

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА СЕРВОКОНТРОЛЕР ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ПОСТОЯННОТОКОВ  
СЕРВОДВИГАТЕЛ****RESEARCH OF SERVOCONTROLLER FOR DC MOTOR CONTROL**

**Продан Проданов\***  
ТУ-Габрово

Статията е постъпила на 07.10.2013 г.; приета за отпечатване на 14.10.2013 г.

**Abstract**

*Servomotor drives are one of the most used to control of different production processes. They are used where it is necessary precision speed control, torque and position. In these drives is used a servo controller with a proper feedback to precisely control specifications. In this paper has been investigated servo controller that provides three modes - mode with adjustable voltage, mode with a constant torque and mode with constant speed.*

**Keywords:** servo controller, PID tuning, DC servomotor, computer numerical control.

**ВЪВЕДЕНИЕ**

Сервозадвижването е система изградена от двигателно, преобразователно, предавателно и управляващо устройство, която е предназначена за привеждане в движение на изпълнителни органи на работна машина и за управление на това движение. При сервомеханизмите заданието (координати, скорост и др.) се подава на входа на сервосистемата, като се определя текущата величина, сравнява се със зададената и се изработва управляващо въздействие, намаляващо тяхната разлика [1].

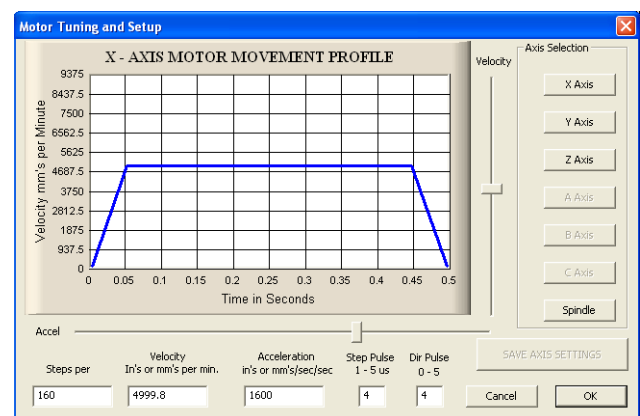
Основните изисквания към съвременните модели сервозадвижващи системи се систематизират най-общо като: точност на позиционирането; широк обхват на регулиране на скоростта; стабилност на въртящия момент; възможност за форсиране или устойчива работа в режим на претоварване; моделиране на оптимална динамична характеристика. Тези изисквания са основното предизвикателство пред разработването на адаптивни системи за управление, обхващащи всички изброени параметри [2, 3].

Като цел на настоящата разработка е да се симулира, реализира и изследва сервоконтролер за маломощен постоянен ток двигател.

**ИЗЛОЖЕНИЕ**

Серводвигателите са електрически двигатели, конструирани така, че приоритет да имат динамичните свойства, т.е. бързо ускорение и бързо намаляване на скоростта. Основните изисквания към изпълнителните двигатели са: възможност за устойчива работа в целия работен диапазон; голямо бързодействие (малки електромагнитни и електромеханични времеконстанти); голям пусков момент.

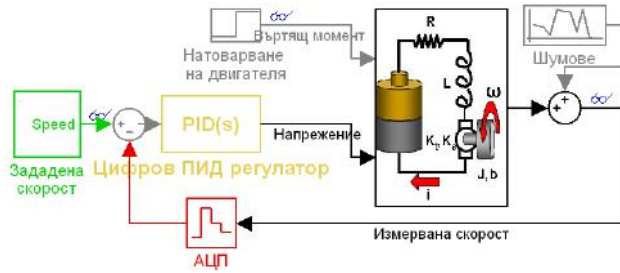
В настоящата статия се представя симулация на ПИД-регулатор работещ в постоянен ток двигател заедно с експериментални изследвания на реализираната система сервоконтролер-серводвигател. За да се симулира работата на ПИД регулатора и на двигателя трябва да се определят времето за реакция на системата и достигането на зададената скорост. Това е прието да се нарича профил на скоростта и ускорението и се настройва във всяка една машина с цифрово-програмно управление. За настоящата статия зададените параметри които трябва да осигури конкретната система са следните: използване на изследваната система в машина с ЦПУ, където се изисква линейна скорост на движение 5000mm/min при профил на ускорението от 1600mm/sec/sec. При тези стойности за профила на скоростта се получава време за установяване на скоростта 50ms – фиг. 1.



Фиг. 1. Параметри за скорост и ускорение на двигателя

\* Тел.: (066 827 462) ; e-mail: piprom@abv.bg

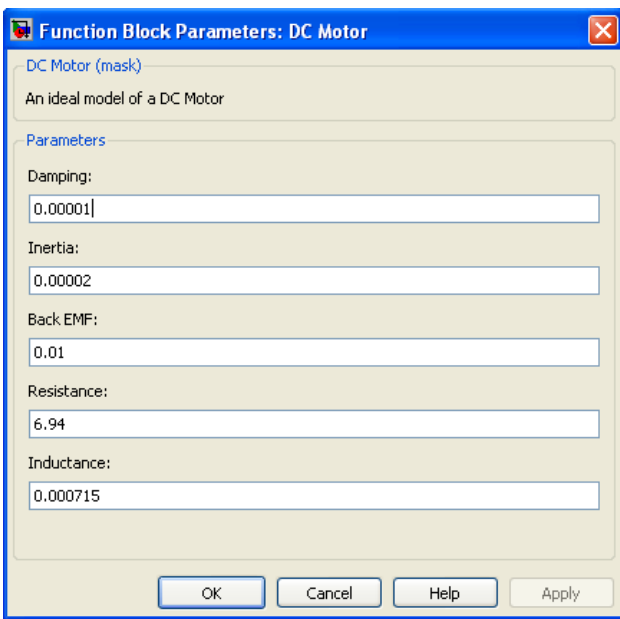
На фиг. 2. е дадена блоковата схема за извършване на симулациите. Симулациите са направени в софтуерен продукт MATLAB, като е използван и модифициран модел на постояннотоков двигател и ПИД регулатор представен в [4].



Фиг. 2. Симуляционен модел на постояннотоков двигател с ПИД регулатор

Симуляционния модел има следните блокове: блок SPEED – блок за задаване на скоростта на въртене на двигателя; блок PID – блок чрез който се симулира цифров ПИД регулатор; блок ЦП – този блок симулира работата на енкодер, който да определи текущата позиция на вала на двигателя; блок Двигател – този блок симулира постояннотоков двигател, за който се разработва сервоконтролера.

На фиг. 3. са дадени параметрите на използвания двигател.



Фиг. 3. Въвеждане параметрите на използвания двигател

Необходимите параметри които трябва да се въведат са следните:

- инерционен момент J;
- коефициент на затихване - Damping;
- индуцирано обратно напрежение на намотката;
- съпротивление на намотката R;
- индуктивност на намотката L;

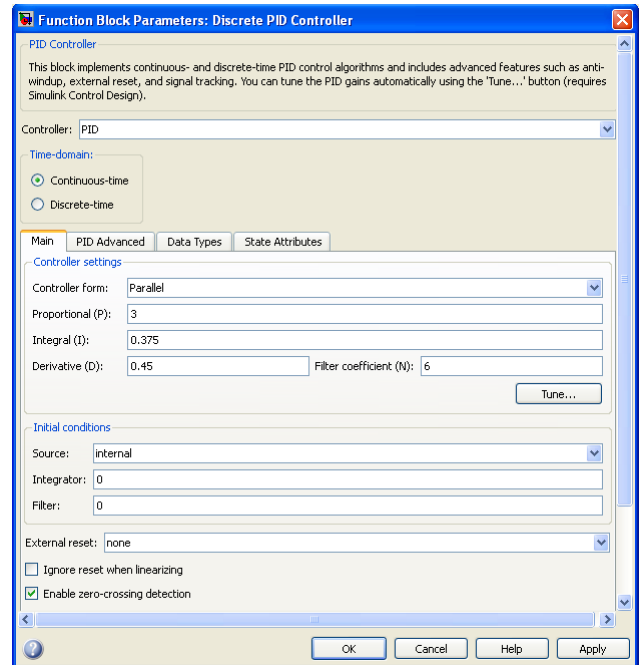
За конкретния използван двигател са въведени тези стойности, като те могат да се отчетат от фиг. 3.

На фиг. 4 са дадени параметрите на ПИД регулатора. Тези параметри са оптимизирани с цел получаване на по-голямо бързодействие на двигателя и намаляване на грешката в желаната скорост която двигателя и съответно регулатора могат да осигурят.

На база симулации и въведен критерий по бързодействие са получени следните сройности на ПИД регулатора:

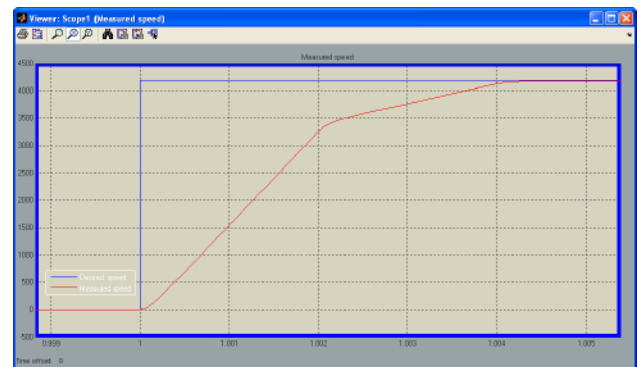
- коефициент на обратна връзка –  $K_F = 6$ ;
- пропорционална съставка –  $K_P = 3$ ;
- интегрална съставка –  $K_I = 0,375$ ;
- диференциална съставка –  $K_D = 0,45$ ;

Тези параметри са въведени като параметри на ПИД регулатора в съответни използван блок в симулационния модел – фиг. 4.



Фиг. 4. Параметри на ПИД-регулатора

Получени са следните симулационни резултати за времето за установяване на скоростта и за големината на тази скорост – фиг. 5.

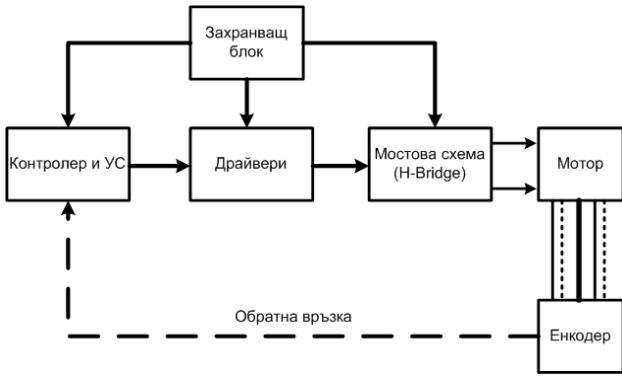


Фиг. 5. Симуляционни резултати за скоростта на реакция на ПИД регулатора и изследвания двигател

От фиг. 5 могат да се отчетат стойности на скоростта 4200об/мин, което при винтова предавка със стъпка 1,25mm прави линейна скорост от 5250mm/min за време 43ms. При симулационния модел са заложили номиналните параметри на двигателя, което означава че получените стойности се отнасят за номинално използване на конкретния двигател.

Реализирането на контролера се използва разработка която използва ПИ-регулатор, който за настоящата статия е модифициран в ПИД-регулатор [5]. Блоковата схема на апаратната част е показана на фиг. 6. Тази блок схема се състои от следните основни блокове:

захранващ блок – използва се за захранване на схемата и предоставя необходимите напрежения за отделните блокове; контролер и УС – този блок служи за връзка на схемата с външно устройство за въвеждане на параметри, зададени от оператора, които ще се обработват от контролера; драйвери – този блок съдържа драйверните схеми, които усилват обработените от контролера импулси до необходимата стойност, които служат за управление на транзисторите от мостовата схема; мостова схема – този блок съдържа силовата част на схемата, която се използва за определяне на посоката на въртене на сервомотора.



Фиг. 6. Блок-схема на реализирания сервоконтролер

На фиг. 7 и фиг. 8 са показани съответно блок-схема на реализираните регулатори в сервоконтролера и пълната принципна схема на сервоконтролера.

Процесора, който се използва е ATtiny 2313, като изпълнява необходимите функции при управлението, като прихващане на позиция, серво управление, управление на ШИМ изходите и командите за движение през Hyperterminal. Изграден е хост интерфейс, който може да се контролира от всеки хост контролер, свързан на този конектор, който може да бъде свързан директно към серийния порт на компютъра. Изграден е също импулсно управляван интерфейс, както повечето серво контролери, който е необходим за подаване на импулси за стъпка и посока (STEP/DIR) на серводвигателя. На блоковата схема от фиг. 7 са показани операциите, които изпълняват от сервоконтролера. Реализирана е множествена обратна връзка, която е най-често

използвана и е основна за сервоконтролерите. Сервоконтролера SMC се контролира от онлайн команди от хост контролер през серийния интерфейс. Форматът на серийната информация е N81, което ще рече, че се използват 8 информационни бита и един стопов бит, и скорост на предаване на данните е 38,4k bps. Той може да се свърже директно към серийния порт на компютъра.

Реализирани са следните команди за програмиране и настройка на сервоконтролера:

1. команда M <режим >

Тази команда се използва за промяна на режима на работа на сервоконтролера. В таблица 1 са дадени съответните режими, които могат да се избират с команда M.

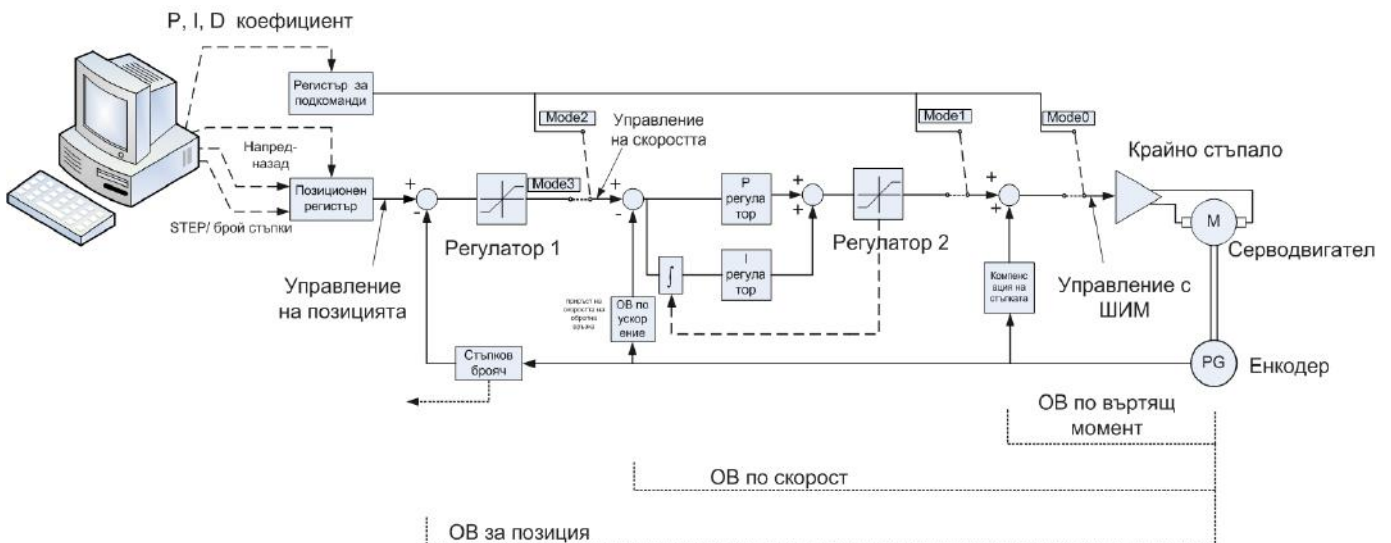
Таблица 1

Режим	Режим на серво операция
0	Режим контрол на напрежение
1	Режим контролиране на въртящия момент
2	Режим контролиране на скоростта
3	Режим на позициониране

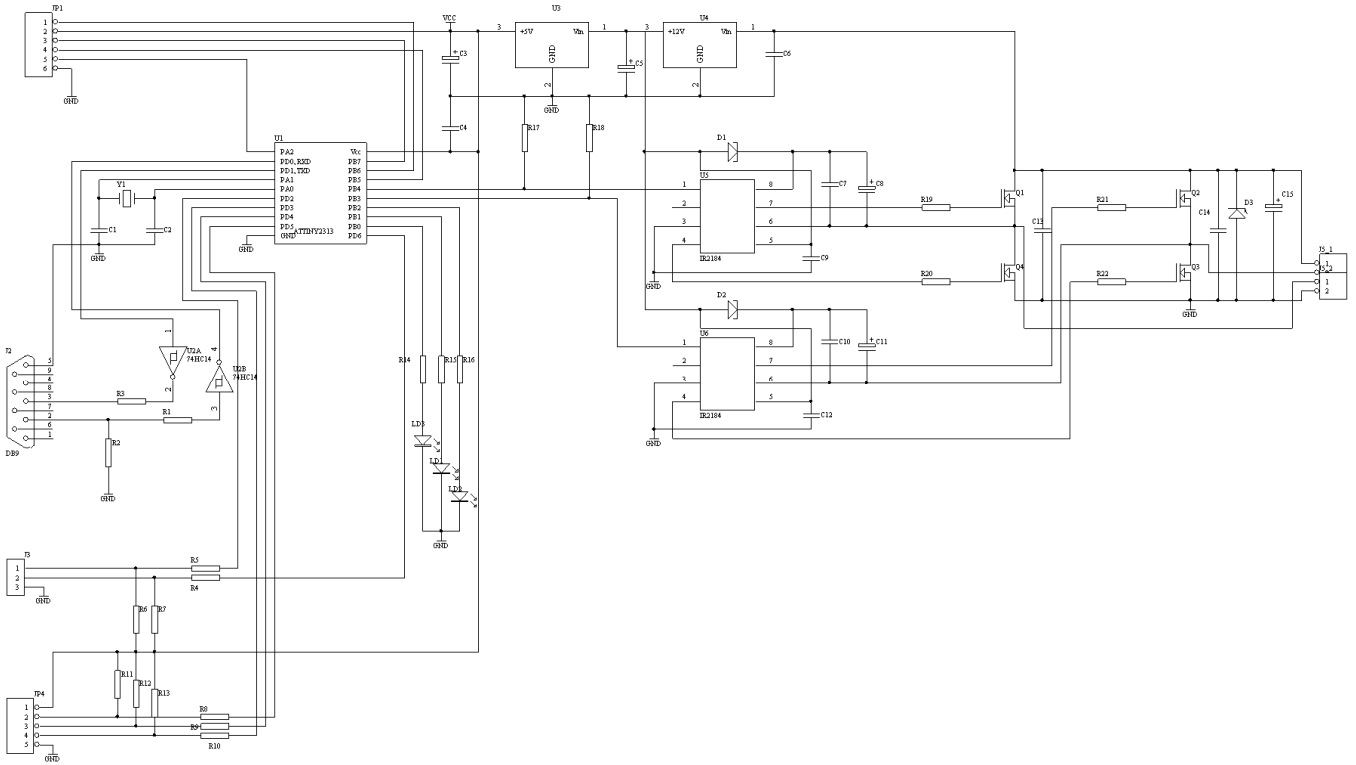
2. Команда S <стойност>

Тази команда задава стойности на подкомандния регистър. Това представлява е 16 битов регистър, който е разрешен за режими M0, M1, M2 с изключение на режим M3. В режим M0, стойността на S може да се изменя в диапазона от -255 до 255, като се контролира изходното напрежение между  $-U_s$  и  $+U_s$ . В режим M1, параметъра S също може да се изменя в диапазона от -255 до 255, като задава постоянен въртящ момент на двигателя. В режим M2 стойността на S се използва за задаване на скорост на въртене и за поддържане на постоянна стойност на тази зададена скорост. За режим M3, параметъра S не се използва.

3. Параметри за настройка на сервоконтролера – P <параметър#>. В това решение са използвани седем параметъра, които да реализират ПИД регулатор и зададат и реализират основните ограничения и защиты на контролера и двигателя, който се използва. Параметрите е предвидено да се съхраняват в енергонезависима памет с W/R команди.



Фиг. 7. Блок-схема на реализираните регулатори в сервоконтролера



Фиг. 8. Принципна електрическа схема на реализирания сервоконтролер

Тези параметри са следните:

-  $P_0$  – задаване на ограничение по скорост на въртене

Това е число без знак, което регулира скоростта на движение в режим на позициониране. За схемата стойността трябва да бъде по-малка от скоростта без товар или може да възникне серво грешка. Формулата по която се изчислява този параметър е:

$$P_0 = \frac{n_d \cdot P_1 \cdot ER}{15000} \quad (1)$$

където:  $n_d$  – зададена максимална скорост,  $P_1$  – коефициент на обратна връзка по скорост,  $ER$  – резолюция на използвания енкодер (например 500имп/об).

-  $P_1$  – коефициент на обратна връзка по скорост. Стойността на  $P_1$  се определя по:

$$P_1 = 256 \cdot K_F \quad (2)$$

където:  $K_F$  – числова стойност на коефициента на обратна връзка по скорост.

-  $P_2$  – коефициент на пропорционалната съставка на ПИД регулатора. Стойността на  $P_2$  се определя по:

$$P_2 = 256 \cdot K_P \quad (3)$$

където:  $K_P$  – числова стойност на коефициента на пропорционалната съставка на ПИД регулатора.

-  $P_3$  – коефициент на интегралната съставка на ПИД регулатора. Стойността на  $P_3$  се определя по:

$$P_3 = 256 \cdot K_I \quad (4)$$

където:  $K_I$  – числова стойност на коефициента на пропорционалната съставка на ПИД регулатора.

-  $P_4$  – задаване на ограничение на въртящия момент на двигателя - този параметър ограничава изходния въртящ момент, съответно изходен ток на двигателя. Това е шестнадесет битово число без знак. За схемата, когато въртящия момент е ограничен за известно време ще се появи серво грешка. Стойността на този параметър се изчислява по следната формула:

$$P_4 = \frac{I_{LIM}}{U_d \cdot R_{coil}} \quad (5)$$

където:  $I_{LIM}$  – зададеното ограничение на тока на двигателя,  $U_d$  – захранващо напрежение на двигателя,  $R_{COIL}$  – съпротивление на намотката на двигателя.

-  $P_5$  – коефициент на компенсация на обратното напрежение върху двигателя

В изградения сервоконтролер е предвидено безсензорно контролиране на въртящия момент на двигателя. За да се получи това, трябва да се въведе стойността на генерираното от двигателя обратно напрежение – back electromagnetic force (EMF). Стойността на този параметър се изчислява по формулата:

$$P_5 = \frac{K_G / ER}{3840 \cdot U_d} \quad (6)$$

където:  $K_G$  – стойност на генерираното обратно напрежение на двигателя (mV/rpm),  $ER$  – резолюция на енкодера,  $U_d$  – захранващо напрежение на двигателя.

-  $P_6$  – коефициент на делене на ъгъла на отклонение на двигателя

Това представлява параметър, чрез който се задават броя импулси необходими двигателя да направи един

оборот. Чрез този параметър се цели да се направи аналогия със стъпковите двигател, т. е. серводвигателя да може да замества стъпкови двигатели в машини с ЦПУ. Стойността на този параметър се изчислява по:

$$P_6 = \frac{256 \cdot (4 \cdot ER)}{SPM} \quad (7)$$

където: ER – резолюция на енкодера, SPM – брой стъпки за един милиметър, определени от използваната винтова предавка в машината.

- P<sub>7</sub> – коефициент на диференциална съставка на ПИД регулатора

Стойността на P<sub>7</sub> се определя по:

$$P_7 = 256 \cdot K_D \quad (8)$$

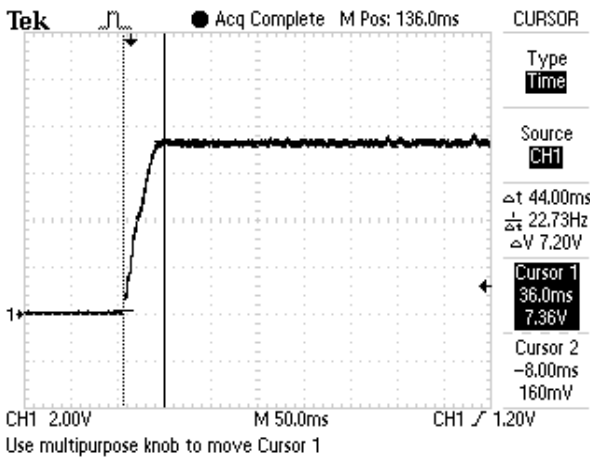
където: K<sub>D</sub> – числова стойност на коефициента на диференциална съставка на ПИД регулатора.

Последната команда която се използва е за съхраняване на въведените параметри в сервоконтролера. Тази команда се отбелязва по следния начин - W <банка#>. Тази команда съхранява текущата стойност на сервопараметрите в енергонезависима памет за данни.

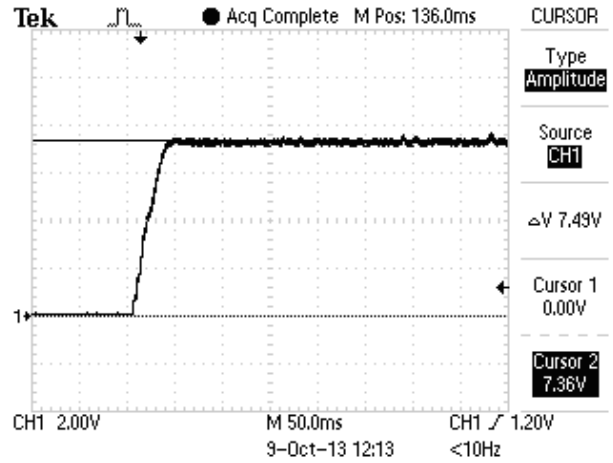
Направени са практически изследвания на реализирания сервоконтролер с въведени параметри, които са получени по симулационния модел. На фиг. 9 и фиг. 10 са представени осцилограми с преходния процес на нарастване на скоростта при стартиране на двигателя. В сервоконтролера са записани получените стойности на константите на ПИД-регулатора K<sub>P</sub>, K<sub>I</sub>, K<sub>D</sub>, както и коефициента на обратна връзка на регулатора – K<sub>F</sub>.

Направените практически изследвания са при следните стойности на ПИД регулатора:

- коефициент на обратна връзка K<sub>F</sub> = 6;
- пропорционална съставка K<sub>P</sub> = 3;
- интегрална съставка K<sub>I</sub> = 0,375;
- диференциална съставка K<sub>D</sub> = 0,45.



Фиг. 9. Експериментални резултати за скоростта на реакция на ПИД регулатора и изследвания двигател



Фиг. 10. Експериментални резултати за скоростта на реакция на ПИД регулатора и изследвания двигател

Заснетите осцилограми на фиг. 9 и фиг. 10 показват аналогово напрежение, получено от тахогенератор със следната константа на преобразуване – 1V = 560об/мин.

От осцилограмите е възможно да се определят времето за реакция на системата – 44ms, при получено чрез симулации време за реакция 43ms(фиг. 5). Получените обороти на въртене на двигателя са съответно 4195об/мин при практическите експерименти и 4200об/мин при симулационните изследвания(фиг. 5).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализиран и изследван е сервоконтролер за управление на постоянен ток серводвигател, който е възможно да се използва в машини с цифрово-програмно управление, както и в различни видове позиционни електродвигатели. Направено е симулационно изследване по зададен модел на ускорение и са получени стойности за параметрите на използвания ПИД-регулатор. Получени са експериментални резултати, които съответстват с получените резултати от симулационния модел, както като числови стойности, така и като модел на поведение на системата.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ненов Т. „Изпълнителни устройства в индустриалната автоматизация”, Габрово 2009, стр. 71 – 83.
- [2] Firoozian R, “Servo Motors and Industrial Control Theory”, Springer-Verlag 2009.
- [3] Younkin G. W., “Industrial Servo Control System”, Marcel Dekker 2003.
- [4] [http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/2627-5-pid-controller-design-for-a-dc-motor?s\\_iid=ovp\\_custom1\\_1363833138001-68881\\_rr](http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/2627-5-pid-controller-design-for-a-dc-motor?s_iid=ovp_custom1_1363833138001-68881_rr)
- [5] [http://elm-chan.org/works/smc/report\\_e.html](http://elm-chan.org/works/smc/report_e.html)