

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА-1

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
для студентів напряму підготовки 6.050702 – "Електромеханіка"
спеціальності "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод"

Київ НТУУ "КПІ" 2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА-1

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
для студентів напряму підготовки 6.050702 – "Електромеханіка" спеціальності
"Електромеханічні системи автоматизації та електропривод"

*Рекомендовано Вченою радою
факультету електроенерготехніки та автоматики*

Київ НТУУ «КПІ» 2014

Теорія електропривода-1: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050702-"Електромеханіка" спеціальності "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод"/ Уклад. М.Я. Островерхов, В.М.Пижов, М.В.Пушкар – К.: НТУУ "КПІ", 2014. – 52 с.

*Гриф надано Вченою радою факультету
електроенерготехніки та автоматики
(Протокол № 2 від 29 вересня 2014 р.)*

Навчальне видання

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА-1

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
для студентів напряму підготовки 6.050702-"Електромеханіка"
спеціальності "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод"

Укладачі: Островерхов Микола Якович, д-р. техн. наук, проф.
Пижов Володимир Михайлович, канд. техн. наук, доц.
Пушкар Микола Васильович, , б/ст., асист.

Відповідальний редактор Шматок С.О., д-р. техн. наук, проф.
Рецензент Васьковський Ю.М., д-р. техн. наук, проф.

За редакцією укладачів

ЗМІСТ

Вступ	4
Лабораторна робота № 1. Дослідження механічних характеристик двигуна постійного струму з незалежним збудженням	5
Лабораторна робота № 2. Дослідження механічних характеристик двигуна постійного струму з послідовним збудженням	16
Лабораторна робота № 3. Дослідження статичних характеристик системи «генератор – двигун»	25
Лабораторна робота № 4. Дослідження механічних характеристик асинхронного двигуна з фазним ротором	36
Лабораторна робота № 5. Ознайомлення з лабораторними стендами та порядком виконання лабораторних робіт	45
Список рекомендованої літератури	49
Додаток А. Приклад оформлення титульного листа	50
Додаток Б. Заходи безпеки під час виконання лабораторних робіт	51

ВСТУП

Лабораторні роботи з кредитного модуля «Теорія електропривода-1» призначені для закріплення теоретичних знань, проведення розрахунків й надбання практичних навичок при дослідженні механічних та електромеханічних характеристик електродвигунів постійного й змінного струму в різних режимах роботи при різних способах керування швидкістю.

Методичні вказівки до кожної лабораторної роботи включають назву та мету, короткі теоретичні відомості, завдання на роботу, методичні рекомендації та контрольні запитання. Для поглибленого вивчення матеріалу можна скористатися списком рекомендованої літератури.

До початку заняття студенти самостійно готують протокол лабораторної роботи та здійснюють підготовку до проведення лабораторної роботи, використовуючи методичні вказівки, конспект лекцій та рекомендовану літературу.

На наступному занятті проходить захист звіту лабораторної роботи. Звіт оформлюється на аркушах паперу формату А4, які ліворуч жорстко скріплюються. Текст та інші матеріали звіту розміщується з однієї сторони аркушів паперу. Звіт складається з титульного листа, мети й програми роботи, основних теоретичних відомостей, електричної схеми лабораторної роботи, таблиць зі знятими експериментальними та розрахунковими даними, розрахунків, побудованих характеристик, висновків до лабораторної роботи. Приклад оформлення титульного листа наведено в додатку А.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З НЕЗАЛЕЖНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

(термін виконання 4 години)

Мета роботи – вивчити електромеханічні властивості електродвигуна постійного струму з незалежним збудженням у різних режимах роботи, визначити вплив параметрів електроприводу на статичні, механічні та електромеханічні характеристики; поглибити знання фізичних процесів, що протікають при роботі двигуна.

1.1. Програма досліджень

1. Ознайомитися з лабораторною установкою, усвідомити призначення усіх вимірювальних приладів та органів керування.

2. Записати паспортні дані електричних машин.

3. За паспортними даними розрахувати номінальний електричний опір R_n двигуна, що досліджується.

4. Зібрати схему досліджень та встановити перемикачі 2П-5П на лабораторному пульті в нульове положення.

5. Дослідним шляхом зняти механічні характеристики для рушійного режиму та режиму рекуперативного гальмування при $R_2=0$ та $I_b=I_{b.n}$ (природна характеристика); при $R_2 \neq 0$ и $I_b=I_{b.n}$ (штучні реостатні характеристики) $R_2=0$ та $I_b \neq I_{b.n}$ (штучні характеристики при послабленні потоку збудження), а також для режиму гальмування противмиканням при двох значеннях R_2 и $I_b=I_{b.n}$ та режиму динамічного гальмування для двох значеннях режима R_2 при $I_b=I_{b.n}$ и $I_b \neq I_{b.n}$.

Дані для заданого варіанту брати з табл. 1.1.

6. Опрацювати результати дослідів та побудувати графіки залежностей $\omega=f(M)$.

1.7. Для заданого варіанту розрахувати механічні характеристики та порівняти їх з експериментальними даними.

1.8. Оформити звіт по роботі

Таблиця 1.1

п/п	Рушійний режим та рекуперативного гальмування				Гальмування проти виканням		Динамічне гальмування			Завдання для п. 1.7		
	1_2	2_2	v_1	v_2	1_2	2_2	2	2	v_1	Рушійний режим та рекуперативного гальмування	Гальмування проти виканням	Динамічне гальмування
	0,2	1,0	0,9	0,5	2,5	3,5	0	0,4	0,7	$1R^*_2$	$1R^*_2$	$1R^*_2$
	0,3	1,2	0,8	0,5	2,6	3,6	0,1	0,5	0,6	$2R^*_2$	$2R^*_2$	$2R^*_2$
	0,4	1,3	0,7	0,5	2,7	3,7	0,2	0,6	0,5	$1R^*_2$	$2R^*_2$	$1R^*_2$
	0,5	1,4	0,6	0,5	2,8	3,8	0,3	0,7	0,4	$2R^*_2$	$1R^*_2$	$2R^*_2$
	0,6	1,5	0,5	0,6	2,9	3,9	0,4	0,8	0,7	$1R^*_2$	$1R^*_2$	$1R^*_2$
	0,7	1,6	0,8	0,7	3,0	4,0	0,5	0,9	0,6	$2R^*_2$	$1R^*_2$	$1R^*_2$
	0,8	1,7	0,8	0,9	3,1	2,2	0,6	1,0	0,5	$1R^*_2$	$2R^*_2$	$1R^*_2$
	0,9	1,8	0,7	0,9	3,2	2,3	0,7	1,1	0,4	$2R^*_2$	$2R^*_2$	$1R^*_2$
	1,0	1,9	0,7	0,6	3,3	2,4	0,8	1,2	0,8	$1R^*_2$	$2R^*_2$	$2R^*_2$
	0,3	2,0	0,7	0,5	3,4	2,5	0,9	1,3	0,9	$2R^*_2$	$1R^*_2$	$2R^*_2$

;

1.2. Короткі теоретичні відомості

Напруга U , прикладена до якоря двигуна постійного струму, урівнюється до ЕРС двигуна E та падінням напруги в якірному ланцюзі:

$$U = E + IR_{я\Sigma}, \quad (1.1)$$

де I – струм якірного ланцюга, А; $R_{я\Sigma}$ – опір якірного ланцюга, Ом.

ЕРС двигуна пов'язана з частотою обертання співвідношенням:

$$E = c\Phi\omega, \quad (1.2)$$

де C – константа; Φ – магнітний потік; ω – кутова швидкість, рад/с.

Момент двигателя, Н·м:

$$M = c\Phi I. \quad (1.3)$$

З (1.1) та (1.2) знаходимо рівняння електромеханічної характеристики $\omega = f(I)$:

$$\omega = \omega_0 - \beta I, \quad (1.4)$$

Підставляючи (1.3) в (1.4), отримуємо рівняння механічної характеристики $\omega = f(M)$:

,

де ω_0 – кутова швидкість ідеального холостого ходу (при $M=0$).

З (1.5) видно, що механічні характеристики – прямі лінії.

Величина β – модуль жорсткості статичної механічної характеристики.

Механічна характеристика при $U=U_n$; $\Phi=\Phi_n$; $R_{я\Sigma}=R_{я}$ (тобто при відсутності додаткових опорів в якірному ланцюзі) називається природною.

Момент та струм двигуна залежать від моменту на його валу (статичного моменту). Робоча точка двигуна визначається перетином механічних характеристик двигуна та механізму. Наприклад, якщо характеристика механізму має вигляд $M_c = \text{const}$ (рис. 3.1, графік 2), то при роботі двигуна на характеристиці 1 його робочою точкою буде А.

Характеристики 1 та 3, які відповідають рушійному режиму, розташовані в першому квадранті. Характеристика 1 – природна ($R_{доб}=0$), а 3 – реостатна штучна ($R_{доб} \neq 0$).

Чим більший додатковий опір якірного ланцюга, тим більший нахил характеристики, тобто менша жорсткість β , причому вони перетинаються в одній точці ($\omega_0, 0$).

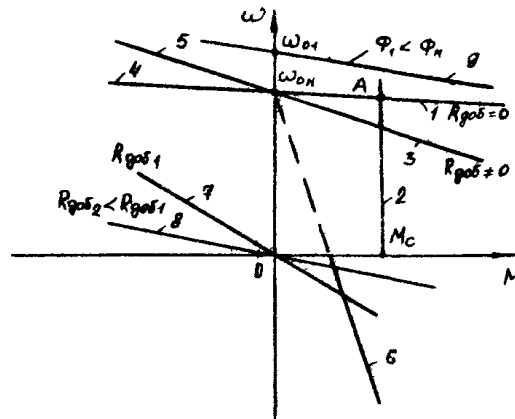


Рис. 3.1. Механические характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Рис. 3.1

Цьому режиму відповідають характеристики 4 та 5 у другому квадранті, які слугують продовженням характеристик 1 та 3 (див. рис. 3.1).

Режим гальмування проти вмикання виникає, коли зовнішня сила (момент навантаження або сили інерції) обертає двигун в сторону, протилежну напрямку дії його моменту. Характеристика 6 (суцільна лінія) (див. рис. 3.1), що відповідає режиму проти вмикання, розташовується в четвертому квадранті. Пунктирна частина характеристики 6 відповідає рушійному режимові.

Динамічне гальмування: якщо у двигуна, що обертається, відключити якір від мережі і підключити на зовнішній опір, залишивши включеною обмотку збудження, то ЕРС, що наводиться в якорі, викличе протікання струму, який, взаємодіючи з магнітним потоком, створюватиме гальмівний момент. Рівняння механічної характеристики в режимі динамічного гальмування має вигляд:

На рис. 3.1 даному режимові відповідають характеристики 7 та 8, причому вони проведені для різних додаткових опорів $R_{доб1}$ та $R_{доб2}$ в якорному ланцюзі ($R_{доб1} > R_{доб2}$).

При послабленні магнітного потоку Φ швидкість ω_0 збільшується, а жорсткість β знижується. Механічну характеристику при $I_B < I_{B.H}$ ілюструє графік 9.

1.3. Методичні вказівки

1.3.1. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка представляє собою універсальний стенд, який призначений для виконання широкого кола лабораторних робіт по теорії електроприводу. Для цього в кожній конкретній роботі використовується тільки частина вимірювальних приладів та апаратів керування, встановлених на пульті.

В даній роботі використовуються прилади та апарати, показані на рис. 3.2.

Напруга живлення подається в досліджувану схему натисненням кнопки автоматичного вимикача 2 АВ, який розташований на вертикальній панелі праворуч.

Як правило, студентам немає необхідності збирати схему лабораторних досліджень, за виключенням підключення необхідних елементів, які вказані на рис. 3.2. потовщеною лінією. Підключення проводиться до відповідних клем пульта, які розташовані на його вертикальній панелі. Інша частина схеми вже є зібраною в лабораторному стенді.

Навантажувальні опори встановлені поза пультом та повинні бути підключені у відповідності зі схемою роботи до початку проведення лабораторних досліджень.

Перед початком кожної лабораторної роботи усі перемикачі на пульті повинні бути встановлені у нульове положення.

Для даної лабораторної роботи необхідно підключити реостати R1, R2 до точок 1, 2 та 3, 4 відповідно, а також встановити перемичку між точками 5 та 6.

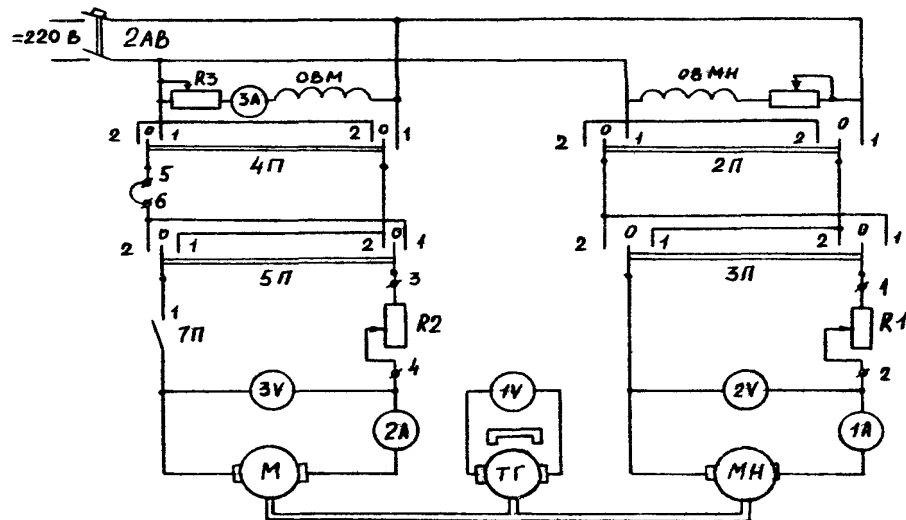


Рис. 3.2. Схема для дослідження двигателя постійного тока с независимым возбуждением

Рис. 3.2

1.3.2. Порядок проведення досліджень

1) Частота обертання двигуна вимірюється за допомогою тахогенератора ТГ, який механічно з'єднаний з валом двигуна, по напрузі $U_{ТГ}$ (вимірюється вольтметром 1V):

де $n_{ТГ.н}$ – номінальна частота обертання, об/хв; $U_{ТГ.н}$ – напруга тахогенератора, В (див. паспортні дані).

2) Вихідне положення для проведення усіх дослідів: перемикачі 2П-5П – в нейтральне положення; 7П – в положення 1; движки реостатів R1 та R2 – в положення «Нескінченність» (∞); струм I_3 – максимальний.

3) Для зняття механічних характеристик необхідно змінювати в широких межах момент на валу двигуна. З цією ціллю використовується

навантажувальна машина МН, вал якої механічно з'єднано з валом двигуна М, який досліджується. Момент навантаження машини пропорційний струму якоря I_1 , відповідно, змінюючи струм I_1 , реостатом R1, можна змінювати момент на валу двигуна, що досліджується.

4) Зняття природної механічної характеристики в рушійному режимі та в режимі рекуперативного гальмування.

Механічної характеристика режимів рекуперативного гальмування є продовженням характеристик рушійного режиму, ось чому виконувати дослід для цих режимів рекомендується в такій послідовності:

4) Снятие естественной механической характеристики в двигательном режиме и в режиме рекуперативного торможения.

а) узгодити напрямки моментів М і МН так, щоб, включені в рушійному режимові поодинці, вони мали однаковий напрямок обертання (стрілка вольтметра 1V повинна відхилитися в одну сторону). Двигуни вмикати, переключаю перемикач 2П (або 4П) в положення 1, а перемикачі 3П і 5П - в положення 1 або 2, і плавно зменшуючи опір R1 (або R2) від нескінченності (∞) до нуля. Змінювати напрямок обертання навантажувальної машини перемикачем 3П. Повернути схему у вихідне положення;

б) поставити перемикач 4П в положення 1, а 2П - в положення 2. Запустити М, вивести R2 в положення «0» (при цьому М працює на природній характеристиці);

в) навантажити досліджуваний двигун до номінального струму за допомогою зміни опору R1;

г) зменшуючи струм I_1 до нуля за допомогою реостата R1, знімати механічну характеристику в рушійному режимові (3-4 точки); занести дані в табл. 1.2;

Таблица 1.2

$R_1, \text{Ом}$	$I_B(3A), A$	$I_B(1A), A$	$I_2(2A), A$	$U_3(3V), B$	$U_{тр} (1V), B$	$\omega, 1/c$	$M, H \cdot m$
------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	------------------	---------------	----------------

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

д) переключити 2П у положення 1. Зменшуючи опір R1 і розганяючи тим самим МН, перевести М в режим рекуперативного гальмування і зняти в цьому режимі 3-4 точки; занести дані в табл. 1.2. Момент переходу досліджуваного двигуна з рушійного режиму в рекуперативний зафіксувати по зміні знака струму I2 на протилежний. Точка при I2 = 0 відповідає ідеальному холостому ходу двигуна М, а точка при I1 = 0 - його реальному холостому ходу.

5) Для зняття штучної характеристики в цих же режимах повторити операцію з п. 4, виставивши заданий за програмою опір R2. Положення движка реостата R2 вибирати по таблиці, розташованій на реостаті.

6) Штучні характеристики при ослабленому потоці збудження знімають в тому ж порядку, що і в п. 4, попередньо встановивши за допомогою резистору R3 заданий струм збудження I_в (контролюється по амперметру 3А).

7) Характеристики в режимі гальмування противмиканням знімають в такій послідовності:

а) узгодити за допомогою 3П напрямки моментів М і МН так, щоб ввімкнені в рушійний режим поодиночі, вони мали протилежний напрямки обертання (стрілка вольтметра 1V повинна відхилятися в різні боки);

б) поставити перемикачі 2П і 4П у положення 1. Запустити М, виставивши потрібний для режиму противмикання опір R2;

в) зменшуючи R1, збільшувати струм і момент навантажувальної машини. Швидкість буде зменшуватись, і двигуни зупиняться. Потім, збільшуючи момент МН, перевести досліджуваний двигун в режим противмиканням і зняти 3-5 точок; занести дані в табл. 1.2.

8) Характеристики в режимі динамічного гальмування знімають наступним чином:

- а) перемикач 4П перевести в положення 2, 2П - в положення 1;
- б) виставити необхідний опір R2 і струм I_в (I₃);
- в) змінюючи R1, обертати навантажувальну машину (і досліджуваній двигун) з раз-особистими швидкостями; дані (4-5 точок) записати в табл. 1.2.

9) При виконанні дослідів необхідно стежити, щоб якірні струми двигунів (I₁, I₂) не перевищували 1,5 від номінальних значень.

4П і 2П перемикати тільки при відсутності струмів в якірних ланцюгах. тобто коли R1 і R2 встановлені в положення нескінченності.

Момент досліджуваного двигуна, Н • м:

$$M = c\Phi_n I_{2n}$$

де ; U_н – номінальна напруга, В; I_н – струм, А; ω_н – частота обертання досліджуваного двигуна, 1/с.

Опір якоря досліджуваної машини

$$R_{я} = 0,5(1-\eta_n)R_n$$

де $\eta_n = 1000P_n / U_n I_n$ – номінальний ККД досліджуваного двигуна; P_н – номінальна потужність досліджуваного двигуна, кВт; R_н=U_н/I_н – номінальний опір двигуна.

Розрахункові дані занести в табл. 1.2.

Для характеристики при I_в≠I_{в.н} величину cΦ_і знаходять з кривої намагнічування. Якщо її немає, то при розрахунках можна користуватися лінійною залежністю

При побудов розрахункових характеристик достатньо розрахувати дві точки характеристики.

1.4. Контрольні запитання

4.1. У якому стані повинні знаходитися перемикачі 2П-5П для зняття характеристик рушійного режиму, динамічного гальмування, гальмування противмиканням і рекуперативного гальмування?

4.2. Яке значення опору R_2 необхідно встановити перед вмиканням двигуна в мережу і чому?

4.3. Чим відрізняється двигун з незалежним збудженням від двигуна з паралельним збудженням?

4.4. Як впливає на жорсткість механічних характеристик опір в ланцюзі якоря двигуна?

4.5. Який вид приймає механічна характеристика рушійного режиму при зміні струму збудження?

4.6. Який вигляд має аналітичний вираз механічної характеристики для рушійного режиму, рекуперативного і динамічного гальмування?

4.7. Яким чином здійснюється розрахунок механічних характеристик при струмі збудження, відмінному від номінального?

4.8. Як впливає на жорсткість характеристик динамічного гальмування зміна струму збудження?

4.9. Чому не можна послаблювати потік збудження при моменті на валу двигуна, близькому до номінального?

4.10. Як можна змінити напрям обертання двигуна постійного струму з незалежним збудженням?

4.11. Що називається природною механічною характеристикою?

4.12. Чим визначається робоча точка на механічній характеристиці?

4.13. Двигун навантажений активним (потенціальним) статичним моментом і працює в рушійному режимі на природній характеристиці. У який режим перейде двигун, якщо ввести в якірний ланцюг додатковий опір і змінити полярність напруги на якорі? Показати нову робочу точку.

1.5. Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи має містити наступні матеріали:

Титульний аркуш.

Ціль та програма роботи.

Основні теоретичні відомості, необхідні для виконання лабораторної роботи.

Таблиці зі знятими експериментальними даними.

Розрахунки, необхідні для побудови характеристик.

Побудовані статичні характеристики.

Розраховані параметри динамічної моделі системи керування тиском.

Графіки перехідних процесів.

Висновки по виконанню лабораторної роботи.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПОСЛІДОВНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

(термін виконання 4 години)

Мета роботи – дослідити статичні властивості електродвигуна постійного струму з послідовним збудженням при його роботі як в рушійному, так і в гальмівних режимах.

Поглибити та перевірити основні положення теорії електроприводу на основі результатів експериментальних досліджень.

2.1. Програма досліджень

1.1. Вивчити схему досліджень; ознайомитися з вимірювальними приладами і апаратами лабораторної установки.

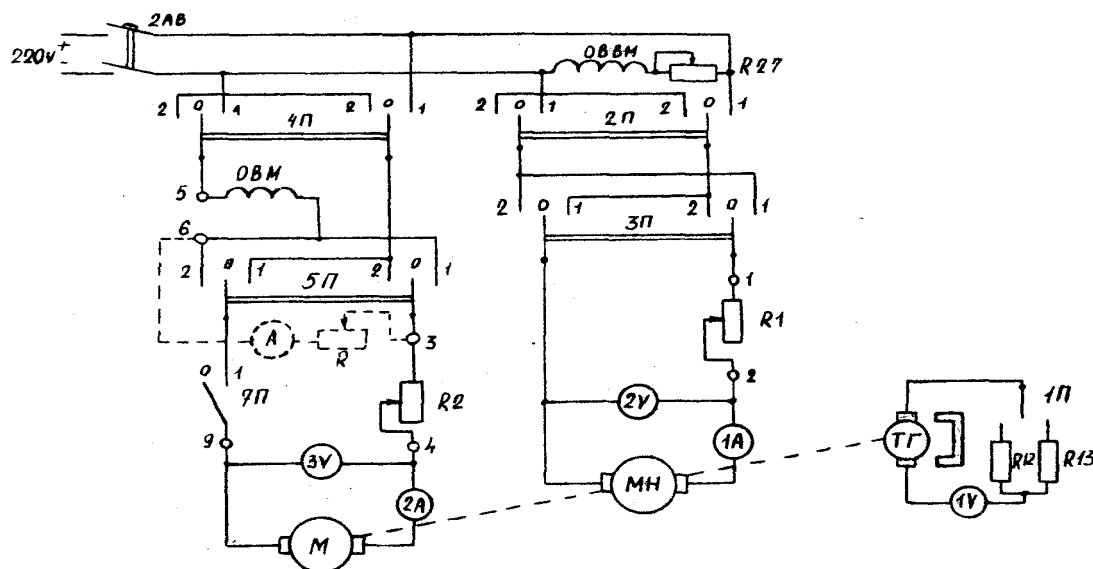
1.2. Записати паспортні дані використовуваних машин і приладів.

1.3. За паспортними даними розрахунковим шляхом визначити значення номінального опору $R_{\text{ном}}$, опору якірного ланцюга двигуна $R_{\text{я}\Sigma}$ і номінальну швидкість $\omega_{\text{ном}}$.

1.4. Зібрати схему експериментальних досліджень (рис. 4.1) і встановити перемикачі 2П-5П, 7П в нульове положення.

1.5. Дослідним шляхом зняти електромеханічні характеристики двигуна $M \quad \omega = f(I_{\text{я}})$; за даними допоміжної машини МН розрахувати і побудувати механічні характеристики двигуна $M \quad \omega = f(M)$ при $U_{\text{я}} = U_{\text{ном}} = \text{const}$ для таких режимів: рушійного; гальмування противмиканням; динамічного гальмування з самозбудженням і з незалежним збудженням.

Параметри схеми задає викладач у відповідності з варіантом за табл. 2.1.



- Рис. 4.1

2.2. Короткі теоретичні відомості

Рівняння статичних характеристик двигуна постійного струму з послідовним збудженням співпадають по формі з аналогічними двигунами з незалежним збудженням:

(механічна характеристики);

(електромеханічна характеристика).

Таблица 2.1

Номер варіанту	Рушійний режим		Режим гальмування противмикан ням		Режим динамічного гальмування				
					3 самозбуджен ням		3 незалежним збудженням		
							I _в =I _{я ном}	I _в =0,8I _{я ном}	
	R* _{доб} = R ₂ /R _{ном}								
1	0	0,6	1,5	2,5	0,3	0,9	0,5	0,5	0,9
2	0	0,8	1,7	2,6	0,4	1,0	0,6	0,6	1,0
3	0	0,5	1,9	3,0	0,5	0,8	0,4	0,4	0,8
4	0	1,0	1,6	2,8	0,6	0,9	0,2	0,2	0,6
5	0	0,7	1,5	2,7	0,7	1,2	0,3	0,3	0,7
6	0	0,9	1,8	3,1	0,8	1,3	0,5	0,5	0,9
7	0	0,4	1,7	3,0	0,9	1,4	0,6	0,6	1,0
8	0	0,85	1,6	2,9	1,0	1,5	0,7	0,7	1,1
9	0	0,5	1,9	2,6	0,5	1,0	0,3	0,3	0,7
10	0	0,75	1,8	2,75	0,6	1,2	0,8	0,8	1,2
11	0	0,3	1,5	3,2	0,7	1,4	0,4	0,4	1,0
12	0	0,4	1,7	2,8	0,4	1,0	0,5	0,5	0,9
13	0	0,6	1,6	3,0	0,5	0,9	0,6	0,6	1,0
14	0	1,0	1,8	2,9	0,6	1,2	0,7	0,7	1,1
15	0	0,8	1,9	3,0	0,7	1,4	0,3	0,3	0,7

Їх відмінність – залежність потоку двигуна від струму якоря. Характеристика намагнічування $\Phi = f(I_a)$ показана на рис. 4.2. (крива 1). Апроксимуємо цю характеристику двома прямими (ламана 2) та проаналізуємо форми статичних характеристик двигуна.

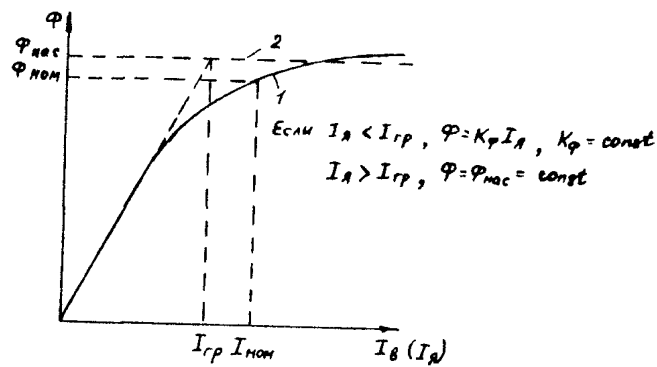


Рис. 4.2. Характеристика намагнічування $\psi(I_\delta)$

Рис.4.2

При $I_A < I_{гр}$ $\Phi = K_\phi I_A$ ($K_\phi = \text{const}$). Рівняння механічної та електромеханічної характеристик матимуть вигляд:

$$M = K_\phi I_A I_\delta$$

З цих рівнянь випливає, що в області навантажень, менших $I_{гр}$, статичні характеристики двигуна мають гіперболічний характер і при $M \rightarrow 0$ і $I_A \rightarrow 0$ асимптотично наближаються до осі ординат.

При $I_A > I_{гр}$ магнітний ланцюг машини насичується і при прийнятому допущенні $\Phi = \Phi_{нас} = \text{const}$. Характеристики двигуна в області навантажень, великих $I_{гр}$, практично лінійні, подібно аналогічним характеристикам двигуна з незалежним збудженням.

Механічні характеристики двигуна постійного струму послідовного збудження в різних режимах зображені на рис. 4.3.

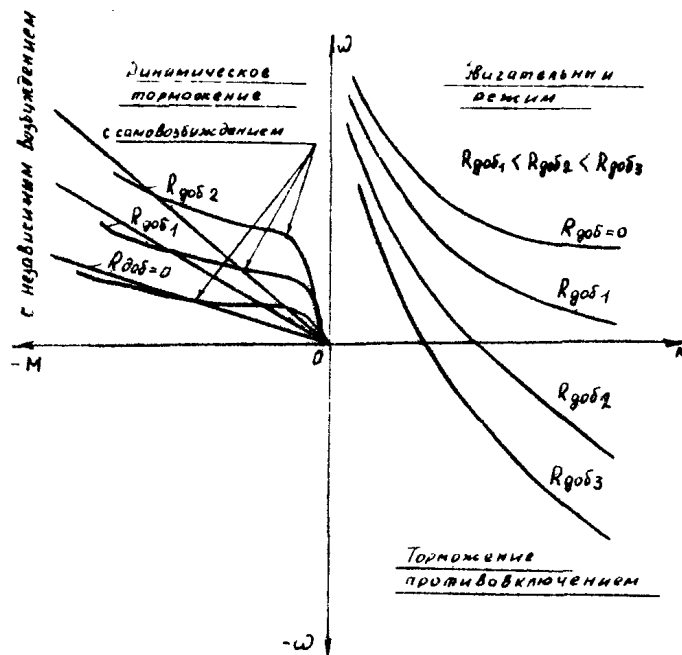


Рис. 4.3. Механические характеристики

Рис. 4.3

Для электродвигуна послідовного збудження можливі два гальмівних режими: противмикання і динамічного гальмування.

При роботі двигуна в режимі противмикання для обмеження струму в його ланцюг вводиться додатковий опір.

Механічні характеристики для цього гальмування є продовженням характеристик рушійного режиму при негативній кутовій швидкості.

Режим противмикання можливий також при зміні полярності напруги, що підводиться до якоря. У цьому випадку слід залишити без зміни напрям струму в обмотці збудження.

Динамічне гальмування двигуна може бути отримано двома способами: з самозбудженням і при незалежному збудженні.

При переході машини з рушійного режиму в режим динамічного гальмування з самозбудженням необхідно перемкнути полярність якоря або обмотки збудження щоб уникнути розмагнічування машини. У цьому випадку машина самозбуджується при даному опорі ланцюга якоря тільки при певних значеннях швидкості. При цьому вона створює гальмівний момент, причому наростання цього моменту може відбутися стрибком (інтенсивне

самозбудження), який при порівняно великих махових масах механізму може викликати небажанні поштовхи. Тому частіше використовується динамічне гальмування з незалежним збудженням. У цьому випадку обмотка збудження підключається до мережі через додатковий обмежувальний опір. При цьому механічні характеристики лінійні і перетинаються на початку системи координат.

2.3. Методичні вказівки

Лабораторна установка представляє собою універсальний стенд, на передній панелі якого розміщені вимірювальні прилади, перемикачі, клеми, схема експериментальних досліджень. Для виконання поставленого завдання необхідно підключити наступні елементи: досліджувану (М) і навантажувальну (МН) машини, тахогенератор (ТГ), два навантажувальних реостата - R1 і R2.

Перед початком лабораторної роботи всі перемикачі на пульті повинні бути встановлені в нульове положення.

При виконанні досліджень необхідно керуватися такими вказівками.

3.1. Природну електромеханічну характеристику двигуна М знімають при встановленні перемикачів 4П і 5П в положення, що забезпечує руховий режим роботи (двигун М підключений до мережі), а перемикачів 2П і 3П - в положення, що забезпечує динамічне гальмування машини МН (двигун МН відключений від мережі і замкнутий на навантажувальний опір R1).

Пуск двигуна з послідовним збудженням може здійснюватися тільки при наявності навантаження на валу не менше половини нормальної. Для цього резистор R1 виставляють в середнє положення і, зменшуючи опір R2, запускають досліджуваний двигун М. В процесі пуску значення струму двигунів не повинні перевищувати номінальних. Змінюючи опір R1, створюють за допомогою машини МН різні гальмівні моменти на валу

досліджуваного двигуна М. Крайніми точками характеристик є $\omega = 1,5 \omega_{\text{ном}}$ та $I = I_{\text{ном}}$.

3.2. Штучні електромеханічні характеристики для рушійного режиму знімають при установці перемикачів в ті ж положення, що і при дослідженнях по п. 3.1, але з навантажувальним опором R2, не рівним нулю (див. табл. 4.1).

3.3. Штучні характеристики режиму противмикання знімають при включенні М і МН в рушійний режим (включення їх у мережу). При цьому потрібно встановити перемикачем ЗП такий напрямок обертання МН, щоб воно було протилежним напрямку обертання досліджуваного двигуна М (при їх окремому включенні).

3.4. Характеристики динамічного гальмування з самозбудженням знімають при фіксації перемикача 7П в положенні 1, перемикача 4П - в положенні 2, а перемикача 5П - в такому положенні, при якому струм в обмотці збудження двигуна М протікав би в тому ж напрямку, що і в рушійному режимі. Навантажувальна машина при цьому включена в такий же рушійний режим, що і при досліджень в п. 3.3.

3.5. Характеристики динамічного гальмування з незалежним збудженням знімають при замиканні якоря двигуна на опір R2 (провідник, раніше об'єднуючий опір R2 і клему 3, від'єднують від неї і приєднують до клем 9). При цьому перемикач 7П необхідно перевести в положення 0. Крім того, обмотку збудження ОЗМ включають через додатковий амперметр А та навантажувальний опір R, що допускає протікання номінального струму якоря тривалий час (до точок 3, 6 підключають амперметр і опір, перемикач 4П встановлюється в положення 1, а 6П - в положення 2). МН включається при цьому і рушійний режим.

Перемикачем 1П користуються в тих випадках, коли швидкість вимірюється по напрузі тахогенератора ТГ. При цьому вибирають положення перемикача з таким множником, при якому б відхилення вольтметра 1V було можливо великим, але перебувало в межах шкали приладу.

Всі перемикачі, наявні на нижній частині панелі і не позначені на схемі, повинні бути встановлені в нульове положення (6П, 8П-12П і автомат 1АВ).

3.6. Розрахунок штучних статичних механічних характеристик двигуна з послідовним збудженням досить докладно наведено в [1, с. 142]. Він проводиться за допомогою універсальних характеристик $\omega^*=f(I_a^*)$ и $M^*=f(I_a^*)$.

3.7. Момент на валу досліджуваного двигуна M знаходять по даним M_N

де I – поточне значення струму навантажувальної машини; M_N та I_N – відповідно номінальний момент та струм навантажувальної машини.

2.4. Контрольні запитання

4.1. Чому при зниженні навантажувального моменту на валу електродвигуна з послідовним збудженням його швидкість значно зростає?

4.2. Чому перевантажувальна здатність по моменту у двигунів з послідовним збудженням вище, ніж при незалежному збудженні?

4.3. В яких положеннях повинні знаходитися перемикачі 2П-5П при знятті характеристик рушійного режимів, противмиканням і динамічного гальмування?

4.4. Яким чином здійснюється запуск двигуна з послідовним збудженням?

4.5. Які переключення необхідно зробити в схемі для здійснення режиму динамічного гальмування з незалежним збудженням?

4.6. Чим пояснити відсутність режиму рекуперативного гальмування в двигунах послідовного збудження?

4.7. Як розрахувати опір якірного ланцюга двигуна з послідовним збудженням за паспортними даними?

4.8. Чому дорівнює номінальний опір двигуна з послідовним збудженням?

4.9. Сутність побудови штучних статичних характеристик з допомогою універсальних характеристик.

2.5. Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи має містити наступні матеріали:

- 5.1. Титульний аркуш.
- 5.2. Ціль та програма роботи.
- 5.3. Основні теоретичні відомості, необхідні для виконання лабораторної роботи.
- 5.4. Таблиці зі знятими експериментальними даними.
- 5.5. Розрахунки, необхідні для побудови характеристик.
- 5.6. Побудовані статичні характеристики.
- 5.7. Розраховані параметри динамічної моделі системи керування тиском.
- 5.8. Графіки перехідних процесів.
- 5.9. Висновки по виконанню лабораторної роботи.

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ
«ГЕНЕРАТОР – ДВИГУН»
(термін виконання 4 години)

Мета роботи – дослідити механічні характеристики електричних машин постійного струму незалежного збудження в системі генератор – двигун та способи регулювання частоти обертання двигуна при постійних моменті та потужності.

3.1. Програма досліджень

1.1. Вивчити схему експериментальних досліджень, ознайомитися з розташуванням вимірювальних приладів і апаратів лабораторної установки.

1.2. Записати паспортні дані електричних машин і електричних приладів.

1.3. Зібрати схему експериментальних досліджень (рис. 5.1) і встановити всі перемикачі, які використовуються в роботі, в потрібне положення.

1.4. Зняти дослідним шляхом і побудувати графічно механічні характеристики двигуна $\omega = f(M)$ при постійному потоці збудження двигуна ($i_b = i_{b\text{ ном}} = \text{const}$) для трьох значень струму збудження генератора, що забезпечують одержання напруги реального холостого ходу на затискачах генератора U_n в згідно з названим керівником варіантом завдання (табл. 3.1). Механічні характеристики зняти і для рушійного режиму, і для режиму рекуперативного гальмування.

1.5. Дослідним шляхом зняти і графічно побудувати механічну характеристику двигуна в режимі динамічного гальмування

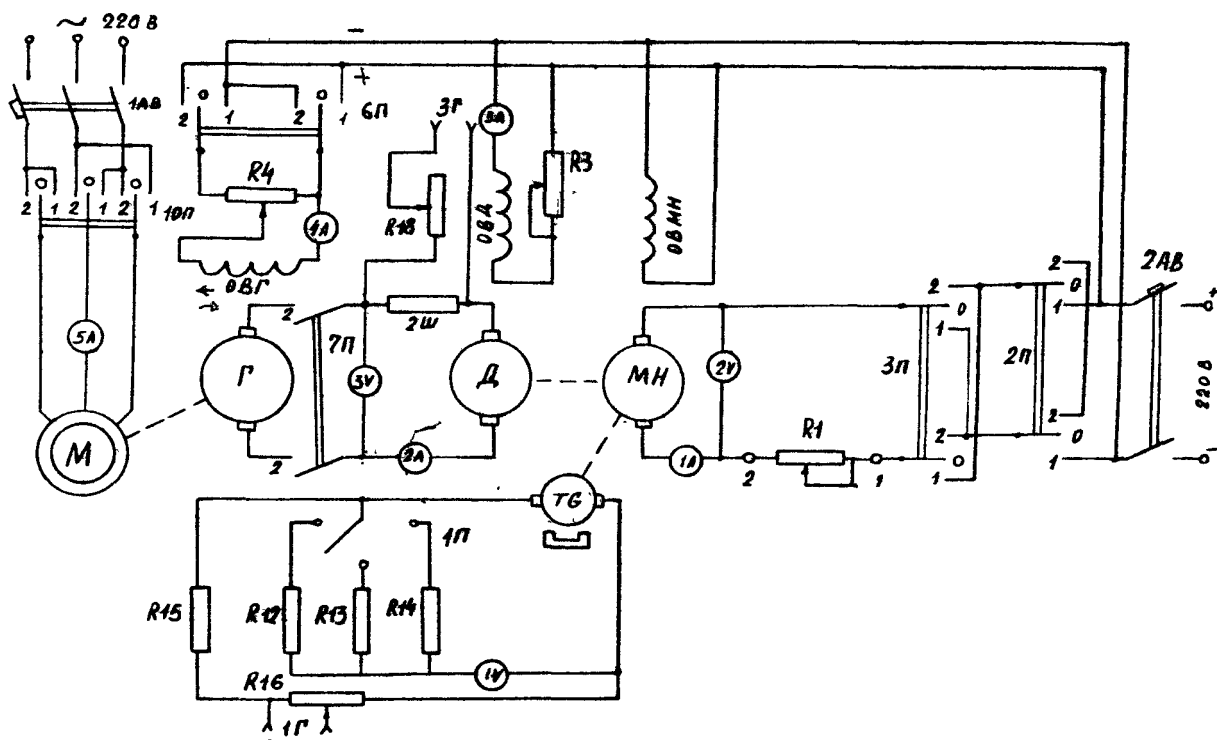


Рис. 5.1. Схема для исследования системы генератор – двигатель

Рис. 5.1

Таблица 3.1

Номер варіанту	Рушійний режим та рекуперативного гальмування					$P=f(u_r)$	$M=f(i_b)$
						$\omega=f(u_r)$	$\omega=f(i_b)$
						(п. 1.4)	(п. 1.4)
	$u_r/u_{пн}$			$i_{в.д}/i_{в.дн}$		M/M_n	P/P_n
1	1,0	0,8	0,5	0,9	0,8	1,0	0,5
2	1,0	0,6	0,4	0,9	0,6	0,5	0,8
3	1,0	0,8	0,2	0,9	0,5	0,6	0,6
4	1,0	0,5	0,2	0,9	0,5	0,8	0,7
5	1,0	0,7	0,3	0,9	0,7	0,7	0,9
6	1,0	0,6	0,2	0,9	0,8	0,8	0,7
7	1,0	0,5	0,3	0,9	0,7	0,6	0,8
8	1,0	0,7	0,4	0,9	0,6	0,5	0,5
9	1,0	0,8	0,4	0,9	0,7	0,6	0,4

10	1,0	0,6	0,3	0,9	0,6	0,4	0,6
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

1.6. Зняти дослідним шляхом і графічно побудувати механічні характеристики при постійному струмі збудження генератора для двох значень струму в обмотку ке збудження двигуна згідно заданому варіанту завдання (див. табл. 5.1). Характеристики зняти для рухового режиму та режиму рекуперативного гальмування. Значення струму збудження генератора задає керівник.

1.7. Зняти дослідним шляхом і графічно побудувати залежності $P = f(u_r)$, $\omega = f(u_r)$ при постійному моменті на валу двигуна ($M = \text{const}$) і регулювання частоти обертання двигуна зміною напруги, що підводиться.

1.8. За даними п. 1.7 визначити діапазон регулювання частоти обертання електродвигуна.

1.9. Зняти дослідним шляхом і графічно побудувати залежності $M = f(i_b)$, $\omega = f(i_b)$ при постійних потужностях на валу двигуна ($P = \text{const}$) і напрузі на затискачах генератора, рівному номінальному ($u_r = u_{г.ном}$). Значення потужності на валу двигуна задає керівник.

1.10. За паспортними даними розрахувати і побудувати природну механічну характеристику двигуна.

1.11. Зробити висновки.

3.2. Короткі теоретичні відомості

Багато виробничих механізмів за умовами технологічного процесу вимагають плавного регулювання частоти обертання в широкому діапазоні. Діапазон регулювання частоти обертання, тобто відношення максимальної частоти обертання до мінімальної при номінальному навантаженні на валу двигуна, і необхідна плавність регулювання різні для різних виробничих механізмів.

Для задоволення вказаних вимог поряд з іншими системами широко застосовується система генератор-двигун, в якій в якості джерела енергії використовується генератор постійного струму.

Як правило, генератор обертається за допомогою синхронного або асинхронного приводного двигуна, частота обертання якого може бути прийнята незмінною.

Частота обертання двигуна в системі генератор-двигун регулюється зміною напруги на затискачах генератора (ЕРС генератора E_r) шляхом зміни значення струму в обмотці збудження генератора при постійному магнітному потоці двигуна і магнітного потоку двигуна при постійній напрузі на затискачах генератора.

ЕРС генератора E_r - функція двох величин: частоти обертання ω_r і магнітного потоку Φ_r , створюваного обмоткою збудження:

$$E_r = K_r \Phi_r \omega_r, \quad (3.1)$$

де K_r – коефіцієнт, що визначається конструктивними параметрами генератора.

При постійній частоті обертання генератора ω_r його ЕРС залежить тільки від магнітного потоку, який при нехтуванні насиченням магнітного ланцюга генератора пропорційний струму збудження генератора i_b :

$$, \quad (3.2)$$

де K_ϕ – постійний коефіцієнт; u_b – напруга збудження, яка прикладена до обмотки збудження генератора від окремого джерела постійного струму r_b – опір обмотки збудження; R_d – додатковий опір в колі обмотки збудження.

Приймаючи до уваги (3.1), отримаємо, що зміна опору R_d призводить до регулювання ЕРС генератора:

$$, \quad (3.3)$$

де $K = K_r K_\phi \omega_r$.

Струм збудження генератора може також регулюватися зміною напруги збудження u_b , при застосуванні спеціальних збуджувачів.

Напруга на затискачах генератора u_r в наслідок наявності внутрішнього опору якірного ланцюга $R_{яг}$ залежить від струму, що протікає в якірному ланцюзі I :

$$u_r = E_r - IR_{яг}. \quad (3.4)$$

З урахуванням (3.4) рівняння статичних електромеханічної та механічної характеристик двигуна в системі генератор – двигун мають вигляд:

$$; \quad (3.5)$$

$$, \quad (3.6)$$

де c – коефіцієнт, що визначається конструктивними параметрами двигуна; P – кількість пар полюсів; N – кількість активних провідників обмотки якоря; a – кількість паралельних витків обмотки якоря; Φ_d – магнітний потік збудження двигуна; $R_{яд}$, $R_{яг}$ – опір якірних ланцюгів двигуна та генератора відповідно.

Знаки струму в якірного ланцюга I і моменту двигуна M залежать від співвідношення ЕРС генератора E_r і противоЕРС двигуна E_d . ПротивоЕРС двигуна, як і ЕРС генератора, визначається частотою його обертання і магнітним потоком:

$$E_d = c\Phi_d\omega_d. \quad (3.7)$$

Залежно від співвідношення E_r та E_d можливі наступні режими роботи двигуна в системі генератор-двигун:

- 1) при $E_r > E_d$ - рушійний;
- 2) при $E_d > E_r$ - рекуперативного гальмування;
- 3) при $E_r = 0$, $E_d \neq 0$ - динамічного гальмування.

У рушійному режимі при $E_r > E_d$ енергія мережі перетвориться в механічну приводним двигуном генератора, після чого - в електричну генератором постійного струму, а потім - двигуном в механічну енергію. Таким чином, енергія мережі після триразового перетворення йде на виконання роботи, обумовленої технологічним процесом. Струм двигуна в цьому режимі позитивний:

$$(3.8)$$

У режимі рекуперативного гальмування ($E_d > E_r$) енергія зазнає перетворення, зворотнє розглянутим, і віддається (рекупіюється) в мережу. При цьому струм двигуна $I < 0$, тобто протилежний за знаком струму в рушійному режимі.

Режим динамічного гальмування ($E_r = 0$, $E_d \neq 0$) аналогічний режиму динамічного гальмування при роботі двигуна від мережі. У цьому випадку роль опору динамічного гальмування виконує опір якірних ланцюгів двигуна і генератора: $R_{яд} + R_{яг}$.

Як впливає з (3.6), механічні характеристики двигуна постійного струму в системі генератор-двигун є сімейство паралельних одна одній прямих (рис. 5.2), кожна з яких відсікає на осі ординат відрізки ω_{0e} , ω_{01} , ω_{02} , ω_{03} і т.д., відповідні відріzkам $E_{гн}$, $E_{г1}$, $E_{г2}$, $E_{г3}$ і т.д. Жорсткість механічних характеристик при різних значеннях ЕРС генератора зберігається і за значенням менше, ніж жорсткість природної характеристики двигуна. Це пояснюється включенням в якірний ланцюг двигуна опору якірного ланцюга генератора. Характеристики рушійного режиму знаходяться в I (III) квадранті, рекуперативного гальмування - в II (IV). Характеристика, що проходить через початок координат ($E_r = 0$, $E_d \neq 0$), відповідає режиму динамічного гальмування.

Регулювання частоти обертання двигуна зміною ЕРС генератора E_r здійснюється у бік зменшення частоти обертання. Для збільшення частоти обертання двигуна при постійному струмі збудження генератора і відповідно постійному значенні ЕРС генератора ($E_r = \text{const}$) магнітний потік двигуна зменшують шляхом зменшення струму в обмотці збудження.

З (3.6) випливає, що зменшення магнітного потоку двигуна Φ_d сприяє збільшенню частоти обертання ідеального холостого ходу ω_0 та зменшення жорсткості характеристик (див. рис. 5.2).

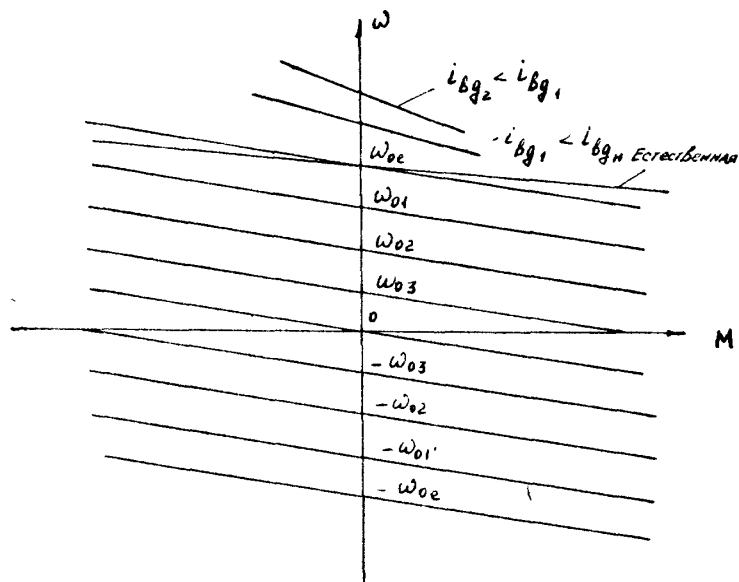


Рис. 5.2. Статические механические характеристики системы генератор—двигатель

Рис. 5.2

3.3. Методичні вказівки

Механічні характеристики двигуна в рушійному режимі і режимі ре-куперативного гальмування представляють собою продовження один одного. Тому знімати їх доцільно за допомогою навантажувальної машини, починаючи з номінального навантаження рушійного чи рекуперативного режимів і завершуючи номінальним навантаженням відповідно рекуперативного або рушійного режимів.

При знятті механічних характеристик не слід підтримувати напругу на затискачах якоря генератора, а тільки його струм збудження.

При регулюванні частоти обертання двигуна зміною напруги на затискачах якоря струм в якірному ланцюзі двигуна підтримується постійним опором R_1 в якірному ланцюзі МН. При постійному магнітному потоці двигуна ($\Phi_d = \text{const}$) це відповідає регулюванню частоти обертання при постійному моменті ($M = \text{const}$).

При регулюванні частоти обертання двигуна зміною магнітного потоку струм в якірному ланцюзі двигуна підтримується тим же опором. При

постійній напрузі на затискачах генератора це відповідає регулюванню частоти обертання при постійній потужності ($P = \text{const}$).

При виконанні досліджень необхідно стежити, щоб машини не опинилися перевантаженими, а частота обертання двигуна не перевищувала номінальне значення більш ніж на 10%.

Варіанти завдань на лабораторні дослідження представлені в табл. 3.1 і задаються керівником. Експериментальні розрахункові дані повинні бути наведені в табл. 3.2 і 3.3.

Таблиця 3.2

Номер досліджу	Пункт програми роботи	Дані за варіантом	Дослід				Розрахунок	
			I_2, A	I_1, A	u_3, B	u_1, B	$M, H \cdot m$	$\omega, \text{рад/с}$
	1.4	$u_n =$						
	1.5							
	1.6							

Таблиця 3.3

Номер досліду	Пункт програм и роботи	Дані за варіантом	Дослід					Розрахунок		
			I_3, A	$M, H \cdot m$	I_2, A	I_1, A	u_1, B	$M, H \cdot m$	P, Bt	$\omega, рад/с$
	1.7									
	1.9									

У зазначених таблицях введені позначення: $u_{p.x}$ - напруга реального холостого ходу генератора; $u_{д.н}$, $i_{вд}$, $i_{вдн}$ - відповідно номінальна напруга, струм збудження і номінальний струм збудження двигуна; $M_{д.н}$ - номінальний момент двигуна; $M = const$ - момент двигуна, підтримуваний постійним; ω - частота обертання двигуна при постійному значенні струму збудження генератора, заданому керівником.

Момент двигуна

$$M = c\Phi_d I, \quad (3.9)$$

де

$$; \quad (3.10)$$

u_n , I_n , ω_n – номінальні напруга, струм та частота обертання двигуна відповідно.

Опір якорного ланцюга двигуна:

$$R_{я.д} = 0,5(1-\eta)R_n, \quad (3.11)$$

де η – ККД двигуна,

,

P_n – номінальна потужність двигуна;

R_n – номінальний опір двигуна; $R_n = U_n / I_n$.

3.4. Контрольні запитання

- 4.1. Поясніть за принциповою схемою системи генератор-двигун роботу двигуна в різних режимах згідно з програмою роботи.
- 4.2. Чому жорсткість механічної характеристики двигуна в системі генератор-двигун менше, ніж жорсткість природної характеристики?
- 4.3. Чому механічні характеристики двигуна, відповідні зміни напруги генератора при постійному магнітному потоці двигунів, паралельні?
- 4.4. Які електромеханічні та механічні характеристики двигуна при регулюванні частоти обертання зміною магнітного потоку двигуна при постійній напрузі на затискачах його якоря?
- 4.5. Як в системі генератор-двигун здійснюється рекуперативне і динамічне гальмування?
- 4.6. Чому зміна частоти обертання двигуна зміною напруги на затискачах якоря відбувається при постійному моменті, а зміною магнітного потоку - при постійній потужності?
- 4.7. Вкажіть переваги і недоліки системи генератор-двигун.
- 4.8. У якій послідовності необхідно знімати характеристики рушійного режиму та режиму рекуперативного гальмування?
- 4.9. Наведіть методику розрахунку та побудови природної характеристики двигуна постійного струму незалежного збудження.
- 4.10. Яким чином змінюється напрямок обертання двигуна в системі генератор-двигун?

3.5. Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи має містити наступні матеріали:

- 5.1. Титульний аркуш.
- 5.2. Ціль та програма роботи.

5.3. Основні теоретичні відомості, необхідні для виконання лабораторної роботи.

5.4. Таблиці зі знятими експериментальними даними.

5.5. Розрахунки, необхідні для побудови характеристик.

5.6. Побудовані статичні характеристики.

5.7. Розраховані параметри динамічної моделі системи керування тиском.

5.8. Графіки перехідних процесів.

5.9. Висновки по виконанню лабораторної роботи.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ФАЗНИМ РОТОРОМ

(термін виконання 4 години)

Мета роботи – дослідити механічні характеристики асинхронного електродвигуна з фазним ротором при роботі його в різних режимах; поглибити знання фізичних процесів, що виникають при роботі двигуна; перевірити основні положення теорії електроприводу на підставі результатів експериментальних досліджень.

4.1. Програма досліджень

1.1. Ознайомитися з лабораторною установкою, визначити призначення всіх вимірювальних приладів і органів керування.

1.2. Записати паспортні дані електричних машин.

1.3. Зібрати схему експериментальних досліджень (рис. 6.1) і встановити всі перемикачі, які використовуються в роботі, в потрібне положення.

1.4. Зняти дослідним шляхом і графічно побудувати механічні характеристики двигуна $\omega = f(M)$ при постійній напрузі в ланцюзі статора $U=U_n=\text{const}$ і частоти струму про мережу $f=f_n=\text{const}$ для рушійного режиму та режиму рекуперативного гальмування;

при додатковому опорі в колі ротора $R_2 = 0$ (природна характеристика);

при опорі в колі ротора $R_2 \neq 0$ (штучні реостатні характеристики), а також режиму гальмування протидіяманням при двох значеннях додаткового опору в ланцюзі ротора і динамічного гальмування при двох значеннях додаткового опору в ланцюзі статора R_5 , що обмежують значення постійного струму в ланцюзі ротора.

Параметри схеми задаються керівником відповідно з варіантом за табл. 4.1, в якій прийняті такі позначення:

R_d – додатковий опір в ланцюзі ротора, який вводиться в кожну фазу;
 $I_{с.п}$ – значення постійного струму, що протікає в ланцюзі статора при динамічному гальмуванні;

$R_{р.н}$ – номінальний опір обмотки ротора;

$I_{с.н}$ – номінальний струм статора.

1.5. Обробити результати досліджень і побудувати механічні характеристики.

1.6. Зробити висновки.

1.7. Оформити звіт про роботу.

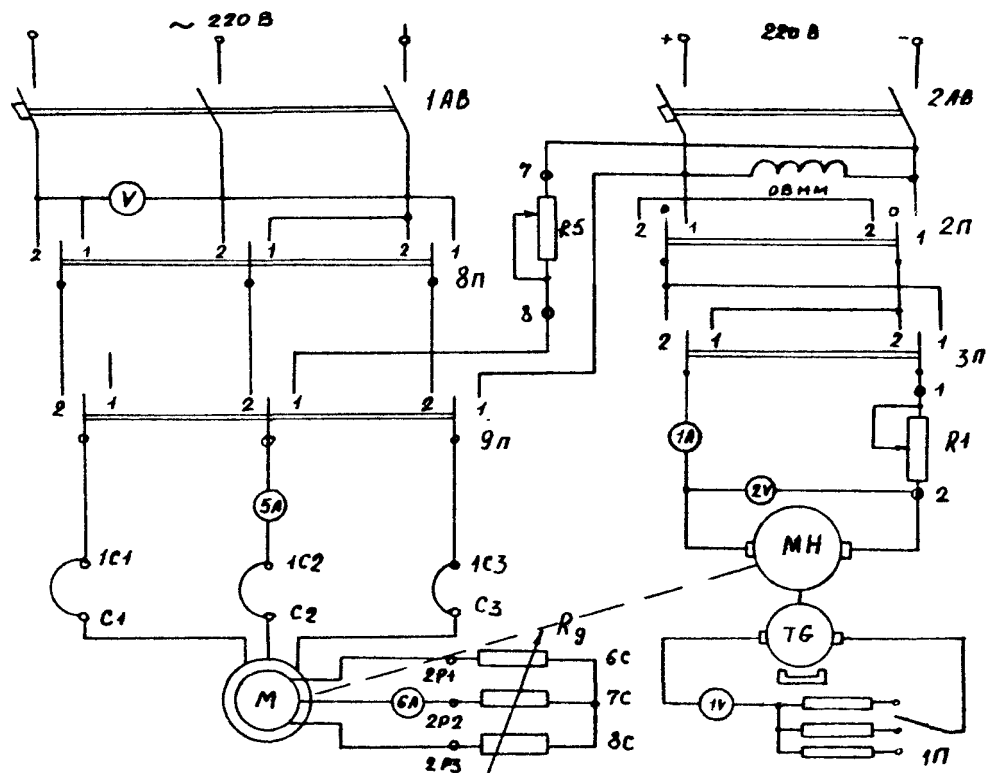


Рис. 6.1. Схема для исследования асинхронного двигателя с фазным ротором

Рис. 6.1

Таблиця 4.1

Номер варіант у	Рушійний режим та рекуперативного гальмування			Режим гальмування протівмикан ням		Режим динамічного гальмування			
	R _д /R _{р.н}								
1	0	0,2	1,4	3,0	4,0	0,2	0,9	0,4	0,6
2	0	0,3	0,9	2,7	3,8	0,3	0,8	0,4	0,6
3	0	0,4	1,2	2,8	3,7	0,5	1,2	0,4	0,6
4	0	0,5	1,0	3,2	3,8	0	1,0	0,4	0,6
5	0	0,6	1,3	3,4	4,2	0,6	1,3	0,4	0,6
6	0	0,4	1,5	2,8	4,0	0,4	1,2	0,4	0,6
7	0	0,5	1,1	2,6	3,7	0,6	1,1	0,4	0,6
8	0	0,6	1,2	3,5	4,2	0,3	1,2	0,4	0,6
9	0	0,2	0,8	3,0	3,8	0	0,8	0,4	0,6
10	0	0,3	0,9	3,3	3,7	0,3	0,9	0,4	0,6

4.2. Короткі теоретичні відомості

Асинхронні двигуни отримали в промисловості дуже широке застосування завдяки деяким перевагам порівняно з іншими типами двигунів.

Для виведення рівняння механічної характеристики асинхронного двигуна використовують спрощену схему заміщення, яка наводиться в літературі з теорії електроприводу.

Для двигунів з фазним ротором (рис.6.2) вводиться поняття номінального опору обмотки ротора:

$$R_{p.n} = \frac{E_{p.n}}{I_{p.n}} \quad (4.1)$$

де $E_{p.n}$, $I_{p.n}$ – відповідно номінальні ЕРС та струм ротора.

Швидкість обертового магнітного поля (синхронна швидкість)

(4.2)

де f – частота струму в мережі, Гц; P_n – кількість пар полюсів.

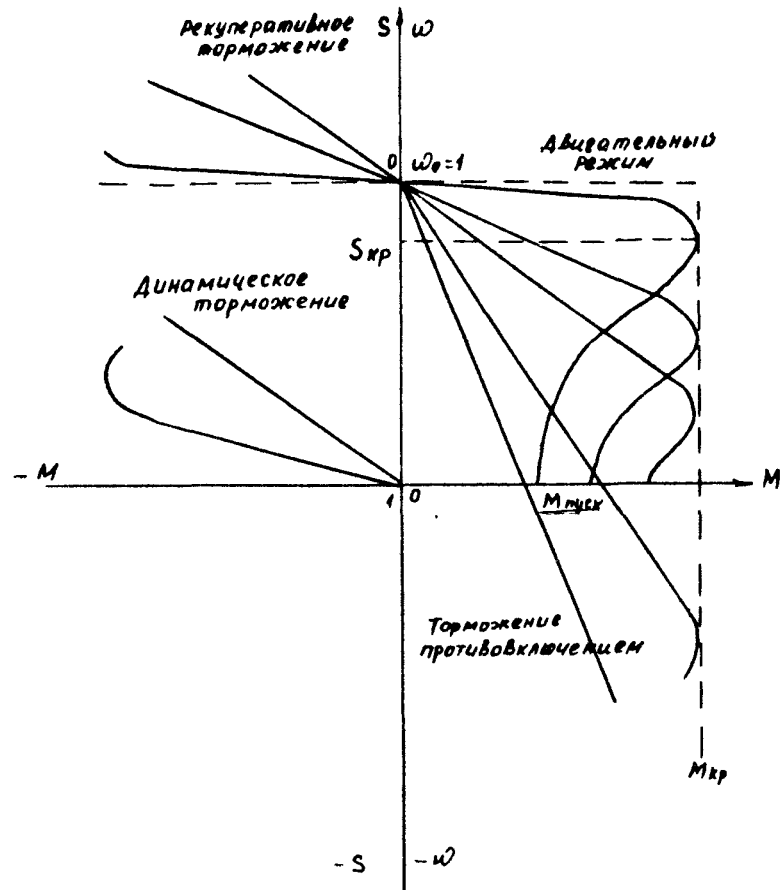


Рис. 6.2. Механические характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором

Рис. 6.2

Синхронна кутова швидкість

(4.3)

Ковзання ротора

(4.4)

де ω , n – відповідно кутова швидкість і частота обертання ротора.

Струм ротора:

(4.5)

Приведений струм ротору:

(4.6)

Струм статора - це геометрична сума наведеного струму ротора I_p 'і струму холостого ходу I_p .

Обертовий момент асинхронного двигуна

(4.7)

де m_1 – кількість фаз статора; U_ϕ – фазова напруга статора; R_p' , X_p' – наведені відповідно активний і реактивний опори ротора, які приймаються постійними і незалежними від ковзання; R_c , X_c – відповідно активний і реактивний опори статора.

По (4.7) може бути розрахована і побудована залежність $M = f(\omega)$ або з урахуванням (4.4) - механічна характеристика $\omega = f(M)$.

Функція $M = f(S)$ має максимум. Ковзання S , при якому момент буде мати найбільше, або критичне, значення M_k , називається критичним і визначається так:

(4.8)

де $X_k = X_c + X_p'$.

Підставив значення S_k в (4.7), отримаємо значення критичного (максимального) моменту двигуна:

(4.9)

Для практичних розрахунків механічної характеристики можна скористатись наближеною формулою Клосса:

Рівняння електромеханічної характеристики на робочій ділянці:

(4.10)

де

(4.11)

Рівняння (4.11) справедливе при малих значеннях ковзання.

4.3. Методичні вказівки

Механічні характеристики в рушійному режимі і режимі рекуперативного гальмування представляють собою продовження одна одної. Тому їх зняття доцільно проводити за допомогою навантажувальної машини, починаючи з номінального навантаження рушійного чи рекуперативного режиму і завершуючи номінальним навантаженням відповідно рекуперативного або рухового режиму. При цьому при знятті рекуперативного режиму напрямок обертання навантажувальної машини повинен співпадати з напрямком обертання асинхронного двигуна.

Для зняття механічних характеристик режиму гальмування противмиканням напрямком обертання навантажувальної машини повинен бути протилежним напрямку обертання асинхронного двигуна.

Для зняття механічних характеристик режиму динамічного гальмування обмотка статора асинхронного двигуна від'єднується від мережі змінного струму і приєднується до мережі постійного струму через опір R5. Для зняття кожної характеристики режиму динамічного гальмування (при кожному із заданих додаткових опорів ротора) опором R5 по амперметру 5А встановлюється задане значення постійного струму, яке протягом зняття характеристики залишається незмінним.

У процесі проведення роботи необхідно простежити, щоб машини не опинилися перевантаженими.

Варіанти завдань на лабораторні дослідження представлені в табл. 6.1 і задаються керівником.

Експериментальні дані повинні бути зведені в табл. 6.2

Таблиця 6.2

Номер варіант у	Пункт програми роботи	Дані з варіант у	Дослід					Розрахунок	
			I ₆ , А	U, В	U ₂ , В	I ₁ , А	U ₁ , В	M, н·м	ω, рад/с

Механічні характеристики асинхронного двигуна $\omega = f(M)$ знімають з допомогою МН. Розрахунок моментів здійснюється за показаннями її приладів. Момент на валу досліджуваного двигуна визначається методом поділу втрат навантажувальної машини. Він може бути знайдений наступним чином:

$$, \quad (4.12)$$

де P – потужність на валу; ω – частота обертання двигуна.

При цьому потужність

$$P = UI \pm (P_m + P_{щ} + P_d + P_0), \quad (4.13)$$

де U, I – відповідно напруга та струм якоря навантажувальної машини;
 $P_m, P_{щ}$ –

втрати відповідно в міді обмотки якоря і в щіткових контактах навантажувальної машини (для вугільно-графітних і графітних щіток $\Delta U_{щ} \approx 1$ В); P_d - додаткові втрати для некомпенсованих машин постійного струму; P_0 - потужність втрат обертання навантажувальної машини (визначається з умов рівності втрат обертання в кожній з машин),

U_0 , I_0 – відповідно напруга та струм під час досліду холостого ходу.

4.4. Контрольні запитання

- 4.1. Як визначити номінальний опір ротора асинхронного двигуна?
- 4.2. Який додатковий опір в ланцюзі ротора необхідно виставити перед включенням двигуна в мережу?
- 4.3. Яким чином впливає опір кола ротора на жорсткість механічної характеристики?
- 4.4. З якою метою в ланцюг ротора вводиться великий опір при знятті характеристики в режимі гальмування противмиканням?
- 4.5. Який вигляд мають характеристики режиму динамічного гальмування при різних значеннях опору в ланцюзі ротора і різних значеннях постійного струму в обмотці статора?
- 4.6. В якій послідовності необхідно знімати характеристики рушійного режиму та режиму рекуперативного гальмування?
- 4.7. Як розрахувати за дослідними даними момент двигуна?
- 4.8. Як змінити напрямок обертання асинхронного двигуна?
- 4.9. Яка різниця між природною і штучною характеристиками двигуна?

4.5. Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи має містити наступні матеріали:

- 5.1. Титульний аркуш.
- 5.2. Ціль та програма роботи.
- 5.3. Основні теоретичні відомості, необхідні для виконання лабораторної роботи.
- 5.4. Таблиці зі знятими експериментальними даними.

- 5.5. Розрахунки, необхідні для побудови характеристик.
- 5.6. Побудовані статичні характеристики.
- 5.7. Розраховані параметри динамічної моделі системи керування тиском.
- 5.8. Графіки перехідних процесів.
- 5.9. Висновки по виконанню лабораторної роботи.

Лабораторна робота № 5

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ЛАБОРАТОРНИМИ СТЕНДАМИ ТА ПОРЯДКОМ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.

(термін виконання 2 години)

Мета роботи – ознайомитися з лабораторними стендами, силовим обладнанням, вимірювальними приладами лабораторії; визначити порядок допуску виконання та захисту звітів лабораторних робіт.

5.1. Програма досліджень

1. Ознайомитися з лабораторними установками, усвідомити призначення силового обладнання. усіх вимірювальних приладів та органів керування.
2. Визначити порядок допуску виконання та захисту звітів лабораторних робіт.

5.2. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка представляє собою універсальний стенд, який призначений для виконання широкого кола лабораторних робіт по теорії електроприводу. Для цього в кожній конкретній роботі використовується тільки частина вимірювальних приладів та апаратів керування, встановлених на пульті. Загальний вигляд стенду представлено на рис. 7.1. Схема електрична універсальної лабораторної установки наведена на рис.7.2.

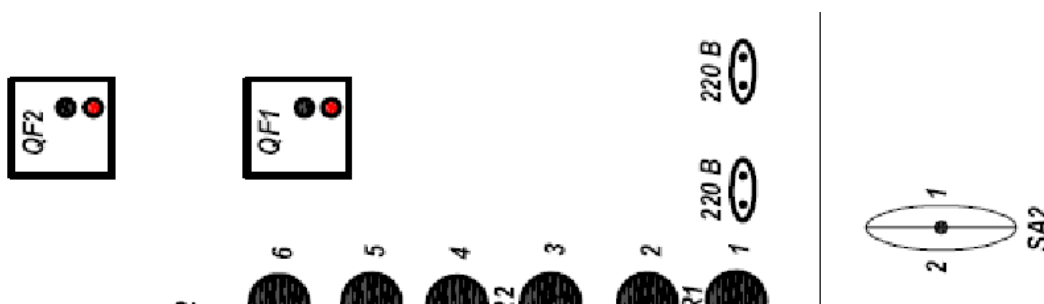
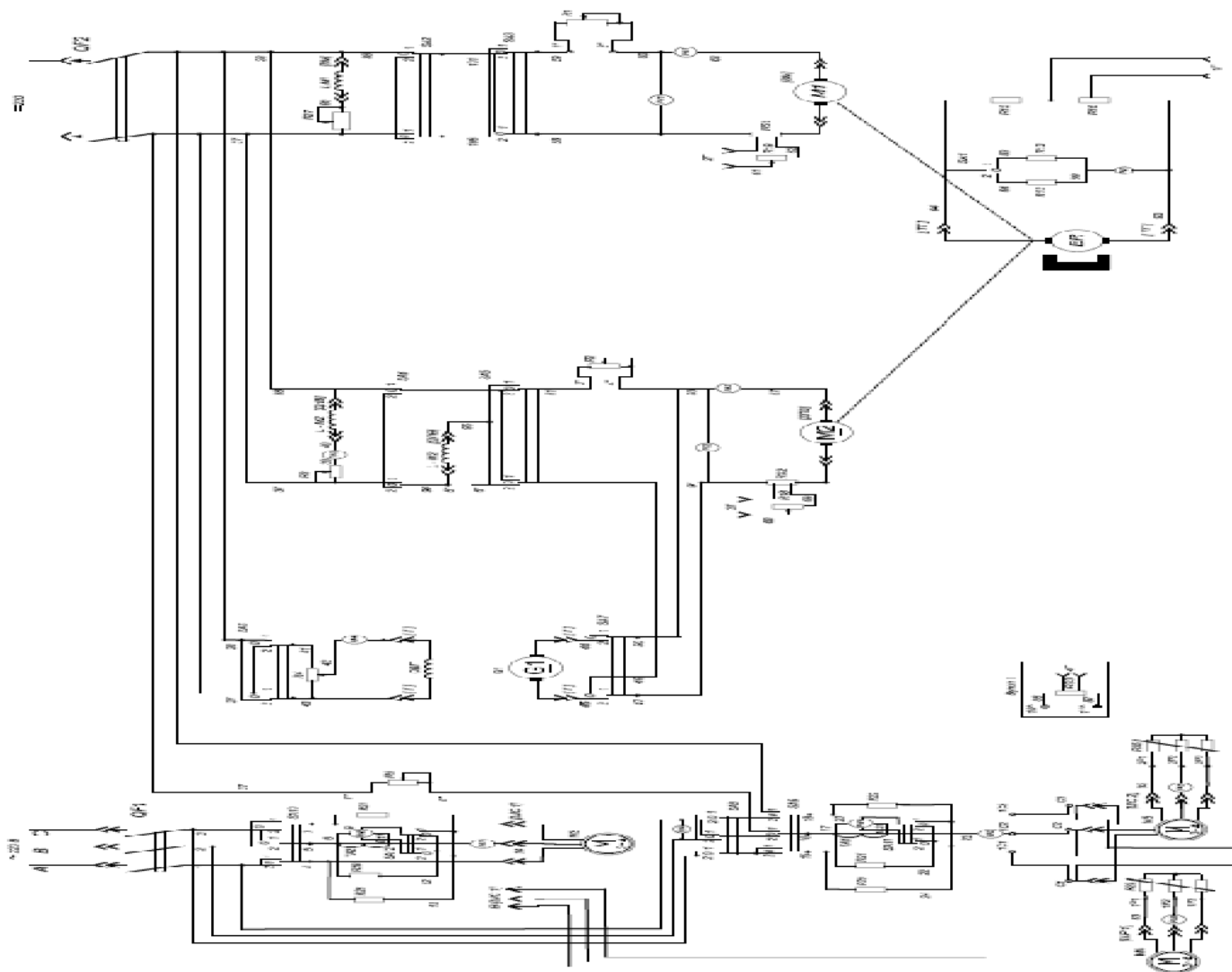


Рис. 7.1. Загальний вигляд стану



здійснюється згідно з контрольними запитаннями до кожної лабораторної установки.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зеленов А.Б. Теорія електропривода: Методика проектування електроприводів: Підручник. – Луганськ: Вид-во "Ноулідж", 2010. – 670 с.
2. Теорія електропривода: Підручник / За ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища школа, 1993. – 494 с.
3. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / За ред. М.Г. Поповича. – К.: Либідь, 2005. – 672 с.
4. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
5. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
6. "Теорія електропривода-1" курс лекцій з кредитного модуля для студентів денної форми навчання напряму підготовки 6.050702-"Електромеханіка" спеціальності "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод" / Уклад. М.Я. Островерхов. – К.: НТУУ "КПІ", 2010. – 274 с.
7. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Теорія електропривода» для студентів денної форми навчання зі спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»/ Укл. О.І. Кіселичник. – К.: НТУУ «КПІ», 2002. – 30 с.

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НТУУ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Лабораторна робота № 1
з кредитного модуля «Теорія електропривода-1»

**Дослідження механічних характеристик двигуна постійного струму
з незалежним збудженням**

Виконали:
студенти групи ЕП-21
Абросімов О.С.
Антонов О.В.
Варволік В.В.
Гайдар К.О.

Перевірили:
проф. Островерхов М.Я.
доц. Пижов В.М.

Київ 2014

ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ В ЛАБОРАТОРІЇ «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА»

Перед початком лабораторних робіт проводиться інструктаж з Правил безпеки згідно з інструкцією з охорони праці, затвердженою розпорядженням декана ФЕА. Після вивчення і перевірки знань цієї інструкції прізвище кожного студента заноситься до контрольного листа, де він ставить свій особистий підпис.

Під час виконання лабораторної роботи студентам забороняється:

- заходити за огороження робочих місць, торкатися неізольованих струмопровідних частин обладнання, а також конструкцій обладнання, які обертаються;
- збирати схеми або робити перемикання в них, усувати недоліки без відключення установки від електромережі;
- підніматися на фундаменти електричних машин;
- стояти поряд з незахищеними кожухами, муфтами, дисками та частинами машин, що обертаються;
- підключати та знімати з'єднувальні провідники під напругою;
- розбирати схеми не викручуючи клеми, виривати з'єднувальні провідники із клем;
- приєднувати провідники до приладів, машин та апаратів без напаяних наконечників;
- користуватися реостатами з порушенням контактом;
- робити переключення на головних (розподільних) щитах;
- подавати напругу на схему лабораторної роботи до перевірки викладачем правильності з'єднань у схемі;
- виконувати лабораторну роботу одному.

Студенти зобов'язані:

- перед включенням схеми перевірити, щоб члени бригади не торкалися струмопровідних частин або частин електричних машин, які можуть обертатися, та попередити голосом: «Обережно, вмикаю!»;
- не залишати лабораторну установку без нагляду, постійно спостерігати за її справною роботою.

Після закінчення роботи необхідно відключити лабораторну установку від електромережі, розібрати схему, навести порядок на робочому місці, повідомити викладача про всі неполадки (якщо вони є), виявлені під час роботи.