

СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЛАБОРАТОРНО ПОСТОЯННОТОКОВО ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ С ИМПУЛСНО РЕГУЛИРАНЕ

Васил Димитров¹, Петко Костадинов¹, Мартин Златков¹
¹ВТУ "Тодор Каблешков" - София

CONTROL SYSTEM FOR LABORATORY DC ELECTRICAL DRIVE WITH PULSE-WIDTH REGULATION

Vasil Dimitrov¹, Petko Kostadinov¹, Martin Zlatkov¹
¹Todor Kableshkov University of Transport - Sofia

Abstract

The paper presents a developed system for control on a laboratory DC drive with pulse-width modulation. Such drives are widely used for control on low power industrial and transport machinery and devices. This control system is based on ATmega328 microcontroller, speed feedback and a possibility of changing the PWM frequency are provided. The load of the motor is accomplished by a synchronous generator, rectifier and a resistor. Pulse-width modulation of the load current is provided by second ATmega328 microcontroller. The laboratory stand offers many opportunities for various research and experiments to determine the drive efficiency, depending on the realized scheme and setup parameters. A methodology to capture characteristics that can be applied in testing and research in different aspects is developed.

Keywords: DC electrical drive, pulse-width modulation (PWM), microcontroller.

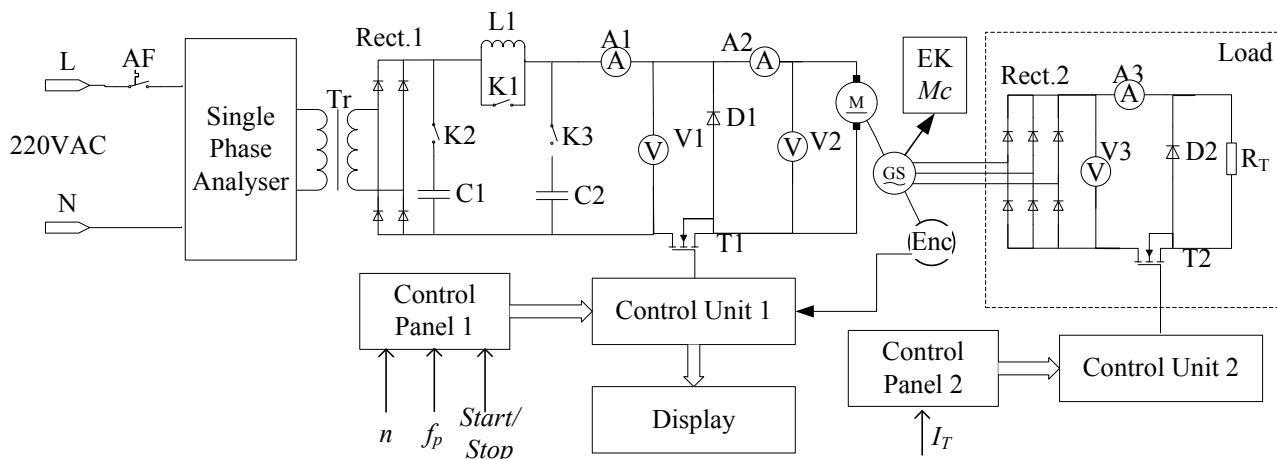
ВЪВЕДЕНИЕ

В съответствие с бързото технологично развитие на промишлената електроника и транспортната техника все повече се налага непрекъснато повишаване нивото и подготовката на специалистите, занимаващи се с проектиране, изработване и настройка на системи за управление на електрозадвижвания. Разработването на енергоефективни системи за управление на електродвигатели е приоритет на много водещи фирми в областта на промишлеността и транспорта [1-4]. Внедряват се нови технологии и продукти в електрообзавеждането и автоматизацията [5], което поставя по-високи изисквания по отношение на качеството на обучение на студентите, подготвяни за работа в тези сфери. В настоящия доклад е разработена системата за управление на лабораторен стенд на постояннотоково задвижване с импулсно регулиране – модел на едно от съвременните електрозадвижвания за по-

стоянен ток. Предвидено е инсталиране към стенда на модули за управление и изпитване на електродвигателя и разработване на методики за провеждане на изпитания и снемане на характеристики.

ЛАБОРАТОРЕН СТЕНД

Основният елемент от лабораторния стенд е двигател за постоянен ток (тип ЗР112.06, $U_N = 55V$, $P_N = 0.4 kW$). Възбуждането е с постоянни магнити (оксидирани, с голяма коерцитивна сила, осигуряваща надеждна работа при претоварване по ток). Схемата на стенда е показана на фиг. 1. Захранването е реализирано с трансформатор Tr и токо-изправител по схема Греп (rectifier $Rect.1$). Създадена е възможност за изглаждане на пулсациите посредством различни филтри: индуктивен, капацитивен, „Г”-образен или „П”-образен (чрез ключовете $K1$, $K2$ и $K3$).



Фиг. 1. Лабораторен стенд

Импулсният регулатор е реализиран с мощен транзистор T1 (MOSFET IRF640) и диод за обратен ток D1 (STTH3006DPI Hyperfast boost diode). Блокът за управление (Control Unit 1 – CUI) е изграден на базата на микроконтролер ATmega328, като са предвидени потенциометър за задаване на скорост на въртене n , бутони “Start”/”Stop” и бутони „+/-“ за промяна честотата f_p на широчинно импулсната модулация (ШИМ), монтирани на управляващ панел (Control Panel 1). Визуализацията на зададената и действителната скорост на въртене и на коефициента и честотата на ШИМ се осигурява на Display. Предвидена е обратна връзка по скорост (енкодер Enc) и измервателна апаратура – мрежов анализатор и цифрови волтметри и амперметри. Натоварването на двигателя се реализира със синхронен трифазен генератор GS, изправителен блок по схема Ларионов (rectifier Rect.2), резистор R_T и постоянно-токов импулсен регулатор – транзистор T2 (MOSFET SPW47N60C3), диод D2 (MBR20100CT) и CU2. Осигурена е възможност за измерване на спиращия въртящ момент M_c (чрез задържащата сила, измерена в kg и визуализирана на дисплея на електронен кантар EK), за задаване на натоварването чрез изменение на тока I_T през R_T и за визуализация на параметрите.

СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ДВИГАТЕЛЯ

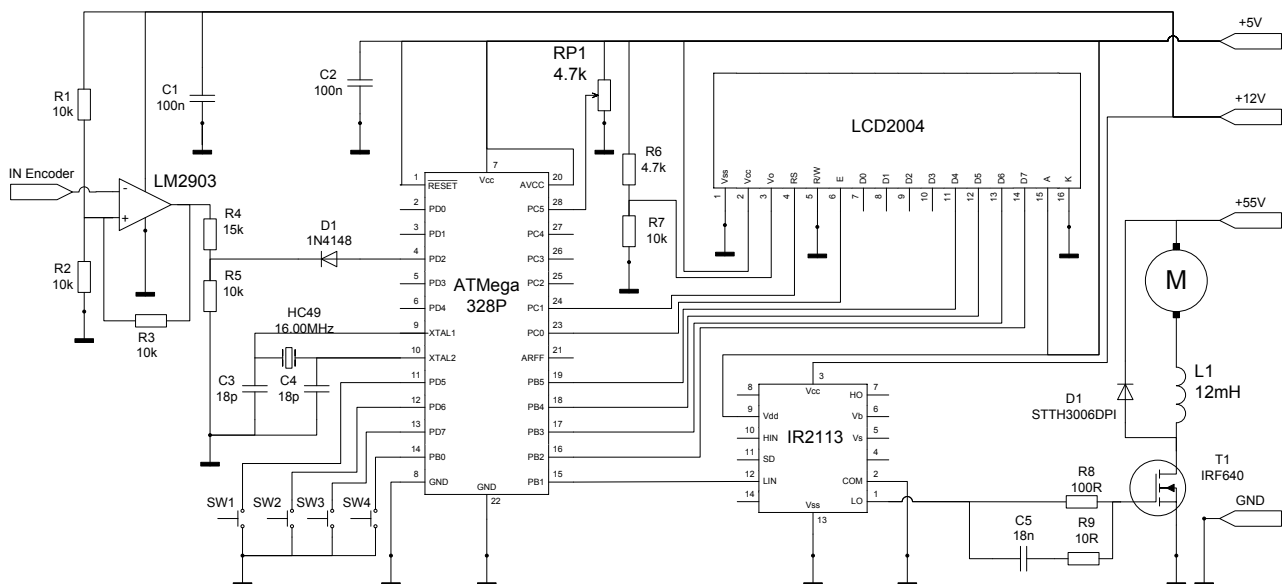
Системата за управление е базирана на микроконтролера ATmega328 [6], произ-

водство на фирмата Microchip, с производителност от 4Mps (4 милиона инструкции в секунда) при тактова честота от 16MHz, което е напълно достатъчно в конкретния случай.

Системата за управление може условно да бъде разделена на няколко функционални блока (фиг. 2):

- Формировател на входни импулси, изпълнен с компаратора LM2903 [7]. Сигналят от енкодера е необходимо да постъпи в микроконтролера, но в него присъстват паразитни сигнали, индуцирани от съседни проводници, а също така основният (полезният) сигнал е с намалена стръмност поради съществуващите паразитни капацитети. Тези недостатъци на постъпващия сигнал могат да доведат до нежелано програмно прекъсване и в резултат на това да бъде изчислена некоректна стойност на ъгловата скорост, което би довело до генериране на некоректни управляващи сигнали. Поради изброените причини сигналят от енкодера постъпва на инвертиращия вход на компаратора, а чрез резистора R3 е осъществена положителна обратна връзка, гарантираща максимална стръмност на изходния сигнал. Наличието на делител на напрежение във веригата на положителната обратна връзка, изграден от резисторите R1, R2 и R3, води до повишен хистерезис на компаратора и в резултат на това полезният сигнал се филтрира от съпътстващите го шумове.

- Блок за обработка на сигналите, в който основният елемент е микроконтролер ATmega328 за извършване на изчисления. На втория бит от порт “D” (PD2)



Фиг. 2. Система за управление на задвижването

постъпват формираните сигнали от компаратора, като при първоначалната конфигурация на микроконтролера е зададено да предизвика програмно прекъсване при преход на входния сигнал от състояние “true” във “false”, т.е. при преход на сигнала от високо към ниско ниво. При настъпило прекъсване се активира функция, обработваща прекъсването - нейната задача е да прочете показанието на вътрешния часовник на микроконтролера и да изчисли изминалото време между текущото прекъсване и прекъсване, настъпило на по-преден етап от време. След като бъде изчислено времето между две прекъсвания, се връща управлението на основната функция, където се извършва изчисляването на моментната скорост, а от последните 16 стойности се изчислява средно-аритметичната стойност на скоростта на въртене. На базата на моментната скорост и заданието се изчисляват разсъгласуването и съответно пропорционалната и интегралната константа, а също така, като се отчете разликата спрямо запазени минали стойности на моментната скорост, се изчисляват скоростта на нейното изменение и диференциалната константа.

По време на всеки програмен цикъл се измерва в относителни единици напрежението на плъзгача на потенциометъра RP1 чрез прочитане на аналоговия вход PC5. След подходящо скалиране и изчисляване на средно аритметично от последните 16 стойности резултатът се запамятва като

актуална стойност на заданието за скорост на въртене.

Следващата задача на програмата в микроконтролера е сканирането на цифровите входове PD5, PD6, PD7 и PB0, свързани съответно към бутоните SW1, SW2, SW3 и SW4, като в нормално състояние те поддържат високо ниво поради това, че при първоначалното стартиране на програмата се включват вътрешните 20 k Ω издърпвачи “pull up” резистори. При натискане на бутон съответният вход се задържа на ниско ниво, но с цел избягване на нежелани сработвания от електромагнитни смущения бутонът се смята за натиснат след като при сто последователни проверки програмата е прочела ниско ниво на съответния вход.

Натискането на бутона SW1 има действието на “start”, като води до промяна на вътрешен бит към състояние “true” и дава разрешение за изчисляване на необходимия коефициент на запълване и зареждането му в регистъра за хардуерен ШИМ, водещо до появата на широчинно-импулсен сигнал на изхода PB1.

Натискането на бутона SW2 има действието на “stop”, като води до „преобръщане” на вътрешния бит в състояние “false” и съответно установява ниско ниво на изхода PB1.

Натискането на бутоните SW3 и SW4, имащи действието на “-” и “+”, зареждат различни стойности на деление в делителя във веригата на таймер1, водещо до промяна

на на честотата на ШИМ със следните възможни стойности: 122,07Hz, 244,14Hz, 488,28Hz, 976,56Hz, 1953,13Hz, 3906,25Hz, 7812,5Hz, 15625Hz, 31 250Hz, 62500Hz.

На всеки 0,5 s, чрез изходите PB2, PB3, PB4, PB5, PC0 и PC1 микроконтролерът подава информация към дисплея за стойността на заданието, усреднената скорост на въртене, честотата и коефициента на запълване на ШИМ.

- Усилвател по мощност, реализиран с интегралната схема IR2113 [8], извършва усилване по ток и напрежение на широчинно-импулсния сигнал, генериран от контролера, като същевременно разделя галванично изхода на микроконтролера от гейта на управляващия транзистор.

- Мощен управляващ ключ, изпълнен с транзистор T1, диод за обратен ток D1 и индуктивност L1, намаляваща пулсациите на тока в товара и транзистора.

- Блок за визуализация, изпълнен с LCD2004 [9] с 4 реда и 20 символа на ред, даващ информация за стойността на заданието, скоростта на въртене, честотата и коефициента на запълване на ШИМ.

Системата за управление на тока I_T през товара е идентична, но в нея отсъстват формирателя на импулси, LCD дисплея и бутоните SW1-SW4, а на мястото на електродвигателя е свързан товарният резистор R_T и прочетената стойност от потенциометър RP2 (включен на мястото на RP1) след деление на четири се зарежда в регистъра за хардуерен ШИМ.

МЕТОДИКИ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ИЗСЛЕДВАНИЯ

Изграждането на лабораторната система създава възможности за провеждане на изпитания в различни аспекти при спазване на условията за безопасна работа:

- изследване работните характеристики на постояннотоков електродвигател с импулсен регулатор,

- снемане на товарните характеристики на синхронен генератор,

- изследване ефективността на работа на токоизправителите и регулаторите при различни начини и степен на изглаждане на пулсациите на изправеното напрежение,

- изследване ефективността на работа на регулатора и двигателя при промяна на честотата на ШИМ,

- оптимизация на ефективността на задвижването при различни режими на работа.

Разработена е методика за снемане на механични и електромеханични характеристики:

$$\omega = f(M), \omega = f(I) \quad (1)$$

При използването на подходящ мрежов анализатор (в случая NETVISION 2010) [10] може да се определи и изменението на енергийните показатели на задвижването (фактор на мощността $\cos\phi$, КПД η , коефициенти на изкривяване на формата на тока THD_I и напрежението THD_U) при промяна на натоварването:

$$\cos\phi = f(M), \eta = f(M), \quad (2)$$

$$THD_I = f(M), THD_U = f(M). \quad (3)$$

Редът за провеждане на изпитанията е следният:

- 1) Реализира се схемата (фиг.1) при избран вариант на филтъра. Осигурява се минимално натоварване (I_{Tmin}).

- 2) Задават се стойности на честотата на ШИМ и на скоростта (чрез бутоните SW3 и SW4 и потенциометъра RP1).

- 3) Затваря се автоматичният прекъсвач AF.

- 4) Двигателят се включва посредством натискане на бутон "Start" (SW1) от управляващия панел. Следят се показанията на мрежовия анализатор ($P, Q, U, I, \cos\phi, THD_I$ и THD_U) и на цифровите волтметри и амперметри, както и визуализираните величини на дисплея и на ЕК. Изчисляват се ъгловата скорост, въртящият момент и мощността на вала:

$$\omega = \pi \cdot n / 30; \quad (4)$$

$$P = M / \omega \quad (5)$$

- 5) Двигателят се натоварва чрез увеличаване на тока I_T през R_T (чрез потенциометъра RP1). По този начин се извършват няколко измервания при различен товар.

- 6) Двигателят се изключва посредством натискане на бутон "Stop" (SW2).

Аналогично се провеждат изследвания при други зададени скорости.

По този начин се получават фамилия механични и електромеханични характеристики, както и зависимости на енергийните показатели от натоварването при различни скорости.

Аналогично могат да се проведат изследвания при различни стойности на честотата на ШИМ или при други варианти на филтъра.

Следователно може да се изследва ефективността на задвижването при различни начини и степен на изглаждане на пулсациите на изправеното напрежение и при вариране на честотата на ШИМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада е разработена система за управление на постоянно-токово задвижване с импулсно регулиране на напрежението, подавано към двигателя. Такива задвижвания намират голямо приложение за работни механизми с малка мощност в промишлеността и транспорта. Избрани са елементите от системата, базирана на микроконтролер АТМega328, като е осигурена обратна връзка по скорост и възможност за промяна на честотата на ШИМ. Лабораторният стенд предлага възможности за провеждане на различни научни изследвания и експерименти за определяне на ефективността на задвижването в зависимост от реализирана-

та схема и параметрите за настройка. Разработена е методика за снемане на характеристики, която може да бъде приложена при провеждане на изпитания в различни аспекти.

REFERENCE

- [1] A. Hughes, Electric Motors and Drives – Fundamentals, Types and Applications. Third edition, Elsevier Ltd, 2006
- [2] U. Bakshi, M. Bakshi, Electrical Drives and Control, Technical Publications Pune, India, 2009
- [3] I. Boldea, A. Nasar, Electrical Drives, CRC/Taylor & Francis Group, NY, 2006
- [4] E. Dimitrova, Building automation and control systems, Acad. Journal “Mechanics, Transport, Communications”, art.ID: 1395, Issue 3/2, 2016
- [5] The essential guide of Automation & Control, Schneider Electric, 2012
- [6] ATmega328/P – Datasheet Complete, Atmel Corporation, Technology Drive, USA, 2016
- [7] LM393, LM293, LM193, LM2903 Dual Differential Comparators, Texas Instruments, Dallas, USA, 2017
- [8] IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF - Data Sheet No. PD60147 rev.U, International rectifier, Infineon, 2005
- [9] 2004A LCD Module Specification, ORISE Technology Co., Ltd., 2007
- [10] Net Vision 2010 Three-phase network analyzer, <http://bg.emsyst.com/netvision.php>