

**Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
"Дніпровська політехніка"**

Кафедра електротехніки



Д.В. Ципленков, С.І. Федоров

**ЗБІРНИК
МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
з дисципліни "Основи електропостачання гірничих підприємств"
для студентів спеціальності 184 – Гірництво
(розділ «Основи електротехніки»)**

**Дніпро
2021**

**Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
"Дніпровська політехніка"**

Кафедра електротехніки



Д.В. Ципленков, С.І. Федоров

**ЗБІРНИК
МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
з дисципліни "Основи електропостачання гірничих підприємств"
для студентів спеціальності 184 – Гірництво
(розділ «Основи електротехніки»)**

**Дніпро
2021**

Рекомендовано до видання навчально-методичним
відділом (протокол № від за поданням
науково-методичної комісії зі спеціальності 184
«Гірництво» (протокол № від)

Збірник методичних рекомендацій до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Основи електропостачання гірничих підприємств" для студентів спеціальності 184 – Гірництво (розділ «Основи електротехніки») /Автори: Д.В. Ципленков, С.І. Федоров – Дніпро: НТУ "ДП", 2021. – 43 с.

Автори:

Федоров Сергій Іванович – старший викладач кафедри електротехніки
(1,2,3,4)

Вступ

У програму лабораторних робіт входять деякі контрольні, а також інші випробування, що дозволяють досліджувати різні режими роботи електричних кіл постійного, синусоїдального струму та електричних машин (зокрема трансформаторів та асинхронних двигунів) при різних схемах з'єднання, різних умовах навантаження та інше.

Перед складанням схеми при проведенні лабораторних випробувань необхідно підрахувати очікувані граничні значення вимірюваних величин струму, напруги і потужності та підібрати прилади (амперметри, вольтметри і ватметри та інші прилади) з найближчими найбільшими межами вимірів.

Неправильний вибір меж виміру приладів може привести до зниження точності вимірів, якщо обрані прилади з надмірно великими межами, або до ушкодження приладів, якщо обрані межі вимірів недостатні.

Деякі прилади можуть мати кілька меж виміру на різних затискачах або положеннях перемикача. Наприклад, ватметри, що застосовуються в лабораторії можуть мати на послідовній обмотці дві межі, наприклад, 5 А та 10А, а на паралельній обмотці кілька меж, наприклад, 30; 75; 150; 300 В. Вольтметри можуть мати межі 75; 150; 300; 600 В. Для таких приладів рекомендується перед ввімкненням схеми встановити найбільші можливі межі, а після ввімкнення перейти на межі виміру більш близькі вимірюваним величинам. При ввімкненні схеми рекомендується також, якщо це можливо, зашунтувати амперметри, послідовні обмотки ватметрів і первинні обмотки трансформаторів струму.

В лабораторних роботах **розрахунок виконується наступним чином**: записується формула, потім виконується підстановка усіх значень та вказується результат рішення. Після нього вказуються одиниці виміру [Н]. Результати рішень округляються до сотих. Наприклад:

$$a = \frac{b+c}{d} = \frac{5+7}{3} = 4H.$$

$$U_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} I_1 = \frac{2 \cdot 4}{2 + 4} \cdot 5 = 6.6(6) \text{ В} = 6.67 \text{ В}$$

Правила безпечної роботи в лабораторіях кафедри електротехніки

При роботі в лабораторіях кафедри електротехніки необхідно дотримуватись наступних правил, що забезпечують безпеку від поразки електричним струмом:

- Працювати тільки на тому стенді, що зазначений викладачем і не торкатися схем, зібраних на інших стендах.
- Вмикати зібрану схему під напругу **тільки після перевірки схеми і з дозволу викладача**, що веде заняття в групі (підгрупі).
- Перед ввімкненням схеми під напругу переконатися в тому, що немає людей, які знаходяться в небезпечній близькості від схеми, що вмикається.

- Під час виконання досліду не торкатися відкритих струмоведучих частин схеми, що знаходиться під напругою.
- Усі необхідні роз'єднання та наступні з'єднання робити тільки після вимкнення схеми від мережі (вимкнено автоматичний вимикач та знято запобіжники).
- При виявленні будь-яких несправностей чи ненормальної роботи схеми (перегоряння запобіжників, поява іскор, спалахів та інше) негайно відімкнути схему від мережі і доповісти про це викладачу, що проводить заняття.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН, ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНОГО РОЗГАЛУЖЕНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА.

Мета роботи

Ознайомлення з електровимірювальними приладами, вивчення методів вимірювання основних електричних величин приладами, що використовуються при виконанні лабораторних робіт та дослідити електричний стан лінійного розгалуженого електричного кола.

Програма роботи

1. Вивчення умовних графічних позначень елементів електричних кіл та електровимірювальних приладів.
2. Ознайомлення з електровимірювальними приладами та вивчення схем їх вмикання.
3. Вивчення способів розширення меж вимірювання приладів.
4. Попередній розрахунок параметрів електричного кола.
5. Вибір приладів, складання електричного кола та експериментальне дослідження кола зі змішаним з'єднанням опорів.
6. Складання звіту.

Порядок виконання роботи

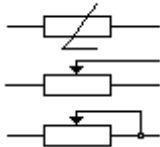
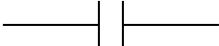
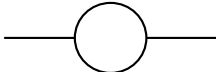
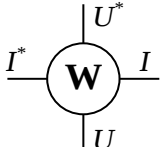
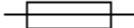
Етап 1. Вивчення умовних графічних позначень елементів електричних кіл та електровимірювальних приладів.

Користуючись літературою та наведеними таблицями 1.1, 1.2, 1.3 та 1.4 вивчити:

– *графічне позначення елементів електричних кіл і електро-вимірювальних приладів.*

Таблиця 1.1

Графічне позначення елементів електричних кіл і електровимірювальних приладів

Найменування	Умовне позначення
Вимикач однополюсний	
Вимикач трьохполюсний	
Провід	
З'єднання дротів електричне	
Роз'ємне електричне з'єднання	
Лампа розжарювання	
Резистор регульований: а) загальне позначення; б) з розривом кола; в) без розриву кола	
Конденсатор	
Котушка індуктивності	
Вимірювальний прилад	
Амперметр	
Вольтметр	
Ватметр	
Запобіжник плавкий	

- умовне позначення одиниці вимірювання, або вимірюваної величини, або початкові букви найменування приладу.

Таблиця 1.2

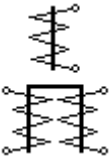
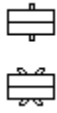
Умовне позначення одиниці вимірювання або вимірюваної величини

<i>Величина що вимірюється</i>	<i>Назва приладу</i>	<i>Умовне позначення</i>	<i>Назва вимірюваної величини</i>
Струм	Амперметр Міліамперметр Мікроамперметр	A mA μA	Ампер Міліампер Мікроампер
Напруга	Вольтметр Мілівольтметр	V mV	Вольт Мілівольт
Електрична потужність	Ватметр Кіловатметр	W kW	Ват Кіловат
Електрична енергія	Лічильник кіловат-годин	kWh	Кіловат-година
Зсув фаз	Фазометр	φ	Φі
Частота	Частотомір	Hz	Герц
Електричний опір	Омметр Мегомметр	Ω MΩ	Ом Мегаом

- умовні позначення систем приладів:

Таблиця 1.3

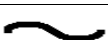
Умовні позначення систем приладів

<i>Система приладу</i>	<i>Умовне позначення</i>
Магнітоелектрична: – з рухомою рамою і механічною протидіючою силою; – з рухомою рамою без механічної протидіючої сили (логометр)	
Електромагнітна: – з механічною протидіючою силою – без механічної протидіючої сили (логометр)	
Електродинамічна: – з механічною протидіючою силою – без механічної протидіючої сили	

– **умовні позначення на шкалі приладів:** род струму, число фаз, клас точності приладу, випробувальна напруга ізоляції, робоче положення приладу, виконання приладу залежно від умов експлуатації, категорії приладу по ступеню захисту від зовнішніх магнітних полів.

Таблиця 1.4

Інші умовні позначення

Розшифровка умовного позначення	Умовне позначення
Прилад постійного струму	
Прилад постійного і змінного струму	
Прилад змінного струму	
Прилад трифазного струму	
Прилад класу точності 1,5	1,5
Вимірювальне коло ізольоване від корпусу і випробуване напругою 2 кВ	
Обережно! Міцність ізоляції вимірювального кола не відповідає нормам	
Робоче положення шкали горизонтальне	
Робоче положення шкали вертикальне	
Робоче положення шкали похиле, під кутом 60° до горизонту	
Виконання приладу залежно від умов експлуатації (властивостей навколишнього середовища)	АБВ
Категорія приладу по ступеню захищеності від зовнішніх магнітних полів	

Етап 2. Ознайомлення з електровимірювальними приладами та вивчення схем їх вмикання

За літературою та методичними вказівками ознайомитися з будовою і принципом дії приладів для вимірювання струму, напруги і потужності.

Накреслити схеми вмикання приладів (рисунок 1.2), використовуючи умовні графічні позначення. Звернути увагу на те, що коло струму ватметра вмикається аналогічно амперметру, а коло напруги – аналогічно вольтметру.

Етап 3. Вивчення способів розширення меж вимірювання приладів.

Ознайомитися з будовою, областю застосування перетворювачів для розширення меж вимірювання приладів по струму (шунти, трансформатори струму) і по напрузі (додаткові опори, трансформатори напруги).

Накреслити схеми вмикання амперметрів, вольтметрів і ватметрів з вимірювальними перетворювачами (рисунок 1.3).

Записати формули для визначення ціни поділок приладів, увімкнених через вимірювальні перетворювачі.

Етап 4. Попередній розрахунок параметрів електричного кола

За заданими значеннями опорів реостатів R_1 , R_2 , R_3 розрахувати значення струмів та напруги на ділянках електричного кола, наведеного на рис. 1.1.

Порівняти знайдені значення струму з допустимими струмами реостатів, що є на робочому місці. Розраховані величини записати в табл. 1.5.

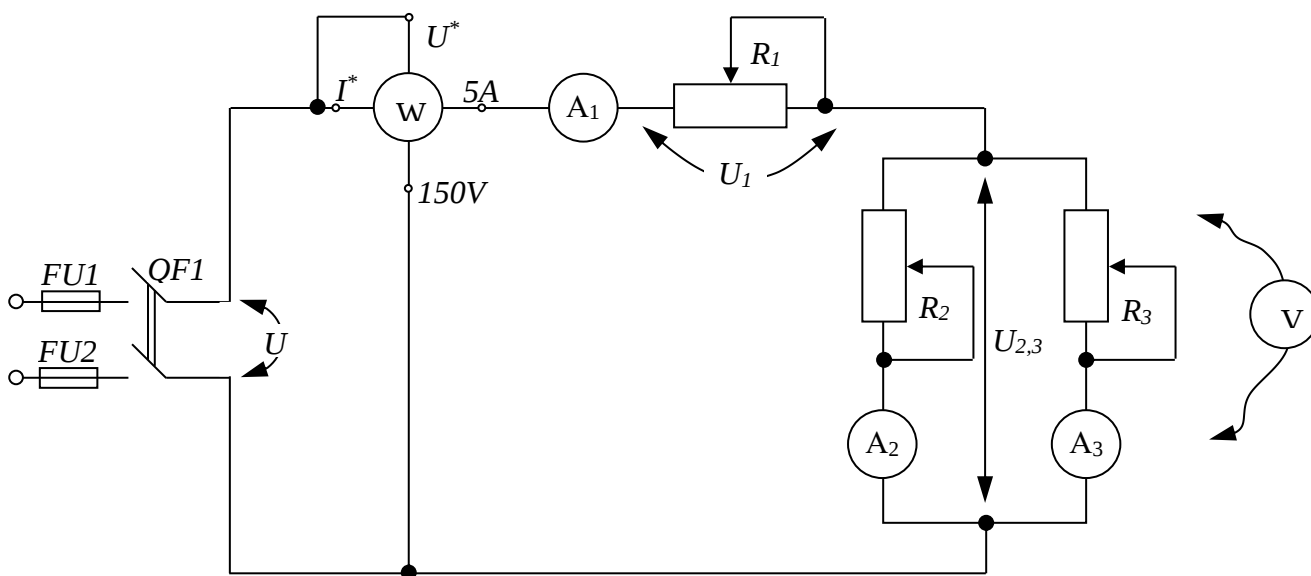


Рисунок 1.1. Принципова схема з'єднань розгалуженого електричного кола

Таблиця 1.5

Результати вимірювання напруг і струмів.

Параметри електричного кола	U , B	R_1 , Ω	R_2 , Ω	R_3 , Ω	I_1 , A	I_2 , A	I_3 , A	U_1 , B	$U_{2,3}$, B	P , W
Задано										
Розраховано										
Виміряно										
Відхилення, %										

Етап 5. Вибір приладів, складання електричного кола

та експериментальне дослідження кола зі змішаним з'єднанням опорів.

5.1 В залежності з отриманими значеннями струмів та напруги обрати межі вимірів електричних приладів та зібрати електричне коло за схемою, наведеною на рисунку 1.1. Встановити движки реостатів у положення, яке відповідає максимальному опору.

Після **перевірки** правильності складання електричного кола викладачем ввімкнути його до мережі (вставити запобіжники $FU1$, $FU2$ та ввімкнути автоматичний вимикач $QF1$) й виміряти значення струмів, напруги та потужності. Результати вимірювань записати в таблицю 1.5.

5.2 Розрахувати відхилення вимірної величини від розрахованої у відсотках за виразами:

$$\Delta U = \frac{U_{\text{вим}} - U_{\text{розрах}}}{U_{\text{вим}}}; \quad \Delta I = \frac{I_{\text{вим}} - I_{\text{розрах}}}{I_{\text{вим}}}; \quad \Delta P = \frac{P_{\text{вим}} - P_{\text{розрах}}}{P_{\text{вим}}}.$$

Результати розрахунків занести до табл. 1.5.

5.3 Використовуючи умовні позначки записати характеристики приладів в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Характеристики приладів

<i>Характеристика приладів</i>	<i>Вольтметр</i>	<i>Амперметр</i>	<i>Ваттметр</i>
Тип приладу			
Заводський №			
Межа вимірювання			
Ціна поділку			
Рід струму			
Внутрішній опір			
Клас точності			
Робоче положення			

5.4 Вважаючи, що значення опору одного з реостатів зменшується, при незмінному опорі інших двох реостатів, у відповідності з таблицею 1.7, визначити напрямок зміни струму і напруги в елементах електричного кола. Напрямок зміни вказати стрілками. Якщо параметр залишається незмінним ставити знак "=".

Таблиця 1.7.

Результати дослідження кола зі змішаним з'єднанням опорів на постійному струмі

$R_1 \downarrow$	$R_2 =$	$R_3 =$	I_1	I_2	I_3	U_1	U_{23}
$R_1 =$	$R_2 \downarrow$	$R_3 =$	I_1	I_2	I_3	U_1	U_{23}
$R_1 =$	$R_2 =$	$R_3 \downarrow$	I_1	I_2	I_3	U_1	U_{23}

Етап 5. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, програму роботи та її мету.
2. Схеми та рисунки 1.1, 1.2, 1.3.
3. Таблиці 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7.
4. Розрахункові формули та обчислення всіх величин, що входять в таблиці 1.5 та 1.6
5. Розрахунок зміни параметрів схеми відповідно до таблиці 1.7.

Методичні рекомендації

До етапу 2

Прилади для вимірювання струму називаються амперметрами, напруги – вольтметрами, електричної потужності – ватметрами. Дія цих приладів заснована на електромагнітних і електричних явищах (силова дія електромагнітного поля на провідники зі струмами, взаємодія феромагнітних сердечників з магнітним полем, взаємодія електрично заряджених тіл).

При дії на прилад вимірюваної величини x в його механізмі виникає залежне від значення цієї величини переміщення стрілки (показчика). По величині переміщення показчика судять про шукане значення вимірюваної величини.

Залежно від принципу дії і конструкції прилади можуть бути призначені для вимірювання тільки на постійному, тільки на змінному або на змінному і постійному струмі. Це позначається на шкалі відповідними значками. На шкалі приладу показується номінальне робоче положення його шкали.

Точність приладу характеризується його *класом точності*. Він позначається на шкалі цифрою: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; або 4,0.

Клас точності вказує найбільше для даного приладу значення приведеної відносної погрішності у відсотках за нормальних умов.

Приведена відносна погрішність дорівнює

$$\beta = \frac{\Delta}{x_m} \cdot 100\%,$$

де Δ – абсолютна погрішність вимірювання; x_m – нормуюче значення, яке для приладів з односторонньою шкалою дорівнює межі вимірювання приладу.

Відносна погрішність приладу при вимірюванні дорівнює

$$\beta = \frac{\Delta}{x} = \beta_m \frac{x_m}{x},$$

де x – значення вимірюваної величини.

Шкала приладу розбита на поділки. Переміщення показчика на один поділок шкали обумовлене зміною параметра x на певну величину, яка має назву – *ціна поділки приладу*.

Ціна поділки приладу позначається C_x і визначається в одиницях вимірюваної величини x на поділок.

Ціну поділки приладу можна визначити до початку вимірювання за формулою

$$C_x = \frac{x_m}{N},$$

де x_m – межа вимірювань даного приладу; N – повне число поділок його шкали.

Згідно цьому для амперметра, вольтметра і ватметра ціна поділки буде дорівнювати відповідно:

$$C_I = \frac{I_m}{N}; \quad C_U = \frac{U_m}{N}; \quad C_P = \frac{P_m}{N} = \frac{U_m I_m}{N}.$$

Для ватметра завжди відомі граничні значення напруги U_m та струму I_m .

Амперметр має два затискачі, за допомогою яких вмикається послідовно в коло вимірюваного струму (рис. 1.2, а). Внутрішнє коло амперметра має невеликий опір.

Вольтметр має також два затискачі за допомогою яких підключається до двох точок кола, напруга між якими вимірюється (рис. 1.2, б). Внутрішній опір вольтметра великий.

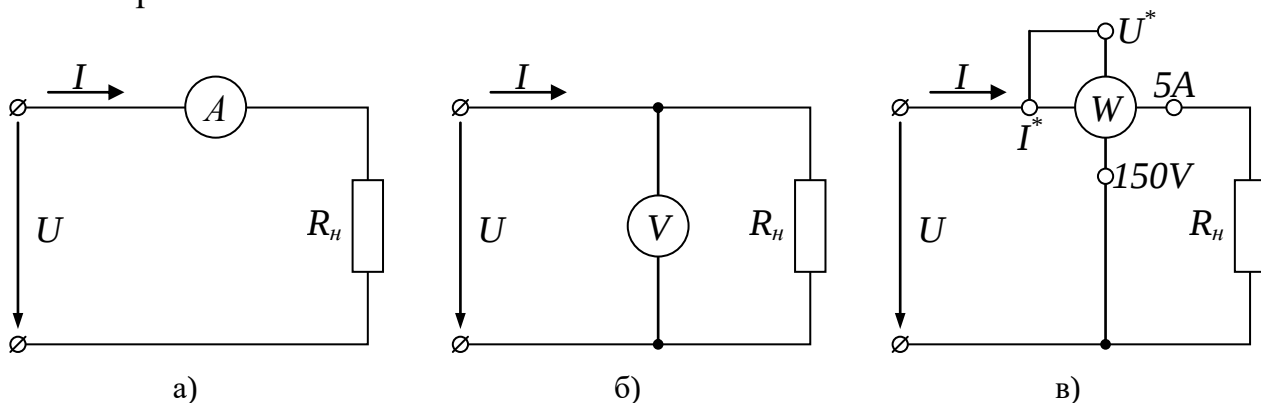


Рисунок 1.2 Схеми вмикання приладів:

а – амперметра; б – вольтметра; в – ватметра

Механізм ватметра забезпечений двома котушками: котушкою струму, що має малий опір і вмикається послідовно в коло струму, і котушкою напруги, що має великий опір і кола, що включається на напругу. Тому ватметр має чотири затискачі. Затискачі ватметра, позначені зірочками, називають генераторними. Вони вмикаються з боку джерела (рис. 1.2, в).

Ватметр забезпечено перемикачем «+» «-», що дозволяє змінювати напрям відхилення стрілки. Він використовується при вимірюваннях в трифазних колах, а також в однофазних колах змінного струму при зміні напрямку передачі енергії. Кожному положенню перемикача відповідає певний знак показань ватметра (+ або -).

До етапу 3

Іноді необхідно виміряти електричну величину, значення якої перевищує межу вимірювання даного приладу. У таких випадках застосовують електричні перетворювачі, що дозволяють розширити (збільшити) межу вимірювання приладу.

Для розширення меж вимірювання амперметрів на *постійному струмі* застосовуються шунти (рис. 1.3, а). Шунт є малим опором, забезпечений чотирма затискачами. На *змінному струмі* для цієї мети застосовуються трансформатори струму (рис. 1.3, з).

При вмиканні амперметра з шунтом його межа вимірювання і ціна поділку збільшуються в

$$n = 1 + \frac{R_a}{R_{\text{ш}}} \text{ разів,}$$

де R_a – внутрішній опір амперметра; $R_{\text{ш}}$ – опір шунта.

Ціна поділку амперметра із зовнішнім шунтом

$$C'_I = C_I n$$

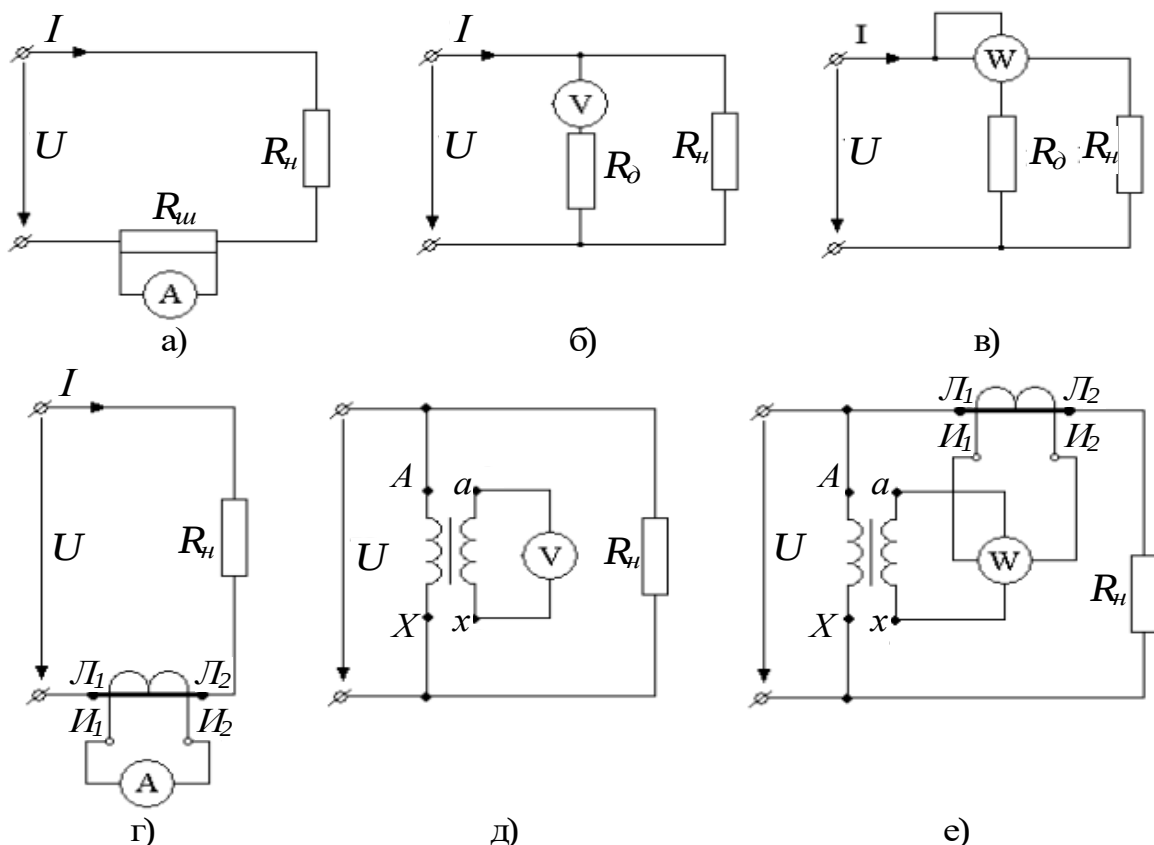


Рисунок 1.3. Схеми вмикання приладів з вимірювальними перетворювачами

Для розширення меж вимірювання амперметра в n разів потрібен шунт з опором

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_a}{n-1}, \text{ Ом.}$$

Для вмикання амперметра з трансформатором струму (рис. 1.3, з) його ціна поділку дорівнює

$$C'_I = C_I K_I,$$

де $K_I = \frac{I_{1н}}{I_{2н}}$ – коефіцієнт трансформації; $I_{1н}, I_{2н}$ – номінальні струми первинної і вторинної обмотки трансформатора струму, вказані на його щитку.

Так само вимірюється і межа вимірювання амперметра:

$$I'_m = I_m K_I.$$

По міркуваннях безпеки при роботі трансформатора струму не можна розмикати коло його вторинної обмотки, які позначаються буквами II_1 та II_2 .

Розширення межі вимірювання вольтметра на постійному і змінному струмі може бути досягнуте за допомогою додаткового опору, що вмикається послідовно з вольтметром (рис.1.3, б).

Ціна поділку і межа вимірювання вольтметра при вмиканні додаткового опору збільшується в

$$m = 1 + \frac{R_d}{R_U}, \text{ разів,}$$

де R_U – внутрішній опір вольтметра; R_d – величина додаткового опору.

Для розширення межі вимірювання вольтметра в m раз необхідно включити додатковий опір

$$R_d = R_U (m - 1).$$

При вмиканні вольтметра з трансформатором напруги (рис 1.3, д) його ціна поділку дорівнює

$$C'_U = C_U K_U,$$

де $K_U = \frac{U_{1н}}{U_{2н}}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора напруги; $U_{1н}, U_{2н}$ – номінальна первинна і вторинна напруги, вказані на щитку трансформатора.

Для розширення меж виміру ватметра необхідно застосовувати додаткові опори, шунти та трансформатори струму та напруги, що вмикаються відповідно у кола струму та напруги приладу (рис. 1.3, в, е).

При вмиканні ватметра з додатковим опором в колі напруги (рис. 1.3, в) його ціна поділку дорівнює

$$C_P = C_P m,$$

де C_P – ціна поділку ватметра; $m = 1 + \frac{R_d}{R_{WU}}$ – коефіцієнт розширення межі вимірювання ватметра по напрузі; R_{WU} – опір кола напруги ватметра.

При вмиканні ватметра з вимірювальними трансформаторами струму і напруги (рис. 1.3, е) його ціна поділку дорівнює

$$C_P = C_P K_U K_I,$$

де K_U, K_I – коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів.

До етапу 4

Виконати розрахунок розгалуженого електричного кола шляхом перетворень:

- Еквівалентний опір всього кола.

$$R_{екв} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

- Струми і напруги віток:

$$I_1 = \frac{U}{R_{екв}}; \quad I_2 = \frac{U_{23}}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U_{23}}{R_3};$$

$$U_1 = R_1 I_1; \quad U_{23} = U - U_1 = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} I_1.$$

- Потужність кола

$$P = I_1^2 R_{екв} = U I_1.$$

До етапу 5

Вибір приладів для вимірювання електричних величин здійснюється з врахуванням: роду струму; частоти; необхідної точності вимірювання; значення вимірюваної величини; опору кола і інших умов.

Для підвищення точності вимірювання прилад вибирають таким, щоб його межа перевищувала значення вимірюваного параметра що очікується вимірювання на 30...50 відсотків. Такий само принцип вибору приладів застосовується і для вимірювання неелектричних параметрів, наприклад: тиску, швидкості, тощо.

Для ватметра цю умову необхідно виконувати окремо для кожної з обмоток. Інакше струм або напруга в одній з його обмоток може перевищити його гранично-припустимі значення, що призведе до перегріву обмотки та виходу з ладу приладу.

Для ватметра необхідно, щоб межа приладу:

- по напрузі дорівнювала $U_m = (1,1...1,6)U$;
- по струму дорівнювала $I_m = (1,5...1,8)I$.

Тоді $P_m = (1,65 \dots 2,9)P$. U , I , P – значення напруги, струму та потужності, що очікуються, у колі.

Якщо є прилад з декількома межами вимірювання, то залежно від значення вимірюваної величини вибирають ту або іншу межу відповідно до приведених рекомендацій.

Щоб внутрішній опір приладів не здійснював помітного впливу на опір кола і її режим роботи, слід виконувати умови:

$$R_A = (0,001 \dots 0,005)R; R_U = (1000 \dots 500)R,$$

де R – опір кола, в якій ввімкнені прилади.

Такі ж вимоги пред'являються до опорів кіл струму і напруги ватметра.

Результати вимірювання знаходять за формулою

$$x = C_x \alpha,$$

де α – відхилення показчика приладу в поділках.

Так $U = C_U \alpha$, $I = C_I \alpha$, $P = C_P \alpha$.

Контрольні запитання

1. Які фізичні явища використовуються в електровимірювальних приладах?
2. Як вмикається в коло вольтметр, амперметр, ватметр? Чому?
3. Що називається ціною поділку приладу?
4. Як визначається ціна поділку приладу?
5. Що називають класом точності приладів?
6. Дайте пояснення умовним позначкам, що наносяться на шкалу приладів.
7. Як визначають шукане значення вимірюваної величини при вимірюванні?
8. Які способи розширення меж вимірювання приладів застосовуються при постійному і змінному струмі?
9. Як визначити ціну поділку приладу, що вмикається з вимірювальними електричними перетворювачами?
10. Які умовні графічні позначення застосовуються для позначення елементів електричного кола на схемах?
11. Як умикаються генераторні затискачі ватметра?
12. Чому дорівнює електричних вимірювальних перетворювачів, що використовуються для розширення меж вимірювання приладів?
13. Як вибираються межі вимірювання приладів?
14. Для чого служить перемикач напрямку відхилення стрілки ватметра?
15. Скласти схему з послідовним з'єднанням опорів R_1 , R_2 , R_3 і визначити еквівалентний опір кола і струм.

16. Скласти схему з паралельним з'єднанням опорів R_1 , R_2 , R_3 і визначити еквівалентний опір і струм в вітках.
17. Що називається віткою, вузлом, незалежним контуром. Визначити число віток, вузлів та незалежних контурів в досліджуваній схемі (рис. 1.1).
18. Як розподіляються струми в паралельних вітках?
19. Сформулюйте узагальнений закон Ома і запишіть його для ділянки кола, що містить джерело ЕРС.
20. Сформулюйте закони Кирхгофа і запишіть їх. Для законів Кирхгофа дайте по два формулювання.
21. Як вибирають позитивні напрямки для струмів віток і як зв'язані з ними позитивні напрямки напруг на опорах.
22. Як зміняться струми в вітках схеми рис. 1.1 при збільшенні опору: а) R_1 ; б) R_2 ; в) R_3 ?
23. Як зміняться струми в вітках схеми рис. 1.1 при зменшенні опору: а) R_1 ; б) R_2 ; в) R_3 ?
24. Як зміняться струми в колі (рис. 1.1) при збільшенні числа паралельно ввімкнених приймачів до опорів R_3 або R_2 ?
25. Як зміняться струми в колі (рис. 1.1) при збільшенні послідовно ввімкнених приймачів до опорів: а) R_1 ; б) R_2 ; в) R_3 ?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТРИФАЗНИХ СХЕМ

Мета роботи: Дослідити режими роботи трифазних схем при сполученні приймачів зіркою і трикутником при симетричному і несиметричному навантаженнях.

Програма роботи

1. Дослідження режимів роботи трифазної схеми при сполученні приймачів зіркою.
2. Дослідження режимів роботи трифазної схеми при з'єднанні приймачів трикутником.
3. Побудова векторних діаграм.

Порядок виконання роботи

Етап 1. Дослідження режимів роботи трифазної схеми при сполученні приймачів зіркою

1. Ознайомитися з приладами, апаратами, і іншим устаткуванням експериментальної установки. Скласти електричне коло по схемі рис. 2.1.

2. Після перевірки керівником правильності з'єднань створити симетричне навантаження фаз. Зміряти і записати величини, вказані в табл. 2.1 при:

- трипровідній системі з'єднань;
- чотирипровідній системі з'єднань.

3. Створити несиметричне навантаження фаз. Зміряти і записати величини, вказані в таблиці 1 при:

- трипровідній системі з'єднань;
- чотирипровідній системі з'єднань.

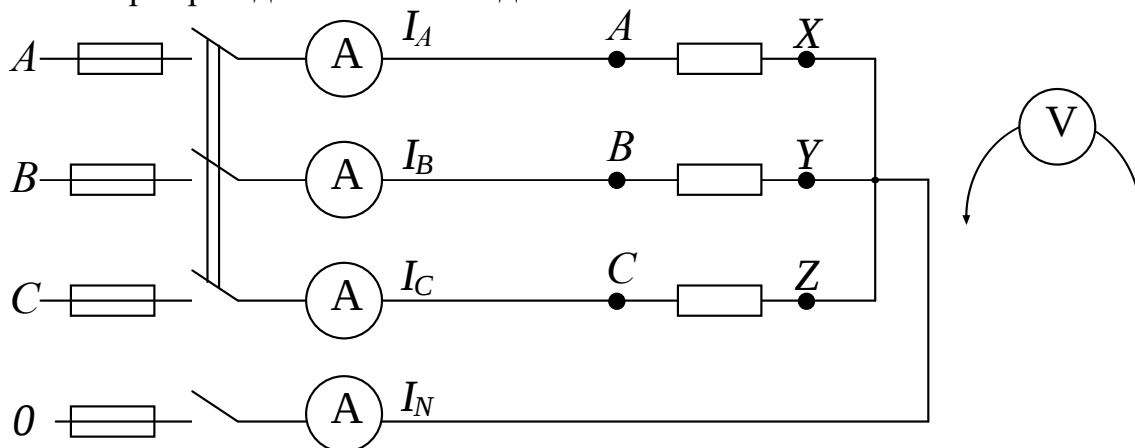


Рис. 2.1. Принципова схема вмикання навантаження зіркою

Таблиця 2.1.

Результати дослідження режимів роботи трифазної схеми при вмиканні приймачів зіркою

Режим навантаження	Лінія	В и м і р я н о											Розрахо-вано	
		Напруга						Струм				Зсув нейтралі		
		Лінійні значення			Фазні значення			Лінійні значення			нейтралі			
		$U_{AB},$ В	$U_{BC},$ В	$U_{CA},$ В	$U_A,$ В	$U_B,$ В	$U_C,$ В	$I_A,$ А	$I_B,$ А	$I_C,$ А	$I_N,$ А	$U_{00'},$ В	$I_N,$ А	$U_{00'},$ В
Симетричний	3-про-відна													
	4-про-відна													
Несиметричний	3-про-відна													
	4-про-відна													

4. Проаналізувати одержані дані і зробити висновок про необхідність і призначення нейтрального проводу при з'єднанні навантаження зіркою.

Етап 2. Дослідження режимів роботи трифазної схеми при з'єднанні приймачів трикутником.

1. Скласти електричну схему за рис. 2.2.

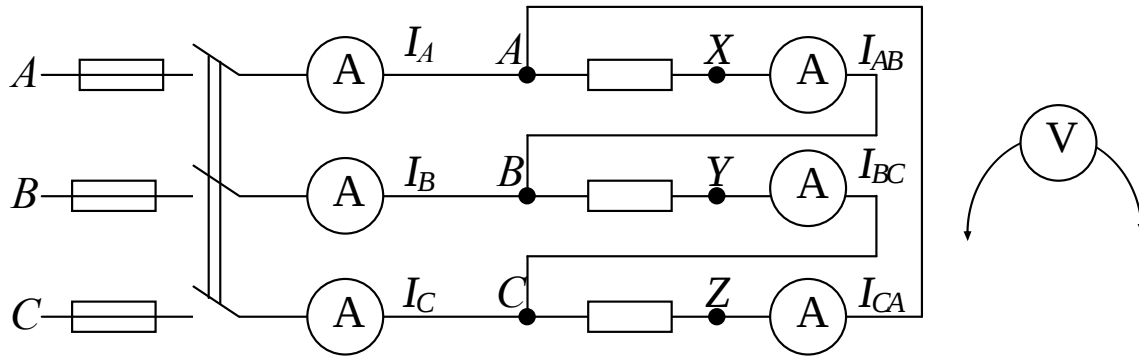


Рис.2.2. Принципова схема вмикання навантаження трикутником

Після перевірки викладачем правильності з'єднань зміряти напруги і струми (лінійні і фазні) у випадку:

- симетричного навантаження;
- несиметричного навантаження.

Результати вимірювань записати в табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Результати дослідження режимів роботи трифазної схеми при вмиканні приймачів трикутником

Режим навантаження	В и м і р я н о									Розраховано		
	Напруга			Струм						Струм		
	Лінійні значення			Лінійні значення			Фазні значення			Лінійні значення		
	$U_{AB},$ В	$U_{BC},$ В	$U_{CA},$ В	$I_A,$ А	$I_B,$ А	$I_C,$ А	$I_{AB},$ А	$I_{BC},$ А	$I_{CA},$ А	$I_A,$ А	$I_B,$ А	$I_C,$ А
Симетричний												
Несиметричний												

Етап 3. Побудова векторних діаграм

1. За даними таблиць 2.1 та 2.2 побудувати в зручному масштабі векторні діаграми напруг і струмів для випадків:

- сполучення зіркою, навантаження активне, симетричне, трипровідна система;
- сполучення зіркою, навантаження активне, несиметричне, чотирипровідна система;
- сполучення зіркою, навантаження активне, несиметричне, трипровідна система;
- сполучення трикутником, навантаження активне, несиметричне.

2. Визначити з векторних діаграм струм в нейтральному проводі I_N і напругу зсуву нейтралі U_{00} і порівняти їх із вимірними величинами.

3. Визначити з векторної діаграми значення лінійних струмів (для з'єднання трикутником) і порівняти їх із вимірними.

Етап 4. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи та її мету.
2. Схема вмикання навантаження за схемою зірка (рис. 2.1) та трикутник (рис. 2.2).
3. Заповнені таблиці 2.1 та 2.2.
4. Векторні діаграми для вказаних у п. 3 випадків.

Методичні вказівки

До етапів 1 та 2

Симетричне навантаження означає, що опори фаз однакові по величині і роду (характеру: активна, реактивна і т. п.).

Симетричним (рівномірним) навантаженням називають навантаження, яке ввімкнене в кожную з фаз, і яке рівне по величині Z_ϕ і характеру ϕ_ϕ , тобто $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C$. (Підкресленні букви - Подання комплексних величин)

Прикладом симетричного навантаження може бути трифазний асинхронний двигун або трифазний трансформатор.

При з'єднанні симетричного навантаження в зірку фазні і лінійні струми і напруги зв'язані наступними співвідношеннями:

$$I_L = I_\phi; \quad U_L = \sqrt{3}U_\phi.$$

При з'єднанні симетричного навантаження трикутником співвідношення між фазними і лінійними струмами і напругами такі:

$$I_L = \sqrt{3}I_\phi; \quad U_L = U_\phi.$$

Несиметричним (нерівномірним) навантаженням називають навантаження ввімкнену в кожную з фаз, що відрізняється або по величині або по характеру, або по величині і характеру, тобто виконується нерівність: $\underline{Z}_A \neq \underline{Z}_B \neq \underline{Z}_C$. (Підкресленні букви - Подання комплексних величин). Прикладом несиметричного навантаження може бути освітлювальна мережа, коли характер навантаження однаковий, а кількість ламп, тобто опір, розрізняється.

При несиметричному навантаженні вектор лінійного струму можна одержати графічно або аналітично з рівнянь, складених по першому закону Кирхгофа для вузлів схеми. (Підкресленні букви - Подання комплексних величин)

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{AB} - \underline{I}_{CA}; \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{BC} - \underline{I}_{AB}; \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{CA} - \underline{I}_{BC}.$$

Напруга зсуву нейтралі вимірюється між нейтральними (нульовими) точками джерела електроенергії і навантаження схеми застосуванні трипровідної схеми вмикання навантаження.

До етапу 3

Побудова векторних діаграм напруги та струмів трифазного приймача.

Графічною частиною звітів по даній лабораторній роботі є векторні діаграми, які будуються за результатами електричних вимірювань напруги та струмів в трифазних приймачах.

Векторні діаграми будуються на міліметровці або на папері в клітинку з дотриманням обраних масштабів і використанням лінійки, транспортира і циркуля.

Трифазна система являє собою три окремі електричні ланцюги, в яких діють синусоїдальні ЕРС однієї і тієї ж частоти (зазвичай 50 герц). Які в свою чергу зміщені один щодо одного на 120° , і створені одним джерелом енергії. Джерелом енергії найчастіше виступає трифазний синхронний генератор.

Векторна діаграма ЕРС (або напруг) фаз в початковий момент часу зображується як три вектори однакової довжини, яка дорівнює амплітудному значенням $E_{\max}$ (або напруги $U_{\max}$), і кут між якими дорівнює 120° . Якщо обертати вектори проти годинникової стрілки, відносно нерухомої осі, то вони будуть проходити в порядку U_A , U_B , U_C , такий порядок називають прямою послідовністю.

При з'єднанні приймача зіркою, зіркою з нейтральним дротом або трикутником, на його входні затискачі А, В, С, N (зірка) або А, В, С (трикутник) завжди подається симетрична система фазної напруги від мережі або синхронного генератора, векторна діаграма яких являє собою симетричну трипроменевою зірку векторів. Побудова векторних діаграм для всіх пунктів програми лабораторної роботи починається з побудови симетричної трипроменевої зірки векторів фазної напруги генератора (джерела живлення, що живить електричну 3-х фазну мережу).

Побудуємо векторну діаграму для симетричної трифазної системи фазних і лінійних ЕРС (напруги) (рис. 2.3).

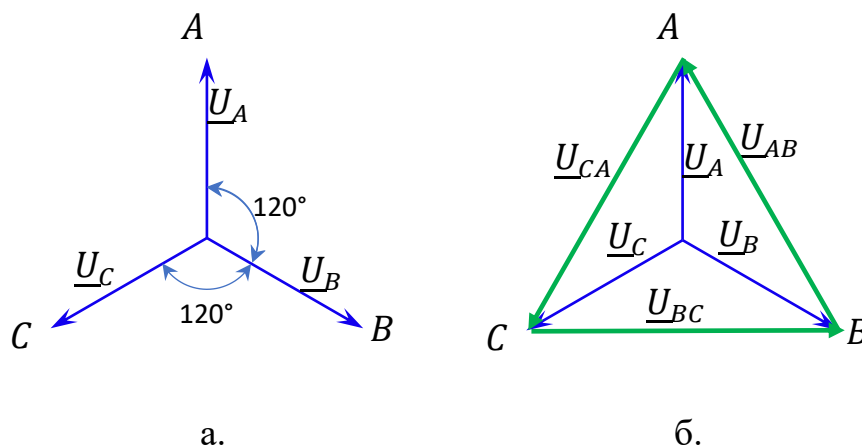
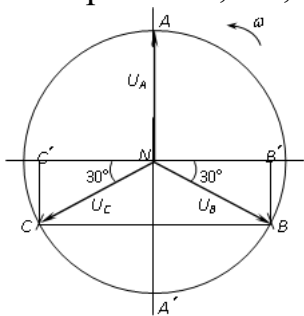


Рис. 2.3. Векторна діаграма для симетричної трифазної системи ЕРС (напруги).
Зірка фазних напруг (синій колір) рис. (а) та трикутник лінійних напруг (зелений колір) рис. (б)

Для зручності при побудові діаграм аналізують нерухомі вектори для певного моменту часу, який вибирається таким чином, щоб діаграма мала зручний для розуміння вид. Ось ОХ відповідає величинам дійсних чисел, вісь ОУ - осі уявних чисел (уявна одиниця). В теорії трифазних ланцюгів прийнято направляти речову вісь координатної системи вертикально вгору а уявну вісь горизонтально вліво. Синусоїда відображає рух кінця проекції на вісь ОУ. Кожний напрузі і току відповідає власний вектор на площині в полярних координатах. Його довжина відображає амплітудне значення величини напруги (струму), при цьому кут дорівнює фазі.

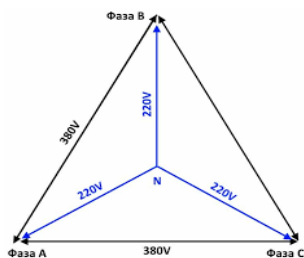
Існують різні способи побудови симетричної трипроменевої зірки векторів. (Метод зарубок, метод транспортира і т. д.) Скористаємося найбільш простим методом побудови.

Нанесемо систему прямокутних координат з початком в точці N (рис.), Відкладемо по осі абсцис 5 частин (клітинок, сантиметрів) в право і в ліво точки (в', с') на малюнку, потім від отриманих кінцевих точок 3 частини (клітинок, сантиметрів) вниз - точки (В, С). При такій побудові кути між усіма 3-ма векторами U_A, U_B, U_C будуть отримані по 120 градусів.



При відповідній побудові відрізок ВС (лінійна напруга U_{BC}) складає 10 частин (клітинок, сантиметрів). При лінійній напрузі 220 В. масштаб складе $220/10 = 22 \text{ В / (кл. або см.)}$. При напрузі 380 В. масштаб $380/10$ відповідно 38 В / (кл. або см.). Довжина всіх фазних векторів (за законом Піфагора $5^2 + 3^2 = 5,83^2$) 5.83 (кл. або см.) При такій побудові дотримуються рівності довжин відрізків $NA = NB = NC$ без застосування циркуля, транспортира і складних побудов.

Рис.2.4 Побудова векторів U_A, U_B, U_C



На цій же діаграмі будуються вектори лінійних напруг U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} у вигляді сторін рівностороннього трикутника, вершинами якого є кінці векторів фазних напруг (точки A, B, C). Очевидно, що довжини побудованих векторів в масштабі напруги відповідають напрузі між двома однойменними точками на електричній схемі.

Рис.2.5. Побудова фазних та лінійних напруг при живленні 220/380 В.

Отримана векторна діаграма фазних напруг приймача дозволяє побудувати векторну діаграму струмів, яка представляє собою графічне рішення першого закону Кірхгофа для вузлових точок N і n. При симетричному навантаженні фазні (рівні для зірки лінійним) струми I_ϕ рівні один одному по величині $I_A = I_B = I_C$ і відрізняються по фазі щодо «своїї» фазної напруги U_A, U_B, U_C на один і той же кут $\varphi = 0$, так як в фазах приймача включені резистори (активне навантаження). Задавши собі масштаб для струмів (рекомендується $1 \text{ (кл. або см.)} = 0,25-0,5 \text{ А}$), будують вектори струмів і проводять їх графічне додавання для визначення струму в нейтральному дроті. На векторній діаграмі ця операція показана із зображенням векторів і пунктиром. Як видно з діаграми кінець

третього вектора (доданка) збігається з початком першого (в точці N, n), що означає що сума векторів (струмів в фазах А, В, С) дорівнює нулю, підтверджуючи такі ж показання амперметра в нейтральному дроті.

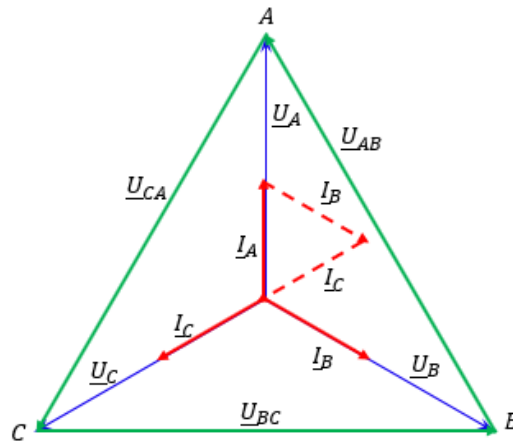


Рис. 2.6. Векторна діаграма для симетричної трифазної системи I (струму).

Оскільки показання приладів в схемі з симетричним навантаженням як і в схемі з нейтральним дротом (4-х провідна система) так і без нього (3-х дротова) повністю ідентичні, необхідність побудови другої такої ж діаграми відпадає. (Векторна діаграма при симетричному навантаженні, показана на рисунку 2.6, справедлива як для випадку з нейтральним дротом, так і без нього.)

Оскільки отримана зірка з трьома променями векторів є вихідною при побудові всіх наступних векторних діаграм для різних режимів роботи трифазного приймача, то, зробивши один раз побудову такої діаграми, можна спростити подальше оформлення звіту. Для цього можна «дублювати, копіювати» побудовану вже зірку векторів для інших режимів роботи трифазного приймача.

Векторні діаграми напруг і струмів, що відповідають роботі ланцюга при несиметричному навантаженні при наявності та обриві нейтрального дроту представлені на малюнках 2.7 а і 2.7 б відповідно.

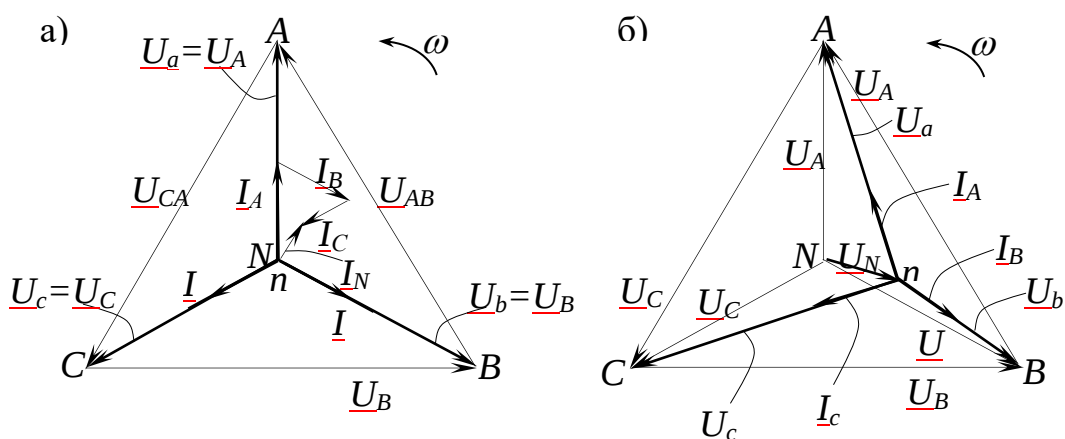


Рис. 2.7. Векторні діаграми для несиметричної трифазної системи.

Векторні діаграми для окремого випадку несиметричного навантаження, коли по третій фазі (С) приймача проходить відмінний від перших двох за величиною струм $I_A = I_B \neq I_C$, показані на малюнках 2.7 а і 2.7 б. Побудувавши векторну діаграму фазних і лінійних напруг (див. попередній малюнок) у вигляді симетричної зірки і правильного трикутника.

Векторна діаграма при наявності нейтрального дроту показана на рис. 2.7 а, де вектори струмів з урахуванням масштабу побудовані так, що збігаються по фазі зі «своїми» фазними напругами. Вектор струму в нейтральному дроті будується графічно складанням векторів за правилом багатокутника (чотирикутника). Вимірявши довжину вектора і знаючи масштаб, можна порівняти результат з величиною струму I_N , виміряного амперметром A_N та за цією перевіркою переконатися в правильності виконаних графічних побудов.

Векторна діаграма при обриві нейтрального дроту і несиметричному приймачі приведена на малюнку 2.7 б. Зобразивши векторну діаграму симетричних фазних і лінійних напруг, необхідно побудувати несиметричну зірку векторів фазної напруги приймача. Спочатку знаходять положення (потенціал) нейтральної точки приймача n (центр цієї зірки). Для цього за допомогою циркуля його радіусами рівними фазним напруженням (з дотриманням масштабу) U_a, U_b, U_c , роблять зарубки з вершин трикутника лінійних напруг відповідно А, В, С. (першу зарубку роблять при радіусі циркуля, що дорівнює в масштабі фазній напрузі U_a , поставивши ніжку циркуля в вершину трикутника А. Потім роблять дві аналогічні зарубки з точок в і С.) точка перетину цих зарубок і є точка n . З точки n в вершини трикутника АВС проводяться фазні напруги приймача. Поєднавши точки N і n , отримують вектор U_N (напруга зсуву нейтралі) довжину якого можна виміряти і (з урахуванням масштабу) порівняти з отриманими даними вимірювання U_N вольтметром V_N .

Трифазний ланцюг з навантаженням, з'єднаним в трикутник.

Якщо фази навантаження, для якої будується діаграма, з'єднані в трикутник, то виконуємо побудову фазних струмів. Фазні струми кожної з фаз будуються з початку відповідних фазних напруг (які для трикутника рівні виміряним лінійним напругам U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}). При активному навантаженні струм і напруга збігаються за напрямком, тому кут дорівнює нулю. Далі будуємо лінійні струми відповідно до вимірів. З отриманої діаграми видно, що сума фазних струмів в трикутнику при симетричному навантаженні дорівнює нулю. Лінійні струми відповідно до першого закону Кірхгофа повинні утворювати замкнутий трикутник. Це перевірна побудова також виконується на діаграмі.

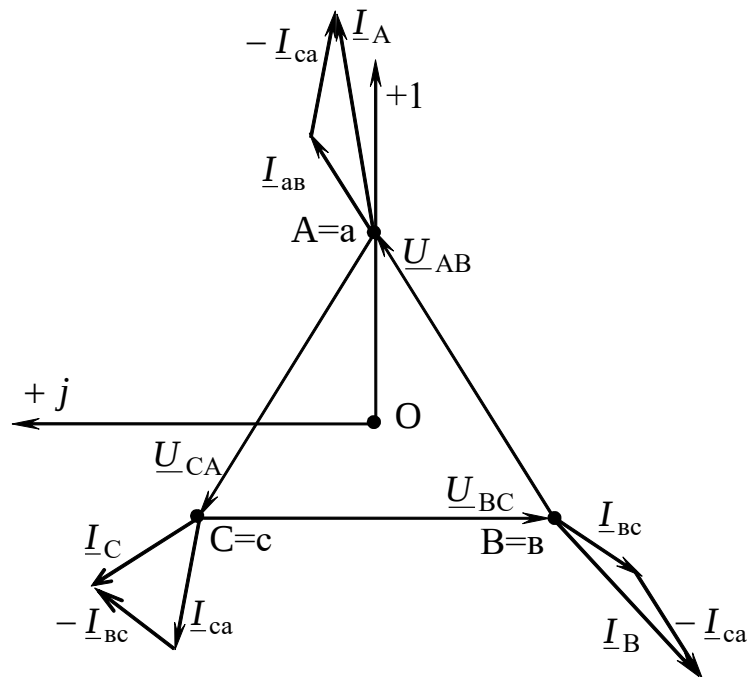


Рисунок 2.8. Векторні діаграми для випадку з'єднання трифазної мережі в трикутник для несиметричного навантаження. (для активного навантаження напрям струмів співпадає з напрямком відповідних напруг.)

Контрольні запитання

1. Нарисуйте схеми з'єднання навантаження зіркою, трикутником.
2. Яке навантаження називається симетричним, несиметричним?
3. Приведіть співвідношення між лінійними і фазними струмами і напругами.
4. У яких випадках використовується трипровідна, а в яких – чотирипровідна система вмикання навантаження?
5. Вкажіть призначення нейтрального проводу.
6. Як обчислити значення струму в нейтральному проводі?
7. Що називається напругою зсуву нейтралі, і як його визначити?
8. У яких випадках напруга зсуву нейтралі дорівнює: а) нулю; б) фазній напрузі джерела?
9. Чому в нейтральний провід не рекомендують ставити запобіжники?
10. Побудуйте векторні діаграми при умиканні приймачів зіркою і трикутником при симетричному і несиметричному навантаженнях.
11. Приведіть приклади трифазних симетричних навантажень.
12. У яких випадках можна обійтися без нейтрального проводу?
13. Як експериментально визначити нейтральний і лінійні проводи?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРА ТА ПРИБЛИЗНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО НОМІНАЛЬНИХ ВЕЛИЧИН

Мета роботи: Вивчити будову трансформаторів, встановити придатність його для експлуатації за рівнем ізоляції струмоведучих частин, ознайомитися з методами орієнтовного визначення даних трансформатора: коефіцієнта трансформації, допустимих струмів первинної і вторинної обмоток, первинних і вторинних напруги і потужності.

Програма роботи:

1. Вивчення конструкції трифазного трансформатора.
2. Перевірка обмоток трансформатора на відсутність обривів.
3. Вимір опорів ізоляції обмоток.
4. Визначення числа витків обмоток і коефіцієнта трансформації.
5. Наближене визначення допустимих струмів обмоток.
6. Обчислення значень фазних напруги і струмів обмоток, а також потужності трансформатора.
7. Складання паспорта трансформатора.
8. Складання звіту.

Порядок виконання роботи

Етап 1. Вивчення конструкції трифазного трансформатора

Вивчити конструкцію наявного в лабораторії трансформатора ТМШ-50, 6/0.4, встановити спосіб збирання сердечника: шихтований або стиковий, спосіб пресування листів сталі, спосіб ізоляції листів сталі, форму поперечного перетину стержнів і ярма. Визначити обмотки вищої (ВН) і нижчої (НН) напруг і спосіб регулювання напруги. Ознайомитися з конструкцією бака і уводів.

Етап 2. Перевірка обмоток трансформатора ТСШ-2, 5/0.5 на відсутність обривів і правильність маркування виводів обмоток

Зібрати схему згідно рис. 1.1. і після перевірки її викладачем зробити пробне вмикання. Перевірити контрольну лампу, для чого потрібно замкнути кінці щупів між собою.

Перевірити обмотки трансформатора ТСШ-2, 5/0.5 на відсутність обривів. На ескізах клемних зборок вказати маркування виводів обмоток ВН і НН.

Етап 3. Вимір опорів ізоляції обмоток

3.1 Мегомметром вимірити опір ізоляції усіх фаз обмоток ВН і НН щодо корпусу (К), а також між собою. Дані вимірів записати в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. *Результати виміру опору ізоляції та розрахунку*

Заміряно									Розраховано
R_{A-K}	R_{B-K}	R_{C-K}	R_{A-a}	R_{B-b}	R_{C-c}	R_{a-K}	R_{b-K}	R_{c-K}	мінімально допустимий опір
МОм	МОм	МОм	МОм	МОм	МОм	МОм	МОм	МОм	МОм

3.2 Розрахувати допустимий опір ізоляції $R_{\text{доп}}$ з урахуванням робочої напруги та записати в табл. 1.1. Згідно ДСУ, опір ізоляції машин низької напруги, апаратів і ліній повинен бути **не менше** 0,1 МОм на **кожен вольт** робочої напруги.

3.3 Порівнявши результати вимірів з обчисленими припустимими значеннями опору ізоляції, зробити висновок про придатність трансформатора для використання за рівнем ізоляції обмоток.

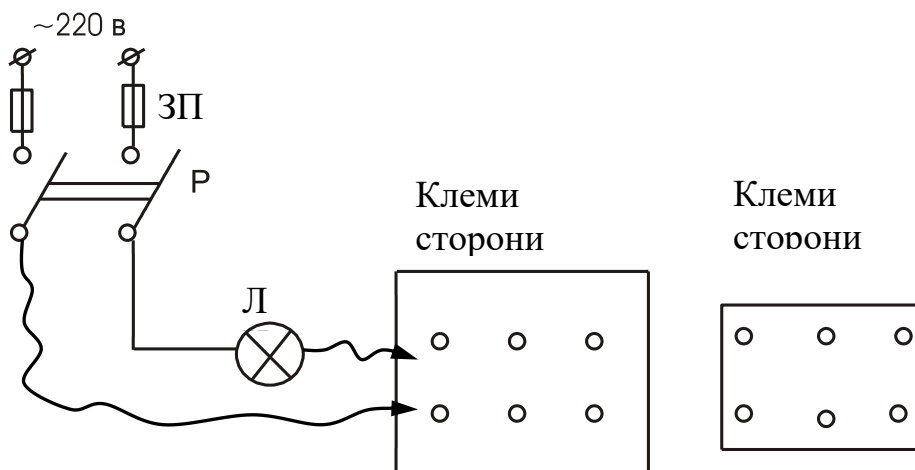


Рисунок 3.1. Перевірка обмоток на відсутність обривів і правильність маркування виводів обмоток

Етап 4. Визначення числа витків обмоток і коефіцієнта трансформації

Число витків фази первинної W_1 і вторинної W_2 обмотки визначається за допомогою допоміжної третьої обмотки, яку потрібно намотати (для зручності така обмотка вже намотана $W_3 = 20$ витків – **затискачі 1-2**).

Для цього потрібно зібрати схему за рис. 3.1, і після перевірки її

викладачем увімкнути та зробити виміри напруг обмоток. Результати вимірів і розрахунків записати в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. *Результати визначення числа витків обмоток і коефіцієнта трансформації*

Заміряно			Розраховано		
U_{AX}	U_{ax}	U_{12}	$k = \frac{U_{AX}}{U_{ax}}$	$W_1 = \frac{U_{AX}}{U_{12}} \cdot W_3$	$W_2 = \frac{W_1}{K}$
В	В	В	-	ВИТКІВ	ВИТКІВ

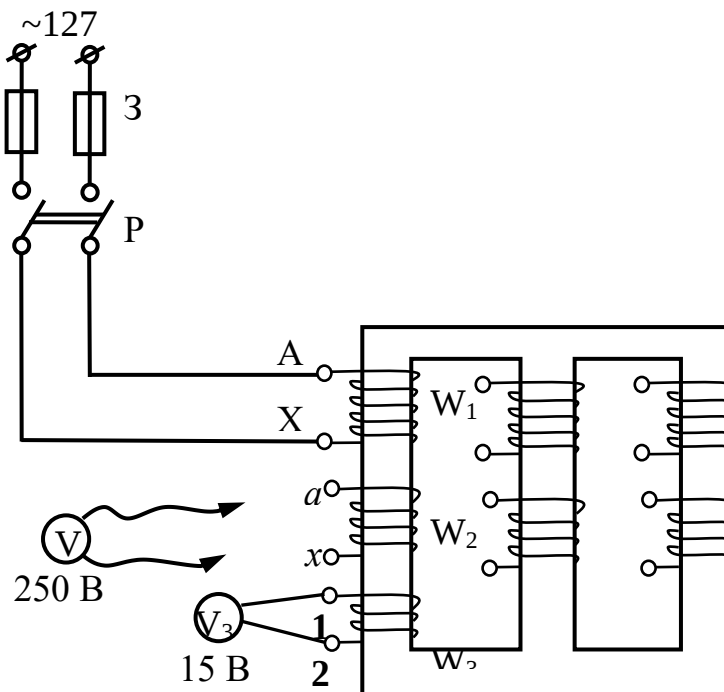


Рисунок 3.2. Схема вмикання для визначення числа витків обмоток і коефіцієнта трансформації.

Етап 5. Наближене визначення струмів обмоток

5.1 Визначити діаметр проводу d_1 ($d_1 = 2$ мм) і розрахувати перетин q_1 проводу обмотки ВН, мм².

5.2 Визначити допустимий фазний струм обмотки ВН:

$$I_{1\phi} = Jq_1, \quad A$$

J - допустима густина струму для обмоток трансформаторів.

Для сухих закритих трансформаторів допустима густина струму знаходиться в межах:

$$J = (1,2 \dots 1,4) \frac{A}{\text{мм}^2}$$

5.3 Визначити допустимий фазний струм обмотки НН:

$$I_{2\phi} = k I_{1\phi}$$

k – коефіцієнт трансформації

Етап 6. Обчислення орієнтовних значень ЕРС обмоток і потужності трансформатора.

6.1 Накреслити ескіз поперечного перетину стержня, вказати розміри та визначити його площу $\Pi_{cm}, \text{см}^2$

6.2 Обчислите площу поперечного перетину сталі сердечника:

$$\Pi_c = k_3 \Pi_{cm}, \quad \text{см}^2$$

де k_3 – коефіцієнт заповнення перетину стержня сталлю. Величина k_3 залежить від виду міжлистової ізоляції:

$k_3 = (0,92 \dots 0,95)$ – для листів, ізольованих лаком.

6.3 Визначити фазні ЕРС обмоток:

$$E_{1\phi} = 4,44 f_1 W_1 B_m \Pi_c \cdot 10^{-4}, \quad B$$

де $B_m = (0,9 \div 1,0)$, T_l – рекомендовані значення індукції в стержнях сухих трансформаторів; $f_1 = 50 \text{ Гц}$ – частота струму мережі.

$$E_{2\phi} = \frac{E_{1\phi}}{k}, \quad B$$

6.4 Оскільки $U_{1\phi} \approx E_{1\phi}$, та $U_{2\phi} \approx E_{2\phi}$ то отримані значення ЕРС округлити до найближчих стандартних.

Стандартні напруги обмоток трансформаторів до 1000 В
*обмоток **ВН:** ... 127; 220; 380; 660 В,*
*обмоток **НН:** ... 133; 230; 400; 690 В.*

6.5 Розрахувати потужність трансформатора:

$$S = 3 U_{1\phi} I_{1\phi} 10^{-3}, \text{кВ}\cdot\text{А}$$

Отримане розрахункове значення потужності округлити до найближчого

стандартного.

Стандартний ряд потужностей шахтних освітлювальних сухих трансформаторів:

$$1,0; 1,5; 2,5; 4; 6,3 \text{ кВ}\cdot\text{А}$$

6.6 Розрахувати номінальні струми обмоток, з урахуванням прийнятих в п.п. 5.4 та 6.5 значень $U_{1нф}$, $U_{2нф}$ та S_n :

$$I_{1нф} = \frac{S_n 10^3}{3U_{1нф}}, \text{ А}$$
$$I_{2нф} = I_{1нф} k, \text{ А}$$

Етап 7. Складання паспорта трансформатора

7.1 Розрахувати лінійні напруги і струми трансформатора при різних схемах з'єднання обмоток та записати їх в табл.3.3.

Таблиця 3.3. Паспортні дані трансформатора

S_n кВ · А	Схема з'єднання обмоток	Обмотки ВН		Обмотки НН	
		$U_{1л}$ В	$I_{1л}$ А	$U_{2л}$ В	$I_{2л}$ А
	Y/Y				
	Δ/Δ				

Етап 8. Звіт

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

- 8.1 Найменування і мету роботи.
- 8.2 Результати вимірів і обчислень по всіх пунктах програми, що занесені в таблиці 3.1, 3.2, 3.3.
- 8.3 Схеми за рис. 3.1, 3.2.
- 8.4 Ескіз поперечного перетину стержня з розмірами.
- 8.5 Схема вмикання трансформатора в мережу.
- 8.6 Заповнений паспорт трансформатора.

Контрольні запитання

1. Що називають трансформатором?
2. Яке призначення трансформатора?
3. Де застосовують трансформатор?

4. Призначення і обладнання окремих елементів трансформатора (магнітної системи, обмоток, бака, виводів, а також системи охолодження)?
5. Як побудовані однофазні трансформатори стержневого і броньового типів?
6. Як побудований трифазний трансформатор?
7. Які матеріали застосовуються для виготовлення магнітної системи силових трансформаторів?
8. Які існують способи складання магнітопроводів трансформаторів?
9. Які існують способи ізоляції листів сталі? Яке призначення має ізоляція листів сталі?
10. З якою метою стержні силових трансформаторів виконуються з поперечним перетином східчастої форми?
11. Що таке коефіцієнт трансформації напруг? Чим відрізняється фазний коефіцієнт трансформації від лінійного?
12. Як визначити фазний і лінійний коефіцієнти трансформації розрахунковим шляхом?
13. Як визначити коефіцієнт трансформації експериментальним шляхом? Схема досліду. Чи можна визначити коефіцієнт трансформації при напрузі, що відрізняється від номінальної?
14. Як визначити допустимі струми обмоток трансформатора?
15. Як визначити напруги обмоток трансформатора?
16. Назвати можливі схеми з'єднання обмоток трифазних трансформаторів? Як вибрати необхідну схему з'єднання обмоток?
17. Чи можна вмикати трансформатор на постійну напругу, що дорівнює номінальній.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТРИФАЗНИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА МЕТОДОМ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Мета роботи: Вивчити конструкцію трифазних асинхронних двигунів з фазним та короткозамкненим роторами. Вивчити умови створення обертового магнітного поля. З'ясувати принцип дії асинхронного двигуна. Використовуючи методику дослідження двигунів методом безпосереднього навантаження отримати експериментально дані для побудови робочих та робочого ділянки механічної характеристик асинхронного двигуна.

Програма роботи

1. Вивчення будови асинхронних двигунів з фазним і короткозамкненим роторами.

2. Вивчення умов створення обертового магнітного поля та принципу роботи двигуна.
3. Встановлення можливості вмикання двигуна
4. Вивчення будови випробувального стенду для роботи асинхронного двигуна під навантаженням.
5. Розрахунок моментів навантажень.
6. Проведення експерименту, обробка даних і побудова робочих характеристик.
7. Складання звіту.

Порядок виконання роботи

Етап 1. Вивчення будови асинхронних двигунів з фазним і короткозамкненим роторами.

Ознайомитися з номінальними даними трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, що досліджується, за якими розрахувати

- номінальний момент – $M_{ном}$;
- синхронну частоту обертання – n_1 ;
- споживану потужність – $P_{Iном}$;
- номінальне ковзання – $s_{ном}$;
- кількість полюсів – $2p$.

При розрахунках прийняти, що частота мережі складає 50 Гц .

Номінальні дані двигуна та результати розрахунку занести в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. – Заводські (номінальні) данні асинхронного двигуна та результати розрахунку. Робоче місце № _____ Тип двигуна _____

Номінальні данні двигуна								Розрахункові данні					
Схема з'єднання обмоток	$U_{Iном}, \text{ В}$	$I_{Iном}, \text{ А}$	$P_{2ном}, \text{ кВт}$	$n_{ном}, \text{ об./хв}$	$\eta_{ном}, \%$	$\cos \varphi$	$f_1, \text{ Гц}$	$2p$	$n_1, \text{ об./хв}$	$s_{ном}$	$\omega_{ном}, \text{ рад/с}$	$M_{ном}, \text{ Н·м}$	$P_{Iном}, \text{ Вт}$

Етап 2. Вивчення умов створення обертового магнітного поля

Використовуючи діючий макет трифазної обмотки, переконатися у можливості створення:

- магнітного поля однієї фази;
- магнітного поля трьох фаз;
- магнітного поля двох фаз при живленні двофазною несиметричною системою струмів;
- магнітного поля двох фаз при живленні однофазним струмом.

Одна фазна обмотка, живлячись змінним струмом, створює нерухоме в просторі магнітне поле, вісь якого перпендикулярна площині котушки цієї фази.

Дві фазні обмотки, що живляться змінним струмом також створюють результуюче поле, яке нерухоме у просторі, вісь якого при відповідному з'єднанні обмоток ($H_1-K_1-H_2-K_2$) перпендикулярна площині котушки третьої фази.

Трифазна симетрична обмотка, яка живиться трифазною системою струмів, при правильному (відповідному) з'єднанні обмоток (див. методичні вказівки до етапу 5) створює магнітне поле що обертається в просторі.

Кількість полюсів машини можна визначити експериментально, якщо під'єднати одну з фаз статора з вийнятим ротором до джерела постійного струму. Як індикатор використовують сталеву стрілку.

Підключивши цей статор до джерела трифазного змінного струму, за допомогою сталевий стрілки можна встановити наявність магнітного поля, що обертається, і напрям його обертання.

Розташуйте на внутрішній поверхні сердечника статора металеву кульку. Дайте пояснення, чому кулька перекочується по внутрішній поверхні із значно меншою частотою обертання вбік, протилежний напрямку обертання обертового магнітного поля.

Етап 3. Встановлення можливості вмикання двигуна

Перевірити справність механічних елементів двигуна: цілість корпусу, підшипникових щитів, кришок ввідного пристрою, наявність мастила підшипників та інше. Обертаючи рукою вал двигуна, переконатися, що ротор не зачіпає за сердечник статора, вентилятор – за корпус, немає затирання в підшипниках.

В АД з фазним ротором перевіряють також стан та якість контактних кілець та щіткового апарату, щільність прилягання щіток до кілець.

Деякі асинхронні двигуни виготовляються для живлення від мереж з напругою одного значення (наприклад двигуни з $U_{ном}=660\text{ В}$). У цьому випадку на клемну панель двигуна виводяться тільки три виводи – початки фазних обмоток, а міжфазні з'єднання за відповідною схемою виконуються в області лобових частин (так звані "глуха зірка" або "глухий трикутник").

Більшість двигунів може підключатися до мереж двох рівнів напруги, відинних в $\sqrt{3}$ раз (220/380; 380/660). В цьому випадку на клемній панелі двигуна розташовуються обидва виводи від кожної фази. Фазні обмотки з'єднуються між собою в "трикутник" при низькій напрузі в мережі або в "зірку" – при підключенні до мережі з напругою в $\sqrt{3}$ раз більшою. Для правильного з'єднання фазних обмоток між собою треба знати "початки" і "кінці" фазних обмоток.

Етап 4. Вмикання двигуна в мережу.

Визначити, за якою схемою (Δ або Y) необхідно з'єднати обмотки статора двигуна при підключенні до даної трифазної мережі.

Схема вмикання двигуна в мережу складається з врахуванням напруги мережі. Вона повинна містити:

- апарат управління – автоматичний вимикач;
- апарат захисту від коротких замикань – плавкі запобіжники.

Після збірки схему перевіряє викладач, далі здійснюється запуск двигуна.

Якщо при запуску двигун працює ненормально (підвищені шуми, знижена частота обертання) його треба негайно вимкнути, знайти і усунути помилки: перевірити правильність збірки схеми та правильність маркування виводів.

Етап 5. Вивчення будови випробувального стенду для роботи асинхронного двигуна під навантаженням.

Оглянути двигун, перевіряти його механічну справність, встановити напрям обертання. Заводські (номінальні) дані двигуна повинні бути записані в табл. 4.1.

Ознайомитися з особливостями дослідного стенду та принципом дії електромагнітного гальма, будовою пускового апарату, звернувши особливу увагу на правила користування ним.

Етап 6. Розрахунок моментів навантажень

Рекомендується при експерименті створювати на валу моменти навантаження, рівні приблизно $M_{нав} = (1,2; 1,0; 0,75; 0,5; 0,25; 0) \cdot M_{ном}$. Розрахунок моментів навантаження проводиться в наступному порядку :

- визначається номінальний момент двигуна $M_{ном} = \frac{9550 \cdot P_{ном}}{n_{ном}}, Н \cdot м$,

де $P_{ном}$ – номінальна потужність двигуна у кВт ;

- розраховуються значення моменту навантаження.

Результати розрахунку значень моменту навантаження на валу двигуна (з точністю до другого знака після коми), що створюється за допомогою електромагнітного гальма, занести у таблицю 4.2, а на шкалі електромагнітного гальма відкласти отримані значення.

Етап 7. Дослідження робочих характеристик двигуна

Підключити вимірювальні пристрої та додатковий резистор до відповідних ділянок та виводів схеми (рис. 4.1). Після перевірки викладачем правильності складання схеми подати напругу живлення та встановити в колі гальмового механізму мінімальний струм (мінімальне показання амперметра A_T) за допомогою автотрансформатора AT , створивши тим самим мінімальне навантаження на валу двигуна. Встановити перемикач приладів у середнє положення "відкл" та здійснити пуск двигуна за допомогою пускача.

За допомогою електромагнітного гальма (змінюючи положення регулятора автотрансформатора AT) створити необхідне навантаження на валу двигуна. При

цьому стрілка на шкалі електромагнітного гальма зі зміною струму в колі гальмового механізму буде відхилятися на деякий кут, який відповідає навантаженню, що прикладається до валу двигуна.

Переводячи перемикач в положення "Фаза А" та положення "Фаза С" зняти показання приладів, з врахуванням впливу на їх ціни поділок трансформаторів струму та додаткових резисторів (коефіцієнт трансформації трансформаторів струму TC_1 та TC_2 $K_T = 3$). Зняти показання приладів для кожного з розрахованих значень моменту навантаження на валу двигуна $M = (1,2; 1,0; 0,75; 0,5; 0,25; 0) \cdot M_{ном}$. Результати вимірювань занести в табл. 4.2.

За результатами вимірювань розрахувати робочі параметри двигуна при заданих значеннях навантажувального моменту M (потужність що споживається P_1 корисну потужність на валу P_2 , коефіцієнт корисної дії η , коефіцієнт потужності $\cos\varphi$ та ковзання s) за формулами:

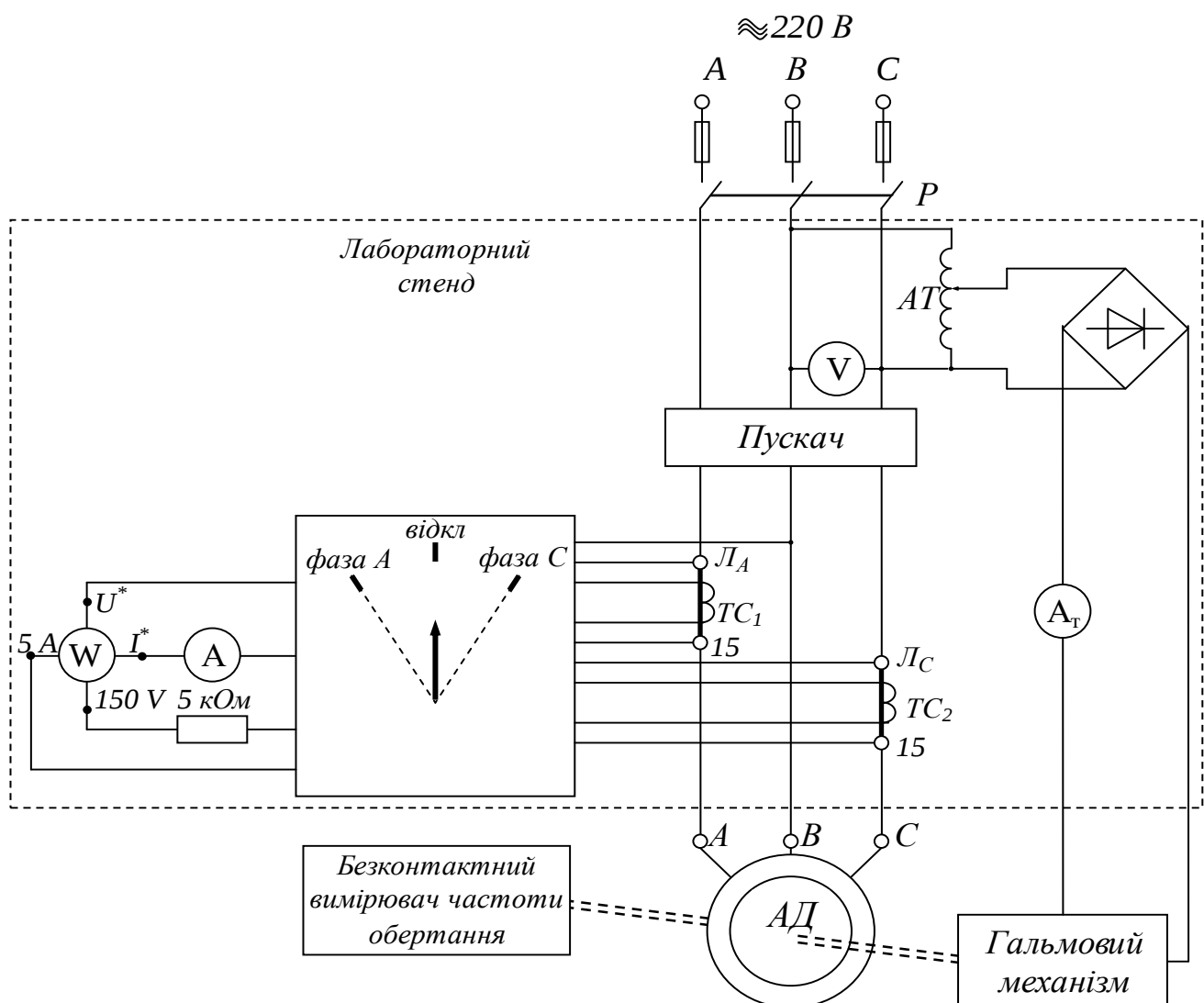


Рисунок 4.1 – Схема вмикання асинхронного двигуна при безпосередньому навантаженні.

$$P_1 = P_A + P_C, \text{ Вт}; \quad P_2 = \frac{n \cdot M}{9.55}, \text{ Вт}; \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%;$$

$$\cos \phi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1 I_1}; \quad s = \frac{n_1 - n}{n_1},$$

де n_1 – частота обертання магнітного поля (синхронна частота обертання).

Результати розрахунку занести в табл. 4.2.

За даними табл. 4.2 побудувати у одній системі координат (в масштабі) робочі характеристики двигуна:

$$P_1=f(P_2); \quad I_1=f(P_2); \quad M=f(P_2); \quad n=f(P_2); \quad \eta=f(P_2); \quad \cos\phi=f(P_2); \quad s=f(P_2).$$

Таблиця 4.2.

Дослідження робочих характеристик двигуна

№ п/п	Виміряно							Обчислено					
	$M,$ $H \cdot m$	$n,$ $об./хв$	$U_1,$ B	$I_A,$ A	$I_C,$ A	$P_A,$ Bm	$P_C,$ Bm	$I_1,$ A	$P_1,$ Bm	$P_2,$ Bm	$\eta,$ %	$\cos\varphi_1,$ —	$s,$ —
1													
2													
3													
4													
5													
6													

Примітка: Показання ватметрів записувати з врахуванням знаків.

Етап 9. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи та її мету.
2. Заводські дані асинхронної машини і додаткові дані, отримані розрахунком (таблиця 4.1).
3. Схеми експериментальних досліджень (рисунок 4.1).
4. Таблицю 4.2 з результатами вимірювань та розрахунку
5. Розрахунок робочих параметрів двигуна.
6. Робочі характеристики в масштабі в одній системі координат.

Методичні вказівки

До етапу 1

Номінальний момент двигуна визначається:

$$M_{ном} = \frac{9550 \cdot P_{ном}}{n_{ном}} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}}, \quad H \cdot m,$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність двигуна (потужність на валу), $кВт$; n_n – частота обертання ротора при номінальному навантаженні, $об./хв$; $\omega_{ном}$ – кутова частота обертання ротора при номінальному навантаженні, $рад/с$.

$$\omega_{ном} = \frac{2\pi \cdot n_{ном}}{60} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30}, \text{ рад/с, } (с^{-1}).$$

Споживана потужність двигуном з мережі визначається:

$$P_1 = \sqrt{3} U_{ном} I_{ном} \cos \phi_{ном} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

або

$$P_1 = \frac{P_{ном}}{\eta_{ном}}, \text{ кВт.}$$

Номінальне ковзання визначається:

$$s_{ном} = \frac{n_1 - n_{ном}}{n_1},$$

де n_1 – синхронна частота обертання магнітного поля, *об./хв.*

Синхронна частота обертання (частота обертання поля машини):

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}, \text{ об./хв,}$$

де f_1 – частота струму мережі, *Гц*; p – кількість пар полюсів машини.

Якщо кількість пар полюсів обмотки статора визначити не вдається, синхронну частоту обертання можна визначити як найближче, більше по відношенню до $n_{ном}$ синхронне число. Ряд синхронних частот обертання (при частоті мережі 50 Гц): 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 і т.п. (об./хв).

До етапу 2

Обмотки статора трифазних двигунів складаються з трьох фаз, мають однакові параметри і зсунуті у просторі на 120 *ел. град.*

Для можливості використання двигуна при двох стандартних напругах мережі на клемну коробку двигуна, як правило, вмонтовуються 6 виводів – по два від кожної фази. Для правильного виконання схеми трифазної обмотки необхідно знати виводи кожної фази і початки та кінці фазних обмоток.

Виводи кожної фази визначаються мегомметром, вольтметром або лампою, як два затискачі, між якими існує електричний зв'язок.

До етапу 4

Фазні обмотки з'єднуються між собою в "трикутник" при низькій напрузі в мережі або в "зірку" при підключенні до мережі з напругою в $\sqrt{3}$ раз більшою.

Наприклад, в асинхронних двигунів, у яких в паспортній табличці зазначено, що вони працюють при напрузі 220/380 В, обмотку статора з'єднують за схемою "трикутник" при роботі з мережею з лінійною напругою 220 В, а коли в мережі лінійна напруга складає 380 В обмотку статора вмикають за схемою "зірка". В обох випадках фазна напруга на обмотках двигуна буде складати 220 В.

Схему вмикання необхідно складати з урахуванням конкретних умов лабораторії.

При розробці схеми вмикання двигуна в мережу слід враховувати, що вона повинна містити пускову апаратуру (автоматичні вимикачі, магнітні пускачі, пускові реостати для двигунів з фазним ротором) і апаратуру захисту (плавкі запобіжники, теплові, струмові реле та інші апарати захисту).

Для здійснення реверсування асинхронного двигуна необхідно змінити порядок чергування фаз двигуна, що викличе зміну напрямку обертання магнітного поля, а воно, у свою чергу – зміну напрямку обертання валу двигуна.

До етапу 6

Дослідний стенд складається з асинхронного трифазного двигуна з короткозамкненим ротором, навантажувального механізму, безконтактного датчика частоти обертання вала двигуна, електромагнітного пускача та частково зібраного електричного кола вмикання двигуна. Для завершення складання електричного кола необхідно ввімкнути ватметр з додатковим опором, амперметр та вольтметр.

Навантажувальний механізм являє собою електромагнітне гальмо, в якому навантажувальний момент $M_{нав}$ створюється за рахунок силової взаємодії вихрових струмів сталевого диска на валу двигуна з магнітним полем електричних котушок. Котушки закріплені разом з вантажем з можливістю повороту навколо осі таким чином, що їх кут повороту, разом з покажчиком гальмового механізму відповідає моменту навантаження $M_{нав}$. Навантажувальний момент $M_{нав}$ встановлюється шляхом регулювання струму в котушках за допомогою автотрансформатора $АТ$. При цьому, при збільшенні струму в котушках збільшується сила взаємодії сталюого диска з магнітним полем котушок, внаслідок чого збільшується кут повороту котушок з вантажем. Механічна енергія двигуна, при цьому, витрачається в основному на нагрів сталюого диска.

До етапу 8

Побудова робочих характеристик

Робочими характеристиками називаються залежності струму статора, споживаної потужності, частоти обертання, ковзання, електромагнітного моменту, ККД і коефіцієнта потужності від потужності, що віддається двигуном. Рекомендується будувати робочі характеристики по декількох точках, що відповідають наступним значенням корисної потужності:

$$P_2 = (0; 0.25; 0.5; 0.75; 1.0; 1.2)P_n.$$

Необхідні розрахунки і побудови рекомендується виконувати в наступному порядку:

- а) нанести на систему координат часткові значення корисної потужності;
- б) нанести на систему координат розподілом кожної робочої точки значення величини I_1 ; P_1 ; s ; n ; M ; η та $\cos \phi_1$ (значення I_1 ; P_1 ; M та n - у фізичних одиницях, а s та η – у відносних одиницях чи в відсотках.)

г) будують в одній системі координат (по осі абсцис – P_2 ; по осі ординат – залежні величини) графіки залежностей. Шкали усіх величин повинні бути рівномірними. Масштаб величин вибрати з таким розрахунком, щоб забезпечувалося задовільне заповнення поля креслення. Зразковий вид робочих характеристик наведено на рис. 4.2.

Побудова природної механічної характеристики.

Потрібно побудувати цю характеристику в межах частот обертання від синхронної до нуля (від режиму ідеального холостого ходу до режиму короткого замикання).

Дані для побудови робочої частини характеристики в межах навантажень від 0 до $P_2 = 1,2P_n$ отримані вище.

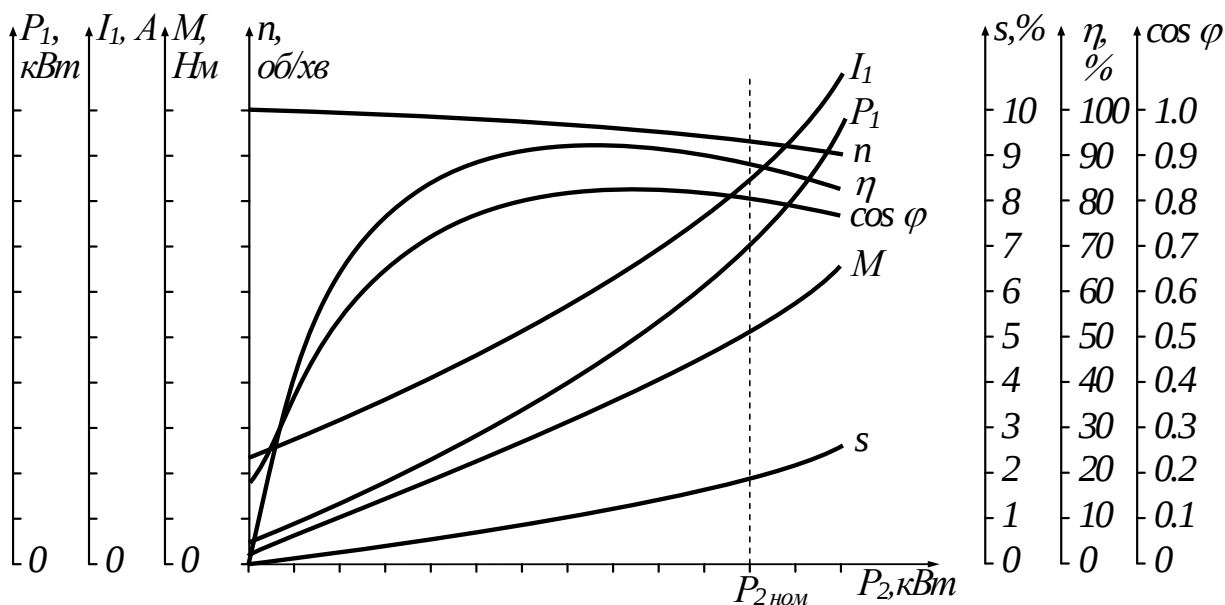


Рисунок 4.2 – Робочі характеристики асинхронного двигуна (загальний вигляд)

Загальний вид природної механічної характеристики асинхронного двигуна наведено на рис. 4.3.

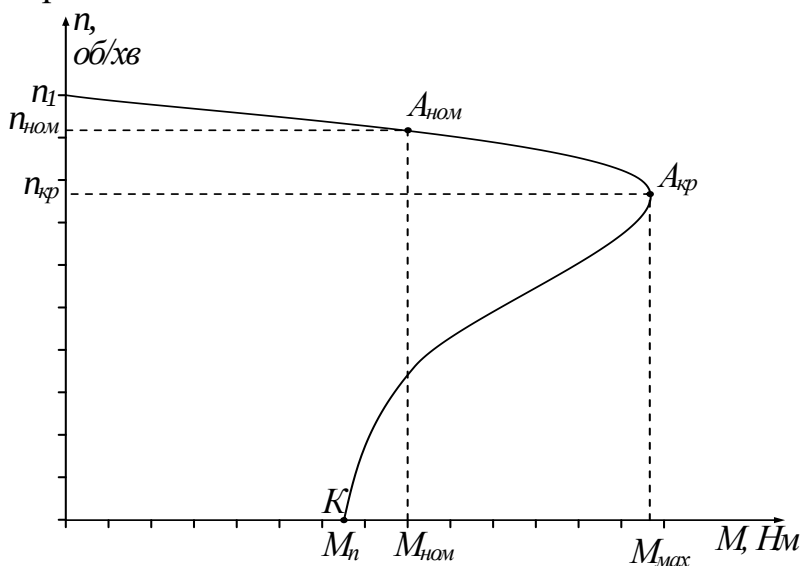


Рисунок 4.3– Механічна характеристика асинхронного двигуна (загальний вигляд)

Контрольні запитання

1. Дайте словесне визначення поняття "асинхронна машина".
2. Дайте визначення поняття "синхронна частота обертання" та назвіть ряд синхронних частот обертання для частоти мережі 50 Гц.
3. Укажіть умови для створення обертового магнітного поля.
4. Поясніть принцип дії асинхронного двигуна.
5. Укажіть переваги і недоліки асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором.
6. Укажіть переваги і недоліки асинхронних двигунів з фазним ротором.
7. Укажіть взаємозв'язок між числом полюсів, частотою живлячої напруги і частотою обертання ротора асинхронної машини.
8. У чому складається дослідний та розрахунковий способи визначення числа полюсів машини?
9. Яким способом можна встановити, що обмотка створює обертове магнітне поле?
- 10.3 якою метою при наладці треба виміряти опір ізоляції обмоток двигуна?
- 11.Яким чином можна змінити напрям обертання ротора асинхронного двигуна (реверсувати двигун)?
- 12.По якій схемі треба з'єднати фазні обмотки статора, якщо на щітку заводських даних (шильдику) вказана номінальна напруга 380/660 В, а в цеху є трифазна мережа змінного струму з лінійною напругою 660 В?
- 13.На якому принципі засновано метод визначення початків і кінців виводів обмоток статора?
- 14.Поясніть особливості охолодження двигунів з ступенями захисту IP23 та IP44.
- 15.Дайте визначення понять:

1. – номінальна напруга (лінійна та фазна);	2. – номінальний струм;
3. – номінальна потужність;	4. – номінальне ковзання;
5. – потужність, що споживається;	6. – номінальний $\cos \varphi$;
7. – номінальна частота обертання;	8. – номінальний ККД.

- 16.Які переваги та недоліки має асинхронний двигун з короткозамкненим ротором в порівнянні з асинхронним двигуном з фазним ротором?
- 17.Яке призначення має автотрансформатор, що вмикається в коло гальмового механізму?
- 18.Чому при роботі двигуна без навантаження струм статора не дорівнює нулю?
- 19.Які причини того, що струм холостого ходу асинхронного двигуна відносно великий у порівнянні з струмом холостого ходу трансформатора?
- 20.Чому частота обертання ротора двигуна, що працює без навантаження, не дорівнює синхронній частоті?
- 21.Які види втрат мають місце в асинхронному двигуні?

22. Чому магнітні втрати в сердечнику ротора не враховують?
23. На які види втрат впливають величина повітряного зазору і товщина пластин сердечника статора?
24. Побудуйте енергетичну діаграму активної потужності асинхронного двигуна. Дайте характеристику її фізичному змісту.
25. Чому дорівнює ККД двигуна при холостому ході?
26. При якому навантаженні ККД двигуна максимальний? Чому?
27. Пояснити вид робочих характеристик асинхронного двигуна.
28. Чому двигуни будують таким чином, що ККД має максимальне значення не при номінальному навантаженні?
29. У яких межах змінюється ковзання, частота обертання валу двигуна та електромагнітний момент у генераторному режимі роботи асинхронної машини? у режимі двигуна? у режимі електромагнітного гальма?

Список літератури

1. Шкрабець Ф.П., Ципленков Д.В., Куваєв Ю.В. та ін. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки: Навчальний посібник – Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2004. – 515 с.
2. Півняк Г.Г., Довгань В.П., Шкрабець Ф.П. Електричні машини: Навчальний посібник – Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2003. – 327 с.
3. Маляр В. С. Теоретичні основи електротехніки: Видавництво Львівської політехніки 2018. - 416.
4. Загальна електротехніка і основи електроніки: навчальний посібник / Співак В.М., Гуржий А.М., Нельга А.Т., Ітякін О.С.– Київ: КПІ, 2020. – 266 с.
5. Малинівський С.М. Загальна електротехніка: Підручник. – Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2003. 640 с.
6. М. Матвиєнко Основи електротехніки: Підручник -Київ, Ліра-К , 2017. - 228 с.
7. Міліх В.І Електричні машини і трансформатори: Підручник -Київ Каравела 2018. -452 с.
8. Яцун М. А. Електричні машини: Підручник. -Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 464 с.
9. Збірник задач з електротехніки та основ електроніки / Шкрабець Ф.П., Ципленков Д.В. Навчальний посібник. – Д.: НГУ, 2006. – 256 с.

З М І С Т

Вступ	3
Правила безпечної роботи в лабораторіях кафедри електротехніки	3
Лабораторна робота 1 Вимірювання електричних величин, електровимірювальні прилади та дослідження лінійного розгалуженого електричного кола	4
Лабораторна робота 2 Дослідження режимів роботи трифазних схем	16
Лабораторна робота 3 Вивчення конструкції трансформатора та приблизне визначення його номінальних величин	25
Лабораторна робота 4 Вивчення конструкції трифазних асинхронних двигунів та дослідження робочих властивостей асинхронного двигуна методом безпосереднього навантаження.	30
Список літератури	40

Автори:
Федоров С.І.

**ЗБІРНИК
МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
з дисципліни "Основи електропостачання гірничих підприємств"
для студентів спеціальності 184 – Гірництво
(розділ «Основи електротехніки»)**

Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"
49005, м. Дніпропетровськ-27, просп. Д. Яворницького, 19.