

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І СИСТЕМ
УПРАВЛІННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА З АВТОНОМНИМ ЖИВЛЕННЯМ»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА
(У ТОЧУ ЧИСЛІ СКОРОЧЕНИЙ ТЕРМІН НАВЧАННЯ)

КРЕМЕНЧУК 2019

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Системи електропривода з автономним живленням» для студентів денної та заочної форми навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (у тому числі скорочений термін навчання)

Укладачі: к. т. н., доц. В. О. Мельников
ст. викладач О. А. Хребтова

Рецензент д. т. н., доц. Ю. В. Зачепа

Кафедра систем автоматичного управління та електропривода

Затверджено методичною радою КрНУ імені Михайла Остроградського

Протокол “_____” від “_____” _____ 2019 р.

Голова методичної ради _____ проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

Вступ	4
Перелік лабораторних робіт	
Лабораторна робота № 1 Дослідження перехідних процесів у двигунах постійного струму послідовного збудження	6
Лабораторна робота № 2 Дослідження перехідних процесів у двигунах постійного струму змішаного збудження	9
Лабораторна робота № 3 Дослідження перехідних процесів у двигунах постійного струму послідовного збудження в режимі динамічного гальмування	14
Лабораторна робота № 4 Дослідження перехідних процесів у дводвигунових електроприводах постійного струму	18
Лабораторна робота № 5 Дослідження роботи електродвигунів при послідовному та паралельному з'єднаннях	22
Список літератури.....	27
Додаток А Загальні положення щодо лабораторного стенда.....	28
Додаток Б Приклад обробки даних у математичному пакеті Mathcad.....	32
Додаток В Зразок оформлення титульної сторінки звіту з лабораторної роботи.....	36

ВСТУП

На сьогоднішній день автономні джерела живлення відіграють важливу роль для забезпечення нормальної роботи електроприводів технологічних механізмів як на виробництві так і при роботі поза зоною промислового об'єкту. Бувають випадки, коли відбувається спонтанне вимикання живлення або повністю відсутня можливість підключення до стаціонарного джерела живлення. Важливо правильно вибрати автономне обладнання.

Під час вибору техніки варто враховувати споживану потужність напруги. В основному, вона складається із загальної кількості використовуваного живлення.

Асортиментний підбір блоків для контролю перепаду на автономних джерелах живлення має різні параметри, а також критерії для вибору.

Устаткування електричного живлення встановлюється в джерелі живлення і контролює перепади напруги. На основі всіх деталей, які застосовують напругу, вираховуються технічні норми для експлуатації в автономному режимі. Для визначення необхідних параметрів щодо вибору типу та системи автоматного джерела живлення, необхідно спочатку змоделювати системи електропривода з автономним джерелами живлення при різних режимах навантаження.

Моделювання на ЕОМ нині перетворилося на одну з методологічних основ дослідження складних систем керування. Особливо значна його роль у тих випадках, коли технологічним процесом або об'єктом керують за допомогою ЕОМ. У зв'язку з цим вивчення методів і проведення математичного моделювання електромеханічних систем і систем електропривода є важливою ланкою у підготовці інженерів-електромеханіків.

Мета – оволодіння студентами теоретичними основами розрахунку, розробки та практичними навиками проектування, налаштування та експлуатації сучасних систем автоматизованого електропривода при живленні

від автономних джерел.

Завдання – придбання теоретичних знань та практичних навичок, що дають змогу самостійно виконувати роботи з розробки системами автоматизованого електропривода з автономними джерелами живлення.

Мета проведення лабораторних занять полягає в закріпленні знань, отриманих на лекціях шляхом дослідження властивостей і характеристик електромеханічних систем, двигунів постійного струму на цифрових обчислювальних машинах та набутті досвіду моделювання електромеханічних систем і систем електропривода за лінійними та нелінійними системами диференціальних рівнянь.

Унаслідок виконання лабораторних робіт студенти повинні засвоїти принципи побудови моделей електромеханічних систем з урахуванням їх властивостей та дослідження їх на ЕОМ; уміти оцінювати якість отриманого розв'язку, вибирати необхідний спосіб інтегрування, навчитися складати математичні моделі електричних машин та апаратів.

Варіанти завдань для виконання призначає викладач.

ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота № 1

Тема. Дослідження перехідних процесів у двигунах постійного струму послідовного збудження

Мета: вивчення методів та набуття навичок математичного моделювання перехідних процесів у двигунах постійного струму послідовного збудження.

Короткі теоретичні відомості

ДОСЛІДЖЕННЯ тиристорів електроприводу від ДЖЕРЕЛА сумірний ПОТУЖНОСТІ

Електропостачання тиристорного електроприводу ряду гірських машин здійснюється від автономних і неавтономних джерел потужністю, порівнянню з потужністю електродвигуна.

Для таких умов характерне значне (до 40%) зміна амплітуди змінної напруги мережі живлення, що призводить до деформації статичних і динамічних характеристик електроприводу, а також до помилкових відключень, пов'язаних з порушенням роботи тиристорного перетворювача.

З метою дослідження динамічних властивостей тиристорного електроприводу з живленням від джерела сумірною потужності була розроблена структурна схема електромеханічної системи, наведена на малюнку 1:

Загальні принципи моделювання двигунів постійного струму (ДПС) базуються на електричних схемах заміщення.

Згідно зі спрощеною принциповою схемою двигуна (рис. 1.1) складається електрична схема заміщення (рис. 1.2).

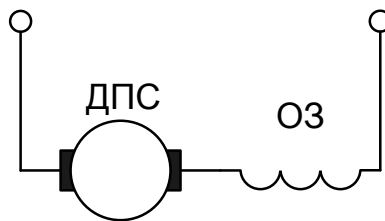


Рисунок 1.1 – Спрощена принципова схема ДПС послідовного збудження

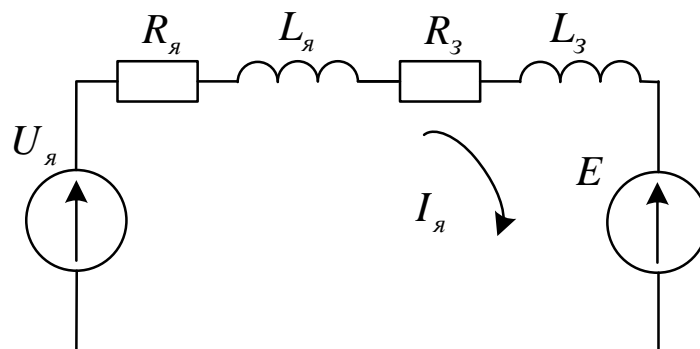


Рисунок 1.2 – Електрична схема заміщення ДПС послідовного збудження

Потім за другим законом Кірхгофа записуються диференціальні рівняння електричного балансу кола якоря

$$U_{\dot{y}} - E = L_{\dot{y}} \cdot \frac{dI_{\dot{y}}}{dt} + R_{\dot{y}} \cdot I_{\dot{y}} + L_{\dot{z}} \cdot \frac{dI_{\dot{y}}}{dt} + R_{\dot{z}} \cdot I_{\dot{y}}.$$

До даного рівняння додається рівняння руху електричного двигуна. Таким чином отримаємо систему диференціальних рівнянь ДПС послідовного збудження:

$$\begin{cases} U_{\dot{y}} - E = L_{\dot{y}} \cdot \frac{dI_{\dot{y}}}{dt} + R_{\dot{y}} \cdot I_{\dot{y}} + L_{\dot{\zeta}} \cdot \frac{dI_{\dot{\zeta}}}{dt} + R_{\dot{\zeta}} \cdot I_{\dot{\zeta}}; \\ J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M - M_c. \end{cases}$$

Перейдемо від диференціальних рівнянь до їх зображень з допомогою перетворення Лапласа. Розглянемо рівняння:

$$U_{\dot{y}} - E = ((L_{\dot{y}} + L_{\dot{\zeta}}) \cdot \frac{d}{dt} + R_{\dot{y}} + R_{\dot{\zeta}}) \cdot I_{\dot{y}};$$

або

$$U_{\dot{y}} - E = (L_{\Sigma} \cdot \frac{d}{dt} + R_{\Sigma}) \cdot I_{\dot{y}};$$

розділимо почленно дане рівняння на R_{Σ} :

$$\frac{U_{\dot{y}} - E}{R_{\Sigma}} = \left(\frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} \cdot \frac{d}{dt} + 1 \right) \cdot I_{\dot{y}};$$

Введемо заміну: $T_e = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}}$.

Перейдемо до зображення рівняння за допомогою перетворення Лапласа:

$$\frac{U_{\dot{y}}(p) - E(p)}{R_{\Sigma}} = (T_e p + 1) \cdot I_{\dot{y}}(p).$$

Передавальна функція якірного ланцюга:

$$w(p) = \frac{I_{\dot{y}}(p)}{U_{\dot{y}}(p) - E(p)} = \frac{1/R_{\Sigma}}{\partial_a \partial + 1}.$$

Аналогічно:

$$w(p) = \frac{\omega(p)}{\dot{I}(p) - \dot{I}_{\tilde{n}}} = \frac{1}{J\partial}.$$

Отримана система диференціальних рівнянь має вигляд:

$$\begin{cases} w(p) = \frac{I_{\dot{y}}(p)}{U_{\dot{y}}(p) - E(p)} = \frac{1/R_{\Sigma}}{\partial_a \partial + 1} \\ w(p) = \frac{\omega(p)}{\dot{I}(p) - \dot{I}_{\tilde{n}}} = \frac{1}{J\partial} \end{cases}.$$

Розв'язок даної системи диференціальних рівнянь методом передавальних функцій зображено на рис. 1.3.

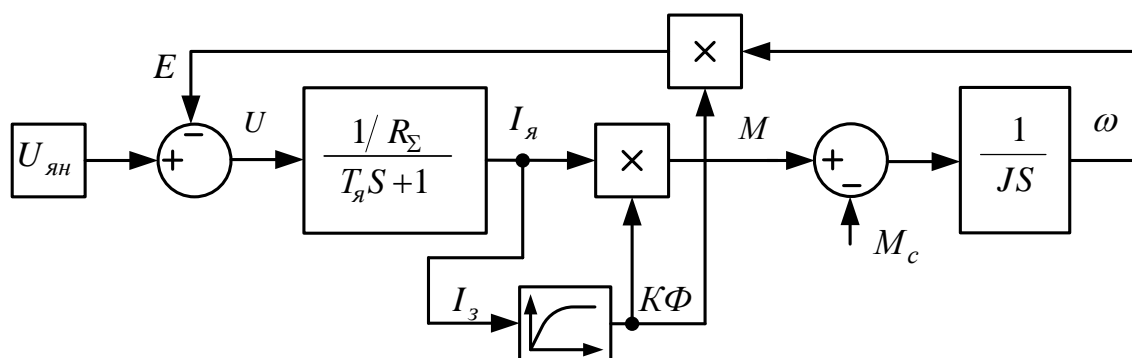


Рисунок 1.3 – Структурна схема математичної моделі ДПС послідовного збудження

Хід роботи

1. Створити структурну схему математичної моделі ДПС послідовного збудження з активним навантаженням (дані для моделювання наведено у табл. 1.1.).

2. Отримати графіки перехідних процесів для наступних режимів роботи двигуна:

- пуск на холостому ході;
- пуск при номінальному навантаженні;
- пуск при зміні напруги живлення та номінальному навантаженні;
- пуск при зміні магнітного потоку та номінальному навантаженні.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для моделювання

№ вар.	$U_{ян},$ В	$R_я,$ Ом	$T_я,$ с	$M_n,$ Н·м	$I_{зн},$ А	$R_з,$ Ом	$T_з,$ с	$K\hat{O}_i,$ Вб	$J,$ кг·м ²
1	220	1,756	0,004	45,3	2,4	2,514	0,351	1,887	0,046
2	220	0,49	0,005	105,2	6,15	2,678	0,537	1,711	0,162
3	220	3,603	0,005	59,6	2,01	2,648	0,419	2,967	0,069
4	220	1,094	0,0056	126,6	4,73	3,184	0,609	2,678	0,214
5	220	0,409	0,008	340,4	9,94	3,679	0,972	3,425	0,942
6	220	5,584	0,0048	42,8	1,45	3,678	0,351	2,95	0,042

Зміст звіту

1. Титульна сторінка.
2. Назва та мета роботи.
3. Функціональна схема математичної моделі.
4. Характеристики ДПС послідовного збудження у рушійному режимі у системах координат $\omega = f(t)$, $i = f(t)$, $M = f(t)$, $\omega = f(i)$, $\omega = f(M)$.
5. Висновки щодо роботи.

Контрольні питання

1. Яким чином у схемі заміщення зображається ДПС?
2. Яким чином у схемі заміщення зображається обмотка збудження?
3. Наведіть диференціальні рівняння, що описують математичну модель ДПС послідовного збудження.
4. Наведіть передавальні функції математичної моделі ДПС послідовного збудження.
5. Яким чином реалізується крива намагнічування у пакеті Matlab?
6. Яким чином впливає зміна навантаження на перехідні характеристики ДПС послідовного збудження?
7. Яким чином впливає зміна магнітного потоку на перехідні характеристики ДПС послідовного збудження?

Література: [1, с. 98–103; 2, с. 201–203; 3, с. 38–42].

Лабораторна робота № 2

Тема. Дослідження перехідних процесів у двигунах постійного струму змішаного збудження

Мета: вивчення методів та набуття навичок математичного моделювання перехідних процесів у двигунах постійного струму змішаного збудження.

Короткі теоретичні відомості

Загальні принципи моделювання двигунів постійного струму (ДПС)

базуються на електричних схемах заміщення.

Згідно зі спрощеною принциповою схемою двигуна (рис. 2.1) складається електрична схема заміщення (рис. 2.2).

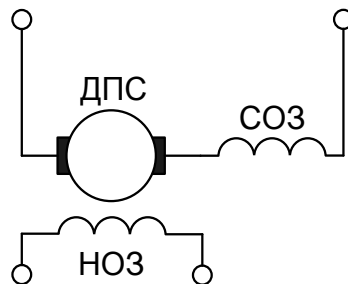


Рисунок 2.1 – Спрощена принципова схема ДПС змішаного збудження

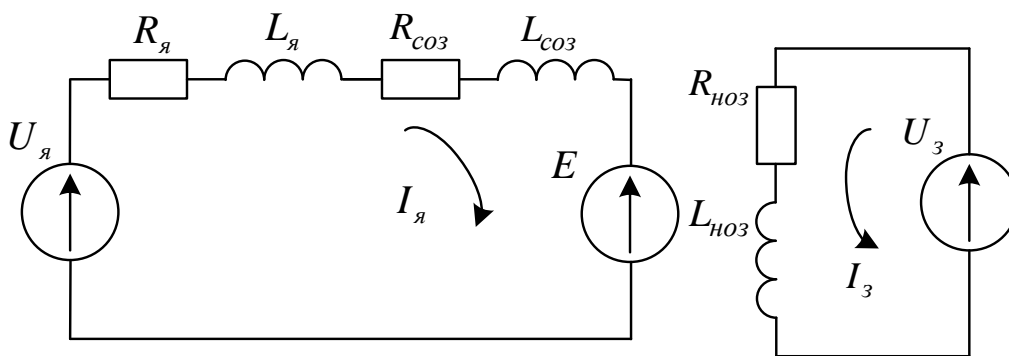


Рисунок 2.2 – Електрична схема заміщення ДПС змішаного збудження

Потім за другим законом Кірхгофа записуються диференціальні рівняння електричного балансу:

– для кола якоря

$$U_{\text{я}} - E = L_{\text{я}} \cdot \frac{dI_{\text{я}}}{dt} + R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}} + L_{\text{м}\zeta} \cdot \frac{dI_{\text{я}}}{dt} + R_{\text{м}\zeta} \cdot I_{\text{я}};$$

– для кола збудження

$$U_{\zeta} = L_{\text{т}\zeta} \cdot \frac{dI_{\zeta}}{dt} + R_{\text{т}\zeta} \cdot I_{\zeta}.$$

До цих рівнянь додається рівняння руху електричного двигуна. Таким чином отримаємо систему диференціальних рівнянь ДПС змішаного збудження:

$$\begin{cases} U_{\dot{y}} - E = L_{\dot{y}} \cdot \frac{dI_{\dot{y}}}{dt} + R_{\dot{y}} \cdot I_{\dot{y}} + L_{\dot{m}\zeta} \cdot \frac{dI_{\dot{y}}}{dt} + R_{\dot{m}\zeta} \cdot I_{\dot{y}} \\ U_{\zeta} = L_{\dot{i}\zeta} \cdot \frac{dI_{\zeta}}{dt} + R_{\dot{i}\zeta} \cdot I_{\zeta} \\ J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M - M_c \end{cases} .$$

Перейдемо від диференціальних рівнянь до їх зображень з допомогою перетворення Лапласа. Розглянемо рівняння:

$$U_{\dot{y}} - E = ((L_{\dot{y}} + L_{\dot{m}\zeta}) \cdot \frac{d}{dt} + R_{\dot{y}} + R_{\dot{m}\zeta}) \cdot I_{\dot{y}} ;$$

або

$$U_{\dot{y}} - E = (L_{\Sigma} \cdot \frac{d}{dt} + R_{\Sigma}) \cdot I_{\dot{y}} ;$$

розділимо почленно дане рівняння на R_{Σ} :

$$\frac{U_{\dot{y}} - E}{R_{\Sigma}} = \left(\frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} \cdot \frac{d}{dt} + 1 \right) \cdot I_{\dot{y}} .$$

Уведемо заміну: $T_e = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}}$.

Перейдемо до зображення рівняння за допомогою перетворення Лапласа

($\frac{d}{dt} = p$):

$$\frac{U_{\dot{y}}(p) - E(p)}{R_{\Sigma}} = (T_e p + 1) \cdot I_{\dot{y}}(p) .$$

Передавальна функція якірного ланцюга:

$$w(p) = \frac{I_{\dot{y}}(p)}{U_{\dot{y}}(p) - E(p)} = \frac{1/R_{\Sigma}}{\dot{O}_a \delta + 1} .$$

Аналогічно:

$$w(p) = \frac{I_{\zeta}(p)}{U_{\zeta}(p)} = \frac{1/R_{\dot{i}\zeta}}{\dot{O}_{\zeta} \delta + 1} ,$$

$$w(p) = \frac{\omega(p)}{\dot{I}(p) - \dot{I}_{\dot{n}}} = \frac{1}{J\dot{\delta}} .$$

Отримана система диференціальних рівнянь має вигляд:

$$\begin{cases} w(p) = \frac{I_{\dot{y}}(p)}{U_{\dot{y}}(p) - E(p)} = \frac{1/R_{\Sigma}}{\dot{O}_a \delta + 1} \\ w(p) = \frac{I_{\dot{\varphi}}(p)}{U_{\dot{\varphi}}(p)} = \frac{1/R_{i\dot{\varphi}}}{\dot{O}_{\varphi} \delta + 1} \\ w(p) = \frac{\omega(p)}{\dot{I}(p) - \dot{I}_{\bar{n}}} = \frac{1}{J\delta} \end{cases}$$

Розв'язок даної системи диференціальних рівнянь методом передавальних функцій зображено на рис. 2.3.

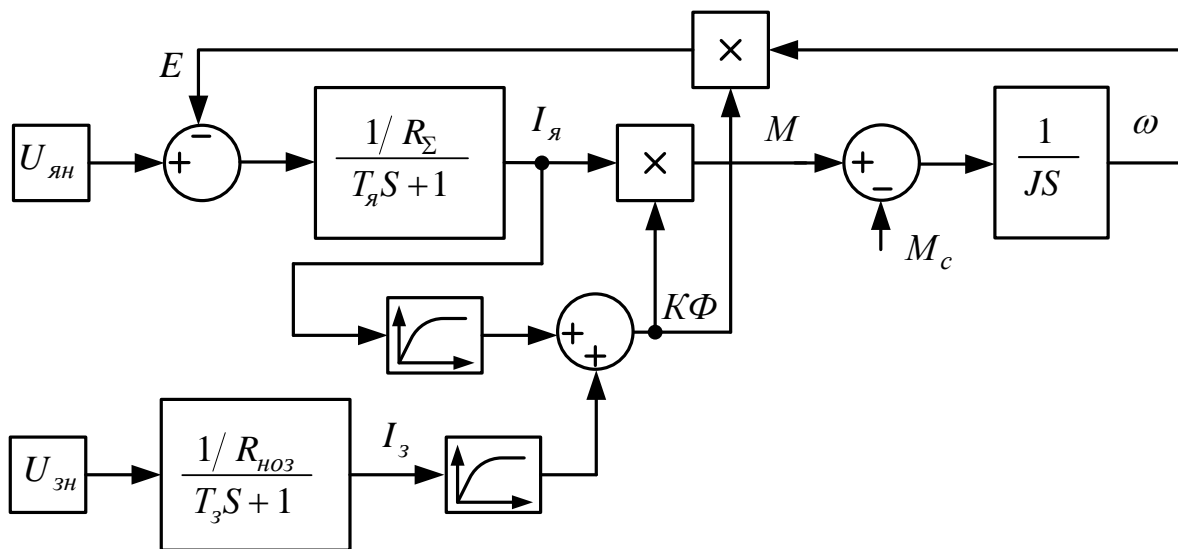


Рисунок 2.3 – Структурна схема математичної моделі ДПС змішаного збудження

Хід роботи

1. Створити структурну схему математичної моделі ДПС змішаного збудження з активним навантаженням (дані для моделювання наведені у табл. 2.1).

2. Отримати графіки перехідних процесів для наступних режимів роботи двигуна:

- пуск на холостому ході;
- пуск при номінальному навантаженні;
- пуск при зміні напруги живлення та номінальному навантаженні;
- пуск при зміні магнітного потоку та номінальному навантаженні.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для моделювання

№ вар.	$U_{ян},$ B	$R_я,$ $Ом$	$T_я,$ c	$M_n,$ $H \cdot м$	$I_{зн},$ A	$R_{i\hat{i}\zeta},$ $Ом$	$T_з,$ c	$K\hat{O}_i,$ $Bб$	$J,$ $кг \cdot м^2$
1	220	1,756	0,004	45,3	2,4	70,5	0,351	1,887	0,046
2	220	0,49	0,005	105,2	6,15	75,4	0,537	1,711	0,162
3	220	3,603	0,005	59,6	2,01	71,2	0,419	2,967	0,069
4	220	1,094	0,0056	126,6	4,73	76,4	0,609	2,678	0,214
5	220	0,409	0,008	340,4	9,94	74,8	0,972	3,425	0,942
6	220	5,584	0,0048	42,8	1,45	79,1	0,351	2,95	0,042

Зміст звіту

1. Титульна сторінка.
2. Назва та мета роботи.
3. Структурна схема математичної моделі.
4. Характеристики ДПС змішаного збудження у рушійному та гальмівному режимах у системах координат $\omega = f(t)$, $i = f(t)$, $M = f(t)$, $\omega = f(i)$, $\omega = f(M)$.
5. Висновки щодо роботи.

Контрольні питання

1. Які обмотки збудження існують у ДПС змішаного збудження?
2. Який вигляд мають механічні характеристики ДПС змішаного збудження?
3. Наведіть диференціальні рівняння, що описують математичну модель ДПС змішаного збудження.
4. Наведіть передавальні функції математичної моделі ДПС змішаного збудження.
5. Яким чином треба вмикати обмотки ДПС змішаного збудження?
6. Яким чином впливає момент інерції на перехідні характеристики ДПС змішаного збудження?

Література: [2, с. 203–205; 4, с. 146–153].

Лабораторна робота № 3

Тема. Дослідження перехідних процесів у двигунах постійного струму послідовного збудження в режимі динамічного гальмування

Мета: вивчення методів та набуття навичок математичного моделювання перехідних процесів у двигунах постійного струму послідовного збудження в режимі динамічного гальмування.

Короткі теоретичні відомості

Динамічне гальмування двигуна послідовного гальмування може бути реалізовано двома способами:

- динамічне гальмування з самозбудженням;
- динамічне гальмування з незалежним гальмуванням.

В обох випадках двигун обертається або за інерцією, або за рахунок енергії вантажу, що опускається, або руху транспортного механізму під нахилом і працює в режимі генератора, замкнутого на додатковий опір.

При гальмуванні із самозбудженням якір двигуна та обмотка збудження відключаються від джерела і замикаються на зовнішній додатковий опір $R_{дг}$. Проте, щоб виключити розмагнічування двигуна необхідно обмотку збудження ввімкнути так, щоб зберегти незмінним напрям струму в ній. Для чого в схемі рис. 3.1 необхідно відімкнути лінійні контактори L і ввімкнути контактори динамічного гальмування $ДГ$.

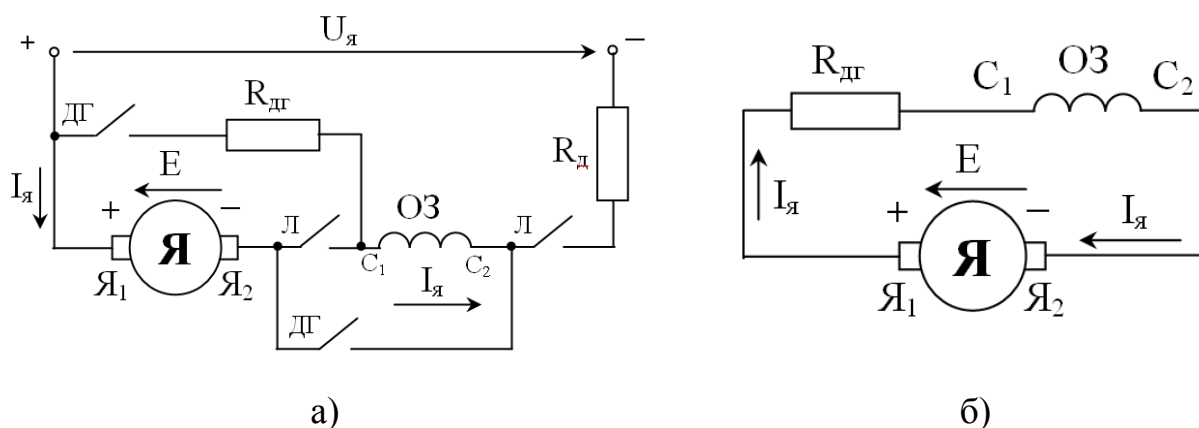


Рисунок 3.1 – Схема переключення обмоток двигуна послідовного збудження для реалізації режиму динамічного гальмування із самозбудженням:

а – двигунний режим; б – динамічне гальмування

При цьому під дією ЕРС двигуна від залишкового магнітного потоку по замкнутому колу якоря буде протікати струм, напрям якого в обмотці збудження залишиться незмінним. Через це відбудеться збільшення магнітного потоку, що викличе подальше збільшення ЕРС та струму збудження, тобто відбувається самозбудження двигуна.

Характерною особливістю динамічного гальмування із самозбудженням є те, що магнітний потік – функція струму якоря. На початку гальмування струм і магнітний потік мають максимальне значення. Двигун розвиває максимальний гальмівний момент, який швидко зменшується при зниженні швидкості, та при малих швидкостях гальмування не ефективно. На рис. 3.2 показано механічні характеристики при різних значеннях додаткового опору R_{aa} . Величину початкового гальмівного моменту можна регулювати зміною опору R_{aa} .

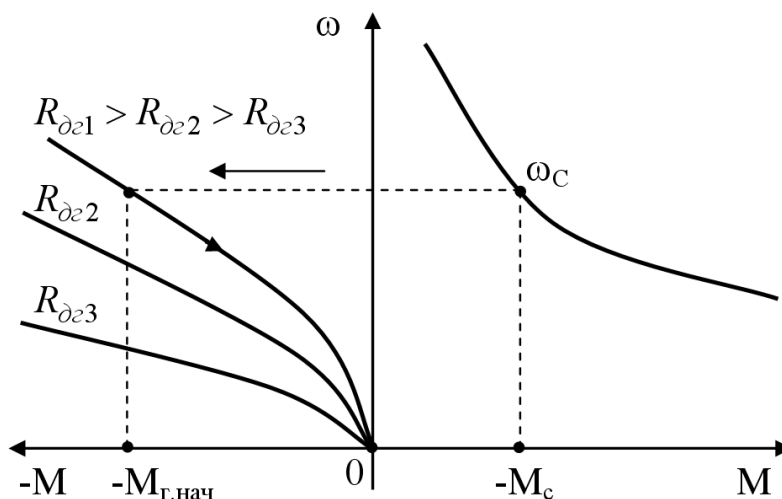


Рисунок 3.2 – Механічні характеристики динамічного гальмування двигуна послідовного збудження із самозбудженням

Для отримання більшої плавності гальмування застосовують динамічне гальмування з незалежним збудженням. У цьому випадку обмотка збудження підключається до джерела живлення через додатковий опір (рис. 3.3, а), а якір двигуна замикається на зовнішній опір R_{aa} . Оскільки двигун працює з незалежним збудженням, то механічні характеристики динамічного гальмування подібні відповідним характеристикам двигуна незалежного збудження і є лінійними (рис. 3.3, б).

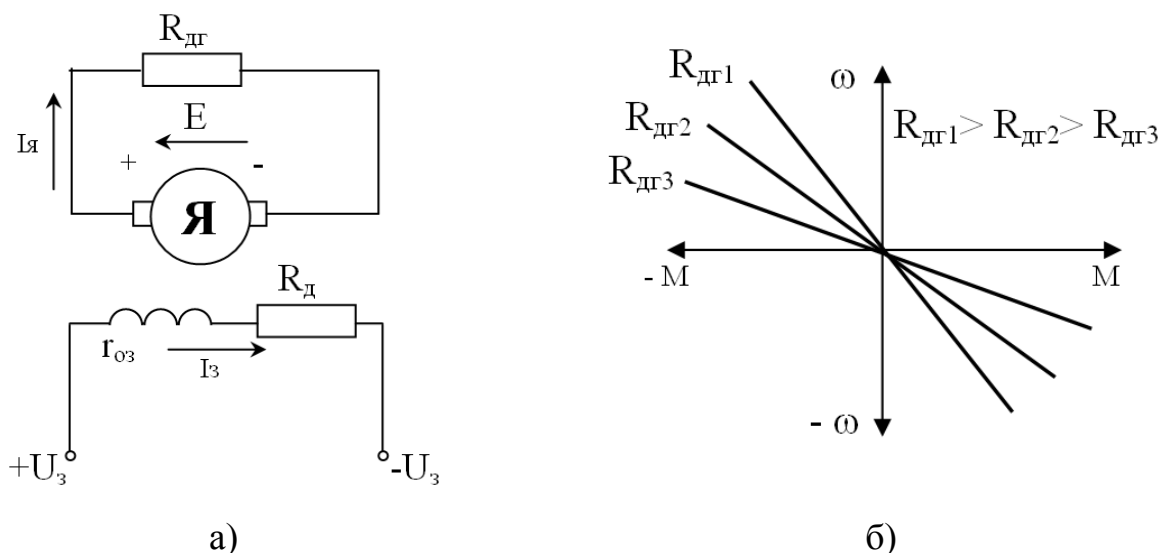


Рисунок 3.3 – Схема ввімкнення (а) та механічні характеристики (б) при динамічному гальмуванні двигуна послідовного збудження з незалежним збудженням

Якщо по обмотці збудження протікає номінальний струм (для отримання достатнього значення гальмівного моменту), то з мережі споживається потужність майже рівна номінальній, що знижує енергетичні показники цього способу.

Структурну схему ДПС у режимі динамічного гальмування із самозбудженням наведено на рис. 3.4, у режимі динамічного гальмування з незалежним збудженням – на рис. 3.5.

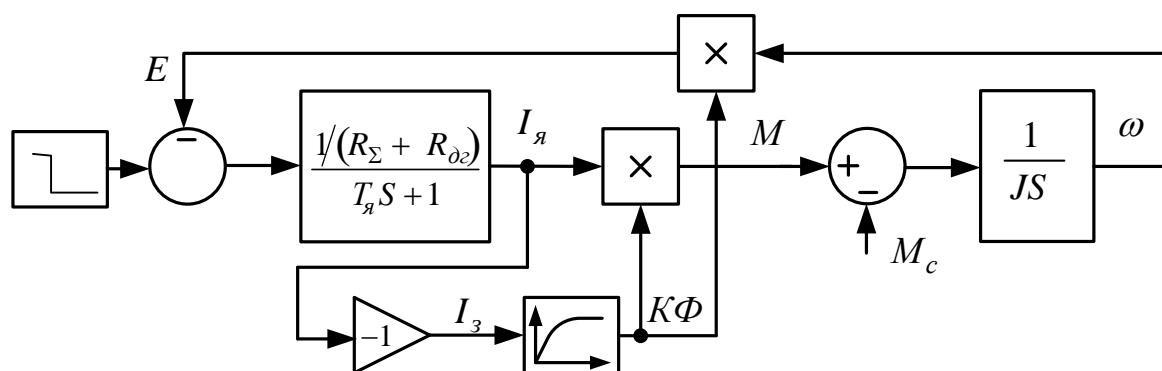


Рисунок 3.4 – Структурна схема математичної моделі ДПС послідовного збудження в режимі динамічного гальмування із самозбудженням

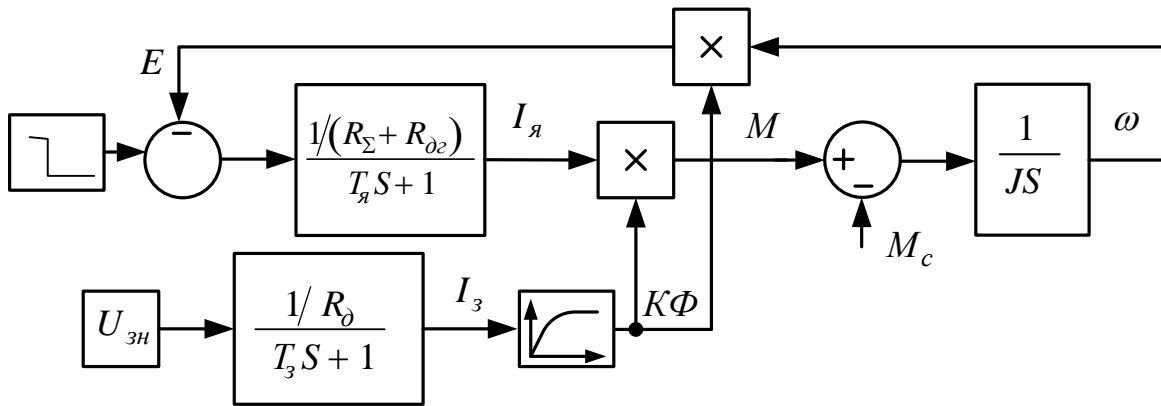


Рисунок 3.5 – Структурна схема математичної моделі ДПС послідовного збудження в режимі динамічного гальмування з незалежним збудженням (б)

Хід роботи

1. Створити структурну схему математичної моделі ДПС послідовного збудження з активним навантаженням в режимі динамічного гальмування (дані для моделювання наведено у табл. 1.1.).

2. Отримати графіки перехідних процесів при динамічному гальмуванні двигуна:

- із самозбудженням;
- з незалежним збудженням.

Зміст звіту

1. Титульна сторінка.
2. Назва та мета роботи.
3. Структурна схема математичної моделі.
4. Характеристики ДПС послідовного збудження у русійному та гальмівному режимах у системах координат $\omega = f(t)$, $i = f(t)$, $M = f(t)$, $\omega = f(i)$, $\omega = f(M)$.
5. Висновки щодо роботи.

Контрольні питання

1. Які види динамічного гальмування існують для ДПС послідовного збудження?
2. Яким чином реалізується динамічне гальмування ДПС послідовного збудження із самозбудженням?
3. Наведіть передавальні функції математичної моделі ДПС послідовного збудження в режимі динамічного гальмування.
4. Наведіть структурну схему ДПС послідовного збудження в режимі динамічного гальмування з незалежним збудженням.
5. Для чого потрібно реалізовувати динамічне гальмування ДПС послідовного збудження?
6. Дайте порівняльну характеристику динамічного гальмування ДПС послідовного збудження із самозбудженням та з незалежним збудженням.

Література: [2, с. 201–203; 4, с. 143–146].

Лабораторна робота № 4

Тема. Дослідження перехідних процесів у дводвигуновому електроприводах постійного струму

Мета: вивчення методів та набуття навичок математичного моделювання перехідних процесів у дводвигуновому електроприводах постійного струму.

Короткі теоретичні відомості

Для врахування електромагнітних процесів у ТЕД використовують математичні моделі дводвигуного ЕП постійного струму послідовного збудження в математичному пакеті Matlab Sim Power Systems. При цьому можлива робота двигунів паралельно (рис. 4.1) та послідовно (рис. 4.2). Як навантаження використовується двигун постійного струму незалежного збудження, який працює в режимі динамічного гальмування.

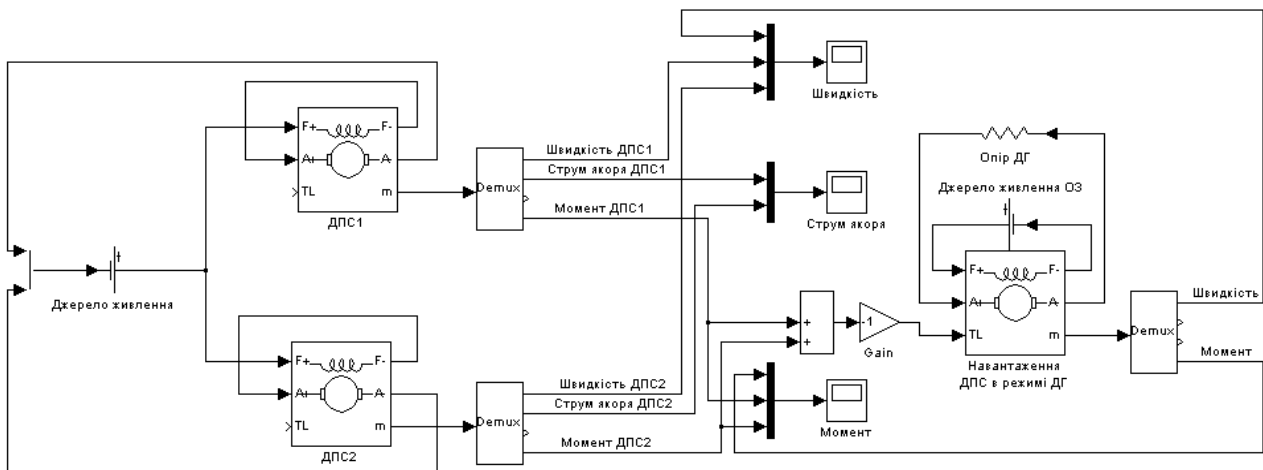


Рисунок 4.1 – Структурна схема дводвигунного електропривода при паралельному з'єднанні двигунів у математичному пакеті Matlab Sim Power Systems

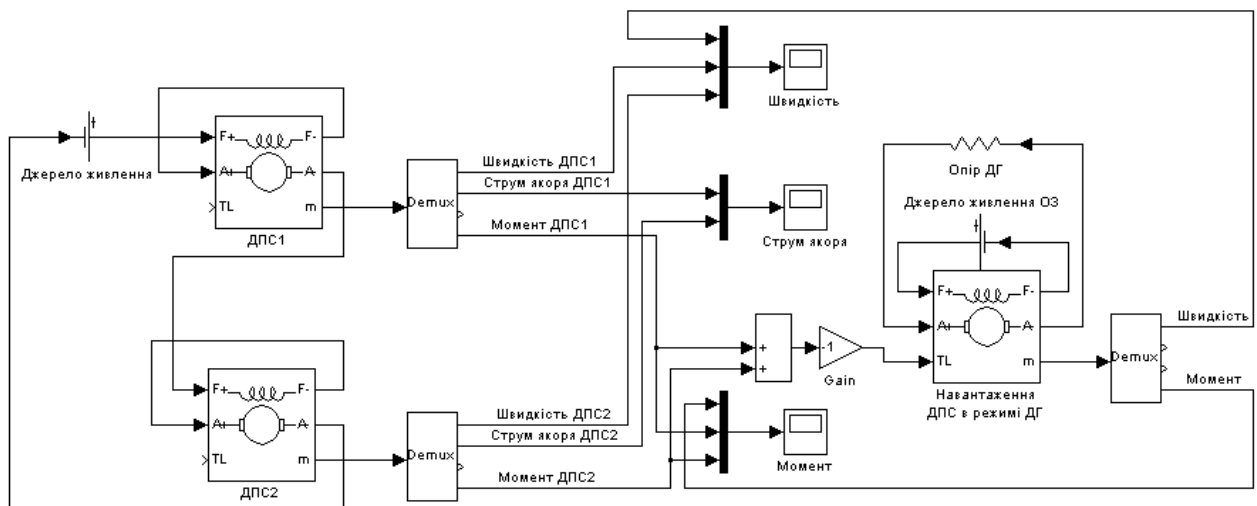


Рисунок 4.2 – Структурна схема дводвигунного електропривода при послідовному з'єднанні двигунів у математичному пакеті Matlab Sim Power Systems

Момент інерції робочої машини приводиться до валу двигуна. Швидкості двигуна і робочої машини збігаються. У деяких випадках коефіцієнт жорсткості виявляється невеликим і деформація стає істотною. Таких мас, з'єднаних валами, може бути кілька. Аналіз багатомасових систем надзвичайно складний, тому всі махові маси зазвичай зводять до двох: двигуна з моментом інерції J_1 і робочої машини відокремленої пружним моментом M_{np} і моментом інерції J_2 .

ТЕД з'єднані з навантажувальною машиною через пасову передачу. Механічна структура являє собою двомасову систему (рис. 4.3).

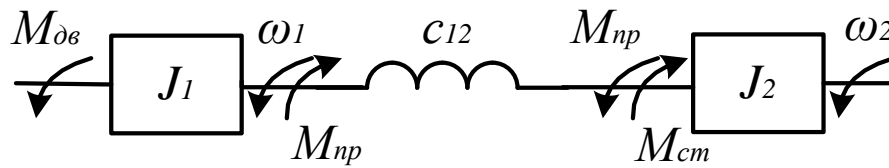


Рисунок 4.3 – Двомасова система з пружним зв'язком

Кутова деформація пружинного елемента:

$$\Delta Y = \int_0^1 (w_1 - w_2) dt .$$

Рівняння руху 1-ї маси:

$$M_{\ddot{a}\ddot{a}} - M_{\dot{i}\dot{\delta}} = J_1 \frac{dw_1}{dt} .$$

Рівняння руху 2-ї маси:

$$M_{\dot{i}\dot{\delta}} - M_{\ddot{n}\ddot{o}} = J_2 \frac{dw_2}{dt} .$$

Система диференціальних рівнянь двомасової системи:

$$J_1 \frac{dw_1}{dt} = M_{\ddot{a}\ddot{a}} - M_{\dot{i}\dot{\delta}} ;$$

$$J_2 \frac{dw_2}{dt} = M_{\dot{i}\dot{\delta}} - M_{\ddot{n}\ddot{o}} ;$$

$$\frac{d\Delta Y}{dt} = (w_1 - w_2) ;$$

$$M_{\dot{i}\dot{\delta}} = c_{12} \cdot \Delta Y .$$

Структурну схему двомасової системи наведено на рис. 4.4.

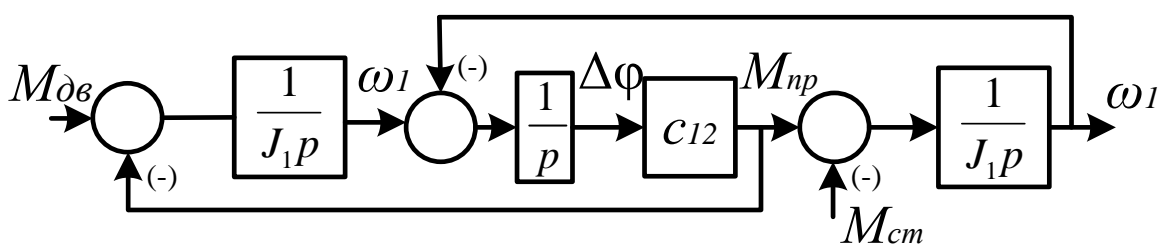


Рисунок 4.4 – Структурна схема двомасової системи

Двомасова механічна система подається структурною схемою з перехресним зворотним зв'язком, тобто має підвищену схильність до виникнення коливальних режимів. Дана система отримана за умови, що моментом внутрішнього тертя на валу можна знехтувати, оскільки істотніше виявляється момент зовнішнього опору, викликаного навантаженням. Структурну схему дводвигунного електропривода при паралельному з'єднанні двигунів з урахуванням пружностей у математичному пакеті Matlab Sim Power Systems показано на рис. 4.5.

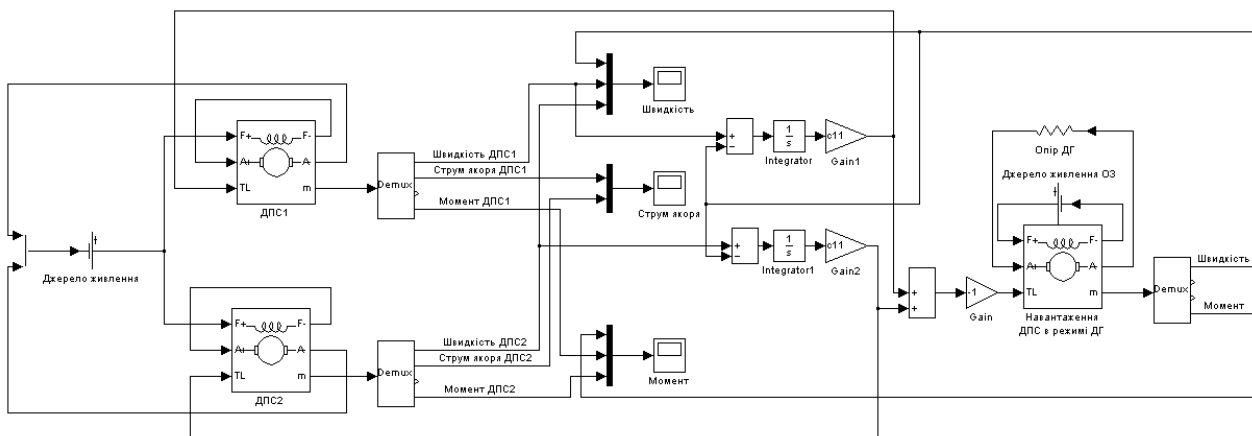


Рисунок 4.5 – Структурна схема дводвигунного електропривода при паралельному з'єднанні двигунів з урахуванням пружностей у математичному пакеті Matlab Sim Power Systems

Хід роботи

1. Створити структурну схему математичної моделі дводвигунного електропривода при паралельному з'єднанні двигунів (дані для моделювання наведені у табл. 1.1, прийняти $c_{11} = 5000$).
2. Отримати графіки перехідних процесів за швидкістю, струмом якоря та моментом.
3. Повторити п. 1 та п. 2 для дводвигунного електропривода при послідовному з'єднанні двигунів.
4. Повторити п. 1 та п. 2 для дводвигунного електропривода при паралельному з'єднанні двигунів з урахуванням пружностей.

Зміст звіту

1. Титульна сторінка.
2. Назва та мета роботи.
3. Структурні схеми математичних моделей.
4. Характеристики ДПС послідовного збудження у рушійному та гальмівному режимах у системах координат $\omega = f(t)$, $i = f(t)$, $M = f(t)$.
5. Висновки щодо роботи.

Контрольні питання

1. У чому переваги та недоліки моделювання в математичному пакеті Matlab Sim Power Systems?
2. Яким чином моделюється ДПС послідовного збудження в математичному пакеті Matlab Sim Power Systems?
3. Наведіть передавальні функції математичної моделі ДПС послідовного збудження.
4. Дайте порівняльну характеристику дводвигунному електропривода при паралельному та послідовному з'єднанні двигунів.
5. Яким чином впливає наявність пружності на роботу дводвигунного електропривода?

Література: [1, с. 89–92; 4, с. 147–150].

Лабораторна робота № 5

Тема. Дослідження роботи тягових електродвигунів при послідовному та паралельному з'єднаннях

Мета: дослідження та побудова за експериментальними даними характеристик тягових електродвигунів при послідовному та паралельному з'єднаннях.

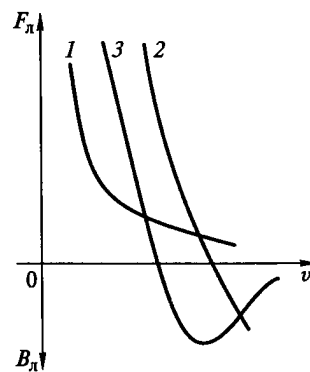
Короткі теоретичні відомості

Тягові характеристики двигунів різних систем збудження наведено на

рис. 5.1. Як видно з цього рисунка, біля тягової характеристики двигуна послідовного збудження (крива 1) у зоні малих швидкостей сила тяги при збільшенні швидкості різко падає. При подальшому збільшенні швидкості зміна сили тяги незначна.

Тягова характеристика двигуна паралельного збудження (крива 2) жорстка (близька до прямої вертикальної лінії). При деякій швидкості вона перетинає вісь абсцис і продовжується в зоні негативних (гальмівних) сил.

Крива 3 відображає тягову характеристику двигуна змішаного збудження.



1 – послідовного; 2 – паралельного; 3 – згідно-змішаного; $F_{л}$ – сила тяги локомотива; $B_{л}$ – гальмівна сила локомотива; v – швидкість

Рисунок 5.1 – Тягові характеристики двигунів системи збудження

Основними вимогами, яким повинні задовольняти тягові двигуни, є електрична стійкість, механічна стійкість; рівномірний розподіл навантажень між паралельно працюючими двигунами; максимальне використання сили зчеплення; стійкість комутації; найменший вплив на енергосистему; можливість плавного регулювання швидкості та застосування рекуперації; простота конструкції.

Аналіз роботи в режимі тяги двигунів різних систем збудження показує, що найбільшу електричну і механічну стійкість мають двигуни послідовного і згідно-змішаного збудження; сприятливий розподіл навантажень має місце у двигунів з м'якими характеристиками (ТЕД послідовного збудження); найкраще використання зчіпної ваги – у двигунів із жорсткими характеристиками (ТЕД

паралельного і незалежного збудження). Проте в останніх двох випадках суттєве значення має схема з'єднання двигунів.

На рухомому складі, як правило, встановлено декілька двигунів, які можуть бути включені як послідовно, так і паралельно. При послідовному з'єднанні декількох двигунів характеристика двигуна, пов'язана з боксуючою колісною парою, стає м'якою, тому що напруга на боксуючому двигуні підвищується, викликаючи подальше збільшення швидкості його обертання.

При послідовному з'єднанні z_c двигунів швидкість ковзання буксуючої колісної пари зростає в z_c разів порівняно зі швидкістю двигуна, безпосередньо ввімкненому на постійну напругу. Відповідно в z_c разів зменшується жорсткість $\chi = \frac{dF}{dv}$ тягової характеристики двигуна, пов'язаного з боксуючою колісною парою.

Таким чином, послідовне ввікнення двигунів, незважаючи на кращий розподіл сил тяги між двигунами, значно менш сприятливо з точки зору використання зчіпної ваги, ніж паралельне. Недоліком послідовного ввікнення є і те, що зі збільшенням швидкості ковзання буксуючої колісної пари падає струм, а відповідно, і сила тяги всіх двигунів, з'єднаних послідовно з буксуючим. З точки зору надійності комутації та впливу на систему енергозабезпечення найкращі властивості мають двигуни з м'якими характеристиками.

Регулювання швидкості та рекуперація краще здійснюються у двигунів паралельного та згідно-змішаного збудження. Перевагою цих двигунів є автоматичний перехід у генераторний режим, що дозволяє легко здійснювати рекуперативне гальмування. Ще кращі регульовальні властивості у двигуна незалежного збудження.

Рух електрорухомого складу, як відомо, починається з пуску, після чого здійснюють регулювання швидкості двигуна. Умови пуску і регулювання швидкості залежать від системи тягового привода.

Зміну напруги на затискачах тягового двигуна при заданій напрузі джерела живлення можна здійснити різними способами: перемиканням тягових

двигунів з послідовного на паралельне з'єднання; установкою перетворювачів напруги на електрорухомий склад.

Послідовно-паралельне перемикання тягових двигунів – досить економічний спосіб. На рис. 5.2 як приклада показано дві схеми з'єднання чотирьох тягових двигунів. При послідовному з'єднанні (рис. 5.2, а) до кожного двигуна підводиться напруга $U_c/4$. При послідовно-паралельному з'єднанні (рис. 5.2, б) напруга на двигуні збільшується до $U_c/2$.

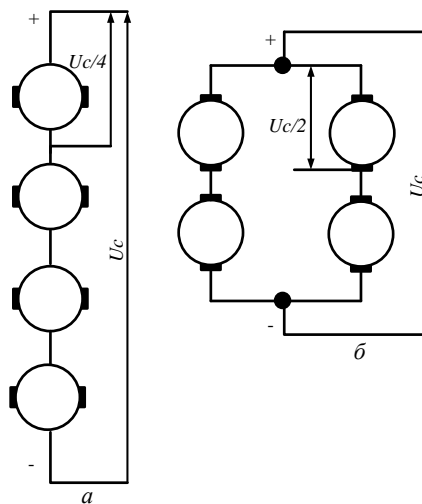


Рисунок 5.2 – Схеми послідовного (а) і послідовно-паралельного (б) з'єднання двигунів: U_c – напруга джерела живлення

Хід роботи

1. Ознайомитись з лабораторним стендом (додаток А).
2. Зняти та побудувати статичні характеристики для декількох точок навантаження від \min до \max .
3. Зняти та побудувати динамічні характеристики тягових електродвигунів при послідовному та паралельному з'єднаннях у рушійному режимі:
 - пуск тягових електродвигунів з максимальним навантаженням;
 - робота тягових електродвигунів при накиданні та скиданні максимального навантаження;
 - пуск тягових електродвигунів з мінімальним навантаженням;

– робота тягових електродвигунів при накиданні та скиданні мінімального навантаження.

Зміст звіту

1. Титульна сторінка.
2. Назва та мета роботи.
3. Функціональна схема стенда.
4. Динамічні характеристики тягових електродвигунів при послідовному та паралельному з'єднаннях у рушійному режимі у системах координат $n = f(t)$, $i = f(t)$, $u = f(t)$.
5. Статичні характеристики тягових електродвигунів при послідовному та паралельному з'єднаннях $\omega(M)$, $\omega(I)$, $\eta(M)$.
6. Висновки щодо роботи.

Контрольні питання

1. Яким чином на лабораторному стенді реалізується накид навантаження?
2. Оцінити наслідки прямого ввімкнення в мережу тягових електроприводів з номінальною напругою.
3. Перерахуйте можливі способи регулювання швидкості тягових електроприводів.
4. Перерахуйте можливі способи гальмування тягових електроприводів.
5. Продемонструйте на лабораторному стенді роботу тягових електродвигунів при накиданні та скиданні максимального і мінімального навантаження.
6. Які характеристики називають робочими характеристиками для двигунів з послідовним збудженням?
7. Яким чином впливає зміна навантаження на перехідні характеристики тягових електроприводів при паралельному з'єднанні?

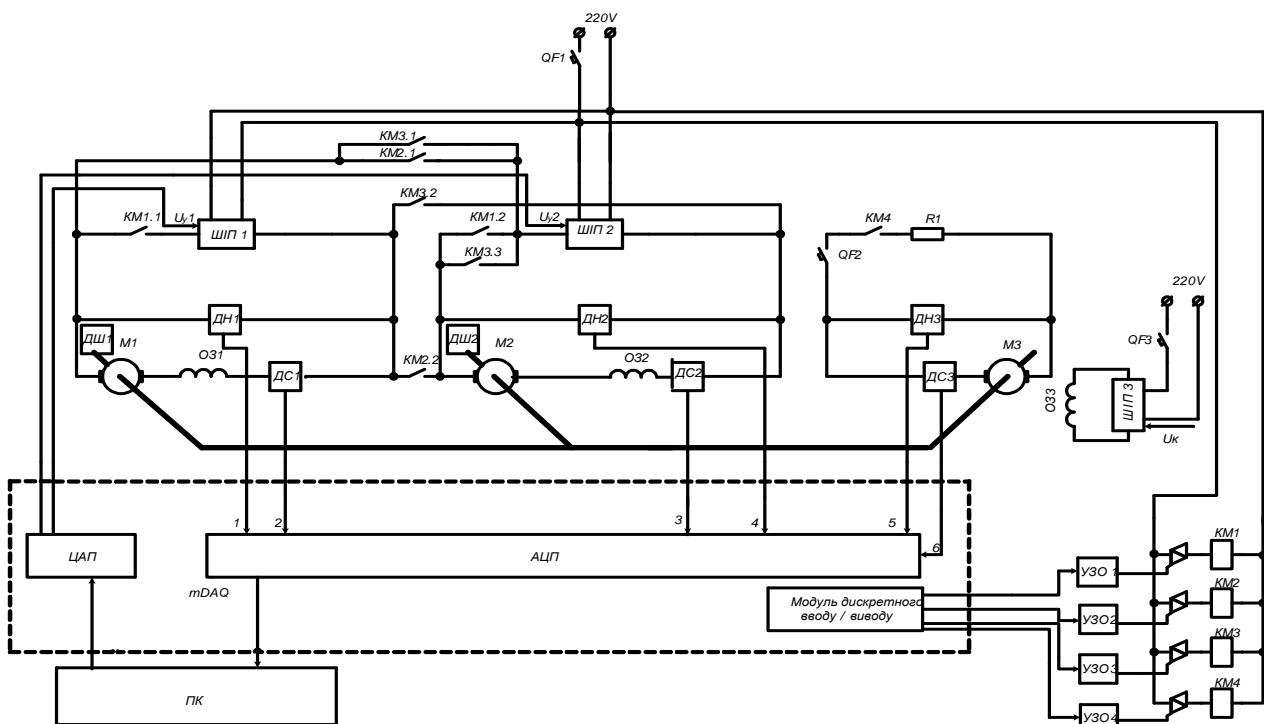
Література: [5, с. 65–75; 6, с. 95–100; 7, с. 103–110; 8, с. 66–70].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Моделювання електромеханічних систем / О. П. Чорний, А. В. Луговой, Д. Й. Родькін та ін. Кременчук : 2001. 410 с.
2. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. / С. Г. Герман-Галкин. Санкт-Петербург : Корона, 2001. 320 с.
3. Башарин А. В. Управление электроприводами : учебное пособие для вузов / А. В. Башарин Л. : Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. 392 с.
4. Фираго Б. И. Теория привода : учебное пособие / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. Мн. : ЗАО «Техноперспектива», 2004. 527 с.
5. Основы электрического транспорта / М. А. Слепцова, Г. П. Долаберидзе, А. В. Прокопович и др. Москва : Издательский центр «Академия», 2006. 464 с.
6. Основы электрической тяги / В. Е. Розенфельд, И. П. Исаев, Н. Н. Сидоров, М. И. Озеров , под ред. И. П. Исаева. Москва : Транспорт, 1995. 294 с.
7. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. Москва : Энергоиздат, 1981. 576 с.
8. Грищенко А. В. Электрические машины и преобразователи подвижного состава /А. В. Грищенко, В. В. Стрекопытов. Москва : Издательский центр «Академия», 2005. 320 с.
9. Осипов С. И. Основы тяги поездов: учебник для студентов техникумов колледжей ж/д тр-та / С. И. Осипов, С. С. Осипов. Москва : УМК МПС России, 2000. 592 с.
10. Калинин В. К. Электровозы и электропоезда / В. К. Калинин. Москва : Транспорт, 1991. 480 с.
11. Вольдек А. И. Электрические машины / А. И. Вольдек. Л. : Энергия, 1974. 840 с.
12. Постников И. М. Обобщенная теория и переходные процессы электрических машин / И. М. Постников. Москва : Высшая школа, 1975. 319 с.
13. Байрыева Л. С. Электрическая тяга: городской наземный транспорт / Л. С. Байрыева, В. В. Шевченко. Москва : Транспорт, 1986. 206 с.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ

Лабораторний стенд, функціональну схему якого зображено на рис. А1, містить три двигуна постійного струму М1, М2, М3, модуль дискретного вводу/виводу, систему керування та персональний комп'ютер.



М1, М2 – приводні тягові електродвигуни (ТЕД) постійного струму послідовного збудження; М3 – навантажувальна машина (НМ) постійного струму незалежного збудження; ШП1, ШП2 – широтно-імпульсні перетворювачі (ШП) напруги якорів ТЕД; ШП3 – перетворювач напруги обмотки збудження М3; ДС1-ДС3 – датчики струмів кіл електричних машин; ДН1-ДН3 – датчики напруг; ДШ1, ДШ2 – датчики швидкості обертання;
mDAQ – модуль ЦАП/АЦП

Рисунок А1 – Функціональна схема лабораторного комплексу для дослідження електромеханічних трансмісій транспортних засобів

Механічна частина стенда містить два приводних ТЕД які через пасові передачі сполучені з НМ (рис. А2). Механічна частина кріплень електричних машин виконана таким чином, щоб забезпечити можливість зміни ступеня натягу пасків механічної передачі окремо для кожного ТЕД. Це дозволяє фізично моделювати режими роботи електромеханічної трансмісії при боксуванні одного з ТЕД.

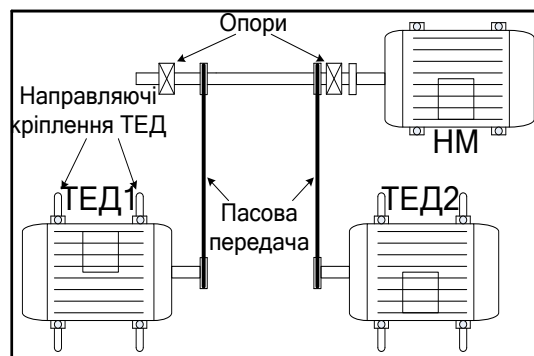


Рисунок А2 – Ескіз механічної частини лабораторного стенда

Таблиця А1 – Технічні характеристики тягових і навантажувальної машин

Тип	P_n , кВт	U_n , В	I_n , А	n_n , об/хв	ККД, %
ДПК-11	0,12	110	2	600	55
П-11	0,7	110	8,7	3000	60

Розроблений комп'ютеризований лабораторний стенд дозволяє досліджувати статичні, енергетичні та динамічні режими роботи електромеханічних трансмісій транспортних засобів. Розроблені технічні рішення щодо силових перетворювачів параметрів електроенергії дозволяє керувати режимами роботи ТЕД як у режимі ручного, так і комп'ютеризованого керування. Використання розробленого блока датчиків струму, напруги, швидкості та модуля керування контакторами у сполученні з модулем ЦАП-АЦП mDAQ, дозволяє повністю комп'ютеризувати, контролювати та керувати режимами роботи ТЕД.

На лабораторному стенді реалізовано можливість дослідження різних схем з'єднання ТЕД: незалежне, послідовне і паралельне (рис. А3).

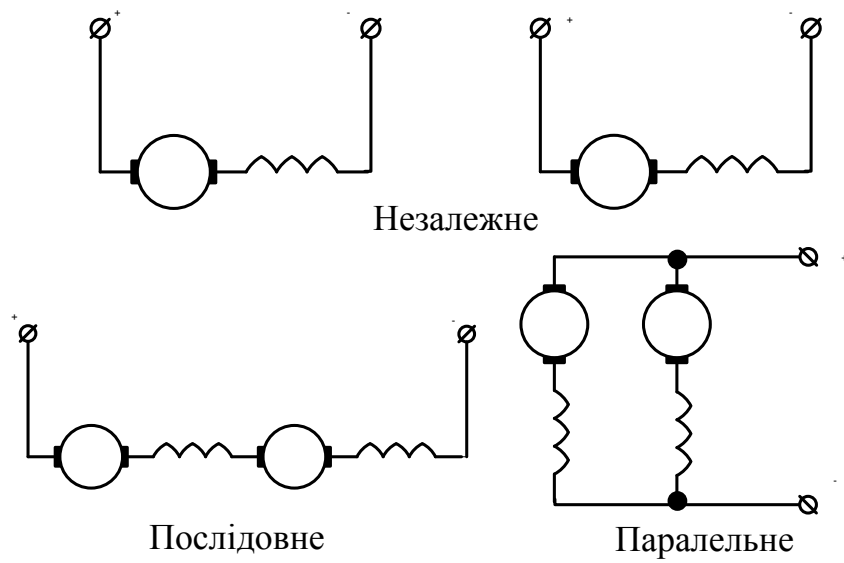


Рисунок А3 – Способи з'єднання ТЕД

Переключення схем з'єднання здійснюється за допомогою тумблерів на передній панелі стенда (рис. А4) згідно з таблицею перемикачів (табл. А2)

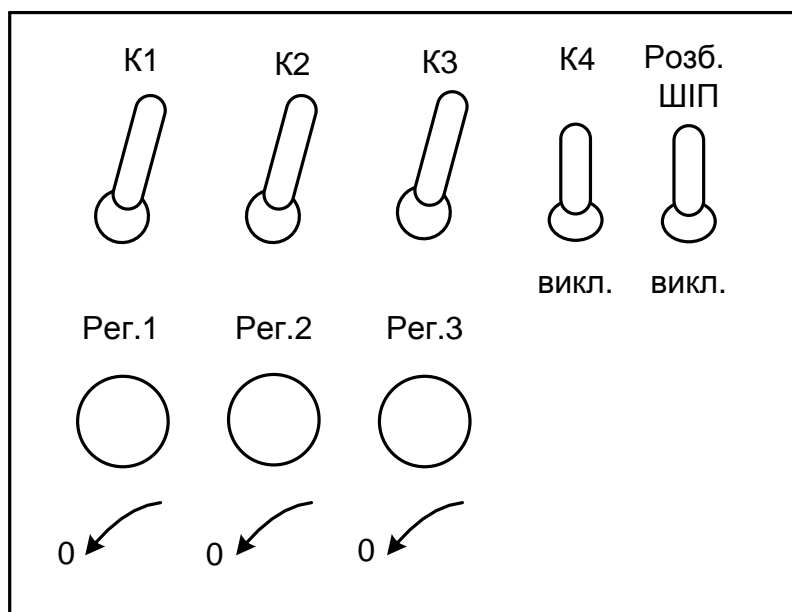











Рисунок А4 – Панель керування лабораторним стендом

Таблиця А2 – Панель керування схемою з'єднання ТЕД

	К1	К2	К3
Незалежне			
Послідовне			
Паралельне			

Опис послідовності роботи зі стендом:

Після під'єднання стенда до однофазної мережі живлення 220 В силова частина знаходиться під напругою!

1. За допомогою перемикачів вибору схеми з'єднання ТЕД (рис. А4, табл. А2) вибирається одна з наступних схем: паралельне, послідовне та незалежне з'єднання.
2. Для запуску ТЕД необхідно розблокувати драйвери ШП 1 та ШП 2 за допомогою тумблера Розб. ШП (рис. А4). При незалежному з'єднанні напруги ТЕД 1 та ТЕД 2 регулюються незалежно за допомогою ШП 1 та ШП 2 реостатами на панелі керування Рег. 1 та Рег. 2 (рис. А 4). При послідовному та паралельному з'єднанні напруга на ТЕД задається за допомогою Рег. 2.
3. Навантаження ТЕД здійснюється за допомогою НМ, яка працює у режимі динамічного гальмування. Замикання якірного кола НМ здійснюється за допомогою перемикача К4 (рис. А4), зміна рівня навантаження здійснюється зміною збудження НМ за допомогою ШП 3 реостатом Рег. 3 (рис. А4) на панелі керування

ПРИКЛАД ОБРОБКИ ДАНИХ У МАТЕМАТИЧНОМУ ПАКЕТІ MATHCAD

```
A :=
    ... \nz_7.txt
    // - завантаження текстового файла nz_7.txt (Insert →
```

Component → File Read or Write → Read from a file → указується шлях до файлу
→ Готово)//

```
A := submatrix(A, 3, N - 3, 0, 7) - Вирізання частини масиву даних
```

```
N := length(A<0>) // - Визначення довжини матриці текстового
файлу
```

```
N1 := length(A<0>)
```

```
T1 := 153; T2 := N1 - 1
```

```
i := T1, T1 + 1 .. T2 - T1
```

```
A := submatrix(A, T1, T2, 0, 7)
```

```
a := submatrix(A, 0, 1000, 0, 7)
```

Ініціалізація та масштабування вхідних сигналів:

```
I1 := 1.031A<1> I2 := 0.999A<3> In := 5.219A<7>
```

```
w1 := 970A<4> w2 := 871.631A<6>
```

```
U1 := A<0> .25.1U U2 := 24.97A<2>
```

- частота дискретизації на канал:

```
G := 9142.85714
```

Фільтрація вхідних сигналів:

```
I1 := medsmooth(I1, 55) I2 := medsmooth(I2, 55) In := medsmooth(In, 5)
```

```
w1 := medsmooth(w1, 55) w2 := medsmooth(w2, 55)
```

```
U1 := medsmooth(U1, 155) U2 := medsmooth(U2, 155)
```

Для прикладу нижче наведено перехідні процеси при запуску двигуна M1 під навантаженням із подальшим запуском двигуна M2 у момент часу $t \approx 4,5$ с (незалежне з'єднання ТЕД).

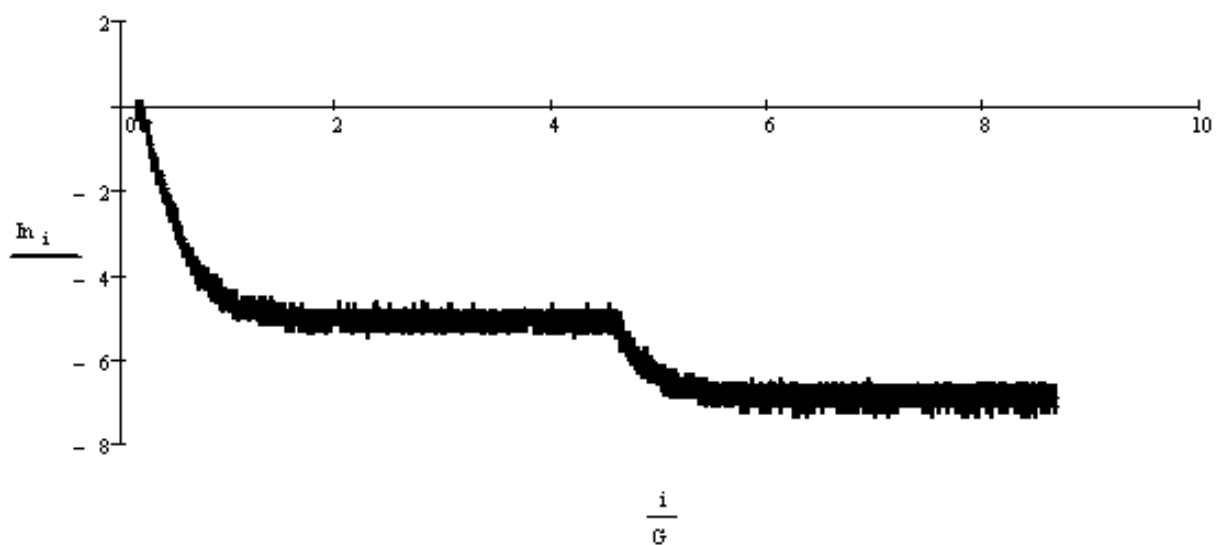


Рисунок Б1 – Перехідний процес за струмом навантажувальної машини

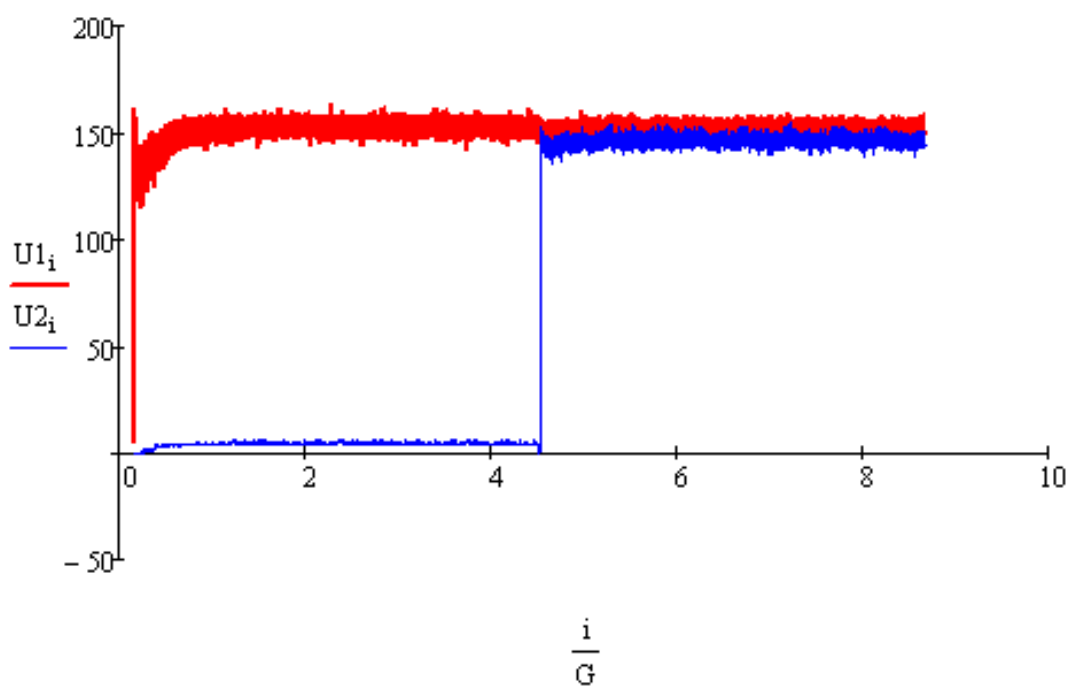


Рисунок Б2 – Перехідні процеси за напругами ТГД

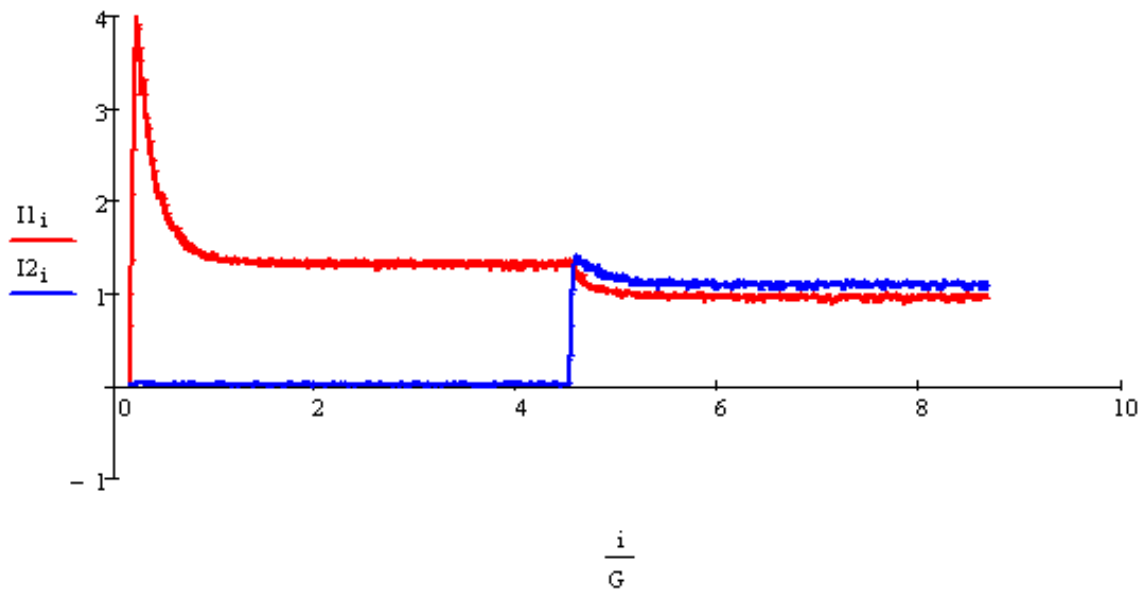


Рисунок Б3 – Перехідні процеси за струмами якорів ТЕД

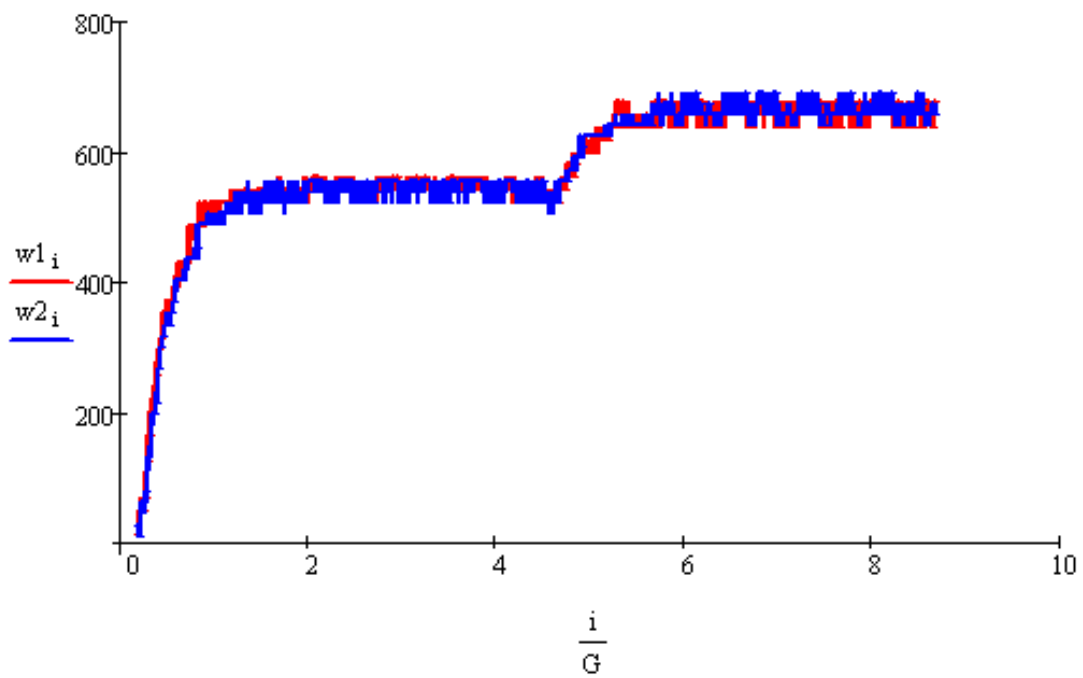


Рисунок Б4 – Перехідні процеси ТЕД за кутовими частотами обертання

Розрахунок потужностей ТЕД, що споживаються:

$$P1_i := U1_i \cdot I1_i \quad P2_i := U2_i \cdot I2_i$$

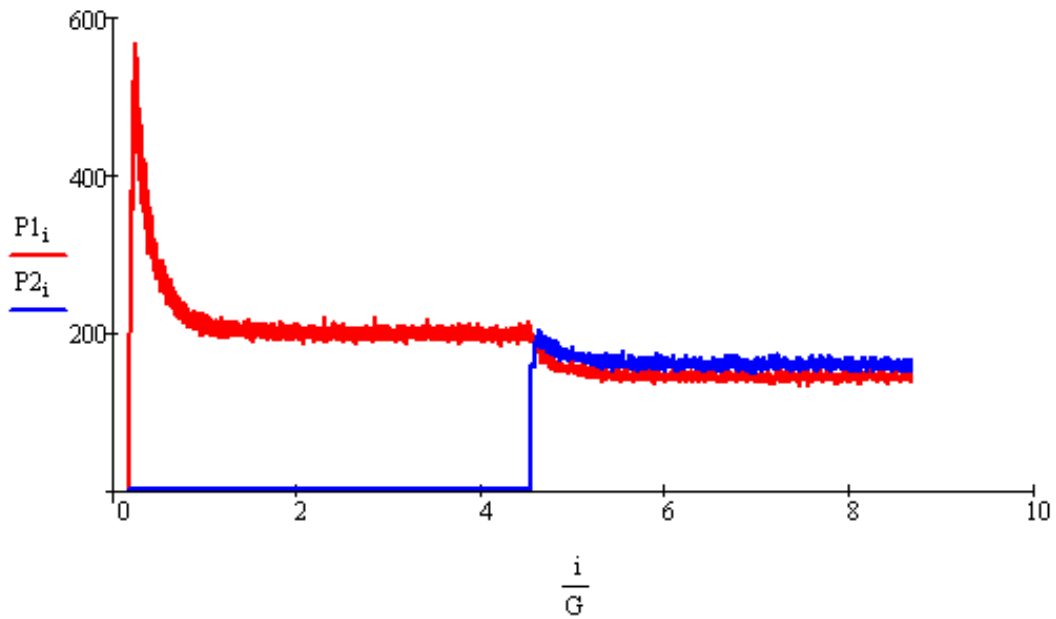


Рисунок Б5 – Перехідні процеси ТЕД за потужностями, що споживаються

Розрахунок потужностей на валах ТЕД:

$$P_{b1_i} := P_{1_i} - dP_c - (I_{1_i})^2 \cdot R_a \quad P_{b2_i} := P_{2_i} - dP_c - (I_{2_i})^2 \cdot R_a$$

де dP_c – сталі втрати в ТЕД

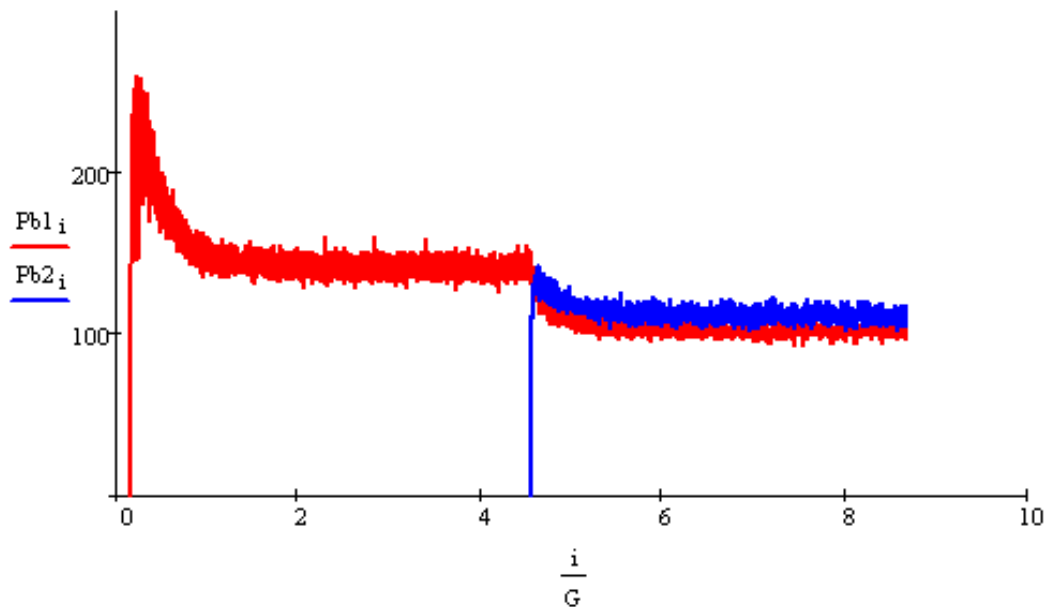


Рисунок Б6 – Перехідні процеси за потужностями на валах ТЕД

Зразок оформлення титульної сторінки звіту з лабораторної роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І СИСТЕМ
УПРАВЛІННЯ

КАФЕДРА СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТА
ЕЛЕКТРОПРИВОДА

КУРС «ЕЛЕКТРОПРИВОД З АВТОНОМНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ
ЖИВЛЕННЯ»

ЗВІТ
З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 1

Виконав:
студент групи
ПІБ

Перевірив:
асист. кафедри САУЕ
ПІБ

Кременчук 2019

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Електропривод з автономними джерелами живлення» для студентів денної та заочної форми навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (у тому числі скорочений термін навчання)

Укладачі: к. т. н., доц. А. П. Калінов,
к. т. н., доц. В. О. Мельников
ст. викладач О. А. Хребтова

Рецензент д. т. н., доц. Ю. В. Зачепа

Підп. до др. _____. Формат 60x84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.
Ум. друк. арк. _____. Наклад _____ прим. Зам. № _____. Безкоштовно.

Видавничий відділ
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600