични свойства, без влияние на субективния фактор;
- за точно и коректно измерване, индентора на микротвърдомера трябва да попада в централната зона на зърната, а не в междузърнестите пространства; това е известно затруднение, породени от същността и структурата на полимера;
- измерените стойности на микротвърдост за системата покритие-подложка, от страна с покритие, надвишават значително стойностите на твърдостта на полимера;
- автоматизираното изпитване на твърдост, позволява и измерване на механичните свойства – еластичност, пластичност и модул на еластичност.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Leon A. Benefits of split mandrel coldworking. International Journal of Fatigue 1998;20(1):1-8.

[2] Milusheva P., Tz. Uzunov, N. Ivanov, Research on the surface characteristics of *Ti* and *Fe-Cr-Ni* alloy thin films on polymeric substratum. Journal of the Balkan Tribological Association 2010;16(4):564–569.

[3] Rusev D. High voltage technology for deposition of carbon coating onto polymeric substrate. Journal of the Balkan Tribological Association 2019;25(1):3-11.

[4] Rusev D. Hydrodynamics of fluidised bed layer by the deposition of wear-resistant coating onto polyamide structure. Journal of the Balkan Tribological Association 2017;23(2):308-317.

[5] Rusev D. MODIFICATION OF THE SURFACE LAYER OF A BLADE FOR FREON OPERATED TURBINE, Annual Assen Zlatarov University, Burgas 2018; XLVII(1):121-125.

[6] Rusev D. Methodology for Technological Calculation and Design of Fluid Apparatuses. Annual Assen Zlatarov University, Burgas 2005; XXXIV (1): 115-120.

[7] Kostov K., Mechikian T. E., Nedev T. B. et al., Materials selection and strength sizing in mechanical engineering. Sofia: Engineering, 1988.

[8] Engineering Plastics with Industrial Application, Company Catalog of Yavor I Ltd. - Plovdiv.

[9] https://bg.wikipedia.org/wiki/Титан_(елемент) 25.04.2018

[10] Lipin Yu. V., Rogachev A. V., Kharitonov V. V., Vacuum metallization of polymeric materials, L.:Chemistry,1987.

[11] Lipin Yu. V., Meerson S. L., Myakisheva L. S. et al., Metallization of polymer films in vacuum, Riga:Obzor-LatNIINTI, 1974.

[12] Lipin Yu.V., Meerson S. L., Myakisheva L. S. et al., Surface preparation of polymer films before vacuum metallization, Riga:Obzor-LatNIINTI, 1980.

[13] Angelov, I., Petrov M., Theory of Engineering Experiment, TU-Gabrovo, 2002.

ELECTROTERMOSTAT DESIGN FOR ROOM THERMAL COMFORT CONTROL

Oktay HACIHAFIZOĞLU
The University of Trakya

Ömer Faruk SEL
The University of Trakya

Özcan ÇETİNKAYA
The University of Trakya

Erdem YAZGAN
The University of İstanbul

Abstract

In this study, a microcontroller which is based on electro-thermostat is designed for indoor spaces, which is heated by a natural gas-fired heating system. Thermal comfort is controlled by opening and closing a valve and the valve connects to the radiator by measuring the room temperature and humidity in order to reach the specific or desired room value and in order to fix the room temperature to that value. In addition, when the windows are open for more than 1 minute with the limit switches, which are attached to the room windows. In this case, the system cuts also the water out to the radiator and so, it saves energy. Furthermore, there is a DHT11 temperature and humidity sensor to measure the room temperature and humidity in the system with the help of a potentiometer in order to set the room temperature to the desired setting value and also, the screen, which is depended on the display, has the measured humidity and temperature information and the set temperature value of the room and finally, the development board with the Atmel-based ATmega328P microcontroller has been used. Experimental findings have discussed and recommendations for the development of thermal comfort systems have been presented.

Keywords: Room thermostat, efficient energy, thermal comfort.

INTRODUCTION

Nowadays, due to the decrease in fossil energy sources, energy unit prices have increased, therefore, researchers has been working on new energy sources and on the other hand, they have been looking for ways to make or use existing energy sources efficiently. Nowadays, indoor comfort temperature is controlled by smart systems between 20-25 ^{0}C depending on the work and season (Coskun et al, 2009). However, when the existing building stocks are considered, because the indoor comfort temperature is not controlled by smart systems, the energy loss is very high. This means that the more public energy expenditure and the greater share of the country's budget for energy expenditure. This situation leads to an increase in the current account deficit and increases the foreign dependency (Doğan and Yılankıran, 2015). In addition, the excess energy used often negatively affects heat comfort. It is possible to make the heat comfort stable and to use the energy more efficiently with small modifications to the existing systems where the use of electronics is easier.

In this study, it is aimed to keep the indoor comfort temperature at the desired target temperature and to use the energy source efficiently with a room thermostat designed for the hot water flow of a radiator used in a closed environment heated by natural gas. In order to reach the desired set value and to fix the indoor comfort temperature with the system created in this study; By measuring the indoor room temperature, outdoor temperature and humidity, the indoor thermal comfort control is performed by opening and closing a valve connected to the radiator.

In addition, with the limit switches installed in the room windows, when the windows remain open for more than 1 minute, the system cuts the water out to the radiator and so, it saves some more energy.

System includes DHT11 temperature and humidity sensor for measuring indoor room

temperature and humidity, DS18B20 temperature sensor for measuring outdoor temperature, magnetic door switch to determine when the window is open, a valve for controlling the flow of water through the radiator, and a valve with measured internal room and outdoor temperatures ArduinoUno development board, where all data from system elements are processed and controlled by 2x16 LCD text display showing warning and target temperature and control software prepared.

SYSTEM COMPONENTS

The DHT11 has a high reliability and stable 8-bit microprocessor for long-term operation. The fast-responding calibrated digital temperature and humidity sensor measures 0 to 50 ^{0}C ± 2 ^{0}C error, 20 to 90% ± 5% error and relative humidity. is an advanced sensor unit that outputs the signal. (Int-1, 2019)

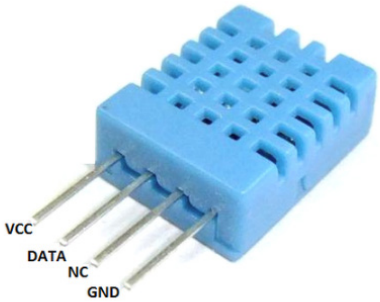


Fig. 1. DTH11 Temperature and Humidity Sensor

The DS18B20 temperature sensor (1-Wire) is a temperature sensor that converts temperatures from -10 ^{0}C to + 85 ^{0}C to a digital output with a resolution of 9-12 bits using the single-line communication protocol with an accuracy of ± 0.5 ^{0}C (Int.-2, 2019).

Fig. 2. DS18B20 Temperature Sensor

The magnetic door switch relay with tongue contact has a normally open contact, and when the magnet is at least 20mm closer to the relay, the tongue contacts close to inform the microcontroller that the window is closed. Of course, when the magnet moves more than 20mm away from the tongue contacts, it is a switch with a tongue contact relay and a set of natural magnets that sends information that the window is open because the contacts are open. (Int-3, 2019)

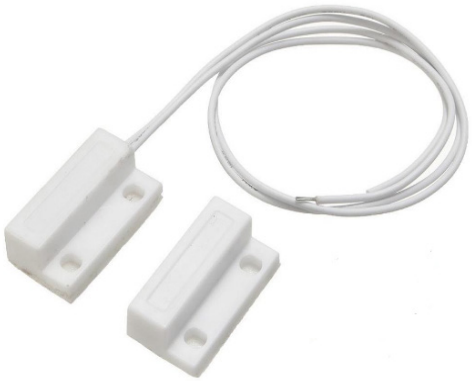


Fig. 3. Magnetic Door Switch.

The TC1602 is an LCD display that shows the indoor room temperature and humidity measured by the sensors in the system, the outdoor temperature and whether the window and valve are open in 2 rows and 16 columns. (Int.-4, 2019)

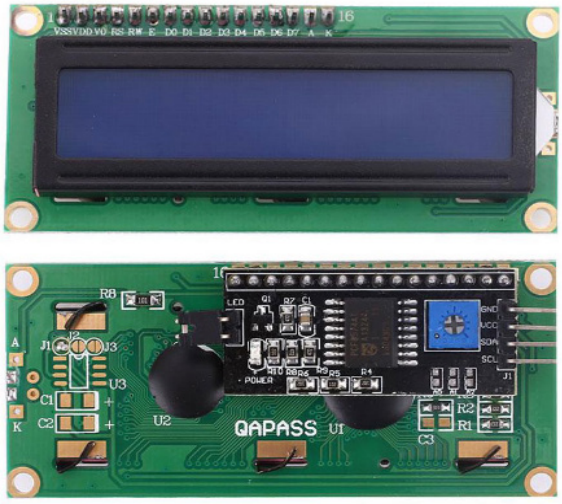


Fig. 4. 2x16 TC1602 LCD Display

AQT15SP is a solenoid valve that can operate with a minimum pressure of 0.02 MPa of 3/4 "inlet and outlet pipe diameters working

with 12V to control the water flow through the radiator in the system (Int.-5, 2019).

Fig. 5. AQT15SP Solenoid Valve

Ardunio Uno is a development board with 6 analog inputs, 14 digital inputs and outputs and ATMEL - based ATmega328 microcontroller (Int.-6, 2019).

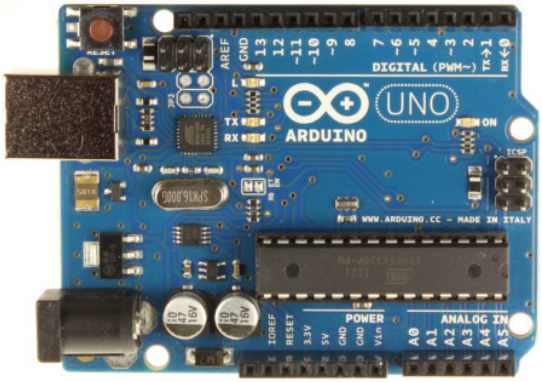


Fig. 6. Arduino Uno

SYSTEM OPERATING CYCLE

Algorithm flow chart of the control software prepared for the system is shown in Figure 7, when the system is closed, the temperature and humidity values are measured and compared with the set temperature. In case the temperature exceeds the set temperature, it closes the valve and prevents hot water from entering the radiator. When the window is open, it gives a waiting time of one minute, and in case of exceeding the waiting time, it sends a signal to the valve to save energy and closes the hot water inlet.

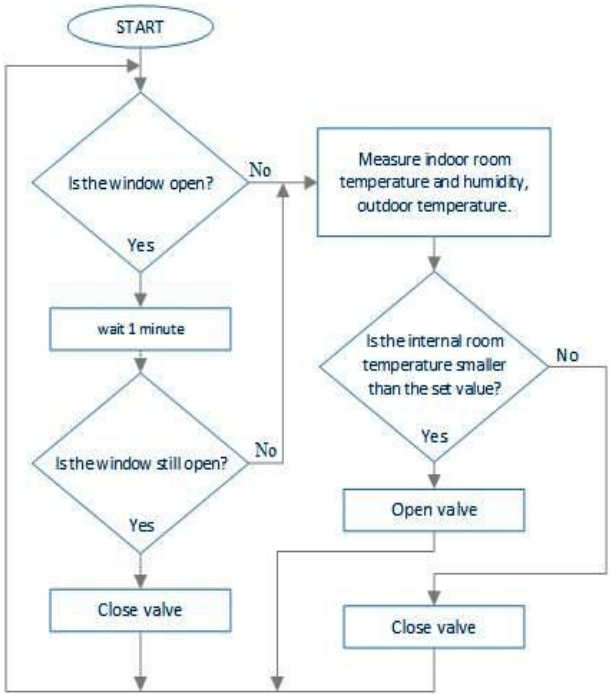


Fig. 7. Algorithm Flow Chart

Fig. 8. The Differences of Desired and Indoor Heat Values

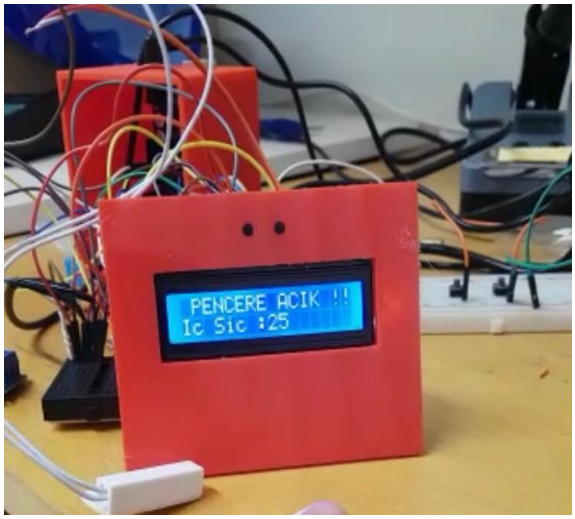


Fig. 9. Room Thermostat Operations

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

In this study, it was realized that the indoor comfort temperature was kept at the desired target temperature by a room thermostat designed for hot water flow of the radiator used in a closed environment heated by natural gas. Depending on the indoor comfort temperature being kept at the desired target temperature and the windows being open, the room was not heated unnecessarily, thus saving energy and contributing to energy efficiency. In addition, temperature and humidity of the indoor environment, outdoor temperature and system warnings are shown on the thermostat display. Intelligent systems currently cover a limited portion of the housing stock still available. By making the system more useful with the studies to be done, it can contribute to energy efficiency and thermal comfort by using it in the existing building stocks.

REFERENCE

[1]Coşkun C., Oktay Z., Ertürk M., 2009, The evaluation of the indoor temperature parameter selected in the heating season of the houses in terms of energy-cost-environment and an application example, IX. National Installation Engineering Congress, 529-538.

[2]Dogan H. Yılankırkan N., 2015, Turkey's Energy Efficiency Potential and Projection, Journal of Gazi University Science Part C, Design & Technology Gu Jun Scan Part C 3 (1), 375-383.

[3]Int-1, 2019, DTH11 Technical Data Sheet, https://www.mouser.com/ds/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf.

[4]Int-2, 2019, DS18B20 Technical Data Sheet, https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf.

[5]Int-3, 2019, Magnetic Door Switch Data Sheet, http://www.braude.ac.il/files/departments/electrical_electronic_engineering/labs/data_pages/p3.pdf.

[6]Int-4, 2019, GDM1602K Technical Data Sheet, https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/GDM1602K-Extended.pdf.

[7]Int-5, 2019, AQT15SP Technical Data Sheet, https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/Aqua%20Tech%20Solenoid%20Valves.pdf

[8]Int-6, 2019, Ardunio Uno Technical Data Sheet, https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3.

INVESTIGATION OF HEAT TREATED TI-6AL-4V PLATE WITH DIFFERENT POWER BY LASER

Dr. Sencer S. KARABEYOĞLU
Kırklareli University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department Kırklareli/ TURKEY
E-mail: sencerkarabeyoglu@klu.edu.tr

Dr. Olcay EKŞİ
Kırklareli University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department Kırklareli/ TURKEY
E-mail: oeksi@klu.edu.tr

Abstract
In this study, titanium plate surface was applied heat treatment in different powers and different cycle. The microstructure and micro hardness values of the markes formed on the surface of titantum plate were taken. The effects of hardness change on the surface of the material depending on laser power on production parameters were investigated.

Keywords: Titanium, laser marking, hardness, microstructure.

INTRODUCTION

Titanium is at the center of the recent technical developments because of its physical and mechanical properties. Its ability to work in special harmony with human tissue, plays an important role in its use as a prosthesis. Furthermore, corrosive materials are more advantageous than other materials because they do not react with another materials [1-5].
When weight and mechanical properties are compared, we can see Titanium materials provide more advantages over conventional materials. Many fields, especially aerospace industry used this material for its advantages. For this reason Titanium materials were focused by academicians and industries. Pure Ti and its alloys used in many researches. One of this alloy is Ti6Al4V [6-10].

Ti6Al4V materials are important engineering alloy which has been frequently used for like power generation, marine industry, aerospace. Ti6Al4V materials mechanical properties and hardness of surfaces can be changed by heat treatment [11,12]. Laser treatment is one of the mostly utilized method in titanium materials' surface modification. In the literature, surface texture with controllable high frequency light is widely studied [13].

In addition to surface texturing, surface coating can be performed via materials that are similar to the main material with the help of laser surface treatment. Remodification of surface is important for the materials that are in physical contact because of friction effect. Moreover, it is important in medical implant applications on bone structures.

Quin Wang. Et. al. studied the effect of color surface change on Ti6Al4V material hardness by exposing the material to a surface texture that has 2 μm grain size in various frequencies

Andrzej Grabowski Et. al. performed surface texture with laser on Ti6Al4V, stainless steel, aluminum silicon alloy and determined that surface's optic reflections are linked with the production method [14].

C.G.Moura Et. al. investigated oxidation surface of texture area and electrical properties of Ti6Al4V using nanosecond laser [15].

In this study, surface texture is conducted on Ti6Al4V with laser marking for various frequencies then material microstructure and micro hardness are investigated.

EXPOSITION

Laserisse laser marking machine is used in the study. Laser machine's technical properties are provided in Table1.

Table. 1. *Technical properties of Laser Marking Machine*

Laser Source	Fiber - SPI
Average Power	100W
Beam Quality M^2	< 1,6
Max Peak Power (kW)	>10
Max Pulse Energy (mJ)	>1
Pulse Repetation Frequency Range	1-1000
PulseTune Waveforms	32
Pulse Duration Range(ns)	12-500
Output Power Stability %p-p	<5
Wavelength	1060 nm
Marking Field*	120 mm x 120 mm
Working Distance	163 mm +/-2 mm

Chemical composition of Ti6Al4V plate is given in Table 2.

Table. 2. *Chemical Composition of Ti6Al4V*

Chemical Composition							
Fe	C	N	O	H	Al	V	Ti
<0,01	<0,01	0,01	0,12	0,004	6,2	4,1	Remainder

Ti6Al4V plate is processed with different frequencies and cycles by laser marking machine. Process conditions and cycles are presented in Table 3.

Table. 3. *Technical Data of Process Conditions and Cycles*

100 W Constant Power				
Velocity; 2000mm/sn	**Exp. 1**	100 kHz / 1 Cycle	**Exp. 6**	100 kHz / 5 Cycle
Power; %100 (100W)	**Exp. 2**	150 kHz / 1 Cycle	**Exp. 7**	150 kHz / 5 Cycle
Fill Frequency; 0.05	**Exp. 3**	200 kHz / 1 Cycle	**Exp. 8**	200 kHz / 5 Cycle
Filling Count; 3	**Exp. 4**	300 kHz / 1 Cycle	**Exp. 9**	300 kHz / 5 Cycle
Set Angle; 60°	**Exp. 5**	75 kHz / 1 Cycle	**Exp. 10**	75 kHz / 5 Cycle

The texture formed on the material surface as a result of laser marking process is shown in Figure 1.

Fig. 1. *Marked Ti6Al4V material*

Obtained microstructures of material's textured surface using inverted microscope is demonstrated in Figure 2.

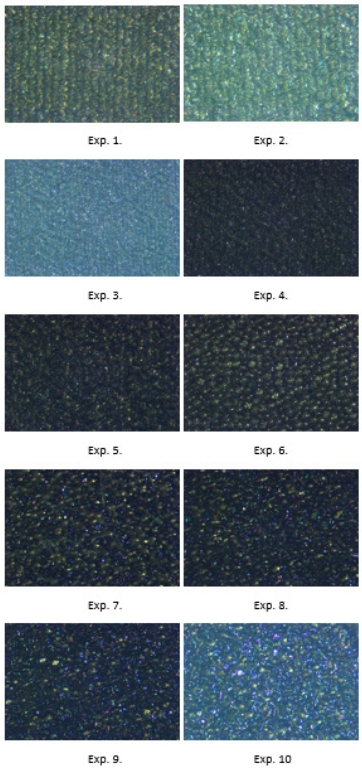


Fig. 2. *Microstructure of Textured Materials*

Micro hardness tests are applied 200gf load. Tests are applied three times at various locations and the averaged values of all results are shown in table 4.

Table. 4. *Results of Micro Hardness Test*

Vickers Micro Hardness Measurements	
Specimen	**HV value**
Original Ti6Al4V	**410**
1	520
2	575
3	586
4	620
5	486
6	610
7	632
8	637
9	670
10	527

CONCLUSION

When micro structure analyses of Ti6Al4V is investigated it is observed that surface quality is influenced by laser marking frequencies and cycle variations. Moreover, it is found that laser beam depth is also increased.

When experimental results are compared with each other, it is observed that increase in frequency does not have any affect in beam depth for initial cycles. On the other hand, significant increase in beam depth is noticed in 5th cycles. This can be explained with the formation of cooling surfaces because of increase in beam depth.

REFERENCE

[1] Zhou R, Wei D, Cao J, Feng W, Cheng S, Du Q, Li B, Wang Y, Jia D, Zhou Y. “Synergistic effects of surface chemistry and topologic structure from modified microarc oxidation coatings on Ti implants for improving osseointegration” ACS Appl Mater Interfaces 2015;7(16):8932–41.

[2] Kulkarni M, Patil-Sen Y, Junkar I, Kulkarni CV, Lorenzetti M, et al. “Wettability studies of topologically distinct titanium surfaces” Colloids Surf B Biointerfaces 2015;129:47–53.

[3] Yan Y, Chibowski E, Szcześ A. “Surface properties of Ti-6Al-4V alloy part I: surface roughness and apparent surface free energy” Mater Sci Eng C 2017;70:207–15.

[4] Echeverry-Rendón M, Galvis O, Quintero Giraldo D, Pavón J, López-Lacomba JL, Jiménez-Piqué E, Anglada M, Robledo SM, Castaño JG, Echeverría F. “Osseointegration improvement by plasma electrolytic oxidation of modified titanium alloys surfaces” J Mater Sci Mater Med 2015;26(2):1–18

[5] R. Banerjee, P.C. Collins, A. Genç, H.L. Fraser “Direct laser deposition of in situ Ti–6Al–4V–TiB composites“ Mater. Sci. Eng. A, 358 (2003), pp.343-349

[6] Imam, M.A. and Fraker, A.C. “Titanium alloys as implant materials in Medical applications of titanium and its alloys”, Philedelphia (1996), pp.3-15,

[7] M.Y. Koo, J.S. Park, M.K. Park, K.T. Kim, S.H. Hong “Effect of aspect ratios of in situ formed TiB whiskers on the mechanical properties of TiBw/Ti–6Al–4V composites” Scr. Mater., 66 (2012), pp. 487-490

[8] Chao Li, Jinyang Xu, Ming Chen, Qinglong An, Mohamed El Mansori, Fei Ren ”Tool wear processes in low frequency vibration assisted drilling of CFRP/Ti6Al4V stacks with forced air-cooling” Wear, V: 426–427, Part B, (2019), Pages 1616-1623, ISSN 0043-1648,https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.005.

[9] Shunyu Liu, Kyung-Min Hong, Christopher Katinas, Yung C. Shin "Multiphysics modeling of phase transformation and microhardness evolution in laser direct deposited Ti6Al4V" Journal of Manufacturing Processes,Volume 45, (2019), Pages 579-587,ISSN 1526-6125, https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.07.027.

[10] Chaoyue Chen, Yingchun Xie, Xingchen Yan, Shuo Yin, Hirotaka Fukanuma, Renzhong Huang, Ruixin Zhao, Jiang Wang, Zhongming Ren, Min Liu, Hanlin Liao "Effect of hot isostatic pressing (HIP) on microstructure and mechanical properties of Ti6Al4V alloy fabricated by cold spray additive manufacturing” Additive Manufacturing Volume 27, (2019), Pages 595-605,ISSN 2214-8604,https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.03.028.

[11] Torres Y, Sarria P, Gotor FJ, Gutiérrez E, Peon E, Beltrán AM, et al. “Surface

modification of Ti-6Al-4V alloys manufactured by selective laser melting: microstructural and tribo-mechanical characterization" Surf Coat Technol (2018) ;348(April):31–40.

[12] Guleryuz H, Cimenoglu H. "Surface modification of a Ti-6Al-4V alloy by thermal oxidation" Surf Coat Technol (2005) ;192 2–3 ,pp: 164–70.

[13] Fojt J. Ti-6Al-4V alloy surface modification for medical applications. Appl Surf Sci (2012); 262: 163–7.

[14] Qinghua Wang, Avik Samanta, Fatima Toor, Scott Shaw, Hongtao Ding "Colorizing Ti-6Al-4V surface via high-throughput laser surface nanostructuring" Journal of Manufacturing Processes, Volume 43, Part B, (2019), Pages 70-75. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.03.050.

[15] C.G. Moura, O. Carvalho, L.M.V. Gonçalves, M.F. Cerqueira, R. Nascimento, F. Silva "Laser surface texturing of Ti-6Al-4V by nanosecond laser: Surface characterization, Ti-oxide layer analysis and its electrical insulation performance"Materials Science and Engineering: C, Volume 104,(2019),109901,ISSN 0928-4931, https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.109901.

НАПРАВЛЕНИЕ 9

ХИДРАВЛИКА, ПНЕВМАТИКА И ТОПЛОТЕХНИКА

SESSION 9

HYDRAULICS, PNEUMATICS AND HEAT ENGINEERING

ANALYSIS OF INERT GAS SYSTEMS OF MODERN CHEMICAL TANKERS

V. Aftaniuk [1], Al. Aftaniuk [1], A. Aftaniuk [1]
[1] *National University "Odessa Maritime Academy"*

The content, advantages and disadvantages of inert gas systems on modern chemical tankers were analyzed. The first stage addresses the requirements of the SOLAS International Convention for the Safety of Life at Sea to ensure the efficient filling of chemical tankers with inert gases, equipment and controls necessary to ensure the safety of handling operations. In the second stage explained description of the structures of systems for production and storage of inert gas (nitrogen) on a ship. The experience of operating inert gas (nitrogen) systems on a chemical tanker is presented. The ways of improving design of a liquid nitrogen tank have been determined, which allows reducing operational losses. Based on the performed analysis, it is possible to develop a model of a liquid nitrogen tank, which will allow to calculate and optimize the evaporation process under different operating modes.

Keywords: chemical tankers, inert gas systems, storage of liquid nitrogen

INTRODUCTION

Onboard a chemical tanker inert gas systems can be used for:

- preventing fire and explosion by keeping the atmosphere in the tank under LEL;
- prevention of chemical reaction;
- maintaining cargo quality.

The flammable gases which commonly found in a chemical media cannot be released to the atmosphere. The atmosphere that cannot maintain combustion is considered to be inert. Inert gas is used to displace air in the tank to create non-combustible space.

The fire hazard caused by the cargo fixed in the cargo tank depends on the ignitability of the product and the oxygen in the atmosphere. By filling the tank with an inert gas such as nitrogen, the oxygen content can be reduced to a level where the atmosphere will no longer maintain combustion.

Minimum oxygen concentration (MOC) is defined as the minimum oxygen concentration below which combustion is not possible, regardless of the concentration of flammable vapor present for most hydrocarbons, the MOC varies from 10.5% to 12.0%. It depends on the temperature, pressure and type of inert gas. SOLAS [1] require that the atmosphere must be maintained in an atmosphere at a maximum oxygen content of 8%, although some chemicals may have a lower oxygen content that should be maintained.

The inert atmosphere will again become flammable when air enters. It is therefore important that the tank remains completely closed. The natural breathing of the tank through the ventilation system introduces air into the atmosphere of the tank during the voyage. It is therefore important that the oxygen level is checked regularly and, if necessary, replenished with inert gas.

SOLAS indicates that the maximum amount of oxygen that allows the tank to be effectively inerted is 8%. The rules also describe the equipment and controls necessary to ensure the safety of the operation. Not all chemical tankers are equipped with inertial potential, but more and more are being supplied with inert systems, usually nitrogen.

From January 1, 2016, vessels using inert gas comply with the new SOLAS 16.3.3 rules, which should only use nitrogen to inert their tanks [1].

SOLAS rules require reliable and safe operation of inert gas systems, regardless of the source of inert gas and the method of its storage [1].

The main criteria for the reliability of inert gas systems, in addition to safety, are the purity of the inert gas and the reduction of emissions during storage.

EXPOSITION

The sources of inert gas available to tankers from the chemical industry are:

-savings of stagnant nitrogen;
-saving nitrogen;
-nitrogen generators from adsorption adsorbents;
-nitrogen generators using membrane separation;
-nitrogen supplied from shore;
-heated inert gas generators.

There are also systems that allow you to get nitrogen when you burn, usually gas oil. The resulting inert gas is cheap and efficient. However, the inert gas produced has many impurities. It must be cooled and cleaned with water to remove soot and sulfuric acid before being fed to cargo tanks. Some cargoes react with carbon dioxide. Other loads have a high sensitivity to moisture or may cause discoloration. As a treatment, the process ineffectively removes all contaminants or prevents moisture transfer, oil inert systems are not commonly used on chemical media.

High-pressure nitrogen gas can be stored in steel cylinders. Total size - 50 liters, pressure up to 200 bar. It can be used to compensate for the normal transport losses of IG and maintain the necessary pressure.

A typical installation on a ship consists of a number of such cylinders connected in parallel (Fig. 1). Compressed nitrogen can be obtained in several varieties of purity.

Nitrogen can be stored onboard in liquid form at a cryogenic temperature of 196° C. It is stored in insulated tanks made of cold-resistant material, usually stainless steel. The cryogenic tank has an inner and outer housing, the space between them is filled with insulation and maintained vacuum (Fig. 2) This allows nitrogen to be stored for a long time without noticeable damage.

Liquid nitrogen storage tanks installed on chemical carriers are refueled at the port from shore resources.

When nitrogen is required in the gas state for use in cargo tanks, the liquid is converted back into gas using an evaporator that receives the necessary heat to evaporate from the surrounding air.

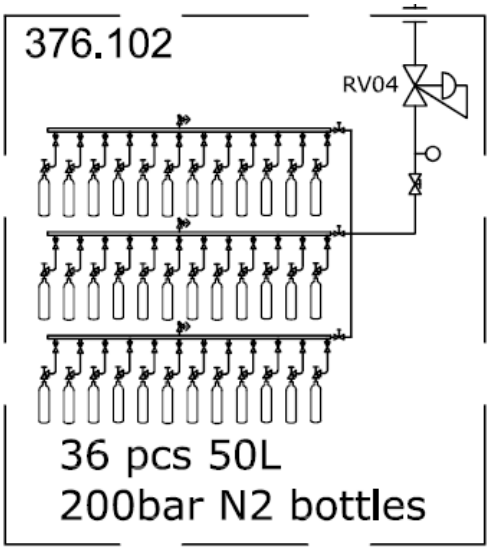


Fig. 1. *General view of high pressure nitrogen cylinders*

The LIN tank is made in the form of a double tank with an external and internal stainless steel tank (304L) and the gap is vacuum-insulated. When the LIN is stored in the tank, the volume of liquid will slowly increase due to heat transfer through the insulation layer. The density of the liquid decreases slowly over time with increasing temperature, and the volume of the liquid increases accordingly. During filling, the tank can be filled up to a maximum of 95% (Fig. 2).

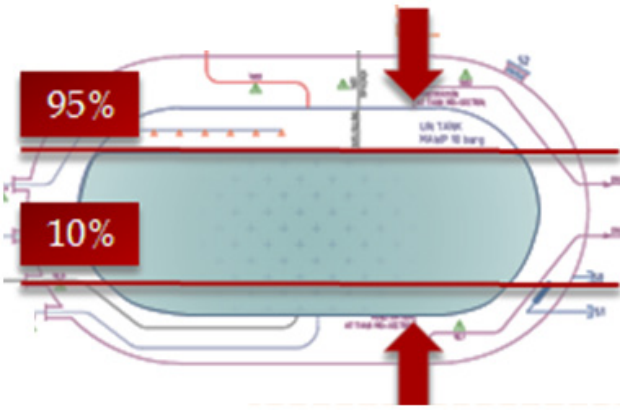


Fig. 2. *Schematic representation of the maximum filling level of the liquid nitrogen tank*

The gas extraction process is controlled by the pressure in the tank. The evaporation system is designed to evaporate liquid nitrogen according to customer needs. The LIN tank and evaporator system supplies gas and heated gas to the distribution pipelines. The LIN tank

is designed for a maximum operating pressure of 10 bar (preset safety valve pressure). There is a slight drop in pressure through the evaporation system and the pipeline. Therefore, the tank pressure should always exceed 7 bar in order to provide sufficient gas supply pressure to the distribution pipelines.

Liquid nitrogen is taken from the bottom of the tank through a liquid removal valve, and then the liquid enters the evaporator system. Here, the product is heated while the phase transition from liquid to gas takes place. The circulating glycol loop heats the LIN in the evaporator. Circulating glycol is supplied at 165 ° C. All steam generators are heated with circulating glycol that is mixed with water. It controls temperature and freezing.

The liquid nitrogen tank consists of double tanks with stainless steel outer and inner tanks (304L) and the gap isolated by a vacuum layer. This design allows the liquid product to be stored for an extended period without significant heating from the environment. There are three main processes in the tank. These processes need to be controlled and controlled by the operator through a monitoring system. The operating staff must understand all these processes in order to understand the behavior of the system over time.

The process of heat loss. The LIN is slowly heated through the insulating layer. Over time, the liquid temperature rises and the saturation temperature rises. The density of the product will decrease. In the process of heat leakage, some liquid gas moves from the liquid phase to the gas phase in the upper part of the tank due to the increase in temperature. This increases the pressure in the tank.

The temperature of the stored product may vary through the column between the top and bottom of the tank, with the coldest product with the highest density below. This is called stratification. If the tank is nearly empty, the vapor phase will heat up faster than usual when there is a significant amount of liquid. The effect is that the gas phase heats up and expands faster. Therefore, the tank pressure rises rapidly at low reservoir levels (Fig. 3).

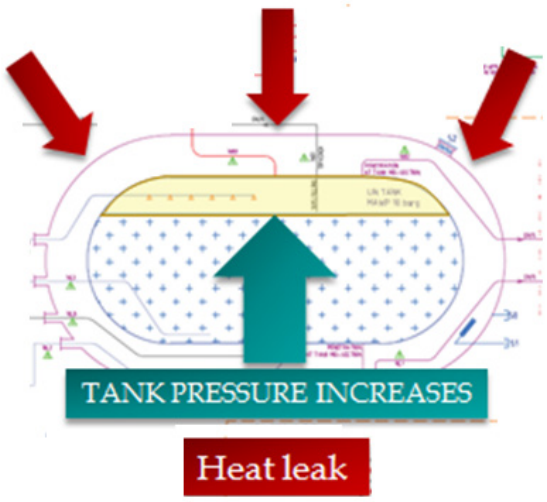


Fig. 3. *The process of losing the heat of a liquid nitrogen tank due to the effect of ambient temperature*

Nitrogen generators operate on the principle of adsorption (Fig. 4). Adsorption is a process in which a substance, typically gas, accumulates on the surface of a solid to which it forms a very thin film. Variable-pressure adsorption devices operate on the principle that the major air components (nitrogen and oxygen) are adsorbed as carbon molecular sieves pass through the material. The amount of each adsorbed gas is time dependent.

If the system is configured, the sieve adsorbs most of the oxygen in the air, allowing nitrogen to pass through and collect. Then oxygen can desorb (returns to the gas) and thereby restore the sieve.

To ensure a continuous nitrogen flow, units are equipped with two or more interconnected tanks that contain molecular sieve material. Air is compressed using an oil compressor and passes through one set of tanks, which is absorbed, while the other set of tanks is de-adsorbed.

So, during the production cycle, the plant will produce oxygen-rich waste that must be exhausted in a safe area. A number of intrinsic screen materials are sensitive to water, and compressed air must be passed through a dehumidifier to remove most of the humidity, before going through the tanks. The gas obtained by the adsorption process at variable pressure may have an oxygen content in the range from 0.1% to 5% by volume, depending on the flow rate.

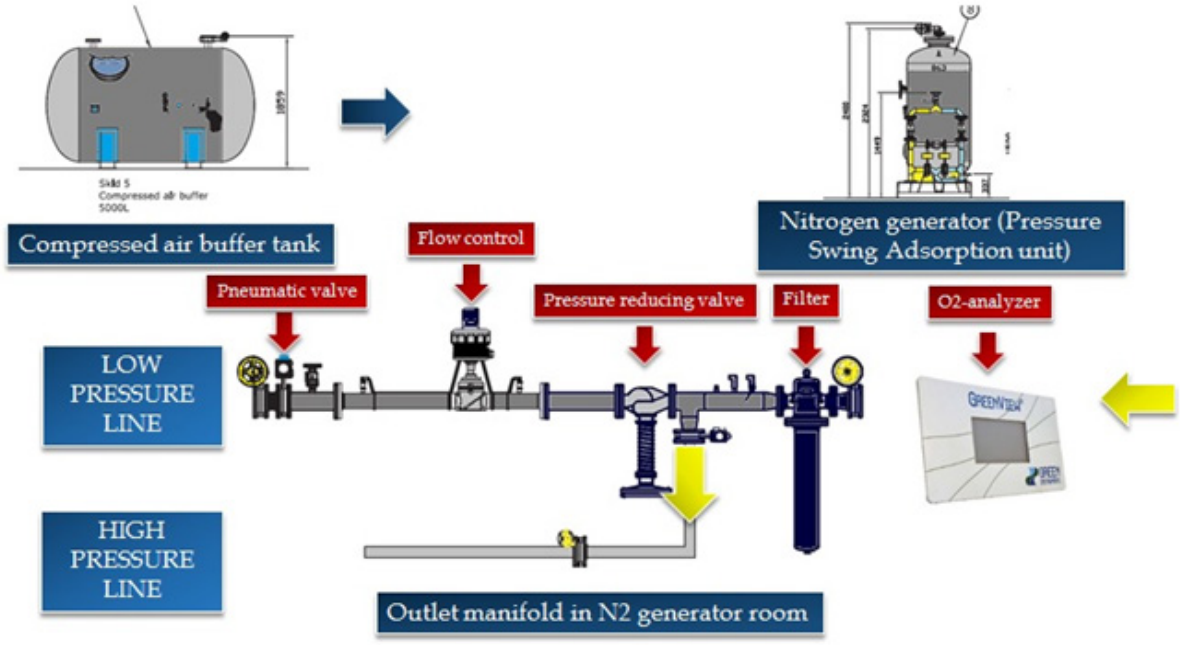


Fig. 4. *The principle of operation of the nitrogen generator system*

Membrane blocks are based on the fact that various gases penetrate in different steps through the walls of a thin hollow membrane. Gases, permeated by various indicators, are classified as: "slow", "medium" or "fast" gases. The "slow" gases are methane, nitrogen, and carbon monoxide, the "middle" gases are argon and oxygen, and the "fast" gases are water vapor, hydrogen, and carbon dioxide. The fact that the two main components of air, nitrogen and oxygen have different degrees of penetration means that they can be separated. When water vapor quickly penetrates, this means that the nitrogen produced is also very dry.

The protection provided by the inert gas system depends on the proper operation and maintenance of the entire system. It is especially important to ensure the correct functioning of the return barriers, which do not allow vapors or liquids from cargo tanks to get into cars or other rooms through an inert gas distribution system.

When SOLAS requires tanks containing cargo to be inertible before unloading, inert gas must be introduced into the tank through a distribution system that allows the release of vapor into the atmosphere. This operation should continue until the oxygen content does not exceed 8% by volume.

It should be noted that the vapors released during this inertia process can be both combustible and dangerously toxic.

Theoretically, if the entire existing atmosphere in a cargo tank is replaced by an equal inertial volume, then the oxygen level in the tank's atmosphere will be the same as the inert gas inlet. In practice, however, a lot of mixing takes place during the exchange, so that the volume of inert gases is equal to several volumes of the tank must be introduced there before the desired result can be achieved.

There are several methods of supplying inert gas to tanks and pipelines (thinning method, cascading method, moving method).

The rarefaction method occurs when the inert inlet gas is mixed with the atmosphere of the primary tank to form a homogeneous mixture throughout the tank, so that while the process continues, the concentration of initial gases gradually decreases. It is important that the inert gas inlet must have a sufficient penetration rate to the bottom of the tank, and therefore the limit must be placed on the number of tanks that can be filled at the same time.

The inerting cascade method is used to save time and inertia simultaneously with one or more tanks. The principle of inertia using a

cascade is to control an inert gas through a series of reservoirs. When there is a nitrogen plant with sufficient pressure, several cargo tanks can be built in series. Nitrogen is introduced along the line to the first tank and exits through cargo lines to the next. Inert gas leaves the second tank from the line to the third and so on.

The method of movement depends on the fact that the inert gas is slightly heavier than the existing air in the tank, when the inert gas enters the tank, the existing air is displaced. When using this method, it is important that the inert gas has a very low inlet velocity, in order to provide a stable horizontal interface, it develops between the incoming and outgoing gases, although in practice this inevitably is a rarefaction due to turbulence caused by the inert gas flow. Typically, this method allows you to fill several tanks that must be loaded or cleaned at the same time.

Regardless of which method is used, it is important that oxygen or gas measurements are constantly monitored to verify the effectiveness of operations.

During unloading, an inert gas is introduced into the tank to provide an inert atmosphere. It is important that the introduction of inert gas exceeds the discharge rate of the cargo pump.

Positive inert gas pressure should be maintained in the space of the inertial cargo tank for the entire transition time to prevent possible air ingress. If the pressure drops below the set level (low pressure signal), measures must be taken to re-inject the tank with inert gas. Pressure loss is usually associated with lower air and sea temperatures.

If positive pressure is difficult to maintain, this indicates a leak from the tank system. Checks should be made for faulty valves and incorrectly fixed hatches. Other tank connections should also be checked and adjusted if necessary.

CONCLUSION

Considering modern systems of inert gases, the following advantages can be distinguished:

- inert gas in the cargo tank makes the atmosphere non-explosive;
- this allows you to wash the tank under high pressure, reduces the cleaning time of the tank;
- improves cleaning efficiency and reduces unloading time;
- it helps in the safe vaporization of gases in tanks;
- it forms an easily accessible fire extinguishing agent for other rooms;
- reduces cargo loss through evaporation;
- compliant with law and reduces premiums.

The disadvantages are:

- additional installation costs;
- additional maintenance requires labor;
- low visibility inside the tanks;
- low oxygen is not allowed in tanks;
- the oxygen content must be controlled.

Also during operation, the main disadvantage of the liquid nitrogen system was identified. In the presence of liquid nitrogen in the tank under the influence of ambient temperature. Liquid nitrogen evaporated in excess, which forced the use of high-quality nitrogen more. On the one hand, this gave a positive effect when high-quality nitrogen was used during cargo operations without additional start-up of the heating system for converting liquid nitrogen into a gaseous state. But during a long transition between ports, this effect forced to dump excess nitrogen gas in the open atmosphere.

REFERENCE

[1] SOLAS 2014 Consolidated Edition International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, As Amended 2014 – IMO, 2014 – 495p/

[2] International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals 5th Edition (ISGOTT) / International Chamber of Shipping, Oil Companies International Marine Forum, International Association of Ports and Harbors - London, UK: Witherby &Co. Ltd, 2006. –450p.

[3] IBC Code edition 2018 Supplement / http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Cargoes / CargoesInBulk/Pages/IBC-Code.aspx

[4] Afaniuk V.V. Computer simulation of a liquid inert gas system (N_2) tank of a chemical tanker/ V.V. Afaniuk, Al.V. Afaniuk // Materials of scientific-technical. Conf. "River and Navy: operation and repair ", - Odessa: NU "OMA", 2019. - P. 208-213.

DEVELOPMENT OF A MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEMS OF KNEE JOINT EXOPROSTHESIS BASED ON MAGNETORHEOLOGICAL DAMPER

PhD. Techn. Sc., Ass. Prof., Nochnichenko Ihor *National technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine*
E-mail: igornoch@gmail.com

PhD. Techn. Sc., Kostiuk Dmytro
National technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

Student, Dovhopolyi Mykhailo
National technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

Abstract
The aim of this work is to develop the measurement and control systems of the knee joint exoprosthesis. The exoprosthesis should be convenient for patient. Replacement and settings of these systems should be simple because of modular layout. Control system works automatically and patients should have the results of its work on their devices such as mobile phones or PCs. The measurement and control systems are battery powered and connected to patients' devices via Bluetooth or Wi-Fi.

Keywords – *magnetorheological damper (MR damper), operating conditions, acceleration, resistance force*.

INTRODUCTION

Nowadays many types of knee joint exoprosthesis are very useful. The bionic exoprosthesis is one of the best of these types, but that one is expensive for patients of many countries. The mechanical exoprosthesis are cheaper than bionic. The main part of these exoprosthesis is a hydraulic damper [1-2].

Damper takes the most loads and "softens" the prosthesis in the process of movement, and the accuracy of its design and execution should be very high. The principle of its work is to dissipate the energy of motion by viscous friction of the fluid in the throttle. There are two main disadvantages of hydraulic damper. The first disadvantage is changings of temperature of the working fluid. As a result, the viscosity of fluid changes during the movement of patient. The second disadvantage is changeable characteristic of human's movement. For example, the patient can walk or run with many variations of its velocity and accelerations [3-5].

It is necessary to provide the possibility of autonomous control of the characteristic of the damper, depending on the type of the human movement and the temperature conditions of operation, to reproduce the movement's realism due to the design of the prosthesis and damper. An analysis of recent researches shows a perspective of using magnetorheological fluid as working fluid in dampers. The main advantage of magnetorheological fluid is a possibility to change its viscosity and other rheological parameters by forces of magnetic field. The feature of the proposed magnetorheological damper (MR damper) is the ability to provide a rapid change in its characteristics [6-7].

The aim of the work is to develop the measurement and control systems that will use in knee joint exoprosthesis. The purpose of measurement system is reading data from sensors to obtain some characteristics of human's movement. The purpose of control system is changing characteristic of MR damper by influence of changeable magnetic field based on received data from sensors.

Setting objectives:

- provide an opportunity of simple online diagnosis of knee joint exoprosthesis;
- development of a regulation block diagram of the characteristic of the MR damper;

- development an opportunity to save electrical energy via improving the control system of MR damper.

Knee joint exoprosthesis must meet stringent specifications such as reliability, realistic motion reproduction, energy-efficient and adaptable to changing operating conditions (variable movements of patient and variable temperature of the magnetic fluid in damper during its viscous friction in throttles) etc.

EXPOSITION

The main indicator of all damping liquids, on which the resistance forces of dampers largely depends, is the kinematic viscosity [4]:

$$\nu = \frac{dP_\tau}{ds \cdot \left|\frac{du}{dz}\right| \cdot \rho},$$

where: dP_τ- force of viscous friction; ds the area of contact of the layers in the fluid portion; $\left|\frac{du}{dz}\right|$- speed gradient module;$du$ - the difference of speeds on the sliding planes of the fluid;dz - distance between planes.

It is necessary to provide the online diagnosis of human's knee joint exoprosthesis. It is possible to determine to characteristics of human's movement, Absolutely, it is possible to identify some situations when the control system could transfer in energy safe mode or switched off. If the control system is switched off it is necessary to check the sensors and the work of the prosthesis with the specified time intervals. This may be appropriate if the person is not in motion for a long time. The advantage of this method is to save as many electrical energy of battery as possible. Therefore, patient does not recharge the battery of knee joint exoprosthesis frequently.

There is the opportunity to improving the online diagnosis. Patient can check the effectivity of exoprosthesis and MR damper on some devices like mobile phone or PC. The information will convert from PLC to patient's devices via Bluetooth or Wi-Fi connection modules. Bluetooth modules need less energy (0.2…0.5W) than Wi-Fi modules (0.35…0.7W).

Another opportunity to save electricity is to improve the control system of the characteristic of the magnetorheological damper, consisting of coils, which are supplied with current. Due to the supply of current to the coils in the damper, the magnetic fields will emerge, which are turning the structure of the magnetic particles of the magnetorheological fluid. By this effect the tension of fluidity is changes. Current control is provided via PLC and step-up converters. So, in the usual configuration, the current is supplied to one large coil, which affects the characteristics of the magnetic fluid along the length of the MR damper. Therefore, it is proposed to divide the one large coil into several separate smaller coils, each of which is operated independently of one another. It is much more expedient to supply current only to those coil within which the piston of the damper device is located. This will only activate the magnetorheological fluid in the areas where the fluid is throttling. In other areas, where throttling does not observe, the fluid is inactivated or has a little influence from the forces of magnetic field of the neighboring coils. To do this, it is necessary to use a control driver that can be programmed and performed by the microcontroller. As a result, it is possible to reduce the electricity consumption of operating the control system.

The block scheme Fig.1 shows the modules which are in control system. The PLC, control driver, diagnostic module and all sensors need the supply of electrical energy for its work. As energy supply the li-ion battery was choose.

In construction of knee joint exoprosthesis is not enough place for more than two li-ion batteries (model 18650 or model 14500). On the other hand, addition weight of batteries can negatively affects on strength of exoprosthesis. It is an advantage for using some methods for recovering the energy. It may be possible to use piezoelectric elements in construction of MR damper or in some constructive elements near kinematic pairs of exoprosthesis.

That scheme can be modified by adding artificial neural network (ANN). The main advantage of ANN is a possibility to teach itself. After "study" the ANN can differ many regimes of knee joint exoprosthesis work. These regimes depend on temperature of magnetorheological fluid, accelerations and position of damper. Using the ANN will increase a reliability of prosthesis.

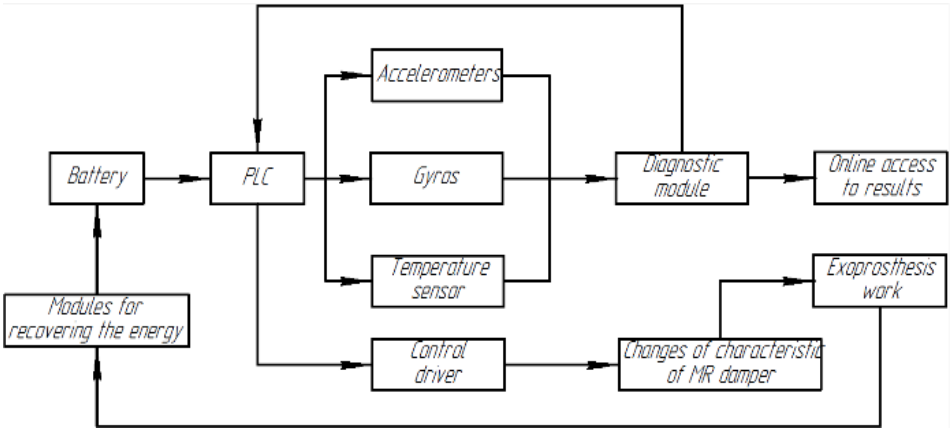
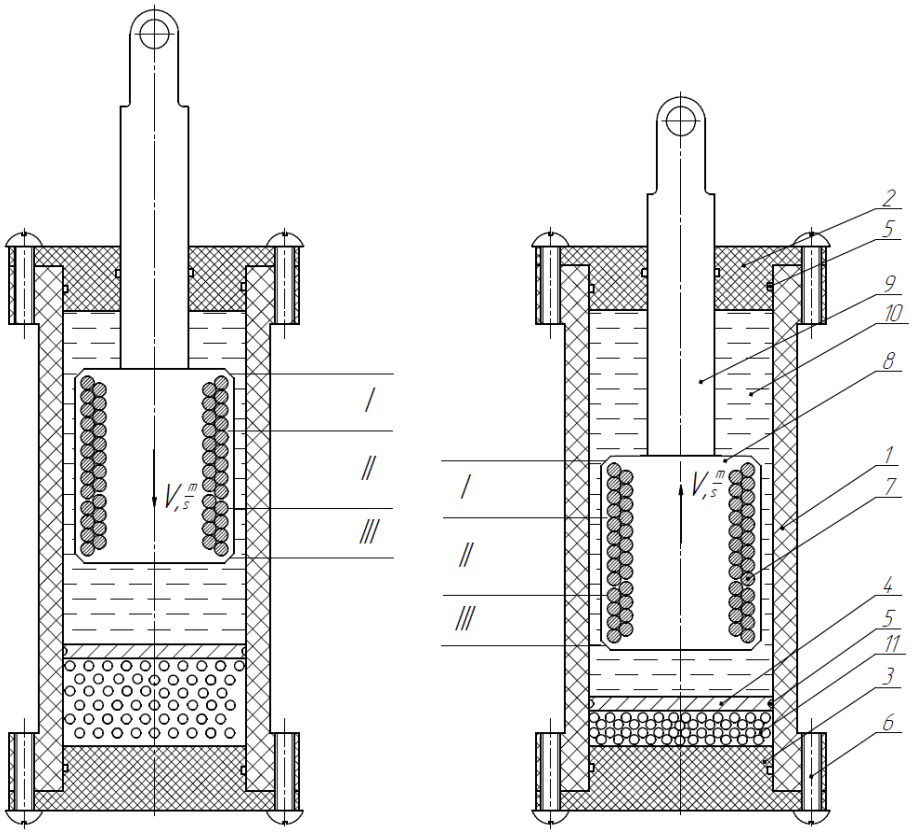


Fig. 1. *Block scheme of work the knee joint exoprosthesis based on MR damper*

The constructive scheme of MR damper Fig.2 shows the main parts in construction. In this damper piston area of magnetorheological fluid and gas charge are isolated by gas charge piston. The gas charge uses for compensation of pressure drop during compression moving. activate. If the piston take part in rebound moving, the third coil "III" will activate. The electrical current changes in diapason of many values. If it is impossible to provide a required motion law via one coil, the second coil "II" will work too. In situations when the applied



a) *b)*

Fig. 2. *Constructive schemes of MR damper during its work:*
a – compression moving, b – rebound moving
(1—cylinder tube; 2—cover of rod part; 3—cover of piston part; 4—gas charge piston;5—impact rings; 6—screws; 7—coils; 8—piston; 9—rod; 10—magnetorheological fluid;11—gas charge)

The coil separated into 3 coils. An electric current controlled in each of the coils via control driver. If the piston take part in compression moving, the first coil "I" will to rod force is maximum allowable all of the coils will work. Using of this method makes the possibility for saving electrical energy.

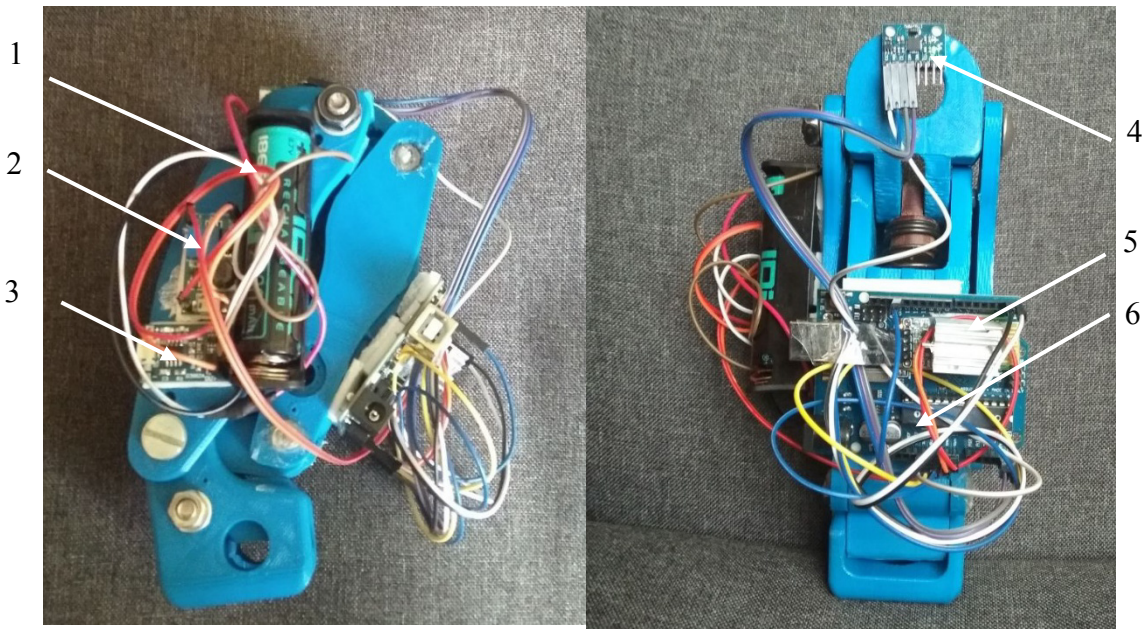


Fig. 3. *Knee joint exoprosthesis with elements of control system:*
(1—li-ion battery type 18650 (2800mAh); 2—current mode step-up converter MT3608;
3—1A standalone linear li-ion battery charger TP4056 with battery protection DW01+;
4—accelerometer and gyro MPU-6050 GY-521; 5—Bluetooth module HC-06;
6—microcontroller based on ATmega 328P)

The illustration Fig.3 shows the prototype of knee joint exoprosthesis with control system. The voltage and currency from battery is not enough for stable work of all modules. This problem was solved by adding current mode step-up converter. Therefore, it is not matter what is the charge of the battery, all of the electrical modules will work correctly.

Power supply connected to microcontroller's board via battery charger and current mode step-up converter. Other modules are connected to board. Every 0.05 seconds the accelerometer and gyro measure the angles and acceleration, after microcontroller calculate that characteristics. The results can be studied on mobile phone or PC via Bluetooth.

The dependence Fig.4 shows the changes of horizontal and vertical angles during the work of the exoprosthesis. That angles define the state of prosthesis, and depending on it, the state of patient. Operated on increases and decreases of both of angles it is available to make the conclusions about the characteristic of movement.

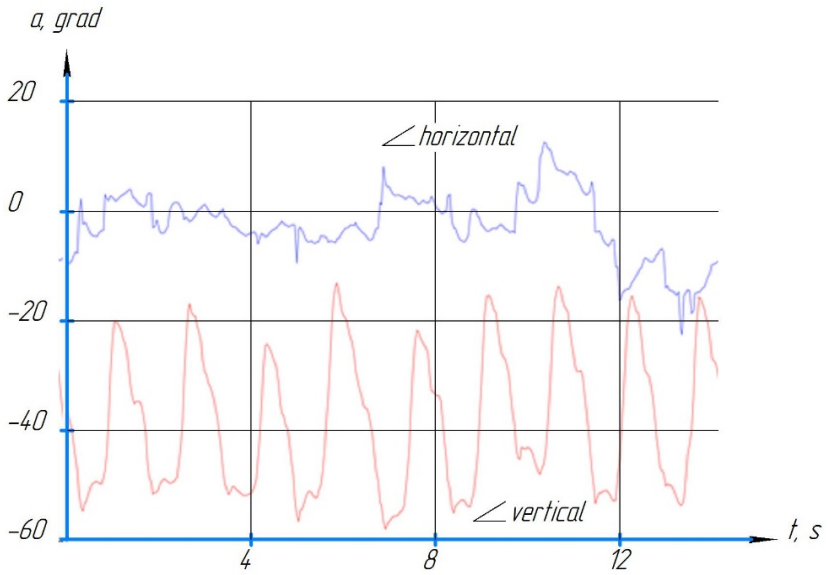


Fig. 4. *Dependence of angles during the imitation of walk*

CONCLUSION

The block scheme of work knee joint exoprosthesis based on MR damper, including online access to results, online diagnosis, modules for recovering the energy and original method of controlling the characteristic of MR damper, was developed.

The problem of saving electricity was solved. At first, it is possible to recover the energy of movement by using piezoelectric elements, which convert the mechanical energy to electrical energy. At second, the idea of separating the coil into many small coil can help to save the energy of the li-ion batteries.

The characteristics and dimensions of MR damper, which will use in knee joint exoprosthesis, was calculated. The idea of modification the prosthesis by including the ANN is very actual. The main advantage of system with ANN will be the possibility for developing much more prosthesis working modes. The limits of each of the mode will be more accurate than in system only based on microcontroller.

REFERENCE

[1] A. LaPre and F. Sup, "Simulation of a Slope Adapting Ankle Prosthesis Provided by Semi-Active Damping," Mechanical Engineering, pp. 587-590, 2011.

[2] R. C.Wang, D. W. Jin. Research and development of bionic and intelligent limb prosthesis. China Medical Devices Information, vol. 15, no. 1, pp. 35, 2009. (in Chinese).

[3] Uorden, K., (2006) "Novye intellectualnye materialy i konstrukcii. Svojstva i primenenie [New intelligent materials and structures. Properties and applications]." 1st ed., Moscow: Tekhosfera, [in Russian].

[4] Shul'man, Z.P., & Kordonsii, V.I. (1982), "Magnitoreologicheskii effect [Magnetorheological effect]." Minsk: Nauka I tekhnika [in Russian].

[5] *Wang X., Gordaninejad F.* Flow Analysis of Field-Controllable, Electro- and Magnetno-Rheological Fluids Using Herchel-Bulkley Model // Journal of Intelligent Materials, Systems and Structures. 2000. No. 2. P. 87-121.

[6] Dovhopoliy M.M. Vykorystannya mahnitoreolohichnoyi ridyny v dempferi endoprotezu dlya hasinnya vibratsiynykh kolyvan' /Nochnichenko I.V.// Vseukrayins'kyy naukovo – tekhnichnyy zhurnal Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh.– 2018.– # 3 (90) – S-127-134.

[7] Nochnichenko I.V., Yakhno O.M. Zastosuvannya yavyshcha perenosu ta informatsiynoyi entropiyi do analizu povedinky mahnitoreolohichnoho dempfera / Naukovi visti NTUU «KPI»: naukovo-tekhnichnyy zhurnal # 4 (120)"2018. – str.54-62. doi: 10.20535/1810-0546.2018.4.141241.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА КАВИТАЦИОННО ТЕЧЕНИЕ В СТЕСНЯВАЩО-РАЗШИРЯВАЩА СЕ ДЮЗА

Георги Панчев[1], Христо Христов[1], Калоян Дачов[2]
[1]Технически университет – Габрово
[2]M+C Хидравлик

INVESTIGATION OF THE CAVITATING FLOW IN CONVERGING-DIVERGING NOZZLE

Georgi Panchev[1], Hristo Hristov[1], Kaloyan Dachov[2]
[1]Technical University of Gabrovo
[2]M+S Hydraulic

Abstract

In the present article are discussed cavitation phenomena occurring in converging-diverging nozzle (Venturi tube). A closed test circuit yeue used to control both the flow rate and the static pressure level. The loss ratio is determined for different sigma numbers, resulting in a complete "static" characterization of the nozzle. Visualizations of the development of cavitation propagation have been acquired and correspond to the evolution of the loss ratio. Three cavitation regimes are described: partial cavitation, fully developed cavitation, supervitation.

Keywords Venturi tube; Cavitation; Hydraulics machinery

ВЪВЕДЕНИЕ

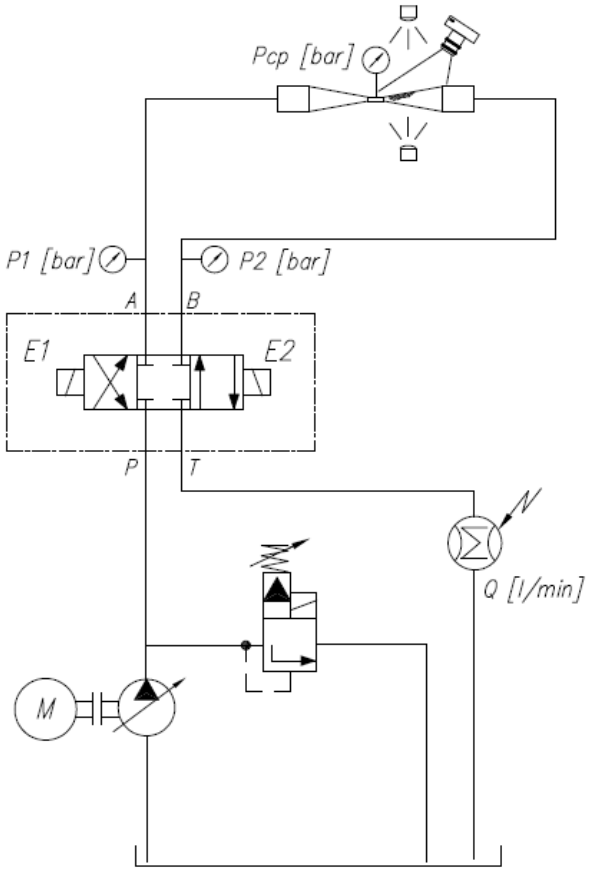
Кавитация настъпва в течности, когато локалната стойност на абсолютното налягане достигне така нареченото налягане на насищане на парите. Обемите, изпълнени с пари, могат да имат формата на мехурчета, листа, облаци, кавитационни вихри. Появата и структурата на кавитацията силно зависят от хидродинамичните характеристики на течението (например нивото на статичното налягане) и геометрията на флуидния поток. Развитите кавитационни структури блокират движението на течносдтта, което води до значително увеличаване на хидравличните загуби. Наличието на съответна кавитационна фаза, която претърпява цикли на кондензация /изпарение, влияе на динамиката на течението. Наличието на кавитация е ограничаващ фактор за работата на всички хидравлични машини и устройства, напр. водни турбини, турбо и обемни помпи, клапани и др. От друга страна, кавитацията може да бъде използвана за подобряване на химичните реакции (ултразвукова химия) или процесите на почистване (пречистване).

Напълно развитата кавитация може да доведе до така наречената супервитация, когато каверната разширява размерите си и се разпространява по дължината на течението. Суперкавитацията е добре позната в корабните витла или около подводни снаряди (торпедо) и превозни средства. Феноменът на супервивацията се изследва най-често при случаи на външно хидродинамично обтичане, когато обемът, запълнен с пари, се разпада (разрушава) зад тялото, потопено в бързо течащо флуидно течение. Порядко се наблюдава супервивация в тръби.

ИЗЛОЖЕНИЕ

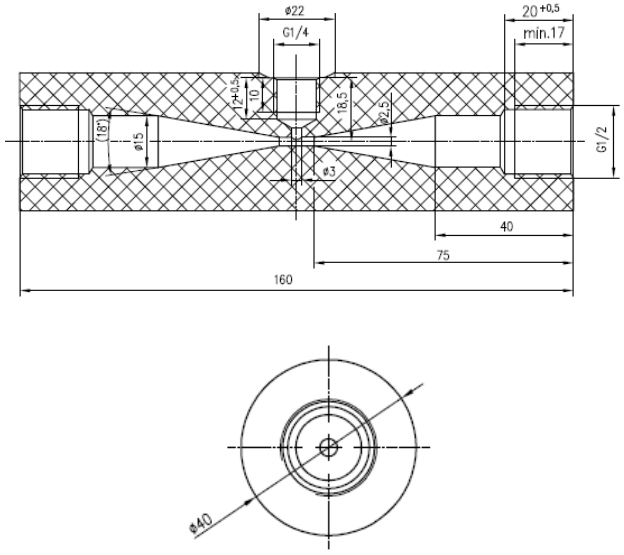
Настоящият изследване се фокусира върху възникването и охарактеризирането на кавитация в стесняващо-разширяваща се (CD) дюза (известна още като тръба на Venturi), през която протича хидравлично

масло. Това вероятно е най-опростеното устройство за наблюдение на хидродинамичната кавитация. И все пак то дава възможност да се изследва кавитацията в нейната пълна сложност: възникване на кавитация, хидравлични загуби предизвикани от наличие на кавитация, кавитация в отделни гранични слоеве, преход от листова към облачна кавитация, пулсации на налягането, предизвикани от кавитационен разпад, феномен на супервивация и т.н.



Фиг.1. Схема на хидравличната система

Някои изследвания на Venturi тръби, насочени специално към ерозионни тестове, са изложени в [1÷3]. Вентуриеви тръби се прилагат също и в хидравличните кавитационни тунели за изследване на качеството на водата, т.е. съдържанието на примесни частици [4]. Стесняващо-разширяващата се дюза също се превръща в популярен тестов случай за разработване на кавитационни модели, включени в софтуери за CFD [5÷6] или за визуализиране на модели на кавитация чрез неразрушаващи техники [7]. Тези експерименти обаче се основават на разглеждането на водни кавитационни течения.



***Фиг.2. Чертеж на CD дюз**а*

На Фиг.1 е представена схемата на експерименталната уредба, чрез която са получени резултатите в настоящата публикация. Системата представлява затворен контур през който циркулира хидравлично масло чието налягане и дебит се осигурява от хидравлична помпа ХЗП30А32х239 на фирма Caproni. Количеството дебит постъпващо в дюзата се измерва чрез дебитомер HySense® QG 110 (0.005...300 l/min) на Hydrotechnik GmbH. Налягането на входа и на изхода от дюзата се измерва с два броя сензори тип HySense® PR 280 (0 ÷ 400 bar), а налягането в най-тясното сечение на дюзата се измерва чрез сензор тип HySense® PR 101 (-1÷ 600 bar) на Hydrotechnik GmbH. Дюзата е изработена на CNC машина от плътен прокат на PMMA (полиметилметакрилат), за да се осигури визуализация на потока.

1. Измервания

Кавитационното число обикновено се използва за характеризиране на състоянието на кавитационното течение. Определението за число на кавитацията, базирано на налягането и скоростта на входа на дюзата за CD, се използва в тази статия:

$$\sigma = \frac{p - p_V(T)}{\frac{1}{2}\rho C_0^2} \qquad (1)$$

където налягането на насищане на парите зависи от температурата на маслото според модифицираното уравнение Clausius-Clapeyron.

Алтернативно се прилага и друго определение, което често се използва при изследване на кавитация в клапани [8, 9]:

$$z = \frac{p_1 - p_2}{p_1 - p_V} \qquad (2)$$

Алтернативно е използвана реципрочната стойност на z , която е съвместима с дефиницията на индекса на кавитация с [10, 9].

$$z^{-1} = \frac{1}{z} = \frac{p_1 - p_V}{p_1 - p_2} \qquad (3)$$

Ефектът на кавитацията върху дисипативната енергия се изследва, като се използва коефициента на загубите на дюзата за CD:

$$\zeta = \frac{p_1 - p_2}{\frac{1}{2}\rho C_0^2} \qquad (4)$$

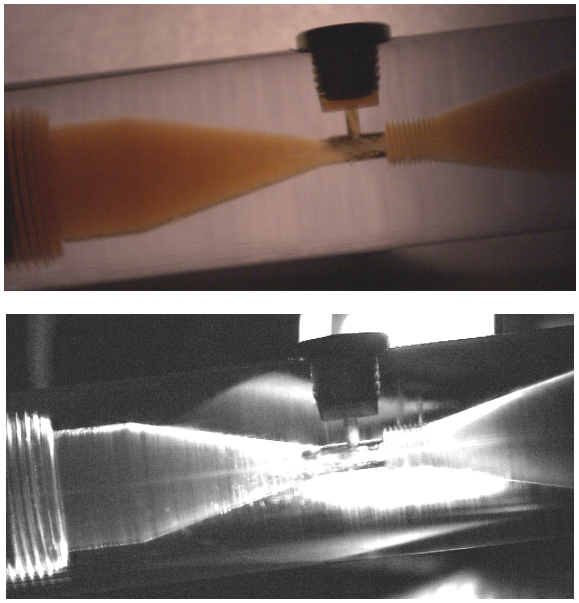
Алтернативно се прилага и друг израз за хидравличните загуби, който се използва при проектирането и изпитването на клапани - коефициент на дебит K_V :

$$K_V = 36000 \cdot Q\sqrt{\frac{\rho}{p_1 - p_2}} \qquad (5)$$

Целта на експериментална проверка на теоретично получените резултати за охарактеризиране на кавитацията. Теоретично определените кавитоционни числа се сравняват с данните от експеримент.

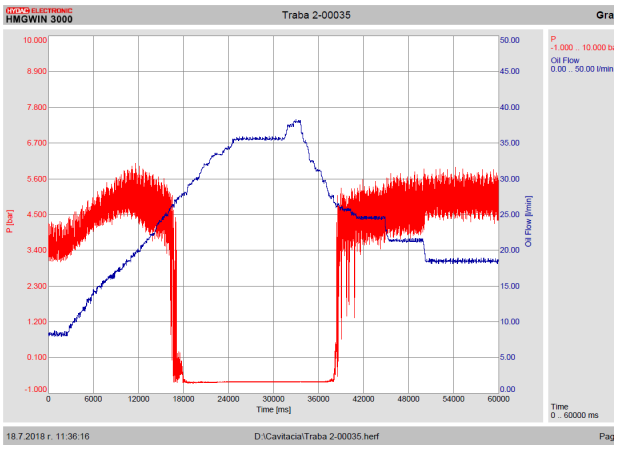
Експериментът се провежда в изпитвателната лаборатория на фирма М+С Хидравлик в гр. Казанлък. Снимките за визуализацията са направени с висикоскоростна камера PHANTOM MIRO LAB310.

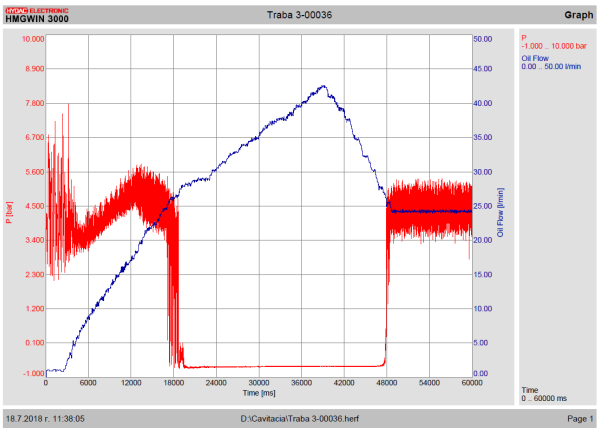
На фиг. 3 са показани снимки на развито кавитационно течение, получено при експеримента. Наблюдават се характарните кавитационни вихри и нарушаване цялостта на течението. На фигурата, която изобразява точки на визуална кавитация показва относително добро съгласие между всички набори от измервания. Подобно поведение може да се покаже за точки, определящи прехода от частична кавитация до напълно развита кавитация. Трябва да се отбележи, че повторяемостта на кавитационните експерименти е много проблематична, поради променящите се параметри на течността (брой ядра, съдържание на газ, чистота). Диференцирането между режимите също е изложено на грешка при наблюдението и тълкуването на снимките. Бъдещите изследвания ще се съсредоточат върху дефинирането на режимите въз основа на амплитудата на пулсациите на налягането.



***Фиг. 3**. Снимка на кавитационен процес в CD дюза*

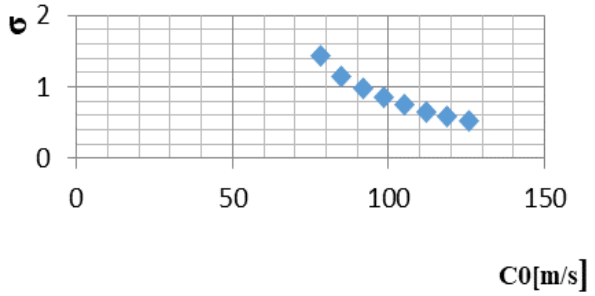
На фиг. 4 са показани изменението на дебита и налягането в тясната част на дюзата, където се наблюдава развитото кавитационно течение. Резултатите са записани с автоматизирана система за записване и обработка на данните в реално време – HYDAC HMGWIN 3000, като се използват сензори за дебит и налягане. Направени са серия от експерименти при промяна на подавания дебит.





***Фиг. 4**. Изменение на дебита и налягането при кавитационен процес в CD дюза*

Определените кавитационни числа по уравнение (1) според данните от проведения експеримент са показани на фиг. 5. Началото на кавитационното течение се наблюдава при числа близки до 1, а развитото кавитационни течение – при 0.5 – 0.65.



***Фиг. 4**. Изменение на кавитационното число в CD дюза*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Експерименталните изследвания потвърждават необратимите енергийни трансформации в CD дюза, които могат да се корелират с развито кавитационно течение. Частичния кавитационен режим се визуализира с бледи разкъсани кавитационни вихри. Напълно развития кавитационен режим се характеризира с постоянна нарастващ шум и вибрации. Предполага се, че ако се достигне суперкавитационнен режим той ще е относително стабилен и с намаляване на шума и вибрациите. Това ще е обект на последващи изследвания.

REFERENCE

[1] R.T. Knapp, J.W. Daily, F.G. Hammitt, Cavitation McGraw-Hill, 1970.
[2] Brenen, C.E., Cavitation and Bubble Dynamics. Oxford University Press, 1995.
[3] Franc, J. P., Michel, J.M., Fundamentals of Cavitation. Kluwer Academic Publishers, 2004
[4] Franc,J.P., Educational Physics and Control of Cavitation RTO-EN-AVT-143 2006.
[5] Konstantinov, S.Y., Tselischev, D.V., Tselischev, V.A., Numerical Cavitation Model for Simulation of Mass Flow Stabilization Effect in ANSYS CFX, Modern Applied Science; Vol. 9, No. 4; 2015.
[6] Tomov, P., Khelladi, S., Ravelet, F., Sarraf, C., Bakir, F., Vertenoeuil, P. Experimental study of aerated cavitation in a horizontal venturi nozzle., Submitted on 1 Sep 2015.
[7] Osterman, A., Hocevar, M., Širok, B., Dular, M., Characterization of incipient cavitation in axial valve by hydrophone and visualization., Experimental Thermal and Fluid Science (EXP THERM FLUID SCI) · April 2009.
[8] Samson, A.G., Cavitation in control valves, www.samson.de.

НАПРАВЛЕНИЕ 15

МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННА СИГУРНОСТ

SESSION 15

MATHEMATICS AND INFORMATICS AND INFORMATION SECURITY

CHARACTERISTIC OF SEA AND RIVER PORTS AS OBJECTS OF CRITICAL INFRASTRUCTURE OF THE STATE

Olena Azarenko[1], Julia Goncharenko[2], Mikhailo Diviziniuk[3], Oleg Miroshnik[4], Evgen Tishchenko[5]
[1]National Aviation University - Kyiv
[2]University of Europe - Kyiv
[3]State institution "Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine" - Kyiv
[4]Cherkasy Fire Safety Institute named after Heroes of Chernobyl National University of Civil Protection of Ukraine - Cherkasy
[5]Educational-methodical center of civil protection and life safety of Cherkasy region - Cherkasy

Abstract
The concept of the object of critical infrastructure of the state, based on the analysis of the concept of the potentially dangerous object and the critically important object which includes sea and river ports is presented. It is shown that the classical structure of the port is provided by three components: the water area, the coastal part and hydraulic structures, which are under constant control of the security services. New elements were identified: the water column, the seabed and the airspace above the port, which are systemic vulnerabilities of sea and river ports for terrorist attacks.

Keywords: seaport, river port, terror, critical infrastructure, water area, airspace

INTRODUCTION

The independence of the state is determined by the implementation of the set of factors which are commonly called as the ability of the state. These factors include the ability of the state to ensure its sustainable development and rational use of natural resources, the harmonious development of the individual and society, the performance of state and public institutions. This is the ability of the state to maintain its territorial integrity and national security, cultural values and national treasures, state potentials and the identity of ethnic peoples. Now, for the enslavement of the modern state, it is not necessary to storm its strategic objects with troops. It is enough to distinguish among these objects the key enterprises and institutions which ensure the vital activity of the state and its management, and influence them. These enterprises and institutions are called critical infrastructure [1].

At the end of the 20th century, in connection with the growing terrorist threat in developed countries, discussions are started about the vulnerability of national infrastructures [2]. The attention of experts was directed not only to information (cybernetic) infrastructures, but also to all other areas of ensuring the vital functions of society.

After the events which were held in USA in September 11th, 2001, the United States adopted the National Strategy for the Physical Protection of Critical Infrastructure in February 2003. Now legislative acts of a similar content have been adopted in almost all developed countries of the world [3].

The purpose of this work is to show the systemic vulnerabilities of sea and river ports as objects of critical infrastructure of the state.

To achieve this goal, it is necessary to consistently clarify the following tasks. First of all analysis of the concept of a critical infrastructure object of a state must be done. Then consideration the classic structure of sea and river ports and, finally the selection of systemic vulnerabilities of sea and river ports which are not the part of their classical structure.

OBJECTS OF CRITICAL INFRASTRUCTURE OF THE STATE

Potentially dangerous object (PDO) is an object that uses, produces, processes, stores or transports radioactive, explosive, fire hazardous, chemical hazardous and biological substances that poses a real threat of an emergency source [4].

To the similar objects are also included objects on which, in accordance with the project documentation, more than five thousand people can be.

These objects are also commonly divided

into technically complicated and unique objects. The first one, technically complicated objects, usually consist of the following structures: nuclear power facilities (nuclear power plants, nuclear fuel and radioactive waste storage facilities); hydroelectric stations and other hydraulic structures; sea, river ports and terminals; communication facilities (radio and television towers, ground and underground points of communication nodal connections, antenna fields and telephone exchanges); thermal power plants and boiler rooms; power lines and transformer distribution stations; objects of aviation, rail and road transport and other hazardous industries (enterprises).

The second one are unique objects, which possess structures that are not included in the group of technically complicated, but have one of the following technical characteristics. The height of the object is more than 100 meters; spans or one of the spans of an object is more than 100 meters; consoles or one of the object's consoles is over 20 meters; the underground part of the facility is deeper than 15 meters below the planning level of the earth.

Critically facility object (CFO) is an object whose violation or cessation of operation leads to control loss of the state's economy, one or more state entities or their irreversible negative change (destruction) or a significant decrease in the population safety [5].

According to the significance or scale of potential threats, it is customary to divide the CFO into the objects of the national, subject or regional level, municipal (territorial) or local level.

According to the types of specific threats, CFO is characterized as dangerous enterprises or objects according to one or several classification criteria. Nuclear and radiation hazardous facilities; chemically and biologically hazardous objects, technologically dangerous, explosive fire and hydrodynamically dangerous objects information and telecommunication dangerous objects can be referred to it.

In addition, national systems may provide for the installation of additional classes of CFO depending on their significance, the level of expected threats and the predicted spatial-temporal consequences of their occurrence.

Thus, from the standpoint of assessing the components of critical infrastructure, the concepts of the potentially dangerous object and the critical facility object which are constantly used in the home scientific literature can be considered identical.

CLASSICAL STRUCTURE OF THE SEA (RIVER) PORT

Port (French - port, from Latin portus - harbor, marina), a section of the sea, lake, reservoir or river and the adjacent water area, protected naturally or artificially from disturbance and equipped for parking and ship maintenance, handling and other operations. The main elements of the port are the water area (water part) and the territory (the coast part of which also includes hydraulic structures).

The complex of the water area usually includes water approaches to the port, raids and inland basins. Water approaches can be natural (in the form of a section of the sea or river) or artificial (with the construction of access channels connecting the port with natural depths). Raids are areas of the sea protected from heavy seas, where vessels can anchor in anticipation of permission to approach berths or to leave the port. In the absence of deep-water berths at the port, transshipment operations are also carried out on roads, for which purpose auxiliary vessels, such as lighters and barges, are used. Sometimes indoor pools are called harbors. They are adjacent directly to the port territory, and are intended for the mooring of ships at berths, where they carry out basic and some auxiliary cargo operations. The shipping lane to the port is equipped with navigation signs.

The port territory includes land approaches, the near-side part and the rear part. Land approaches include railways, roads and transport pipelines. The side part adjoins directly to the mooring line. Here are located reloading devices and mechanisms, warehouses and platforms, for short-term storage of goods, and the passenger station. The rear part is occupied by intra-port railways, roads, long-term cargo storage warehouses, utility enterprises, as well as office and administrative buildings.

Port hydraulic structures are protective structures in the form of breakwaters and breakwaters. These are berthing facilities such as piers and port promenades. These are ship-lifting and ship-repair facilities like boathouses, slips, docks. Port hydraulic structures also include sea lighthouses and navigation signs located within the port's water area.

Thus, the classical structure of the port consists for three components: the water area, the coastal part and hydraulic structures.

SYSTEMATIC VULNERABLE PLACES OF SEA AND RIVER PORTS NOT INCLUDED IN THEIR CLASSICAL STRUCTURE

At each guarded critical infrastructure object there are security services, security and physical protection of these objects. These services are aimed to the protection and security of these objects from terrorist influence [1]. Sea and river ports belong to objects of critical infrastructure. The coastal territory of the ports is under the supervision of these services. The perimeter - the border of the protected area is equipped with video surveillance systems, infrared surveillance with various systems which give signals about the attackers approaching this line, as well as systems (barriers) that prevent coming into the territory of the ports. A well-functioning carrying capacity system, on the other hand, allows you to monitor the movement of people and goods within the controlled territory.

Monitoring of the port's water area is carried out by radar stations of various ranges and visually constantly. This is done in the interests of ensuring the safety of navigation and regulating the movement of water vehicles pulling to the port, ensuring entry into and exit from the port, safe parking of ships in waiting areas and at berths. Any water vehicle, no matter how small it is, cannot move through the water area of the port, enter or leave the port without proper permission from the port's dispatching services. All port rules require this. Everyone respects them. Failure to comply with these rules immediately attracts widespread attention. This ensures not only the safety of navigation, but also counteraction to terror.

Everything that is located below the water surface remains unprotected. None of the dispatching and surveillance services under her jurisdiction will be able to detect a scuba diver attaching a mine to the bottom of a transport or passenger liner. No port surveillance system will detect a torpedo moving at a depth of 5-10 meters. Moreover, no observation system will detect a bottom mine installed on the fairway, the multiplicity mechanism of which can ensure its explosion when not the first vessel passes over it, but the third or ninth. Consequently, the water column and seabed of the port are a vulnerable place for terrorist attacks. From here, strikes can be made both on water vehicles and on the hydraulic structures of the port.

The development of unmanned aerial vehicles currently shows that they can be used not only for observation. Unfortunately, there are no special systems for monitoring the airspace of the port. Moreover, in the legal aspect, there are no such concepts. At the same time, the problem of detecting drones weighing several tens of kilograms is a rather complicated problem that Ukrainian scientists solve together with the military specialists in the war zone. Therefore, the second vulnerable point of the port is the airspace located above it, that is, above its water area and coast part. Here in the airspace of the port not only all means of aerospace attack can be used, but also unmanned aerial vehicles.

Thus, the systemic vulnerabilities of sea and river ports that are not part of their classical structure are the water column, the seabed and the airspace above the port, from where the whole arsenal of underwater and air attack weapons can be used by terrorist influence.

CONCLUSION

1. From the standpoint of assessing the components of critical infrastructure, the concepts of a potentially dangerous object and a critical object which are constantly used in the home scientific literature can be considered identical.

2. The classical structure of the port provides for three components: the water area, the coast part and hydraulic structures.

3. Systemic vulnerabilities of sea and river ports that are not part of their classical structure are the water column, the seabed, and the airspace above the port, from where the whole arsenal of underwater and air attack weapons can be used by terrorist influence.

REFERENCE

[1] Azarenko E.V. Protection of the critical infrastructure of the state from terrorist influence. Kiev: DU IGNS NAS of Ukraine, 2018. - 82 c. ISBN 978-617-7187-25-6.

[2] The National Strategy for the Physical Protection of Critical Infrastructures and Key Assets available at: http://www.whitehouse.gov/pcipb/physical.html , 2003.

[3] Linhart, P., Richter, R., Ochrana kritické. Access infrastruktury available at: http.//www.mvcr.cz/casopisy/112/3_2003/linhart.html, 24.09.2019

[4] Potentially dangerous object. The main encyclopedia available at: https://fireman.club/inseklodepia/potentsialno-opasnyiy-obekt, 24.09.2019.

[5] A critical facility object. The main encyclopedia available at: https://fireman.club/inseklodepia/kriticheski-vazhnyiy-obekt-kvo, 24.09.2019.

НАПРАВЛЕНИЕ 10

МЕХАТРОНИКА, МЕТРОЛОГИЯ И УПРАВЛЕНИЕ НА КАЧЕСТВОТО

SESSION 10

MECHATRONICS, METROLOGY AND QUALITY MANAGEMENT

УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА В СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА КАЧЕСТВОТО

RISK MANAGEMENT IN QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

Iliya Zhelezarov
Technical University of Gabrovo

Abstract

In the present paper one methodology for risk management and uncertainty of the results from measurements in the Quality Management System based on the standard requirements of ISO 9001:2015 has been presented. By means of this methodology an adequate analysis of measuring system is afforded an opportunity to be achieved, utilization of measuring means which possess metrological characteristics assuring the measurement process and the risk management in all stages of the process of measurement and control. A model for the risk management is developed that is based on PDCA cycle, in which the basic elements of influence and risk assessment are presented. An algorithm has been developed, in which approaches for identification and risk analysis are described including methods based on statistical data, probabilistic predictions and expert assessments.

Keywords: risk management, uncertainty, measurement, quality.

ВЪВЕДЕНИЕ

В „Структурата на високо ниво” (High Level Structure), използвана в „новото поколение” организационни стандарти на Международната организация по стандартизация (ISO), един от новите моменти, върху които се акцентира е „риск-базирания подход” и управлението на риска. За да изпълни изискванията на заинтересованите страни и постигне удовлетвореност на клиентите на организацията, системата за управление на качеството, базирана на стандарта ISO 9001:2015 е необходимо да осигури обективни данни за качеството на произведените продукти. Това може да се постигне с адекватен анализ на измервателната система, използване на средства за измерване, които имат метрологични характеристики, осигуряващи процеса на измерване и управлението на риска във всички етапи на процеса на измерване и контрол. Планираните характеристики могат да бъдат неопределеност на резултатите от измерването, грешки в измервателната система, повторяемост и възпроизводимост и други [1, 2]. От друга страна „Риск” се дефинира като въздействие на неопределе-ността върху очакван резултат. Под „Въздействие“ се разбира отклонението от очакваното – в положителен или отрицателен смисъл [3, 4, 5].

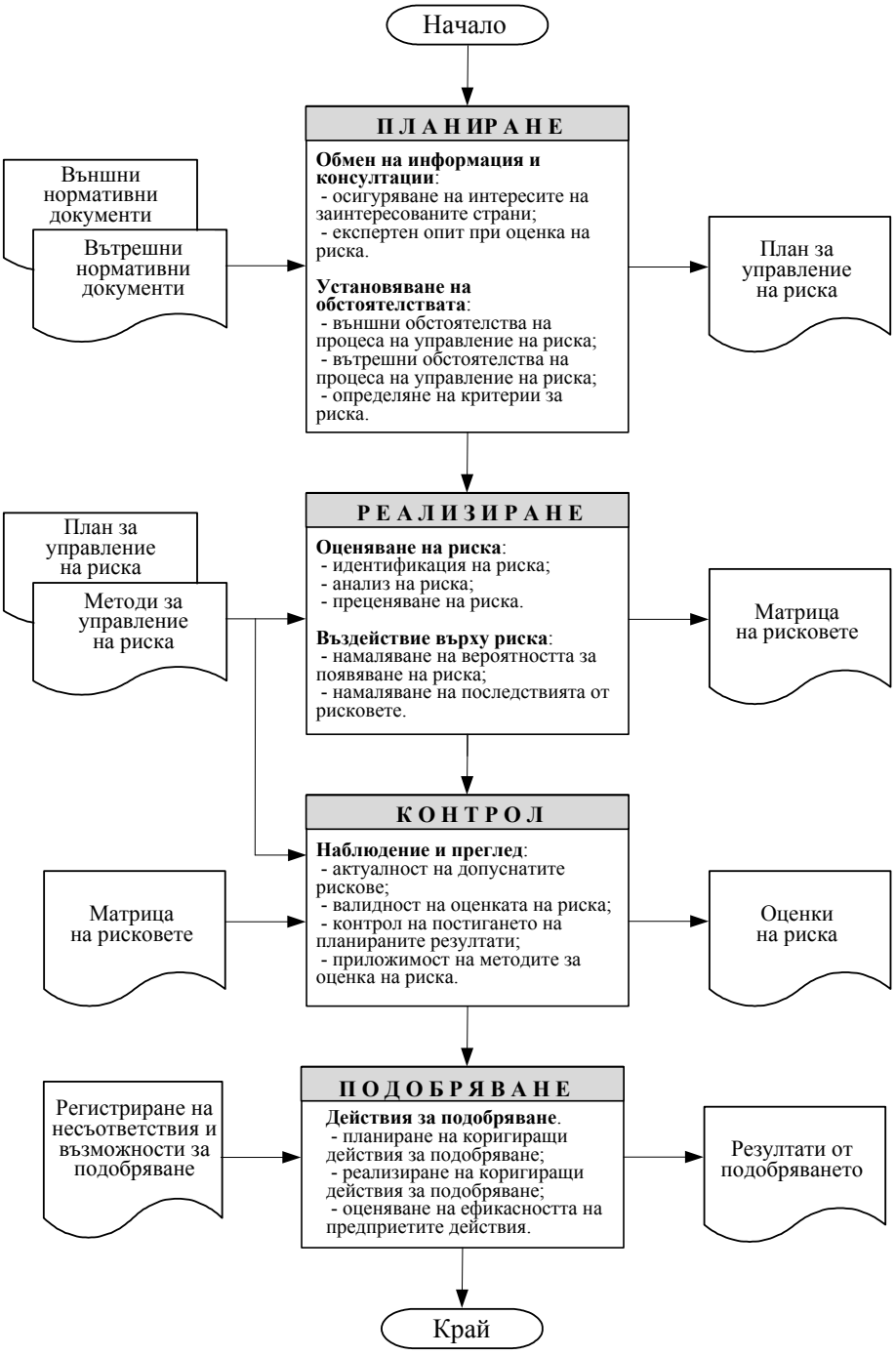
“Неопределеност на измерване” е параметър, свързан с резултата от измерване, който характеризира дисперсията на стойностите, които могат да бъдат приписани на измерваната величина (параметър, характеризиращ разсейването на стойностите на величината, които могат да бъдат приписани на измерваната величина на основата на използваната информация) [6, 7, 8].

От гледна точка на „класическия” PDCA цикъл на управлението [9, 10], на който се базират организационните стандарти на ISO, в първия сегмент „Планиране” се осъществява обмен на информация със заинтересовани страни и консултации с експерти по оценка на риска за измервателния процес, а така също планирането на средствата за измерване, техните метрологични характеристики, включително неопределеност на измерването и анализа на измервателната система. Следват дейностите по реализирането на процеса във втория етап на цикъла, оценяване и въздействие върху риска, включващи: идентифициране, систематизиране и анализ на риска, на базата на които се определят въздействията за редуциране

на вероятността за поява на риск и намаляване на последствията от нежелани събития. В третия сегмент се осъществява контрол на постигнатите резултати, при който се използват технически средства за измерване с планираните на първия етап характеристики. При несъответствие между планираното и постигнатите резултати, в четвъртия етап на цикъла трябва да се предприемат действия за подобряване.

УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА

За управлението на риска в рамките на системата за управление на качеството е подходящо да бъде използван подхода на стандартите от серията на ISO 31000 за управление на риска [3, 4, 5]. На тази база се предлага алгоритъм за управление на риска в системата за управление на качеството, представен на фиг. 1.

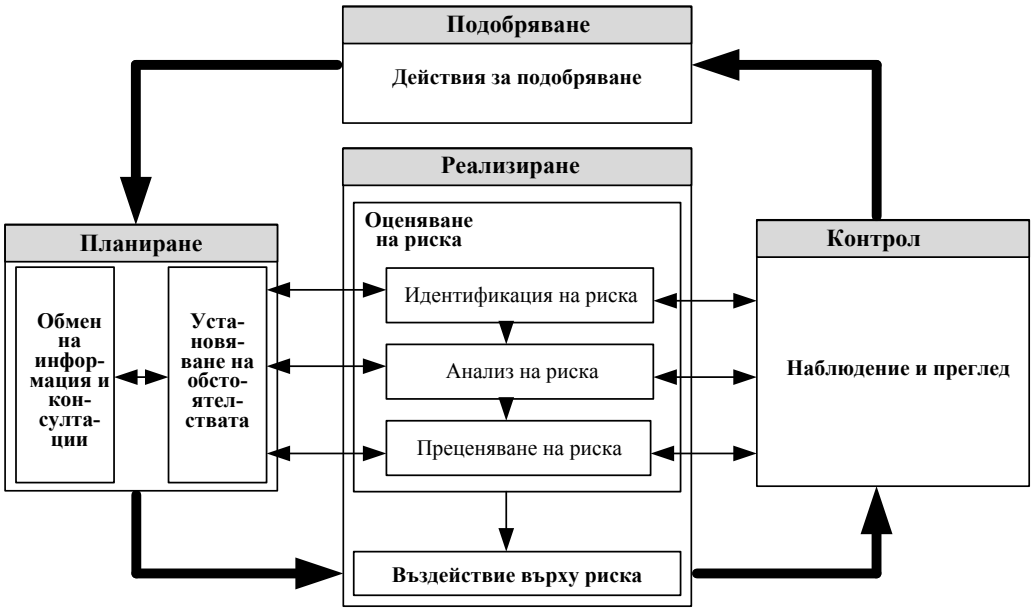


***Фиг. 1**. Алгоритъм за управление на риска*

При реализирането на алгоритъма за управление на риска могат да бъдат конкретизирани дейностите в четирите основни етапа:

2.1 Планиране. Планът за управление на риска се разработва, като се осъществява ефикасен обмен на информация и консултации със заинтересованите страни, отчитайки установените обстоятелства във външни и вътрешни за организацията нормативни изисквания на свързаните документи. В плана за управление на риска ясно трябва да са идентифицирани критериите оценяване, въздействие, наблюдение и преглед, така че при необходимост да могат да се предприемат ефикасни действия за подобряване. Определянето на критериите за риска може да включва: измерване на последствията от предприетия риск, вероятността за появяване и ниво на риск или комбинации рискове, приемливост на риска и въздействия за намаляване на нежелани събития. Особено внимание трябва да се обърне в случаите, когато има юридически изисквания за използваните средства за измерване.

2.2. Реализиране. При реализиране на управлението на риска, основните усилия се насочват към оценяването и въздействията, свързани с риска. Извършва се идентификация на рисковете, систематизиране и анализ на информацията, която да доведе до обективно преценяване на тяхното влияние и възможност за избор на методи за въздействие върху риска, с които ще се намалят неблагоприятните рискове до приемливо ниво. Процесът на *Реализиране* и неговите връзки с процесите на планиране, контрол и подобряване може да бъде представен в модела за управление на риска на фиг. 2.



***Фиг. 2**. Модел за управление на риска*

2.1.1. Оценяване на риска. Оценяването на риска дава възможност да се вземат решения, които да спомагат за реализирането на планираните цели, свързани с риска, а също така са входен елемент при осъществяване на адекватни въздействия за намаляване на неблагоприятните последици за системата за управление, респективно организацията. Самото оценяване на риска преминава през три етапа: идентификация на риска, анализ на риска и преценяване на риска.

- *Идентификация на риска.* Включва в себе си дейностите по откриване, разпознаване и документиране на рисковете за процеса. Целта е на базата на тази документирана информация, да се направи анализ на ситуацията, включително на причините и източниците на риска и неговото влияние. В [3, 11, 12, 13] методите за идентификация

на риска са представени в три групи и са основани на:

= *доказателства;*

= *системни екипни подходи;*

= *индуктивно разсъждение.*

При прилагането им, за подобряване на точността и пълнотата при идентифициране на рисковете могат да бъдат използвани методи като „Делфи", „мозъчна атака", причинно-следствена диаграма и други.

- *Анализ на риска.* Изразява се в определянето на причините и източниците на риска, последствията от настъпването им и вероятността за появяване на идентифицираните рискове. Методите за анализ на риска, представени в [3, 5], могат да бъдат разграничени в три групи:

= *качествени (алтернативни);*

= *полуколичествени;*

= *количествени.*

При качественото оценяване, за определянето на последствията, вероятността и нивото на риска се използват термини като: „високо", „средно" и „ниско". При полуколичествените методи се прилагат цифрови скали за оценяване на последствията и на вероятността, а количествения анализ формира оценка за последствията и техните вероятности, и дава стойност на нивото на риска в конкретни единици. Независимо от вида на използваните методи за анализ, нивата на риск трябва да са представени с подходящи термини и форма, за да могат да бъдат преценени. В най-общия случай величината на риска може да бъде изразена като разпределение на вероятностите върху съвкупността от последствията. Количествено може да се пресметне от израза:

$$R=V(P)/\Sigma S \qquad (1),$$

където R е риск,

V(P) – разпределение на вероятностите,

ΣS – съвкупност от последствията.

В рамките на анализа на риска трябва да се извърши:

= оценяване на ресурсите за управление;

= предварителен анализ;

= анализ на последствията;

= анализ на възможността и оценка на вероятността;

= неопределеност и чувствителност.

В рамките на функционираща система за управление за качеството, оценяването на ресурсите за управление, в достатъчна степен се осъществява при провеждане на „Преглед от ръководството", в раздела на [2] – „Оценяване на резултатността".

Предварителният анализ цели да бъдат систематизирани идентифицираните рискове, да бъдат откроени значимите и редуцирани незначимите. Това може да се постигне с прилагането на скрининг (пресяване) на рисковете, диаграма на „Парето" и др.

Анализът на последствията цели да определи характера и вида на въздействие, което може да настъпи при определени събития или обстоятелства. Този анализ може да варира от описание на резултатите до количествени модели за анализ на риска.

При анализа на възможностите и оценка на вероятността за поява на събитие може да се използват най-общо три групи методи, базирани на:

- статистически данни от минали периоди;
- вероятностни прогнози;
- експертни оценки.

В тази област могат да бъдат използвани множество методи, добили популярност в практиката като: Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), „Дърво на събитията", „Дърво на отказите", метода „Делфи" и др.

От гледна точка на управление на риска неопределеността е свързана с данните, методите и моделите за идентифициране и анализ на риска [3, 5]. Анализът на чувствителността включва определянето на промяната на численото значение на риска от изменение на входните параметри.

$$\varepsilon=\Delta R/\Delta P \qquad (2),$$

където ε е чувствителността,

ΔR – промяна на риска,

ΔP – промяна на входните параметри.

- *Преценяване на риска.* Прави се сравнение на оценяваните нива на риска с предварително формулирани критерии, с цел определянето на значимостта на нивото и вида на риска. На базата на обективните резултати от преценяването на риска се вземат решения за бъдещи действия, които

могат да включват: необходимост от въздействие върху риска, приоритети от въздействието, планиране на действия за подобряване. В [3, 5] се предлага разпространения стандартен подход, при който рисковете се разделят в три зони:

= „горна зона" – недопустимо ниво на риска;
= „средна зона" („Сива област") – необходим е допълнителен анализ за определяне на необходимостта от въздействие върху риска;
= „долна зона" – нивото на риска е малко и няма необходимостта от въздействие върху риска.

2.1.2. Въздействие върху риска. След дейностите по оценяване на риска, въздействието върху риска включва избор, съгласуване и прилагане на една или повече приложими възможности за намаляване на вероятността за появяване на рискове.

2.3. Контрол. Като част от управлението на риска и свързаните с това ресурси, в [3, 5] се изисква да се наблюдават и преглеждат:

= валидност на риска;
= валидност на оценката на риска;
= постигане на очакваните резултати;
= адекватност на методите за оценяване на рисковете;
= приложимост на методите за оценяване на рисковете;
= ефикасност на въздействията върху рисковете.

2.4. Подобряване. Когато в резултат от контрола на риска се идентифицират несъответствия и проблеми, трябва да се приложат мерки за корекции и коригиращи действия за подобряване на системата за управление на качеството.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада се представят модел и алгоритъм за управление на риска при прилагането на риск-базирания подход в системите за управление на качеството по ISO 9001:2015. Алгоритъмът и модела за управление на риска се базират на PDCA цикъла за управлението.

ЛИТЕРАТУРА

[1] ISO 9000. Quality management systems – Fundamentals and vocabulary. International Organization for Standardization, Geneva. 2015.
[2] ISO 9001. Quality management systems – Requirements. International Organization for Standardization, Geneva. 2015.
[3] IEC/ISO 31010. Risk management – Risk assessment techniques. International Electrotechnical Commission. International Organization for Standardization, Geneva. 2009.
[4] ISO Guide 73. Risk management – Vocabulary. International Organization for Standardization, Geneva. 2009.
[5] ISO 31000. Risk management – Principles and guidelines. International Organization for Standardization, Geneva. 2009.
[6] Dichev, D. A. Handbook for exercises about metrology and measuring technique. Eks-press, Gabrovo, 2016.
[7] Dichev, D. Metrology. University publishing house „Vasil Aprilov", Gabrovo, 2016, p.264.
[8] Dichev, D. Dynamical measurements. University publishing house "Vasil Aprilov", Gabrovo, 2016, p.199.
[9] Ivanov, I. N. and I. S. Zhelezarov. Quality Management (Part I – Second edition) – Fundamentals of Quality Management, University publishing house "Vasil Aprilov", Gabrovo, 1999.
[10] Ivanov, I. N. and I. S. Zhelezarov. Quality Management (Part II) – Fundamental Instruments and Statistical Methods for Quality Management, University publishing house "Vasil Aprilov", Gabrovo, 1999.
[11] Diakov, D., R. Miteva, H. Nikolova, K. Dimitrov. Verification of coordinate measuring hands. MMA 2013, Sozopol. pp. 260-267.
[12] Gueorguiev, Tz., B. Sakakushev, N. Dimitrova. Risk Management in the Automotive Industry. Journal of Thermal Engineering, 2017, No 4.
[13] Gueorguiev, Tz. K. An Updated Model for Optimization of Quality Management Systems´ Documentation. Prospects for development of education and science: Collection of scientific articles, 2016, No 1, pp.273-276.
[14] Gueorguiev, Tz., B. Sakakushev. Current Advances in the Standardization of Management Systems, Journal of Thermal Engineering, 2016, No 6, pp.971-977.

CONTROL OF 2D DELTA ROBOT WITH SIEMENS TECHNOLOGY PLC

Bogdan Gajić, *Roking, Belgrade, bogdan94@hotmail.com*
Miloš Božić, *Vorwerk-autotec, Serbia, Čačak, m.bozic@vorwerk-automotive.rs*
Vojislav Vujičić, *University of Kragujevac, Faculty of technical sciences, Čačak, vojislav.vujicic@ftn.kg.ac.rs*
Miroslav Bjekić, *University of Kragujevac, Faculty of technical sciences, Čačak, miroslav.bjekic@ftn.kg.ac.rs*
Srećko Ćurčić, *University of Kragujevac, Faculty of technical sciences, Čačak, srecko.curcic@ftn.kg.ac.rs*

Abstract

This paper presents the realization of a 2D Delta robot and control using the Siemens technology PLC controller S1511. The 2D Delta robot is powered using synchronous servo motors controlled by the Siemens servo drivers V90. The robot monitoring and control is realized via Siemens HMI panel. All devices communicate over Profinet industrial network. Configuration of robot kinematic and transformation in TIA portal is also presented.

Keywords: Delta robot, kinematic, PLC, servo, Profinet.

INTRODUCTION

With the progress of computer technology and the capabilities of today's processors, modern PLC controllers provide features that once required specialized controllers. One of the examples is the application of PLC controllers in applications with robots. The modern Siemens PLC 1500T PLC technology controllers [1] enables control of various types of robots such as SCARA, Delta robot, etc. Program and management implementation is done according to IEC 61131-3 [2], which enables PLC developers to easily program applications with robots without learning new programming languages and learning new development environments.

This paper presents an educational example of a Delta robot application using a PLC controller. The paper consists of the following sections. The first part is short overview of parallel kinematic robot and its usage. In the second part realization of a delta robot model and control is presented. The third part shows some of the kinematics functions and possibilities for creation of complex movements.

DELTA ROBOT OVERVIEW

Delta robots were created as an engineer response to the industry's need for fast, accurate and repetitive low load operations. Due to such features, they have become an indispensable part of automated systems that handle packaging, sorting and similar operations. They are suitable for working with small electronic components as well as with food. Except for packaging and sorting, these robots are used in medicine as well in 3D printing tasks.

Fig. 1. *ABB delta robot* [3]

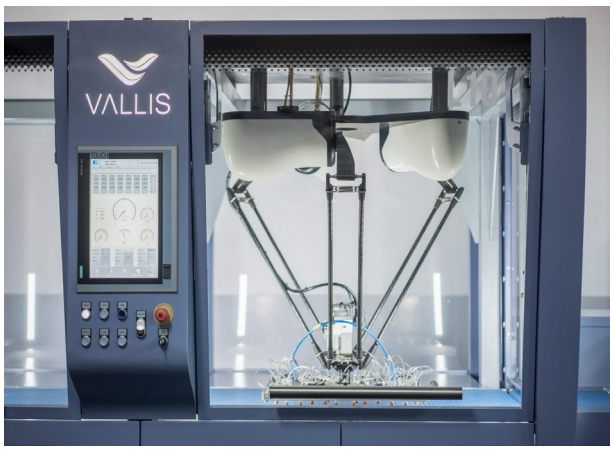


Fig. 2. *Delta robot in high efficiency machine for inmold labels* [4]

Delta robot is a type of parallel manipulator consisting of two or three arms that are attached at one end to the base platform and at the other end to the movable platform on which the gripper is located. There are actuators on the base platform, one for each arm, and the arms consist of two parts, the actuated part and the passive part. A Delta robot with, for example, 3 degrees of freedom may, depending on whether tool has an actuator, have a fourth degree of freedom representing the orientation of the tool. The most common installation of such systems is with the arms hanging from the top.

There are delta robots that use linear actuators. The appearance of such a robot is shown in the figure (Fig.3) for 3D printing tasks.

Fig. 3. *3D printer with parallel kinematics and linear actuators*

ROBOT REALIZATION

In this paper, a 2D delta robot was implemented because of its simplicity and ease of implementation on an existing platform with servo motors. The configuration of the 2 deegree delta robot is shown in the following figure.

Fig. 4. *Realized 2D delta robot*

As can be seen from the figure above, this configuration allows the movement of the actuator in two axes and thus has two degrees of freedom, the third degree of freedom can be achieved by controlling the orientation of the tool.

The following figure (Fig.5) gives a graphical representation of the front view of such an assembly together with the indicated essential parameters and coordinate systems.

Based on kinematics zero point, all geometric parameters of the kinematics object are defined.

Flange Coordinate System - the coordinate system of a tool whose z axis always points in the negative direction to the z axis of the kinematic coordinate system.

The zero position of the kinematics is indicated with solid line, while the displacement of the kinematic system for the given angles α_1 and α_2 is indicated by a dashed line. A_1 and A_2 represent the rotary axes of the actuator.

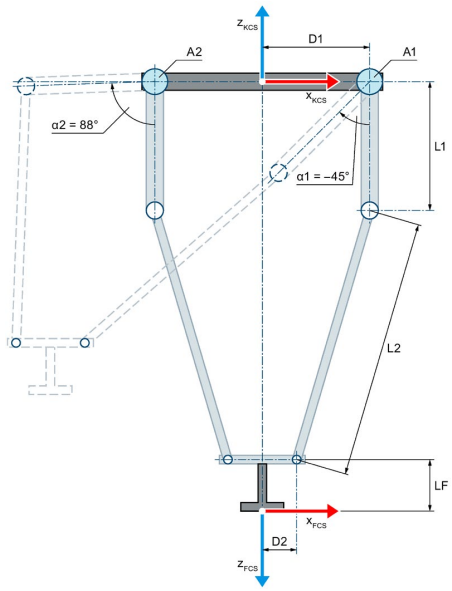


Fig. 5. *2D delta robots with highlighted important parameters* [4]

Geometric distances:

• D_1 denotes the distance from the center of the axis A_1 to the center of the base platform (radius of the base platform)

• D_2 indicates the distance from the engagement of the lower arm to the center of the mobile platform (radius of the mobile platform)

• L_1 indicates the length of the upper arm

• L_2 indicates the length of the lower arm

• LF denotes the distance of the origin of the tool coordinate system from the moving platform expressed in the z axis of the kinematic coordinate system

• D_1 and D_2, L_1 and L_2 are identical for both arms of the robot

In the zero position of the A_1 and A_2 axes, the upper arms show in the negative direction the z axis of the kinematic coordinate system.

The following figure shows the allowed and not permitted joint positions.

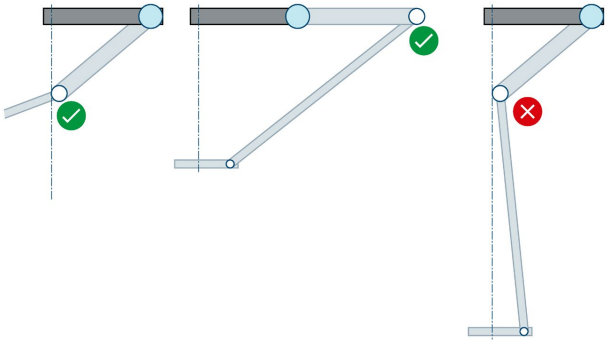


Fig. 6. *Allowed joint positions of 2D delta robots* [4]

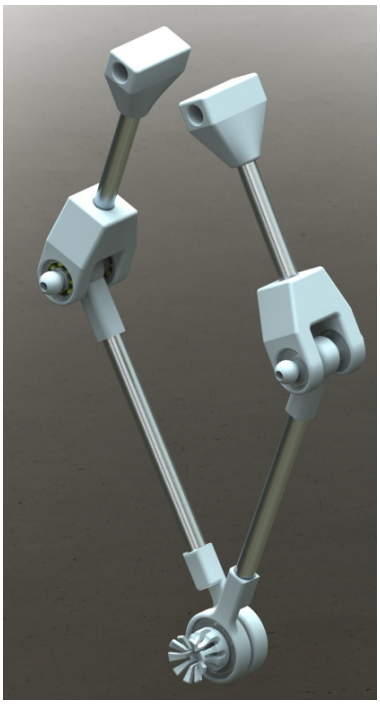


Fig. 7. *3D model or robot assembly*

CONTROL SYSTEM

The following figure shows the control system used to control the delta robot.

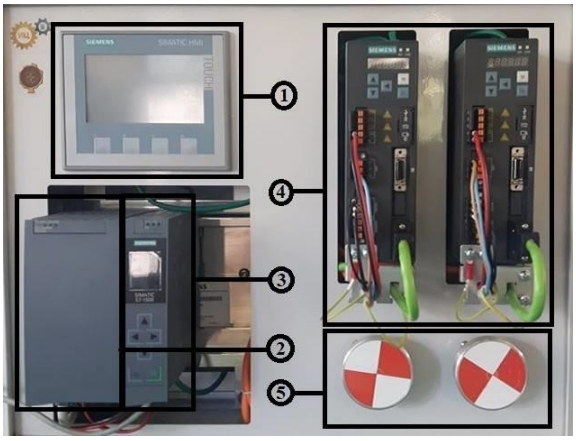


Fig. 8. *Delta robot control equipment*

The components used for 2D delta robot are:

1) Human machine interface (SIMATIC HMI-KTP400 BASIC / 6AV2123-2DB03-0AX0)
2) Power module (PM 190W 120/230 VAC / 6EP1333-4BA00)
3) Programable logic controller (SIMATIC S7-1500T / CPU 1511T-1 PN, 6ES7511-1TK01-0AB0)
4) Servo drivers (SINAMICS V90 PN / 6SL3210-5FB10-1UF0)
5) Servo motors (SIMOTICS S-1FL6 / 1FL6022-2AF21-1AA1)

Siemens kinematics are user-programmable mechanical systems in which multiple mechanically coupled axes produce the motion of a working point. The S7-1500T technology CPUs provide functions for controlling kinematics systems, e.g. for handling tasks, with the kinematics technology object. Typical applications include pick & place, installation and palletizing. The kinematics control panel and extensive online and diagnostic functions support commissioning of kinematics systems. The kinematics technology object is integrated in the system diagnostics of the S7-1500 CPU. The kinematics technology object calculates motion setpoints for the tool center point (TCP) of the kinematics considering the dynamic settings. The kinematics technology object calculates the motion setpoints for the individual axes of the kinematics and vice versa from the current values of the axes using the kinematics transformation. The kinematics technology object outputs the axis-specific motion setpoints to the interconnected positioning axes.

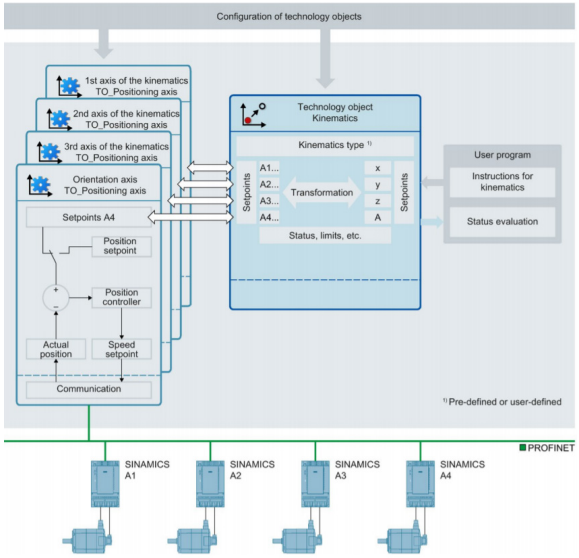


Fig. 9. *Configuration of technology object*

The kinematics technology object provides the kinematics transformation for the predefined kinematics types on the system level. If the user defined kinematics systems, user also must provide the user transformation in a separate program.
User must create the individual axes of the kinematics in the TIA Portal as *Positioning axis* or *Synchronous axis* technology objects. When the configuration of the kinematics technology object is finished, relation of axes is in accordance with the configured kinematics type.

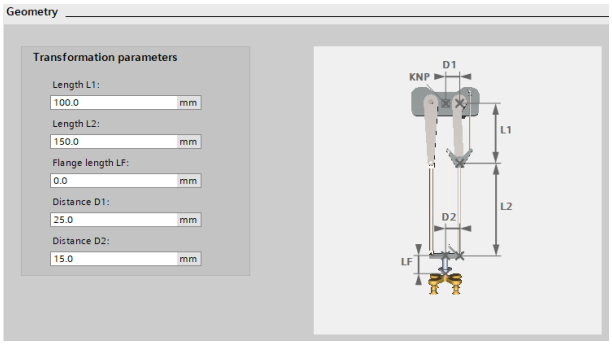


Fig. 10. *Configuration of the Delta robot segments dimension*

After adjusting the geometry of the robot, it is necessary to define the dynamic characteristics of the robot. The following figure shows a window that defines the speed, acceleration and jerk of the robot axis.

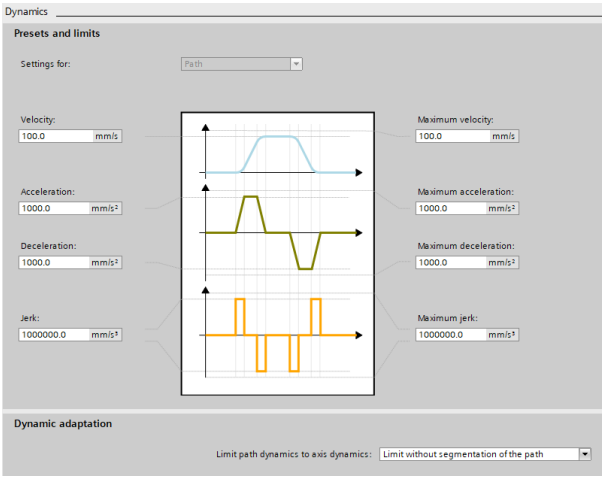


Fig. 11. *Configuration of the dynamic of Delta robot*

FUNCTIONS OF THE KINEMATICS TECHNOLOGY OBJECT

Functions of the kinematics technology object is executing by using the motion control instructions. The following table shows some of the functions that are supported by the technology object.

Table 1 *– Kinematic functions for interpolation*

MC_MoveLinearAbsolute
MC_MoveLinearRelative
MC_MoveCircularAbsolute
MC_MoveCircularRelative

MC_MoveLinearAbsolute/Relative

With the Motion Control instruction MC_MoveLinearAbsolute, a kinematics is move with a linear motion to an absolute/relative position. Cartesian orientation is also used absolute/relative. Dynamic behavior during movement is defined with the parameters *Velocity*, *Acceleration*, *Deceleration* and *Jerk*.

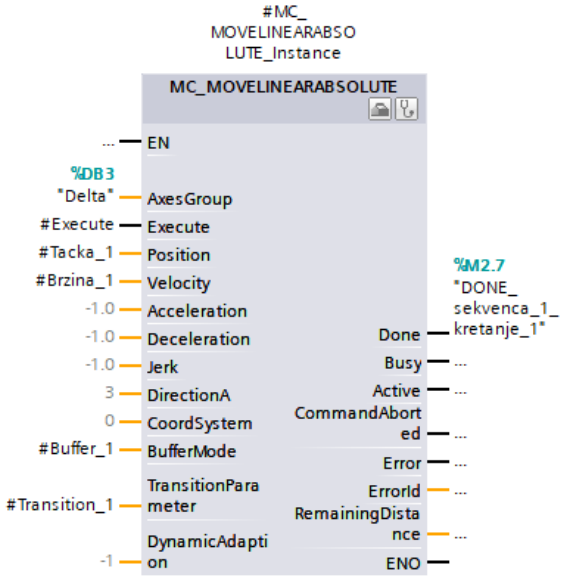


Fig. 12. *Function block for absolute linear motion*

MC_MoveCircularAbsolute/Relative

With the Motion Control instruction MC_MoveCircularAbsolute, a kinematics is moved with a circular motion to an absolute/relative position. Cartesian orientation is also used absolute/relative. Dynamic behavior during movement is defined with the parameters *Velocity*, *Acceleration*, *Deceleration* and *Jerk*.

There are three types of movement to achieve the same target point:

- Via an intermediate point and the end point
- Via the circle center and angle in a main plane
- Via the circle radius and the end point in a main plane

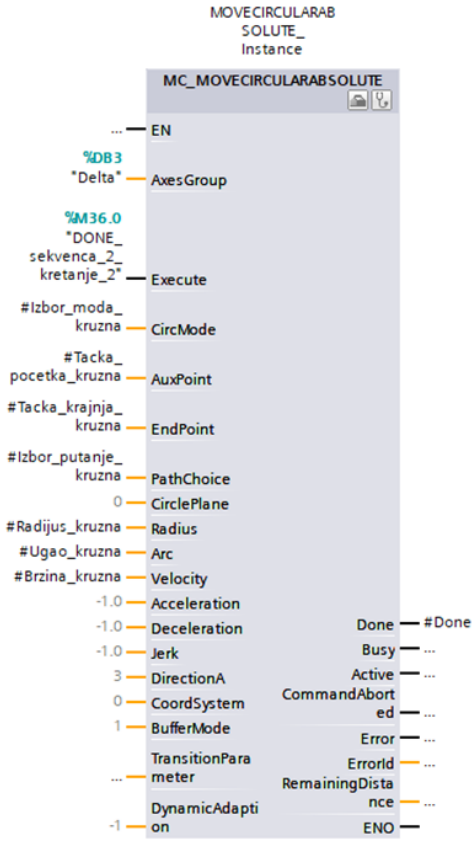


Fig. 13. *Function block for absolute circular motion*

COMPLEX MOVEMENTS

Linear and circular movements can be joined. The robot, for example, moves linearly on a section of the path, then performs a circular motion. When going from one path to the next, it is possible to choose the proximity of the passage near the target point, as it is case with standard industrial manipulators.

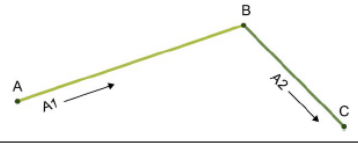
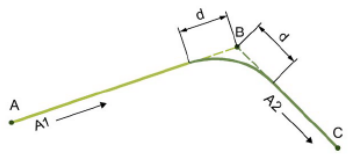
Rounding clearance ("Transition-Parameter[1]")	Motion transition ("BufferMode")
Not relevant	"BufferMode" = 1 
d > 0.0	"BufferMode" = 2, 5 

Fig. 14. *Two linear movements connected* [4]

It is possible to record the programmed and traveled path within the TIA portal. The following figure shows the layout of the robot window and model of Delta robot during operation. One can notice the red path that the robot has pass.

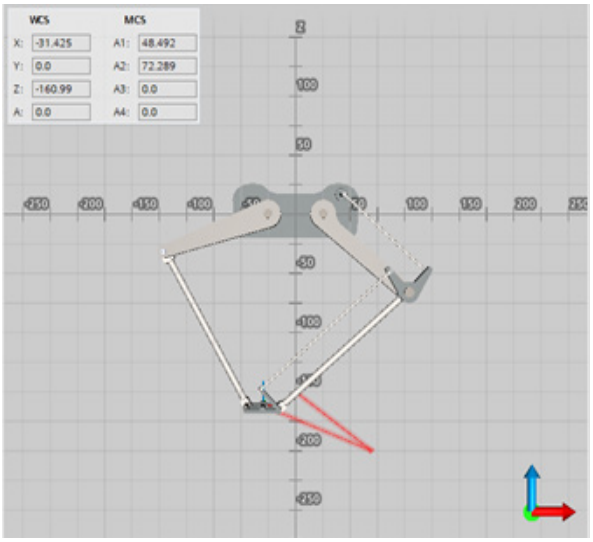


Fig. 15. *Path recording*

CONCLUSION

In this paper is presented one realized 2 axis Delta robot. The Delta robot is controlled by the application of a PLC controller and standard motion function blocks. Using only two servo motors and simple mechanical parts, the mode of operation of a two-axis delta robot can be displayed. This model is very suitable for education because is based on a simple model. It is very easy to show the basics of kinematics, transformation matrices and demonstrate all this on this simple robot based on industrial equipment.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper has been supported by Scientific Project TR 33016, financed by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

REFERENCE

[1] Siemens PLC controller S1500T, https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html
[2] IEC standard IEC 61131-3 for programming PLC controllers, link: https://www.en-standard.eu/bs-en-61131-3-2013-programmable-controllers-programming-languages/
[3] ABB IRB 360 FlexPicker https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-360
[4] Vallis-technologies, http://vallis-technologies.com/.
[5] S7-1500T Kinematics Functions V4.0 in TIA Portal V15, https://support.industry.siemens.com/cs/document/109749264/simatic-s7-1500-s7-1500t-kinematics-functions-v4-0-in-tia-portal-v15?dti=0&lc=en-WW

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

МОДЕЛ ЗА РЕАЛИЗИРАНЕ НА ВИРТУАЛНА ЕТАЛОННА БАЗА ЗА КООРДИНАТНИ ИЗМЕРВАНИЯ НА ПРАВОЛИНЕЙНОСТ

MODEL FOR DEVELOPING A VIRTUAL GAUGE BASIS FOR COORDINATE MEASUREMENTS FOR STRAIGHTNESS

Rositsa Miteva
Technical University of Sofia

Abstract

The means and systems used for coordinate measurements are characterized by a variety of deviations, connected with the practical realization of the pivot coordinate system. In order to compensate for these errors and to eliminate the incorrectness in converting, it is necessary to evaluate the accuracy of the measurement trajectory (linear and angular deviations), the influence of the individual factors on the reference coordinate system, and to determine experimentally the values of these deviations. One of the most rational means for its implementation for real metrological procedures is on the basis of computer-modeled reference elements. In this work is presented a model of a virtual-mechanical standard for coordinate measuring for straightness.

Keywords: coordinate measurements, standards of form, virtual mechanical standard, interpolation, approximation.

ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременните измервателни системи се използват разнообразни елементи и механизми, които се различават по своето предназначение, технологични и функционални възможности, кинематични структури, принцип на действие, конструктивно изпълнение и точностни характеристики. Чрез избора и състава на съответните елементи и механизми се реализира общата функция на измервателните системи – получаване на количествена информация за свойствата на обектите и процесите със зададена точност и достоверност.

За обезпечаване на основната метрологична задача е необходимо да се оцени не само точността на отделните компоненти, но и сумарната точност на системата, която се основава на решаването на редица задачи, свързани с нейния точностен и функционален синтез. В съвременния етап от развитието на измервателната техника, основаващ се до голяма степен на достиженията в областта на микропроцесорната и компютърната техника, е особено перспективно внедряването в реалните измервателни процедури на алгоритми, основаващи се на обработването на резултатите в реално време и повишаващи точността на измерване.

При задачите решавани в координатните измервания, е особено актуално въвеждането на компютърно моделирани референтни елементи, основаващи се на база от данни. Тези елементи имат своите специфични особености, а тяхната ефективност зависи до голяма степен от адекватността на използваните математични модели. Много често в измервателната практика се изпълняват задачи, при които обхватът на конкретните измервания се различава значително от измервателния обхват на измервателната система. В същото време виртуалните референтни елементи, изградени въз основа на базата от данни в първия и втория обхват ще се различават помежду си [3, 15]. Съответно референтният елемент, съставен на базата на текущите измервания ще има по-голяма точност. Целта на настоящата работа е да се изведе математичен модел на виртуален референтен елемент, основаващ се на конкретните измервания. По този начин се създават необходимите условия за адаптиране на измервателните системи към моментните стойности на измерваните

величини, което ще повиши точността на координатните измервания.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТОЧНОСТТА НА РЕАЛИЗАЦИЯ НА ИЗХОДНАТА БАЗА НА ВМЕ ЗА ПРАВОЛИНЕЙНОСТ

Виртуално-механичен еталон (ВМЕ) на формата и разположението е средство за измерване и съответно програмно осигуряване, реализиращи изходен еталон във вид на асоцииран елемент, построен спрямо възпроизвеждан от средствата за измерване реален елемент.

Реализацията на виртуалният изходен еталон се определя от използвания асоциран елемент. Използването на средна асоциирана права в качеството на виртуален изходен еталон се доближава максимално до определението на отклонение от праволинейност в стандарта [14].

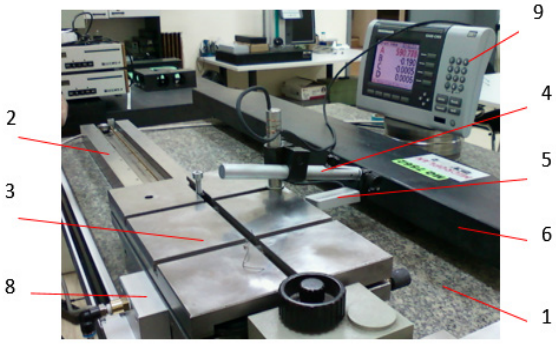
Физическата реализация на измервателната система се определя от вида на използваната изходна база [6, 9, 10, 11]. За реализация на изходна база точно праволинейно движение в метрологичната практика се използват:

- специализиран уред – праволинейномер;
- координатно-измервателна машина.

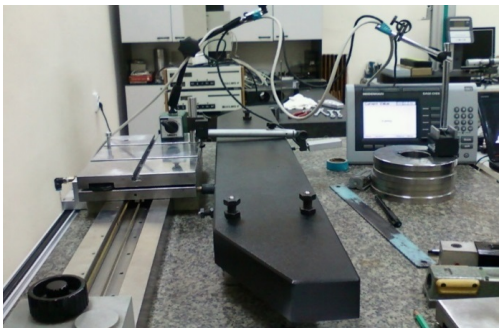
За целта при проведените изследвания се извършва оценка на точността на реализация на изходната база на праволинейномер, направена по два начина:

- чрез измерване и оценка на точността на траекторията с прилагането на реверсивен метод;
- оценка на точността на траекторията на база изведените зависимости за влиянието на отделните фактори (линейни и ъглови измествания) върху координатитте на точката и определените експериментално стойности на тези отклонения.

Опитната установка (фиг. 1 и фиг. 2) се състои от гранитна виброизолирана основа *1*, върху която е монтирана направляваща за праволинейно движение *2*, върху която извършва постъпателно движение подвижният модул *3*. Върху е закрепена неподвижно конзола *4* с монтиран измервателен преобразувател *5*, а преместването му по направляващата се измерва с инкрементална линия *8*. Движението на подвижния модул се осъществява със задвижващ модул *7*. Върху гранитната основа е установена еталонната каменна линия *6*. Тя се ориентира спрямо линията на измерване и направлението на движение чрез регулируеми опори. Изместването на точките на профила спрямо траекторията на движение на характерна точка от преобразувателя и показанията на инкрементална линия *8* се отчитат с електронен блок *9*, свързан с компютър.



Фиг. 1. Опитна установка за калибриране на еталон за праволинейност по реверсивен метод – позиция 0°



Фиг. 2. Опитна установка за калибриране на еталон за праволинейност по реверсивен метод – позиция 180°

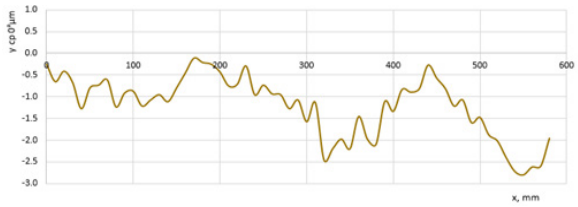
Измерването на профила на еталонна гранитна линия MQ 7562 (отклонението от праволинейност на гранитната линия е EFL = 0.0038 mm) се извършва чрез сканиране с датчик Heidenhain MT 1281, закрепен със стойка към подвижния модул на праволинейномера, отчитането се извършва с уред мод. Heidenhain GAGE - CHEK 2108G чрез интерфейс RS 232.

Провеждат се 5 цикъла измервания в положение 0° и 5 цикъла след обръщане на линията в положение 180°, така че началната точка на измерване да съвпадне с предишното измерване в позиция 0°. Стой-

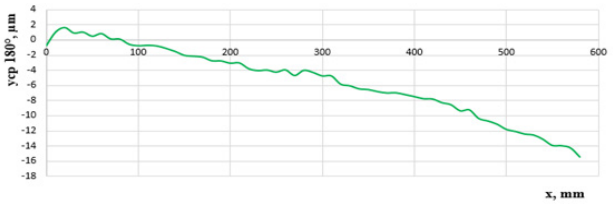
ностите се отчитат през интервал от 10 mm на дължина 580 mm [4, 8].

На база на получените резултати се оценява разсейването на отклонението от праволинейност по ос z на подвижния модул чрез средноквадратичното отклонение на резултатите.

Резултатите от измерване се обработват със специализиран софтуер [7].



Фиг. 3. Резултати от измерване на отклонение от праволинейност на материалния еталон по ос y позиция 0°



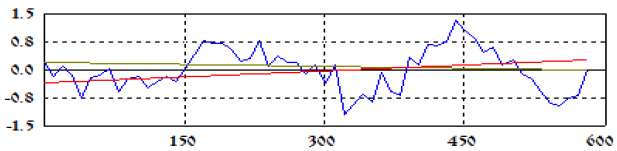
Фиг. 4. Резултати от измерване на отклонение от праволинейност на материалния еталон по ос y позиция 180°

За профила на материалния еталон в позиция 0° се получават следните резултати (фиг. 5):

Отклонение от праволинейност при база средна права – EFL = 0.0025 mm;

Отклонение от праволинейност при асоцииран елемент на минимална зона – EFL = 0.0024 mm;

Базова права построена по крайните точки на профила – EFL = 0.0025 mm.



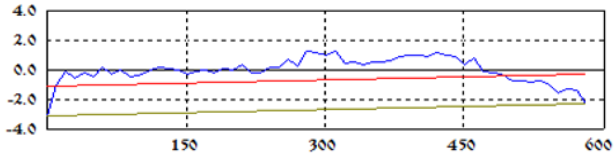
Фиг. 5. Резултати от калибриране на еталонната линия по реверсивен метод – позиция 0°

За профила на материалният еталон в позиция 180° се получават следните резултати (фиг. 6):

Отклонение от праволинейност при база средна права – *EFL* = 0.0043 mm;

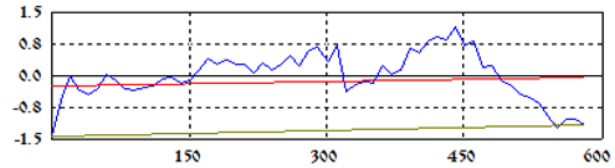
Отклонение от праволинейност при асоцииран елемент на минимална зона – *EFL* = 0.0039 mm;

Базова права построена по крайните точки на профила – *EFL* = 0.0039 mm.



Фиг. 6. Резултати от калибриране на еталонната линия по реверсивен метод – позиция 180°

Отклонението от праволинейност на профила на еталонната линия и траекторията на представителната точка от подвижния модул могат да се определят според [1, 13] като от така получените резултати се изключи грешката от неправолинейност на траекторията на функционалната точка. В единият случай тя участва със знак „+“, а в другия – с „–“. Пресмятането на координатите на точките от измервания профил като средноаритметична стойност на координатите от двете профилограми е показано на фиг. 7.



Фиг. 7. Профил на еталонната линия

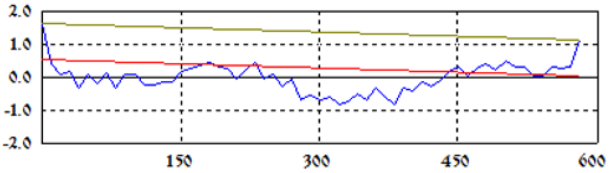
В този случай за EFL на профила на еталонната линия се получава:

Отклонение от праволинейност при база средна права – EFL = 0.0025 mm;

Отклонение от праволинейност при асоцииран елемент на минимална зона – EFL = 0.0024 mm;

Базова права построена по крайните точки на профила – EFL = 0.0024 mm.

Определянето на EFL на траекторията на представителната точка от подвижния модул е извършено с пресмятането на полуразликата от координатите на точките, получени в двете позиции. Резултатите са показани на фиг. 8.



Фиг. 8. Отклонение на траекторията на представителната точка от подвижния модул

В този случай за EFL на траекторията на представителната точка от подвижния модул се получава:

Отклонение от праволинейност при база средна права – EFL = 0.0024 mm;

Отклонение от праволинейност при асоцииран елемент на минимална зона – EFL = 0.0021 mm;

Базова права построена по крайните точки на профила – EFL = 0.0021 mm.

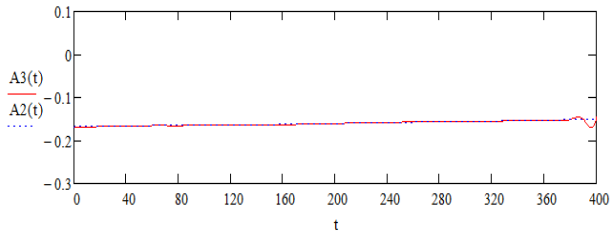
Резултатите от експерименталните изследвания са получени при използване на асоциирана базова права – средна права.

МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА ВИРТУАЛЕН РЕФЕРЕНТЕН ЕЛЕМЕНТ

Изведеният математичен модел на виртуален референтен елемент, се основава на конкретните измервания. По този начин се създават необходимите условия за адаптиране на измервателните системи към моментните стойности на измерваните величини и ще повиши точността на координатните измервания [5, 12].

Получените резултати от измерване се апроксимират по точки през интервал 30 mm. Най-добро приближение до възлите на интерполация дават математичните модели на интерполация – сплайн, кубичен сплайн, МНМК и ред на Фурие. Резултатите за сплайн интерполацията и кубичен сплайн са с близки стойности, което дава основание да се избере само единия математичен модел. По-нататък в работата е направен анализ на резултатите от измерване със сплайн, МНМК и ред на Фурие [2].

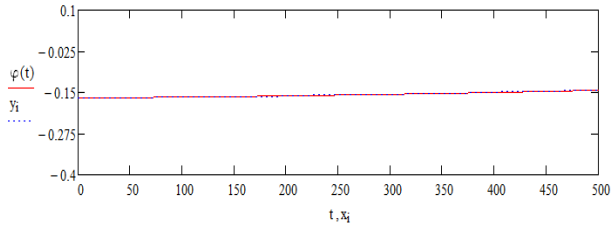
Получените след обработка данни се използват по-нататък за интерполиране на профила по 19 точки през интервал 30 mm.



Фиг. 9. Сплайн интерполация на профила при 19 точки

Резултатите за сплайн интерполацията са показани на фиг. 9. На графиката *A3(t)* е интерполиращата функция през интервал 30 mm, *A2(t)* е функцията на зададения профил през 5 mm. Разликата между двете функции е Δ_{max} = 0.66 μm (27.5% от *EFL*) [7].

При апроксимиране по МНМК при същите данни за грешката се получава Δ_{max} = 0.048 μm (2% от *EFL*). На фиг. 10 функция *φ(t)* е апроксимираща функция по МНМК, а зададения профил през 5 mm е y_i.

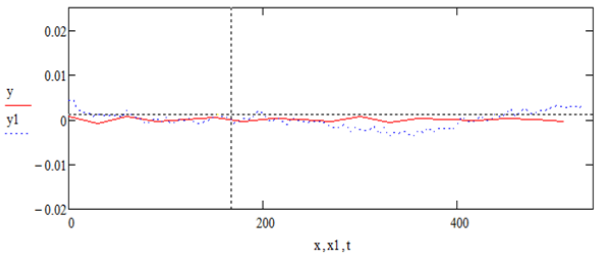


Фиг. 10. Апроксимация с МНМК на профила при 19 точки

За апроксимация с ред на Фурие с шест хармоника при същите данни, Δ_{max} = 0.73 μm (30.5% от *EFL*). На графика фиг. 11 функция *y* е апроксимиращата функция с ред на Фурие по 19 точки, а зададеният профил през 5 mm е означен с y_1.

При интерполиране по 54 точки през интервал 10 mm се получава по-малка грешка от интерполиране на профила за сплайн интерполацията – Δ_{max} = 0,49 μm (20.5% от EFL). При апроксимиране по МНМК при същите данни за грешката се получава Δ_{max} = 0.39 μm (16.5% от *EFL*).

При задаване на интервал 10 mm и 12 хармоника Δ_{max} = 0,12 μm (5% от *EFL*). Точността на апроксимация с реда на Фурие се увеличава с увеличаване броя на хармониците. Той може да бъде избран в интервал $0 \le j < \frac{m}{2}$, където *m* е броя на интерполационните възли. При 26 хармоника Δ_{max} = 0,048 μm (2% от *EFL*). Данните са обобщени в табл. 1.



Фиг. 11. Апроксимация с ред на Фурие на профила при 19 точки

Таблица 1 Максимални грешки, получени при възпроизвеждане на профила

Точки от профила,	EFL μm	Математичен модел интерполация					
		Сплайн		МНМК		Ред на Фурие	
		Δ_{max} μm	Δ_{max} %	Δ_{max} μm	Δ_{max} %	Δ_{max} μm	Δ_{max} %
19	2.5	0.66	27.5	0.07	3	0.73	30.5
54	2.5	0.49	20.5	0.39	16.5	0.05	2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение може да се каже, че предварителната информация за характера на профила е важна за избора на подходящи математични модели за апроксимация, с което да се постигне необходимата за измерването точност.

Направеният анализ показва, че и трите математични модели за интерполация могат да бъдат използвани при определяне на отклонението от праволинейност на еталонни детайли, с което се постига необходимата за измерването точност.

Методът на най-малките квадрати дава най-добри резултати когато се апроксимират "гладки" криви, в които няма силно изразени екстремуми. Когато правилно е определен броят на хармониците при апроксимация с реда на Фурие се постига висока точност.

При отсъствие на предварителна информация за топографията на изследвания профил е най-подходящо използването на апроксимиране с МНМК и ред на Фурие, поради високата точност и надеждност на методите.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Dyakov D., I. Kalimanova, V. Bogev, G. Kasabova. Sistema za izmervane na otklonenieto ot pravolineynost. 12-ti Natsionalen Nauchen Sbornik dokladi ot 12-ti Natsionalen Nauchen Simpozium s mezhd. uchastie “MMO’2002”, Sozopol, 2002 g., s. 147-152, ISBN 954-438-229-5.

[2] Miteva R. Virtualno-mehanichni etaloni na formata i razpolozhenieto, Softtrade, 2019 g., ISBN 978-954-334-213-6.

[3] Dyakov D. Otnosno otsenyavaneto na otkloneniyata na formata i orientatsiyata. Sb. dokladi ot 10-ti Natsionalen Nauchen Simpozium s mezhd.uchastie “MMO’2000”, Sozopol, 2000 g., (s. 87-92), ISBN 954-438-229-3.

[4] Zhelezarov I. S., Povtoryaemost i vazproivodimost na izmervatelni sistemi. UNITEH 2010. Gabrovo. 2010 g., s. II445 – II448. ISSN 1313-230X.

[5] Dichev, D., F. Kogia, H. Nikolova, D. Diakov. A mathematical Model of the Error of Measuring Instruments for Investigating the Dynamic Characteristics, Journal of Engineering Science and Technology Review 11(6) (2018) 14-19, ISSN 1791-2377, doi: 10.25103/jestr.116.03; SJR 2017: 0.225; CiteScore 2017: 1.00; SNIP 2017: 0.386.

[6] Nikolova H. N., D. I. Diakov, V. A. Vassilev, Form Deviations Measurement of Planar Surfaces by Overlapping Measuring Positions Using Reference Plane Method, XXVIII International Scientific Symposium "METROLOGY AND METROLOGY ASSURANCE 2018" September 10-14th, 2018, Sozopol, Bulgaria, ISSN 1313-9126 p.65-69;

[7] Bogev V., Spetsializiran softuer "Otsenka na formata, razpolozhenieto i orientatsiyata pri koordinatni izmervania", TU – Sofia, katedra PTU pri MF, 1999.

[8] Zhelezarov, I., Analysis of measuring devices and measurement systems. Mechanical Engineering in XXI Century. Nis, Serbia. 2010. p. 199 – 200. ISBN 978-86-6055-008-0.

[9] Radev, Hr., V. Bogev, D. Dyakov, Metod za izmervane na otklonenieto ot pravolineynost, Sb. Dokladi na natsionalna konferentsia s mezhdunarodno uchastie „Metrologia ‘93“, Veliko Tarnovo, 1993 g.

[10] Kalimanova I., D. Dyakov. Izsledvane na harakteristikata na lazerna sistema LMS 100 za izmervane na otklonenia ot pravolineynost. Sbornik dokladi ot XII-ti Natsionalen Nauchen Simpozium s mezhd. uchastie “MMO’2002”, Sozopol 2002 g., s. 153-157, ISBN 954-438-229-5.

[11] Dyakov, D., I. Kalimanova, A. Georgiev, Stend za izsledvane na tochnostnite parametri na koordinatni mikropozitsionirashti sistemi. Sbornik dokladi na Konferentsia s mezhdunarodno uchastie mashinoznanie i mashinni elementi, 2008 g., ISBN 978-954-580-260-7, s. 254-260.

[12] D. Dichev D., F. Kogia, Hr. Koev and D. Diakov. Method of analysis and correction of the error from nonlinearity of the measurement instruments, JOURNAL OF Engineering Science and Technology ReviewVolume 9,

Number 6, 2016 ISSN: 1791-2377, p.116-121
[13] ISO 230-1:2012. Test code for machine tools - Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasi-static conditions.
[14] BDS EN ISO 12780-1: 2011 Geometrical product specifications (GPS) - Straightness - Part 1: Vocabulary and parameters of straightness (ISO 12780-1:2011).
[15] Kalimanova I., D. Dyakov. Bezkontaktna sistema za izmervane na tochnostnite harakteristiki na dvukoordinatni lineyni pozitsionirashti moduli. Sbornik dokladi ot XVIII-ti Natsionalen Nauchen Simpozium s mezhd. uchastie "MMO 2008", Sozopol, 2008 g., s. 137-141, ISBN 978-954-334-078-1.

МОДЕЛИ ЗА ЕКСПЕРТНО ОЦЕНЯВАНЕ ПРИ ИЗБОР НА ФОРМИ ЗА ОБУЧЕНИЕ

MODELS FOR EXPERT ASSESSMENT FOR SELECTION OF FORMS FOR EDUCATION

Rositsa Miteva
Technical University of Sofia

Abstract

Higher education institutions should evaluate factors such as students' preferences for different forms of learning and the level of satisfaction with these factors. This information should trigger actions to complement the qualifications of teachers in the field of expert Quality assessment, as well as the development of an information system for the analysis of expert assessment. This will lead to strong motivation to achieve good student performance.

Keywords: expert methods, quality assessment of education, ranking objects.

ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременното глобално общество, осъществяващо комуникация и търговия в интернет пространството, става все по-сложно и трудно да се извършва успешна корпоративна дейност от предприятията произвеждащи стоки, услуги или предлагащи обучение. Доказаното качество на предлаганите продуктите е от съществено значение в съвременната икономическа обстановка. При все по-разширения достъп до световният пазар на стоки, услуги и знания от целия свят, конкурентостта на стоките и услугите зависи от тяхното качество. Ситуацията става още по-усложнена от непрекъснатото увеличаване на номенклатурата на предлаганите стоки и услуги и необходимостта от адекватното оценяване на тяхното качество.

Нарастването на влиянието на неформалните организации, наред с увеличаването на задължителните нормативни изисквания относно качеството на стоките и услугите прави особено актуален въпросът за оценяване на равнището на качеството на предлагания продукт. Внедряването на системи за управление на качеството, базирани на единни международни стандарти, уеднаквяването на специфичните термини и определения, улеснява международния обмен на стоки, услуги и знания. Решаващ е вече гласът на потребителят при определяне на базовите стойности на показателите за качество, тъй като предприятията се стремят да изпреварят възникващата необходимост от високо качество, като се стремят да откриват новите тенденции в удовлетвореността на клиентите.

Използването на методи за аналитична оценка на качеството е от съществена важност в оценката на качеството на произвежданите от тях продукти и услуги, дава възможност за прогнозиране на стратегическото им развитие и взимане на управленски решения, които ги водят до финансов успех и стабилни пазарни позиции.

ПОДГОТОВКА НА ЕКСПЕРТНОТО ОЦЕНЯВАНЕ

Експертните оценки са важни инструменти в две области на изследване – прогнозиране и оценка на качеството [3, 4].

Експертните методи се използват, когато използването на други, по-обективни методи е невъзможно и неикономично. Подобно на другите методи, използвани при оценка на качеството, експертните методи имат определени предимства и недостатъци [7].

Предимствата на тези методи са, че позволяват да се вземе решение, когато по-обективни методи са неприемливи. Екс-

пертните методи, използвани от квалифицирани специалисти, позволяват да бъде определена по-точна и възпроизводима оценка на качеството.

Недостатъците на експертните методи включват субективност, ограничено приложение, високи разходи за тяхното прилагане. Субективността на експертните методи е следствие от факта, че експертната оценка се извършва индивидуално от всеки експерт и е неговата психологическа реакция на характеристиките на продукта [5].

Квалифицираният експерт, при провеждане на експертизата, дава оценка на качеството на оценяваните продукти, съобразявайки се с интересите на клиентите и другите заинтересовани страни [9]. Следователно експертната оценка до известна степен отразява и мнението на клиентите, което е невъзможно да се приложат други методи.

Подготовката на експертното проучване започва като при всеки експеримент – с формулирането на цел. Тя трябва да бъде ясно дефинирана, за да могат да бъдат формулирани хипотезите на изследването [6, 8].

Следващата стъпка в експертното проучване е съставяне на анкетна карта. Съдържанието й е от две части – инструкции и въпросник. При използване на ранжиране на посочените обекти за оценяване следва да бъдат дадени указания и за посоката на ранжирането.

МЕТОДОЛОГИЯ НА ЕКСПЕРТНАТА ОЦЕНКА

В контекста на измерването на удовлетвореността на всички заинтересовани страни от качеството на учебния процес е необходимо и измерване на предпочитанието на студентите към различните форми на обучение. Това би добавило допълнителен стимул към мотивацията на студентите за включване активно в процеса на обучение [1, 2].

Експертното оценяване е анонимно, за да бъдат освободени участниците от редица ограничения. За целта на изследването са направени изследвания с 6 групи от по 5 студента. Така общият брой на анкетираните е 30 души. Броят на обектите за ранжиране е 5, за да бъде улеснена непосредствената сравнителна оценка.

Направено е експериментално изследване на база формулиран въпрос към експертната група от студенти 4 курс бакалаври в ТУ – София:

Оценете по предпочитание посочените форми на обучение, като с 1 означите най-предпочитаната, с 5 – най-малко желаната.

- *Самостоятелна подготовка - СП;*
- *Лекция - Л;*
- *Упражнение - У;*
- *Семинар - С;*
- *Беседа - Б .*

Експертите подреждат обектите по предпочитание. Обектите за ранжиране са 5, сумата на числата е 15. Обобщените резултати са показани в таблица 1.

Таблица 1

Експерт №	СП	Л	У	С	Б	Сума
1	5	1	2	1	3	12
2	1	2	2	4	5	14
3	3	1	2	4	5	15
4	1	2	3	3	5	14
5	4	5	1	1	2	13
Сума	14	11	10	13	15	

За да бъде спазено изискването сумата от ранговите числа за всеки експерт да е равна на сумата на естествените числа от 1 до броя на изследваните характеристики (в случая 5), рангът на характеристиките с еднаква оценка се пресмята като средноаритметично от номера на заеманите места от еднаквите оценки. В случая експерт №1 оценява като равностойни лекциите и семинарите, ранговете им са равни. Заеманите от тях места са 1 и 2. Представянето им ще

бъде с равни рангове със стойност $\frac{(1+2)}{2} = 1.5$.

След пресмятане на коректните рангови числа таблицата ще има вида – таб. 2.

Таблица 2

Експерт №	СП	Л	У	С	Б	Сума
1	5	1.5	3	1.5	4	15
2	1	2.5	2.5	4	5	15
3	3	1	2	4	5	15
4	1	2	3.5	3.5	5	15
5	4	5	1.5	1.5	3	15
Сума	14	12	12.5	14.5	22	

Според така проведеното експертно оценяване най-предпочитана форма на обучение според експертната група е следната:

1. *Лекция*
2. *Упражнение*
3. *Самостоятелна подготовка*
4. *Семинар*
5. *Беседа*

Резултатите от оценяването се различават с минимални разлики при различните групи, което дава основание да се приеме горният резултат.

Друг начин за подреждане на обекти, който е получил голямо разпространение в практиката е методът на сравняване по двойки. Той е лесен и удобен за прилагане при оценка на качеството на обектите на експертизата. Сравнява се всеки обект от съответния ред с всеки обект от колоните, като при по-висок ранг на обекта на реда спрямо този в колоната се записва 1, в противния случай – 0. За сравнение с метода на непосредствено ранжиране е направено класиране на индивидуалните карти на експертите по метода на сравняване по двойки. В таблица 3 е показано сравняване на обектите на експертизата по двойки за експерт № 3. Както се вижда получените резултати и по двата метода са еднакви.

Таблица 3 Сравняване на обектите на експертизата по двойки - експерт №3

Обект	СП	Л	У	С	Б	F_{ij} честота на предпочитание	Място
СП	x	0	0	1	1	2	3
Л	1	x	1	1	1	4	1
У	1	0	x	1	1	3	2
С	0	0	0	x	1	1	4
Б	0	0	0	0	x	0	5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада са поставени някои проблеми, свързани с експертното оценяване. Надеждното и валидното оценяване на придобитите знания, умения и компетенции на студентите до голяма степен зависи от включването им в оценката на качеството на обучението и съобразяване с предпочитаните от тях форми за обучение. Висшите училища трябва да оценяват фактори като предпочитанието на студентите към различните форми на обучение и нивото на удовлетвореността от тези фактори. Тази информация трябва да предизвика действия за допълване на квалификация на преподавателите в областта на експертното оценяване на качеството, като и разработване на информационна система за анализ на резултатите от експертното оценяване. Това ще доведе до по-силна мотивация за постигане на добро представяне на студентите.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Zhelezarov, I. S. Otsenyavane na sistemite za upravlenie na kachestvoto na visshite uchilishta. “Kachestvo na vissheto obrazovanie v Bulgaria – Problemi i perspektivi 2009”. Ruse. 2009.

[2] Zhelezarov, I. S. Modeli i metodi za analiz na sistemi za upravlenie na kachestvoto.

Universitetsko izdatelstvo “Vasil Aprilov”. Gabrovo. 2019 g., 120 s. ISBN 978-954-683-599-4.
[3] Radev Hr., kolektiv, Metrologia i izmervatelna tehnika t. 1, Softtrade, Sofia, 2012 g., ISBN 978-954-334-077-4.
[4] Dyukendzhiev G., Yordanov R., Kontrol i upravlenie na kachestvoto, Softtrade, Sofia, 2002 g., ISBN 978-954-334-067-5.
[5] Rayhman E.P., T.T. Azgolydov, Ekspertnie metodi v otsenke kachestva tovarov, M., Ekonomika, 1994 g.
[6] Shishkin I. F., Metrologia, standartizatsia i upravlenie kachestvom, M., Izdatelystvo standartov, 1990 g.
[7] Fomin V.N., Kvalimetria. Upravlenie kachestvom, Standartizatsia, M., Osy 89, 2002 g.
[8] Ivanov Iv., Zhelezarov Il., Upravlenie na kachestvoto, chast 1 i 2, Universitetsko iz-vo “V.Aprilov”, Gabrovo, 1999 g.
[9] Zhelezarov, I. S., S. K. Simeonov. External and Internal Measuring and Assessing the Quality Management System in a University. Competence of contemporary specialist: The unity of theory and practice. Kaunas, Lithuania. 2011. ISSN 2029-4557.
[10] BDS EN ISO 9001:2015 Quality management systems - Requirements.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА МОДЕЛИ ЗА АПРОКСИМАЦИЯ НА МАТЕРИАЛЕН ЕТАЛОН С ИЗПОЛЗВАНЕТО НА ВИРТУАЛНО-МХАНИЧЕН ЕТАЛОН ЗА ПРАВОЛИНЕЙНОСТ

STUDY MODELS TO APPROXIMATE THE MATERIAL STANDARD USE OF A VIRTUAL MECHANICAL STANDARD FOR STRAIGHTNESS

Rositsa Miteva
Technical University of Sofia

Abstract

Calibration of material standards for form is an actual metrological problem. The integration of information technology allows the creation of a new type of virtual mechanical standards with new functions and features.

The paper presents studies of mathematical models for interpolation and approximation in the calibration of a material standards line using a virtual-mechanical standard for straightness. Present a comparative analysis of models and mistakes that they bring.

Keywords: standards of form, interpolation, approximation, virtual mechanical standard.

ВЪВЕДЕНИЕ

Интегрирането на възможностите на компютърната техника с прецизните измервателни системи за създаване на високоточна и ефективна еталонна база е едно перспективно направление в метрологичната теория и практика. Разработването на точна и пълна структура, свързваща всички елементи на даден измервателен процес, е първата стъпка за анализа на характеристиките на еталона. За целта е необходимо да бъдат изградени адекватни базови модели на обектите, средствата и методите за измерване. Синтезът на подобни референтни системи изисква разработването на подробен и пълен анализ на всички функционални елементи, участващи в общата метрологична структура.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ВИРТУАЛНО-МЕХАНИЧЕН ЕТАЛОН

Виртуално-механичен еталон (ВМЕ) на формата и разположението е средство за измерване и съответно програмно осигуряване реализиращи изходен еталон във вид на асоцииран елемент, построен спрямо възпроизвеждан от средствата за измерване реален елемент.

Виртуално-механичният еталон съгласно определението се състои от два основни модула: механичен модул, представляващ физическа реализация на измервателната система, за получаване и извеждане на измервателна информация в удобен формат; и модул програмно осигуряване – разработване на математически модел на измерването и разработване на програмно осигуряване за обработка на получената информация. Чрез механичният модул се реализира извлечения елемент. Той трябва да осигурява възпроизводимост на резултатите при многократна реализация [2, 7, 9].

Отклоненията на формата на реалните повърхнини (елементи) на детайлите се оценяват чрез сравняването им със съответните геометрични (апроксимиращи) елементи, имащи форма на номиналните. Количествено тези отклонения се определят като най-голямото разстояние от точките на извлечения елемент до геометричния (асоциирания) елемент по нормалата към него.

Точната оценка на тези отклонения, разработването на достатъчно ефективни решения, ориентирани към създаването на съвременни методи и средства в това на-

правление, са свързани преди всичко със създаване на необходимите модели, дефиниращи основните елементи. Създаването на математичните модели има за цел да се сведе изследването на различни числови характеристики и качествени свойства на реалните обекти до работа с модели, чиито теоретичен апарат е напълно известен и е удобен за работа [3].

Измерването е процес на експериментално получаване на една или повече стойности, които могат да бъдат логично приписани на дадена величина. В голяма част от измервателните процедури експери-менталните данни могат да се представят във вид на масив, състоящ се от наредена двойка числа (x_i, y_i). Ето защо обикновено възниква задачата за апроксимация на дискретната зависимост $y(x_i)$ с непрекъснатата функция $Y(x)$.

Интерполацията в числовия анализ е метод на конструиране на нови числови стойности в област от множество на изолирани точки от известни числови стойности. В метрологията под понятието интерполация се разбира построяването на функцията $Y(x)$, дефинираща крайните резултати от измерване и апроксимираща зависимостта $y(x_i)$ във всички крайни интервали, формирани между точките на измерване x_i. Интерполацията е най-често използваната в практиката точкова апроксимация. В точките x_i стойностите от интерполационната функция трябва да съвпадат с резултатите, получени от измерване, т.е. $y(x_i) = Y(x_i)$.

Известни са различни методи за интерполация, от които най-често използваните са [1]:

- Линейна интерполация;
- Кубична сплайн-интерполация;
- Апроксимация/интерполация с ред на Фурие;
- Интерполиране с полином на Лагранж;
- Апроксимация по метода на най-малките квадрати (МНМК).

КАЛИБРИРАНЕ НА МАТЕРИАЛЕН ЕТАЛОН ЗА ПРАВОЛИНЕЙНОСТ

Като база при измерване на праволинейност на профили на плоски повърхнини може да се използва:

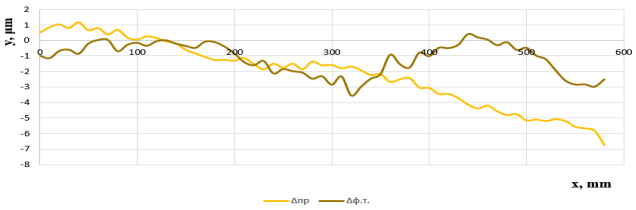
- материален еталон;
- траектория на точно праволинейно движение.

В първия случай изходна база при измерването се явява профилът на материален еталон за праволинейност [5, 8, 10]. Във втория случай изходна база е траекторията на функционална точка от подвижния модул на праволинейномер.

Калибрирането на ВМЕ за праволинейност може да бъде направено по два начина [11, 12]:

- чрез измерване на отклоненията на траекторията на представителна точка от подвижния модул на праволинейномера;
- чрез метод на реверсия с материален еталон.

Направеният сравнителен анализ между реверсивния метод и метода с нанасяне на корекции във всяка точка е илюстриран графично на фиг. 1.



Фиг. 1 Траектория на праволинейномера

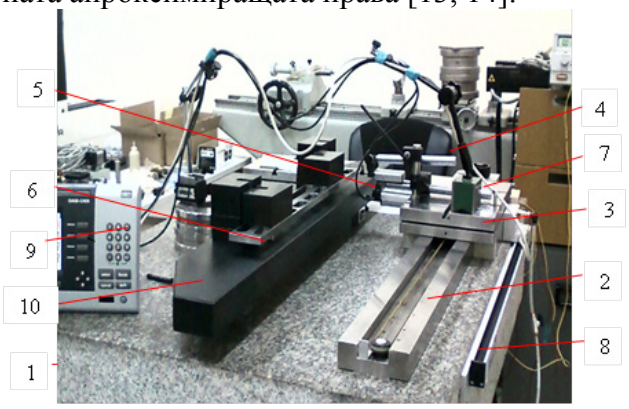
От направеният сравнителен анализ се вижда, че разликата между двете траектории $\Delta_{\text{пр-ф.т.}}$ е в границите на 2.97 µm.

За целта на изследването е произведена еталонна линия с дължина 560 mm от фирма „Ник – 47“ ООД – Пловдив.

Опитната измервателна установка (фиг. 2) се състои от гранитна виброизолирана основа *1*, върху която е монтирана направляващата за праволинейно движение *2*, върху която на аеростатични опори извършва постъпателно движение подвижният модул, захранван с постоянно налягане *P*. Върху подвижния модул е закрепена неподвижно конзола *4* с монтирани измервателни преобразуватели *5*, а преместването му по направляващата се измерва с инкрементална линия *8*. Движението на подвижния модул се осъществява с помощта на задвижващия модул *7*. Върху гранитната основа са установени заедно еталонната каменна линия

10 и линия *6*, която ще се калибрира. Детайлите се ориентират спрямо линията на измерване и направлението на движение чрез регулируеми опори. При движение на подвижния модул *3* измервателните накрайници на преобразуватели *5* обхождат контролирания профил на детайли *10* и *6* в границите на нормирания участък. Изместването на точките на профила спрямо траекторията на движение на характерна точка от преобразувателя и показанията на инкрементална линия *8* се отчитат с електронен блок *9*, свързан с компютър.

От получената измервателна информация от блок 9 се построява профилограма на измерваните профили и се оценява отклонението от праволинейност спрямо съответната апроксимиращата права [13, 14].



Фиг. 2. *Измерване на праволинейност с ВМЕ*

Еталонната линия се измерва по двата профила. Измерванията се извършени с използване на датчици Heidenhein MT 1281, ID359355-02SN26981030 P, Inspection Certificate DIN 55350-18-4.4.2/02.09.2009. Обработката е направена със софтуер Putty Configurator.

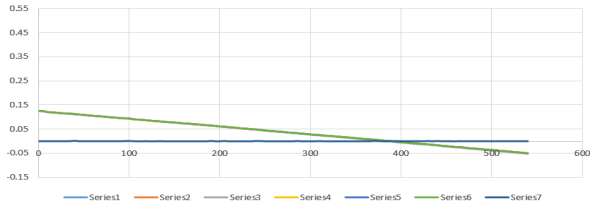
Извършват се 5 цикъла измервания със стъпка 5 mm на дължина 540 mm за всеки от профилите [4].

Измерванията са извършвани при температура на околната среда (20.7±0.1)°C и подавано налягане към направляващите – 0.32 MPa.

Получените резултати от измерване се обработват, като се въвеждат поправки за изключване на собствената непра-волинейност на ВМЕ. След това данните се обработват със специализиран софтуер [6] за определяне на отклонението от праволинейност спрямо базова права – средна права и права на минималната зона и права през крайните точки.

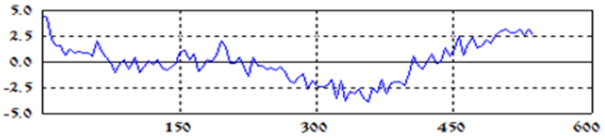
Резултатите от експерименталните изследвания са получени при използване на асоциирана базова права – средна права. Получените резултати за измерените профили се апроксимират по точки през интервал 30 mm. Най-добро приближение до възлите на интерполация дават математичните модели на интерполация – сплайн, кубичен сплайн, МНМК и ред на Фурие [3]. Резултатите за сплайн интерполацията и кубичен сплайн са с близки стойности, което дава основание да се избере само единия математичен модел. По-нататък в работата е направен анализ на резултатите от измерване със сплайн, МНМК и ред на Фурие.

Получените резултати от измерване на праволинейността на профилите на еталонната линия са показани графично на фиг. 3.



Фиг. 3. *Отклонение от праволинейност на еталонната линия – профил А и Б*

След обработка със специализиран софтуер се получават следните резултати (фиг. 4):



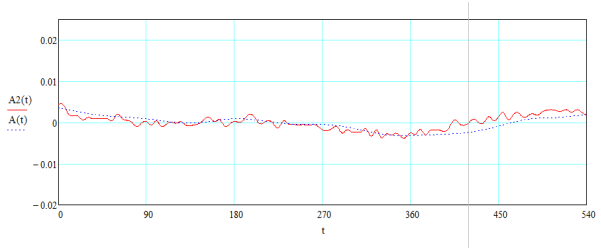
Фиг. 4. *Отклонение от праволинейност на профила спрямо средна базова права*

EFL = 0.0082 mm – базова права – средна

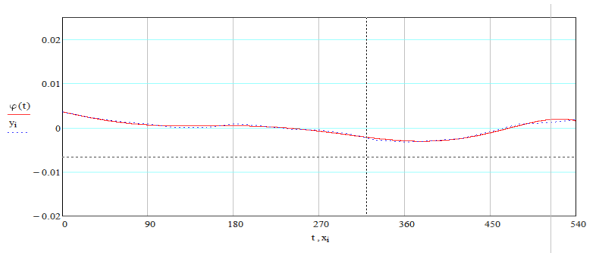
Получените след обработка данни се използват по-нататък за интерполиране на профила по 19 точки през интервал 30 mm.

Резултатите за сплайн интерполацията са показани на фиг. 5. На графиката *A(t)* е интерполиращата функция през интервал 30 mm, *A2(t)* е функцията на зададения профил през 5 mm. Разликата между двете функции е Δ_{max} = 2.5 μm (30.5% от *EFL*) [7].

При апроксимиране по МНМК при същите данни за грешката се получава Δ_{max} = 0.5 μm (6% от *EFL*). На фиг. 6 функция *φ(t)* е апроксимираща функция по МНМК, а зададения профил през 5 mm е y_i.



Фиг. 5. *Сплайн интерполация на профила при 19 точки*



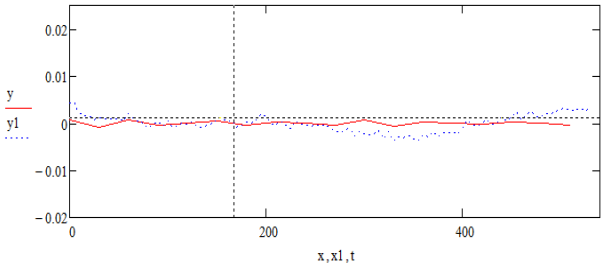
Фиг. 6. *Апроксимация с МНМК на профила при 19 точки*

За апроксимация с ред на Фурие с шест хармоника при същите данни, Δ_{max} = 2.7 μm (33% от *EFL*). На графика фиг. 7 функция *y* е апроксимиращата функция с ред на Фурие по 19 точки, а зададеният профил през 5 mm е означен с y_1.

При интерполиране по 54 точки през интервал 10 mm се получава по-малка грешка от интерполиране на профила за сплайн интерполацията – Δ_{max} = 1,9 μm (23% от EFL).

При апроксимиране по МНМК при същите данни за грешката се получава Δ_{max} = 1.6 μm (19.5% от *EFL*).

При задаване на интервал 10 mm и 12 хармоника Δ_{max} = 1,6 μm (19% от *EFL*). Точността на апроксимация с реда на Фурие се увеличава с увеличаване броя на хармониците. Той може да бъде избран в интервал $0 \le j < \frac{m}{2}$, където *m* е броя на интерполационните възли. При 26 хармоника Δ_{max} = 0,16 μm (2% от *EFL*). Данните са обобщени в табл. 1.



Фиг. 7. *Апроксимация с ред на Фурие на профила при 19 точки*

Таблица 1 *Максимални грешки, получени при възпроизвеждане на профила*

Точки от профила, бр.	**EFL** [μm]	**Математичен модел интерполация**					
		Сплайн		**МНМК**		**Ред на Фурие**	
		Δ_{max} [μm]	Δ_{max} [%]	Δ_{max} [μm]	Δ_{max} [%]	Δ_{max} [μm]	Δ_{max} %
19	8.2	2.5	30.5	0.5	6.0	2.70	33
54	8.2	1.9	23.0	1.6	19.5	0.16	2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение може да се каже, че правилната преценка на характера на профила е важна за избора на подходящи математични модели за апроксимация, с което да се постигне необходимата за измерването точност.

При проведеното изследване получените грешки при възпроизвеждане на профила на еталонната линия при сплайн интерполацията са много големи. Това показва, че профилът има силно изразени екстремуми.

Методът на най-малките квадрати дава най-добри резултати когато се апроксимират "гладки" криви, в които няма силно изразени екстремуми. В тези случаи при повече възли на апроксимиране попадат точки със силно изразен екстремум, поради което грешката става от по-голям порядък.

Направеният анализ показва, че най-ефикасният метод в този случай е апроксимация с реда на Фурие, защото дава най-добри резултати при правилно определен брой на хармонците.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Korn G, T. Korn, Spravochnik po matematike dlya nauchnыh rabotnikov i inzhenerov, izd. Nauka, M. 1973.

[2] Zhelezarov, I. S. Povtoryaemost i vazproivodimost na izmervatelni sistemi. UNITEH 2010. Gabrovo. 2010 g., s. II445 – II448. ISSN 1313-230X.

[3] Митева Р. Виртуално-механични еталони на формата и разположението, Софттрейд, 2019 г., ISBN 978-954-334-213-6.

[4] Zhelezarov, I., Analysis of measuring devices and measurement systems. Mechanical Engineering in XXI Century. Nis, Serbia. 2010. p. 199 – 200. ISBN 978-86-6055-008-0.

[5] Radev, Hr., V. Bogev, D. Dyakov, Metod za izmervane na otklonenieto ot pravolineynost, Sb. Dokladi na natsionalna konferentsia s mezhdunarodno uchastie „Metrologia '93", Veliko Tarnovo, 1993 g.

[6] Bogev V., Spetsializiran softuer "Otsenka na formata, razpolozhenieto i orientatsiyata pri koordinatni izmervania", TU – Sofia, katedra PTU pri MF, 1999.

[7] Dyakov D. Otnosno otsenyavaneto na otkloneniyata na formata i orientatsiyata. Sb. dokladi ot 10-ti Natsionalen Nauchen Simpozium s mezhd.uchastie "MMO'2000", Sozopol, 2000 g., (s. 87-92), ISBN 954-438-229-3.

[8] Dyakov D., I. Kalimanova, V. Bogev, G. Kasabova. Sistema za izmervane na otklonenieto ot pravolineynost. 12-ti Natsionalen Nauchen Sbornik dokladi ot 12-ti Natsionalen Nauchen Simpozium s mezhd. uchastie"MMO'2002", Sozopol, 2002 g., s. 147-152, ISBN 954-438-229-5.

[9] Kalimanova I., D. Dyakov. Izsledvane na harakteristikata na lazerna sistema LMS 100 za izmervane na otklonenia ot pravolineynost. Sbornik dokladi ot XII-ti Natsionalen Nauchen Simpozium s mezhd. uchastie"MMO'2002", Sozopol 2002 g.,s. 153-157, ISBN 954-438-229-5.

[10] Dyakov, D., I. Kalimanova, A. Georgiev, Stend za izsledvane na tochnostnite parametri na koordinatni mikropozitsionirashti sistemi. Sbornik dokladi na Konferentsia s mezhdunarodno uchastie mashinoznanie i mashinni elementi, 2008 g., ISBN 978-954-580-260-7, s. 254-260.

[11] Kalimanova I., D. Dyakov. Bezkontaktna sistema za izmervane na tochnostnite harakteristiki na dvukoordinatni lineyni pozitsionirashti moduli. Sbornik dokladi ot XVIII-ti Natsionalen Nauchen Simpozium s mezhd. uchastie"MMO 2008", Sozopol, 2008 g., s. 137-141, ISBN 978-954-334-078-1.

[12] D. Dichev D., F. Kogia, Hr. Koev and D. Diakov. Method of analysis and correction of the error from nonlinearity of the measurement instruments, JOURNAL OF Engineering Science and Technology ReviewVolume 9, Number 6, 2016 ISSN: 1791-2377, p.116-121

[13] Nikolova H. N., D. I. Diakov, V. A. Vassilev, Form Deviations Measurement of Planar Surfaces by Overlapping Measuring Positions Using Reference Plane Method, XXVIII International Scientific Symposium "METROLOGY AND METROLOGY ASSURANCE 2018" September 10-14th, 2018, Sozopol, Bulgaria, ISSN 1313-9126 p.65-69;

[14] Dichev, D., F. Kogia, H. Nikolova, D. Diakov. A mathematical Model of the Error of Measuring Instruments for Investigating the Dynamic Characteristics, Journal of Engineering Science and Technology Review 11(6) (2018) 14-19, ISSN 1791-2377, doi: 10.25103/jestr.116.03; SJR 2017: 0.225; CiteScore 2017: 1.00; SNIP 2017: 0.386.

UNITECH 2019 GABROVO

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
15 – 16 November 2019, GABROVO

PSEUDORANDOM BINARY ARRAYS FOR POSITION DETERMINATION USING VIRTUAL INSTRUMENTATION

Ivana Stojković
University of Niš,
Faculty of Electronic Engineering, Serbia

Goran Miljković
University of Niš,
Faculty of Electronic Engineering, Serbia

Dragan Denić
University of Niš,
Faculty of Electronic Engineering, Serbia

Dragan Živanović
University of Niš,
Faculty of Electronic Engineering, Serbia

Abstract

Designing of pseudorandom binary arrays for two-dimensional position determination using virtual instrumentation is proposed in this paper. Based on existing pseudorandom binary sequence, examples of generating pseudorandom binary array, which are constructed by folding method, are given in the paper. The determination of the two-dimensional position based on the contents of the "window" was implemented using a look-up table.

Keywords: pseudorandom binary array, virtual instrumentation, folding method, LabVIEW, two-dimensional position determination.

INTRODUCTION

Two-dimensional position measurement is needed in various industrial applications where there is a motion in two dimensions. Different optical sensors are used for accurate two-dimensional position measurement [1]. Also, in practice, there are different coding schemes and scanning techniques of applied two-dimensional arrays. Pseudorandom binary sequences (PRBS) can be generated using Fibonacci or Galois generator, where each of them contains n-stage shift register with a corresponding feedback. Feedbacks for particular pseudorandom sequence of maximum length $N = 2^n - 1$ can be found in table of primitive polynomial [2, 3]. Generated pseudorandom binary sequences are series of 1's and 0's which have the following properties: 1) the signal is bipolar, series of 1's and 0's; 2) sequence is deterministic and repeatable; 3) the number of "1" in sequence is equal to 2^{n-1} and the number of "0" is equal to $2^{n-1} - 1$; 4) according to the "window property" of PRBS of length $N = 2^n - 1$, any n-bit code word obtained by a window of width n is unique, [4].

A pseudorandom binary array (PRBA) can be constructed from PRBS of maximum length using different methods [2, 5]. The dimensions of the pseudorandom binary array depend on the length of the pseudorandom binary sequence used. For each pseudorandom binary array a specific window is defined and it is unique in its position in the array. Applications of pseudorandom binary arrays are numerous and one for two-dimensional position sensing is presented in the papers [5, 6]. Another interesting example where robotic tactile sensing system is used for recognition of three-dimensional objects [7]. Here, geometric symbols of a pseudorandom array are embossed on object surfaces. In the paper [8] is presented an algorithm which provides analysis of PRBA-based images for surface characterization. The applications of pseudorandom sequences and arrays can be found in many other fields, including angular and linear position determination [9], communications [10], navigation, radar technology, remote control, measurements and industrial automation.

Virtual instrumentation is used as a concept in many industrial applications, so in this paper it has been applied for pseudorandom binary array formation and two-dimensional positioning. As is commonly known, the virtual instrument is a computer based instrument with a dominant software component that gives it the flexibility, modularity and hierarchical features. The major advantages of virtual instruments compared to traditional are their flexibility, price and maintenance, [11].

In the first part of the paper, different methods of constructing a pseudorandom binary array are presented and several examples of arrays are constructed using the folding method. Then in order to automate, a virtual instrument was used to generate PRBS of maximum length and construct a corresponding array from it, and then to determine a two-dimensional position based on the read data.

FOLDING METHOD FOR CONSTRUCTION PSEUDORANDOM BINARY ARRAY

Pseudorandom coding has been a very efficient technique for absolute position recovery applications [4, 5]. To obtain correct position information for two-dimensional position sensing, a pseudorandom binary array is using. Pseudorandom arrays can be constructed by diagonal folding of pseudorandom binary sequences [7], where pseudorandom sequence is mapped into an array of n_1 rows and n_2 columns, Figure 1.

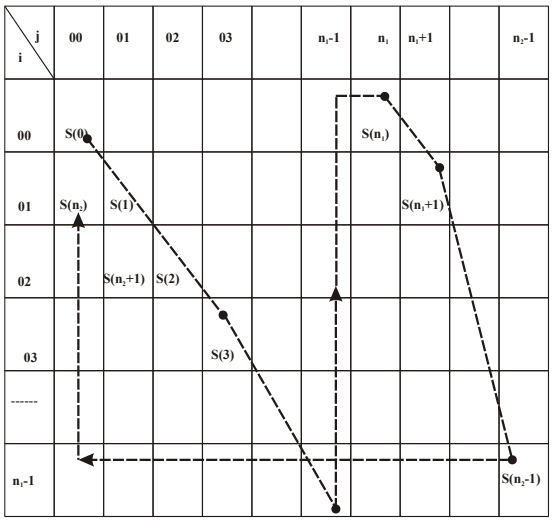


Fig. 1. *The folding method for generated pseudorandom binary array*

According to "folding method" [7], pseudorandom binary array is filled by writing pseudorandom sequences down the main diagonal and continuing from opposite side whenever an edge is reached. Pseudorandom binary array has many properties. The number of "1" in array is equal to 2^{n-1} and the number of "0" is equal to $2^{n-1}-1$, same as PRBS. Generated pseudorandom binary array have feature that columns are symmetric about column of zeros. The other property is that, apart from one column which is all zeros, the columns of the array are all shifted copies of a pseudorandom sequence of length $n_1 = 2^{k_1} - 1$. Alike as pseudorandom binary sequences, pseudorandom binary array also has "window property" of PRBA which means that each possible pseudorandom binary subarray of a certain size except the all zero one occurs exactly once in the array. Using this properties of PRBA, any sensor array $(k_1 \times k_2)$ is unique and is seen only once. These window contents are identified to the current row-column coordinates (i, j) in the pseudorandom binary array, [7]. The dimensions $n_1 \times n_2$ of the resulting PRBA are:

$$n_1 = 2^{k_1} - 1,\ n_2 = \frac{2^n - 1}{n_1} \qquad (1)$$

where $k_1 k_2 = n$.

Depending on different n, some available pseudorandom binary arrays are given in the Table 1.

Table 1. *Examples for constructing a pseudorandom binary array for different N*

n	Length $N = 2^n - 1$	Pseudondom binary array $(n_1 \times n_2)$	Sensor array $(k_1 \times k_2)$
4	15	(3×5)	(2×2)
6	63	(7×9)	(3×2)
8	255	(3×85) (15×17)	(2×4) (4×2)
9	511	(7×73)	(3×3)
10	1023	(3×341) (31×33)	(2×5) (5×2)
....	.....	.....	.....

Start point is to select a suitable sized pseudorandom array for desire resolution n. For the example presented here, with a shift register feedback configuration according to primitive polynomial $h(x) = x^8 + x^6 + x^5 + x + 1$, pseudorandom sequence for $n = 8$ is generated, Figure 2.

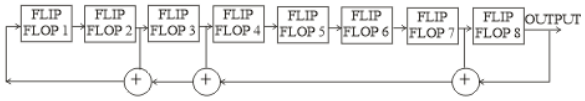


Fig. 2 *Generating pseudorandom sequence with shift register*

Using generated PRBS and folding method, pseudorandom binary array can be constructed. Figure 3 shows some examples of PRBA and in practice to achieve floor pattern for 2D positioning of some mobile robot, binary 1 and binary 0 are replaced by a mosaic of white and black rectangular covering areas.

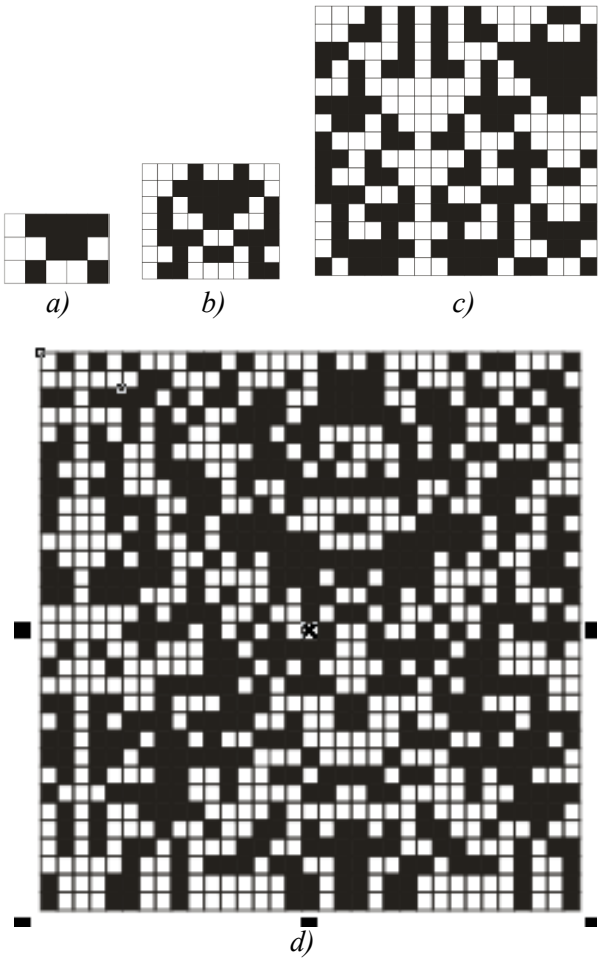


Fig. 3 *Examples of pseudorandom binary array a) 3 by 5; b) 7 by 9; c) 15 by 17 and d) 31 by 33*

ARRAY CONSTRUCTION AND TWO-DIMENSIONAL POSITIONING USING VIRTUAL INSTRUMENTATION

Firstly, a virtual instrument was realized that generates maximum length PRBS sequence of 8-bit resolution, with feedback as in Fig. 2, and then this sequence is used for construction of adequate PRBA according to the folding method presented in Fig. 1. According to this method the array is filled by writing the sequence down the main diagonal and continuing from the opposite side whenever and edge is reached, Figure 3. The generated PRBS made of 255 bits filled the PRBA of dimensions 15-by-17.

Formed PRBA can be used for two-dimensional positioning using adequate 'window' which is unique for every of 255 positions. The window is dimensions 4-by-2 in presented example and it is unique if all bits are accurately recognized. The recovery process may be impossible if any bit in the window is incorrectly read. One more disadvantage may be non-square window 4-by-2 dimensions.

The front panel of the realized virtual instrument using a LabVIEW 8.0 software environment, [11] is shown in Figure 4. On the front panel of the virtual instrument, the resolution of the PRBS, the pseudorandom window size can be changed, and the filled PRBA is presented. The pseudorandom to natural code conversion of read window is implemented using memory store table. In the front panel of the virtual instrument can be defined resolution of PRBS, dimensions of 'window', and also can be viewed dimensions of array, content of the array, content of the read 'window' and obtained two-dimensional position.

The read 'window' for position A1 is marked with a red rectangle in the PRBA. Each 4-by-2 'window' placed over a PRBA is unique. The 'window' can not be filled with all the zeros and allows recovery of the row and column coordinates. Two-dimensional position is obtained using look-up table and one disadvantage may be that with larger PRBA a larger look-up table will be needed. Symbols representing PRBA code elements can be coded on different ways depend on concrete application and applied code reading method, for example, tactile, visual, magnetic, etc. Constructed PRBA can be used, for example, in the mobile robot positioning using computer vision techniques. The PRBA can be printed on the factory floor and viewed through a camera mounted on a mobile robot. Accuracy depends on the resolution of captured image and retrieving symbols from it.

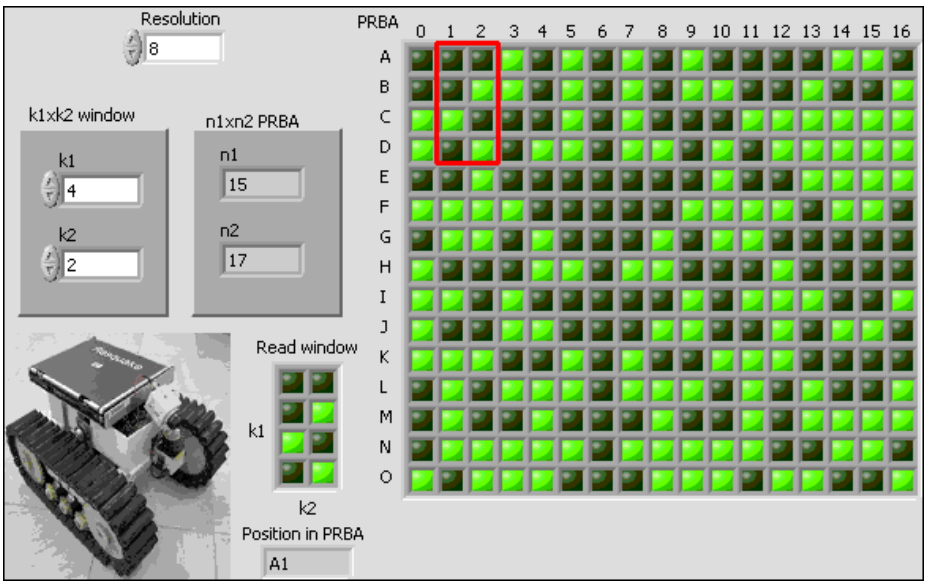


Fig. 4 *Virtual instrument for PRBA construction and two-dimensional positioning*

CONCLUSION

The paper discusses the application of PRBS for PRBA construction and their use in two-dimensional positioning, where some advantages and disadvantages are highlighted. The virtual instrument is realized for PRBS generation and construction of adequate PRBA and also for positioning based on 'window' An example is shown with a 8-bit PRBA that is read with 4-by-2 'window' and where there is 255 unique positions.

ACKNOWLEDGEMENTS

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] T.W. Ng, The optical mouse as a two-dimensional displacement sensor, Sensors and Actuators A, vol. 107, pp. 21-25, 2003.

[2] F.J. Macwiliams and N.J.A Slone, Pseudorandom sequences and arrays, Proc. IEEE, vol. 64, pp. 1715-1729, 1976.

[3] G. Miljkovic, I. Stojkovic, and D. Denic, Generation and application of pseudorandom binary sequences using virtual instrumentation, Facta Universitatis Series: Automatic Control and Robotics, vol. 10, no 1, pp. 51 – 58, 2011.

[4] E.M. Petriu, Absolute position measurement using pseudorandom binary encoding, IEEE Instrum. and Meas. Magazine, vol. 1, no. 3, pp. 19–23, 1998.

[5] E.M. Petriu, W.S. McMath, S.K. Yeung, N. Trif, T. Bieseman, Two-dimensional position recovery for a free-ranging automated guided vehicle, IEEE Trans. Instrum. and Meas., vol. 42, no. 3, pp. 701–706, 1993.

[6] J. J. Blakley, Two-dimensional position sensing using absolute-type encoder scheme employing pseudorandom binary arrays, Electronics Letters, vol. 36, no. 15, pp. 1277-1278, 2000.

[7] E.M. Petriu, S.K.S. Yeung, S.R. Das, A.M. Cretu and H.J.W. Spoelder, Robotic tactile recognition of pseudorandom encoded objects, Proc. IEEE Transaction on instrumentation and measurment, vol. 53, no. 5. pp. 1425-1432, 2004.

[8] H.J.W. Spoelder, F.M. Vos, E.M. Petriu and F.C.A. Groen, Some aspects of pseudorandom binary array-based surface characterization, Proc. IEEE Transaction on instrumentation and measurement, vol. 49, no. 6, pp. 1331-1336, 2000.

[9] D. Denić, M. Arsić, I. Ranđelović, G. Miljković, Pseudorandom encoder's development using virtual instrumentation, Proceedings of the XLI International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST), pp. 328-331, 2006.

[10] Soo Yun Hwang et al., Efficient Implementation of a Pseudorandom Sequence Generator for High-Speed Data Communications, ETRI Journal, vol. 32, no. 2, pp. 222-229, 2010.

[11] V. Smiesko, K. Kovac, Virtual instrumentation and distributed measurement systems, Journal of Electrical Engineering, vol. 55, no. 1-2, pp. 50 – 56, 2004.