



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Инженерно-педагогически факултет-Сливен

**Катедра „Електротехника, автоматика и
информационни технологии“**

маг. инж. Кремена Йорданова Димитрова

ЕНЕРГИЙНО-ЕФЕКТИВНИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен

"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.2. "Електротехника, електроника и автоматика"

Научна специалност: „Автоматизирани системи за обработка на
информацията и управление ”

Научен ръководител: доц. д-р инж. Пенчо Георгиев

СЛИВЕН, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Електротехника, автоматика и информационни технологии“ на Инженерно - педагогически факултет – Сливен на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 23.03.2018 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 09.07.2018 г. от 14:00 часа в зала 1207 на ИПФ – Сливен, бул. „Бургаско шосе“ № 59 на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ 107 / 10.04.2018 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д.т.н., д.ик.н. инж. Николай Иванов Петров– председател
2. доц. д-р инж. Благой Чанев Мечков- научен секретар
3. проф. д-р инж. Овид Азаря Фархи
4. проф. д.т.н. инж. Тодор Атанасов Стоилов
5. доц. д-р инж. Пенчо Венков Георгиев

Рецензенти:

1. проф. д-р инж. Овид Азаря Фархи
2. проф. д.т.н. инж. Тодор Атанасов Стоилов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Инженерно- педагогически факултет – Сливен на ТУ-София, бул. „Бургаско шосе“ № 59, гр.Сливен.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Електротехника, автоматика и информационни технологии“ на Инженерно-педагогически факултет – Сливен. Изследванията са направени от автора.

Автор: маг. инж. Кремена Йорданова Димитрова

Заглавие: ЕНЕРГИЙНО- ЕФЕКТИВНИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Известно е, че едни от най-големите консуматори на електроенергия в Европа са електродвигателите. Около 70% от общата консумирана от тях електроенергия е в промишления сектор, около 30% е дялът на всички останали сектори. Около 96% от експлоатационните разходи за един електродвигател се дължат на консумираната от него електроенергия по време на работа, 2.5% са разходите за закупуването му и 1.5% са разходите за неговата поддръжка.

В наши дни около 90% от използваните асинхронни двигатели са с накъсо съединен ротор. Предимствата им пред останалите електромеханични преобразуватели на електроенергия са: опростена конструкция, добра възможност от претоварване, висока експлоатационна надеждност, ниска цена и др. Наред с редицата положителни черти трябва да се изтъкнат и някои недостатъци, свързани главно със сложността на тяхното управление. Известно е, че при тях е невъзможно директно управление на въртящ момент и магнитен поток, както при постояннотоковите двигатели.

Тъй като те са едни от основните консуматори на електрическа енергия в света, то вниманието се насочва все повече към създаване и развитие на нови методи за управление, характеризиращи се с висока ефективност и по-малък разход на електроенергия.

Тъй като най-ефективните методи за управление на трифазните асинхронни машини с накъсосъединен ротор са тези за векторно управление, именно те са обект на разглеждане в настоящия научен труд. С годините системите за векторно управление доказаха, че използването им води не само до повишаване качеството на управление, но и до спестяване на значително количество електроенергия, което е от голямо значение в съвременните икономически условия.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е: Моделиране и изследване на системи за векторно управление на трифазни асинхронни двигатели с накъсо съединен цилиндричен ротор, позволяващи постигане на енергийна ефективност при тяхната експлоатация.

Основните задачи на дисертационния труд са следните:

1. Проучване на съществуващи вариантни решения на системи за векторно управление по отношение на:

- вектора на главното потокосцепление (магнитен поток) ;
- вектора на роторното потокосцепление (магнитен поток) ;
- вектора на статорното потокосцепление (магнитен поток).

2. Съставяне на запис на изходни уравнения, описващи динамиката на обекта за векторно управляема енергоефективна система за електрозадвижване и синтезиране на модел.

3. Изследване на трифазен асинхронен двигател с накъсо съединен цилиндричен ротор при:

- честотно регулиране по закона $U/f = \text{const}$;

-натоварване със статични моменти, зависещи от честотата на въртене на ротора;

- векторно управление.

4. Разработване и приложение на нови решения за ефективни защиты на функционалните блокове на силовата част на енергоефективна система за електрозадвижване.

Използвани научноизследователски методи

Основните методи на работа, използвани при решаване на поставените задачи в дисертационния труд са: теоретичен анализ и експериментални изследвания с приложение на числени методи и статистически анализ, математическо моделиране, имитационно моделиране и други. Разработването и анализът на някои от моделите са извършени по време на специализиращ стаж в Университета „Паскал Паоли“, Корте, Франция, като се използва техния опит и препоръки.

Научна новост

В дисертацията е предложен подход за математическо описание на система с минимизирани загуби при векторно управление на трифазен асинхронен двигател.

Предложен е метод за подобрен синтез на елементите от група за ограничаване на скоростта на нарастване на напрежението върху симистор. Предложено е транзисторно стъпало, при което стойността на ограничителния резистор е функция на моментната стойност на приложеното напрежение.

Практическа приложимост

Резултатите от разработване на дисертацията имат своето практическо приложение при обучението на студентите в катедра „Електротехника, автоматика и информационни технологии“ от образователна степен „бакалавър“ по дисциплината „Електрозадвижване“ и от образователна степен „магистър“ по учебните дисциплини „Специализирани електрозадвижвания“ и „Автоматизирани електрозадвижвания“. Възможност за внедряване на резултатите от дисертацията е при реализиране на синтез на стойностите на елементите, предназначени за ограничаване на скоростта на нарастване на напрежението върху прибора (тиристор, симистор или биполярен транзистор с изолиран гейт IGBT). Възможност за внедряване има и разработеното електронно стъпало, притежаващо необходимите елементи за новост и приложимост при системи за векторно управление минимизиращи енергийните загуби.

Апробация

Дисертационният труд е докладван и обсъден на разширен катедрен съвет на катедра "Електротехника, автоматика и информационни технологии" при ИПФ - Сливен на ТУ-София. Част от идеите и вижданията, които са развити в дисертационния труд са обсъждани и защитавани на национални научни конференции:

1. Национална конференция с международно участие "Активно-адаптивни електрически мрежи - 2014", Жеравна, 31 май - 1 юни 2014г.

2. Национална конференция с международно участие, „Сливен 2014“, 27-29 юни 2014г.

3. Международна научна конференция „Техника, технологии и образование- ИСТТЕ 2014“, Ямбол, 30-31 октомври 2014г.

Публикации

Публикациите по темата на дисертационния труд са 8 на брой, като 2 са публикувани в Годишника на Бургаския свободен университет; по една в Годишника на Химически университет „проф. д-р Асен Златаров“-гр.Бургас, Технически университет-Варна, Издание от Международна научна конференция "Техника, технологии, образование" ICTTE 2014 гр.Ямбол, а останалите са в Известия на Технически университет-Сливен.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 131 страници, като включва увод, четири глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 131 литературни източници, като 88 са на латиница и 43 на кирилица. Работата включва общо 76 фигури и 21 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. СЪВРЕМЕННО НИВО НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИ СИСТЕМИ ЗА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ.

1.1. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР.

Основният консуматор на електроенергия в развитите икономически държави са електродвигателите. Те се използват във всички отрасли на промишленото производство и бита: задвижващи съоръжения, металорежещи машини, транспортни средства и т.н.

Различават се два вида енергийна ефективност: енергийна ефективност на самото електрозадвижване и енергийна ефективност на приложението на електрозадвижването.

При първият вид обобщаващият показател за енергийна ефективност се дефинира като отношение на изходящата към пълната входяща мощност.

$$K_E = \frac{P_{out}}{S_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot \frac{P_{in}}{S_{in}} = \eta \cdot \cos \varphi \quad (1.1)$$

където:

η - коефициент на полезно действие (КПД);

$\cos \varphi$ - фактор на мощност.

Следователно за повишаване на коефициента на енергийна ефективност K_E трябва:

1. Да се повиши КПД - η . Неговата стойност се определя основно от КПД на двигателя и електронния преобразувател.

2. Да се повиши факторът на мощност – $\cos \varphi$. Той се определя от електронния преобразувател и зависи от начина на преобразуване на електрическата енергия.

За повишаване на ефективността съществено значение има и метода на управление на машината. Разработването на програмно ориентирани цифрови сигнални процесори (DSP) е предпоставка за по-сложни и по-ефективни методи за управление.

При анализиране възможностите за минимизация на енергийния разход от електрозадвижването по пътя на енергийния поток от мрежата към вала на двигателя се надлюдават следните четири основни източника на загуби :

1. Загуби в захранващата мрежа. Енергията от мрежата при електрозадвижванията се изправя с трифазен диоден неуправляем изправител. Консумираният ток има значително количество хармоници, генериращи допълнителни загуби. Те зависят от филтъра в постоянно токовия контур на инвертора. Също така неуправляемият токоизправител консумира ток с несинусоидална форма от мрежата и вкарва в нея допълнително хармонични компоненти.

2. Загуби в инвертора. Те зависят предимно от големината на магнитния поток и биват статични и динамични загуби в инвертора. Те силно зависят от приложената стратегия на широчинно-импулсна модулация (ШИМ).

3. Загуби в електрическата мрежа. Електрическите загуби, които не зависят от метода на управление, са загуби от триене на движещите се части и вентилацията на машината. Всички загуби в медта и желязото, пряко зависят от нивото на магнитната индукция.

4. Загуби за пренасяне на механична енергия. Те не зависят от метода на управление и не са малки. Най-малко загуби има директното свързване на валове.

Загубите в двигателя и управляващия инвертор зависят от големината на генерируемый магнитный поток. При исследовании на вращающий момент устанавливается, что для каждой требуемой его величины существует уровень сцепления, который приводит к минимизации потерь в машине.

Существенное значение для эффективности электропривода имеет применяемый метод управления двигателем. В наилучшем случае, электронная система управления должна обеспечить необходимый вращающий момент при минимуме потребления электроэнергии.

Методы управления скоростью трехфазных асинхронных двигателей бывают:

1. Параметрические – регулирование скорости осуществляется в основном за счет изменения амплитуды статорного напряжения при постоянной его частоте.

2. Частотные – При этом управлении действует непосредственно на частоту и амплитуду питающего напряжения. Это осуществляется по одному из двух законов:

I закон – $U/f = \text{const}$

II закон – $U = \text{const}, f = \text{var}$

3. Векторные:

1) Управление по вектору главного магнитного потока Ψ_0 ;

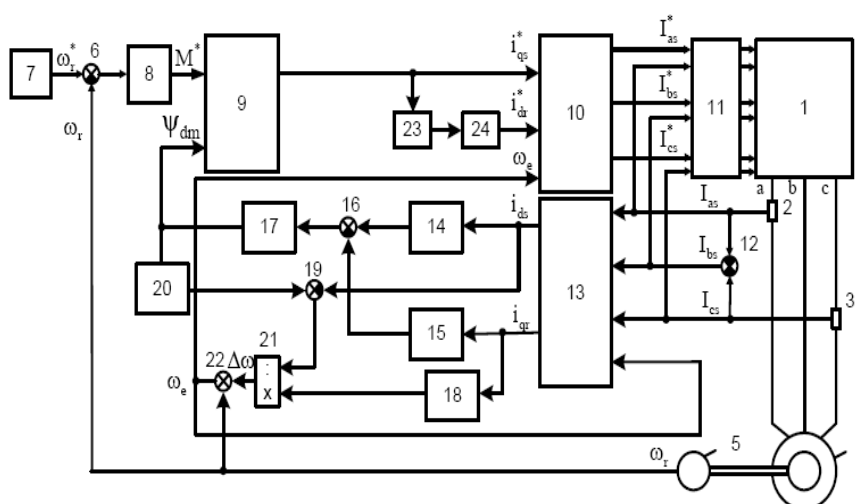
2) Управление по вектору роторного магнитного потока Ψ_r ;

3) Управление по вектору статорного магнитного потока Ψ_s ;

4. Через ориентацию магнитного поля – при использовании пространственной векторной модуляции.

1.4. Изучение вариантов решений систем векторного управления по отношению к вектору главного магнитного потока.

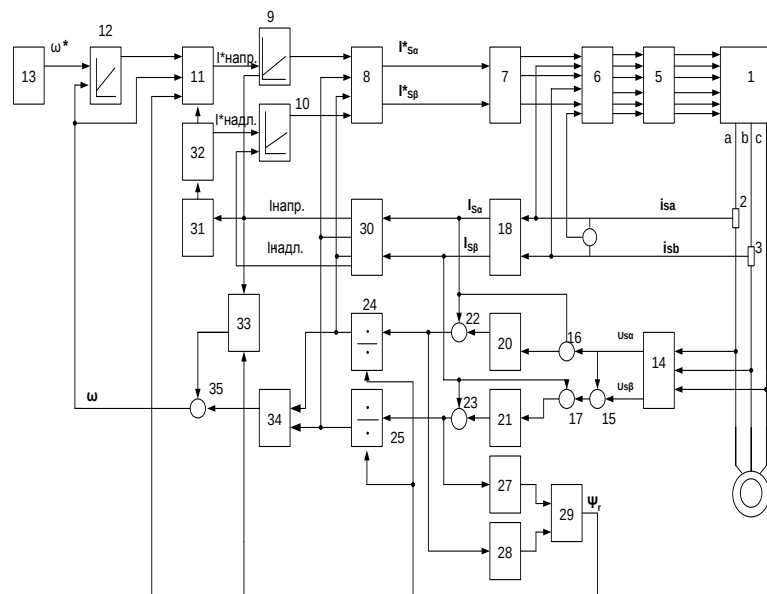
Основная принципиальная реализация векторного управления асинхронным двигателем основана на контроле вектора главного потока сцепления. На фиг.1.5. представлена примерная блок-схема системы векторного управления по вектору главного магнитного потока.



Фиг.1.5. Блок-схема системы векторного управления по вектору главного магнитного потока

1.5. Проучване на вариантни решения на системи за векторно управление по отношение на вектора на роторния магнитен поток

На фиг.1.9 е представена примерна блокова схема на система за управление по вектора на роторния магнитен поток.



Фиг.1.9 Блокова схема на система за векторно управление по вектора на роторния магнитен поток

1.6. Проучване на вариантни решения на системи за векторно управление по отношение на вектора на статорния магнитен поток

Структурата на системата за векторно управление по вектора на статорния магнитен поток е показана на фиг.1.12. В структурата на системата за векторно управление по вектора на статорния магнитен поток особено значение имат следните три блока:

1. БПИ – блок за подготовка на информацията. Той съдържа два сензора (измервателни бобини) на е.д.н. ИК₁ и ИК₂, два интегратора, чиито изходни сигнали са пропорционални на двете съставлящи $\Psi_{S\alpha}$ и $\Psi_{S\beta}$ на вектора на статорното потокосцепление и по един блок, съответно за изчисляване на скоростта на въртене ω_{ψ_s} и на модула на същия вектор.

2. БУН – блок за управление на напрежението, който съдържа възел за сравняване на текущата Ψ_{Sm} със зададената Ψ_{So} стойност на статорното потокосцепление, умножителен блок и два пропорционално-интегрални регулатора РП₁ и РП₂.

3. БУЧ – блок за управление на честотата, съдържащ канали за управление, съответно на честотата и фазата. Всеки канал съдържа по един суматор и пропорционално интегрален регулатор съответно РС и РФ. Това позволява да се коригира честотата на въртене на вектора на напрежението, ориентирайки го в съответствие със заданието. Именно по такъв начин каналът за управление на напрежението решава задачата за управление на модула на статорното потокосцепление, а канала за управление на честотата управлява ъгловата скорост на ротора и фазовия вектор на напрежението спрямо вектора на статорното потокосцепление. Когато последното е достатъчно устойчиво, то и механическите характеристики са много твърди.

данни за статорните напрежения и токове, както и за ъгловата скорост на въртене на ротора ω_r .

Последното обуславя необходимостта от разработване на нов модел на обобщена електрическа машина.

2.1.Разработване на модел на трифазен асинхронен двигател

Системата диференциални уравнения на електричното равновесие за веригите на статора и на ротора има следния вид:

$$U_{ds} = R_s \cdot i_{ds} + \frac{1}{\omega_b} \cdot \frac{dF_{ds}}{dt} + \frac{\omega_e}{\omega_b} \cdot F_{qs} \quad (2.12)$$

$$U_{qs} = R_s \cdot i_{qs} + \frac{1}{\omega_b} \cdot \frac{dF_{qs}}{dt} + \frac{\omega_e}{\omega_b} \cdot F_{ds} \quad (2.13)$$

$$0 = R_r \cdot i_{qr} + \frac{1}{\omega_b} \cdot \frac{dF_{qr}}{dt} + \frac{(\omega_e - \omega_r)}{\omega_b} \cdot F_{dr} \quad (2.14)$$

$$0 = R_r \cdot i_{dr} + \frac{1}{\omega_b} \cdot \frac{dF_{dr}}{dt} + \frac{(\omega_e - \omega_r)}{\omega_b} \cdot F_{qr} \quad (2.15)$$

като се приема, че $U_{qr} = U_{dr} = 0$

Динамичните уравнения на асинхронния двигател се записват относно първите производни на потокосцепленията, а именно:

$$\frac{dF_{qs}}{dt} = \omega_b \cdot \left[U_{qs} - \frac{\omega_e}{\omega_b} \cdot F_{ds} + \frac{R_s}{X_{ls}} \cdot (F_{mq} - F_{qs}) \right] \quad (2.16)$$

$$\frac{dF_{ds}}{dt} = \omega_b \cdot \left[U_{ds} - \frac{\omega_e}{\omega_b} \cdot F_{qs} + \frac{R_s}{X_{ls}} \cdot (F_{md} - F_{ds}) \right] \quad (2.17)$$

$$\frac{dF_{qr}}{dt} = \omega_b \cdot \left[-\frac{(\omega_e - \omega_r)}{\omega_b} \cdot F_{dr} + \frac{R_r}{X_{lr}} \cdot (F_{mq} - F_{qr}) \right] \quad (2.18)$$

$$\frac{dF_{qs}}{dt} = \omega_b \cdot \left[U_{qs} - \frac{\omega_e}{\omega_b} \cdot F_{ds} + \frac{R_s}{X_{ls}} \cdot (F_{mq} + F_{qs}) \right] \quad (2.19)$$

2.5. Структурна схема на модел на трифазен асинхронен двигател, реализирана чрез Simulink на MATLAB

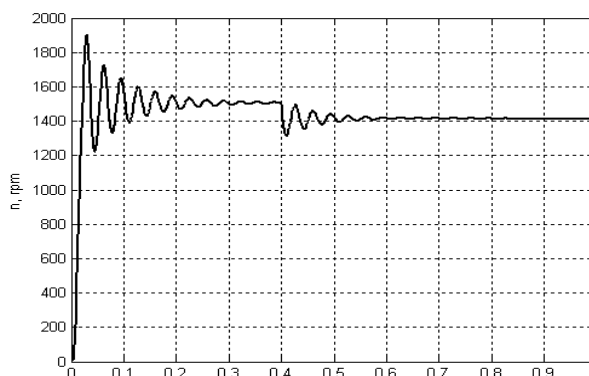
След определяне на основните блокове от модела на двигателя и свързването помежду им е синтезиран и представен в цялостен вид модела на трифазния асинхронен двигател (фиг.2.11).

Изследванията на синтезирания модел са направени с параметрите на реален двигател, производство на фирма „Елма“ гр.Троян, представени в таблица 2.1.

Таблица 2.1

P _n	I _n	U _n	J	M	n	p	R _s	R _r
KW	A	V	Kg.m ²	N.m	min ⁻¹		Ω	Ω
1.5	3.7	220	0.00278	10.16	1410	2	5.585	4.22

L _{ls}	L _{lr}	L _m	L _s	L _r	T _r	T _s
H	H	H	H	H	s	s
0.0156	0.0129	0.291	0.304	0.3066	0.0726	0.0544



Фиг.2.14. Преходен процес на скоростта на двигателя

На осцилограмите могат да се наблюдават преходните процеси на честотата на въртене и момента, при пускане на празен ход и натоварване. По време на пускането на асинхронния двигател се наблюдават значителни колебания, които при натоварване-значително намаляват. Пиковата стойност в началото на симулацията отразява пусковата стойност на тази величина. След завършване на преходните процеси тази величина се установява до номинална стойност. От изследването се установява, че получените стойности на момента и скоростта са както следва: $M = 10,20 \text{ N.m}$, $n = 1405 \text{ min}^{-1}$. При сравнение на получените от модела резултати с данните от фирмата производител за момент, скорост и др. се установява грешка в порядъка под 1%.

Полученото съвпадение на резултатите от модела и фирмата производител доказва адекватността на разработката.

Предложеният и разработеният в Matlab среда модел на трифазен асинхронен двигател може да се използва за изследване на динамични и установени режими на работа на електрически машини и електрозадвижвания.

Изводи към втора глава:

- Пояснени са основните моменти от преобразуването на статорните напрежения и токове от установена в синхронизирана координатна система.
- Представена е система от уравнения, която се явява основа за изследване на преходните процеси при векторно управление на трифазен асинхронен двигател.
- Представени са схеми за получаване на отделните компоненти в модела.
- Синтезиран е модел на трифазен асинхронен електродвигател, който определя тока в ротора, тока в статора, въртящ момент и скорост.
- Представени са резултати от изследванията, отразяващи коректната и адекватна работа на модела.

ГЛАВА 3. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТРИФАЗЕН АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ С НАКЪСЪО СЪЕДИНЕН РОТОР ПРИ ПРИЛАГАНЕ НА РАЗЛИЧНИ МЕТОДИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ.

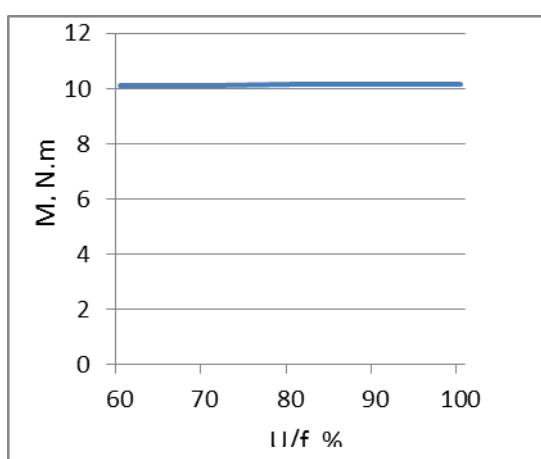
3.1. Изследване на модел на асинхронния двигател при честотно управление по закона $U/f = \text{const}$.

Това изследване има за цел да установи адекватната работа на синтезирания от фиг.2.11 модел на асинхронен двигател при честотно регулиране по закона за управление $U/f=\text{const}$.

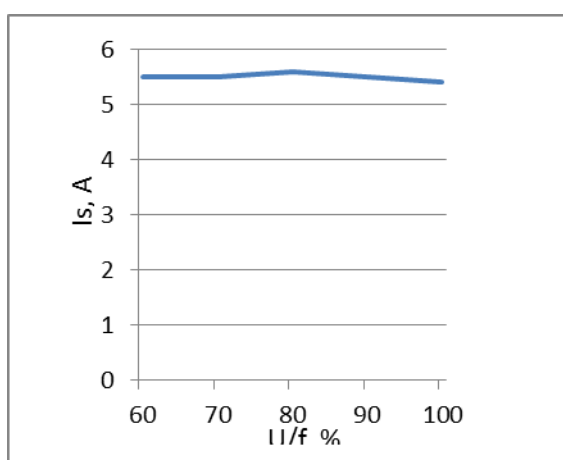
Таблица 3.1

%	100%	90%	80%	70%	60%
U, V	311	278	247	222	200
I_s , A	5.38	5.49	5.59	5.51	5.51
ω , rad^{-1}	314	282.6	251.2	219.8	188.4
f, Hz	50	45	40	35	30
M, N.m	10.16	10.16	10.15	10.13	10.13
M_c , N.m	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03
n, min^{-1}	1408	1350	1117	935	636

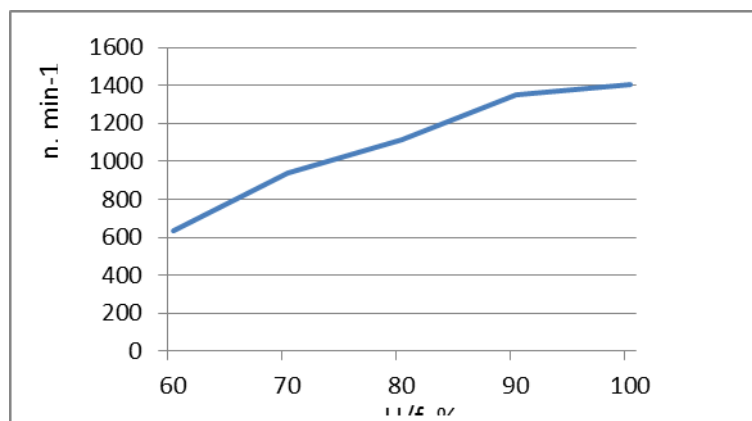
Графичните зависимости на момента, статортния ток и скоростта на двигателя като функция на напрежението и честотата са показани на фиг.3.1, фиг.3.2. и фиг.3.3.



Фиг.3.1 Графични зависимости на $M=f(U/f)$



Фиг.3.2 Графични зависимости на $I_s=f(U/f)$



Фиг.3.3 Графична зависимост $n=f(U/f)$

От графиките се установява, че с пропорционалното намаляване на напрежението и честотата на захранващото напрежение, скоростта на двигателя намалява, а въртящият момент се запазва постоянен. Това се дължи на константното натоварване на асинхронната машина. В таблица 3.1 е представен и статорния ток на двигателя при различните честоти, който остава относително постоянен в хода на изследването. Това е нормално, тъй като въртящият момент на двигателя се определя от консумирания ток, което показва, че промяната на единия параметър ще доведе до изменението на другия. Получените резултати в голяма степен доказват адекватността на разработения модел.

3.2. Изследване на механичните характеристики на модел на асинхронния двигател.

За разлика от честотното изследване от предходната точка, тук е зададено променливо натоварване като за всяко отношение на напрежението и честотата са снети механичните регулировъчни характеристики. В таблица 3.2. са нанесени резултатите при $U/f = 100\%$ от номиналните им стойности.

Таблица 3.2

M, N.m	0	2	4	6	8	10	12
$\omega_r, \text{rad}^{-1}$	157	155.7	153.8	152	150	148	145.8
n, min ⁻¹	1500	1487	1470	1452	1433	1414	1393

M, N.m	14	16	18	19	20	20,5	21
$\omega_r, \text{rad}^{-1}$	143.3	140.4	137.2	135	133.5	132.4	131
n, min ⁻¹	1369	1342	1310	1293	1275	1265	1254

В таблица 3.3. са нанесени стойностите на механичната характеристика при $U/f = 90\%$ от номиналните им стойности.

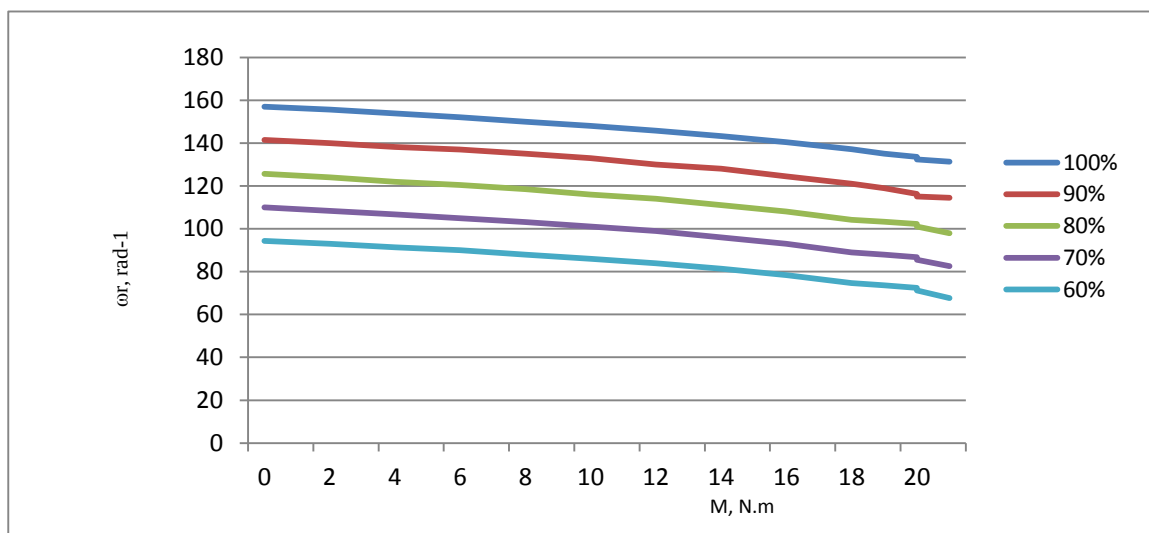
Таблица 3.3

M, N.m	0	2	4	6	8	10	12
$\omega_r, \text{rad}^{-1}$	141.5	140	138.2	137	135	133	130
n, min ⁻¹	1352	1338	1326	1312	1289	1270	1242

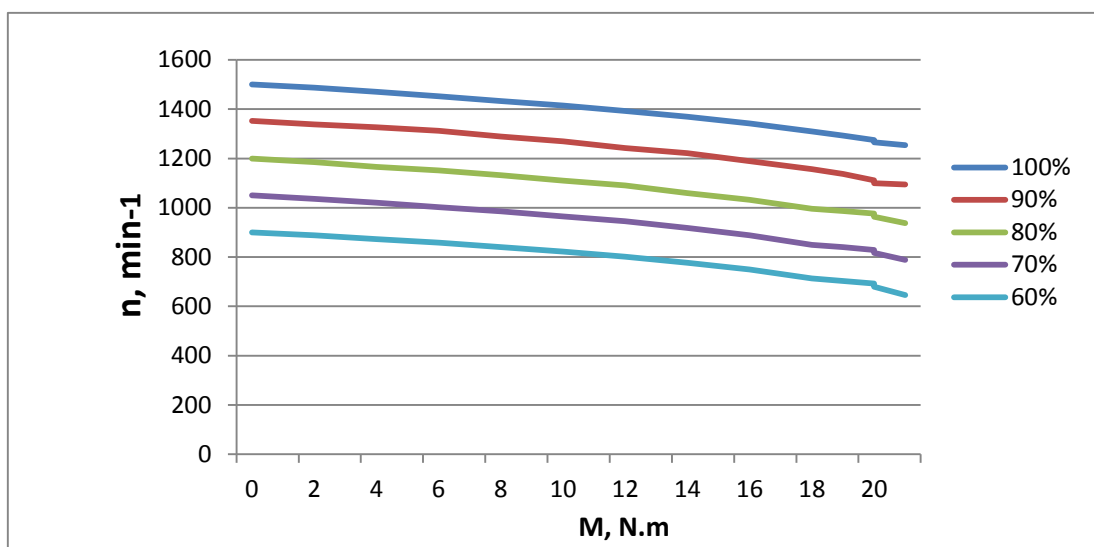
M, N.m	14	16	18	19	20	20,50	21
$\omega_r, \text{rad}^{-1}$	128	124.5	121	119	116.3	115.1	114.5
n, min ⁻¹	1222	1189	1156	1137	1111	1100	1095

От данните от таблиците се установи, че с увеличаване на въртящия момент M , скоростта на двигателя намалява. По същият начин реагират трифазните асинхронни двигатели в действителност.

На база на получените експериментални данни на фиг.3.4 и фиг.3.5 са построени графичните зависимости на момента M от скоростта на въртене на ротора ω_r и оборотите n .



Фиг.3.4. Графична зависимост $\omega_r = f(M)$ при различно процентно отношение на $U/f = \text{const}$



Фиг.3.5. Графична зависимост $n = f(M)$

От фиг.3.4 и фиг.3.5 може да се установи, че отделните характеристики запазват своята твърдост и са успоредни по между си. Друга характерна особеност е, че критичният момент им е един и същ, което се определя от избрания метод за честотно управление. Тези резултати доказват коректната и адекватна работа на разработения модел.

3.3. Експериментално изследване на трифазен асинхронен двигател тип АО-901-4 при честотно управление.

Изследванията са направени с помощта на трифазен асинхронен двигател тип АО-901-4, с мощност 1,5kW, напрежение 380/220- Y/Δ; ток-6.39/3.7A; обороти - 1410min⁻¹; механична спирачка за натоварване на асинхронния двигател с изменящо се натоварване посредством обтяжка; честотен преобразувател „ALTIVAR”-ATV-12U15M2 на фирма „Telemecanique” захранван с 220V монофазно напрежение.



Фиг.3.8. Снимка на реализираната постановка

Използвана е измервателна апаратура, която включва: електронен мултицет MAS 8030B - 2бр. и електронен оборотомер.

3.3.1. Резултати от изследването на трифазен асинхронен двигател тип АО-901-4

При изследването на трифазен асинхронен двигател тип АО-901-4 са свалени характеристиките (консумация на ток, напрежение, обороти) при различни честоти (12Hz, 25Hz, 50Hz и 60Hz) на празен ход и под товар.

Стойностите на празен ход са показани в таблица 3.9.

Таблица 3.9

Mсн[N.m]	0	0	0	0
f[Hz]	12	25	50	60
I [A]	0.29	0.48	0.50	0.33
U [V]	164	168	172	176
n [min ⁻¹]	374	759	1410	1806

В таблица 3.10. са отразени характеристиките (консумация на ток, напрежение, обороти) при различни честоти при товар от 2.6 N.m.

Таблица 3.10

$M_{сп}[N.m]$	2.6	2.6	2.6	2.6
$f[Hz]$	12	25	50	60
$I [A]$	0.55	0.59	0.52	0.46
$U [V]$	230	220	210	200
$n [min^{-1}]$	384	772	1 524	1 826

На таблица 3.11. са представени характеристиките (консумация на ток, напрежение, обороти) при различни честоти при товар от 5 N.m.

Таблица 3.11

$M_{сп}[N.m]$	5	5	5	5
$f[Hz]$	12	25	50	60
$I [A]$	0.92	0.80	0.73	0.84
$U [V]$	230	210	200	195
$n [min^{-1}]$	395	780	1 538	1 756

На таблица 3.12. са представени характеристиките (консумация на ток, напрежение, обороти) при различни честоти при товар от 6.8N.m.

Таблица 3.12

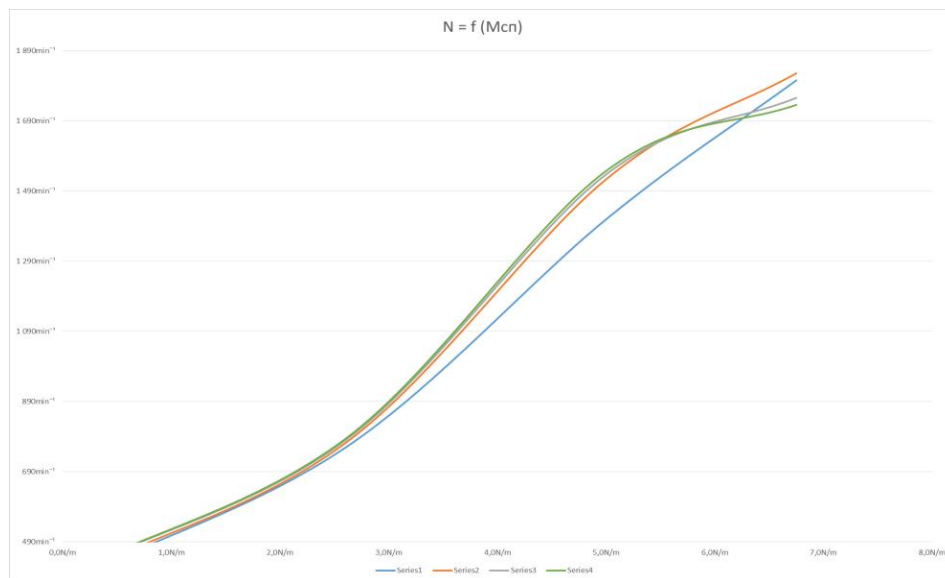
$M_{сп}[N.m]$	6.8	6.8	6.8	6.8
$f[Hz]$	12	25	50	60
$I [A]$	1.05	0.90	1.00	1.12
$U [V]$	230	203	190	190
$n[min^{-1}]$	396	784	1 548	1 736

На таблица 3.13. са нанесени стойностите на характеристиките на оборотите във функция от $M_{сп}$. при мрежови честоти 12Hz, 25Hz, 50Hz и 60Hz.

Таблица 3.13

$f[Hz]$	12	25	50	60
0.0N.m	374	759	1 410	1 806
2.6N.m	384	772	1 524	1 826
5.0N.m	395	780	1 538	1 756
6.8N.m	396	784	1 548	1 736

На фиг.3.22 са представена графичните зависимости на оборотите във функция от $M_{сп}$. при мрежови честоти 12Hz, 25Hz, 50Hz и 60Hz.



Фиг.3.22. Графична зависимост $n = f(M_{cn})$

Натоварването на асинхронния двигател при различни скорости оказва силно влияние върху основните енергийни показатели- к.п.д. и $\cos\phi$. Използването на честотно регулиране води до видима икономия на електроенергия. Токът на двигателя при едни и същи стойности на товара и различни стойности на честотата на захранващото напрежение играе в много тесни граници. При управление на двигателя чрез честотен преобразувател, токът през двигателя се променя плавно за различните стойности на товара.

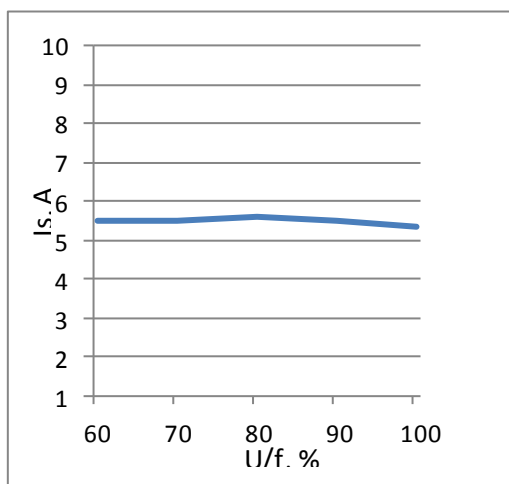
3.4. Изследване на модела на трифазен асинхронен двигател чрез векторно управление, реализиран в Simulink на MATLAB

При проектирането на система за векторно управление към модела на трифазния асинхронен двигател от фиг.2.11. са добавени нови блокове като генератор на импулси, трифазен инверторен блок и блок за векторно управление. Генераторът на импулси е този, с който се генерират импулси за управление на инвертора. Едно от най-важните предимства на системите за векторно управление на асинхронни трифазни двигатели е разделното управление на момент (скорост) и магнитен поток. Това се извършва от два отделни ПИ-регулатора, като в тях се компенсира разликата между действителните и зададените стойности на магнитен поток и скорост. Блоквата реализация на векторно управление е представена на фиг.3.24. Първоначално в суматор се сравняват двете стойности на ω_r и ω_r^* , като разликата между тях се компенсира в ПИ регулатор по скорост, на изхода на който се получава напречната компонента (реактивната) компонента на статорния ток в синхронизирана система I_{qs}^* .

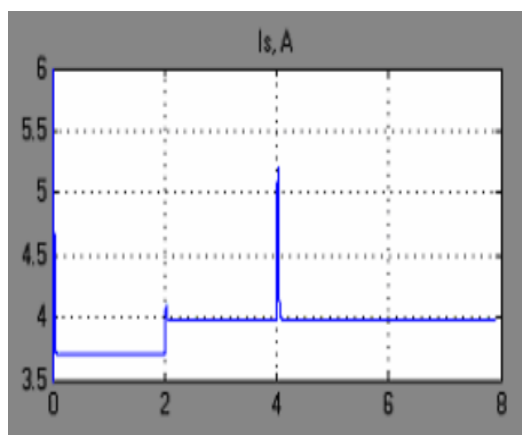
При това изследване целта е да се установи динамиката на управление на проектираната система, както и времената за протичане на преходните процеси. За това моделът на двигателя се натоварва с различни статични моменти и се задава различна скорост на ротора. В резултат на това се изследват статорен ток, напрежение и зададена и действителна скорост на ротора.

От двете фигури може да се установи, че преходните процеси протичат в рамките на $0,1 \div 0,2s$, което дава предпоставка да се представи високата динамика на управление. От резултатите, получени от изследването се вижда, че при малък статичен момент входните напрежения са с по-голяма амплитуда, а при увеличаване на натоварването амплитудата е по-малка.

На база на тези резултати може да се заключи, че в пълна сила те потвърждават теорията на регулаторите за векторно управление. Това доказва коректната работа на системата и нейната ефективност, в следствие на високата динамика на регулиране.



Фиг.3.29 Графична зависимост $I_s=f(U/f)$ при честотно управление по закона $U/f=const$



Фиг.3.30 Графика на I_s при векторно управление

При направеният сравнителен анализ на получените резултати от фиг.3.29 и фиг.3.30 се установява, че при честотното управление на модела на асинхронния двигател консумирания статорен ток е около $5,5A$, а при векторното управление е около $4A$. Това е направено с цел да се докаже по-голямата енергийна ефективност на метода за векторно управление, при използването на който двигателя черпи по-малък статорен ток.

Системите за векторно управление доказаха, че използването им води не само до повишаване качеството на управление, но и до спестяване на значително количество електроенергия, което е от голямо значение в съвременните икономически условия.

Изводи към глава 3:

- Направени са изследвания на трифазен асинхронен двигател с накъсо съединен ротор с така предложения модел при:
 - честотно управление по закона $U/f=const$;

- променливо натоварване;
- векторно управление.
- Синтезиран е усъвършенстван модел на асинхронен двигател чрез векторно управление, реализиран в Simulink на MATLAB.
- Представени са резултати от експерименталните изследвания на системата при различните методи за управление.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТВАНЕ И ПРИЛАГАНЕ НА НОВИ РЕШЕНИЯ ЗА ЗАЩИТА НА ФУНКЦИОНАЛНИТЕ БЛОКОВЕ НА СИЛОВАТА ЧАСТ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА ЗА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ

За устойчива работа на силовата част на всяко вариантно решение на енергоефективна система за електрозадвижване е необходимо да се използва конкретна защита. Оказва се, че най-широко приложение на такива защиты намират тези, имащи електронна реализация. За това в настоящата глава обект на внимание са именно такъв клас защиты.

Разработена и предложена е методика за подобрен синтез на тази група за защита с помощта на аналитични изрази, отчитащи едновременно динамичните параметри на прибора и на товара. За целта е необходимо да се направят аналитични изследвания на зависимостта на стойността на защитния кондензатор от динамичните параметри на товара. Нивото на тази глава значително е повишено от разработеното и предложено вариантно решение на електронно стъпало, реагиращо както за положителната, така и за отрицателната полуваля на приложеното върху управляемия полупроводников прибор (симистор) променливо напрежение.

4.1. Разработване на методика за ограничаване на скоростта на нарастване на напрежението върху симисторни комутиращи устройства.

При използването на комутиращи устройства в силовите електрически вериги, при които скоростта на изменение на напрежението е по-голяма от максимално допустимата на тиристора, респективно симистора, е възможно нежелано включване без да се подава отпушващ сигнал към управляващия електрод. Отстраняването на нежеланото включване (отпушване) поражда необходимостта от ограничаване скоростта на изменение на напрежението, прилагано към полупроводниковия комутиращ прибор. Това ограничаване е особено необходимо при реверсивните комутиращи устройства, променящи поредността на две от фазовите напрежения на трифазна система, захранваща консуматор с активно-индуктивен характер и противоелектродвижещо напрежение. Такъв консуматор се явява асинхронният електродвигател с навит или накъсо съединен цилиндричен или конусен ротор. В този случай нежеланото отпушване на прибора води до късо съединение и повреда на комутиращото устройство.

Подходът за ограничаване на $\frac{dU}{dt}$ се състои в използване на един или група елементи, паралелно включени към полупроводниковия прибор.

4.2. Синтез на специфична защита за силовата част на енергоефективна система за електрозадвижване.

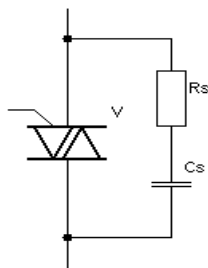
Устойчивостта на всяка енергоефективна система за електрозадвижване в значителна степен зависи от структурата на полупроводниковия преобразувател, селективността на неговата електронна защита, характера на товара му и от вида на статичния момент на задвижвания производствен механизъм. Големината на този момент може да бъде циклична или нециклична функция на изминатия път, да се променя

линейно, нелинейно или степенно на скоростта и да бъде константна величина извън зоната на сухото триене.

От своя страна специфичната защита на полупроводниковия преобразувател на енергоефективната система има много често определящо значение за нейната устойчивост и висока експлоатационна надеждност. Именно специфичността на защитата има приоритетно предназначение да създаде необходимите условия за нормална и безаварийна работа на полупроводниковия преобразувател, изграждащ силовата част на енергоефективната система за електрозадвижване. Тя е необходима, както при активен характер на товара на полупроводниковия преобразувател, така също и при активно-индуктивен и особено при активно индуктивен с противо електродвижещо напрежение .

Това се налага от обстоятелството, че върху управляемия полупроводников прибор (тиристор или симистор) се прилага напрежение, което нараства с много голяма скорост в права посока и той може да премине в проводящо състояние дори и без да е подаден отпушващ импулс.

За ограничаване на скоростта на нарастване на напрежението в права посока най-често се използва гасяща RC група, при която съпротивлението R варира от 10Ω до 470Ω , а капацитетът C от $0,1\mu F$ до $4\mu F$ (фиг.4.8.)



Фиг.4.8. RC група, ограничаваща скоростта на нарастване на напрежението

За осигуряване на оптимален характер на защита избора на стойностите на елементите на гасящата група изисква такъв синтез, при който се използват аналитични изрази, отчитащи едновременно динамичните параметри на симистора и на товара.

Именно тези аналитични изрази позволяват близък до оптималния синтез на специфичната защита, защото в тях участват едновременно динамичният параметър на товара – неговата индуктивност L_T и на симистора – каталожната стойност на скоростта на нарастване на напрежението $\left(\frac{du}{dt}\right)$ върху симистора. Така стойността на кондензатора C_s

се изчислява с изказа $C = \frac{U_1^2}{L_T \cdot \left(\frac{dU}{dt}\right)^2}$, а стойността на съпротивлението R_s се определя по

$$\text{изказа} \quad R = 1,465 \sqrt{\frac{L_T}{C}} \log \frac{U_1}{U_2} - R_T.$$

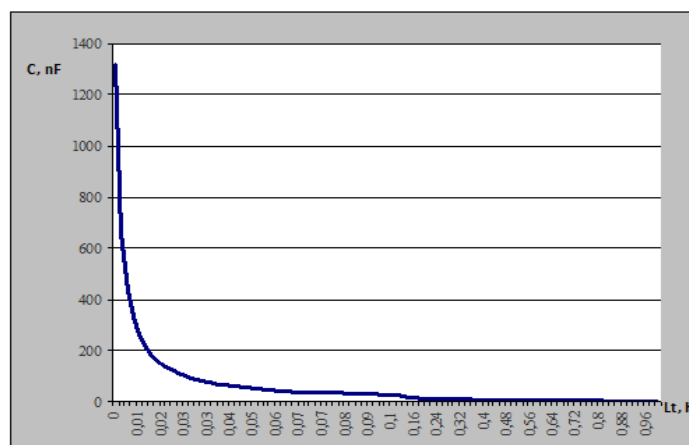
4.2.1. Изследване зависимостта на стойността на защитния кондензатор от динамичните параметри на товара.

За това аналитично изследване е целесъобразно то да се проведе в сравнително широк диапазон на изменение на индуктивността на товара. Като такъв се приема, че тя (индуктивността на товара) се изменя от $0.002H$ до $1H$. (Скорост за нарастване на напрежението $\frac{du}{dt} = 4 \frac{V}{\mu s}$). За по-голяма яснота диапазонът е разбит на три поддиапазона, както следва: първият обхваща стойности от $0,002H$ до $0,01H$ – стъпката е две хилядни от H , при вторият стъпката е една стотна, а при третият - тя е една десета от H .

Числените стойности за посочените поддиапазони са представени в таблица 4.1, а графичното изображение на аналитичното изследване – на фиг. 4.9

Таблица 4.1

N	Lt(H)	C(nF)	N	Lt(H)	C(nF)
1	0,002	1444,53	13	0,090	32,10
2	0,004	722,26	14	0,100	28,89
3	0,006	481,51	15	0,200	14,44
4	0,008	361,13	16	0,300	9,63
5	0,010	288,90	17	0,400	7,22
6	0,020	144,45	18	0,500	5,78
7	0,030	96,30	19	0,600	4,82
8	0,040	72,23	20	0,700	4,13
9	0,050	57,78	21	0,800	3,61
10	0,060	48,15	22	0,900	3,21
11	0,070	41,27	23	1,000	2,89
12	0,080	36,11	-	-	-



Фиг. 4.9. Графично изображение на аналитичното изследване на зависимостта на стойността на защитния кондензатор от индуктивността на товара

Видно е, че за посочения първи поддиапазон минималното изменение на индуктивността на товара е съпроводено с интензивно изменение на стойността на квазиоптимално изчисления защитен кондензатор (фиг.4.9). Тази интензивна зависимост значително намалява по време на втория под интервал и най-незначително е при последния подинтервал, съответстващ на съществено изменение на индуктивността на товара.

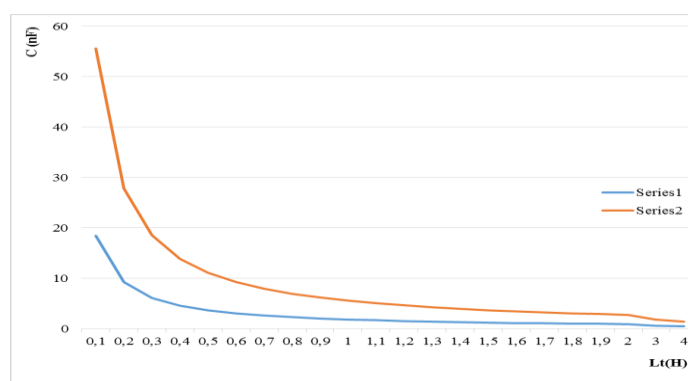
От посоченият анализ става ясно, че за да бъде наистина ефективна защитата трябва определено да се знае как и в какъв диапазон се изменя индуктивността на товара.

4.2.1.1. Изследване на стойността на защитния кондензатор при скорост за нарастване на напрежението $\frac{du}{dt} = 5 \frac{V}{\mu s}$ за еднофазно захранване с променливо синусоидално напрежение $230V \pm 10\%$ и трифазно синусоидално напрежение $400V \pm 10\%$ (Индуктивността на товара се изменя от 0.1H до 4H)

Числените стойности от изследването са представени в таблица 4.2, а графичното изображение на аналитичното изследване – на фиг. 4.10.

Таблица 4.2

Lt(H)	U1(V)	U2(V)	C1(nF)	C2(nF)
0,1	215	373	18,49	55,65
0,2	215	373	9,245	27,83
0,3	215	373	6,16	18,55
0,4	215	373	4,62	13,91
0,5	215	373	3,7	11,13
0,6	215	373	3,08	9,28
0,7	215	373	2,64	7,95
0,8	215	373	2,31	6,96
0,9	215	373	2,05	6,18
1	215	373	1,85	5,56
1,1	215	373	1,68	5,06
1,2	215	373	1,54	4,64
1,3	215	373	1,42	4,28
1,4	215	373	1,32	3,98
1,5	215	373	1,23	3,71
1,6	215	373	1,16	3,48
1,7	215	373	1,09	3,27
1,8	215	373	1,03	3,09
1,9	215	373	0,97	2,93
2	215	373	0,92	2,78
3	215	373	0,62	1,86
4	215	373	0,46	1,39

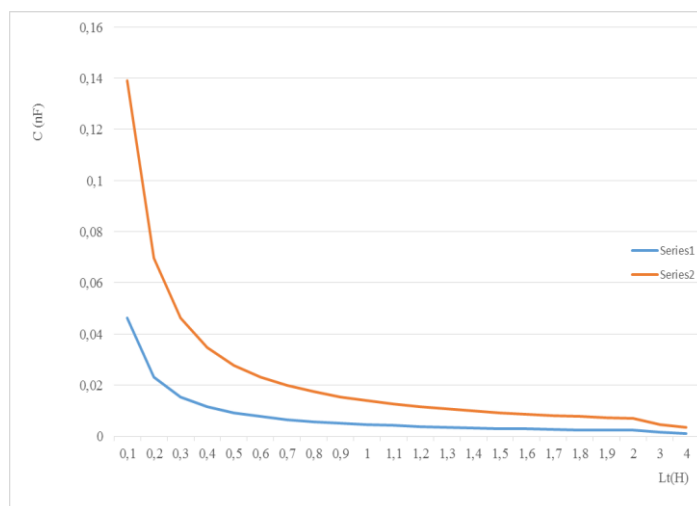


Фиг. 4.10. Графично изображение на аналитичното изследване на зависимостта на стойността на защитния кондензатор от индуктивността на товара при $\frac{du}{dt} = 5 \frac{V}{\mu s}$

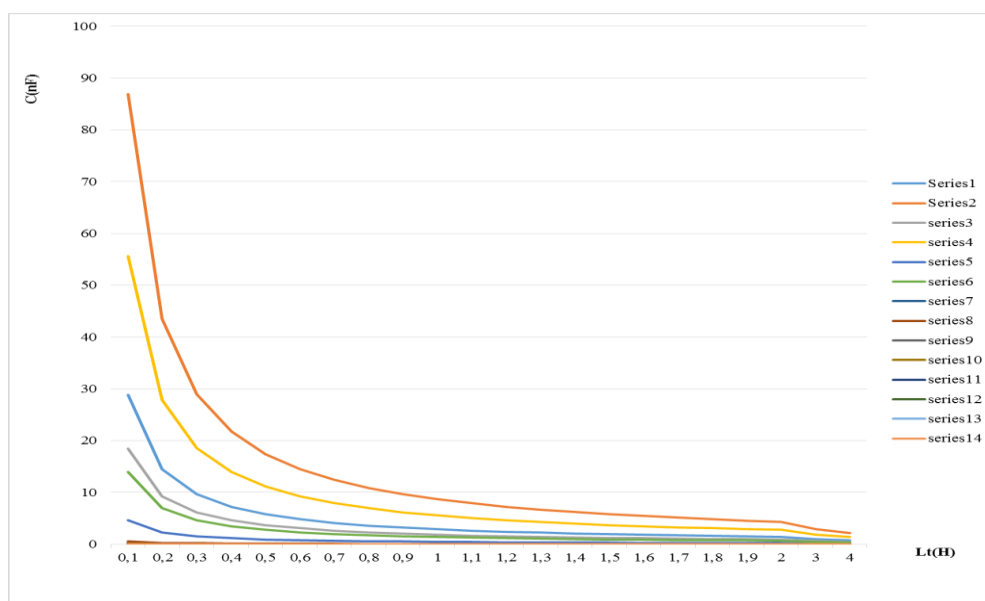
4.2.1.4. Изследване на стойността на защитния кондензатор при скорост за нарастване на напрежението $\frac{du}{dt} = 100 \frac{V}{\mu s}$ за еднофазно захранване с променливо синусоидално напрежение $230V \pm 10\%$ и трифазно синусоидално напрежение $400V \pm 10\%$

Таблица 4.5

Lt(H)	U1(V)	U2(V)	C1(nF)	C2(nF)
0,1	215	373	0,046225	0,139129
0,2	215	373	0,0231125	0,0695645
0,3	215	373	0,01540833	0,046376333
0,4	215	373	0,01155625	0,03478225
0,5	215	373	0,009245	0,0278258
0,6	215	373	0,00770417	0,023188167
0,7	215	373	0,00660357	0,019875571
0,8	215	373	0,00577813	0,017391125
0,9	215	373	0,00513611	0,015458778
1	215	373	0,0046225	0,0139129
1,1	215	373	0,00420227	0,012648091
1,2	215	373	0,00385208	0,011594083
1,3	215	373	0,00355577	0,010702231
1,4	215	373	0,00330179	0,009937786
1,5	215	373	0,00308167	0,009275267
1,6	215	373	0,00288906	0,008695563
1,7	215	373	0,00271912	0,008184059
1,8	215	373	0,00256806	0,007729389
1,9	215	373	0,00243289	0,007322579
2	215	373	0,00231125	0,00695645
3	215	373	0,00154083	0,004637633
4	215	373	0,00115563	0,003478225



Фиг. 4.13. Графично изображение на аналитичното изследване на зависимостта на стойността на защитния кондензатор от индуктивността на товара при $\frac{du}{dt} = 100 \frac{V}{\mu s}$



Фиг. 4.16. Обобщено графично изображение на аналитичното изследване при

$$\frac{du}{dt} = 4,5,10,50,100,500,1000 \frac{V}{\mu s}$$

Анализът на обобщеното графично изображение на аналитичното изследване при $\frac{du}{dt} = 4,5,10,50,100,500,1000 \frac{V}{\mu s}$, което е представено на фиг.4.16, дава основание да се твърди, че изчислената стойност на защитния кондензатор ще има приблизително постоянна стойност, когато индуктивността на товара е значителна.

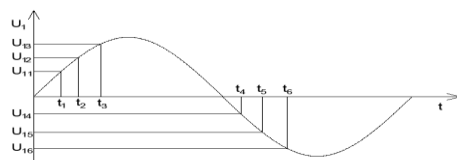
Тези важни в теоретичен аспект твърдения е необходимо да се отчитат при синтезиране на стойността на защитния кондензатор, когато изменението на индуктивността е несъществено и самата тя има малко значение.

Изнесеното до тук потвърждава както правилността, така и целесъобразността от

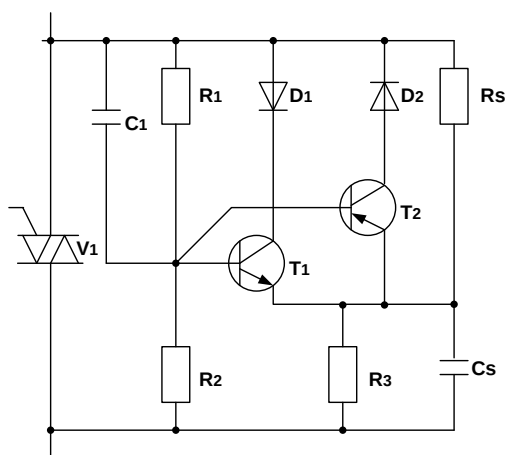
приложение на предлагания подход за близък до оптималния синтез на елементите от възела за защита от превишаване на скоростта на напрежението, прилагано върху силовия полупроводников елемент от силовата част на системата. Горното е от особено значение и при синтеза на полупроводникова реализация на силовата част на енергоефективни системи за електрозадвижване.

4.3. Разработване и прилагане на вариантното решение на електронно стъпало, ограничаващо скоростта на нарастване на напрежението върху елементите на силовата част на енерго ефективна система за електрозадвижване.

Известно е, че комутационните процеси при включване и изключване на консуматори, чиято мощност достига до няколко мегавата, пораждат както пренапрежение, така и промяна в неговата скорост на нарастване $\frac{du}{dt}$. Това явление се отразява неблагоприятно върху нормалната работа на всеки полупроводников преобразувател с параметричен, честотен, векторен и ориентиран принцип на действие, поради което се налага използване и приложение на конкретно вариантното решение на електронна защита.



фиг.4.17. Графично изображение на моментните стойности на приложеното напрежение



фиг.4.18. Електронно стъпало, ограничаващо скоростта на нарастване на приложеното върху симистора напрежение

Принципът на действие на транзисторното защитно стъпало се дължи на паралелното свързване на изчислената стойност на съпротивлението R_s от групата за ограничаване на скоростта на нарастване на приложеното върху симистора напрежение и моментните стойности на съпротивлението на съответния диод (D_1 , D_2) и съпротивлението на колекторните „р-п“ преходи на транзисторите (T_1 , T_2). Именно тези последователно свързани помежду си съпротивления имат големина, зависещи от моментните стойности в точки 1, 2, 3 от фиг.4.17 на приложеното напрежение. Те обуславят и желаната различна стойност на еквивалентното съпротивление R_{se} от ограничаваща RC група. Неговата стойност за точка 1 има следния запис:

$$R_{se1} = \frac{R_s \cdot (r_{D11} + r_{ke11})}{R_s + r_{D11} + r_{ke11}} \quad (4.34)$$

където R_s е изчислената стойност на съпротивлението от RC групата, r_{D11} е съпротивлението на отпушения диод D_1 за точка 1 от фиг.4.17, r_{ke11} е съпротивлението на колекторния преход на транзистора T_1 за същата точка 1, а R_{se1} е еквивалентната стойност на съпротивлението от RC групата за точка 1.

По аналогичен начин стойността на еквивалентното съпротивление R_{se2} за точка 2 от фиг.4.17 ще има следния запис:

$$R_{se2} = \frac{R_s \cdot (r_{D12} + r_{ke12})}{R_s + r_{D12} + r_{ke12}} \quad (4.35)$$

където индекс 2 означава съответното съпротивление за точка 2 от фиг.4.17.

По аналогия за точка 3 записът е :

$$R_{se3} = \frac{R_s \cdot (r_{D13} + r_{ke13})}{R_s + r_{D13} + r_{ke13}} \quad (4.36)$$

Тогава записът за произволна точка i ще бъде:

$$R_{sei} = \frac{\prod R_s \cdot \sum (r_{D1i}, r_{ke1i})}{\sum R_s, r_{D1i}, r_{ke1i}} \quad (4.37)$$

При прилагане на отрицателната полуваля на напрежението u_1 транзисторът T_2 ще се отпужи. T_2 ще шунтира съпротивлението R_s от RC-групата и кондензаторът C_s започва да се зарежда като отново чрез R_2 въздейства на базисния ток i_2 на T_2 .

Стойността на еквивалентното съпротивление R_{se} от ограничаваща RC група за точка 4 има следния запис:

$$R_{se4} = \frac{R_s \cdot (r_{D24} + r_{ke24})}{R_s + r_{D24} + r_{ke24}} \quad (4.38)$$

където R_s е изчислената стойност на съпротивлението от RC групата, r_{D24} е съпротивлението на отпушения диод D_2 за точка 4 от фиг.4.17, r_{ke24} е съпротивлението на колекторния преход на транзистора T_2 за същата точка 4, а R_{se4} е еквивалентната стойност на съпротивлението от RC групата за точка 4.

По аналогичен начин стойността на еквивалентното съпротивление R_{se5} за точка 5 от фиг.4.17. ще има следния запис:

$$R_{se5} = \frac{R_s \cdot (r_{D25} + r_{ke25})}{R_s + r_{D25} + r_{ke25}} \quad (4.39)$$

където индекс 5 означава съответното съпротивление за точка 5 от фиг.4.17.

По аналогия за точка 6 записът е :

$$R_{se6} = \frac{R_s \cdot (r_{D26} + r_{ke26})}{R_s + r_{D26} + r_{ke26}} \quad (4.40)$$

Тогава за прилагане на напрежение в момент с обратна полярност записът за произволна точка j ще бъде:

$$R_{sej} = \frac{\prod R_s \cdot \sum(r_{D2j}, r_{ke2j})}{\sum R_s, r_{D2j}, r_{ke2j}} \quad (4.41)$$

С изнесеното до тук може да се отбележи, че се постига желания оптимум за ограничаване на скоростта на нарастване на напрежението върху управляем полупроводников прибор и се постига висока експлоатационна надеждност. Налице е мултиплициран характер на разработката, дължащ се на нейната оригиналност, новост и приложимост.

Изводи към четвърта глава:

- Разработена е теоретична методика за ограничаване на скоростта на нарастване на напрежението върху симисторни комутиращи устройства.
- Предложен е синтез на специфична защита от превишаване на скоростта на нарастване на напрежението върху силовата част на енергоефективна система за електрозадвижване.
- Приведени са графични изображения на резултатите от изследване на зависимостта на стойността на защитния кондензатор от динамичните параметри на товара.
- Предложено е разработено вариантно решение на електронно стъпало, ограничаващо скоростта на нарастване на напрежението върху елементите на силовата част на енерго ефективна система за електрозадвижване.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-приложните приноси в дисертацията са следните:

- Моделирани са режими на работа на трифазен асинхронен електродвигател чрез прилагане на различни по вид управление: честотно управление по закона $U/f=const$; натоварване със статични моменти, зависещи от честотата на въртене на ротора и векторно управление с разработения динамичен модел на асинхронен двигател, в Simulink на MATLAB.
- Синтезиран е подход и е разработена методика, осигуряваща специфична защита за надеждността на енергийно ефективна система за електрозадвижване.

Приложни приноси в дисертацията са:

- Представени са резултати от аналитично изследваните зависимости на величините на динамичния модел на трифазен асинхронен двигател, доказващи неговата стабилна и адекватна работа при прилагане на различни по вид управления.
- Направени са реални експерименти по разработените модели за оценка на някои режими на работа на асинхронния двигател.
- Разработено е схемно решение на електронно стъпало на специфична защита от превишаване на скоростта на нарастване на напрежението върху силовата част на енергоефективна система за електрозадвижване.
- Приведени са графични изображения на резултатите от изследване на зависимостта на стойността на защитния кондензатор от динамичните параметри на товара.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

- [1] Кремена Димитрова, „Вариантно решение на транзисторно защитно стъпало“, Известия на ТУ-Сливен, бр.3/2014г., ISSN 1312-3920
- [2] Даря Сиракова, Кремена Димитрова, „Относно специфични особености на структурна схема на система за електрозадвижване с опорен вектор главно потокосцепление“, Известия на ТУ-Сливен”, бр.3/2014г., ISSN 1312-3920.
- [3] Кремена Димитрова, Даря Сиракова, „Уравнения, описващи динамиката на обекта за векторно управляема високоефективна система за електрозадвижване“, книга 3, 2014 „Машиностроене и машинознание“- Издателство на ТУ-Варна, ISSN 1312-8612
- [4] Кремена Димитрова, „Квазиоптимален синтез на специфична защита за силовата част на енергоефективна система за електрозадвижване“, ICTTE 2014, Ямбол, ISSN 1314-9474
- [5] Кремена Димитрова, Камен Сейменлийски, „Вариантно решение на контур за регулиране на модула на вектора по главното потокосцепление за трифазен асинхронен електродвигател“, годишник на Бургаски Свободен Университет 2014г.
- [6] Кремена Димитрова, Пенчо Георгиев, „Разработване на контур за регулиране на електромагнитния момент на асинхронен двигател в система за управление по вектора на главното потокосцепление на двигателя“, годишник на университет „Проф. д-р Асен Златаров“ гр.Бургас 2014г.
- [7] Гинко Георгиев, Кремена Димитрова, Силвия Лецковска, Камен Сейменлийски „Възможности за решаване на някои проблеми при векторно управление на трифазен асинхронен двигател“, годишник на Бургаски Свободен Университет 2015 г. том XXXII
- [8] Кремена Димитрова, „Относно зависимостта на стойността защитния кондензатор от динамичните параметри на симистора и на товара“ - под печат

ENERGY EFFICIENT OF ELECTRIC DRIVINGS

Kremena Dimitrova

Resume

Electric motors are the main consumers of electric power in the world, and the attention of this dissertation is increasingly being focused on creating and developing new management methods characterizing with high efficiency and lower power consumption.

Some of the most important results obtained in this study are as follows:

1. Modes of operation of a three-phase asynchronous motor have been modeled by applying different control modes: frequency control on the law $U / f = \text{const}$; load with static torque depending on rotor speed and vector control with the developed dynamic asynchronous engine model in MATLAB's Simulink;
2. An approach has been synthesized and a methodology has been developed to provide specific protection for the reliability of an energy-efficient electrical drive system.
3. The results of analytically investigated dependencies of the dynamic model of a three-phase asynchronous motor are presented, proving its stable and adequate operation in the application with different types of controls
4. Real experiments have been made on the developed models for estimating some modes of operation of the asynchronous motor.
5. A schematic solution of an electronic block for a specific overvoltage protection of the power part of the energy efficient electric drive system.
6. Graphical images of the results of the dependence between value of the protective capacitor from dynamic parameters of the load.

This dissertation presents a methodology providing specific protection of the reliability of an energy-efficient electrical drive system. In the dissertation is proposed methodological approach for modeling and simulation of technical parameters of asynchronous motor in order to optimize their performance.

The obtained results are important for asynchronous motor control and they can be used in practice.