

МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛАЦИЯ НА МЕХАТРОНЕН МОДУЛ ЗА РЕГУЛИРАНЕ НА СКОРОСТТА НА ДВИГАТЕЛ ЗА ПОСТОЯНЕН ТОК

Галина Чернева¹, Антон Антонов²
cherneva@vtu.bg, ant-a-antonov@yandex.ru

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
1574 София, бул. „Гео Милев“ 158, БЪЛГАРИЯ
Руски университет по транспорт (МИИТ),
Москва, ул. «Образцова» 9, РУСИЯ*

Ключови думи: *постояннотоков двигател с независимо възбуждане, Matlab, Simulink, предавателна функция.*

Резюме: *Мехатронните модули във вид на информационно-сензорни, изпълнителни и управляващи устройства са неделима част от машините, уредите и системите във всички области на съвременното производство. Чрез тях се съчетават механични, електронни и компютърни структури и се създават машини от ново поколение.*

В настоящата работа е моделирана и симулирана в среда на Simulink/Matlab едноконтурна система за регулиране на скоростта на въртене на двигател за постоянен ток. За прототип в предложения модел е използван малоинерционен постояннотоков двигател с независимо възбуждане, който намира широко приложение в различни робототехнически комплекси, електрическите транспортни средства и др.

Управлението на двигателя се реализира чрез силов регулатор, изпълнен като реверсивен широчинно-импулсен преобразувател. За управление на преобразувателя е избран регулатор с пропорционално-интегрален закон за регулиране (ПИ регулатор).

По каталожните данни на двигателя са изчислени всички параметри на симулационните модули. Определени са и коефициентите на усилване на пропорционалната и интегралната части на ПИ регулатора.

Чрез симулация на модела са получени графики на изменението на тока и скоростта на двигателя при подаване на натоварване на вала му в различни моменти от времето. Предложеният симулационен модел на мехатронния модул за регулиране на скоростта на постояннотоковия двигател с независимо възбуждане може да се използва както за обучение по различни дисциплини в областта на електротехниката и електрониката, така и за изследователски цели.

1. ПОСТАНОВКА НА ПРОБЛЕМА

Компютърното моделиране и симулация на процесите в съвременните електрозадвижвания дава добра възможност за тяхното адекватно представяне, количествен и качествен анализ. Симулационният модел позволява изследване и на

различни енергийни показатели като фактор на мощността, коефициент на полезно действие и др. Разработените модели могат да се използват за обучение по различни дисциплини в областта на електротехниката и електрониката [1], както и за изследователски цели.

Двигателите за постоянен ток и възможностите за управление на техните режими намират широко приложение в различни индустриални приложения – при задвижвания за промишлени работи, задвижвания за металорежещи машини с цифрово-програмно управление, в електрическите транспортни средства. Сред най-използваните между тях са двигателите с независимо възбуждане. Регулирането на скоростта е един от най-често прилаганите подходи за управление на техните режими на работа [2].

Един от най-често прилаганите съвременни методи за управление на скоростта на двигателите за постоянен ток е широчинно импулсната модулация (ШИМ, Pulse Width Modulation PWM) [3,7,8]. Съвременното развитие на цифровата схемотехника, богатият избор от цифрови интегрални схеми, микроконтролери и силови електронни компоненти (MOS, IGBT транзистори и др.) прави лесна реализацията на този вид управление.

В настоящата работа е разработена и моделирана в среда на Simulink/Matlab система за регулиране на скоростта на въртене на двигател за постоянен ток с независимо възбуждане. Регулирането на режимите при него се осъществява основно в котвената верига. Затова при конструиране на конкретното управление са взети предвид редица параметри на двигателя по каталожни данни [4], като активно съпротивление и индуктивност на котвената намотка, инерция, въртящ момент и др. За регулиране на скоростта на двигателя е използван реверсивен широчинно-импулсен преобразувател. Чрез симулация на модела са получени и анализирани процесите в системата.

2. ИЗХОДНИ ДАННИ И ПАРАМЕТРИ НА ДВИГАТЕЛЯ

Изследваният двигател за постоянен ток с независимо възбуждане е със следните каталожни данни [4]: номинална мощност $P_n=0.45\text{kW}$; номинално напрежение на котвената намотка – $U_a=110\text{V}$; възбудително напрежение – $U_B=110\text{V}$; номинален котвен ток $I_a=5.6\text{A}$; активно съпротивление на възбудителната намотка – $R_B=400\Omega$; активно съпротивление на котвената намотка – $R_a=0.585\Omega$; номинални обороти – $n_n=3000\text{ob/min}$; Сумарен инерционен момент на двигателя – $J=0.36\text{kgm}^2$.

Съгласно теорията на електрическите машини [5], са определени:

- номинален въртящ момент на двигателя:

$$(1) \quad M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{30P_n}{\pi n_n}, \text{ Nm};$$

$$(2) \quad I_B = \frac{U_B}{R_B}, \text{ A};$$

- индуктивност на котвената намотка:

$$(3) \quad L_a \approx \frac{30U_a c}{\pi n_n I_a}, \text{ H},$$

където $c=0,3-0,4$ е емпиричен коефициент;

- електромагнитна времеконстанта:

$$(4) \quad T_a = \frac{L_a}{R_a}, \text{ s}.$$

Изчислени са и следните конструктивни коефициенти:

$$(5) \quad k_E = \frac{E_a}{\omega_n} = \frac{30(U_a - R_a I_a)}{\pi n_n}, \text{ Vs},$$

където E_a е електродвижещото напрежение, индуцирано в котвата;

$$(6) \quad k_M = \frac{M_n}{I_a}, \text{ NmA}^{-1}.$$

От теорията на електрозадвижванията [6], постояннотоковият двигател се описва с предавателна функция от вида:

$$(7) \quad W_D(p) = \frac{k}{(T_a p + 1)(T_M p + 1)},$$

където $k = \frac{1}{k_M}$ е предавателен коефициент на двигателя,

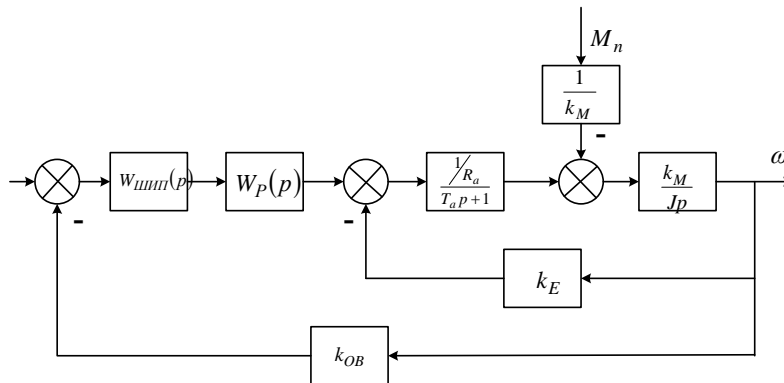
$$(8) \quad T_M = \frac{J R_a}{k_E^2}, \text{ s е електромеханична времеконстанта.}$$

След изчисление на описаните по-горе параметри с използване на каталожните данни, са получени следните стойности:

$$k_M = 0,26 \text{ NmA}^{-1}; k_E = 0,34 \text{ Vs}; T_a = 0,044 \text{ s}; T_M = 2,15 \text{ s}.$$

3. СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА СИСТЕМА ЗА РЕГУЛИРАНЕ НА СКОРОСТТА НА ПОСТОЯННОТОКОВИЯ ДВИГАТЕЛ.

За да се реализира управлението на разглеждания двигател с независимо възбуждане, се използва силов регулатор, изпълнен като реверсивен широчинно-импулсен преобразувател (ШИП). В структурната схема, дадена на фиг.1, той е представен като звено с предавателна функция $W_{ШИП}$.



Фиг. 1. Структурна схема на едноконтурна система за регулиране на скоростта на постояннотоков двигател с независимо възбуждане

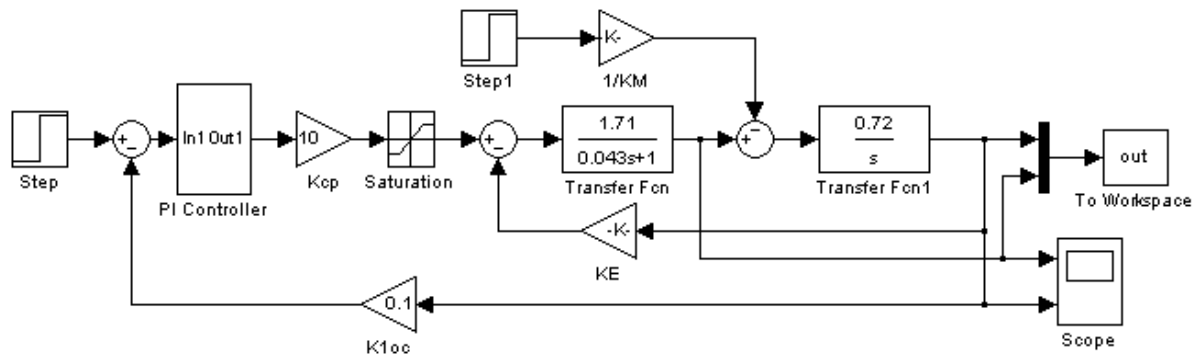
Импулсният преобразувател се управлява от регулатор, представен на фиг.1 с предавателна функция W_P . На входа му се подава разликата между управляващия сигнал и обратната връзка по скорост, изразена с предавателен коефициент $k_{ОВ}$.

Тъй като в дадения случай $T_M \gg T_a$, е целесъобразно регулаторът да бъде с пропорционално-интегрален закон за регулиране (ПИ регулатор) [6].

Модулът на постояннотоковия двигател включва последователно свързани апериодично звено от първи ред с предавателна функция $W_1 = \frac{1/R_a}{T_a p + 1}$ и интегриращо

звено с коефициент $\frac{k_M}{J}$, обхванати чрез обратна връзка с безинерционно звено (представено чрез k_E).

Симулационният модел на едноконтурна система за регулиране на скоростта на постоянноотокков двигател с независимо възбуждане в Simulink/Matlab е даден на фиг.2.



Фиг.2. Simulink модел на едноконтурна система за регулиране на скоростта на постоянноотокков двигател с независимо възбуждане

В модела ШИП е представен като непрекъснато безинерционно звено с коефициент на усилване k_{cp} .

Предавателната функция на ПИ регулатора за обект с (7) има вида [6]:

$$(9) \quad W_P(p) = \frac{(T_M p + 1)k_P}{T_M p} = k_P + \frac{k_P}{T_M p} = k_{II} + \frac{k_{II}}{p},$$

където k_P е коефициент на усилване на регулатора, а k_{II} и k_{II} са коефициенти съответно на пропорционалната и интегралната му части.

Тогава предавателната функция на отворената система се определя като:

$$(10) \quad W_0(p) = \frac{(T_M p + 1)k_{cp}k_P k_{OB}}{T_M p} \frac{k}{(T_a p + 1)(T_M p + 1)} = \frac{k_{cp}k_P k_{OB} / k_M}{T_M p (T_a p + 1)}.$$

Оптимум по модул, който се счита за еталон на динамичните показатели в затворена система [8], се получава при

$$(11) \quad \frac{T_M k_M}{k_{cp}k_P k_{OB}} = 2T_a,$$

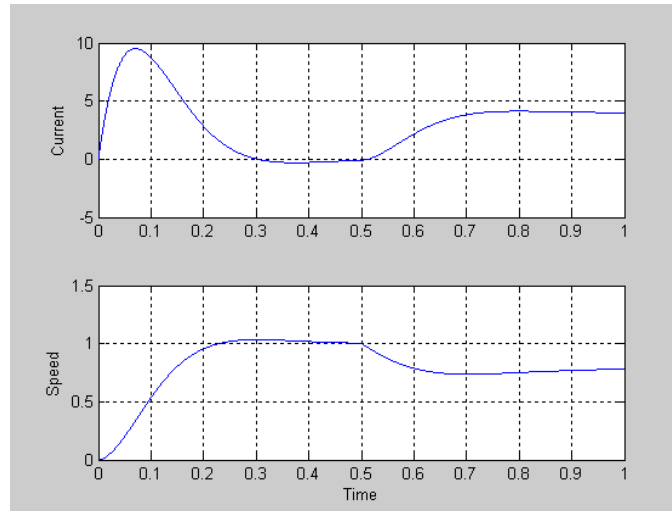
откъдето се определят коефициенти на пропорционалната и интегралната части на регулатора:

$$(12) \quad k_{II} = k_P = \frac{T_M k_M}{2T_a k_{cp}k_{OB}},$$

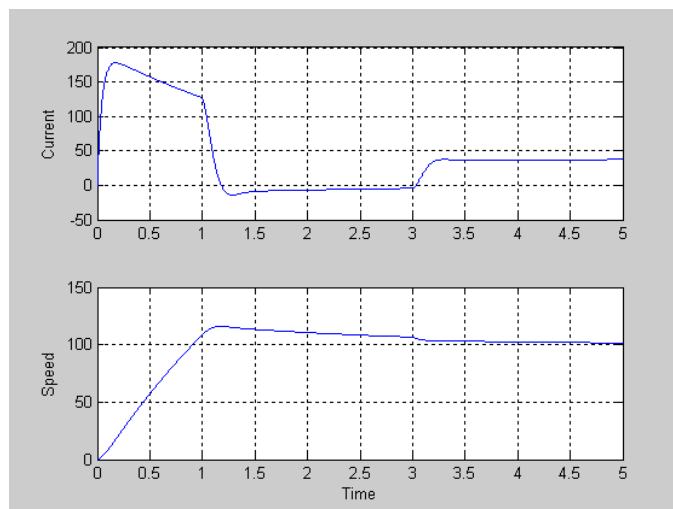
$$(13) \quad k_{II} = \frac{k_{II}}{T_M}.$$

Коефициентите на регулатора са изчислени по зависимости (12) и (13) при $k_{cp}=10$ и $k_{OB}=0.1$. Получените стойности са $k_{II} = 8,3$ и $k_{II} = 3,86$.

При изчислените параметри на симулационните модули е стартирана симулацията при подаване на входен сигнал в момент от време $t=0$ s и подаване на товар (въртящ момент на вала на двигателя) във време $t=0,5$ s. На осцилоскопа са получени графиките на изменение на тока и скоростта, които са дадени на фиг.4.



Фиг.4. Изменение на тока и скоростта на двигателя при подаване на товар в $t=0,5$ s.



Фиг.5. Изменение на тока и скоростта на двигателя при подаване на товар в $t=1$ s.

На фиг.5 са дадени резултатите от симулацията при подаване на товар във време $t=1$ s. Вижда се, че изменението на тока и скоростта на двигателя запазва характера си.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синтезираният симулационен модел в Simulink/Matlab на едноконтурна система за регулиране на скоростта на постоянен ток двигател с независимо възбудане позволява да се проследи изменението на котвения ток и скоростта на въртене при различни натоварвания. Фактът, че получените графични зависимости при различен момент на подаване на натоварването запазват характера си на изменение, говори, че системата е устойчива. От графиките ясно се вижда и влиянието на индуктираното в котвата електродвижещо напрежение при нарастване на скоростта на въртене.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Исаев Я., Г. Павлов, Л. Секулов. Проектиране и разработване на лабораторен стенд на импулсен регулатор за управление на микродвигателни тягови електродвигатели. Сп. „Механика, транспорт, комуникации” т.4, бр.1, 2015г., стр. X-12-X-19

- [2] Krishnan R., Electric Motor Drives, Modeling, Analysis and Control, Pearson Ed., 2003.
- [3] Личев Р. Проектиране на полупроводникови електрозадвижвания, София, 2005г
- [4] www.dynamo-bg.com
- [5] Ангелов А. Д. Димитров. Електрически машини. Част1. Техника, 1976г.
- [6] Иванов С. Електронни регулатори. София, 2008.
- [7] Димитров В., Разработване на лабораторна система за изпитване на електродвигатели, научно списание “Механика, Транспорт, Комуникации”, ISSN 1312-3823, том 13, брой 3/3, 2015, статия № 1246
- [8] Dimitrov V., P. Kostadinov, M. Zlatkov, Control system for laboratory DC electrical drive with pulse-width regulation, International Scientific Conference “UNITECH 2018”, Gabrovo, 16-17.11.2018, Proceedings, ISSN 1313-230X, pp. I-121 – I-125

MODELING AND SIMULATION OF A MECHATRONIC MODULE FOR REGULATING THE SPEED OF A DC MOTOR

Galina Cherneva¹, Anton Antonov²
cherneva@vtu.bg, ant-a-antonov@yandex.ru

¹*Todor Kableshkov University of Transport, 158 Geo Milev Str., 1574 Sofia, BULGARIA*

²*Russian University of Transport (MIIT), 9 Obrazcova Str., Moscow, RUSSIA*

Key words: *independent excitation dc motor, Matlab, Simulink, transfer function.*

Abstract: *Mechatronic modules in the form of information-sensing, executive and control devices are an integral part of machines, instruments and systems in all areas of modern production. They combine mechanical, electronic and computer structures and create new generation machines.*

In the present work through Simulink / Matlab program has modeled and simulated a single-circuit system for regulating the speed of a DC motor.

A prototype in the proposed model has been used a mini-induction DC motor with independent excitation, which is wide application in different robot-technical complexes, electric vehicles, etc.

The motor control is realized by a power regulator, executed as a reverse width- pulse converter. A regulator with a proportional integral control law (PI regulator) is selected to control the converter.

All parameters of the simulation modules are calculated from the engine data. The gain factors of the proportional and integral parts of the PI regulator are also determined.

The model simulation provides graphs of the current variation and engine speed when loading load in the shaft at different times.

The proposed simulation model of the mechatronic module for speed control of the DC motor with an independent excitation can be used both for training in different training in the field of electrical engineering and electronics, as well as for research purposes.