

Технически Университет-София, Филиал Пловдив

УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯТА

доц. д-р инж. Иван Костов

маг. инж. Георги Иванов



Ръководство за лабораторни упражнения

Пловдив 2014

Ръководството за лабораторни упражнения е разработено в съответствие с учебната програма по дисциплината “Управление на електрозадвижванията” и е предназначено за студентите от специалност “Автоматика, информационна и управляваща техника” в Технически университет София, Филиал Пловдив. Това пособие може да бъде използвано и от студентите от аналогични или близки специалности в други университети, а също така и от инженери-проектанти, работещи в сферата на електрозадвижванията. Темите на лабораторните упражнения покриват най-важните раздели от лекционния курс. Изложението на материала осигурява относителна самостоятелност на студента без да е задължително използването на други учебни помагала при изпълнението на задачите. Материалът обхваща най-важните въпроси, свързано с автоматичното управление на постояннотокови и асинхронни двигатели, а също така предоставя базови знания при работа с конфигурационни софтуерни продукти и развойни среди за разработка на известни производители на електрозадвижвания като *OMRON* и *Texas Instruments*. При реализация на упражненията се използват програмните продукти *Matlab/Simulink®*, *CxDrive* и *Code Composer Studio v5*, а също така лабораторни стендове за управление на постояннотокови – от тип “Кемек” и асинхронни двигатели с тиристорен регулатор на ток от тип “УИТП-01”, преобразувател на честота “3G3MV” на фирма “OMRON” и развойна платформа за цифрово управление на асинхронни, синхронни и безчеткови постояннотокови двигатели *C2000* на *Texas Instruments*.

Авторският колектив изказва благодарности на рецензента доц. д-р инж. Димитър Спиров за ценните съвети и препоръки при подготовката на ръководството.

© И.Й. Костов, 2014; Г.И. Иванов, 2014

Технически Университет-София, Филиал Пловдив

Факултет Електроника и Автоматика

УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯТА

доц. д-р инж. Иван Костов

маг. инж. Георги Иванов

**Ръководство за лабораторни упражнения
за студентите от АИУТ на ФЕА
по едноименната дисциплина**

Пловдив 2014

Ръководството за лабораторни упражнения е разработено в съответствие с учебната програма по дисциплината “Управление на електрозадвижванията” и е предназначено за студентите от специалност “Автоматика, информационна и управляваща техника” в Технически университет София, Филиал Пловдив. Това пособие може да бъде използвано и от студентите от аналогични или близки специалности в други университети, а също така и от инженери-проектанти, работещи в сферата на електрозадвижванията. Темите на лабораторните упражнения покриват най-важните раздели от лекционния курс. Изложението на материала осигурява относителна самостоятелност на студента без да е задължително използването на други учебни помагала при изпълнението на задачите. Материалът обхваща най-важните въпроси, свързани с автоматичното управление на постояннотокови и асинхронни двигатели, а също така осигурява базови знания при работа с конфигурационни софтуерни продукти и развойни среди за разработка на известни производители на електрозадвижвания като *OMRON* и *Texas Instruments*. При реализация на упражненията се използват програмните продукти *Matlab/Simulink*®, *CxDrive* и *Code Composer Studio v5*, а също така лабораторни стендове за управление на постояннотокови – тип “Кемек” и асинхронни двигатели с тиристорен регулатор на ток “УПТР-01”, преобразувател на честота “3G3MV” на фирма “OMRON” и развойна платформа за цифрово управление на асинхронни, синхронни и безчеткови постояннотокови двигатели *C2000* на *Texas Instruments*.

Авторският колектив изказва благодарности на рецензента доц. д-р инж. Димитър Спиrow за ценните съвети и препоръки при подготовката на ръководството.

© И.Й. Костов, 2014; Г.И. Иванов, 2014

Рецензент: доц. д-р Димитър Спиrow

Ръководството е подготовено в катедра Системи за управление
и отпечатано с Решение на ФС на ФЕА от 06.11.2014/Протокол № 2.

Костов, И.Й., Иванов, Г.И.

Управление на електрозадвижванията: Ръководство за лабораторни упражнения

© И.Й. Костов, © Г.И. Иванов, Пловдив, 2014.

© Издава: «УЧИ», Пловдив, 2014.

Първо издание

ISBN 978-619-90128-7-1

СЪДЪРЖАНИЕ:

СЪДЪРЖАНИЕ	3
1. НАСТРОЙКА И ОПТИМИЗАЦИЯ НА КОНТУРА ЗА РЕГУЛИРАНЕ НА ТОКА В СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ С ДВИГАТЕЛИ ЗА ПОСТОЯНЕН ТОК, ПОСТРОЕНИ НА ПРИНЦИПА НА ПОДЧИНЕНОТО РЕГУЛИРАНЕ.....	5
2. НАСТРОЙКА И ОПТИМИЗАЦИЯ НА КОНТУРА ЗА РЕГУЛИРАНЕ НА СКОРОСТТА В СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ С ДВИГАТЕЛИ ЗА ПОСТОЯНЕН ТОК, ПОСТРОЕНИ НА ПРИНЦИПА НА ПОДЧИНЕНОТО РЕГУЛИРАНЕ	9
3. МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА СЛЕДЯЩИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ С ДВИГАТЕЛИ ЗА ПОСТОЯНЕН ТОК, ПОСТРОЕНИ НА ПРИНЦИПА НА ПОДЧИНЕНОТО РЕГУЛИРАНЕ	13
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА РЕГУЛАТОРИ ПО ТОК/СКОРОСТ В РЕВЕРСИВНО ТИРИСТОРНО ЕЗ С ДПТ ТИП КЕМЕК	17
5. МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ПРЕХОДНИ ПРОЦЕСИ В АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ	23
6. СИНТЕЗ И АНАЛИЗ НА ИЗЧИСЛИТЕЛНИ СХЕМИ ЗА ОЦЕНКА НА ПЪЛНИЯ МАГНИТЕН ПОТОК НА РОТОРА	29
7. СИНТЕЗ И АНАЛИЗ НА МОДЕЛИ ЗА КОСВЕНА ОЦЕНКА НА СКОРОСТТА ПО ОТВОРЕН КОНТУР В АСИНХРОННИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ	33
8. МОДЕЛИРАНЕ НА СИСТЕМА ЗА ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ С ОРИЕНТАЦИЯ ПО ПОЛЕТО	37
9. НАСТРОЙКА НА КОНТУРИТЕ ПО ТОК (МОДУЛЕН ОПТИМУМ) И СКОРОСТ (СИМЕТРИЧЕН ОПТИМУМ) В СИСТЕМА ЗА ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ	41
10. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФУНКЦИОНАЛНИТЕ ВЪЗМОЖНОСТИ НА РАЗВОЙНА СИСТЕМА TMDSHVMTRPFCKIT ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА АД	45
11. АНАЛИЗ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАБОТАТА НА СИСТЕМА ЗА ВЕКТОРНО УПРАВЛЕНИЕ НА АД, БАЗИРАНА НА РАЗВОЙНА СИСТЕМА TMDSHVMTRPFCKIT	51
12. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАБОТАТА НА АСИНХРОННО ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ С ТИРИСТОРЕН РЕГУЛАТОР НА ТОК В РОТОРА.....	57
13. ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАБОТАТА НА СОФТУЕР CxDrive ЗА НАСТРОЙКА НА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ НА ЧЕСТОТА 3G3MV	63

14. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАБОТАТА НА АСИНХРОННО ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ НА ЧЕСТОТА И РЕГУЛАТОР НА НАПРЕЖЕНИЕ	71
ПРИЛОЖЕНИЯ	75
ЛИТЕРАТУРА	108
ИЗПОЛЗВАНИ ОЗНАЧЕНИЯ	109

ТЕМА:

НАСТРОЙКА И ОПТИМИЗАЦИЯ НА КОНТУРА ЗА РЕГУЛИРАНЕ НА ТОКА В СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ С ДВИГАТЕЛИ ЗА ПОСТОЯНЕН ТОК, ПОСТРОЕНИ НА ПРИНЦИПА НА ПОДЧИНЕНОТО РЕГУЛИРАНЕ

Задачи за изпълнение.

1. Да се синтезира структурна схема на контура за регулиране на ток (респективно момент) в система за управление на електрозадвижване (СУЕЗ) с двигател за постоянен ток (ДПТ) с независимо възбуждане (НВ), настроен на *технически (модулен) оптимум*.
2. Да се снее преходната характеристика $I_a = f(t)$ на така настроения контур и направят съответно изводи за показателите на качеството като пререгулиране (σ), време на регулиране (t_r) и време на преходния процес (t_s).
3. Да се изследва ефекта от неточно определени параметри на задвижването ($L_{a\Sigma}, R_{a\Sigma}$) върху качеството на управление, в смисъла на показателите от т.2.
4. Получените резултати да се оформят във вид на графики и таблици и да се направят изводи за работата на системата.

Кратки теоретични сведения.

При системите за управление на електрозадвижванията (СУЕЗ) най-голямо разпространение в практиката са получили системите с подчинено регулиране на координатите, което се дължи на добрите им технико-икономически показатели. Тези системи в сравнение със системите с общ регулатор и независимо регулиране на координатите се отличават с простота, надеждност и същевременно осигуряват високи динамични и статични показатели на електрозадвижванията. Контурите за съответните координати се настройват последователно като се започва от най-вътрешния и се завършва с този на основната регулируема координата. В електрозадвижванията за постоянен ток най-често контурите са 2 – по ток (вътрешен) и скорост (външен), но може да притежават и външен спрямо скоростния – по позиция (път). Структурата на регулатора на най-вътрешния контур – по ток се избира да бъде такава, че еквивалентната предавателна функция на затворения контур да се описва чрез филтър на Батеруърт от втори ред:

$$W_{cldc} = \frac{1/K_{fc}}{a_c T_{\mu c}^2 s^2 + 2T_{\mu c} s + 1} \quad (1.1)$$

Структурата и параметрите на регулатора се избират по такъв начин, че да се компенсира голямата времеконстанта на контура (в случая $T_{a\Sigma}$), така че динамиката да се определя само от малката времеконстантата – тази на преобразувателя ($T_{\mu c} = T_{conv}$).

Регулаторът на токовия контур се получава във вида на ПИ закон с параметри, определени от следните равенства:

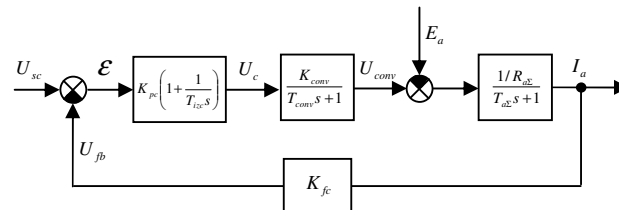
$$\begin{cases} K_{pc} = \frac{T_{a\Sigma} R_{a\Sigma}}{a_c T_{conv} K_{conv} K_{fc}} \\ T_{izc} = T_{a\Sigma} \end{cases} \quad (1.2)$$

Изборът $a_c = 2$ отговаря на т. нар. *настройка на модул* (технически) *оптимум*, който се характеризира с бързи преходни процеси, пререгулиране $\sigma \approx 4.3\%$ и време за регулиране $t_p \approx 4.7T_{conv}$. Поведението на системата ще се доближава до тези показатели при условие, че обратната връзка по противо-е.д.н. не оказва влияние т.е. електромагнитната и електромеханичната времеконстанти превишават значително времеконстантата на полупроводниковия преобразувател. Това условие може да се изрази и чрез неравенството:

$$T_m + \frac{T_{a\Sigma}}{5} \geq 5T_{conv} \quad (1.3)$$

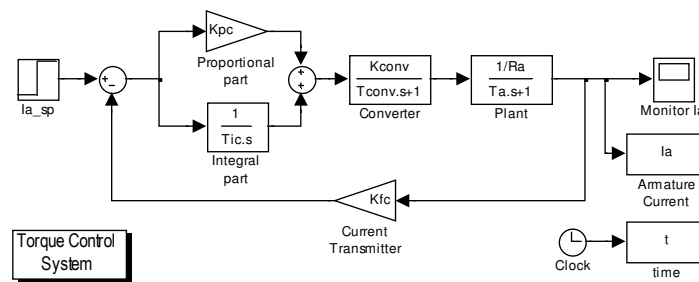
Исходни данни за упражнението и методични указания.

На фиг. 1.1 е показана структурната схема на контура по ток в системата с подчинено регулиране на тока и скоростта на двигател за постоянен ток.



Фиг. 1.1 Структурна схема на контура за регулиране на тока

На фиг. 1.2 е показан модел на изследвания контур на тока в програмната среда на Matlab/Simulink. Моделът съответства на показаната на фиг. 1.1 структура и може да се реализира посредством различни програмни средства за числено моделиране.



Фиг. 1.2 Модел на изследвания контур на тока в средата на Simulink

Данните за двигателя и изчисленията за коефициентите на регулатора се реализират в `***.m`-файл имащ вида:

```
warning off;
clear all;
clc;
%-----
% Motor Parameters
% Armature Resistance
```



```

Ra=0.2; %[Ohms]
% Armature Inductance
La=5.2e-3; %[H]
% Inertia
J=0.65; %[kg.m^2]
cPhi=2.005; %[Wb]
% Mechanical Torque
Tl=2; %[N.m]
% Electromagnetic Time Constant
Ta=La/Ra; %[s]
%-----
% Dynamic Parameters Of Converter
Kconv=22;
Tconv=0.0033; %[s]
% Parameters of Sensors
% Current Sensor
Kfc=0.1; %[V/A]
% Speed Sensor
Kfs=0.1; %[V.s/rad]
% Position Sensor
Kfp=1; %[V/rad]
%-----
%Simulation time
tend=0.5;% [s]
% Discrete time
dt=Tconv/100;
%-----
% Tuning of Current Circuit on Modulus Optimum Method
% Factor Determining Quality of the Transient Response in the Current Loop
ac=2;
% Parameters of the Current Controller
Kpc=Ra*Ta/(ac*Kfc*Kconv*Tconv);
Tic=Ta/Kpc;
Tizc=Ta;
I_sp=10; %[A]

```

Резултатите за показателите на качеството (указани по-горе) при така настроената система включително и за случая, разглеждащ работата на системата в условие на неизвестни (неточни) параметри се представят в Таблица 1.1 :

Таблица 1.1

Показатели	Теоретично	Експериментално	$x^* L_{a\Sigma}$	$x^* R_{a\Sigma}$
σ [%]	4.3			
t_r [s]	$4.7T_{\mu c}$			
t_s [s]	$8.4T_{\mu c}$			

Значенията на $L_{a\Sigma}$ и $R_{a\Sigma}$ се променят със стойности, указани от ръководителя на лабораторното упражнение и кодирани с „x” в Таблица 1.1.

Дефинициите и графичната интерпретация на показателите σ , t_r , t_s са представени в Приложение 1.

ТЕМА:

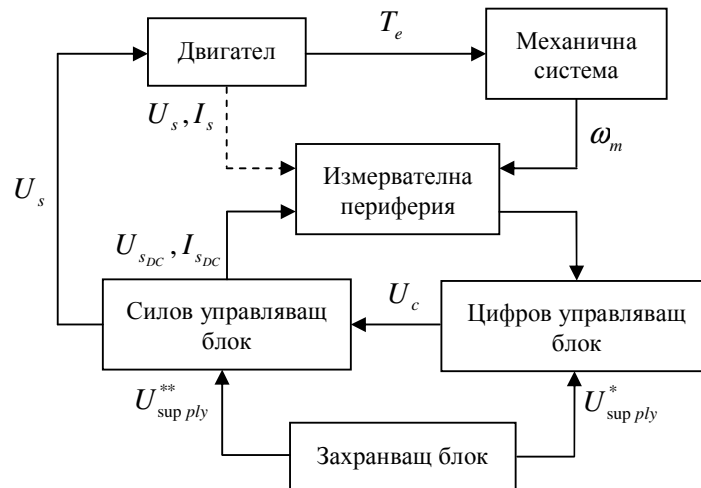
ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФУНКЦИОНАЛНИТЕ ВЪЗМОЖНОСТИ НА РАЗВОЙНА СИСТЕМА TMDSHVMTRPFCKIT ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА АД

Задачи за изпълнение.

1. Да се запознаят студентите с функционалните възможности на развойната система като използват приложената документация за хардуерна/софтуерна настройка и тест.
2. Да се проучат възможностите за изграждане на системи за честотно и векторно управление и особеностите, свързани с физическата им реализация.
3. Да се проследят и опишат стъпките при конфигурация и настройка на примерен проект и реализира първа стъпка от предложената методика за поетапно изграждане на управляващия код.
4. Резултатите от работата на системата да се представят под формата на графики, посредством инструментите за управление и мониторинг, предоставени от развойната среда за разработка на софтуер CCS_v5.

Кратки теоретични сведения.

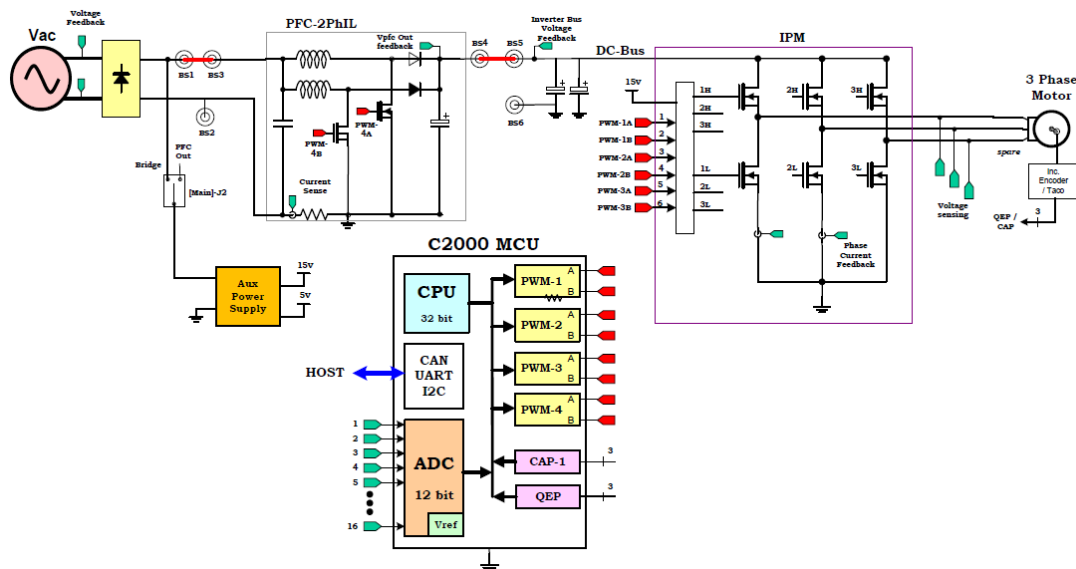
Развитието на силовата и цифрова електроника в последните 15 години по отношение на мощност и прозводителност, съчетано с по-ниската им цена е предпоставка за изграждането по-изгодни в ценово отношение системи за управление на електрозадвижванията (СУЕЗ), отговарящи на все по-високите технологични изисквания. Елементите на съвременните СУЕЗ на АД се представят общо със следната блокова схема:



Фиг. 10.1 Блок-диаграма на асинхронно задвижване

В основата на тази система е цифровото управляващо устройство (микроконтролер), което съчетава различни функции като измерване, управление, диагностика и т.н. Основни регулируеми координати на електрозадвижването са скоростта и момента, но също така могат да бъдат магнитния поток и съпротивителния момент (използвани най-често при енергийна оптимизация). Скоростта може да се измери чрез тахогенератори, резолвери, импулсни (инкрементални-) и кодови (абсолютни енкодери) датчици, но може да се възстанови и посредством алгоритъм (безсензорно управление). Аналогично и потока и съпротивителния момент, могат да бъдат възстановявани посредством изчислителни схеми, което повишава надеждността и намалява обема и цената на

електрозадвижването. Тези величини се възстановяват най-често чрез измерване на леснодостъпните статорни ток и напрежение. Измерването им е свързано с използването на сензори на Хол в трифазната верига, но могат да бъдат възстановявани и чрез измерване на ток и напрежение в постояннотоковото звено на инвертора като се следят моментите на превключване на състоянието на ШИМ-изходите. За подобряване на безопасността на работа се осигурява галванична изолация между процесора и инвертора посредством оптрони. В настоящото упражнение се анализира и изследва работата на развойна система за честотно и векторно управление на асинхронни двигатели на фирма Texas Instruments – TMDSHVMTRPFCKIT, окомплектована с асинхронен двигател с кафезен ротор - 5K33GN2A на фирма Marathon Electric.



Фиг.10.2 Принципна електрическа схема на развойна платка TMDSHVMTRPFCKIT

На фиг.10.2 е представена принципна електрическа схема на разглежданата развойна платка, а означенията са както следва: *Vac* – променливотоково захранване (220V/50Hz); *PFC-2PhIL* (*Two-phase interleaved PFC stage*) – модул за корекция на фактора на мощността; *IPM* (*Intelligent Power Module*) – “интелигентен” захранващ модул, включващ трифазен инвертор на напрежение и съответния драйвер за управление; *C2000 MCU* – цифровият управляващ модул, представен от микроконтролер от серията C2000 на *Texas Instruments(TI)*, специализиран за управление на двигатели; *Aux Power Supply* – допълнително захранване осигуряващо 5V и 15V изолирано от силовата схема захранване за процесора и трансдюзерите на ток и напрежение. На схемата са показани още трифазен двигател (*3 Phase Motor*), инкрементален енкoder (*Inc. Encoder/Taco*) за измерване на ъгловата скорост. В схемата се реализират измервания на ток и напрежение в различни точки – в *PFC*-модула, постояннотоковото звено на инвертора, в рамената на инвертора и на трипроводния изход на схемата. Включването на модулите се реализира чрез куплунзи – *BS X*. Подробна информация за схемните връзки между модулите, техните характеристики и параметри е представена в документа *HVMotorCTRL+PFC_HWGuide.pdf*, достъпен в сайта *ti.com*. На фиг. 10.2 е представена опростена блокова схема на най-важните модули на микроконтролера, като конкретната платка се окомплектова или с *TMS320F28035*(аритметика с фиксирана запетая), *TMS320F28335* (с плаваща запетая). Характерни модули за тези процесори са: 32-битово изчислително ядро с фиксирана/плаваща аритметика – *CPU*; 16-канално АЦП (*ADC module*), което се свързва към трансдюзерите за ток и напрежение, 12-канален ШИМ-модул (*PWM*) за

управление на *PFC-модула* и инвертора; интерфейс за регистрация на събития (*Capture module, CAP*) и специализиран модул за измерване на скорост от квадратурни енкодери (*QEP*); комуникационен модул включващ различни канали за комуникация като *UART, I²C, CAN, SPI*, чрез които контролера си взаимодейства с други микроконтролери или цифрови устройства от по-високо йерархично ниво. По-детайлна информация за архитектурата и параметрите на използваните процесори може да се намери в документите *SPRS584J.pdf (F28035)* и *SPRS439M.pdf(F28335)* по сигнатурата на *TI* и са достъпни на сайта *ti.com*.

На уеб-страницата на *TI* са предложени редица софтуерни решения с отворен код за управление на двигатели, като актуалните програмни пакети са достъпни чрез инструмента (библиотеката) *controlSUITE*. Този библиотечен модул се инсталира на персоналния компютър и обновява периодично от фирмения сайт. За разработка и програмиране на разглежданите микроконтролери е подходящо да се използва развойната среда *Code Composer Studio v5*, която включва актуален компилатор за използваните програмни приложения. В *controlSUITE* са включени програмни проекти за честотно и векторно (сензорно и безсензорно) управление на АД. Представени са следните проекти за скаларно и векторно управление за микроконтролера *TMS320F28035*:

- *HVACI_Scalar: Scalar Control of AC Induction Motor*
- *HVACI_Sensorless: Sensorless Field Oriented Control of AC Induction Motor*
- *HVACI_Sensored: Sensored Field Oriented Control of AC Induction Motor*

Конфигуриране на хардуера→

- Конфигурират се джъмперите на процесорната карта
- Постава се процесорната карта на съответния слот
- Ключ *SW1* се поставя в позиция “*off*”, така че процесора да получава захранване от *Auxiliary Power Supply*.
- Свързват се куплунзи *BS1* и *BS5* като по този начин се шунтира *PFC-модула* и инвертора се включва директно към изправеното напрежение.

Конфигуриране на софтуера→

За настройката на развойната среда *CCS* се следват стъпките описани в документа *HVMotorCtrl+PFCkit_HowToRunGuide.pdf*.

- Отваря се *CCSv5* и се реализира нов проект като от менюто *File/Import* се отваря съответния примерен проект. Необходимо е да се активира варианта *Code Composer Studio/Existing CCS/CCE Eclipse Projects* и се избира примерно програмния пакет за безсензорно управление на АД - *TI\controlSUITE\development_kits\HVMotorCtrl+PfcKit_v2.0\HVACI_Sensorless*
- Натиска се бутона „*Finish*” за копиране на проекта в работното пространство на развойната среда (*Workspace*). От този момент активирания проект трябва да се вижда в навигационния прозорец на средата както е показано на фиг. 9.3:

ТЕМА:

ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАБОТАТА НА СОФТУЕР CxDrive ЗА НАСТРОЙКА НА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ НА ЧЕСТОТА 3G3MV

Задачи за изпълнение.

1. С помощта на софтуера CxDrive да се настрои ПЧ 3G3MV в следните режими на преобразуване на енергията:
 - режим преобразувател на честота (ПЧ).
 - режим регулатор на напрежение (РН).
2. Да се настрои работата на преобразувателя в режим на икономия на енергия (ESO функция) и изследва влиянието на параметрите на настройката върху консумацията на енергия.
3. Да се извърши настройка и изследва влиянието на параметрите на компенсацията на:
 - момента за режимите на работа ПЧ и РН;
 - хлъзгането за режима на работа ПЧ.
4. Да се сравнят, анализират и обяснят получените резултати. Да се оцени влиянието на настройваемите и изследваните параметри върху работата на електрозадвижването.
5. Да се оформи и предаде протокол от лабораторното упражнение.

Кратки теоретични сведения.

За да бъде реализирана отворена система за управление на скоростта на асинхронно честотно електрозадвижване е необходимо да се използват: честотен преобразувател, асинхронен двигател и постояннотоков генератор. Третата съставяща – постояннотоковия генератор се използва за реализиране на товар върху двигателя в лабораторни условия. В реални индустриални условия той не е нужен, поради факта, че натоварването на двигателя се реализира чрез механизмите, които той задвижва. За надеждна и работоспособна реализация на системата е необходимо трите компоненти да се проектират с близки номинални параметри, за да могат да изпълняват поставените им задачи без да дефектират. С оглед на това условие в това изложение е обяснен изборът и настройката на параметрите на честотния преобразувател и асинхронния двигател.

Първото условие, което се взема предвид когато се прави подбор на честотен преобразувател е неговата максимална мощност и честота да не бъдат по-малки от тези на асинхронния двигател, макар че е препоръчително дори да бъдат и по-големи. Другите условия зависят от това какви функции ще изпълнява системата и колко прецизна трябва да бъде тя.

В това упражнение се настройва и изследва честотен преобразувател на фирмата OMRON тип 3G3MV с номинална мощност 1.1kW. Този преобразувател на честота е с универсално предназначение и с него могат да се решават ефективно задачи за задвижване на механизми с различни съпротивителни моменти. По такъв начин преобразувателят позволява честотното електрозадвижване да се вгради в една доста голяма част от механизмите, използвани главно в леката промишленост, а също и чрез използването на компенсационните методи или регулатора на скорост да се постигне висока точност на движението и производителността.

За да бъде настроена системата е необходимо в преобразувателя да се зададат параметрите на двигателя, вида на компенсационния метод или методи, както и да се обозначи кои входове и изходи са активни и кои не. Тези настройки се осъществяват

чрез 180-те параметъра на преобразувателя, които могат да се зададат от дигиталния оператор, намиращ се на лицевия панел или чрез приложения към преобразувателя софтуер – SxDrive, а версията на софтуера за този преобразувател е №27. За да бъде разяснено значението и действието на всеки един от гореспоменатите 180 параметъра им е направено разделение на 9 таблици по образец на софтуерния продукт, дадено в Приложение 3. Таблиците не съдържат пълната, а само най-важната и необходима информация за настройката на преобразувателя за изследваните режими.

Табл.ПЗ.1 служи за инициализация. В нея се намират първи и втори параметър, които са основни и служат за определяне на броя на параметрите, с които ще функционира честотния преобразувател и режима на управление, тоест дали да е U/f или отворена система за векторно управление.

В Табл.ПЗ.2 са изложени параметрите, които служат за настройка на основните функции на честотния преобразувател: избор на носеща честота, настройка на метода за спиране, настройка на регулатора на скорост, избор или отмяна на забрана за реверсиране, определяне на горни и долни граници на основните честоти, напрежения и токове и други.

В Табл.ПЗ.3 са приложени параметрите, които служат за настройка на: времената за ускоряване и забавяне, стойностите на коефициентите за компенсация на момента и хлъзгането, начините за модифициране на характеристиката на ускорението.

В Табл.ПЗ.4, наречена още и “Reference”, са параметрите, които служат за задаване на основните честотни отношения на вътрешните честоти и които са пряко зависими от мултифункционалните входове, както и за настройка на броя и ширината на неизползваните (забранени) честотни области.

В Табл.ПЗ.5 наречена още и “Motor” са приложени параметрите, в които се задава информация за двигателя като: максимални, средни и минимални стойности на честотата и напрежението, стойност на напрежението честота, стойност на тока на празен ход, стойност на хлъзгането, съпротивление между фаза и маса на двигателя и индукция на разсейване. Данни за използвания двигател са дадени в Табл.П4.1 на Приложение 4.

В Табл.ПЗ.6 са дадени параметрите, обслужващи входните и изходните терминали (клеми) на честотния преобразувател. Чрез тях се обозначава дали даден аналогов или цифров вход или изход, да бъде активен или не и се настройват отклоненията, усилванията и филтрациите на тези входове или изходи.

В Табл.ПЗ.7 са приложени параметрите с чиято настройка се осъществява защита на двигателя и честотния преобразувател; защитата се извършва чрез: избор на защитни характеристики на претоварване, които определят времената на задействане на защитите, избор на процеси при честотни прекъсвания, избор на предпазни мерки по време на увеличаване или намаляване на скоростта, избор на функции за откриване на критичния момент и честота, както и настройка на нивото, на което трябва да се открият.

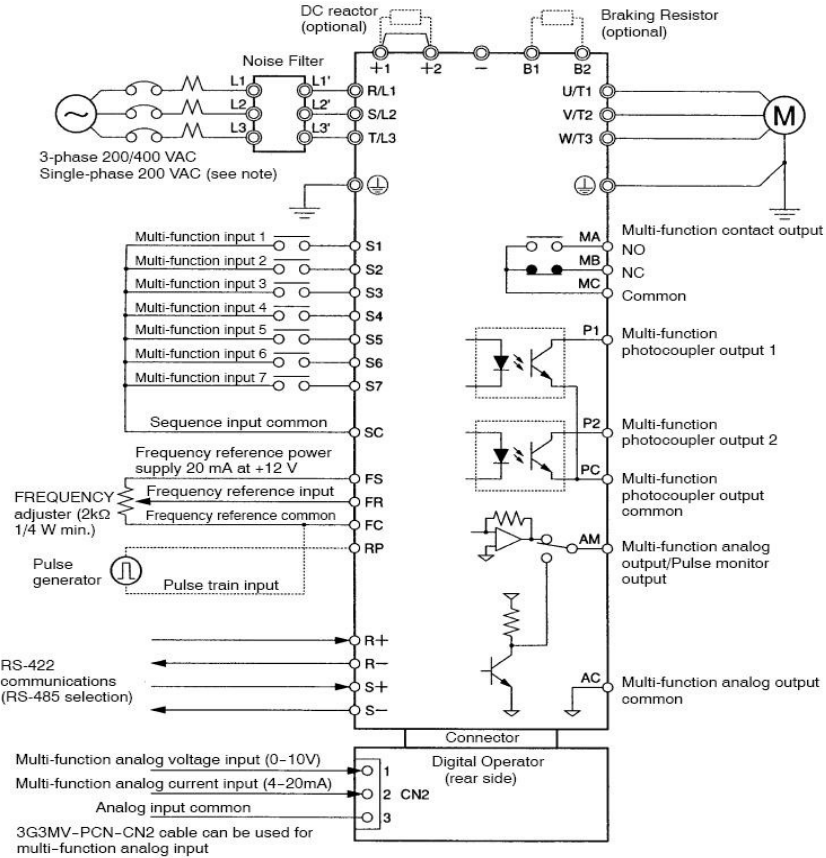
В Табл.ПЗ.8 се намират параметрите, определящи дали функцията за оперативно прекъсване осъществява управление на зададената честота, функцията за копиране и потвърждаване и функцията за забрана на селекцията да бъдат достъпни до монитора или дигиталния оператор.

В Табл.ПЗ.9 са дадени параметри, които могат да се визуализират единствено на монитор чрез приложения софтуер.

В Табл.ПЗ.10 са изложени 18 контролни точки, чрез които визуално на дигиталния оператор могат да се наблюдават стойностите на различни напрежения, ток, честота,

момент, мощност, състояние на входове и изходи, известяване за груби грешки и стойности на входа, изхода и обратната връзка на регулатора на скорост.

За да се постигне по-добра визуална представа за съществуващите входни и изходни терминали (Табл.13.1) на честотния преобразувател OMRON на фиг. 13.1 е представена схема на терминалния блок.



Note Connect single-phase 200 VAC to terminals R/L1 and S/L2 of the 3G3MV-AB□.

Фиг. 13.1. Схема на терминалния блок на честотен преобразувател OMRON

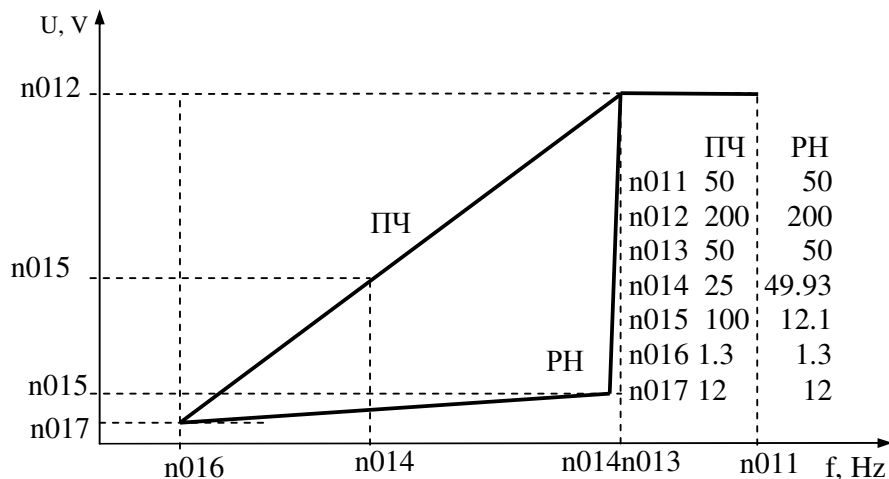
Таблица 13.1

L1, L2, L3	входове за трите фази на напрежението от потребителската мрежа.
\perp	зануляване на проводник от към потребителската мрежа.
S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7	мултифункционални входове.
SC	зануляване на мултифункционалните входове.
FS, FR, FC	честотни напреженови и токови входове и зануляването им
RP	вход за импулсно управление.
R+, R-, S+, S-	терминали, осигуряващи комуникация с RS – 422
CN2 (1, 2, 3)	мултифункционални аналогови напреженови и токови входове и зануляването им.
AM	мултифункционален аналогов изход
AC	зануляване на мултифункционален аналогов изход
+1, +2	терминали за включване на постояннотоков реактор
B1, B2	терминали за включване спирачен резистор

T1, T2, T3	изходи на трите фази към двигателя
\perp	зануляване на проводник от към двигателя
MA, MB, MC	мултифункционални контактни изходи и зануляването им
P1, P2, PC	мултифункционални оптронни изходи и зануляването им
AM, AC	мултифункционален аналогов изход и зануляването му

Исходни данни за упражнението и методични указания:

Настройката на преобразувателя на честота в режим на ПЧ или на РН се извършва с помощта на фиг.13.2 и Табл.13.2. Същността на настройката е да се синтезира подходяща крива на зависимостта $U=F(f)$. За универсална се счита линията $U/f=const$. За да се настрои преобразувателят в режим РН се въвежда силна зависимост на напрежението от честотата за честоти около номиналната и слаба зависимост за честоти извън номиналната, както е показано на фиг.13.2. Режимът РН не е типичен за преобразувателите на честота.



Фиг. 13.2. Настройка на инвертора в режим на преобразувател на честота (ПЧ) и на регулатор на напрежение (РН)

В Табл.13.2 са дадени и адресите за настройката на преобразувателя на честота в режим на преобразувател на честота, работещ в режим $ESO=1$. Редът и методиката на настройката са следствие от показаните на фиг.13.3 обхвати и стойности на настройката на изходната честота и напрежение на преобразувателя. Показаните на фиг. 13.3 зависимости са предложени от фирмата производител.

Таблица 13.2

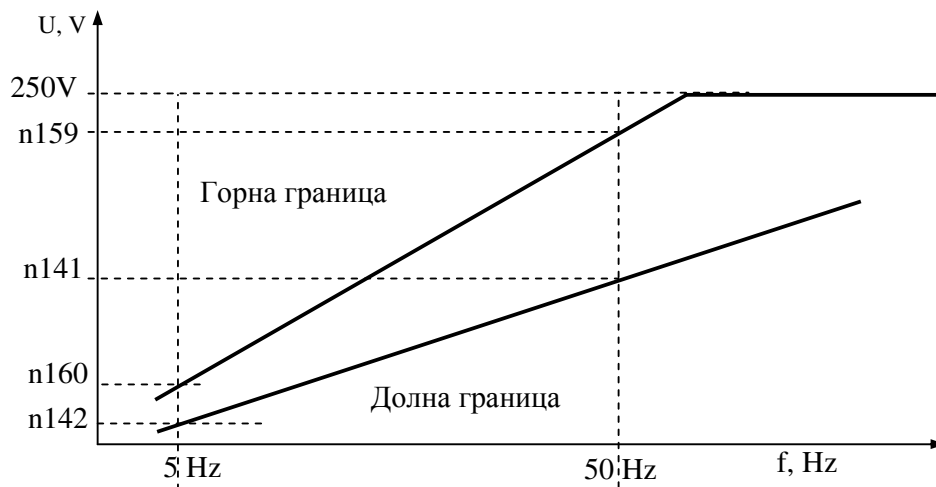
Адрес, N	Наименование	Дименсия	Обхват	Начално установяване
002	Избор на режим на работа	1	0, 1	0
011	Максимална изходна честота	Hz	0-400	50
012	Максимално изходно напрежение	V	От 0.1 до 255	220 (250)V
013	Честота, съответна на n012	Hz	0.2-400	50
014	Средна изходна честота	Hz	0.1-399	24.4
015	Напрежение, съответно на	V	0.1-255	104 (119)

	n014			
016	Минимална изходна честота	Hz	0.1-10	1.5
017	Минимално изходно напрежение	V	0.1-50	12
024 до 031	Задания на допълнителни честоти. Не се използват за конкретното изследване	Hz		0
036	Номинален ток на двигателя	A		2.3
100	Задържане на изходната честота			0
103	Коефициент на компенсация на момента по напрежение	-		0
104	Времеконстанта на компенсация на момента	S		0.3
105	Коефициент на компенсация на момента по загуби в стоманата			6.5
106	Номинално хлъзгане на двигателя	Hz		3.5
107	Активно съпротивление на фаза	Ω		10.52
108	Сумарна индуктивност на разсейване на двигателя	mH		87
109	Ограничение на изходното напрежение при компенсация на момента	%		150
110	Ток на празен ход (намагнитващ ток)	%		30
112	Времеконстанта на компенсация на хлъзгането	S		2
139	Избор на ESO	1	0,1	1
140	Коефициент K2 за управление на ESO	-	0-6550	223.7 (356)
158	Код на двигателя	-	0-70	3
144	Граници на търсене на оптималното напрежение (ОН)	%	0-100	1
145	Стъпка на търсене на ОН при макс. изходна честота	%	0.1-10	0.5
146	Стъпка на търсене на ОН при мин. изходна честота	%	0.1-10	0.2
143	Период на интегриране при изчисляване на средната изходна мощност	x24ms	1-200	1
141	Долна граница на изходното напрежение при f=60Hz	%	0-120	30
142	Долна граница на изходното напрежение	%	0-25	12

	при $f=6\text{Hz}$			
159	Горна граница на изходното напрежение при $f=60\text{Hz}$	%	0-120	120
160	Горна граница на изходното напрежение при $f=6\text{Hz}$	%	0-25	16
161	Задържане на режима търсене за 3s ако изменението на изходната мощност е по-малко от зададената стойност, %	%	0-100	10
162	Времеконстанта на филтъра за определяне на изходната мощност	x4ms	0-255	5

Настройката на режима на икономия на енергия (ESO=1) на ПЧ “OMRON” се установява в следната последователност:

- установява се константата на адрес n002 = 0 (U/f закон на честотното управление).
- установява се константата на адрес n139 = 1 (ESO управляваща функция). Активирането на ESO функцията не изисква непременно настройка на други константи, ако преобразувателят на честота и двигателят са правилно избрани и оразмерени.



Фиг. 13.3. Диапазон на изменение на изходното напрежение на ПЧ при включена функция ESO (n139=1)

- законът за честотното управление в случая ESO=0 се детерминира от стойностите на адреси n011 до n017. Тези стойности трябва да са коректно настроени, за да се гарантира работоспособността на преобразувателя.
- параметрите на ESO функцията се управляват главно от адреси n140 и n158. Чрез тези адреси се пресмята най-ефективната работа на двигателя в режим ESO. Изчисленото напрежение се извежда на изхода U04 на ПЧ. Фабричната настройка съответства на максимално допустимата мощност на двигателя, който може да се захрани с преобразувателя.

- настройката на горната и долната граница на изходното напрежение на ПЧ за горна и долна граница на изходната честота – фиг.13.3 - се управлява от адреси n141, n142, n159, n160 съгласно данните от Табл.13.2.

- адреси n143, n144, n145, n146, n161, n162 решават задачата за управление на динамиката на процеса на търсене на най-ефективния режим на работа на електрозадвижването.

Настройката на преобразувателя за компенсация на момента се извършва за режимите ПЧ (n002=0) и РН (n002=0) с помощта на адреси n103 (коефициент на усилване по момент) и n104 (времеконстанта на процеса на компенсация). В Приложение 3, Табл.ПЗ.3 са дадени диапазоните на изменение на тези два параметъра.

Настройката на преобразувателя за компенсация на хлъзгането се извършва за режима ПЧ (n002=0) с помощта на адреси n111 (коефициент на усилване по момент) и n112 (времеконстанта на процеса на компенсация). Използват се също адресите n036 (номинален ток на двигателя), n106 (номинално хлъзгане) и n110 (ток на празен ход) съгласно формулата:

$$f_{\text{comp}} = n106(U03 - n110)(n036 - n110)^{-1} n111.$$

В Приложение 3, Табл.ПЗ.3, Табл.ПЗ.5 и Табл.ПЗ.10 са дадени диапазоните на изменение на тези параметри.

Литература

1. Виноградов А., Векторное управление электроприводами переменного тока, Ивановский государственный энергетический университет, 2008, 298с.
2. Иванов Г., И. Костов, Й. Пищидски. „Сравнителен анализ на MRAS структури за оценка на скоростта в асинхронни електрозадвигвания”, Journal of the Technical University – Sofia Plovdiv branch, Bulgaria, “Fundamental Sciences and Applications” Vol. 18, 2012, ISSN 1310 – 827, стр.33-42.
3. Ищев К., Теория на автоматичното управление, изд. Кинг, София, 2000, ISBN 954-9518-07-8, 255стр.
4. Ключев В. И., Теория Электропривода, Энергоатомиздат, Москва, 2001.
5. Михов М. Р. Системи за управление на електрозадвигванията, ТУ-София, София, 2009, ISBN 978-954-438-628-3, 145стр.
6. Bose B., Power electronics and Motor Drives: Advances and Trends, Academic Press, 2006, ISBN 978-0-12-088405-6, 917pp.
7. Leonhard W., Control of Electrical Drives 3 Ed., Springer, 2001, ISBN 3-540-41820-2, 600pp.
8. Vas, P. Sensorless Vector and Direct Torque Control. Oxford University Press, 1998, 724pp.
9. Texas Instruments, Sensorless Field Oriented Control of 3-Phase Induction Motors, 2012.
10. Texas Instruments, HVMotorCtrl+PFC (R1.1) Kit How to Run Guide, 2012.

доц. д-р инж. Иван Йосифов Костов
маг. инж. Георги Иванов Иванов

УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯТА

Ръководство за лабораторни упражнения

Първо издание

Редактор: *маг. инж. Георги Иванов*

Технически редактор: *маг. инж. Георги Иванов*

Компютърна обработка: *маг. инж. Георги Иванов*

На корицата: USS New Mexico, Панамският канал, 25.07.1919 г. - по времето, когато е оборудван с насочващи ПИД системи за управление на инж. Н.Минорски.

—
Издава: «УЧИ» Пловдив

4023, Пловдив

Редактор и графично оформление на корицата:

инж. Георги Учкунов

Печатни коли 3,5

Формат 32/64/94

ISBN 978-619-90128-7-1