

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Київський національний університет будівництва і архітектури

**Електротехніка та електроніка**  
**Електричні машини**

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт  
для студентів спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування»

Київ 2024

ББК 31.261.8

Е50

Укладачі: І. М. Кравченко, асистент;  
О. П. Остапущенко, канд. техн. наук, доцент

Рецензент С. В. Іносов, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск Л. І. Мазуренко, д-р техн. наук,  
професор

*Затверджено на засіданні кафедри електротехніки та  
електроприводу, протокол № 6 від 14 березня 2023 року.*

В авторській редакції.

**Електротехніка та електроніка. Електричні машини : методичні**  
Е50 вказівки до виконання лабораторних робіт / уклад.: І. М. Кравченко,  
О. П. Остапущенко. – Київ : КНУБА, 2024. – 52 с.

Містять загальні вимоги до виконання лабораторних робіт, рекомендації з обробки результатів експериментів та оформлення протоколів, техніки безпеки під час виконання лабораторних робіт, порядок виконання лабораторних робіт. До складу методичних вказівок увійшли лабораторні роботи, які передбачені робочою програмою з дисципліни.

Призначено для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання.

## **ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ**

Метою виконання студентами лабораторних робіт згідно з нормами робочої навчальної програми з дисципліни «Електротехніка та електроніка» під час вивчення розділу «Електричні машини» є забезпечення теоретичної і практичної підготовки в обсязі, потрібному для того, щоб майбутні кваліфіковані спеціалісти будівельної індустрії мали знання електротехнічних законів, принципів електропостачання, орієнтувались в енергозбереженні та могли вибирати відповідні механізми з сучасними електроприводами для виконання технологічних завдань у реальному виробничому процесі.

Методичні вказівки складено згідно із навчальною програмою дисципліни «Електротехніка та електроніка» до розділу «Електричні машини» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання.

У методичних вказівках наведено лабораторні роботи за темою «Трансформатори та електричні машини». Кожна робота складається з теоретичної частини, опису лабораторної установки, рекомендацій щодо виконання роботи та розрахунків. Лабораторні роботи охоплюють такі теми: трансформатори однофазні та трифазні, асинхронні машини змінного струму, генератори синхронні та генератори постійного струму, машини постійного струму з паралельним збудженням. Лабораторні роботи підібрані таким чином, щоб максимально наблизити майбутніх спеціалістів до реального стану приводів будівельних машин і обладнання.

Лабораторні роботи побудовані так, щоб майбутній спеціаліст отримав уяву про будову, принцип дії, методи регулювання та загальні правила вмикання, вимикання, реверсу і вибору електричних машин для будівельного обладнання.

Набуті знання дадуть змогу майбутнім спеціалістам краще зрозуміти принципи ощадного використання електричного обладнання, машин, трансформаторів та шляхи впровадження енергозберігальних технологій.

## **ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

До роботи в лабораторіях електротехніки й електроприводу допускаються студенти, які засвоїли відповідні розділи теоретичного курсу, пройшли інструктаж з техніки безпеки і підготували протоколи для виконання лабораторної роботи.

Академічну групу розподіляють по окремих бригадах по три-чотири студента в кожній.

Студенти, які вперше працюють в електротехнічній лабораторії, повинні ознайомитись із правилами поведінки та технікою безпеки під час виконання лабораторних робіт і поставити підпис у відповідному журналі.

Студенти зобов'язані завчасно підготуватися до лабораторного заняття: ознайомитися з інструкцією до виконання роботи, підготувати протокол і самостійно відповісти на запитання, наведені в інструкції.

Протокол має містити такі пункти: назва лабораторної роботи, її мета, схема лабораторної установки, таблиці спостережень, а також графіки, діаграми та висновки.

Студенти мають надати викладачу протоколи для перегляду і відповісти на запитання, після чого бригада може приступати до роботи. Студенти, які виявилися не підготовленими, до занять не допускаються.

Закінчивши дослідну частину роботи, кожний студент надає викладачу для підпису протокол із результатами досліджень. Якщо дані спостережень незадовільні або не були показані керівнику, робота вважається невиконаною.

## **РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА ОФОРМЛЕННЯ ПРОТОКОЛУ**

Результати вимірювань під час виконання лабораторної роботи мають бути занесені у відповідні таблиці. Усі схеми, таблиці і графіки мають відповідати стандартам. Елементи електричних схем та їх позначення виконуються за допомогою креслярських інструментів або спеціальної лінійки з елементами електричних і функціональних схем, позначення яких відповідають вимогам держстандартів (див. додатки 1, 2). Лабораторні роботи можуть бути виконані в електронній формі.

Графіки та векторні діаграми обов'язково викреслюються в масштабі. В одних координатних осях допускається побудова декількох графіків. Для побудови криволінійного графіка потрібно мати не менше п'яти точок.

Обов'язково треба зробити висновки з результатів досліджень, у яких показати відповідність даних експериментів теоретичним положенням, а також причини можливих похибок.

У процесі виконання лабораторних робіт слід пам'ятати про техніку безпеки під час експлуатації електрообладнання.

## ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Виробничі приміщення за ступенем небезпеки ураження струмом поділяються на три категорії залежно від їх вологості, наявності струмопровідного пилю, ізолюючої підлоги, кількості металевого обладнання тощо: без підвищеної небезпеки, з підвищеною небезпекою та особливо небезпечні.

Незважаючи на те, що лабораторії кафедри електротехніки й електроприводу належать до категорії приміщень без підвищеної небезпеки, потрібно пам'ятати, що багато елементів лабораторної установки, до яких можливе доторкання, перебувають під напругою, а частини, що обертаються, хоча і мають захисні пристрої, все ж не виключають можливості «захоплювання» одягу або механічного удару. Тому в лабораторії треба виявляти обережність та дотримуватися таких правил техніки безпеки:

- беззаперечно виконувати всі вказівки викладачів і лаборантів; бути дисциплінованими й уважними; перебувати безпосередньо біля дослідної лабораторної установки;

- забороняється підходити до інших установок, розподільних щитів і пультів і робити на них будь-які ввімкнення; вмикати схему в мережу, якщо хтось торкається її неізолюваної струмопровідної частини;

- складання схеми виконувати так, щоб провідники не натягалися і не перетиналися;

- не дозволяється вмикати живлення до перевірки викладачем правильності з'єднань елементів схеми;

- у разі необхідності будь-яких змін у зібраній схемі треба, щоб перед вмиканням її ще раз перевірів керівник;

- суворо забороняється робити перемикання в схемі, що перебуває під напругою;

- забороняється торкатися оголених струмопровідних частин схеми, що перебувають під напругою;

- забороняється проводити будь-які ввімкнення на головному розподільному щиті;

- забороняється ставити або замінювати запобіжники на щитках без дозволу керівника;

– у всіх випадках виявлення несправного електроустаткування й вимірювальних приладів треба негайно звернутися до викладача;

– потрібно стежити, щоб кількість обертів електричних машин не перевищувала номінальної, збільшувати кількість обертів понад номінальну можна тільки з дозволу керівника;

– у разі нещасного випадку негайно вимкнути лабораторну установку, повідомити викладача, надати потерпілому першу допомогу та викликати лікаря.

У разі порушення зазначених вище правил із техніки безпеки студент може бути усуненим від роботи і притягнутим до дисциплінарної відповідальності.

### *Лабораторна робота № 1*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА**

### **Мета роботи**

1. Ознайомитися з конструкцією однофазного трансформатора і методами його випробування.
2. Визначити коефіцієнт трансформації і величину напруги короткого замикання.
3. Навчитися знімати, будувати й аналізувати робочі характеристики трансформатора.

### **Основні теоретичні положення**

Трансформатор – статичний електромагнітний апарат, призначений для перетворення в колах змінного струму електричної енергії з одним співвідношенням напруги і струму в електричну енергію з іншим співвідношенням цих величин. Він складається із замкненого феромагнітного осердя, зібраного з листової електротехнічної сталі, на якому розміщені дві незалежні обмотки, виготовлені з мідного або алюмінієвого проволу. Первинною називається обмотка трансформатора, яка приєднується до джерела енергії, вторинною – у якій наводиться ЕРС взаємодукції. На рис. 1.1 зображено схему однофазного трансформатора. Діюче значення ЕРС вторинної обмотки визначають за формулою:

$$E_2 = 4,44 \cdot \Phi_m f w_2,$$

де  $\Phi_m$  – амплітуда магнітного потоку в осерді трансформатора;

$f$  – частота струму, що живить первинну обмотку трансформатора;  
 $w_2$  – число витків вторинної обмотки.

Трансформатор називають підвищувальним, якщо  $E_2 > U_1$ , та знижувальним, якщо  $E_2 < U_1$  ( $U_1$  – напруга, підведена до первинної обмотки).

Відношення підведеного номінального значення первинної напруги  $U_1$  до усталеної вторинної  $U_{2x} = E_2$  за холостого ходу трансформатора  $K = U_1/U_{2x}$  називається коефіцієнтом трансформації.

Залежно від величини номінальної напруги на обмотках однофазного трансформатора відрізняють обмотку вищої напруги (ВН) і нижчої напруги (НН), їх кінці позначають через  $A-X$  і  $a-x$ .

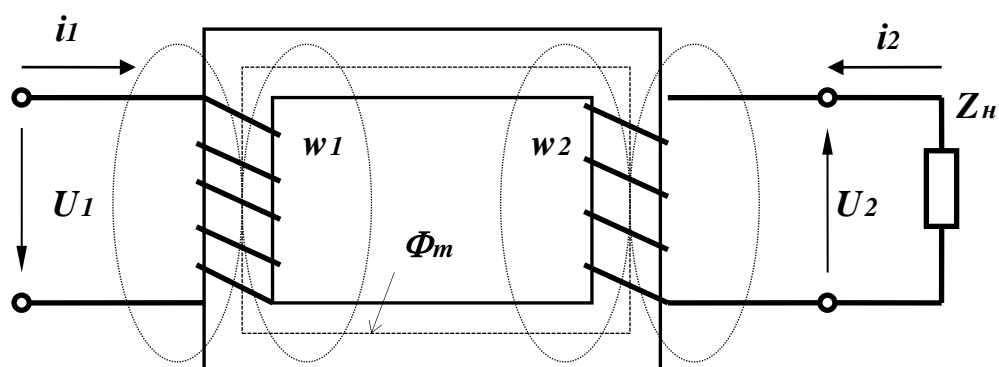


Рис. 1.1. Однофазний трансформатор

Кожний трансформатор характеризується номінальними величинами: потужністю  $S_n$ , первинною  $U_{1n}$  і вторинною  $U_{2n}$  напругами, первинним  $I_{1n}$  і вторинним  $I_{2n}$  струмами, напругою короткого замикання  $U_{1k}$  і частотою  $f$ . Ці параметри обов'язково заносяться в його технічний паспорт.

Якщо до вторинної обмотки, опір якої дорівнює  $z_2$ , приєднати навантаження  $z$ , то у вторинному колі проходитиме струм  $I_2$ , і на його затискачах установиться напруга:

$$U_2 = E_2 - I_2 \cdot z_2,$$

яка залежить від характеру навантаження.

Залежність  $U_2 = F(I_2)$  за умови  $U_1 = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ ,  $\cos\varphi_2 = \text{const}$  називається зовнішньою характеристикою трансформатора.

Експлуатаційні властивості однофазного трансформатора, який працює за змінним навантаженням, визначаються його характеристиками, які показують зміну первинного струму  $I_1$ , вторинної напруги  $U_2$ , коефіцієнта потужності  $\cos\varphi_1$  і коефіцієнта корисної дії  $\eta$  залежно від струму  $I_2$

вторинного кола для сталих значень підведеної напруги  $U_1$ , частоти  $f$  і коефіцієнта потужності  $\cos\varphi_2$  споживачів.

Корисна потужність трансформатора:  $P_2 = U_2 \cdot I_2 \cos \varphi_2$ .

Коефіцієнт потужності  $\cos\varphi_1$  трансформатора визначаємо за формулою

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}.$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД):  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$

Коефіцієнт завантаження  $\beta$  - відношення діючого струму навантаження до номінального:

$$\beta = \frac{I_d}{I_n}.$$

Величину номінального струму трансформатора  $I_n$  обчислюють за номінальною потужністю  $S_n$ , та номінальною первинною напругою:

$$I_n = \frac{S_n}{U_n}.$$

### Проведення досліду

1. Ознайомитися з приладами й іншим обладнанням експериментальної установки (рис. 1.2).

Для випробування однофазного трансформатора складають установку (рис. 1.2), у якій для вимірювання підведеної напруги  $U_1$ , струму  $I_1$ , споживаної потужності  $P_1$  з боку первинної обмотки трансформатора передбачено відповідну вимірювальну апаратуру. Установка живиться від однофазної мережі через регульовальний автотрансформатор ЛАТР, за допомогою якого протягом усього досліду підтримується потрібна первинна напруга  $U_1$ .

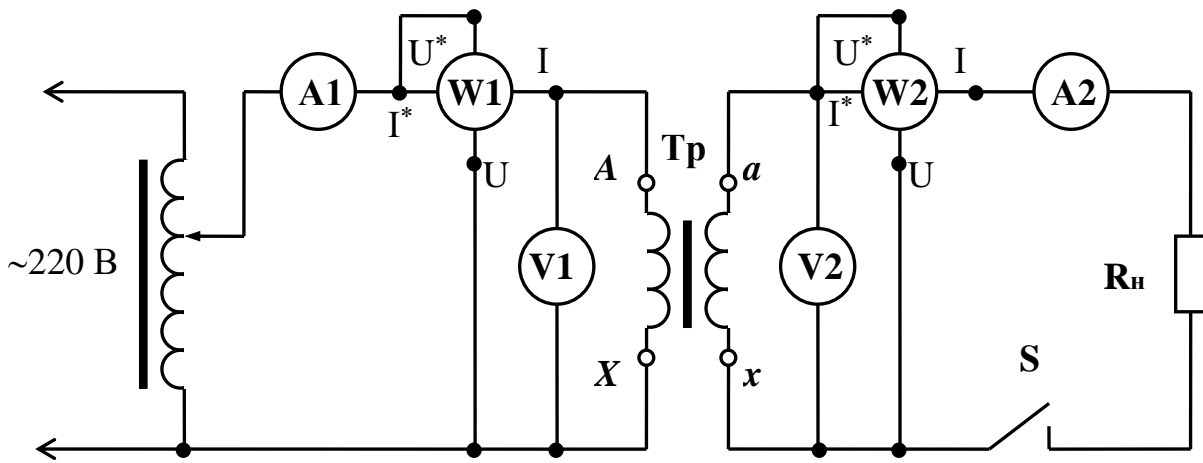


Рис. 1.2. Схема електрична лабораторної установки

З боку вторинної обмотки трансформатора вимірюють вторинну напругу  $U_2$ , струм навантаження  $I_2$  та потужність  $P_2$ . Навантаження створюється реостатом  $R_n$ .

2. Дослід холостого ходу трансформатора. Під холостим ходом трансформатора розуміють такий режим його роботи, за якого до первинної обмотки підводиться номінальна напруга, а вторинна обмотка розімкнена. Результати спостережень записати в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Дані спостережень				Результати обчислень		
$U_{1.0}$	$I_{1.0}$	$P_{1.0}$	$U_{2.0}$	$K_{1.2}$	$I_{1.0}/I_{1n}$	$\cos\varphi_{1.0}$
В	А	Вт	В			

3. Дослідження трансформатора під навантаженням. Опір реостата  $R_n$  встановити на максимальне значення, замкнути вимикач  $S$  і записати в (табл. 1.2) відліки першої точки. Змінюючи опір реостата  $R_n$ , записати дані ще п'яти дослідів. При цьому потрібно стежити за тим, щоб струм не перевищував межі номінального значення.

Таблиця 1.2

№ дослідів	Дані спостережень						Результати обчислень			
	$U_1$	$I_1$	$P_1$	$U_2$	$I_2$	$P_2$	$\eta$	$\cos\varphi_1$	$\beta$	$\Delta U$
	В	А	Вт	В	А	Вт	%			В
1 ... 6										

4. Дослід короткого замикання трансформатора. Для виконання цього досліді потрібно розімкнути електричне коло вторинної обмотки. За допомогою ЛАТРу встановити напругу на первинній обмотці трансформатора на нуль. Затискачі вторинної обмотки з'єднати між собою. Вольтметр V1 замінити іншим, з меншими межами вимірювання. Швидко провести дослід короткого замикання, для чого, повертаючи ручку ЛАТРу, встановити номінальний струм первинної обмотки випробуваного трансформатора, зняти покази всіх приладів і записати в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Дані спостережень			Результати обчислень			
$U_{1к}$	$I_{1н}$	$P_{1к}$	$\cos\varphi_{1к}$	$r_k$	$Z_k$	$x_k$
В	А	Вт		Ом	Ом	Ом

### Опрацювання результатів досліді

1. Обчислити коефіцієнт трансформації  $K_{1,2}$ , процентне значення струму холостого ходу та коефіцієнт потужності трансформатора в режимі холостого ходу:

$$K_{1,2} = \frac{U_{1,0}}{U_{2,0}} \qquad \cos\varphi_{1,0} = \frac{P_{1,0}}{(U_{1,н} \cdot I_{1,н})}$$

2. За даними спостережень трансформатора під навантаженням розрахувати ККД, коефіцієнт потужності, процентну зміну напруги від навантаження  $\Delta U$  та коефіцієнт завантаження  $\beta$ :

$$\Delta U = \frac{U_{2x} - U_2}{U_{2x}} \cdot 100\%$$

Записати результати обчислень у табл. 1.2. За даними спостережень та обчислень побудувати в одній координатній системі характеристики трансформатора за активного навантаження у функції вторинного струму, тобто  $U_2 = F(I_2)$ ,  $I_1 = F(I_2)$ ,  $\cos\varphi_1 = F(I_2)$ ,  $\eta = F(I_2)$  для  $U_1 = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$  і  $\cos\varphi_2 = 1$ .

Записуємо результати обчислень (табл. 1.3):

$$\cos\varphi_{1,k} = \frac{P_{1,k}}{U_{1,k} \cdot I_{1,k}}$$

$$z_{вх.к} = \frac{U_k}{I_k} = \sqrt{r_k^2 + x_k^2} = z_k,$$

$$r_k = \frac{P_k}{I_k^2} \quad x_k = z_k^2 - r_k^2,$$

де  $z_k$  – повний опір первинної обмотки трансформатора;

$r_k$  – активний опір обмотки трансформатора;

$x_k$  – індуктивний опір обмотки трансформатора.

Підсумувати результати дослідів, зробити висновки і записати їх у протокол лабораторної роботи.

### **Контрольні запитання**

1. Пояснити принцип дії та будову трансформатора.
2. Від яких параметрів залежить величина ЕРС, що наводиться у вторинній обмотці трансформатора?
3. Схема заміщення трансформатора. Як визначити її параметри?
4. Які втрати потужності мають місце в трансформаторі і від чого вони залежать?
5. Методи визначення втрат потужності в трансформаторі.
6. Що показує зовнішня характеристика трансформатора?
7. Яка мета проведення дослідів холостого ходу та короткого замикання?

### *Лабораторна робота № 2*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА**

### **Мета роботи**

1. Ознайомитися з конструкцією трифазного трансформатора.
2. Ознайомитися з методами визначення затискачів трансформатора.
3. Вивчити схему та варіанти з'єднання обмоток трансформатора.

### **Основні теоретичні положення**

Трифазні (тристрижневі) трансформатори виготовляють середньої і малої потужностей, а групу з трьох однофазних трансформаторів застосовують у разі великих потужностей.

Початок фаз первинної і вторинної обмоток позначається відповідно літерами  $A, B, C$  і  $a, b, c$ , а кінці – відповідно літерами  $X, Y, Z$  і  $x, y, z$ . Кінці первинної обмотки з'єднують між собою зіркою або трикутником. Так само з'єднують і кінці вторинної обмотки. Отже, буває чотири основних варіанти з'єднань: зірка – зірка ( $\Delta/\Delta$ ); зірка – трикутник ( $\Delta/\Delta$ ); трикутник – трикутник ( $\Delta/\Delta$ ); трикутник – зірка ( $\Delta/\Delta$ ).

В Україні застосовують три основні схеми з'єднань: ( $\Delta/\Delta_0$ ), ( $\Delta/\Delta$ ) і

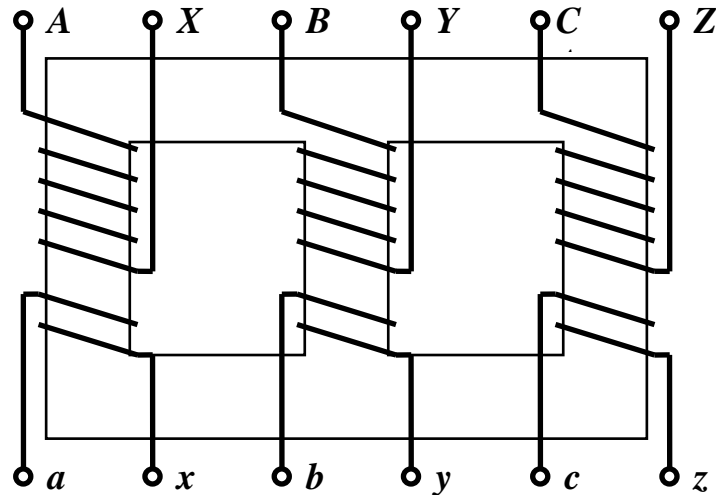


Рис. 2.1. Трифазний трансформатор

( $\Delta/\Delta_0$ ), де чисельник означає схему з'єднання обмоток високої напруги, а знаменник – схему з'єднання обмоток низької напруги. Для трансформаторів невеликої потужності напругою 10/0,4 і 6/0,4 кВ застосовують групи сполучення обмоток ( $\Delta/\Delta_0$ ), для того, щоб на стороні низької напруги мати виведену нульову точку. З'єднувати обмотки зіркою потрібно за високих напруг, оскільки фазна напруга в  $\sqrt{3}$  разів менша за лінійну, що дає змогу зменшити вимоги до ізоляції обмотки. З'єднання трикутником застосовують за низьких напруг і великих струмів, що надає змогу зменшити переріз проводів обмоток, оскільки в цьому разі фазний струм у проводах обмотки є меншим у  $\sqrt{3}$  рази за лінійний струм.

На щитку трансформаторів зазначено не тільки спосіб з'єднання обмоток, а й умовні позначення групи з'єднання, наприклад ( $\Delta/\Delta_0$ ) – 12, ( $\Delta/\Delta$ ) – 11.

Накреслимо векторні діаграми для цих випадків (рис. 2.2). Для побудови векторних діаграм виходять із таких загальних міркувань:

Вектори фазних напруг обох обмоток однієї фази є паралельними, тому що індукуються одним магнітним потоком і за умови узгодженого вмикання обмоток спрямовані в один бік, а в разі їх зустрічного вмикання – у різні боки. За узгодженого вмикання обидві обмотки намотані в один бік; верхні затискачі вважаються початками, а нижні кінцями. Щоб було зустрічне вмикання обмоток, досить поміняти місцями затискачі первинної або вторинної обмотки.

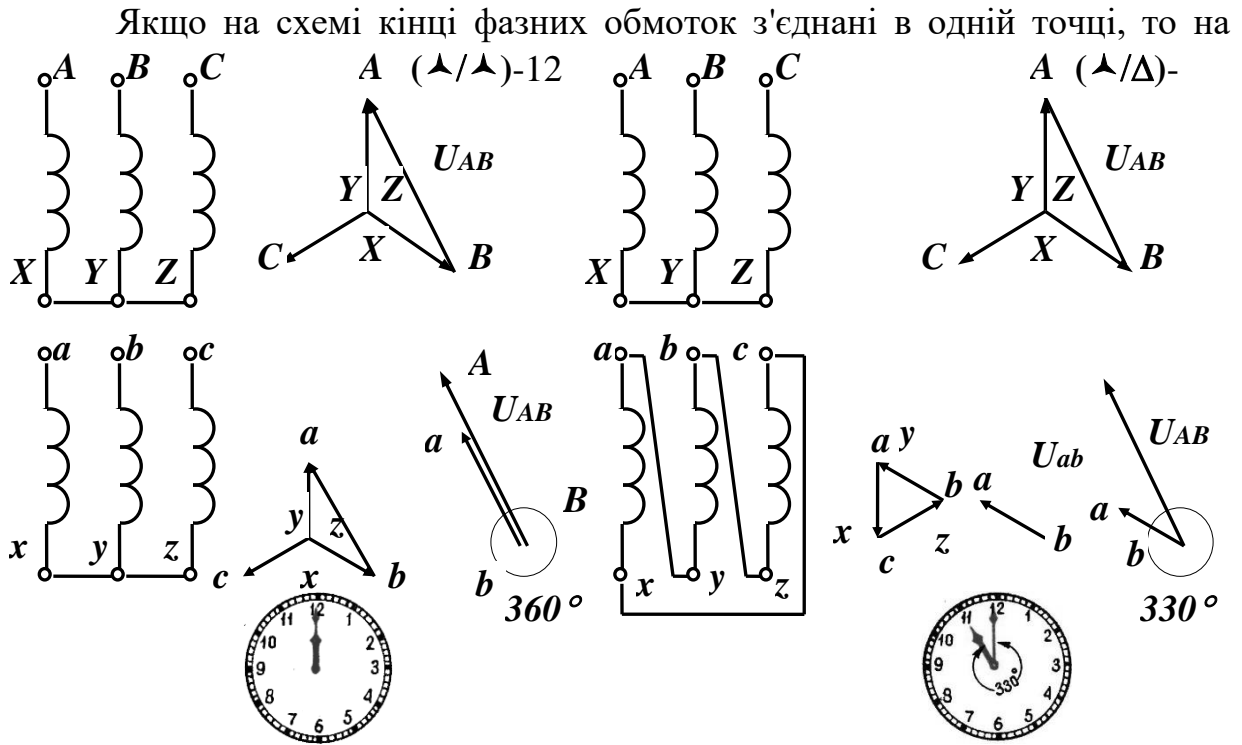


Рис. 2.2. Векторні діаграми

векторній діаграмі вектори різних напруг цих обмоток також з'єднуюватимуться в одній точці. На векторній діаграмі (рис. 2.2) зсув фаз між первинними і вторинними лінійними напругами дорівнює нулю. Кут зсуву фаз між напругами умовилися позначати, користуючись годинниковим способом позначення кута. Для цього вектор  $\vec{U}_{AB}$  первинної лінійної напруги вважають за велику стрілку годинника і встановлюють проти цифри 12 годинникового циферблату, а вектор  $\vec{U}_{ab}$  вторинної лінійної напруги, вважаючи за малу стрілку, встановлюють на циферблаті відповідно до схеми з'єднання (у цьому разі проти цифри 12). За одиницю кутового зміщення взято кут  $30^\circ$ , що відповідає куту між двома сусідніми цифрами годинникового циферблату. Для нашої схеми (рис. 2.2, а) кут зсуву між стрілками годинника дорівнює нулю. Цифра 12 і визначає групу, до якої у цьому разі належить трансформатор.

Визначимо групу з'єднань обмоток трансформатора за схемою (рис. 2.2, б) ( $\Delta/\Delta$ ), побудувавши векторну діаграму для обмотки низької напруги. Вектори фазних напруг обмоток високої і низької напруг є паралельними і за узгодженого вмикання спрямованими в один бік; тому вектор фазної напруги обмотки Н.Н.  $ax$  проводимо паралельно вектору фазної напруги обмотки В.Н.  $AX$ . Оскільки на схемі з'єднання обмоток точки  $a$  і  $y$  з'єднані, то вони мають з'єднуватись і на векторній діаграмі. Вектор  $vy$  з точки  $y$  проводимо паралельно вектору  $BY$ . Вектор  $cz$  проводимо паралельно вектору  $CZ$ . Дістаємо трикутник фазних і лінійних напруг обмотки Н.Н. Щоб визначити групу з'єднань обмоток, вектор  $av$  переносимо до вектора  $AB$ , з'єднуючи точки  $v$  і  $B$ . Відраховуючи за стрілкою годинника кут між векторами  $AB$  і  $av$ , знаходимо, що кут між ними дорівнює  $330^\circ$ , тобто  $11 \times 30^\circ$ . Це означає, що ми маємо 11 групу з'єднань обмоток.

Отже, група з'єднання обмоток трансформаторів показує зсув фаз між високою і низькою лінійними напругами. Коефіцієнт трансформації визначають через лінійні напруги і позначають на щитку трансформатора  $K = U_{11}/U_{12}$ .

Номінальна повна потужність трифазного трансформатора:

$$S_n = 3 \cdot U_n \cdot I_n \cdot 10^{-3};$$

де  $U_n$  і  $I_n$  – номінальна фазна напруга (В) і фазний струм (А).

Активна потужність:  $P_2 = 3 \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2$ ,

де  $U_2$  і  $I_2$  – фазн і напруга і струм,  $\cos\varphi_2$  – коефіцієнт потужності приймача.

### Контрольні запитання

1. Чим відрізняється трифазний трансформатор від однофазного?
2. Яким є призначення трифазного трансформатора?
3. До яких наслідків може привести невірне з'єднання затискачів «початок», «кінець» вторинної обмотки трансформаторів у разі різних груп з'єднання?
4. Для чого потрібно знати групу з'єднання обмоток трифазного трансформатора?
5. Що потрібно знати для вмикання трансформаторів на паралельну роботу?

## Проведення досліду

1. Записати в протокол номінальні параметри досліджуваного трансформатора, які вказані на цьому щитку.

2. Для визначення затискачів обмоток трансформатора скласти електричне коло згідно з рис. 2.3. Спочатку проводять випробування обмотки В.Н, а потім Н.Н.

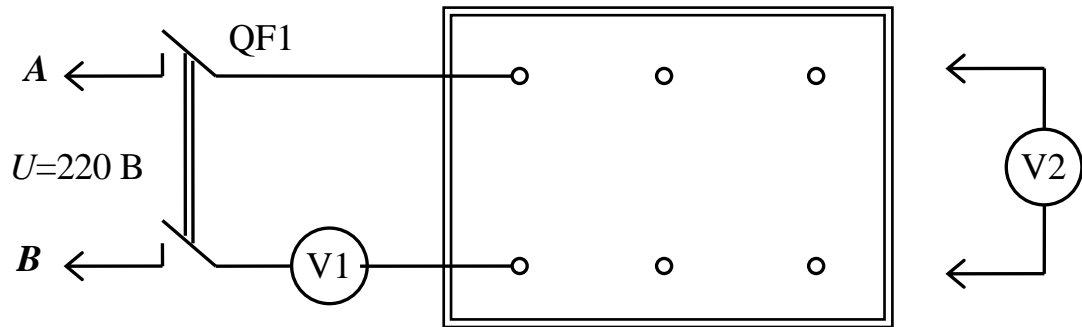


Рис. 2.3. Схема визначення затискачів

Якщо, під час ввімкнення електричного кола стрілка вольтметра V1 не відхиляється, це означає, що приєднані до мережі затискачі трансформатора не належать одній обмотці. У цьому випадку потрібно від'єднати електричне коло від мережі, вимкнувши автомат QF, і провід з щупом перемкнути на другий затискач щитка трансформатора. Знову ввімкнути QF, і так доти, доки стрілка вольтметра V1 почне відхилятися, що буде свідчити про приналежність з'єднаних затискачів одній обмотці В.Н.

За допомогою вольтметра V2 із щупами встановити приналежність інших п'яти пар затискачів фазним обмоткам В.Н. та Н.Н. досліджуваного трансформатора. Для цього потрібно під'єднувати вольтметр V2 із щупами по чергово до будь-якої пари затискачів В.Н. та Н.Н., за виміряною ЕРС встановлюють відповідні обмотки.

3. Для визначення початків і кінців фазних обмоток трансформатора потрібно скласти електричні кола (рис. 2.4) відповідно для обмотки В.Н. та Н.Н.

Довільно промарковуємо початок і кінець однієї з обмоток В.Н. Наприклад, ця обмотка нехай належить фазі *A*. Таким чином, початок обмотки позначимо *A*, кінець -*x*. Для маркування ще двох обмоток В.Н. збирають електричне коло, яке зображено на рис. 2.4. Обмотку *A-x* з'єднують (довільно) послідовно з обмоткою В.Н. що випробується, а до затискачів третьої обмотки В.Н. приєднують вольтметр *V*, розрахований на напругу 300 В. Схему приєднують до затискачів живлення лабораторного стенда, після чого на обмотки В.Н. подається напруга  $U = 220$  В.

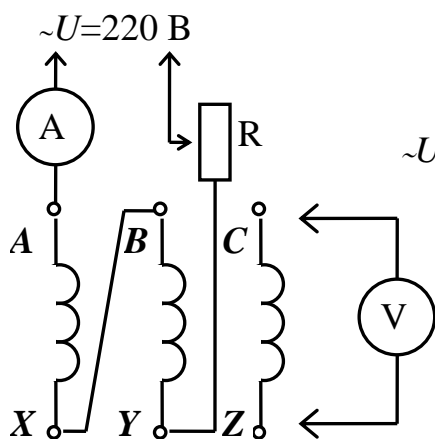


Рис. 2.4

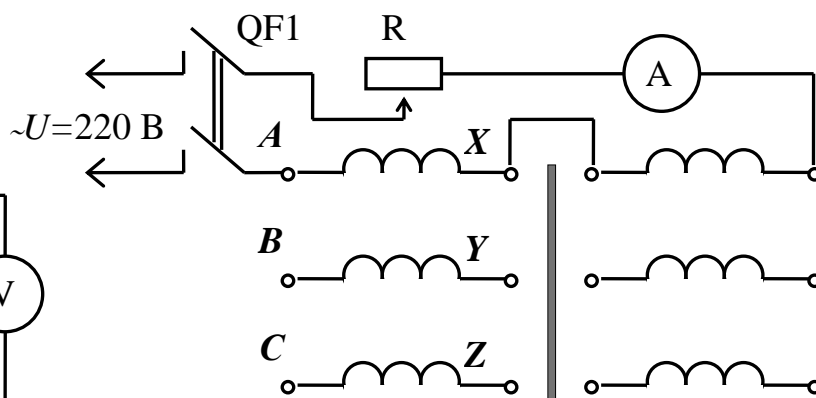


Рис. 2.5

Струм, що протікає по двох обмотках, ввімкнених послідовно, регулюється резистором *R*, величина струму не перевищує – 1 мА. Якщо вольтметр *V* покаже порівняно велику напругу, то це вказує на те, що затискач *x* приєднаний до затискача *B*, як це зображено на рис. 2.4, якщо показник *V* вольтметра наближається до 0, то затискач *x* приєднаний до затискача *y*, при цьому магнітні потоки обмоток *A-x* і *B-y* віднімаються, і в третьому осерді потік майже відсутній.

Таким шляхом визначають затискачі *B* і *Y* другої обмотки, після чого на її місце вмикають третю обмотку, а вольтметр приєднують до затискачів другої обмотки і визначають затискачі *C* і *Z*.

4. Для випробування схем з'єднань обмоток трифазних трансформаторів почергово скласти електричні кола згідно з рис. 2.6 (*a*, *б*, *в*, *г*), користуючись промаркованими затискачами обмоток трансформаторів.

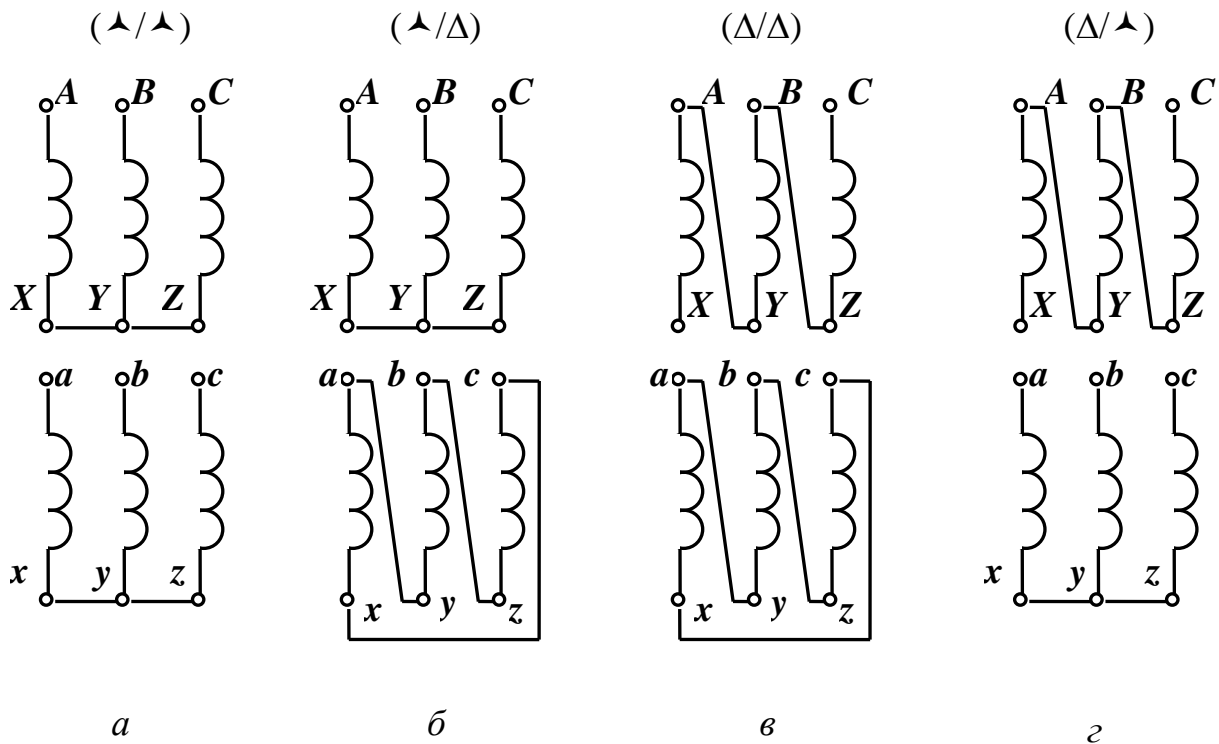


Рис. 2.6. Схеми з'єднання обмоток трансформатора

5. Виміряти лінійні і фазні напруги первинної та вторинної обмоток трансформатора в режимі холостого ходу для чотирьох варіантів з'єднання обмоток. Дані випробувань занести в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

№ п.п.	Варіанти з'єднання	Дані вимірів				Обчислити	
		$U_{1л}$	$U_{1ф}$	$U_{2л}$	$U_{2ф}$	$U_{1ф}/U_{2ф}$	$U_{1л}/U_{2л}$
1.	▲ / ▲						
2.	▲ / Δ						
3.	Δ / Δ						
4.	Δ / ▲						

6. Накреслити векторні діаграми фазних і лінійних напруг для кожного випадку досліджених з'єднань обмоток трансформатора.

Коефіцієнт трансформації визначаємо так:

$$k = \frac{U_{1л}}{U_{2л}} = \frac{U_{1ф}}{U_{2ф}}$$

*Лабораторна робота № 3*  
**ВИПРОБУВАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ФАЗНИМ РОТОРОМ**

**Мета роботи**

1. Ознайомитися з конструкцією асинхронного двигуна з фазним ротором і принципом його дії.
2. Навчитися запускати асинхронний двигун з фазним ротором.
3. Навчитися знімати та будувати робочі характеристики двигуна.
4. Побудувати природну та штучні механічні характеристики.

**Основні теоретичні положення**

Асинхронний двигун трифазного струму з фазним ротором є електричною машиною, призначеною для перетворювання електричної енергії трифазного струму в механічну (рис. 3.1).

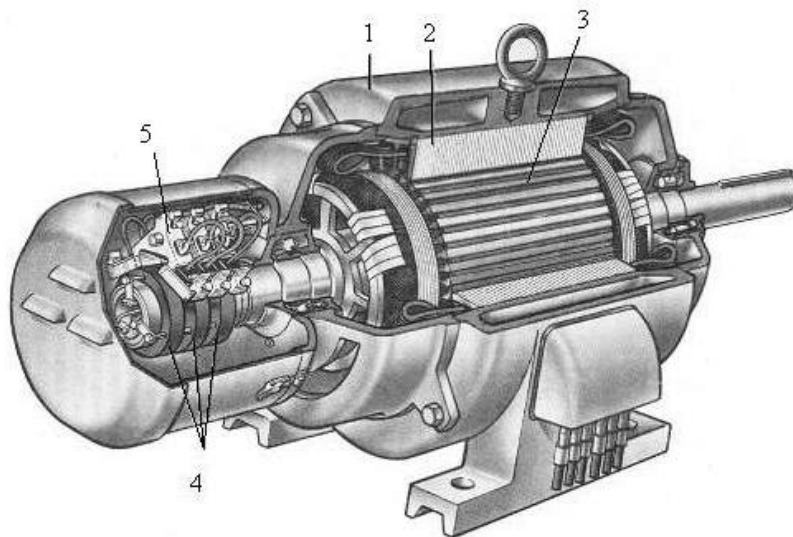


Рис. 3.1. Будова асинхронного двигуна з фазовим ротором

Основними частинами асинхронного двигуна є статор (1) і ротор (3). Статори всіх типів асинхронних двигунів є однаковими. Вони складаються з таких частин: станина (або корпус) з елементами кріплення; сталеве осердя (2), яке складається з штампованих, ізольованих один від одного, листів електротехнічної сталі з пазами для укладання обмотки статора; обмоток статора, виготовлених з ізольованого мідного проводу і укладених в пази осердя. Обмотки призначені для утворення обертового магнітного моменту.

Ротор складається з таких частин: сталевий циліндр, складений з штапованих, ізольованих один від одного, листів електротехнічної сталі; вала ротора, на якому закріплено сталевий циліндр ротора, підшипники і вентилятор; обмотка ротора.

У пази фазного ротора укладають трифазну обмотку, виготовлену за типом обмотки статора. Фазну обмотку ротора, як правило, з'єднують зіркою; при цьому кінці обмотки з'єднують разом, а початки приєднують до контактних кілець (4), на які встановлюють щітки (5), з'єднані з пусковим реостатом. Пусковий реостат використовують для збільшення пускового моменту і одночасно зменшення пускового струму.

В основі принципу дії асинхронного двигуна лежить закон електромагнітної індукції. Фазні обмотки статора, подібно первинним обмоткам трансформатора, приєднуються до трифазної мережі. Струми обмоток статора збуджують обертове магнітне поле, яке наводить ЕРС у замкненій на пусковий реостат обмотці ротора. Під обертовим магнітним полем розуміють постійний за величиною магнітний потік, що обертається в просторі з постійною кутовою швидкістю, тобто таке магнітне поле, яке можна утворити від обертання з постійною швидкістю системи з  $p$  пар постійних магнітів (або електромагнітів) із змінною полярністю. Унаслідок взаємодії зі струмом ротора, який виникає під дією ЕРС з обертовим магнітним полем, з'являється сила (на підставі закону Ампера), що діє на провідники ротора.

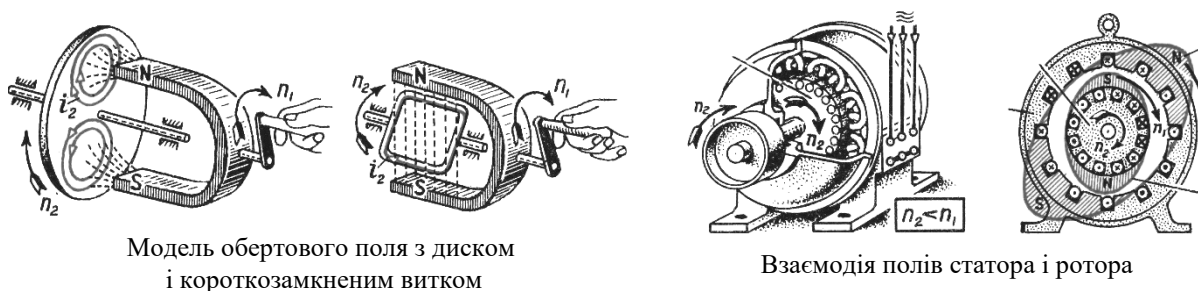


Рис. 3.2. Принцип дії асинхронного двигуна

Ця сила створює обертовий момент у напрямку обертання магнітного поля, і ротор рухається з декілька меншою частотою обертання від частоти обертання поля статора. Ротор може обертатися тільки з швидкістю  $n_2$ , меншою за  $n_1$ , тобто з несинхронною (або асинхронною) швидкістю. Ось чому двигун називають асинхронним. Напрямок обертання ротора збігається з напрямком обертання поля статора.

Явище відставання ротора від обертового поля статора називають ковзанням і позначають літерою  $S$ . Ковзання залежить від навантаження на валу двигуна: із збільшенням навантаження оберти ротора зменшуються (ротор загальмовується), отже, збільшується ковзання  $S$ , і навпаки. Ковзання визначається відношенням різниці чисел обертів магнітного поля статора  $n_1$  і обертів ротора  $n_2$  до числа обертів поля статора  $n_1$ :

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad \text{або в процентах: } S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%.$$

Під час пуску двигуна (ротор є нерухомим)  $n_2 = 0$ , тому  $S = 1$ . У разі холостого ходу двигуна швидкість обертання ротора  $n_2$  майже дорівнює швидкості обертання поля статора  $n_1$ , а ковзання є малим. Для сучасних асинхронних двигунів номінальне ковзання  $S_{ном}$  (за номінального навантаження двигуна) коливається в межах від 2 до 6 %.

Число обертів магнітного поля зв'язане з частотою і числом пар полюсів поля таким співвідношенням:

$$n = 60 \cdot f / p, \quad \text{де } n - \text{число обертів магнітного поля за хвилину};$$

$f$  – частота струму;  $p$  – число пар полюсів.

Робочі характеристики трифазного асинхронного двигуна є залежністю потужності  $P_1$ , що споживається двигуном, струму статора  $I_1$ , коефіцієнта потужності  $\cos\varphi_1$ , ККД  $\eta$ , обертового моменту  $M$ , швидкості обертання ротора  $n_2$  і ковзання  $S$  від корисної потужності  $P_2$  на валу двигуна за сталої напруги  $U_1$  на затискачах двигуна і за сталої частоти  $f_1$ . Отже,  $P_1, I_1, \cos\varphi_1, \eta, M, n_2$  і  $S = f(P_2)$ , якщо  $U_1 = U_{1ном} = \text{const}$  і  $f_1 = \text{const}$ .

Швидкість двигуна з фазним ротором регулюють, вмикаючи в коло ротора спеціальний регулювальний реостат. При цьому із збільшенням опору реостата швидкість двигуна зменшуватиметься.

Введення активного опору в коло фазного ротора зменшує пусковий струм, збільшує пусковий обертовий момент і забезпечує плавність пуску.

Реверсуванню називають зміну напрямку обертання двигуна. Ротор асинхронного двигуна обертається за напрямком обертання магнітного поля, який визначається порядком чергування фаз обмотки статора. Таким чином, для зміни напрямку обертання вала двигуна треба змінити напрямок обертання магнітного потоку статора, а для цього досить поміняти місцями будь-яких два провідника з трьох, які з'єднують джерело енергії з обмотками двигуна.

## Проведення досліду

1. Ознайомитися з приладами й іншим обладнанням експериментальної установки (рис. 3.3).

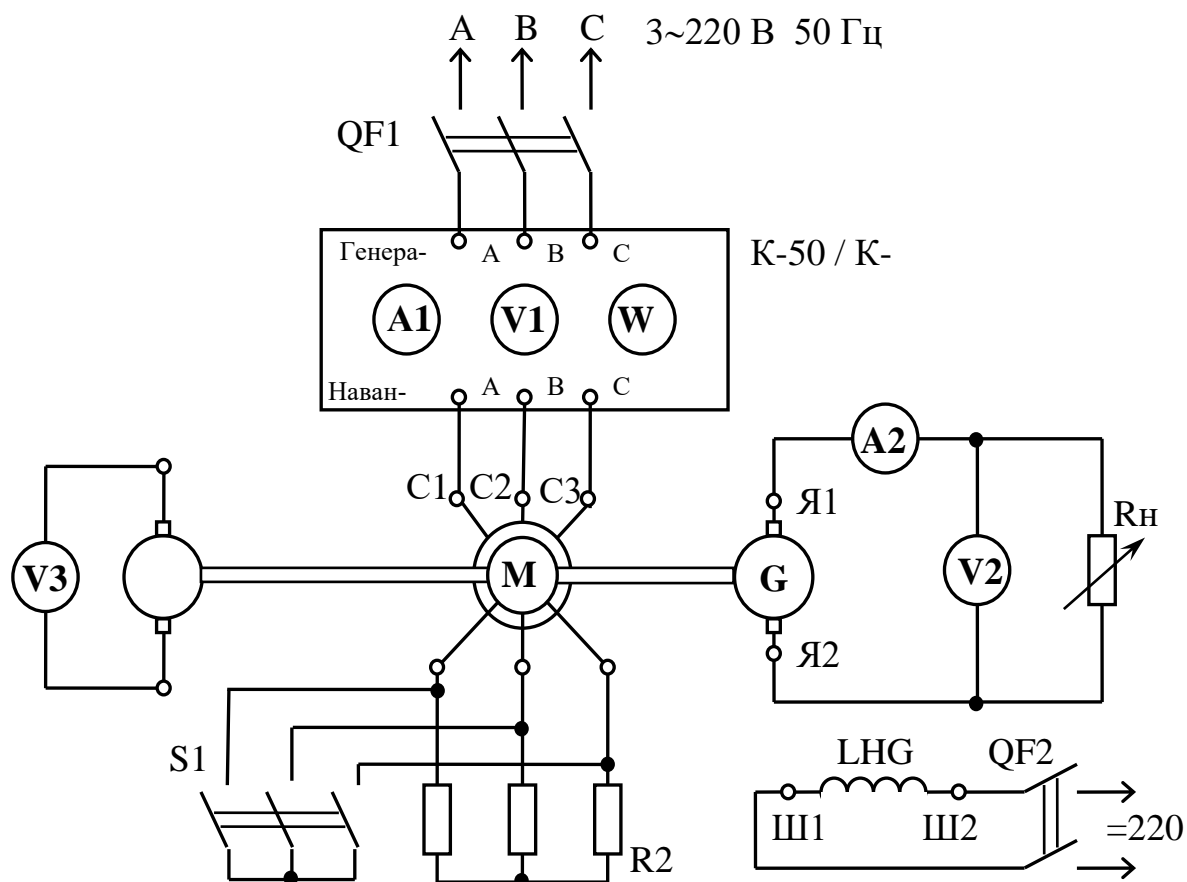


Рис. 3.3. Схема лабораторної установки

Для випробування асинхронного двигуна з фазним ротором скласти схему згідно з рис. 3.3.

**Пояснення до схеми:** схема має три окремих частини: 1 – трифазний асинхронний двигун із фазним ротором  $M$ , вимірювальні прилади К-50/К-505 ( $A1$ ,  $V1$ ,  $W1$ ) для визначення відповідно: лінійного струму, фазної напруги та фазної активної потужності, пускові реостати  $R2$  приєднуються до обмоток ротора  $P1$ - $P3$ . Автомат  $QF1$  вмикає живлення на статорні обмотки, а  $S1$  замикає обмотки ротора накоротко; 2 – генератор постійного струму  $G$ , який використовується як навантажувальний пристрій. Вимірювальні прилади ( $A2$ ,  $V2$ ) для визначення відповідно струму навантаження та напруги на затискачах якірної обмотки  $Я1$ - $Я2$ . Навантажувальний реостат  $R1$ . Обмотка збудження  $LHG$  (затискачі  $Ш1$ - $Ш2$ ), яка приєднується до джерела постійного струму  $= 220$  В через автомат

QF2; 3 – тахогенератор BR з вольтметром для визначення частоти обертання вала двигуна.

Усі три машини M, G, BR з'єднані між собою механічно.

2. Записати паспортні дані досліджуваних машин у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Паспортні дані								Обчислити		
Найменування машини	Тип	$P_{ном}$	$U_{н1}$	$I_{н1}$	$n_{н2}$	$\cos\varphi$	$\eta$	$M_n$	$n_1$	$p$
		кВт	В	А	об/хв		%	Н·м	об/хв	пар.пол
Двигун										
Генератор										

3. Розімкнути вимикач S1 (ввести повний опір пускового реостата R2 в коло роторних обмоток).

4. Не збуджуючи генератор постійного струму G, ввімкнути QF1. Після того як статорні обмотки будуть приєднані до джерела живлення, вивести з кола ротора опір R2.

5. Зняти показання приладів під час роботи двигуна в режимах холостого ходу та під навантаженням, для чого обмотку збудження генератора LHG приєднати до джерела живлення постійного струму. Змінюючи опір реостата R1, встановлюємо потрібне навантаження двигуна. Спочатку знімається «природна» характеристика (без пускового реостата R2), а потім «штучна». Результати дослідів записати в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Дані спостережень							Результати обчислень						
Режим	Двигун				Генерат.								
	$n_2$	$U_{1\phi}$	$I_{1л}$	$P_{1\phi}$	$U_2$	$I_2$	$P_1$	$P_2$	$\cos\varphi$	$S$	$M$	$\eta$	$\omega_2$
	об/хв	В	А	Вт	В	А	Вт	Вт		%	Н·м	%	с <sup>-1</sup>
«Природна» характеристика. $R_{пуск.}=0$													
0-5													
«Штучна» характеристика. $R_{пуск.}=R2 \neq 0$													
0-5													

## Опрацювання результатів дослідів

1. Розрахувати такі величини:

– потужність, що споживається двигуном:

$$P_1 = 3 \cdot P_{1\phi} = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_l \cdot \cos \varphi;$$

– потужність навантаження, якщо  $\eta_r = 0,85$ .

$$P_2 = U_c \cdot I_c / \eta_c;$$

– ковзання

$$S = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1},$$

де  $\omega_1$  – кутова швидкість обертання обертового магнітного поля статора,

$\omega_2$  – кутова швидкість обертання ротора;

– ККД двигуна  $\eta = \frac{P_2}{P_1};$

– коефіцієнт потужності двигуна  $\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_l};$

– момент двигуна  $M = \frac{P_1}{\omega_1}; \quad P_1 = M \cdot \omega_1; \quad \omega_1 = \frac{n_1}{9,55}; \quad \omega_2 = \frac{n_2}{9,55},$

де  $n_1$  і  $n_2$  – частота обертання відповідно магнітного поля статора і ротора.

2. Побудувати робочі характеристики асинхронного двигуна для режиму, коли  $R_{лук} = 0$ . Зробити висновки.

3. Побудувати «природну» і «штучну» механічну характеристики асинхронного двигуна, порівняти їх і зробити висновки.

## Контрольні запитання

1. Пояснити будову та принцип дії двигуна з фазним ротором.
2. Яке призначення мають контактні кільця та реостат у колі ротора?
3. Від яких параметрів залежить швидкість обертового магнітного поля статора двигуна?
4. Як залежить ковзання, швидкість обертання ротора та коефіцієнт потужності  $\cos \varphi_1$  від навантаження на валу двигуна?
5. Які переваги та недоліки має асинхронний двигун із фазним ротором порівняно з двигуном із короткозамкненим ротором?
6. Проаналізувати робочі характеристики двигуна.

*Лабораторна робота № 4*  
**ВИПРОБУВАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА  
З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ І ПОЛІПШЕННЯ  
КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ**

**Мета роботи**

1. Ознайомитися з будовою асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.
2. Навчитися запускати асинхронний двигун із короткозамкненим ротором.
3. Зняти залежність коефіцієнта потужності двигуна від навантаження.
4. Ознайомитися зі способом штучного поліпшення коефіцієнта потужності за допомогою конденсаторів.

**Основні теоретичні положення**

Конструкція асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором відрізняється від двигуна з фазним ротором тільки будовою ротора. Він

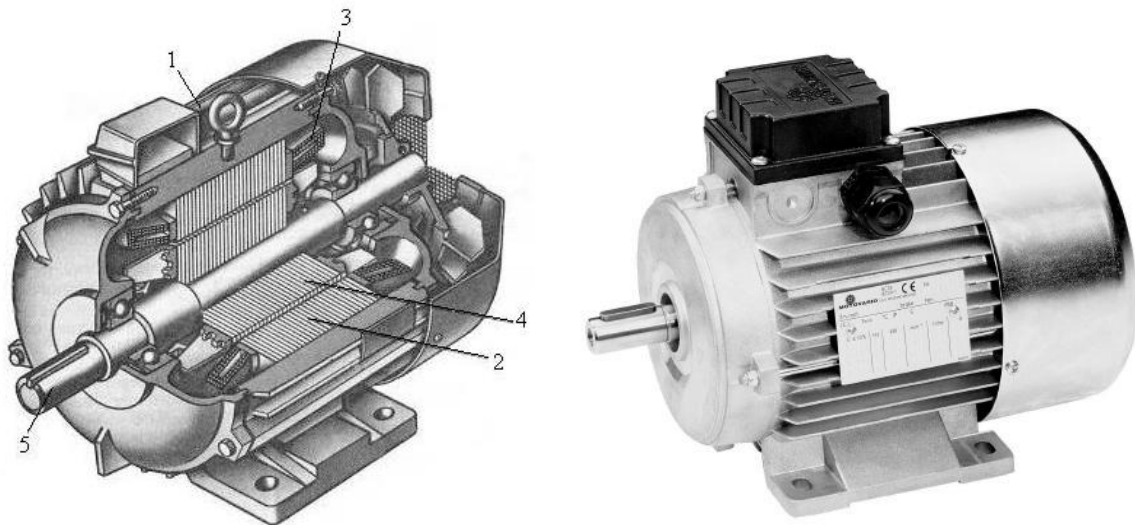


Рис. 4.1. Будова асинхронної машини з короткозамкненим ротором складається з таких частин: сталевого циліндра (4), складеного зі штампованих ізольованих один від одного листів електротехнічної сталі; вала ротора (5), на якому закріплено стальний циліндр ротора, підшипники, привідний шків і вентилятор; обмотки ротора, яка складається з мідних стержнів, що з торців замикаються кільцями, утворюючи так зване біляче колесо (рис. 4.1).

У двигунах невеликої потужності «біляче колесо» виготовляють, заливаючи пази ротора алюмінієм (рис.4.2).

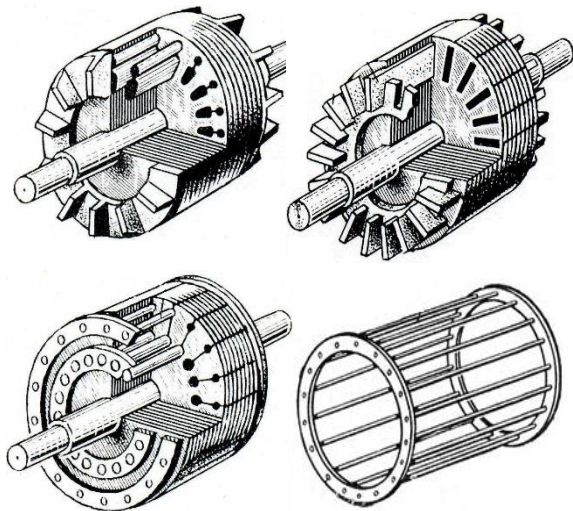


Рис. 4.2.

Конструкції КЗ роторів і обмотка «біляче колесо»

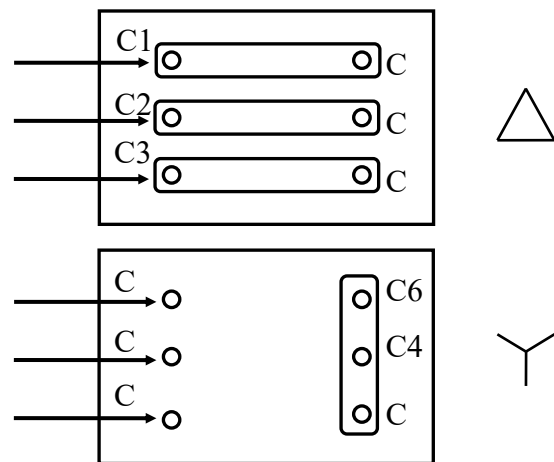


Рис. 4.3.

З'єднання обмоток асинхронного двигуна

Крім паспортних даних, на корпусі двигуна кріплять також клемний щиток, до якого підводяться кінці трьох обмоток статора. Початки обмоток позначають С1, С2, С3, а кінці – відповідно С4, С5, С6. На щитку лабораторного стенда кінці обмоток приєднують до клем так, як показано на рис. 4.3. З'єднання кінців слід виконувати зіркою, якщо  $U_n=380$  В, або трикутником, якщо  $U_n = 220$  В (рис. 4.3).

Відносно низький  $\cos\phi$  асинхронного двигуна є його істотним недоліком за умови правильного вибору потужності. Найкраще вирішити питання про збільшення  $\cos\phi$  всієї установки можна, раціоналізуючи роботу двигуна і збільшуючи його  $\cos\phi$ . Якщо зважати тільки на економічність роботи генераторів станцій і електричних мереж, то досить збільшити  $\cos\phi$  установки, не збільшуючи  $\cos\phi$  самого двигуна. Цього можна досягти, приєднуючи паралельно до статорних обмоток двигуна батарею конденсаторів, що забезпечуватиме зменшення струму в мережі. Це розвантажить мережу живлення від реактивних струмів.

Реактивну потужність батареї конденсаторів, розраховану на кожну фазу двигуна, визначають за відомою формулою:

$$Q_C = P \cdot (\operatorname{tg}\phi_1 - \operatorname{tg}\phi_2),$$

де  $\phi_1$  – кут зсуву фаз до поліпшення  $\cos\phi_1$ ;

$\varphi_2$  – кут зсуву фаз після поліпшення.

Знаючи потужність конденсаторів і напругу мережі, можна знайти їх ємність  $Q_c = U^2 \cdot \omega C$ . Практично безпосереднє поліпшення  $\cos\varphi$  кожного окремого двигуна з допомогою конденсаторів є неекономічним. Доцільно поліпшувати  $\cos\varphi$ , вмикаючи конденсатори з боку високої напруги мережі живлення.

### Проведення досліду

1. Ознайомитися з приладами й обладнанням експериментальної установки (рис. 4.4).
2. Записати в таблицю 4.1 паспортні дані досліджуваних машин.

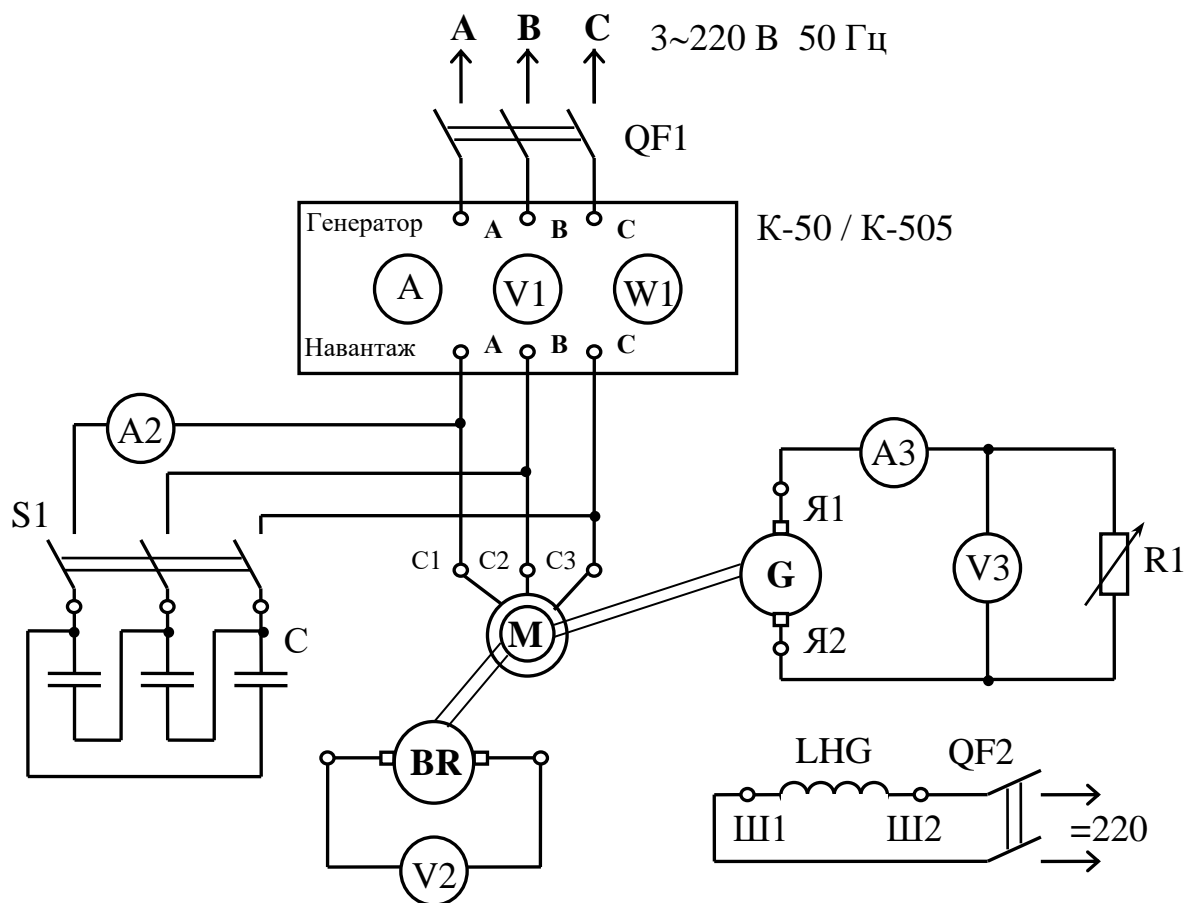


Рис. 4.4. Схема електрична лабораторної установки

Таблиця 4.1

Паспортні дані								Обчислити		
Найменування машини	Тип	$P_{ном}$	$U_{н1}$	$I_{н1}$	$n_{н2}$	$\cos\varphi$	$\eta$	$M_n$	$n_1$	$p$
		кВт	В	А	об/хв		%	Н·м	об/хв	пар.пол
Двигун										
Генератор										

3. Для проведення випробувань трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором складають установку (рис. 4.4), у якій передбачено апаратуру для вимірювання фазної напруги  $V_1$ , лінійного струму  $A_1$ , активної фазної потужності  $P_1$  (комплект К-50, або К-505). Батарея конденсаторів  $C$  (з'єднаних трикутником) приєднується паралельно статорним обмоткам двигуна через вимикач  $S$ . Для визначення ємнісного струму в одній фазі використовуємо амперметр  $A_2$ . Як і в попередній роботі, для створення гальмівного моменту на валу двигуна використовуємо генератор постійного струму  $G$ . Змінюючи опір навантажувального реостата  $R_1$ , задаємо режим навантаження – холостий хід, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %, 125 % від  $P_{ном}$ . Навантаження можна контролювати за амперметром  $A_3$  в колі якірної обмотки генератора або за амперметром  $A_1$ .

Під час проведення випробувань потрібно знімати відліки спочатку без конденсатора, а потім з ним (замикаючи вимикач  $S_1$ ).

Частоту обертання  $n_2$  визначимо за допомогою тахогенератора  $BR$ . Дані спостережень записати в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Навантаження двигуна		Дані спостережень						Результати обчислень							
		$n_2$	$U_\phi$	$I_\lambda$	$P_\phi$	$I_c$	$U_2$	$I_2$	$P$	$S$	$P_2$	$\cos\varphi$	$M$	$S$	$\eta$
		об/хв	В	А	Вт	А	В	А	Вт	ВА	Вт		Н м	%	%
$P_{\text{дв}}$ х.х.	без С														
	з С														
$P_{\text{дв}}$ 25 %	без С														
	з С														
$P_{\text{дв}}$ 50 %	без С														
	з С														
$P_{\text{дв}}$ 75 %	без С														
	з С														
$P_{\text{дв}}$ 100%	без С														
	з С														
$P_{\text{дв}}$ 125 %	без С														
	з С														

### Опрацювання результатів дослідження

1. Розрахувати подальші величин:

– лінійний струм  $I_\lambda$  (у разі з'єднання обмоток двигуна трикутником)

$$I_\lambda = \sqrt{3} \cdot I_\phi;$$

– активна потужність двигуна

$$P = 3 \cdot P_\phi = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos\varphi;$$

– повна потужність двигуна

$$S = \sqrt{3} \cdot U_\lambda \cdot I_\lambda;$$

- коефіцієнт потужності  $\cos\varphi = \frac{P}{S}$ .

2. Побудувати робочі  $n_2 = f(P_2)$ ,  $M = f(P_2)$ ,  $S = f(P_2)$ ,  $I_2 = f(P_2)$ ,  $\eta = f(P_2)$ , та механічну  $n_2 = f(M)$  характеристики асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

3. За результатами обчислень побудувати трикутники потужностей для кожного режиму навантаження (до вмикання конденсаторної батареї і після) і зробити висновки. Визначити графічно реактивну потужність  $Q_c$  конденсаторної батареї.

4. На підставі характеристик зробити висновки за результатами виконаної роботи.

### **Контрольні запитання**

1. Пояснити будову та принцип дії асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.
2. Як змінюється струм двигуна і  $\cos\varphi$  зі збільшенням навантаження?
3. Пояснити, чому зменшується споживаний струм під час роботи двигуна з приєднаними конденсаторами, проте корисна потужність двигуна не змінюється?
4. Пояснити фізичний зміст поліпшення коефіцієнта потужності методом приєднання конденсаторів.
5. Які ще існують методи поліпшення коефіцієнта потужності?

### ***Лабораторна робота № 5***

### **ВИПРОБУВАННЯ ТРИФАЗНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА**

#### **Мета роботи**

1. Ознайомитися з конструкцією синхронного генератора.
2. Навчитися регулювати параметри генератора.
3. Ознайомитися з основними характеристиками синхронного генератора і навчитися їх знімати.

#### **Основні теоретичні положення**

1. Синхронний генератор складається з нерухомої частини – статора (рис. 5.1), у пазах якого розміщують трифазну обмотку, і обертової частини – ротора, що є електромагнітом, який живиться постійним струмом від окремого джерела через щітки і кільця. Статор синхронного генератора – це чавунний корпус, у якому міститься осердя. Для зменшення втрат енергії його складають з окремих листів електротехнічної сталі, ізольованих між собою.

Ротори синхронних генераторів бувають двох типів – з явно і неявно виявленими полюсами. Ротори з явно виявленими полюсами встановлюють у генераторах з невеликим числом обертів.

Струм збудження для синхронних генераторів подають від окремих генераторів постійного струму – збудників, які закріплені на спільному з генератором валу і приводяться в рух тією самою машиною, що й ротор генератора.

2. Холостий хід синхронного генератора – це такий режим його

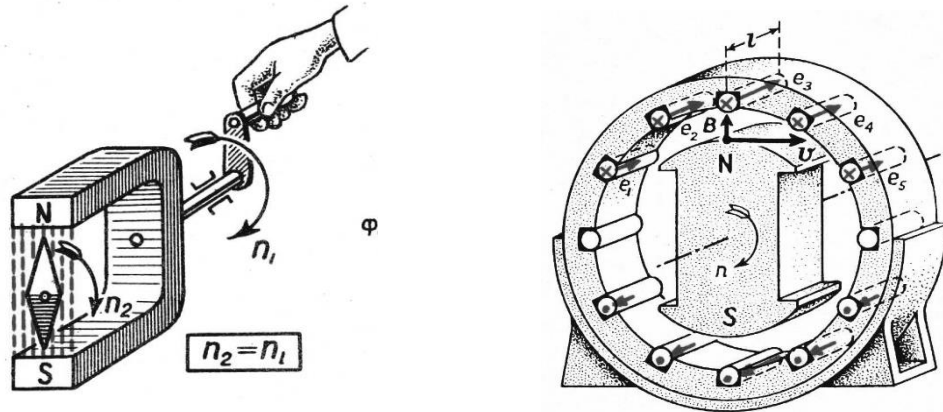


Рис. 5.1. Модель і будова синхронної машини

роботи, коли він не ввімкнений у мережу, тобто на затискачах генератора є номінальна напруга, але струм навантаження дорівнює нулю. Число обертів ротора доводять до номінального значення. Потім до обмотки збудження (ОЗ) ротора подають постійний струм від окремого джерела постійного струму. Величину струму збудження можна змінювати від нуля до певного максимального значення, що дає змогу регулювати напругу генератора. Струм збудження створює магнітний потік  $\Phi_0$ , який, рухаючись разом із ротором, перетинатиме обмотку статора і за законом магнітної індукції наводитиме в кожній її фазі ЕРС  $E_0$ :

$$E_0 = 4,44 k_{об} w f \Phi_0 ,$$

де  $k_{об}$  – обмотковий коефіцієнт, який враховує зменшення ЕРС внаслідок розподілу обмотки й укорочення кроку. Зазвичай  $k_{об} = 0,92 - 0,94$ ;  $w$  – число витків однієї фазної обмотки, з'єднаних послідовно.

Оскільки  $f = (p \cdot n)/60$ , то з  $f = 50$  Гц = const число обертів ротора синхронного генератора має бути сталим і залежить тільки від числа пар полюсів  $p$  машини:  $n_{p=1} = 3000$ ;  $n_{p=2} = 1500$ ;  $n_{p=3} = 1000$  і т. ін.

Отже, ЕРС синхронного генератора пропорційна швидкості обертання і магнітному потоку ротора. Значення ЕРС  $E_0$  визначають тільки величиною діючого потоку  $\Phi_0$  машини і називають ЕРС холостого ходу.

3. Якщо до затискачів генератора приєднати зовнішнє навантаження, то під дією  $E_0$  як по зовнішньому колу, так і по обмотці статора (якоря) піде

струм  $I_a$ . Величина і фаза цього струму залежатимуть від ЕРС генератора, а також від активного та реактивного опорів зовнішнього кола і самого генератора. Потік  $\Phi_a$  створюється трифазним струмом, який обертається синхронно з полем ротора  $\Phi_0$ . Потоки  $\Phi_0$  і  $\Phi_a$  збігаються за просторовим розміщенням і обертаються з однаковою швидкістю, утворюючи єдиний магнітний потік машини:

$$\vec{\Phi} = \vec{\Phi}_0 + \vec{\Phi}_a.$$

Потік  $\Phi_a$ , накладаючись на основний потік полюсів  $\Phi_0$ , ослаблює або підсилює його. Вплив якоря на основне магнітне поле називають «реакцією якоря». Вісь потоку  $\Phi_a$  відносно потоку  $\Phi_0$  визначається характером навантаження: активне, індуктивне, ємнісне, мішане. Ці два потоки складаються геометрично.

4. Для активного навантаження: наведена у фазі ЕРС і струм матимуть одночасно найбільші значення, тому що вони збігаються за фазою. Для індуктивного навантаження: струм у кожній фазі якоря відстає за часом від відповідної ЕРС на  $90^\circ$ . Потоки  $\Phi_0$  і  $\Phi_a$  спрямовані назустріч один одному, тому ефект реакції полягає в розмагнічуванні основного потоку машини і зменшенні результуючого потоку  $\Phi$ , а отже, і ЕРС. Для ємнісного навантаження струм випереджає ЕРС на  $90^\circ$ . Потоки  $\Phi_0$  і  $\Phi_a$  збігаються за напрямком, реакція якоря намагнічує основний потік машини, збільшуючи його і ЕРС.

Нормальна робота споживачів електричної енергії можлива лише за стабільної напруги. Для підтримання стабільної напруги на електростанціях застосовують спеціальні автоматичні пристрої, які зі зміною навантаження відповідно змінюють струм збудження генератора.

#### **Запитання для самоперевірки**

1. Яка конструкція якоря, індуктора (ротора) дослідженого синхронного генератора?
2. Як регулювати частоту генерованої ЕРС?
3. Як регулювати величину генерованої ЕРС?
4. У чому полягає явище «реакції якоря»?
5. Поясніть залежність напруги синхронного генератора від величини і виду навантаження.
6. Як підтримувати постійною напругу на затискачах синхронного генератора зі зміною величини і характеру навантаження?

## Проведення досліду

1. Оглянути генератор, звернути увагу на його конструкцію та способи підведення постійного струму до індуктора і відведення генерованого змінного струму. Записати паспортні дані в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Машини	Тип	$P_{ном}$	$U_{н1}$	$I_{н1}$	$n_{ном}$	$\cos\varphi$	$\eta_{ном}$	$I_{н.оз}$	$f$
		кВт	В	А	об/хв		%	А	Гц
Генератор									
Двигун									

2. Скласти електричну схему випробування синхронного генератора відповідно до рис. 5.2.

3. Зняти характеристику «холостого ходу»  $E = f(I_{зб})$ , якщо  $I = 0$  і  $\omega = \text{const}$ . Для цього за допомогою реостатів  $R1$  і  $R2$  (у колі збудження двигуна), дотримуються сталої швидкості обертання  $\omega$ , за якої частота генерованої ЕРС дорівнює номінальній  $f = 50$  Гц. Перший відлік провадять, якщо  $I_{зб} = 0$ , ЕРС наводиться полем остаточного магнетизму. Наступні вимірювання ЕРС проводять, змінюючи струм збудження синхронного генератора від найменшого значення до такого, за якого  $E = 1,2 E_{ном}$ . При цьому, щоб запобігти впливу гістерезису,  $I_{зб}$  слід змінювати тільки в напрямку збільшення. Результати вимірювань записати в табл. 5.2.

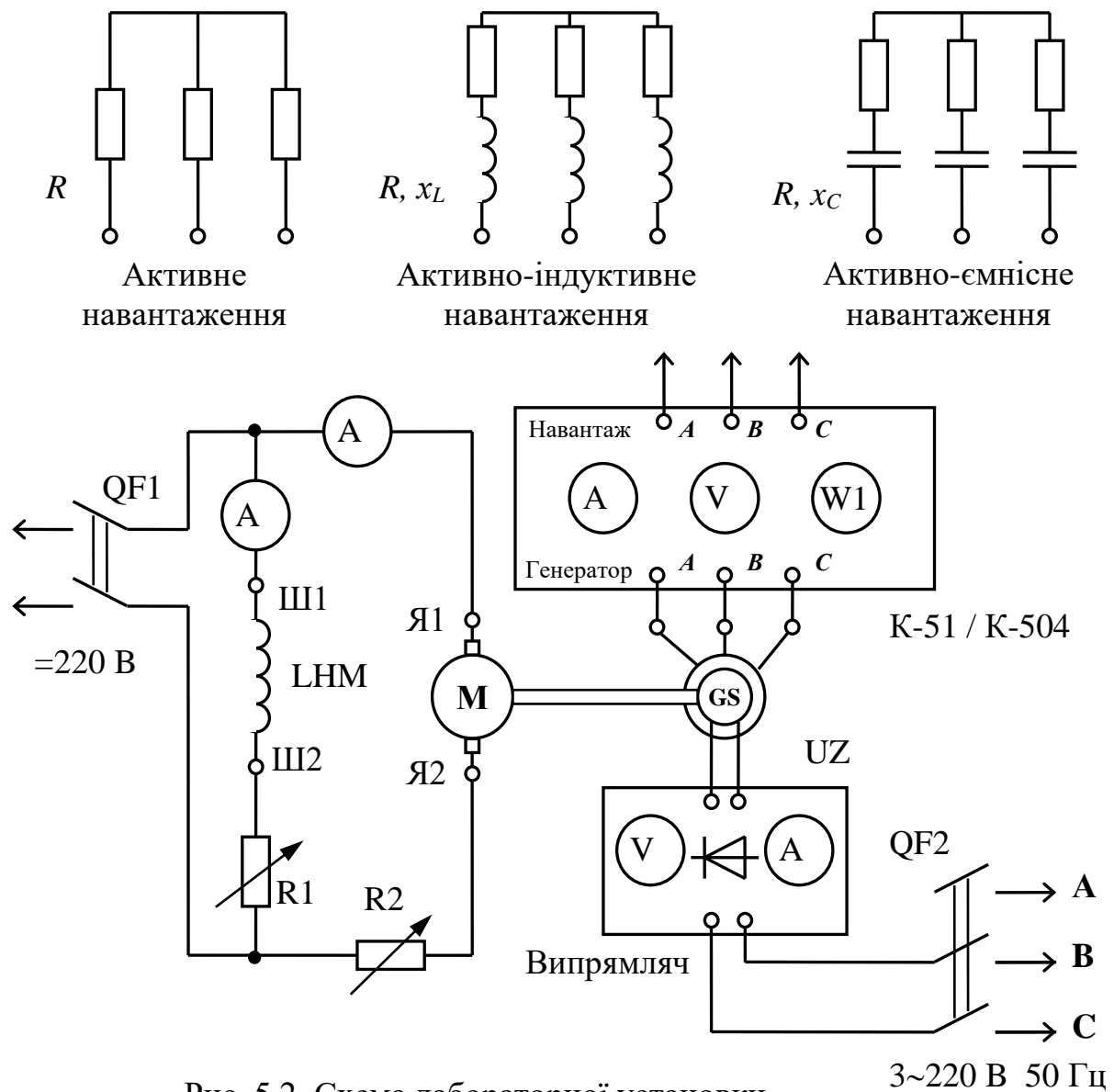


Рис. 5.2. Схема лабораторної установки

Таблиця 5.2

$I_{зб}, A$									
$E\uparrow, B$									
$E\downarrow, B$									

4. Зняти «зовнішні» характеристики синхронного генератора  $U = f(I)$  для різних видів навантаження за постійного струму збудження  $I_{зб}$  і постійної частоти  $f$ . Провести відліки лінійної напруги  $U$  для різних значень струму якоря  $I$  у межах від  $I = 0$  до  $I = I_{ном}$ . Результати вимірювань записати в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Активне навантаження	$I, A$					
	$U, B$					
Індуктивне навантаження	$I, A$					
	$U, B$					
Ємнісне навантаження	$I, A$					
	$U, B$					

Таблиця 5.4

Активне навантаження	$I, A$					
	$I_{зб}, A$					
Індуктивне навантаження	$I, A$					
	$I_{зб}, A$					
Ємнісне навантаження	$I, A$					
	$I_{зб}, A$					

5. Зняти для різних видів навантаження «регульовальні характеристики»  $I_{зб} = f(I)$  при  $U = \text{const}$  і  $f = \text{const}$ . Приєднуючи до тих самих затискачів по черзі ті самі навантаження, що і в попередньому досліді (активне, активно-індуктивне і активно-ємнісне), змінюють струм якоря від нуля до номінального значення. При цьому змінюють струм збудження  $I_{зб}$ , щоб генерована напруга  $U$  залишалася незмінною.

#### Опрацювання результатів досліді

За результатами вимірювань, зведених у табл. 5.2, 5.3, 5.4, побудувати: характеристику холостого ходу  $E = f(I_{зб})$ ; «зовнішні» характеристики  $U = f(I)$  для різних видів навантажень; «регульовальні» характеристики  $I_{зб} = f(I)$  для тих самих навантажень.

На підставі аналізу характеристик генератора зробити висновки.

## *Лабораторна робота № 6*

### **ВИПРОБУВАННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПАРАЛЕЛЬНИМ ЗБУДЖЕННЯМ**

#### **Мета роботи**

1. Ознайомитися з будовою генератора постійного струму з паралельним збудженням.
2. Навчитися знімати основні характеристики генератора й аналізувати їх.

#### **Основні теоретичні положення**

Генератори постійного струму застосовують як збудники синхронних генераторів, у зарядних пристроях, на автомобілях і т. ін.

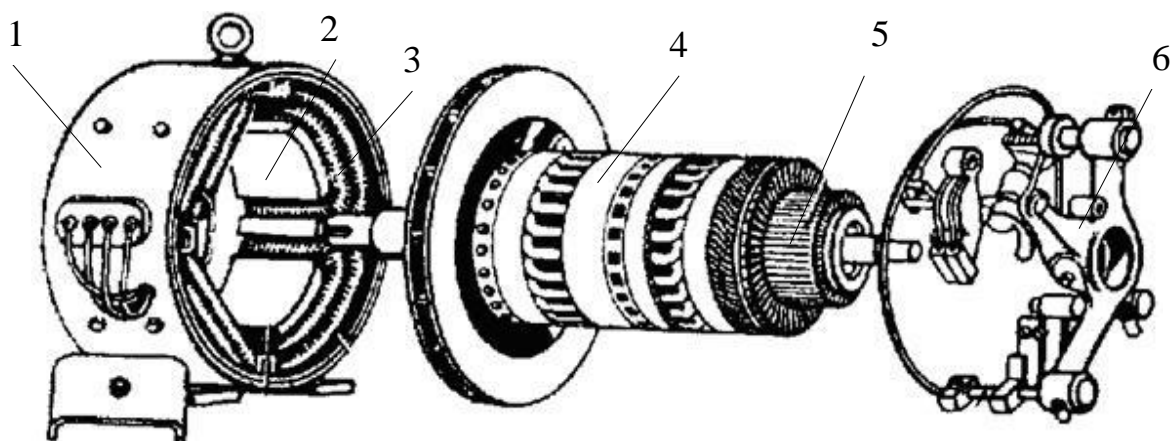


Рис. 6.1. Будова машини постійного струму

Основними частинами генератора (рис. 6.1) є станина 1, осердя полюсів 2, обмотка полюсів (обмотка збудження) 3, якір 4, колектор 5, траверса 6 з щіткотримачами. Станина 1 – це литий або зварений циліндр, виготовлений із чавуну або сталі з високою магнітною провідністю. Вона є магнітопроводом, а також основою для кріплення головних і додаткових полюсів та підшипникових щитів. Якір 4 складається з осердя, обмотки, колектора і вала. Осердя якоря – це сталевий циліндр, складений з окремих штампованих листів електротехнічної сталі, ізольованих один від одного для зменшення вихрових струмів. На поверхні осердя є пази, у які вкладають обмотку якоря. Колектор (рис. 6.2) складається з окремих пластин клиновидної форми, виготовлених з міді, які ізольовані одна від одної слюдою. До кожної колекторної пластини прикріплюють відводи від обмотки якоря. Осердя якоря з обмоткою і колектором закріплюють на валу

якоря, ізолюючи їх від вала. Щіткотримач із щітками призначено для знімання струму з колектора генератора і подавання його до споживача.

Принцип дії генератора постійного струму ґрунтується на законах електромагнітної індукції та електромагнітних сил. У провіднику, що рухається в магнітному колі генератора, постійний струм виникнути не може. Постійна ЕРС і струм можуть створюватися тільки випрямленням змінної ЕРС, що виникає в обмотці генератора змінного струму. До пластин колектора (рис. 6.3) приєднують кінці витка *abcd*. Щітки на колекторі встановлені нерухомо так, щоб вони під час обертання витка з півкільцями переходили з одного півкільця на друге, коли індукована ЕРС у витку дорівнює нулю. Як видно з рис. 6.3 щітка *A* завжди в контакті з тим півкільцем, провід від якого проходить під північним полюсом, а щітка *B* – з тим, провід від якого проходить під південним полюсом. Тому в зовнішньому колі струм проходить в одному напрямку – від щітки *A* до *B*. Випрямлений струм буде пульсуючим, тобто значення ЕРС і струму збільшуються від нуля до максимуму і знову спадають до нуля. Для зменшення пульсації ЕРС і струму на роторі збільшують кількості витків (які зсунуті між собою під певним кутом) і відповідно колекторних пластин, до яких приєднують кінці витків.

У машинах постійного струму найчастіше застосовують петльові й хвильові обмотки.

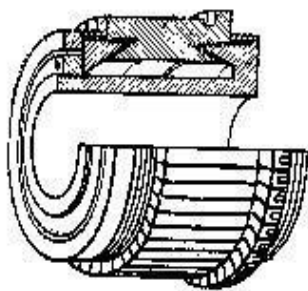


Рис. 6.2. Будова колектора

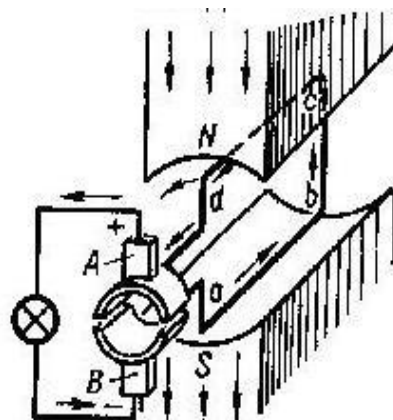


Рис. 6.3. Схема роботи машини постійного струму

Електрорушійна сила генератора ЕРС пропорційна числу обертів якоря за хвилину і магнітному потоку  $\Phi$ :

$$E = c_e \cdot n \cdot \Phi, \quad \text{де } c_e = \text{const.}$$

У кожній машині постійного струму спостерігається взаємодія між струмом якоря і магнітним полем, створеним струмом збудження.

Електромагнітний момент  $M = c_m I_a \Phi$ , який для генератора є гальмівним, пропорційним струму якоря і магнітному потоку машини. Механічна потужність перетворюється в електричну:  $P_{\text{мех}} = M \omega$ .

Реакція якоря – це вплив потоку якоря  $\Phi_a$ , створеного струмом навантаження, на основний потік  $\Phi_o$ , створений струмом збудження. Результируючий потік наводить ЕРС в обмотці якоря.

Для створення магнітного потоку в полюсах машини їх обмотка збудження має живитися постійним струмом, від стороннього джерела електричної енергії (акумулятора, випрямляча чи іншого генератора) або безпосередньо від генератора. У першому випадку машину називають генератором із незалежним збудженням, у другому – із самозбудженням.

Генератори із самозбудженням за способом з'єднання обмотки збудження розрізняють: 1) з паралельним збудженням, або шунтові, у яких обмотку збудження з'єднано паралельно з обмоткою якоря; 2) з послідовним збудженням, або серієсні, де обмотку збудження з'єднано послідовно з обмоткою якоря; 3) з мішаним збудженням, або компаундні, що мають дві обмотки збудження, одну з яких вмикають послідовно, а другу – паралельно обмотці якоря.

Для правильного вибору типу генератора і правильної його експлуатації, крім номінальних даних (номінальна потужність  $P_{\text{ном}}$ , напруга  $U_{\text{ном}}$ , струм  $I_{\text{ном}}$ , швидкість обертання  $n_{\text{ном}}$ ), які є в паспорті машини, треба знати залежність між деякими його параметрами. Ці залежності подають у вигляді кривих, що називають характеристиками.

Характеристика холостого ходу – залежність ЕРС генератора  $E$  від струму збудження  $I_{\text{зб}}$  за сталого числа обертів  $n$  і коли немає струму якоря  $I_a$  (без навантаження), тобто  $E = U_o = f(I_{\text{зб}})$ , якщо  $n = \text{const}$  і  $I_a = 0$ , де  $U_o$  – напруга генератора під час «холостого ходу».

«Зовнішня» характеристика – залежність напруги на затискачах генератора від струму навантаження за сталих обертів і сталого опору кола збудження, тобто  $U = f(I)$ , якщо  $n = \text{const}$  і  $R_{\text{зб}} = \text{const}$  (або  $I_{\text{зб}} = \text{const}$ ).

«Регульовальна» характеристика – залежність струму збудження від струму навантаження за сталих обертів і напруги на затискачах генератора, тобто  $I_{\text{зб}} = f(I)$ , якщо  $n = \text{const}$  і  $U = \text{const}$ .

## Запитання для самоперевірки

1. З яких частин складається генератор постійного струму?

2. Пояснити призначення колектора в машинах постійного струму.
3. Як впливає реакція якоря на роботу генератора?
4. Які умови потрібні для самозбудження генератора?
5. Як регулюють напругу генератора?
6. Що таке залишковий магнетизм?

### Проведення досліду

1. На робочому місці ознайомитися з лабораторним стендом і вимірювальними приладами. Записати паспортні дані досліджуваних машин у табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Електрична машина	Тип	$P_{ном}$	$U_{ном}$	$n_{ном}$	$\eta_{ном}$	$R_{я}$
		кВт	В	об/хв	%	Ом
Генератор						
Двигун						

2. Скласти електричну схему як показано на рис. 6.4.

**Пояснення до схеми:** М – асинхронний двигун із короткозамкненим ротором який обертає генератор постійного струму G з паралельним збудженням. Вольтметр V вимірює ЕРС і напругу генератора. Амперметри A1 і A2 вимірюють відповідно струми навантаження  $I_n$  і збудження  $I_{зб}$ . Резистори R1 і R2 відповідно в колі збудження і колі навантаження. Автоматичний вимикач QF – для вмикання асинхронного двигуна, S1 і S2 – вимикачі відповідно для вмикання обмотки збудження та навантаження в колі якірної обмотки.

3. Пустити двигун. Перевірити, чи відповідає напрямок обертання потрібному, а також з'ясувати можливість самозбудження генератора.

Зняти характеристику холостого ходу генератора. Перше вимірювання провести за розімкненої обмотки збудження. Наступні зміни опору R1 робити ступінчасто через 20 %, досягнувши  $U_0 = 120\% U_{ном}$ . Щоб уникнути впливу гістерезису, повзун реостата R1 слід пересувати повільно і тільки в одному напрямку. Аналогічно робити зі зниженням напруги. Результати вимірювань записати в табл. 6.2.

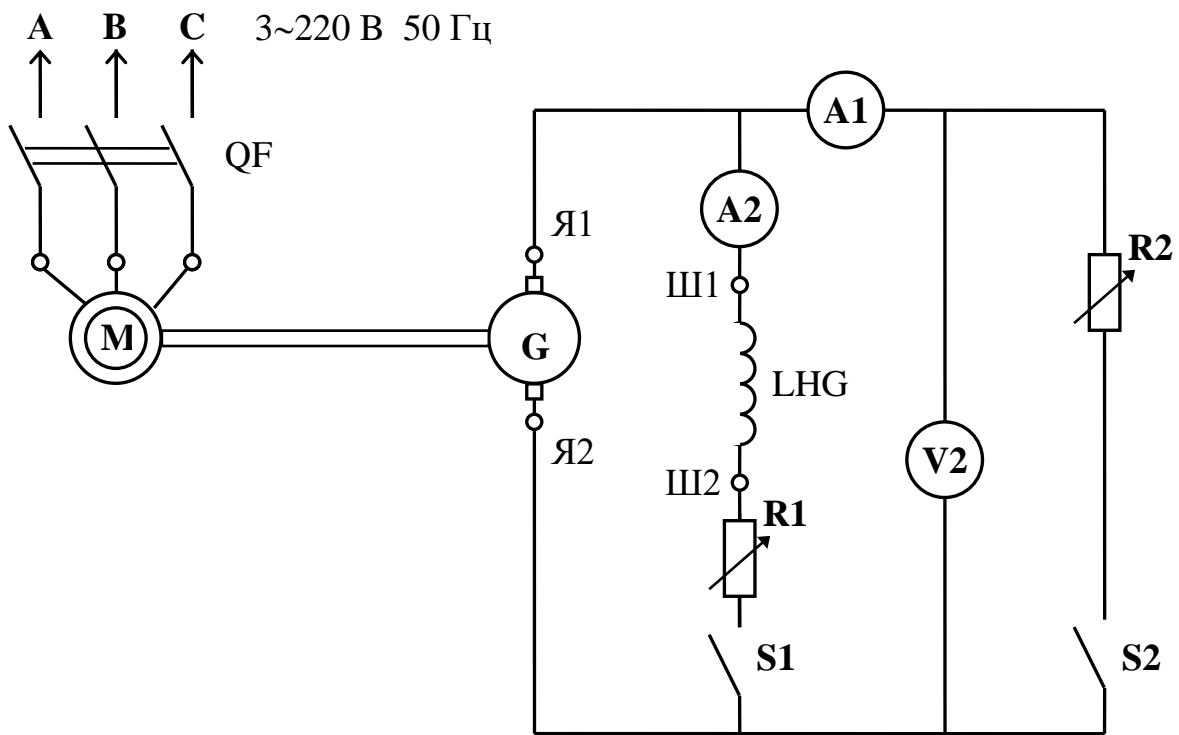


Рис. 6.4. Схема лабораторної установки

Таблиця 6.2

$I_{зб}$	А						
$U \uparrow$	В						
$U \downarrow$	В						

Зняти «зовнішню» характеристику генератора в разі струму навантаження  $I = 0 \div I_{ном}$ , якщо  $R1 = const$ . Для цього встановити номінальну напругу  $U = 220$  В і, не змінюючи опір  $R1$  у колі збудження, змінювати навантаження. За допомогою реостата  $R2$  змінювати струм якоря до  $I_{ном}$  (5–7 вимірювань). Результати вимірювань записати в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

$U$	В						
$I$	А						

Зняти «регульовальну» характеристику генератора  $I_{зб} = f(I)$ , якщо  $U = const$  і  $n = const$ . Струм якоря змінювати, змінюючи регульовальний опір  $R2$  у межах струмів від  $I = 0$  до  $I = I_{ном}$ . Незмінність напруги забезпечити

регулюванням опору R1. Результати вимірювань записати в табл. 6.4. Встановити напругу на рівні  $U = 180$  В.

Таблиця 6.4

$I$	А						
$I_{зб}$	А						

### Опрацювання результатів дослідження

1. Використовуючи дані табл. 6.2, 6.3, 6.4, побудувати в масштабі характеристики: «холостого ходу»  $U_0 = f(I_{зб})$ , «зовнішню»  $U = f(I)$ , і «регульовальну»  $I_{зб} = f(I)$ .

2. Використавши характеристики, зробити висновки про виконану роботу.

### Лабораторна робота № 7

## ВИПРОБУВАННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПАРАЛЕЛЬНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

### Мета роботи

1. Ознайомитися з будовою двигуна постійного струму з паралельним збудженням.
2. Навчитися пускати, зупиняти, реверсувати і регулювати швидкість двигуна постійного струму.
3. Засвоїти методи визначення основних характеристик та їх аналізу.

### Основні теоретичні положення

Електричні машини постійного струму є оборотними, тобто вони без будь-яких конструктивних змін можуть працювати як генератори і двигуни.

Принцип дії електродвигунів ґрунтується на взаємодії магнітного поля статора  $\Phi$  із струмом якоря  $I_{я}$ . (рис. 7.1, 7.2). Електромагнітний момент, який виникає при цьому, приводить якір в обертальний рух. Наявність колектора в двигунах постійного струму забезпечує зміну напрямку струму в обмотках якоря з переходом полюсів через геометричну нейтраль. Завдяки цьому обертовий момент залишається сталим за напрямком і величиною.

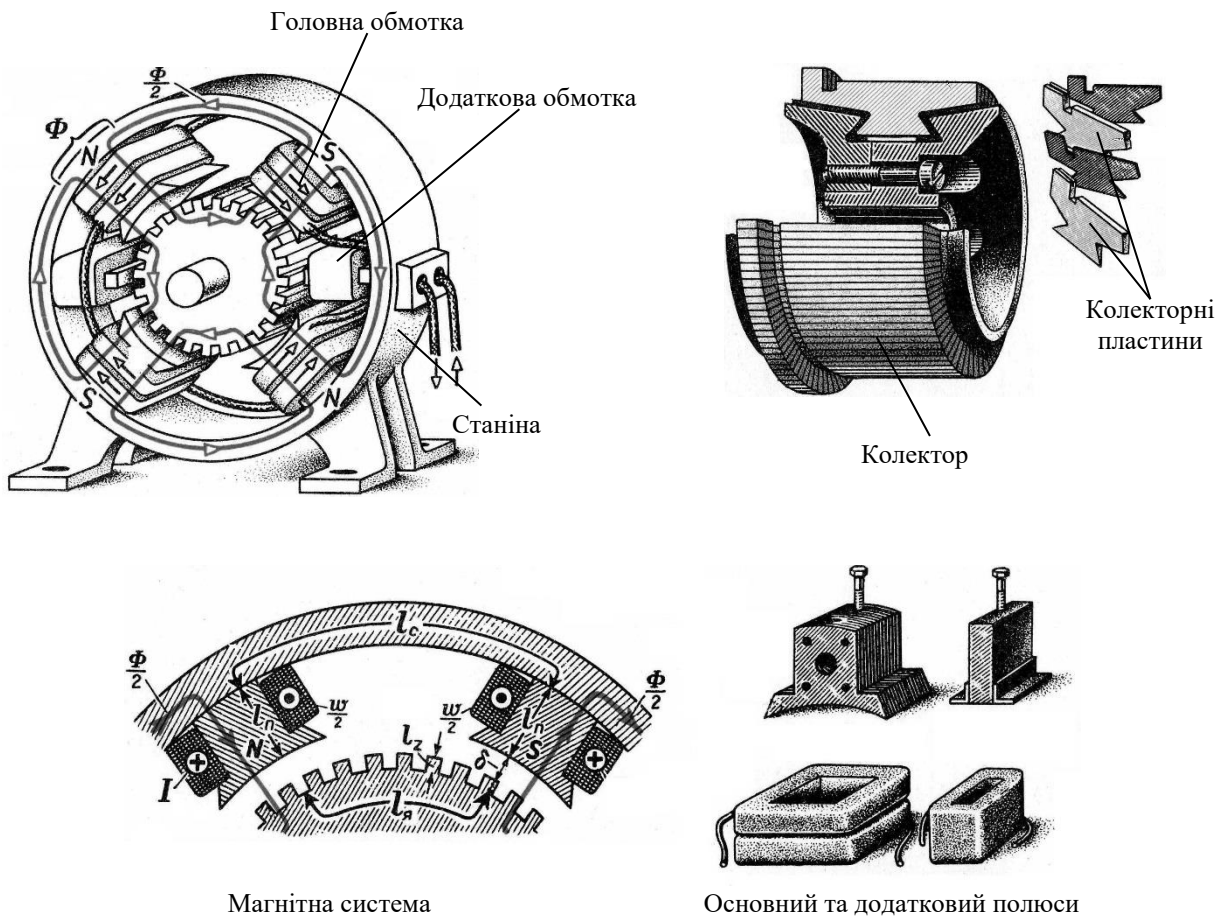


Рис. 7.1. Будова машини постійного струму

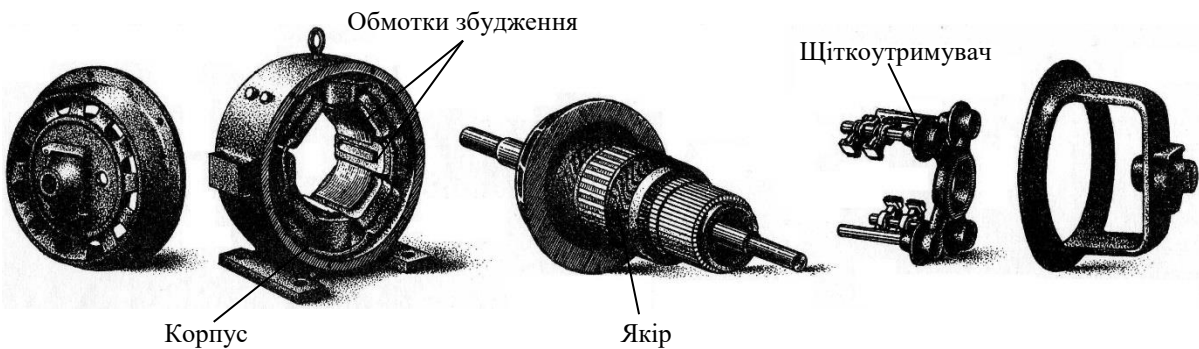


Рис. 7.2. Складові частини машини постійного струму

Якщо підвести до якоря двигуна постійну напругу  $U$ , то виникає обертовий електромагнітний момент  $M$ , напрямком якого визначається за правилом лівої руки. Під впливом цього моменту якір двигуна почне обертатися в напрямку моменту з певним числом обертів  $n$ . З обертанням якоря його

провідники перетинатимуть силові лінії магнітного поля статора, і в них індукватиметься ЕРС  $E$ , спрямована (за правилом правої руки) назустріч струму, тобто назустріч підведеній напрузі  $U$ . На цій підставі індуквану ЕРС називають зворотною або проти-ЕРС. Рівняння ЕРС для двигуна буде таким:

$$U - E = I_{\text{я}} R_{\text{я}}, \quad \text{звідки} \quad U = E + I_{\text{я}} R_{\text{я}}.$$

Отже, прикладена до двигуна напруга врівноважується проти-ЕРС двигуна і спадом напруги на активному опорі кола якоря  $R_{\text{я}}$  з проходженням по ньому струму  $I_{\text{я}}$ . Складову  $I_{\text{я}} R_{\text{я}}$  називають омичним спадом напруги в колі якоря.

Підведена до якоря двигуна потужність дорівнює сумі електромагнітної потужності, що передається на вал двигуна  $E I_{\text{я}} = P_{\text{ем}}$ , і потужності, яка обумовлена втратами в колі якоря  $I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}}$ :

$$U I_{\text{я}} = E I_{\text{я}} + I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}} \quad \text{або} \quad P_{\text{ем}} = P_2 + P_0,$$

де  $P_{\text{ем}}$  – електромагнітна потужність,  $P_2$  – потужність на валу двигуна,  $P_0$  – потужність втрат за «холостого ходу».

Обертний електромагнітний момент двигуна  $M_{\text{ем}}$  дорівнює сумі двох моментів: корисного гальмівного  $M_2$  (створеного приводом), і гальмівного за холостого ходу  $M_0$ , який виникає внаслідок тертя всередині двигуна і втрат у сталі:

$$M_{\text{ем}} = c_m \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}}.$$

Потужність двигуна постійного струму  $P_{\text{ем}} = M_{\text{ем}} \cdot \omega$  (Вт).

Двигуни постійного струму, як і генератори, бувають із незалежним, паралельним, послідовним і мішаним збудженням. У двигунах з паралельним збудженням напруга живлення однакова для якоря й обмотки збудження.

Пускають двигун постійного струму з паралельним збудженням за допомогою пускового реостата. Це пояснюється тим, що в момент пуску проти-ЕРС дорівнює нулю ( $E = 0$ ), тому струм у якорі буде у 8–10 разів перевищувати номінальний. Опір якорної обмотки малий (десяти або навіть соті частки Ома). Пусковий струм буде  $I_{\text{я.пуск.}} = U/R_{\text{я}} \approx (8-10) I_{\text{ном.}}$

Для обмеження пускового струму послідовно з якорною обмоткою вмикають пусковий реостат  $R_{\text{пуск.}}$ , який у міру розгону двигуна поступово повністю виводиться. Пусковий струм визначають за формулою:

$$I_{\text{я}} = U / (R_{\text{я}} + R_{\text{пуск}}) = (1,5-2,0) I_{\text{ном}}$$

Щоб мати потрібний пусковий момент, опір пускового реостата вибирають таким, щоб пусковий струм був більший від номінального в 1,5–2,0 раза. Крім того, для збільшення пускового моменту і полегшення пуску паралельну обмотку збудження вмикають на повну напругу живлення, для чого регулювальний реостат у колі паралельного збудження виводять повністю.

Якщо в коло якірної обмотки ввімкнено пусковий реостат, то швидкість обертання вала двигуна з паралельним збудженням визначають за формулою:

$$n = \frac{U - I_{\text{я}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{пуск}})}{C_{\text{я}} \cdot \Phi}$$

Із формули видно, що швидкість обертання двигуна з паралельним збудженням можна регулювати трьома способами: зміною опору в колі якора, зміною магнітного потоку  $\Phi$  (струму збудження) та зміною напруги  $U$ , підведеної до двигуна.

З регулюванням швидкості обертання двигуна зміною опору в колі якірної обмотки пусковий реостат  $R_{\text{пуск}}$  виконує функцію регулювального. Обмотку збудження вмикають на повну напругу мережі, унаслідок чого утворюється сталий магнітний потік  $\Phi$ . Цей спосіб дає змогу регулювати швидкість обертання двигуна в досить широких межах, але він є не вигідним через великі втрати в реостаті й зменшення ККД.

Регулювання швидкості обертання двигуна зміною магнітного потоку відбувається зі зміною опору в колі збудження, при цьому гальмівний момент і напруга залишаються сталими. Якщо зменшити опір у колі збудження, то струм збудження і магнітний потік  $\Phi$  також збільшаться, що призведе до зменшення частоти обертання  $n$ . За цього способу регулювання швидкості ККД двигуна майже не зміниться.

Властивості електричних двигунів визначають за сукупністю трьох видів характеристик: пускових, робочих і регулювальних. Пускові характеристики визначають властивості двигуна від моменту пуску до переходу його до усталеного режиму роботи. Робочі характеристики визначають властивості двигуна за усталеного режиму роботи. До них належать залежності  $n$ ,  $M$ ,  $I_{\text{я}}$  і  $\eta = f(P_2)$ , якщо  $U = U_{\text{ном}} = \text{const}$ . До робочих належить і механічна характеристика двигуна  $n = f(M)$ , якщо  $U = \text{const}$  і

$I_{зб} = \text{const}$ . Регульовальні характеристики визначають властивості двигунів при регулюванні швидкості їх обертання.

### Проведення досліду

1. Провести огляд лабораторної установки та записати паспортні дані досліджуваних машин у табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Електрична машина	Тип	$P_{ном}$	$U_{ном}$	$I_{я.ном.}$	$n_{ном}$	$\eta_{ном}$	$R_{я}$
		кВт	В	А	об/хв	%	Ом
Двигун							
Генератор							

2. Скласти електричне коло відповідно до рис. 7.1 і перевірити пуско-регульовальні та вимірювальні прилади.

**Пояснення до схеми:** лабораторна установка складається з двигуна постійного струму з паралельним збудженням М і генератора постійного струму з незалежним збудженням G (між якими існує механічний зв'язок). Генератор використовується як навантаження. Вимірювальні прилади призначені: V1 – для визначення напруги на затискачах якірної обмотки (Я1, Я2), амперметри A1 і A2 – відповідно для визначення струму  $I_{я}$  якірної обмотки і  $I_{зб}$  обмотки збудження (LM Ш1, Ш2), V2 – для визначення напруги генератора G, A3 – для визначення струму навантаження генератора і V3 – вольтметр у колі тахогенератора BR для визначення частоти обертання. Реостати R1 і R2 пусковий і регульовальний відповідно. QF – автоматичний вимикач, S – вимикач.

3. Перед пуском встановити найбільше значення опору R1, найменше значення опору R2, розімкнути S і зробити пробний пуск і зупинку двигуна.

4. Зняти основні характеристики двигуна постійного струму з паралельним збудженням:

- 1) зовнішню (або швидкісну)  $\square$ ,  $n = f(I)$ , якщо  $U = U_{ном} = \text{const}$ ,  $I_{зб} = \text{const}$ ;

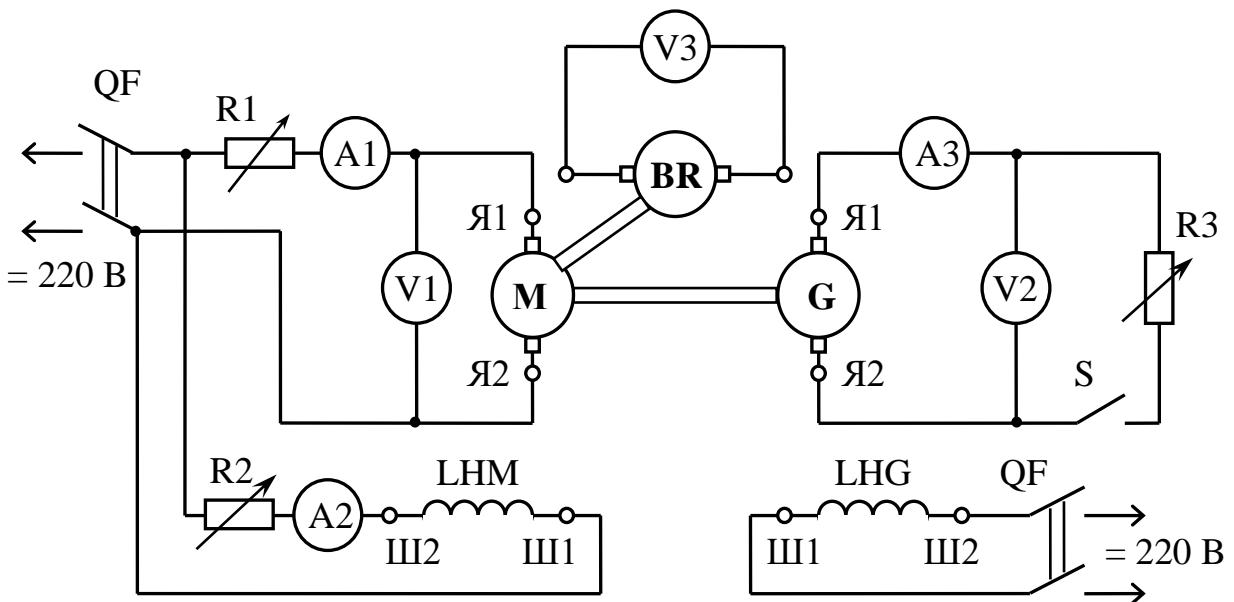


Рис. 7.1. Схема лабораторної установки

- 2) обертового моменту  $M = f(I)$ , якщо  $U = \text{const}$ ,  $I_{3\phi} = \text{const}$ ;
- 3) залежності ККД від навантаження  $\eta = f(I)$ , якщо  $U = \text{const}$ ,  $I_{3\phi} = \text{const}$ ;
- 4) механічну  $\omega$ ,  $n = f(M)$ , якщо  $U = \text{const}$ ,  $I_{3\phi} = \text{const}$ ;
- 5) регульовальну  $\omega$ ,  $n = f(I_{3\phi})$ , якщо  $U = \text{const}$ ,  $I = \text{const}$ ;
5. Випробувати двигун в режимі холостого ходу і під навантаженням для двох випадків: 1)  $R1 = 0$  – «природна» характеристика; 2)  $R1 \neq 0$  – «штучна» характеристика. Результати вимірювань записати в табл. 7.2.

Зняти регульовальну характеристику і результати вимірів записати в табл. 7.3. Характеристика знімається за таких умов: S розімкнений, R1 виведений із кола якірної обмотки, а опір регульовального реостата R2 змінюють ступінчасто від мінімального значення до максимального. Потрібно стежити за тим, щоб частота обертання не перевищувала номінальну більше ніж на 30 %.

Таблиця 7.2

№ з/п.	Дані спостережень						Результати обчислень					
	Двигун			Генератор								
	$n$	$U_{\text{дв}}$	$I_{\text{я.дв}}$	$I_{\text{зб}}$	$U_2$	$I_2$	$P_1$	$P_2$	$P_2$	$M$	$\eta$	$\omega$
	об/хв	В	А	А	В	А	Вт	Вт	Вт	Н м	%	с <sup>-1</sup>
«Природна» характеристика $RI = 0$												
х.х.												
1-5												
«Штучна» характеристика $RI \neq 0$												
х.х.												
1-5												

Таблиця 7.3

$I_{\text{зб}}$	А											
$n$	об/хв											
$\omega$	с <sup>-1</sup>											

### Опрацювання результатів дослідів

- Електрична потужність, яка споживається двигуном із мережі:

$$P_1 = U_{\text{дв}} I_{\text{я.дв.}}$$

- Електрична потужність генератора і потужність втрат у генераторі:

$$P_2 = U_2 I_{\text{я.г.}} + I_{\text{я.г.}}^2 R_{\text{я.г.}} + \Delta P_{\text{мех.}}$$

$$\text{де } \Delta P_{\text{мех.}} = 0,5 \Delta P_{\text{ел.}} \approx 0,5 I_{\text{я.г.}}^2 R_{\text{я.г.}} = \text{const.}$$

Корисна потужність на валу двигуна  $P_2$  береться рівною потужності, яка створюється навантажувальним генератором:

$$P_2 \approx P_2.$$

Кутова швидкість обертання якоря двигуна:  $\omega = n / 9,55$ .

Коефіцієнт корисної дії двигуна:  $\eta = P_2 / P_1$ .

Момент на валу двигуна  $M = P_2 / \omega$ .

- Побудувати графіки основних робочих характеристик двигуна для режиму «природної» характеристики.

- Окремо побудувати механічну характеристику для режимів «природна» та «штучна» характеристика.

- Побудувати графік регулювальної характеристики за даними табл. 7.3.

3. Використавши зняті характеристики, зробити висновки за результатами виконаної роботи.

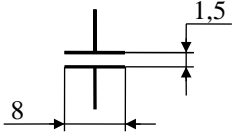
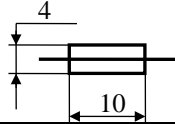
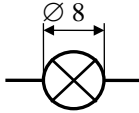

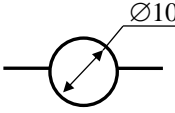
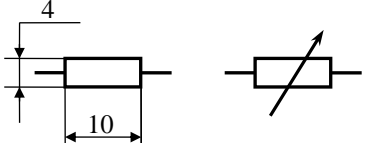
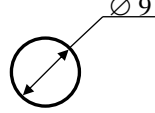
### **Контрольні запитання**

1. Якою є будова двигуна постійного струму з паралельним збудженням?
2. Пояснити принцип дії двигуна постійного струму. Правило «лівої руки».
3. Від яких параметрів залежить частота обертання двигуна постійного струму?
4. Від яких параметрів залежить момент двигуна постійного струму?
5. Пояснити призначення реостатів R1 і R2.
6. Для чого в цій роботі використовується генератор?
7. Для чого призначено реостат R3?
8. Як здійснюють пуск двигуна?
9. Як здійснити реверс двигуна постійного струму з паралельним збудженням?

### Список літератури

1. *Городжа А. Д.* Загальна електротехніка : навчальний посібник. – Київ : КНУБА, 2000. – 150 с.
2. *Загальна електротехніка* : підручник / під ред. Глухова Д. Я. – Київ : Вища школа, 1970. – 426 с.
3. *Вартабелян В. А.* Загальна електротехніка : підручник. – Київ : Вища школа, 1979. – 374 с.
4. *Іванов А. О.* Лабораторні роботи з електротехніки : навчальний посібник. – Київ : Вища школа, 1970. – 256 с.
5. *Будіщев М. С.* Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник. – Львів : Афіша, 2001. – 424 с.

**Умовні графічні позначення елементів і пристроїв  
на електричних схемах згідно з ЕСКД**

№ пп	Назви елементів і пристроїв	Позначення	Графічне зображення
1	2	3	4
1.	Конденсатор постійної ємності	C	
2.	Запобіжник	FU	
3.	Лампа розжарювання, освітлювальна	HL	
4.	Обмотка трансформатора, електричної машини	L	
5.	Прилад електровимірювальний (показуючий)	P	
6.	Резистор (постійний, змінний)	R	
7.	Вимикач (контакт)	S QF	
8.	Статор, якір електричної машини	M, G	
9.	Ротор електричної машини		

## Основні електричні і магнітні величини

Назва величини			Одиниці виміру	
№	Найменування	Познач.	Найменування	Познач.
1	Сила електричного струму	$I, i$	Ампер	А
2	Електрична напруга	$U, u$	Вольт	В
3	Частота	$Hz, f$	Герц	Гц
4	Частота кутова	$\omega$	Рад/с	$c^{-1}$
5	Потужність активна	$P$	Ватт	Вт
6	Потужність реактивна	$Q$	Вар	$B \cdot Ar$
7	Потужність повна	$S$	Вольт-ампер	$B \cdot A$
8	Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	Косінус фі	$\cos\varphi$
9	Електрична ємність	$C$	Фарада	Ф
10	Електричний опір	$\Omega$	Ом	Ом
11	Електричний опір активний	$R, r$	Ом	Ом
12	Електричний опір реактивний	$X_C, X_L$	Ом	Ом
13	Електричний опір повний	$Z, z$	Ом	Ом
14	Електрична провідність повна	$Y$	Сіменс	$Om^{-1}$
15	Електрична провідність активна	$G$	Сіменс	$Om^{-1}$
16	Електрична провідність реактивна	$b_L, b_C$	Сіменс	$Om^{-1}$
17	Індуктивність	$L$	Генрі	Гн
18	Період коливань	$T$		с
19	Магнітна індукція	$B$	Тесла	Тл
20	Магнітний потік	$\Phi$	Вебер	Вб

**Для нотаток**

Навчально-методичне видання

**Електротехніка та електроніка**  
**Електричні машини**

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт  
для студентів спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування»

Укладачі: **КРАВЧЕНКО** Ігор Миколайович,  
**ОСТАПУЩЕНКО** Ольга Павлівна

Випусковий редактор *Т. В. Івченко*  
Комп'ютерне верстання *Д. М. Ніколаєвич*

Підписано до друку 29.01.2024. Формат 60 x 84<sub>1/16</sub>  
Ум. друк. арк. 3,02. Обл.-вид. арк. 3,25.  
Електронний документ. Вид. № 22/III-24

Видавець і виготовлювач:  
Київський національний університет будівництва і архітектури  
Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002