МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря Сікорського»

## О.І. Толочко

**ПАКЕТИ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ПЕОМ**

**Частина 1**

**MATLAB, SIMULINK, SIMPOWERSYSTEM ОСНОВИ ПРОГРАМУВАННЯ**

**Лабораторний практикум**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалвра*

*за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,*

Київ

КПІ ім. Ігоря Сікорського 2020

Рецензент: *Островерхов М.Я.,* доктор технічних наук, професор, завідувач

кафедри теоретичної електротехніки

Відповідальний редактор: *Марченко А.А.,* кандидат технічних наук, доцент кафедри

автоматизації енергосистем

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 10 від 24.02.2020 р.) за поданням факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 5 від 24.02.2020 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

*Толочко Ольга Іванівна,* д-р техн. наук, проф.

MATLAB, SIMULINK, SIMPOWERSYSTEM ОСНОВИ ПРОГРАМУВАННЯ

*MATLAB, Simulink, Simpowersystem*. Основи програмування [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з дисципліни «Пакети прикладних програм», ч. I, спеціалізація "Системи управління виробництвом і розподілом електроенергії" / О. І. Толочко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5189 кБ). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 226 с.

Навчальний посібник присвячено питанням застосування студентами спеціальності 141

«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» системи програмування *MATLAB* та її додатку *Simulink* з бібліотеками блоків *Simpowersystem*. Посібник отримує методичні вказівки до 16 лабораторних занять. Вказівки до кожного заняття складаються з теоретичних положень, завдання, рекомендацій щодо його виконання та контрольних запитань. Лабораторні роботи виконуються на комп’ютерах в середовищі пакету *MATLAB* та його додатку *Simulink*. Завдання до практичних занять спрямовані на застосування алгоритмічної мови програмування *MATLAB* і програми структурного математичного моделювання *Simulink* у купі з бібліотеками віртуальних фізичних блоків додатку *Simpowersystem* при розв‘язанні прикладних задач з галузі електротехніки, електромеханіки, електроніки та енергетики.

Посібник призначений для використання бакалаврами спеціальності 141

«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» при вивченні дисципліни «Пакети прикладних програм для ПЕОМ», ч.1 та можуть бути використані студентами навчальної освітньої програми при вивченні дисципліни «Математичні методи в електромеханіці» і

«Моделювання та аналіз електромеханічних систем в МАТЛАБ», а також при виконанні курсових, бакалаврських та магістерських робіт.

© О.І. Толочко, 2020

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020

# ВСТУП

Знання сучасних програмних пакетів є невід’ємною складовою процесу підготовки кваліфікованих кадрів, оскільки такі знання суттєво підвищують конкурентоспроможність молодих фахівців. Тому доцільним є введення в навчальний процес дисциплін, що дають можливість широкого ознайомлення із можливостями таких пакетів.

Однією з найскладніших задач, що виникають при дослідженні складних динамічних систем керування енергетичними, електротехнічними та електромеханічними об’єктами, є розрахунок перехідних процесів. Їх можна розраховувати як за допомогою програм, написаних будь-якою алгоритмічною мовою, що потребує від дослідника достатньо високої кваліфікації в галузі програмування та обчислювальної математики, так і за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяє користувачу задавати моделі у вигляді математичних рівнянь або у вигляді структурних схем, обирати методи розв‘язання диференційних рівнянь та їх параметри в діалоговому режимі та отримувати результати у зручній формі.

Серед спеціалізованих систем програмування однією з найбільш розповсюджених натепер є система *MATLAB* фірми *Mathworks*, що отримує у своєму складі об‘єктно-орієнтовану алгоритмічну мову, розвинутий графічний інтерфейс, засоби розв‘язання задач лінійної алгебри, математичного аналізу, оптимізації, обчислювальної математики, цифрової обробки сигналів, структурного математичного та віртуального фізичного моделювання, аналізу і синтезу систем автоматичного керування та багато інших інструментів [1-6].

Основою для розробки моделей в середовищі програми структурного математичного моделювання *Simulink* пакета *MATLAB* є бібліотеки блоків, з котрих складаються структурні схеми систем автоматичного управління, що повинні бути дослідженими [7-9].

Наразі все більшу актуальність при дослідженні складних електротехнічних об‘єктів набуває віртуальне фізичне моделювання, яке не

потребує від користувача знання математичного опису досліджуваного процесу, потребує менше часу для налаштування, є більш наочним, має розвинені засоби візуалізації та анімації результатів досліджень. Такі моделі можна створювати і в *Simulink* шляхом використання віртуальних блоків бібліотек *SimPowerSystems (SPS)*. Блоки бібліотеки *SPS*, призначені для моделювання електричних та електромагнітних кіл, електронних пристроїв, електродвигунів і ліній електропередач, подано у вигляді позначень відповідних елементів на принципових електричних схемах [10-12]. Математичний опис окремих елементів цих бібліотек приховано від користувача, завдяки чому створюється ілюзія віртуального фізичного моделювання.

Маючи структурну математичну або віртуальну фізичну модель досліджуваного об’єкта, складену в програмному середовищі пакета *MATLAB*, можна не тільки отримати графіки перехідних процесів, а і всебічно проаналізувати його властивості у просторі часу, у просторі змінної Лапласа, побудувати частотні характеристики та карти розташування нулів-полюсів.

Лабораторний практикум з дисципліни «Пакети прикладних програм» умовно можна поділити на 3 частини: 1) основи програмування в пакеті *MATLAB* (лабораторні роботи 1-8): 2) основи структурного математичного моделювання в середовищі програми *Simulink* пакета *MATLAB* (лабораторні роботи 9-14), 3) основи віртуального фізичного моделювання електротехнічних та електромеханічних пристроїв і систем з використанням блоків бібліотек додатку *SimPowerSystems* програми *Simulink* пакета *MATLAB* (лабораторні роботи 15-16)*.* Виконання кожної лабораторної роботи завершується оформленням і захистом звіту. Студенти, що не підготували вчасно звіт, до виконання наступної лабораторної роботи не допускаються. Форма семестрового контролю –

диференційний залік.

Звіт з лабораторної роботи складається з титульного аркушу, завдання, викладення основних теоретичних положень, тексту програми та/або моделі

досліджуваного об‘єкта, результатів виконання програми та/або результатів моделювання, висновків.

Звіт оформлюється згідно з правилами оформлення науково-технічної документації. На титульному аркуші має бути відображеною назва університету, назва дисципліни, номер та назва лабораторної роботи, шифр групи, ПІБ виконавця, ПІБ та регалії викладача.

Основні вимоги до оформлення

* поля – верхнє та нижнє по 2 см, ліве 2,5 см, праве 0,5 см;
* текстова частина – шрифт Times New Roman, 14 пт., 1,5 інтервали, вирівнювання по ширині, абзац 1,25 см:
* формули – 14 пт. з вирівнюванням по центру або з абзацу;
* рисунки – нумеровані з підрисуночними підписами;
* графіки – з позначеннями осей та необхідними для розуміння текстами;
* тексти на рисунках і схемах моделей повинні мати розмір 12 пт.

***Лабораторна робота №14***

# СТРУКТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З НЕЗАЛЕЖНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

*Мета роботи*: навчитися досліджувати статичні та динамічні властивості реальних об‘єктів методом математичного моделювання.

## 14.1 Математичний опис об‘єкту моделювання

Двигун постійного струму (ДПС) з незалежним збудженням широко застосовується у регульованих електроприводах, що працюють у напружених повторно-короткочасних режимах і потребують забезпечення високої якості перехідних процесів. Такий двигун має обмотку якоря та обмотку збудження, що живляться від різних (незалежних) джерел живлення. Керування швидкості двигуна від 0 до номіналу в замкнених системах здійснюють за рахунок зміни напруги якоря, залишаючи напругу збудження постійною, при чому двигун спочатку збуджують номінальним потоком, а потім починають регулювати швидкість.

При складанні математичного опису будь-якого об‘єкту спочатку роблять деякі припущення, щоб спростити опис, відкинувши несуттєві особливості, але зберегти суттєві властивості досліджуваної системи. В даному випадку знехтуємо розмагнічувальною дією реакції якоря, падінням напруги на щітках та тертям, а індуктивність і активний опір якірного кола та сумарний момент інерції вважатимемо постійними величинами. Регулювання швидкості здійснюватимемо зміною напруги якоря при постійній напрузі збудження. При прийнятих припущеннях ДПС описується лінійними диференційними та алгебраїчними рівняннями [13]:

*U*я (*t*) *E*

д(*t*)  *U*я

(*t*)  *I*я

(*t*)*R*я

* *L*я

*dI*я (*t*) , (14.1)

*dt*

*M* (*t*)  *cI*я (*t*) , (14.2)

*M* (*t*)  *M*c

(*t*)  *M*

(*t*)  *J d*(*t*) , (14.3)

*j dt*

*E* д(*t*)  *c*(*t*) , (14.4)

де

*U*я , *I*я

* напруга та струм якоря;

*U*я

* падіння напруги у якірному колі;

*R*я, *L*я

* активний опір та індуктивність якоря;

*E* д,  – електрорушійна сила (ЕРС) та кутова швидкість двигуна;

*M* , *M*c, *M j* , – електромагнітний момент двигуна, момент статичного опору та динамічний момент;

*J* – момент інерції;

*c*  *k*зн; (14.5)

зн

* номінальний потік збудження двигуна;

*k*  *pN*

2*a*

*p*, *a*, *N*

* конструктивний коефіцієнт двигуна;
* кількість пар полюсів, паралельних гілок та активних проводників

відповідно.

Рівняння (14.1) називають ***рівнянням електромагнітної рівноваги якірного кола***, що складається за другим законом Кірхгофа. Рівняння (14.3) називають ***рівнянням руху*** двигуна, що складається за другим законом Ньютона для тіл обертального руху. Рівняння моменту (14.2) та ЕРС (14.4) свідчать про те, що при постійному потоку збудження електромагнітний момент двигуна є пропорційним струму якоря, а його ЕРС є пропорційною кутовій швидкості двигуна.

Для складання структурної схеми застосуємо 2 підходи. Згідно з першим напишемо ДР у нормальній формі Коші:

*dI*я (*t*)  *U*я (*t*)  *E* д (*t*)  *I*я (*t*)*R*я ,

*dt L*я

або в операторній формі –

*d*(*t*)  *M* (*t*)  *M* c (*t*) ,

*dt J*

*sI*я

(*s*)  *U*я (*s*)  *E* д (*s*)  *I*я (*s*)*R*я ,

*L*я

*s*(*s*)  *M* (*s*)  *M* c (*s*) .

*J*

Згідно з таким перетворенням ДР отримаємо структурну схему ДПС у просторі станів, як це показано на рис. 14.1.



*M* с

*U*я

*U*я

*sI*я

*I*я

*c*

*M*

*M j*

*s*



*R*я

*E*д

*c*

1

*s*

*J*

1

1

*s*

*L*я

1

Рис. 14.1. Структурна схема ДПС у просторі станів

Інший підхід полягає у тому, що ми в операторних рівняннях виконуємо приведення подібних сигналів та перегруповуємо їх так, щоб з одного боку від знаку рівності був тільки вихідний сигнал:

*U* (*s*)  *E*

(*s*)  *I*

(*s*)(*R*

* *L s*)  *R I*

 

(*s*) 1  *s* , (14.6)

*L*я

я д я я я я я  *R* 

 я 

*M* (*s*)  *M*c (*s*)  *M j* (*s*)  *Js*(*s*) . (14.7)

З отриманих рівнянь визначаємо передавальні функції якірного кола і механічної частини двигуна як відношення зображень вихідного сигналу до вхідного:

*W* (*s*) 

*I*я (*s*)

 *I*я (*s*)

 1/ *R*я

, (14.8)

я

де *T*я  *L*я / *R*я

*U*я (*s*) *E*

д(*s*)

*U*я (*s*)

*T*я *s* 1

(14.9)

– ***електромагнітна стала часу якірного кола***.

*W*м (*s*) 

(*s*) 

*M* (*s*)  *M* с (*s*)

(*s*) 

*M j* (*s*)

1 . (14.10)

*Js*

Передавальні функції від струму якоря до електромагнітного моменту та від кутової швидкості до проти-ЕРС двигуна є пропорційними ланками (див. рівняння (14.2), (14.4)):

*W* (*s*)  *M* (*s*)  *c* ,

*W* (*s*) 

(*s*)

 *c* . (14.11)

*IM*

*I*

я

(*s*)

*E* (*s*)

*E*

д

Структурна схема ДПС, складена за рівняннями (14.8), (14.2), (14.10) та (14.11) зображена на рис. 14.2.



*U* я

*U*я

*I* я

*c*

*M* с

*M*

*M j*



*E*д

*c*

1

*Js*

1/ *R*я *T*я *s* 1

Рис. 14.2. Структурна схема двигуна постійного струму з нерегульованим незалежним збудженням

Обидві структурні схеми в загальному випадку є взаємозамінними. Перша з них отримує інформацію не тільки про струм якоря та кутову швидкість двигуна, а ще й про їх похідні, тобто про темп зміни струму *dI*я (*t*) *dt* та про кутове

прискорення

*d*(*t*)

*dt*  (*t*). Крім того, *Simulink*-модель, побудована за першою

схемою, може працювати з ненульовими початковими умовами.

**14.2. Моделювання та аналіз перехідних процесів ДПС в режимі прямого пуску**

Simulink-модель ДПС в а.о. для дослідження реакції на стрибок напруги якоря з 0 до номінального значення показана на рис. 14.3, а перехідні процеси в цьому режимі – на рис. 14.4.



Run-Plot



Mc

1/Mn

To Workspace M/Mn

c

Ia

Mj

1

J.s

Mech2

1/w0

Scope1

Ua

w

w/w0

Armature1

w

To Workspace1

Ed

c

1/Ra Tav.s+1

Uan

0

M

Рис.14.3. *Simulink* -модель ДПС для дослідження прямого пуску

20 50

(*t*) / 0

Ta=Tan

*М* н

 *М* (*t*) /

(*t*) / *I*ян

*I*я

MKz/Mn

M(

Ta=0

Ta=Tan/2 Ta=Tan Ta=Tan\*2

t)/Ian

t)/Mn=Ia(

10

0

0

-10

1.5

1

0.5

-50

2

w(t)/w0 Tm=0.031

s

1

0

0 0.2 0.4 0.6 0.8 1

0

0 0.2 0.4 0.6 0.8 1

Рис. 14.4. Перехідні процеси при прямому пуску ДПС

Як бачимо, в досліджуваному режимі струм якоря і момент при зменшенні індуктивності якоря наближається до відповідних величин у режимі КЗ. Збільшення індуктивності знижує темп наростання цих величин і зменшує пікові значення, але вони все ж залишаються не припустимо великими. Цей віртуальний експеримент доводить необхідність регулювання напруги якоря.

**14.3. Моделювання ДПС при використанні задатчиків інтенсивності для формування напруги якоря**

Щоб запобігти великим піковим значенням струму якоря, необхідно змінювати напругу не стрибком, а плавно. Одним з найпростіших законів зміни напруги, що дозволить знизити момент і струм у пуско-гальмівних режимах, є лінійний закон. ***Пристрій, що формує завдання на швидкість з обмеженням прискорення, називають задатчиком інтенсивності (ЗІ).***

Для застосування такого методу керування необхідно живити двигун від

підсилювача потужності. В сучасних систем регульованого електроприводу таким підсилювачем є тиристорний перетворювач постійного струму (ТП).

Модель двигуна, що відпрацьовує задану трапецоїдальну тахограму показано на рис. 14.5, а перехідні процеси – на рис. 14.6.



1/Mn

M/Mn

Mc

1/Mn

M

To Workspace

Step

Add

1-D T(u)

To Workspace3

Scope1

Ua

Ia

c

Mj

w

1/w0

w/w0

Clock

Armature1

Mech2

1-D Lookup Table

To Workspace1

Ua/Uan

Ed

c

1/Uan

To Workspace2

1

J.s

1/Ra

Tav.s+1

Ua

w

Mc

Рис. 14.5. Модель роботи ДПС за трапецоїдальною тахограмою



Run-Plot

1.5

Mc/Mn

M/Mn

*M j* 0

*t*,c

0

1

2

3

4

5

6

7

8

сн 0  1 кз

Ua/Uan

w/w0

*T*м

н / 0

*t*р0

*t*р0

*t*,c

1

0.5

0

-0.5

-1

-1.5

1.2

1

0.8

0.6

0.4

0.2

0

-0.2

0 1 2 3 4 5 6 7 8

Рис. 14.6. Перехідні процеси в ДПС при лінійній зміні напруги якоря і стрибкоподібній зміні моменту навантаження

Час зміни напруги від 0 до номінального значення при розгоні і навпаки

при гальмуванні

*t*р0

визначає задане прискорення

0  0 / *t*р0

і величину

динамічного моменту Отже

*M j* 0  *J*0  *J*0 / *t*р0

в пуско-гальмівних режимах.

*t*р0 

*J* 0 . (14.12)

*M*

*j* 0

## 14.4 Завдання

Промоделюйте двигун постійного струму з незалежним збудженням при постійному потоку збудження з даними, які наведені в табл. 14.1, в таких режимах:

* при стрибкоподібній зміні напруги двигуна від 0 до номінального значення;
* при лінійній зміні напруги двигуна до номінального значення, стрибкоподібному накиданні і скиданні номінального навантаження на усталеній швидкості та лінійній зміні напруги якоря від номінального значення до нуля без навантаження.

У таблиці позначено:

* *P*н, Фн, *n*н – номінальні значення потужності, потоку збудження та кутової швидкості у обертах за хвилину;
* *U*ян, *U*зн – номінальні значення напруги якоря та напруги збудження;
* *I*ян, *I*зн – номінальні значення струму якоря двигуна та струму збудження.

Таблиця 14.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар. | Тип | *P*н | *U* ян | *U*зн | *n*н | *I*ян | *R*я | 2*р* | *w*п | *R*з | н | *J* |  |
| *кВт* | *В* | *В* | *об/хв* | *А* | *Ом* | *–* | *вит* | *Ом* | *мВб* | *кгм2* |  |
| 1 | П81 | 32 | 440 | 220 | 1500 | 83 | 0,250 | 4 | 2000 | 208,4 | 14,4 | 0,68 |  |
| 2 | П82 | 25 | 440 | 220 | 1000 | 66 | 0,373 | 4 | 1525 | 137,6 | 19,8 | 0,78 |  |
| 3 | П91 | 55 | 440 | 220 | 1500 | 143 | 0,143 | 4 | 1615 | 129,2 | 19,6 | 1,48 |  |
| 4 | П101 | 42 | 440 | 220 | 750 | 107 | 0,206 | 4 | 1660 | 130,0 | 29,0 | 2,58 |  |
| 5 | П81 | 19 | 440 | 220 | 1000 | 52 | 0,630 | 4 | 2000 | 208,4 | 14,4 | 0,68 |  |
| 6 | П101 | 100 | 440 | 220 | 1500 | 256 | 0,051 | 4 | 1660 | 130,0 | 29,9 | 2,58 |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 7 | П102 | 125 | 440 | 220 | 1500 | 316 | 0,034 | 4 | 1450 | 101,5 | 38,3 | 5 |  |
| 8 | П111 | 95 | 440 | 220 | 1000 | 240 | 0,067 | 4 | 1460 | 87,0 | 19,0 | 5,10 |  |
| 9 | П111 | 160 | 440 | 220 | 1500 | 400 | 0,025 | 4 | 1460 | 87,0 | 20,3 | 5,10 |  |
| 10 | П112 | 85 | 440 | 220 | 750 | 220 | 0,075 | 4 | 1310 | 82,0 | 25,3 | 5,57 |  |
| 11 | П112 | 180 | 440 | 220 | 1500 | 450 | 0,023 | 4 | 1310 | 82,0 | 16,2 | 5,75 |  |
| 12 | П112 | 200 | 440 | 220 | 1500 | 1000 | 0,050 | 4 | 750 | 24,0 | 16,2 | 5,75 |  |
| 13 | П52 | 14 | 220 | 110 | 3000 | 74 | 0,027 | 4 | 1200 | 94,8 | 7,2 | 0,10 |  |
| 14 | П61 | 19 | 220 | 110 | 3000 | 100 | 0,057 | 4 | 1600 | 104,0 | 8,2 | 0,14 |  |
| 15 | П72 | 25 | 220 | 110 | 1500 | 132 | 0,083 | 4 | 1100 | 67,0 | 12,5 | 0,40 |  |
| 16 | П111 | 160 | 220 | 110 | 1500 | 809 | 0,064 | 4 | 850 | 28,0 | 18,6 | 5,10 |  |
| 17 | П102 | 125 | 220 | 110 | 1500 | 632 | 0,079 | 4 | 840 | 32,5 | 13,0 | 3,00 |  |
| 18 | П101 | 100 | 220 | 110 | 1500 | 508 | 0,013 | 4 | 950 | 37,8 | 13,7 | 2,58 |  |
| 19 | П92 | 75 | 220 | 110 | 1500 | 381 | 0,014 | 4 | 830 | 31,8 | 20,1 | 1,75 |  |
| 20 | П22 | 1 | 220 | 110 | 1500 | 5,9 | 4,170 | 2 | 4800 | 600,0 | 3,2 | 0,01 |  |
| 21 | П42 | 7,4 | 220 | 110 | 3000 | 39,8 | 0,205 | 4 | 1350 | 136,0 | 5,1 | 0,05 |  |

## 14.3 Методичні вказівки і рекомендації

* 1. При моделюванні фіксуйте напругу якоря, момент або струм якоря та кутову швидкість або ЕРС двигуна у відносних одиницях. У якості базових величин оберіть для напруги, моменту та струму якоря номінальні величини, а для швидкості – швидкість ідеального холостого ходу

  *U* ян . (14.13)

0

*R*

я

Усі графіки зображуйте в одній системі координат.

* 1. Перехід від кутової швидкості в обертах за хвилину (технічна система одиниць) до кутової швидкості у радіанах за секунду (міжнародна система одиниць СІ) здійснюйте за формулою

  *n*н . (14.14)

н 30

Після цього можна розрахувати номінальний момент

*P*н , (14.15)





*M*

н

н

коефіцієнт моменту та ЕРС

*c*  *M* н ,

*I* ян

швидкість ідеального холостого ходу

  *U*ян , (14.16)

0 *c*

статичну просадку швидкості при номінальному навантаженні

с

 *I*ян *R*я

*c*

(14.17)

та струм короткого замикання

*I*  *U* ян . (14.18)

кз *R*

я

1. Індуктивність якоря розрахуйте за емпіричною формулою Уманського- Лінвіля

*L*я  *kL I*

*U* ян



, (14.19)

*p*

ян н

де *kL* 0.6

для двигунів з компенсаційною обмоткою,

*kL* 0.25 для двигунів без

компенсаційної обмотки.

ДПС?

## 14.5 Контрольні питання і завдання

1. Які припущення приймають при розробці математичної моделі
2. Як перетворюють початкові диференційні рівняння для створення

структурної схеми у просторі станів (деталізована модель) та у вигляді передавальних функцій? Наведіть відповідні *Simulink*-моделі.

1. Поясніть, чому не можна здійснювати прямий пуск ДПС.
2. Як впливає електромагнітна стала часу якірного кола на максимальне значення струму при стрибкоподібній зміні *U*я?
3. Як впливає значення похідної від напруги якоря при зміні її за лінійним законом на динамічний момент двигуна при розгоні та гальмуванні?
4. Як розрахувати час розгону двигуна до бажаної усталеної швидкості за лінійним законом?