

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до виконання лабораторних робіт**  
**з дисципліни «Електротехніка в будівництві»**  
**на тему: «Електричні машини»**  
**для студентів спеціальності 192**  
**«Будівництво та цивільна інженерія»**



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до виконання лабораторних робіт**  
**з дисципліни «Електротехніка в будівництві»**  
**на тему: «Електричні машини»**  
**для студентів спеціальності 192**  
**«Будівництво та цивільна інженерія»**

Вінниця  
ВНТУ  
2024

Рекомендовано до видання Радою якості освіти Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 10 від 27.05.2024 р.)

Рецензенти:

**В. В. Нетребський**, кандидат технічних наук, доцент

**А. М. Коваль**, кандидат технічних наук, ст. викладач

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електротехніка в будівництві» на тему: «Електричні машини» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» [Електронний ресурс] / уклад.: О. М. Нанака, О. А. Паянок. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 40 с.

У методичних вказівках викладено методику та підходи експериментальних досліджень електричних машин, які використовуються в будівництві. Наведено теоретичні відомості про основні електричні машини, представлені питання для самоконтролю та задачі для самостійного розв'язування.

Призначені для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної та заочної форм навчання.

## Зміст

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ</b> .....	5
<b>ПРАВИЛА РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ ОСНОВ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ</b> .....	6
<b>Лабораторна робота №11 ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА</b> .....	8
11.1 Основні теоретичні положення.....	8
11.2 Програма роботи.....	10
11.3 Програма домашньої підготовки до виконання лабораторної роботи.....	15
11.4 Питання для самоконтролю і задач для самостійного розв'язування.....	15
<b>Лабораторна робота №12 ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНУТИМ РОТОРОМ</b> .....	17
12.1 Основні теоретичні положення.....	17
12.2 Програма роботи.....	19
12.3 Програма домашньої підготовки до виконання лабораторної роботи.....	23
12.4 Питання для самоконтролю і задач для самостійного розв'язування.....	24
<b>Лабораторна робота №13 ДОСЛІДЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПАРАЛЕЛЬНОГО ЗБУДЖЕННЯ</b> .....	26
13.1 Основні теоретичні положення.....	26
13.2 Програма роботи.....	29
13.3 Програма домашньої підготовки до виконання лабораторної роботи.....	32
13.4 Питання для самоконтролю і задач для самостійного розв'язування.....	32
<b>Лабораторна робота №14 ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ КОРОТКОЗАМКНЕНИМ ДВИГУНОМ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕВЕРСИВНОГО МАГНІТНОГО ПУСКАЧА</b> .....	34
14.1 Основні теоретичні положення.....	34
14.2 Програма роботи.....	36
14.3 Програма домашньої підготовки до виконання лабораторної роботи.....	37
14.4 Питання для самоконтролю і задач для самостійного розв'язування.....	38
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	39

## ВСТУП

Електричні машини – найбільш поширений вид електричного обладнання.

Всі сучасні електричні машини і трансформатори, які випускають електромашинобудівні підприємства, підлягають двом видам випробувань: типовим і контрольним.

Типові випробування – де випробування машин, відібраних із серійних партій з метою перевірки всіх технічних вимог, запропонованих ДЕСТом до даного типу машин. Програма типових випробувань найбільш об'ємна і передбачає перевірку всіх властивостей і характеристик машини.

Контрольні випробування – випробування, яким підлягає кожна електрична машина, що випускається підприємством. Вони проводяться за спрощеною програмою: передбачають перевірку основних технічних вимог як безпосередньо, так і в порівнянні з результатами випробувань машин даного типу.

Початкові дослідження електричних машин і трансформаторів в лабораторії вузу насамперед повинні допомогти студентам оволодіти теоретичними розділами курсу.

В процесі лабораторних досліджень студенти більш детально знайомляться з конструкцією окремих вузлів різноманітних типів машин, стандартними позначеннями обмоток та позначеннями їх кінців, набувають навиків збирання схем, оволодівають технікою вимірювання електричних і неелектричних величин, методикою проведення досліджень і обробки їх результатів.

Після вивчення теорії і проведення лабораторних досліджень студенту слід мати уявлення про особливості конструкції даного типу машин, їх відмінних ознак, основних робочих, пускових і регулювальних властивостей та області їх застосування.

За обмеженням часу, відведеного на роботу в лабораторії, випробування електричних машин проводяться за скороченою програмою, яка повинна вмещувати перевірку найбільш важливих і характерних властивостей машини, що досліджуємо.

## ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

В лабораторії досліджуються електричні машини та трансформатори, які працюють при напрузі 220 В, що вимагає від студентів суворого дотримання основних правил техніки безпеки:

1. Кожний студент виконує роботу в складі бригади не менше двох чоловік. Одному виконувати роботи не дозволяється.

2. Складання і розбирання робочої схеми повинно виконуватись тільки при вимкненій напрузі. Живлення лабораторних стендів здійснюється від трифазної мережі з лінійною напругою 220 В. Ця мережа має заземлений нульовий провід для отримання фазної напруги 127 В. Постійною напругою лабораторія живиться від тієї ж мережі через розподільний трансформатор і випрямляч.

3. Вимірювальні прилади та регулювальні пристрої в робочих схемах повинні відповідати номінальним величинам машин, що випробовуються.

Вмикання схеми після її складання чи будь-яких приєднань в ній дозволяється тільки після перевірки викладачем!

Наявність напруги на робочій схемі сигналізується загоранням сигнальних ламп на лабораторному стенді.

### 4. Студентам **ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ**:

- виконувати будь-які роботи на зворотній стороні лабораторних стендів;

- виконувати вмикання автоматичних вмикачів на головних розподільних щитах лабораторії;

- переносити прилади, апаратуру та з'єднувальні проводи з одного лабораторного стенда на інший;

- торкатися до струмоведучих частин робочої установки, що знаходиться під напругою;

- торкатися до частин електричних машин, які обертаються;

- залишати без нагляду машину, що працює і схему, яка знаходиться під напругою;

- залишати на підлозі, на машинах, чи на столах невикористані провідники;

- з'єднувати між собою провідники, що використовуються, з метою збільшення їх довжини;

- виконувати роботи на машинах без кожухів, що закривають з'єднувальні муфти та інші виступаючі частини, що обертаються.

5. У випадку неполадок в машині чи схемі, що супроводжують швидкий перегрів машин, з'єднувальних проводів, реостатів, різке збільшення частоти обертання, студенти мають негайно зняти напругу з робочої схеми, вимкнути автомат і повідомити про аварію викладачу.

6. Студенти допускаються до виконання лабораторних робіт тільки

після ознайомлення з правилами. При порушенні правил техніки безпеки студенти не допускаються до роботи і тільки після повторного інструктажу допускаються з дозволу завідуючого кафедри. При повторному порушенні правил студент не допускається до подальшої роботи в лабораторії.

## **ПРАВИЛА РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ ОСНОВ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ**

Всі заняття в лабораторії здійснюються під керівництвом викладача.

При виконанні лабораторних робіт студенти мають дотримуватись таких правил:

1. Перед початком роботи в лабораторії всі студенти проходять інструктаж з техніки безпеки, про що робиться запис у відповідному журналі.

2. Лабораторні роботи виконуються у складі бригад. На чолі бригади призначається бригадир, який відповідає за дисципліну членів бригади і за виконання ними відповідних правил.

3. Роботи виконуються у відповідності з графіком виконання лабораторних робіт. Для успішного виконання роботи кожен студент зобов'язаний попередньо ознайомитись з тими теоретичними розділами курсу, які відповідають даній роботі і виконати програму домашньої підготовки, приведеної у відповідних вказівках.

4. На початку заняття викладач опитує студентів про основні етапи роботи і методи проведення експериментів. Непідготовлені студенти до виконання лабораторної роботи не допускаються, після чого у відведений для заняття час вони опрацьовують всі розділи роботи, а виконують її в вільний від навчальних пар час, вказаний викладачем.

5. За виконану роботу кожний студент має скласти звіт, який виконують на стандартних аркушах паперу формату А4 з розмірами: 210x297 мм. Зліва повинні бути поля шириною 30 мм для підшивки. Графіки зображають на міліметровому папері кольоровими пастами чи олівцями. При цьому, на кожній з осей координат повинні бути нанесені позначення величин, їх одиниці і масштаб. Для того, щоб у студентів залишалось правильне уявлення про вид характеристик, масштаби потрібно вибирати так, щоб початок координат відповідав нульовим значенням як незалежної, так і залежної змінних величин.

При кресленні характеристик спочатку потрібно нанести експериментальні точки, а потім провести плавну криву, розташовану як можна ближче до основної маси цих точок. Ця усереднена крива приймається за дослідну характеристику.

6. Звіт містить:

- титульний лист з назвою кафедри, лабораторії, номером і темою роботи, прізвищами та ініціалами всіх членів бригади;

- програму виконання роботи;

- перелік електричних машин, трансформаторів, апаратури, що регулює пуск, вимірювальних приладів та їх паспортні дані;
- електричні схеми дослідів;
- таблиці з результатами вимірювань і розрахунків;
- розрахункові формули та приклад розрахунку для одного з режимів;
- висновки, в яких наводиться коротка характеристика досліджуваних машин, її основні відмінні особливості, головні результати експериментів.

7. На кожному наступному занятті оформлені звіти здають на перевірку. Правильно виконані звіти підписує викладач. Після чого кожен студент індивідуально захищає роботу. Звіти захищених робіт залишаються в лабораторії. Студенти, які захистили всі роботи, отримують залік з лабораторного практикуму.

Пристаюючи до виконання лабораторного практикуму з розділу «Електричні машини», студенти мають володіти певними знаннями з математики, фізики і розділу «Електричні кола».

Знати закон електромагнітної індукції, закон Ома, закони Кірхгофа, правило правої руки для визначення напрямку збудженої ЕРС, правило лівої руки для визначення напрямку дії сили.

Розуміти, що в колі з послідовним з'єднанням елементів напруга розподіляється пропорційно їх опорам, а в колі з паралельним з'єднанням струми розподіляються обернено пропорційно опорам; розуміти явище магнітної індукції; фізичний зміст активної, реактивної і повної потужності змінного струму та коефіцієнта потужності.

Вміти розв'язувати диференціальні рівняння, обчислювати активну, реактивну й повну потужності однофазних і трифазних кіл синусоїдального струму, будувати на комплексній площині векторні діаграми для електричного стану кіл синусоїдального струму; підключати електровимірювальні прилади (вольтметр, амперметр, ватметр).

Після виконання лабораторного практикуму з електричних машин студенти мають:

- знати будову, принцип дії і сферу застосування основних електричних машин, які використовуються в будівництві;
- розуміти характер процесів, що протікають в електричних машинах, вид механічних і робочих характеристик; переваги і недоліки різноманітних електричних машин;
- вміти вибрати електричні двигуни до конкретного робочого механізму відповідно до вимог технологічного процесу; запускати двигун в хід і регулювати його швидкість обертання, проводити випробування електричних машин, отримувати їх основні характеристики: вимірювати електричні і неелектричні величини.

## Лабораторна робота №11

### ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

**Мета роботи:** вивчити будову трансформатора; дослідним шляхом визначити параметри холостого ходу й короткого замикання (КЗ); розрахувати опір схеми заміщення трансформатора й побудувати основні характеристики трансформатора в функції навантаження.

#### 11.1 Основні теоретичні положення

**Трансформатором** називається електромагнітний апарат, який призначений для перетворення електричної енергії в ланцюгах змінного струму з одним співвідношенням напруги й струму в електричну енергію з іншим співвідношенням напруги й струму при незмінній частоті.

Вивчення роботи трансформатора під навантаженням полягає в дослідженні двох граничних режимів його роботи: холостого ходу і короткого замикання (КЗ).

Під холостим ходом (х. х.) розуміють такий режим роботи трансформатора, при якому до первинної обмотки підводиться номінальна напруга, а вторинна обмотка розімкнена чи замкнена через вольтметр з великим внутрішнім опором. Із досліду х. х. можна визначити:

а) коефіцієнт трансформації трансформатора  $K$ , який приблизно дорівнює відношенню напруг на затискачах первинної  $U_1$  і вторинної  $U_2$  обмоток:

$$K \approx \frac{U_1}{U_2};$$

б) втрати потужності в магнітопроводі (втрати в сталі) трансформатора  $P_{ст}$ . Втрати потужності в магнітопроводі трансформатора дорівнюють активній потужності, яка споживається в режимі х. х. ( $P_x$ );

в) значення активного  $R_o$  і реактивного  $X_o$  опорів схеми заміщення трансформатора (опори  $R_o$  і  $X_o$  вводять в схему заміщення, щоб врахувати процеси в магнітопроводах трансформатора).

Під КЗ розуміють такий режим, при якому вторинна обмотка трансформатора замкнена накоротко (тобто початок обмотки з'єднаний з її кінцем), а до первинної обмотки прикладається понижена відносно номінальної напруга, яка називається напругою короткого замикання ( $U_k$ ). Ця напруга складає декілька відсотків від номінальної напруги первинної обмотки трансформатора ( $U_{1н}$ ) – ( $U_k=5,5-10,5\% U_{1н}$ ). При подачі на

затискачі первинної обмотки напруги  $U_k$ , в досліді КЗ в ланцюгах первинної і вторинної обмоток діють номінальні значення струмів  $I_{1н}$  і  $I_{2н}$ .

Дослід КЗ дає можливість визначити:

а) втрати потужності в обмотках трансформатора (електричні)  $P_m$ , які дорівнюють активній потужності, що споживається трансформатором в досліді КЗ ( $P_k$ );

б) значення активних опорів  $R_1$ ,  $R_2$ , а також значення реактивних опорів розсіювання  $X_1$  і  $X_2$ , відповідно первинної і вторинної обмоток трансформатора.

Будь-який навантажувальний режим можна розглядати, як проміжний між двома граничними режимами роботи трансформатора. В режимі навантаження підведена до первинної обмотки трансформатора напруга  $U_1$  врівноважується ЕРС первинної обмотки  $E_1$  і спадом напруги на повному опорі цієї обмотки  $z_1$ :

$$U_1 = -E_1 + z_1 i_1,$$

де  $i_1$  – комплекс струму в первинній обмотці.

У вторинній обмотці трансформатора збуджується ЕРС ( $E_2$ ). Якщо до вторинної обмотки, повний опір якої  $z_2$ , приєднати навантаження, то у вторинній обмотці потече струм  $i_2$  і на затискачах встановиться напруга  $U_2$ :

$$U_2 = -E_2 + z_2 i_2,$$

значення якої залежить від характеру навантаження і може бути визначено із зовнішніх характеристик трансформатора (рис. 11.1).

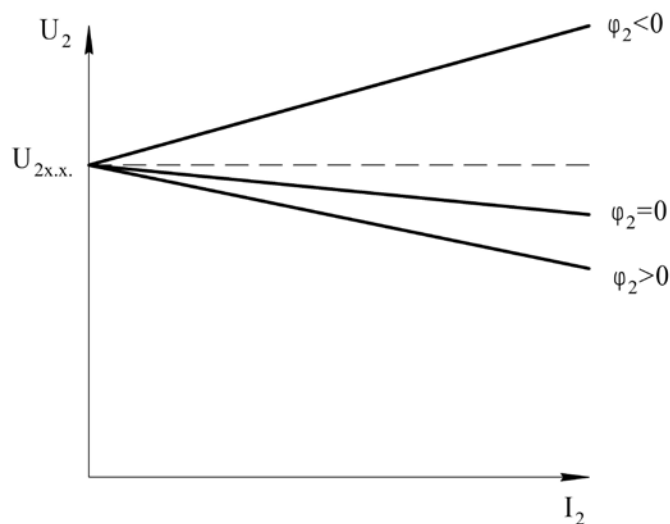


Рисунок 11.1 – Зовнішні характеристики трансформатора

Зовнішні характеристики отримують при  $U_1 = const$ ,  $f_1 = const$ , і  $\cos \varphi_2 = const$ , де  $\cos \varphi_2$  – коефіцієнт потужності навантаження. Відсоткова зміна вторинної напруги  $\Delta U_2$  показує, наскільки напруга на затискачах вторинної обмотки при навантаженні  $U_2$  відрізняється від цієї напруги при х. х.:

$$\Delta U_2 = \frac{U_{2x} \cdot U_2}{U_{2x}}$$

**Робочими характеристиками трансформатора** називають залежності вторинної напруги ( $U_2$ ), первинного струму ( $I_1$ ), ККД ( $\eta$ ), коефіцієнта потужності ( $\cos \varphi_2$ ) від вторинного струму ( $I_2$ ), при незмінній напрузі живлення ( $U_1$ ), частоті ( $f_1$ ) і коефіцієнті потужності навантаження ( $\cos \varphi_2$ ). Наближений вигляд цих характеристик представлено на рис. 11.2.

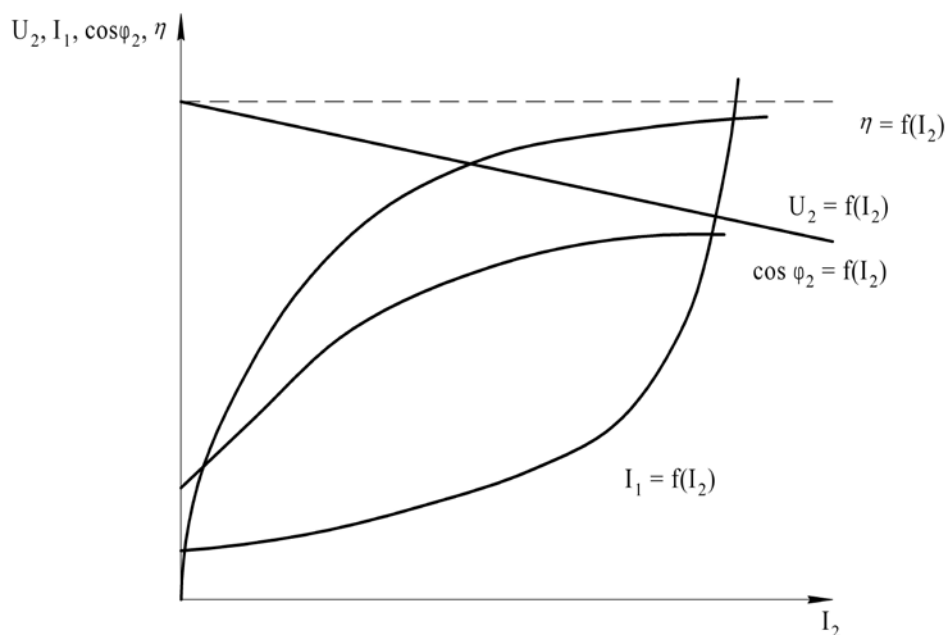


Рисунок 11.2 – Робочі характеристики трансформатора

## 11.2 Програма роботи

1. Ознайомитися з приладами, апаратами і обладнанням експериментальної установки, записати їх технічні характеристики в протокол випробувань.

2. За паспортними даними трансформатора визначити номінальний струм первинної і вторинної обмоток; підібрати відповідні вимірювальні прилади.

3. Скласти схему експериментальної установки для дослідження однофазного трансформатора (рис. 11.3).

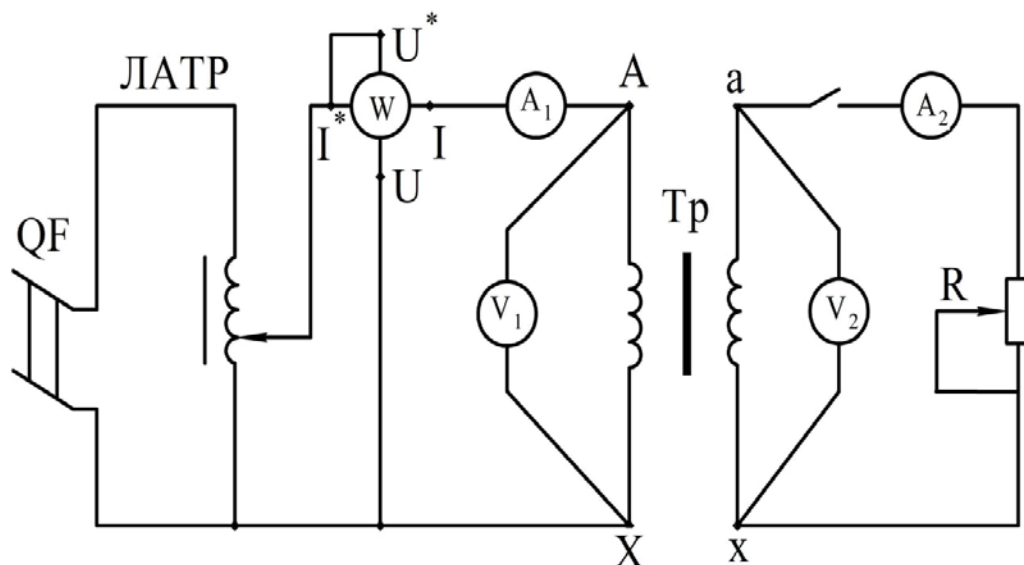


Рисунок 11.3 – Схема експериментальної установки

Живлення первинної обмотки (AX) досліджуваного трансформатора (Tr) здійснюється через лабораторний автотрансформатор (ЛАТР) і автоматичний вимикач ВА. Для вимірювання первинного струму ( $I_1$ ), первинної напруги ( $U_1$ ) та потужності ( $P_1$ ), яка підводиться в коло первинної обмотки, увімкнено вимірювальні прилади, а саме: амперметр  $A_1$ , вольтметр  $V_1$  та ватметр  $W$ .

До вторинної обмотки (ax) трансформатора підключений резистор  $R$ , який дозволяє змінювати струм навантаження. Значення вторинного струму ( $I_2$ ) і напруги ( $U_2$ ) вимірюють амперметром  $A_2$  і вольтметром  $V_2$ . Вимикач  $V_1$ , забезпечує розмикання кола навантаження в досліді х. х.

**Ручку автотрансформатора встановити в нульове положення, вимикач ВА встановити в положення «вимкнуто»!!!**

4. Виконати дослід холостого ходу трансформатора. Дослід холостого ходу проводять наступним чином: вимикач ВА ввімкнути. До первинної обмотки трансформатора за допомогою ЛАТРа прикласти номінальну напругу первинної обмотки (паспортні дані трансформатора), вторинна обмотка розімкнена (вимикач  $V_1$  в положенні «вимкнуто»). Зняти покази приладів. Результати вимірювань занести в таблицю 11.1.

Таблиця 11.1

Ч. ч.	Результати вимірювань				Результати обчислень			
	Напруга		Струм	Активна потужність	Параметри гілки намагнічування			
	$U_{1x}, В$	$U_{2x}, В$	$I_{1x}, А$	$P_{1x}, Вт$	$R_0, Ом$	$X_0, Ом$	$Z_0, Ом$	$K$

Вхідний опір трансформатора при досліді х. х.:

$$Z_{ex} = \frac{U_{Ix}}{I_{Ix}} = Z_0$$

практично дорівнює повному опору ( $Z_0$ ) ланки намагнічування, оскільки опори  $R_0$  і  $X_0$  у сотні разів перевищують активний ( $R_1$ ) і реактивний опір розсіювання ( $X_1$ ) первинної обмотки трансформатора. З урахуванням цього, опори  $R_0$  і  $X_0$  визначають за наступними виразами:

$$R_0 = \frac{P_{Ix}}{I_{Ix}^2}; \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}.$$

Коефіцієнт трансформації:

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} \approx \frac{U_{Ix}}{U_{2x}}.$$

5. Виконати дослід навантаження трансформатора. Для здійснення досліді навантаження ввімкнути вимикач ВА. До первинної обмотки трансформатора за допомогою ЛАТРа прикласти номінальну напругу первинної обмотки, яка на протязі виконання всього досліді повинна бути незмінна ( $U_{In} = const$ ). Ввімкнути вимикач В1. Змінюючи за допомогою реостата опір навантаження ( $R$ ) трансформатора, повільно збільшувати струм у вторинному колі ( $I_2$ ) до номінального значення. Зняти покази приладів. Результати вимірювань занести в таблицю 11.2.

Таблиця 11.2

№ п/п	Результати вимірювань					Результати обчислень			
	$U_{In}, \text{В}$ const	$I_1, \text{А}$	$P_1, \text{Вт}$	$U_2, \text{В}$	$I_2, \text{А}$	$\beta$	$P_2, \text{Вт}$	$\eta$	$\cos \varphi$

Робочі характеристики трансформатора розраховують за формулами:

- коефіцієнт навантаження: 
$$\beta = \frac{I_2}{I_{2н}};$$

- потужність навантаження:  $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 = U_2 I_2$  (оскільки навантаження чисто активне, то  $\varphi_2 = 0$ );

- коефіцієнт корисної дії 
$$\eta = \frac{P_2}{P_1};$$

- коефіцієнт потужності 
$$\cos \varphi = \frac{P_1}{U_1 I_1}.$$

6. Виконати дослід КЗ. В досліді КЗ до первинної обмотки трансформатора прикладають знижену напругу (**напруга короткого замикання!!!**), яка складає кілька відсотків від номінальної напруги первинної обмотки трансформатора, а вторинну обмотку замкнути накоротко (провідником з'єднати клеми вторинної обмотки трансформатора а та х). Схема досліді КЗ представлена на рис. 11.4.

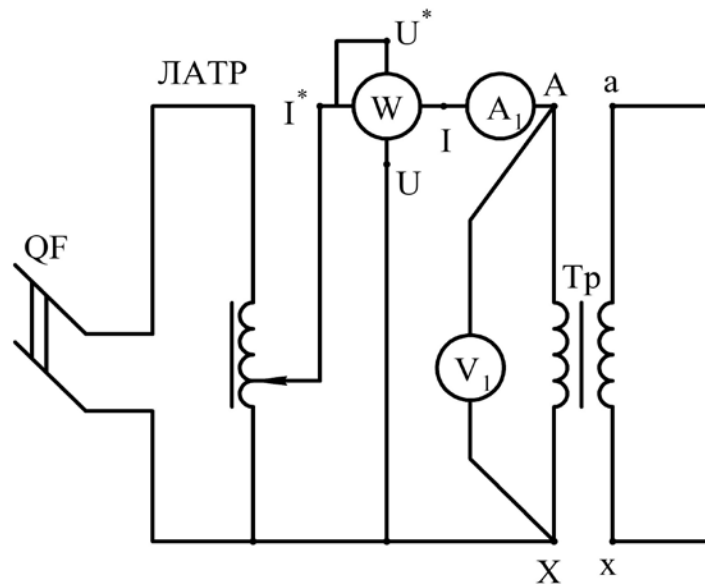


Рисунок 11.4 – Схема досліді короткого замикання

Ручка автотрансформатора (ЛАТР) перед вмиканням установки **обов'язково повинна бути виведена на нуль!!!** Потім напругу, що підводиться до первинної обмотки, плавно збільшувати до тих пір, поки струм не стане рівний номінальному струму первинної обмотки трансформатора  $I_{1к}=I_{1н}$ . Покази приладів W, A<sub>1</sub> та V<sub>1</sub> занести в таблицю 11.3.

Таблиця 11.3

Ч. ч.	Результати вимірювань			Результати обчислень						
	$U_{I_k},$ В	$I_{I_k}=I_{I_n},$ А	$P_k,$ Вт	$Z_k,$ Ом	$R_k,$ Ом	$X_k,$ Ом	$R_1,$ Ом	$X_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$X_2,$ Ом

Розрахункові величини обчислюють за формулами:

- напруга КЗ у відсотках від номінальної напруги первинної обмотки трансформатора:

$$U_k \% = \frac{U_{I_k}}{U_{I_n}} \cdot 100\%;$$

- повний опір КЗ трансформатора:

$$Z_k = \frac{U_{I_k}}{I_{I_k}}, \quad \text{де } I_{I_k} = I_{I_n};$$

- активна  $R_k$  та реактивна  $X_k$  складові опору КЗ:

$$R_k = \frac{P_k}{I_{I_k}^2}; \quad X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2};$$

- опори первинної обмотки і зведені опори вторинної обмотки:

$$R_1 = R'_2 \approx \frac{R_k}{2}, \quad X_1 = X'_2 \approx \frac{X_k}{2};$$

- опори вторинної обмотки трансформатора:

$$R_2 = \frac{R'_2}{K^2}, \quad X_2 = \frac{X'_2}{K^2}.$$

7. За даними досліду холостого ходу розрахувати параметри ланки намагнічування схеми заміщення трансформатора  $R_0$ ,  $X_0$ ,  $Z_0$  та коефіцієнт трансформації  $K$ .

8. За даними досліду КЗ визначити параметри обмоток трансформатора  $R_1$ ,  $X_1$ ,  $R_2$ ,  $X_2$ .

9. Розрахувати і побудувати в загальній системі координат робочі характеристики трансформатора  $U_2$ ,  $I_1$ ,  $\eta$ ,  $\cos \varphi_2 = f(I_2)$ ,  $\eta = f(\beta)$ .

10. Накреслити схему заміщення трансформатора і відобразити на ній визначені значення всіх її параметрів.

11. Зробити висновки за результатами виконаної роботи.

### **11.3 Програма домашньої підготовки до виконання лабораторної роботи**

1. Опрацювати теоретичний матеріал: будову і принцип дії трансформатора, рівняння електричного та магнітного стану, досліди холостого ходу і КЗ, схему заміщення трансформатора, робочі характеристики.

2. Підготувати протокол випробувань із схемами лабораторних установок і таблицями для внесення результатів дослідів.

3. Відповісти на контрольні запитання до лабораторної роботи.

### **11.4 Питання для самоконтролю і задачі для самостійного розв'язування**

1. Зобразіть будову однофазного трансформатора. Основні елементи конструкції і їх призначення.

2. Поясніть принцип дії трансформатора в режимі холостого ходу.

3. Напишіть рівняння електричного стану первинної обмотки з миттєвими і комплексними значеннями величин. Поясніть їх.

4. Побудуйте векторну діаграму трансформатора в режимі холостого ходу, покажіть на ній вектор напруги на опорі розсіювання первинної обмотки.

5. Визначте ЕРС первинної обмотки трансформатора, якщо частота струму  $f = 50$  Гц, число витків  $w_1 = 500$ , амплітуда магнітного потоку  $0,0005$  Вб.

6. Напруга живлення первинної обмотки трансформатора дорівнює  $100$  В, частота струму –  $50$  Гц, число витків первинної обмотки  $w_1 = 1000$ . Знайдіть основний магнітний потік.

7. Нарисуйте схему заміщення трансформатора в режимі холостого ходу і покажіть як розраховувати параметри цієї схеми.

8. Яку потужність можна визначити з досліду холостого ходу?

9. Зобразити принципову схему роботи трансформатора в режимі навантаження. Показати напрямлення ЕРС, струмів, потоків – основного і розсіювання.

10. Поясніть, чи зміняться струми в обмотках при зміні навантаження трансформатора, як саме і чому ?

11. Запишіть рівняння ЕРС і поясніть, як зміняться доданки при збільшенні і зменшенні навантаження.

12. Запишіть рівняння електричного стану для первинної і вторинної обмоток трансформатора за допомогою миттєвих і комплексних значень з урахуванням ЕРС розсіювання, а також рівняння з приведеними значеннями.

13. Поясніть, з якою метою параметри вторинної обмотки приводяться до числа витків первинної обмотки.

14. Побудуйте векторну діаграму трансформатора, що працює на активно-індуктивне навантаження, і поясніть порядок її побудови.

15. Нарисуйте повну схему заміщення трансформатора і поясніть як визначити параметри схеми заміщення.

16. Нарисуйте схему досліду короткого замикання трансформатора і вкажіть умови проведення досліду.

17. Яку потужність можна визначити з досліду короткого замикання?

18. Нарисуйте схему заміщення однофазного трансформатора при короткому замиканні. Як визначити параметри схеми заміщення?

19. Напишіть формулу для визначення активної і реактивної складових напруг короткого замикання.

20. Знайдіть напругу короткого замикання, якщо відомі номінальна потужність  $S_n = 10$  кВА, потужність втрат короткого замикання  $P_k = 400$  Вт, реактивна складова напруги короткого замикання складає 3%.

21. При номінальному активному навантаженні активна складова напруги короткого замикання рівна 3%. Визначити напругу на опорі навантаження, якщо номінальна напруга складає 400 В.

22. Знайдіть відсоткову зміну напруги, якщо відомо, що номінальна потужність однофазного трансформатора 10 кВА, потужність втрат короткого замикання 300 Вт, напруга короткого замикання складає 5%, зсув фаз  $\varphi_2 = 60^\circ$ , коефіцієнт навантаження – 0,8.

23. Зобразіть зовнішню характеристику трансформатора і поясніть її.

24. Перерахуйте втрати потужності, які мають місце в трансформаторі і поясніть, як залежить ККД від коефіцієнта навантаження.

## Лабораторна робота №12

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНУТИМ РОТОРОМ

**Мета роботи:** вивчити будову і принцип дії трифазного асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором; розрахувати і побудувати на підставі експериментальних даних робочу та механічну характеристики асинхронного двигуна.

#### 12.1 Основні теоретичні положення

*Асинхронна машина* – це машина змінного струму, в якій швидкість ротора (рухомої частини машини) при незмінній частоті напруги живлення змінюється в залежності від навантаження на валу. Основний робочий режим асинхронної машини – це режим двигуна, хоча вона може використовуватися в режимах генератора, електромагнітного гальма і фазорегулятора.

Трифазний асинхронний двигун складається з нерухомого статора та рухомого (обертального) ротора. В пази осердя статора, набраного з окремих, ізольованих один від одного листів електротехнічної сталі, укладені котушки трифазної статорної обмотки, які створюють обертове магнітне поле з кутовою швидкістю  $\omega_1$ :

$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p},$$

де  $f_1$  – частота струму в обмотці статора;  $p$  – число пар полюсів обмотки статора.

Ротор асинхронного двигуна також містить осердя, в пази якого вкладена обмотка. В залежності від конструкції обмотки розрізняють короткозамкнений і фазний ротори. Короткозамкнений ротор має обмотку, що складається з окремих мідних або алюмінієвих стержнів, які замикаються накоротко кільцями. В пази осердя фазного ротора закладена котушкоподібна трифазна обмотка, кінці якої з'єднані за схемою «зірка». Три вільних кінці цієї обмотки виведені на контактні кільця, ізольовані один від одного та від вала ротора, до яких за допомогою щіток підключаються додаткові опори (пускові або регулюючі реостати).

Створене статорною обмоткою магнітне поле збуджує в обмотці ротора ЕРС, під впливом якої в ній виникають індуктивні струми. Взаємодія магнітного поля статора зі струмами ротора приводить до утворення на роторі електромагнітного моменту, в результаті чого ротор

починає обертатися. Очевидно, що виникнення струмів у роторі й утворення обертового моменту можливі лише при відносному рухові проводів ротора в магнітному полі машини, тобто швидкості обертання ротора двигуна  $\omega_2$  завжди менша швидкості обертання магнітного поля статора  $\omega_1$ .

Швидкість обертання магнітного поля статора відносно ротора називають **швидкістю ковзання**:

$$\omega_s = \omega_1 - \omega_2.$$

При аналізі роботи асинхронних машин зручно користуватися безрозмірною величиною:

$$s = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1},$$

яка має назву **ковзання**.

Швидкість обертання ротора на холостому ході двигуна мало відрізняється від швидкості обертання магнітного поля статора і ковзання в цьому режимі складає доли відсотка. При збільшенні навантаження швидкість обертання ротора трохи зменшується, а ковзання збільшується, досягаючи при номінальній потужності на валу значення  $S_{ном} = (3...8)\%$ .

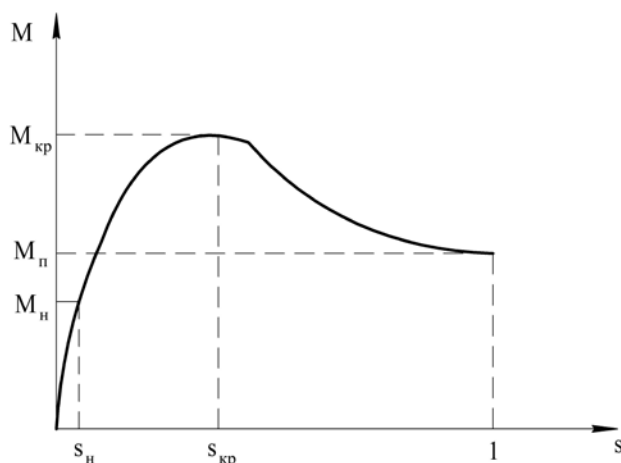


Рисунок 12.1 – Залежність обертового моменту  $M$  від ковзання  $s$

Залежність обертового моменту  $M$  від ковзання  $s$  визначається кривою  $M = f(s)$  (рис. 12.1). Номінальному моменту  $M_n$  відповідає номінальне ковзання  $s_n$ . Короткочасне перевантаження асинхронного двигуна визначається критичним моментом  $M_{кр}$ , якому відповідає ковзання  $s_{кр}$ . Відношення критичного моменту до номінального характеризує перевантажувальну здатність двигуна, яка визначається зі співвідношення:

$$\lambda = \frac{M_{кр}}{M_n} \approx 1,8...3.$$

Пусковий момент  $M_n$ , повинен бути трохи більшим від номінального значення моменту на валу двигуна. Зазвичай  $M_n \approx 1,2 \cdot M_n$ . Властивість асинхронного двигуна визначають з його *механічної*  $\omega = f(M)$  (рис. 12.2) і *робочих*  $\omega_2, s, M, I_1, \cos \varphi_1, \eta = f(P_2)$  *характеристик* (рис. 12.3), які отримують при незмінних напрузі  $U_1$  і частоті  $f_1$ , мережі живлення.

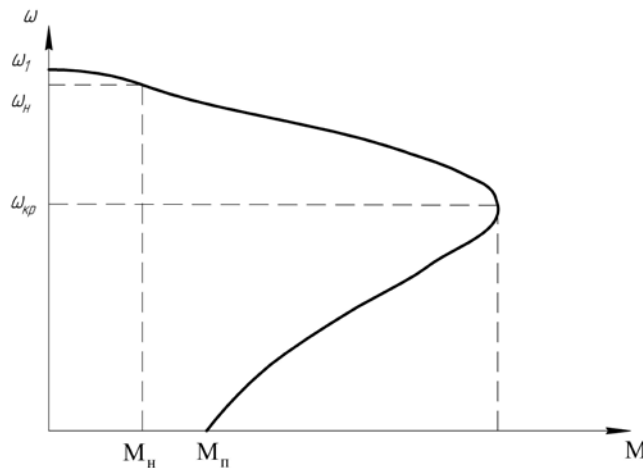


Рисунок 12.2 – Механічна характеристика асинхронного двигуна

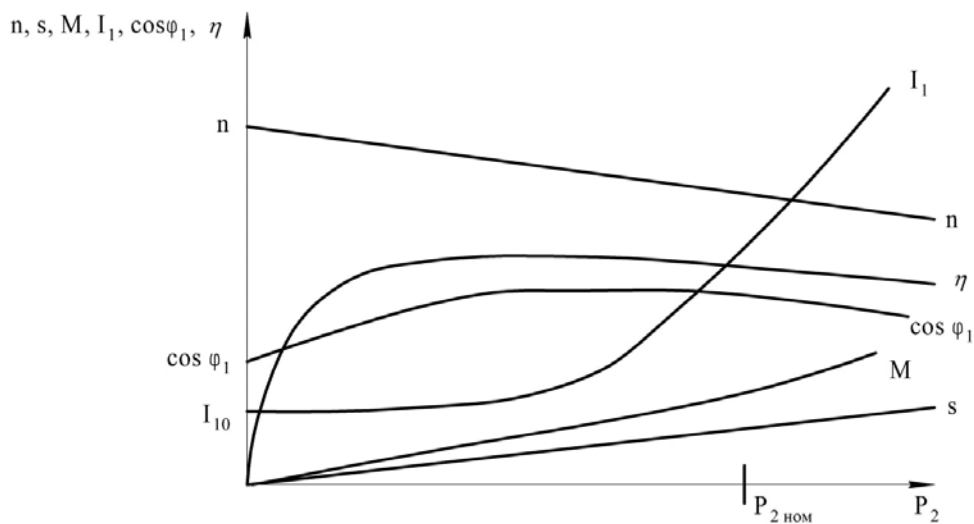


Рисунок 12.3 – Робочі характеристики асинхронного двигуна

## 12.2 Програма роботи

1. Ознайомитися з будовою лабораторної установки, записати паспортні дані досліджуваного двигуна та генератора, який створює навантаження. Підібрати відповідні вимірювальні прилади.
2. Виміряти напругу мережі живлення, визначити схему з'єднання

статорної обмотки, скласти схему для дослідження асинхронного двигуна.

Експериментальне дослідження трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором виконують на спеціалізованому стенді лабораторії. Схема дослідження двигуна зображеному на рис. 12.4.

Момент опору на валу двигуна утворюється генератором постійного струму  $G$  з незалежним збудженням, Для вимірювання струму  $I_1$ , напруги  $U_1$ , та коефіцієнта потужності  $\cos \varphi_1$  в коло статора досліджуваного двигуна ввімкнені амперметр  $A$ , вольтметр  $V$  та кіловатметр.

Обмотка статора досліджуваного двигуна розрахована на напругу 220В і, в залежності від напруги мережі, з'єднується трикутником або зіркою.

Запуск в хід двигуна здійснюється на холостому ходу (х. х.), тобто при ненавантаженому генераторі ( $I_{я}=0$ ). При вмиканні автоматичного вимикача  $ВА$  на обмотку збудження подається напруга  $U_B$ , після чого за допомогою регульовального реостата  $R_H$  на затискачах якоря виставляють номінальну напругу. Струм якоря генератора змінюється зменшенням опору якорного кола за допомогою магазину опорів  $R_H$ .

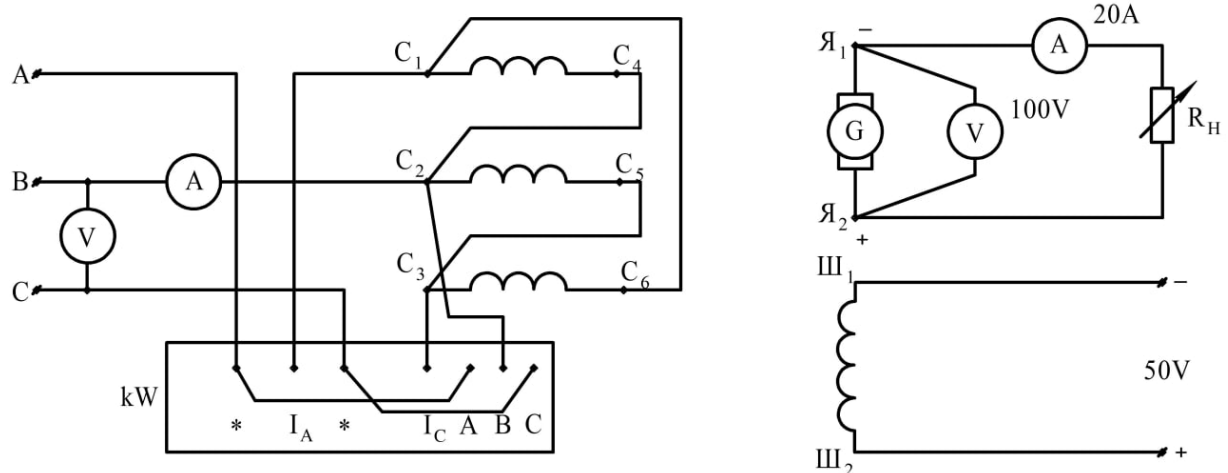


Рисунок 12.4 – Схема дослідження асинхронного двигуна

Ковзання двигуна вимірюється стробоскопічним методом, який дає можливість безпосередньо виміряти частоту обертання та ковзання двигуна. Для вимірювання швидкості обертання стробоскопічним методом, на вал двигуна насаджують диск, розділений поперемінно на однакові білі та чорні сектори, які освітлюються миготливим з частотою струму мережі світлом неонові лампи. Якщо частота спалаху лампи при цьому дорівнює частоті обертання диска, то освітлені сектори здаються спостерігачу, в наслідок стробоскопічного ефекту, нерухомими. Якщо ж частота спалахів лампи більша частоти обертання диска, то спостерігається повільне його обертання проти ходу машини з швидкістю  $n_1 - n_2$ . Визначивши явне число повних обертів диска  $\Delta n$  за час  $\Delta t$  знаходять частоту обертання ковзання:

$$n_s = \frac{60 \Delta n}{\Delta t},$$

а потім значення ковзання:

$$s = \frac{n_s}{n_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

і частоту обертання ротора:

$$n_2 = n_1(1 - s).$$

3. Ввімкнути автоматичний вимикач живлення ВА, запустити двигун і виміряти всі параметри, що характеризують роботу двигуна на х. х. Результати вимірювань занести в таблицю 12.1. Визначити кратність пускового струму.

4. Подати живлення на обмотку збудження генератора, що навантажується. За допомогою регулювального реостата в ланцюгу збудження встановити на затисках якірної обмотки номінальну напругу  $U_{я}$ . Далі змінюють струм генератора  $I_{я}$  в таких границях, щоб струм двигуна  $I$  змінювався від струму х. х. ( $I_{10}$ ) до  $1,2 \cdot I_{н}$ . Зняти 5-6 точок і результати занести в таблицю 12.1.

Таблиця 12.1

№ П/ П	Результати вимірювань						Результати обчислень							
	$U_1,$ В	$I_1,$ А	$P_1,$ кВт	$U_{я},$ В	$I_{я},$ А	$n_2,$ об/хв	$s$	$n_1,$ об/ хв	$\eta_{Г}$	$P_{Г},$ Вт	$\eta$	$P_2,$ Вт	$M,$ Н·м	$\cos \varphi$

5. За результатами вимірювань розрахувати:  
- ковзання асинхронного двигуна:

$$s = \frac{n_s}{n_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1},$$

де  $n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}$  – частота обертання магнітного поля статора;  $p = \frac{60 \cdot f_1}{n_n}$  – кількість пар полюсів (ціле число),  $n_n$  – номінальна частота обертання ротора (паспортні дані);

- потужність генератора:

$$P_{\Gamma} = U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}};$$

- потужність на валу двигуна:

$$P_2 = P_{\Gamma} / \eta_{\Gamma},$$

де  $\eta_{\Gamma}$  – ККД генератора, визначається з характеристики  $\eta_{\Gamma} = f(I_{\text{я}})$ , приведеної на лабораторному стенді;

- механічний момент на валу двигуна:

$$M = 9550 \cdot \frac{P_2}{n_2};$$

- коефіцієнт потужності:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_1 I_1};$$

- коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

6. За результатами досліджень побудувати робочі характеристики машини.

7. За паспортними даними двигуна ( $P_n, n_n, K_m$ ) розрахувати та побудувати механічну характеристику асинхронного двигуна. Для цього визначають:

- номінальний момент двигуна:

$$M_H = 9550 P_n / n_n;$$

- критичний момент двигуна:

$$M_{кр} = M_{max} = \lambda M_H;$$

- номінальне ковзання:

$$s_n = \frac{n_1 - n_n}{n_1};$$

- критичне ковзання:

$$s_{кр} = s_n (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}),$$

де  $\lambda = K_m = \frac{M_{кр}}{M_n}$  – перевантажувальна здатність двигуна.

Механічна характеристика  $M = f(s)$  асинхронного двигуна будується із рівняння Клосса:

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{s_{кр}}{s} + \frac{s}{s_{кр}}}$$

Задавшись рядом ковзання ( $s=0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1$ ), розраховується обертовий момент і будується залежність  $M = f(s)$  (рис.12.5).

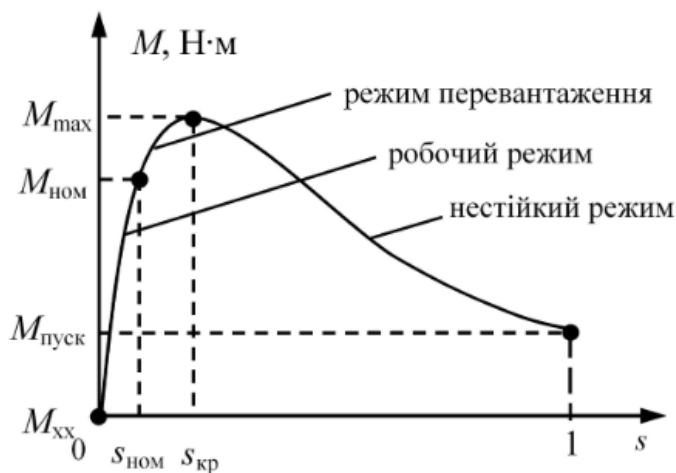


Рисунок 12.5 – Залежність  $M = f(s)$

### 12.3 Програма домашньої підготовки до виконання лабораторної роботи

1. Повторити теоретичний матеріал: будову та принцип дії трифазного асинхронного двигуна; ковзання та способи його визначення; механічну і робочі характеристики двигуна.

2. Підготувати протокол випробувань із схемою лабораторної установки і таблицею для занесення результатів дослідів.

3. За паспортними даними досліджуваного двигуна розрахувати і побудувати механічну характеристику.

4. Накреслити наближений вигляд робочих характеристик,

асинхронного двигуна.

5. Відповісти на контрольні запитання.

#### 12.4 Питання для самоконтролю і задачі для самостійного розв'язування

1. Зобразіть ескіз будови трифазного асинхронного двигуна і поясніть призначення його основних частин.

2. Як з'єднані між собою обмотки статора і ротора? Що представляє собою магнітопровід трифазного асинхронного двигуна?

3. Зобразіть з'єднання обмоток статора за схемою «зірка» та схемою «трикутник».

4. Умови, які необхідні для отримання обертового магнітного поля.

5. Що розуміють під режимом холостого ходу двигуна? Струм холостого ходу асинхронного двигуна. Порівняти це значення зі струмом холостого ходу трансформатора. Чим пояснити різницю між ними?

6. Що таке ковзання? Формула, яка визначає ковзання.

7. Зв'язок між частотою струму ротора і статора.

8. Запишіть формули ЕРС обмотки статора; обмотки нерухомого ротора та ЕРС обмотки ротора, який обертається.

9. Відомо, що  $f=50$  Гц, ЕРС і індуктивний опір нерухомого ротора відповідно  $E_2=129$  В і  $X_2=130$  Ом, ковзання складає  $s=3\%$ . Знайти  $f_2$ ,  $E_{2s}$ ,  $X_{2s}$ .

10. Трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором живиться від мережі з лінійною напругою  $U_L=380$  В при частоті  $f=50$  Гц. Номінальні дані двигуна:  $P_{ном}=20$  кВт,  $n_{ном}=960$  об/хв,  $\cos \varphi_1=0,84$ ,  $\eta_{ном}=0,88$ ,  $K_M=1,8$ . Визначити: номінальний струм в фазі обмотки статора, ковзання, номінальний момент на валу ротора, критичний момент і критичне ковзання. Побудувати механічну характеристику  $M = f(s)$ .

11. Якщо відома ЕРС розсіювання статора і ротора, знайти їх індуктивний опір.

12. Які втрати потужності мають місце в асинхронному двигуні?

13. Напишіть рівняння стану асинхронного двигуна.

14. Напишіть рівняння другого закону Кірхгофа для обмотки статора і для приведених параметрів обмотки ротора.
15. Рівняння другого закону Кірхгофа для ротора.
16. Схеми заміщення для фази двигуна.
17. Обертний момент двигуна, зв'язок з напругою  $U_1$ , і ковзання  $s$ .
18. Що називається механічною характеристикою?
19. Зобразіть характеристики  $M=f(s)$  та  $n=f(M)$  в межах відповідно від  $s=0$  до  $s=1$  і від  $n = n_1$  до  $n = 0$ .
20. Покажіть на характеристиці  $M=f(s)$  точки з координатами  $(s_{ном}, M_{ном}), (s_{кр}, M_{кр}), (s_{пуск}, M_{пуск})$  і поясніть особливості режиму роботи в цих точках.
21. Трифазний асинхронний двигун із фазним ротором живиться від мережі з лінійною напругою  $U_n=380$  В при частоті  $f=50$  Гц. Номінальні дані двигуна:  $U_{ном}=380/220$  В,  $P_n=330$  кВт,  $n=720$  об/хв,  $\eta_{ном}=0,87$ ,  $\cos \varphi_1=0,81$ ,  $K_1=6,5$ . Визначити схему з'єднання фаз обмотки статора, номінальний момент, номінальний струм, що споживається двигуном з мережі, опір короткого замикання (на фазу), активні і індуктивні опори фаз статора і ротора (для ротора приведені значення), критичне ковзання.
22. Електрична схема запуску асинхронного двигуна з фазовим ротором; використовуючи механічні характеристики, поясніть порядок запуску.
23. В чому полягають недоліки прямого запуску асинхронного двигуна?
24. Як розрахувати пусковий струм і пусковий момент асинхронного двигуна?
25. В чому полягає ефект витиснення струму?
26. Напруга мережі складає 380 В. Номінальна напруга асинхронного двигуна  $U_{ном}=380/220$  В. Чи можливо застосувати при запуску двигуна перемикач обмоток статора із схеми «зірка» на «трикутник»?

## Лабораторна робота № 13

### ДОСЛІДЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПАРАЛЕЛЬНОГО ЗБУДЖЕННЯ

**Мета роботи:** вивчити будову двигуна постійного струму, опанувати способи запуску, зміни напрямку обертання якоря і регулювання його частоти обертання, дослідним шляхом отримати механічну і робочі характеристики двигуна.

#### 13.1 Основні теоретичні положення

Двигун постійного струму складається з нерухомої магнітної системи, що створює основне магнітне поле машини; якоря, що приводиться до обертання, і в обмотці якого індукуються електрорушійна сила; колектора (пристрій, який конструктивно об'єднаний з якорем (ротором) електричної машини і який змінює напрямок струму в провідниках обмотки якоря при його обертанні).

Статор машини постійного струму має станину у вигляді порожнього сталюого циліндра, на внутрішній поверхні якого закріплене парне число головних полюсів. Кожний полюс має сердечник і обмотку, яка збуджує основне магнітне поле машини.

Якір машини постійного струму складається з сердечника, який набирається з окремих ізолюваних один від одного листів електротехнічної сталі. Сердечник закріплений на валу машини і на зовнішній поверхні має пази, в які закладається обмотка якоря.

Двигун постійного струму, обмотка збудження якого приєднана паралельно до якірної обмотки, називається двигуном паралельного збудження. В результаті взаємодії струму якоря  $I_a$  з основним магнітним потоком  $\Phi$  утворюється електромагнітний обертовий момент:

$$M = C_m I_a \Phi,$$

де  $C_m$  – постійний для даної машини коефіцієнт.

При обертанні якоря в магнітному полі в його обмотці індукуються ЕРС, яка пропорційна частоті обертання якоря  $n$  і магнітному потоку машини  $\Phi$ :

$$E = C_e \cdot n \cdot \Phi,$$

де  $C_e$  – постійний для даної машини коефіцієнт.

Напруга джерела, що прикладена до затискачів якоря двигуна, врівноважується ЕРС і спадом напруги в колі якоря:

$$U = E + R_a I_a.$$

На початку запуску двигуна, частота обертання якоря, а відповідно і ЕРС, рівні нулю. Якщо двигун ввімкнути на напругу мережі, тобто без додаткового опору, то пусковий струм якоря буде в 10-50 разів перевищувати номінальний:

$$I_{я} = \frac{U - E}{R_{я}} = \frac{U - 0}{R_{я}} = (10...50) I_{я(ном)}.$$

Для зменшення пускового струму послідовно з якорем вмикають реостат  $R_d$ , який регулює запуск. В момент запуску він повинен бути повністю виведений. Звичайно, опір пускового реостата вибирається таким, щоб пусковий струм не перевищував двократного номінального.

З розгоном двигуна пропорційно частоті обертання збільшується ЕРС, в результаті чого зменшується струм якоря. Тому при збільшенні частоти обертання якоря опір пускового реостата поступово зменшують до нуля.

Частота обертання якоря двигуна:

$$n = \frac{U - R_{я} I_{я}}{C_e \Phi}.$$

Із останнього виразу бачимо, що частоту обертання можна регулювати такими способами:

- зміною магнітного потоку  $\Phi$ , регулюючи струм реостатом  $R_p$ ;
- зміною напруги, яка підводиться до затискачів якоря, при незмінному магнітному потоці;
- зміною опору якорного кола  $R_{я}$ .

Характеристика холостого ходу (х. х.) двигуна являє собою залежність частоти обертання якоря від струму збудження  $n=f(I_3)$  при постійній номінальній напрузі на затискачах двигуна при  $U=U_n=const$ . Характеристика х. х. має гіперболічний вигляд (рис. 13.1).

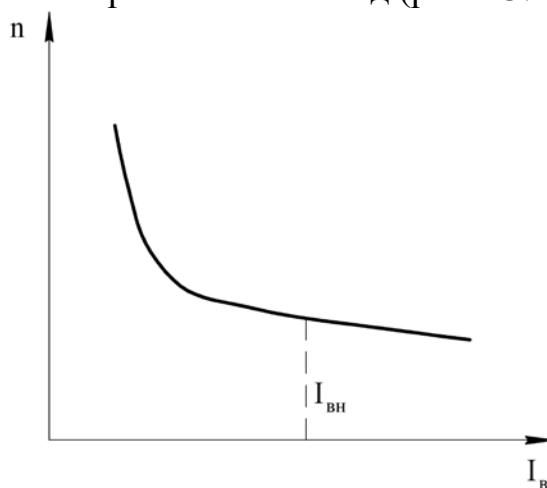


Рисунок 13.1 – Характеристика холостого ходу двигуна

При великих струмах збудження через насичення магнітного ланцюга

магнітний потік змінюється пропорційно струму збудження. Тому спадна частина характеристики  $x. x$ , йде більш похило. Верхня частина цієї характеристики має більшу крутизну внаслідок того, що при малих насиченнях сильно виявляється розмагнічувальна дія якоря. Надмірне збільшення струму збудження або випадковий обрив кола збудження може викликати «розкид» двигуна, тобто надмірне збільшення частоти обертання до значень, небезпечних для механічної міцності якоря.

Механічна характеристика являє собою залежність частоти обертання двигуна від навантаження на валу  $n=f(M)$ :

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - M \frac{I_a R_a}{C_e C_m \Phi^2}.$$

При збільшенні механічного навантаження на валу двигуна частота його обертання несуттєво зменшується (рис. 13.2).

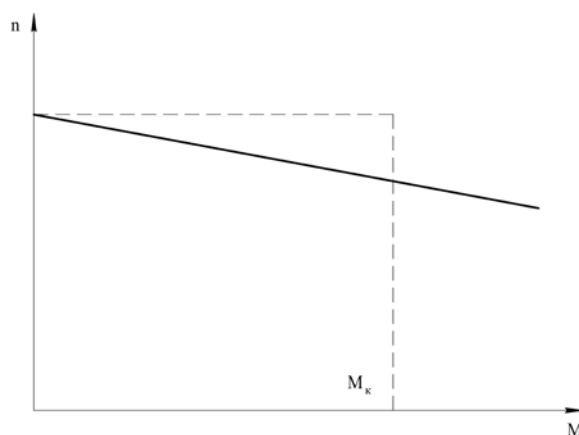


Рисунок 13.2 – Частота обертання двигуна

Властивості двигуна постійною струму характеризуються його робочими характеристиками  $M=f(P_2)$ ,  $I_a=f(P_2)$ ,  $\eta=f(P_2)$ , які отримують при  $U=U_n=const$  і струмі збудження  $I_s=const$ . Наближений вигляд цих характеристик зображено на рис. 13.3.

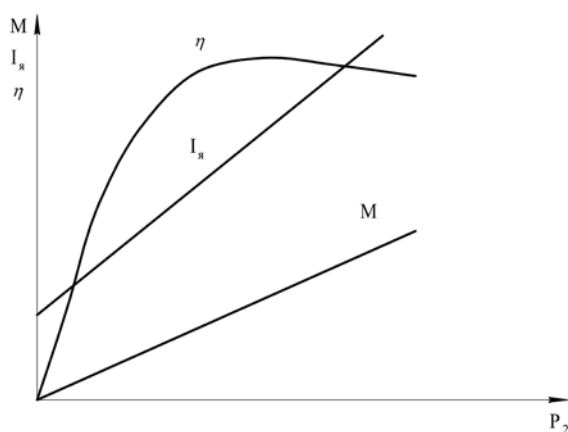


Рисунок 13.3 – Робочі характеристики двигуна постійного струму

## 13.2 Програма роботи

1. Ознайомитись з обладнанням, приладами і апаратами дослідної установки, записати їх технічні дані в протокол випробувань.

2. Скласти схему установки для випробувань двигуна постійного струму паралельного збудження (рис. 13.4).

Лабораторний стенд для дослідження двигуна постійного струму з паралельним збудженням складається з двох однакових машин, з'єднаних муфтою.

Машину  $M$  використовують, як дослідний двигун, а машина  $G$  служить навантажувальним генератором. В колі якоря дослідного двигуна включений реостат  $R_d$ , що регулює запуск і за допомогою якого здійснюється запуск двигуна в хід та зміна напруги на його затискачах. Струм збудження двигуна може змінюватись за допомогою реостата  $R_p$ .

Навантаження на валу двигуна здійснюється за допомогою генератора  $G$ , опір якірного кола якого регулюється за допомогою реостата  $R$ . Потужність, яка споживається двигуном з мережі, і потужність генератора визначають за показами приладів, що включені в колах двигуна та генератора.

Частоту обертання двигуна визначають за допомогою тахометра.

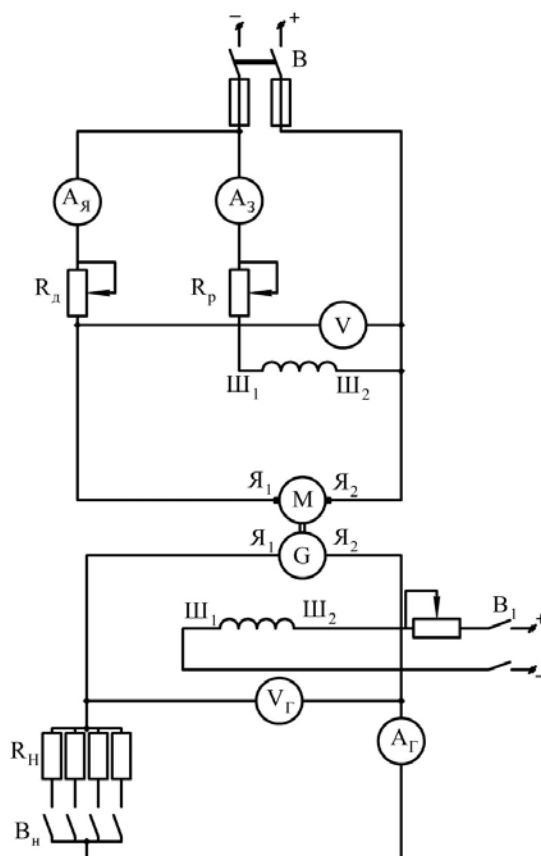


Рисунок 13.4 – Схема установки для випробувань двигуна постійного струму паралельного збудження

3. Перед вмиканням до мережі двигуна, що випробовується, потрібно повністю ввести реостат  $R_d$ , що регулює запуск в колі якоря, повністю вивести регульовальний реостат  $R_p$  в колі збудження двигуна, відключити всі резистори навантажувального реостата  $R_n$  та вимкнути вимикач  $B_1$  в колі збудження навантажувального генератора.

4. За допомогою автоматичного вимикача  $B$  двигун увімкнути до мережі постійного струму. Із розгоном двигуна плавно зменшують опір пускового реостата  $R_d$  так, щоб струм в обмотці якоря не перевищував номінального значення понад 1,5-2 рази ( $(1,5-2 \cdot I_n)$ ).

5. Змінити напрям обертання якоря двигуна. З цією метою вимкнути двигун від джерела живлення постійної напруги, встановити ручку реостата, який регулює запуск, у вихідне положення (реостат повністю виведено), поміняти місцями проводи, що приєднані до затискачів якоря або до затискачів обмотки збудження. Потім виконати запуск двигуна, згідно з методикою, викладеною в п. 4.

6. Перевірити, чи збуджений навантажувальний генератор. Якщо після розгону двигуна генератор не збуджується, вжити заходів для його збудження.

7. При х. х. двигуна дослідити вплив струму збудження на частоту обертання якоря ( $n=f(I_z)$ ). Плавно зменшуючи струм збудження за допомогою регульовального реостата  $R_p$ , збільшувати обертання якоря до величини, яка не перевищує  $1,5 n_n$ .

Результати вимірювань занести в таблицю 13.1.

Таблиця 13.1

Ч. ч.	Струм збудження $I_z, A$	Частота обертання якоря $n$ , об/хв	Напруга на затискачах якоря $U, B$

8. Дослідити вплив напруги на затискачах якоря на частоту обертання навантаженого двигуна. З цією метою реостатом  $R_d$  встановити різні напруги і за допомогою тахометра виміряти частоту обертання вала машини. Струм збудження двигуна протягом дослідів повинен за допомогою реостата  $R_p$  підтримуватись незмінним і рівним номінальному.

Результати вимірювань занести в таблицю 13.2.

Таблиця 13.2

Ч. ч.	Напруга на затискачах двигуна $U, В$	Струм якоря двигуна $I_{я}, А$	Струм збудження $I_3, А$	Частота обертання якоря $n, об/хв$

9. Випробувати двигун в режимі навантаження. Для цього реостатами  $R_p$  і  $R_d$  встановити та підтримувати протягом усього досліду напругу на затискачах якоря і струм збудження незмінними і рівними їх номінальним значенням. Змінюючи кількість ввімкнених резисторів навантажувального реостата  $R_n$ , випробувати двигун при таких значеннях струму якоря  $I_{я}=0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$  і  $1,2 \cdot I_{ном}$ . ( $I_{ном}$  – номінальний струм двигуна).

Результати вимірювань занести в таблицю 13.3.

Таблиця 13.3

Ч. ч.	Виміряно						Розраховано				
	$U, В$	$I_{я}, А$	$I_3, А$	$n, об/хв$	$U_2, В$	$I_2, А$	$\eta_2$	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$	$M, Н \cdot м$	$\eta$

10. Побудувати в одній системі координат криву  $n=f(I_{я})$  при  $U=const$ , а в другій – криву  $n=f(U)$  при  $I_{я}=const$ . Оцінити можливий діапазон та економічність регулювання частоти обертання двигуна цими способами.

11. Розрахувати для дослідів навантаження двигуна такі величини: потужність  $P_1$  і  $P_2$ , обертовий момент  $M$  та ККД двигуна. Результати обчислень занести в таблицю 13.3.

Потужність, що споживається двигуном із мережі, визначають за виразом:

$$P_1 = U(I_{я} + I_3),$$

де  $U$  – напруга живлення двигуна;  $I_{я}, I_3$  – відповідно струм якоря і струм обмотки збудження.

Потужність  $P_2$  на валу двигуна визначають методом навантаженого генератора. Змінюючи потужність генератора  $P_2=I_2 \cdot U_2$ , що працює при

напрузі  $U_2$  і струмі  $I_2$  та, знаючи його ККД, для різних навантажень визначають потужність на валу двигуна:

$$P_2 = P_e / \eta_e,$$

де  $\eta_e$  – ККД навантаженого генератора, при усталеному режимі роботи (визначається з характеристики, яка приведена на передній панелі стенду).

Момент двигуна:

$$M = 9550 \frac{P_2}{n},$$

де  $P_2$  – потужність на валу двигуна, кВт;  $n$  – частота обертання якоря, об/хв.

ККД досліджуваного двигуна визначають за виразом:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

12. Побудувати в одній системі координат механічну характеристику  $n = f(M)$  двигуна постійного струму паралельного збудження, а в другій – його робочі характеристики  $M, I_a, \eta = f(P_2)$ .

13. Зробити висновки по роботі.

### **13.3 Програма домашньої підготовки до виконання лабораторної роботи**

1. Повторити теоретичний матеріал: конструкцію і принцип дії двигуна постійного струму, рівняння електричного стану, способи запуску, регулювання частоти обертання і способи реверсу.

2. Підготувати протокол випробувань зі схемами лабораторних установок і таблицями для внесення результатів дослідів.

3. Скласти перелік операцій і вказати необхідну послідовність їх виконання для здійснення запуску двигуна.

4. Розрахувати, яким би був пусковий струм, якщо запуск двигуна здійснювався б без пускового реостата. Визначити опір пускового реостата для обмеження пускового струму  $I_{пуск}$  до величини  $\leq 2 \cdot I_{ном}$ .

5. Накреслити наближений вид характеристик:  $n = f(I_B)$  при  $U = const$ , робочих  $M, I, \eta = f(P_2)$ .

### **13.4 Питання для самоконтролю і задачі для самостійного розв'язування**

1. Принцип роботи машини постійного струму в ролі двигуна. Яка роль електромагнітного моменту і ЕРС в цих режимах?

2. Напишіть формули, які характеризують роботу двигуна постійного струму.

3. Зобразіть схеми двигунів незалежного, паралельного і змішаного збудження, вкажіть на них напрямки струмів і ЕРС.

4. Виведіть рівняння механічної характеристики двигуна постійного струму.

5. На прикладі двигуна паралельного збудження поясніть фізичні процеси і особливості пуску в хід двигуна постійного струму.

6. Зобразіть і поясніть механічні характеристики двигунів паралельного збудження.

7. В якому випадку і чому можливий рознос двигуна паралельного збудження?

8. Перерахуйте способи регулювання частоти обертання двигунів паралельного збудження.

9. Перерахуйте і поясніть гальмівні режими двигуна паралельного збудження.

10. Для приводу металорізального верстата використовується двигун постійного струму паралельного збудження з номінальними величинами.  $P_n=4,5$  кВт,  $U_n=220$  В,  $\eta_n=80\%$ . Зобразити принципову електричну схему двигуна і розрахувати номінальний струм в колі якоря, якщо номінальний струм збудження складає 5% від струму, який споживається у колі струму.

11. Для приводу водяного насоса використовується двигун паралельного збудження і номінальними величинами:  $P_n=40$  кВт,  $U_n=110$  В,  $\eta_n=0,8$ . При температурі  $20^\circ\text{C}$  опір кіл якоря  $R_j=0,01$  Ом, збудження  $R_z=11$  Ом. Розрахувати кратності пускового струму якоря при прямому (безреостатному) способі пуску двигуна.

12. Шунтовий двигун, який приводить в обертання токарний верстат в номінальному навантаженні при живленні від мережі з  $U_n=110$  В, споживає струм  $I_n=36$  А і обертається з частотою  $n_n=1450$  об/хв. Опір при робочій температурі кіл якоря  $R_j=0,15$  Ом і збудження  $R_z=55$  Ом. При обробці деталі з м'якого матеріалу токар вирішив підвищити швидкість її обробки. З цією метою він підвищив частоту обертання двигуна, зменшивши його основний магнітний потік на 30% відносно номінального. Потрібно визначити на скільки відсотків відносно номінальної підвищилась швидкість обробки деталі при незмінних  $M_c$  і  $I_j$ .

13. Двигун паралельного збудження при живленні від мережі з  $U_n=220$  В споживає струм  $I_n=80$  А і обертається з  $n_n=1000$  об/хв, при цьому  $R_j=0,10$  Ом,  $R_z=11$  Ом. Визначити частоту обертання двигуна при холостому ході і відсоткову зміну частоти обертання при переході двигуна з режиму номінального навантаження в режим холостого ходу.

14. Двигун незалежного збудження при живленні від мережі з  $U_n=220$  В споживає потужність  $P_{1n}=22$  кВт. При цьому спад напруги в його якорному колі складає  $\Delta U=5\%$ . Визначити ЕРС обмотки якоря, втрати потужності в колі якоря і електромагнітну потужність двигуна.

## Лабораторна робота №14

### ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ КОРОТКОЗАМКНЕНИМ ДВИГУНОМ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕВЕРСИВНОГО МАГНІТНОГО ПУСКАЧА

**Мета роботи:** ознайомитись зі схемою дистанційного керування асинхронним двигуном, конструкцією та принципом дії електричних апаратів цієї схеми, призначенням захисту у схемі; скласти схему дистанційного керування.

#### 14.1 Основні теоретичні положення

Дистанційне керування асинхронним двигуном дозволяє проводити запуск, зупинку, реверс двигуна з одного або декількох постів керування.

Найпростіші схеми дистанційного керування складаються на основі використання нереверсивних або реверсивних магнітних пускачів. Перші проводять запуск в роботу (обертання) електродвигуна в одному напрямі, другі – як в одному, так і в зворотному напрямі.

Нереверсивний магнітний пускач складається з одного триполюсного контактору, двох теплових реле і двокнопкової станції. Контактор і реле вмонтовані в металевий кожух, кнопкова станція встановлюється на щиті керування або поблизу технологічної установки, яка приводиться в дію електродвигуном.

Реверсивний магнітний пускач має два триполюсних контактори, два теплових реле і трикнопову станцію керування.

Основними частинами електричного контактора є електромагніт і контактна система. Остання складається з рухомих і нерухомих контактів.

У триполюсному контакторі в загальному випадку (три силових замикаючих контакти, розділених один від одного ізоляційними і дугогасильними проміжками, а також допоміжні нормальнозамкнені і/або нормальнорозімкнені контакти – блок-контакти (для виконання схемних блокувань та допоміжних перемикачів)).

Електромагніт складається з двох Ш-подібних феромагнітних осердь, на одне з яких (нерухоме) насаджено котушку, а з другим (рухомим) конструктивно зв'язані рухомі частини контактів і блок-контактів.

При протіканні електричного струму по колу котушки (у випадку замикання контактів кнопки керування «Пуск» від дії оператора) в осердях виникає магнітний потік, який притягує рухоме осердя до нерухомою. При цьому рухомі частини контактів замикаються з нерухомими.

Якщо під'єднати до нерухомих частин силових контактів трифазну мережу, а до рухомих – провідники, що йдуть від обмотки асинхронного

двигуна, то при спрацюванні контактора буде виконано дистанційне (напівавтоматичне) керування запуском двигуна.

Для захисту електродвигуна від аварійних режимів (коротких замикань між фазами в силовому колі, а також перегріву обмоток двигуна понад допустимі температури) використовують, відповідно, запобіжники й теплові реле. Запобіжники встановлюють у силове коло перед нерухомими частинами силових контактів, а теплове реле – після рухомих частин контактів.

Теплові реле використовуються для захисту електродвигуна від тривалих струмових перевантажень (невідчутних для запобіжників) і вмикаються в дві фази силового кола магнітного пускача.

При проходженні через нагрівальні елементи теплового реле продовж двадцяти хвилин струму перевантаження, що перевищує номінальний струм двигуна на 20%, реле розмикає коло котушки контактора своїм нормально замкнутим контактом, цим самим знеструмлюючи двигун.

На рис. 14.1 представлено принципову електричну схему керування асинхронним двигуном за допомогою реверсивного магнітного пускача.

У схемі мають місце такі електричні апарати та їх елементи: Q – автоматичний вимикач триполюсний; F – запобіжники; K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> – магнітні пускачі; B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> – теплові реле; M – електродвигун; S<sub>3</sub> – кнопка «Стоп»; S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> – кнопки «Пуск».

Електричне коло «мережа-обмотка електродвигуна C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>» **називається силовим колом**. Електричне коло, до якого входять кнопки керування S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, котушки магнітних пускачів K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> і блок-контакти, **називають колом керування**.

Електрична апаратура, що належить до силового кола та кола керування має таке призначення:

- вимикач Q використовується у колі як для подачі, так і для зняття напруги з усіх елементів електричного кола, наприклад, при огляді та ремонтах;

- запобіжники F призначені для захисту електродвигуна від струму короткого замикання (КЗ). Вони не повинні спрацьовувати при запуску двигуна, отже вибираються з урахуванням найбільшого пускового струму двигуна;

- теплові реле B призначені для захисту двигуна від тривалих струмових навантажень.

В промислових силових установках досить часто замість вимикача, запобіжників, теплових реле встановлюють один апарат, який **називається автоматичним вимикачем**.

Контактори магнітного пускача K служать для часткових вмикань і вмикань під навантаженням силового кола. Керування контакторами K здійснюється дистанційно за допомогою кнопок.

При замиканні кола керування кнопкою «Пуск» S<sub>1</sub>, через котушку магнітного пускача K<sub>1</sub> проходить струм. Електромагніт притягує рухомий

якір, вмикаючи при цьому силові контакти  $K_1$ , блок-контакт  $K_1$  ввімкнений паралельно кнопці «Пуск»  $S_1$  і розмикаючий блок-контакт  $K_1$ , ввімкнений послідовно з котушкою магнітного пускача  $K_2$ .

В результаті вмикання магнітного пускача  $K_1$ , напруга мережі підводиться до обмотки електродвигуна, і останній починає обертатись «Вперед».

Через блок-контакт  $K_1$ , підключений паралельно до кнопки «Пуск»  $S_1$ , відбувається «саможивлення» котушки магнітного пускача після того, як оператор перестає натискати на кнопку і остання повертається під дією пружини у своє попереднє нормальнорозімкнене положення.

Через блок-контакт  $K_1$ , який підключений послідовно з котушкою магнітного пускача  $K_2$ , здійснюється електричне блокування, яке не допускає одночасного вмикання магнітних пускачів  $K_1$  і  $K_2$ . Одночасне вмикання магнітних пускачів  $K_1$  і  $K_2$  у силовому колі призведе до КЗ між двома фазами мережі. Слід зауважити, що у конструкції реверсивного магнітного пускача передбачено також наявність механічного блокування, що не дозволяє одночасного втягування котушок магнітних пускачів  $K_1$  і  $K_2$ . При натисканні кнопки «Стоп»  $S_3$ , котушка магнітного пускача  $K_1$  втрачає живлення, якір під дією ваги (або пружини) відпадає, силові контакти  $K_1$  розмикаються, електродвигун зупиняється.

Наступний запуск двигуна у напрямку «Вперед» можливий тільки після натискання на кнопку «Пуск»  $S_1$ . Таке блокування вмикання магнітного пускача  $K_1$  (через блок-контакт  $K_1$ , що замикається) з кнопкою «Пуск»  $S_1$ , дає змогу здійснити захист від зникнення або різкого пониження напруги мережі (нульовий захист). Відключившись, електродвигун вже не зможе самовільно ввімкнутись при неочікуваній появі напруги в мережі, тобто самозапуска двигуна не відбудеться. Вказаний захід є необхідним для безпечного керування механізмами.

При керуванні запуском двигуна в напрямку «Назад» електрична схема працює аналогічно.

## 14.2 Програма роботи

1. Ознайомитись з будовою реверсивного магнітного пускача і його окремими елементами, контактами, втягувальною котушкою, магнітною системою.

2. Занотувати в зошит паспортні дані пускача.

3. Скласти електричне коло відповідно до схеми (рис. 14.1).

На лабораторному стенді встановлено реверсивний магнітний пускач типу ПМЕ-113. Номінальні дані пускача: допустима напруга на силових контактах – 500 В; напруга втягувальної котушки – 127 В; допустима потужність двигуна, що запускається – 4 кВт.

На панель станду виведені затискачі котушок, силових контактів, блок-контактів. Також на панелі встановлена триштифтова кнопкова станція типу КУ-121-3 і теплове реле типу ТРН-25УЗ та виведені їхні контакти.

4. Після перевірки схеми викладачем виконати: запуск і зупинку двигуна у напрямку «Вперед»; запуск і зупинку двигуна у напрямку «Назад».

5. Перевірити дію електричного і механічного блокування на працюючому двигуні одночасним натисканням на кнопки «Пуск-Вперед» і «Пуск-Назад» без попередньої зупинки його кнопкою «Стоп».

6. Вдруге запустити двигун, попередньо від'єднавши блок-контакти, що шунтують кнопку «Пуск-Вперед». Виявити призначення цих контактів.

7. Описати роботу схеми керування запуском двигуна.

8. Описати у звіті дію блокування в схемі керування двигуном.

9. Описати призначення блок-контактів, що шунтують пускові кнопки.

10. Описати роботу елементів захисту електродвигуна.

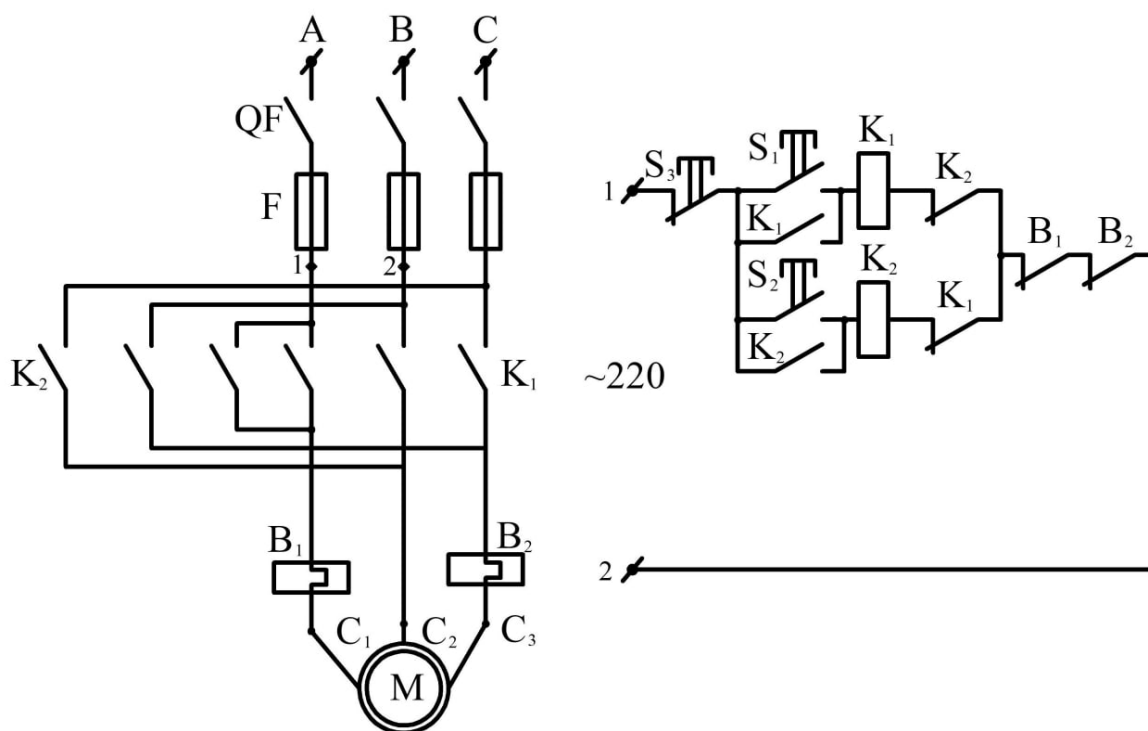


Рисунок 14.1 – Схема дистанційного керування асинхронним двигуном

### 14.3 Програма домашньої підготовки до виконання лабораторної роботи

Перед виконанням лабораторної роботи рекомендується ознайомитись з теоретичними відомостями, які приведені в дійсних методичних вказівках.

Підготувати протокол випробувань.

#### 14.4 Питання для самоконтролю

1. Перерахувати апарати, які застосовують для ручного керування електродвигунами.
2. Перерахувати апарати, які застосовують для дистанційного керування електродвигунами з одного або декількох постів керування.
3. Поясніть будову та принцип дії контактора.
4. Поясніть будову та принцип дії магнітного пускача.
5. Назвіть різницю між контактором і магнітним пускачем.
6. Як здійснюється блокування в реверсивних магнітних пускачах?
7. Як здійснюється «саможивлення» втягувальних котушок пускача?
8. Поясніть принципову відмінність між ручною і автоматичною системою керування електродвигунами.
9. Назвіть якими апаратами здійснюється захист електродвигунів від струмів короткого замикання.
10. Якими апаратами здійснюється захист електродвигунів від перевантаження?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Вартабедян В. А. Загальна електротехніка. Київ : Вища школа, 1986. 359 с.
2. Електротехніка у будівництві : підручник / А. Є. Ачкасов, В. А. Лушкін, В. М. Охріменко та ін.; за ред. В. М. Охріменка; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Харків : ХНАМГ, 2010. 384 с.
3. Коруд В. І., Гамола О. Є., Малинівський С. М. Електротехніка : підручник. Львів : Магнолія 2006, 2008. 447 с.
4. Малинівський С. М. Загальна електротехніка. Львів : Видавництво «Бескид Бім», 2003. 626 с.
5. Нестерчук Д. М. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : конспект лекцій. Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 188 с.
6. Паначевний Б. І., Свергун Ю. Ф. Загальна електротехніка. Теорія і практикум : підручник. Київ : Каравела, 2003. 440 с.
7. Рожкова С. Е., Рожков П. П. Конспект лекцій з дисципліни «Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка». Харків : ХНАДУ, 2011. 35 с.

*Електронне навчальне видання*

**Нанака Олена Миколаївна  
Паянок Олександр Анатолійович**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до виконання лабораторних робіт**  
**з дисципліни «Електротехніка в будівництві»**  
**на тему: «Електричні машини»**  
**для студентів спеціальності**  
**192 «Будівництво та цивільна інженерія»**

Рукопис оформила *О. Нанака*

Редактор *О. Малетіна*

Оригінал-макет виготовлено в *PBB ВНТУ*

Підписано до видання 19.09.2024

Гарнітура Times New Roman.

Зам. № P2024-152

Видавець та виготовлювач

Вінницький національний технічний університет,

Редакційно-видавничий відділ.

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Хмельницьке шосе, 95,

м. Вінниця, 21021.

press.vntu.edu.ua;

Email: irvc.vntu@gmail.com

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК No 3516 від 01.07.2009 р.