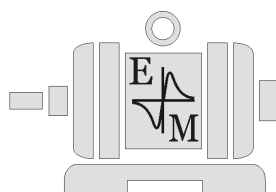


Міністерство освіти і науки України
Національний гірничий університет



Кафедра електричних машин



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

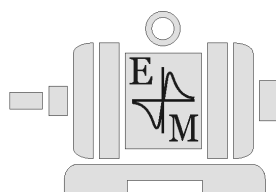
до виконання лабораторних робіт з дисциплін:
"ЕЛЕКТРОТЕХНІКА, ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ
ТА МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ"
та "ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ"
для студентів напрямів 0902 – Інженерна механіка,
0903 – Гірництво, 0707 – Геологія
(Розділ „Електричні кола“)

Дніпропетровськ
2008

Міністерство освіти і науки України
Національний гірничий університет



Кафедра електричних машин



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисциплін:
"ЕЛЕКТРОТЕХНІКА, ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ
ТА МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ"
та "ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ"
для студентів напрямів 0902 – Інженерна механіка,
0903 – Гірництво, 0707 – Геологія
(Розділ „Електричні кола“)

Дніпропетровськ
НГУ
2008

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін: "Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки" та "Основи електротехніки та електроніки" для студентів напрямів для студентів напрямів 0902 – Інженерна механіка, 0903 – Гірництво, 0707 – Геологія (Розділ „Електричні кола“) /Упорядн.: Д.В. Ципленков, С.І. Федоров, О.В. Остапчук – Д.: НГУ. – 2008. – 41 с.

Упорядники:

Ципленков Дмитро Володимирович, доцент кафедри електричних машин (30 %)

Федоров Сергій Іванович, старший викладач кафедри електричних машин (40 %)

Остапчук Олександр Володимирович, доцент кафедри електричних машин (30 %)

Методичні вказівки написані на основі багаторічного досліду, накопиченого на кафедрі електричних машин при викладанні дисциплін "Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки" та "Основи електротехніки та електроніки" для студентів напрямів для студентів напрямів 0902 – Інженерна механіка, 0903 – Гірництво, 0707 – Геологія

Відповідальний за випуск Шкрабець Ф.П.,

д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних машин

Вступ

У програму лабораторних робіт входять деякі контрольні, а також інші випробування, що дозволяють досліджувати різні режими роботи електричних кіл постійного та синусоїдального струму при різних схемах з'єднання, різних умовах навантаження і т.п.

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.

Правила безпечної роботи в лабораторії електротехніки

При роботі в лабораторії 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.
- Перед ввімкненням схеми під напругу переконатися в тому, що немає людей, які знаходяться в небезпечній близькості від схеми, що вмикається.
- Не торкатися 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 і т.п.) негайно відімкнути схему від мережі і доповісти про це викладачу, що проводить заняття.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8/1

ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ ТА ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Мета роботи: Ознайомлення з електровимірювальними приладами, вивчення методів вимірювання основних електричних величин приладами, що використовуються при виконанні лабораторних робіт.

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. Вибір приладів і вимірювання електричних величин.
5. Складання звіту.

Порядок виконання роботи



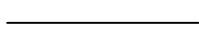



Етап 1. Вивчення умовних графічних позначень елементів електричних кіл та електровимірювальних приладів.

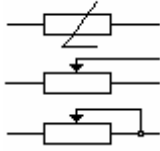
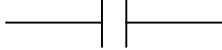

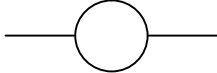



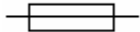
Користуючись літературою та наведеними таблицями 1.1, 1.2, 1.3 та 1.4 вивчити:

– *графічне позначення елементів електричних кіл і електровимірювальних приладів.*

Таблиця 1.1

Графічне позначення елементів електричних кіл і електровимірювальних приладів

<i>Найменування</i>	<i>Позначення</i>
Вимикач однополюсний	
Вимикач трьохполюсний	
Дріт	
З'єднання дротів електричне	
Роз'ємне електричне з'єднання	
Лампа розжарювання	

<i>Найменування</i>	<i>Позначення</i>
Резистор регульований: а) загальне позначення; б) з розривом кола; в) без розриву кола	
Конденсатор	
Котушка індуктивності	
Вимірювальний прилад	
Амперметр	
Вольтметр	
Ваттметр	
Запобіжник плавкий	

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

Таблиця 1.2


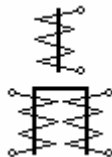
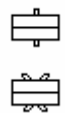
Умовне позначення одиниці вимірювання або вимірюваної величини

<i>Величина що вимірюється</i>	<i>Назва приладу</i>	<i>Умовне позначення</i>
Струм	Амперметр	<i>A</i>
	Міліамперметр	<i>mA</i>
	Мікроамперметр	<i>μA</i>
Напруга	Вольтметр	<i>V</i>
	Мілівольтметр	<i>mV</i>
Електрична потужність	Ваттметр	<i>W</i>
	Кіловаттметр	<i>κW</i>
Електрична енергія	Лічильник кіловат-годин	<i>κWh</i>
Зсув фаз	Фазометр	<i>j</i>
Частота	Частотомір	<i>Hz</i>
Електричний опір	Омметр	<i>Ω</i>
	Мегомметр	<i>MΩ</i>

– умовні позначення систем приладів:

Таблиця 1.3











Умовні позначення систем приладів

Система приладу	Умовне позначення
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, 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.

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

Етап 4. Вибір приладів і вимірювання електричних величин

За заданими значеннями опорів R_1 , та R_2 та U розрахувати значення струму I , спадання напруг U_1 , U_2 , потужності P для кола, зображеного на рис. 1.2. Порівняти знайдені значення струму з допустимими струмами реостатів, що є на робочому місці. Розраховані величини записати в табл. 1.5.

Зібрати коло з приладами для вимірювання вказаних величин (рис. 1.1). Після перевірки правильності складання електричного кола викладачем увімкнути його до мережі та виміряти значення струму I , спадання напруг U_1 , U_2 , потужності P . Результати вимірювань записати в таблицю 1.5.

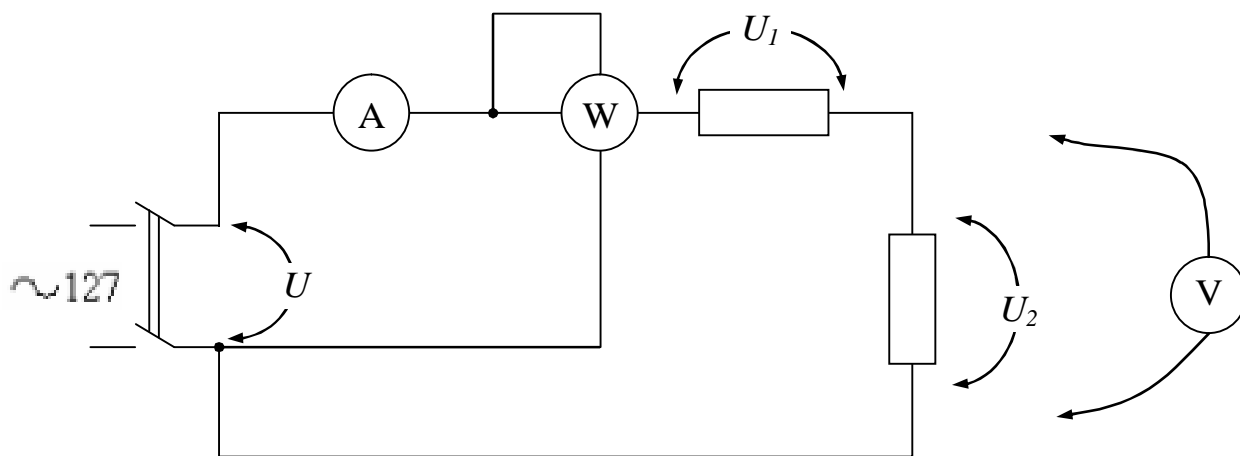


Рисунок 1.1. Схема вмикання приладів у вимірювальне коло

Таблиця 1.5

Результати вимірювань

Спосіб визначення	U	R_1	R_2	U_1	U_2	I	P
	B	$Ом$	$Ом$	B	B	A	$Вт$
Задано	127						
Розраховано							
Виміряно							

Використовуючи умовні позначки записати характеристики приладів в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Характеристики приладів

Характеристика приладів	Вольтметр	Амперметр	Ватметр
Тип приладу			
Заводський №			
Межа вимірювання			
Ціна поділку			
Рід струму			
Внутрішній опір			
Клас точності			
Робоче положення			

Етап 5. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Схеми та рисунки 1.1, 1.2, 1.3.
3. Таблиці 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6.
4. Розрахункові формули та обчислення всіх величин, що входять в таблиці 1.5 та 1.6.

Примітка: Розрахунок виконується наступним чином: Вказується розрахункова величина, з іншої строки записується формула, потім виконується підстановка усіх значень у тому порядку що у формулі, та вказується результат рішення. Після нього вказуються одиниці виміру. Наприклад:

Еквівалентний опір кола:

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6 \cdot 3}{6 + 3} = 2, \text{ Ом.}$$

Методичні вказівки**До етапу 2**

Прилади для вимірювання струму називаються амперметрами, напруги – вольтметрами, електричної потужності – ватметрами. Дія цих приладів засно-

вана 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

$$b = \frac{D}{x_m} \cdot 100\%,$$

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

Відносна погрішність приладу при вимірюванні дорівнює

$$b = \frac{D}{x} = b_m \frac{x_m}{x},$$

де x – значення вимірюваної величини.

Шкала приладу розбита на розподіли. Переміщення показчика на один поділок шкали обумовлене зміною x на певну величину, звану ціною поділку приладу.

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

Ціну поділку приладу можна визначити до початку вимірювання по формулі

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

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

Згідно цьому для амперметра, вольтметра і ватметра ціна поділку 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 .

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

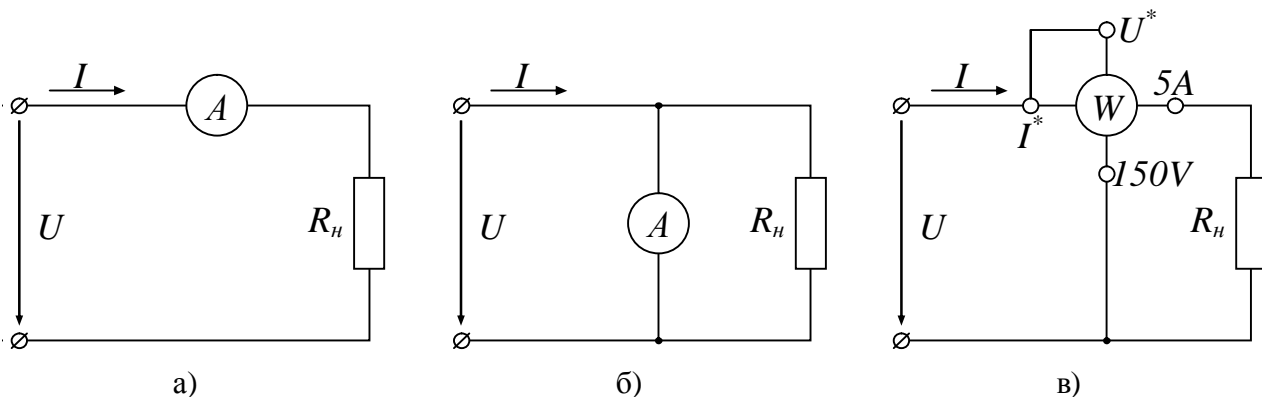


Рисунок 1.2. Схеми вмикання приладів: а – амперметра; б – вольтметра; в – ватметра

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

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.

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 4

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

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

де R_A – внутрішній опір амперметра; $R_{ш}$ – опір шунта.

Ціна поділку амперметра із зовнішнім шунтом

$$C'_I = C_I n.$$

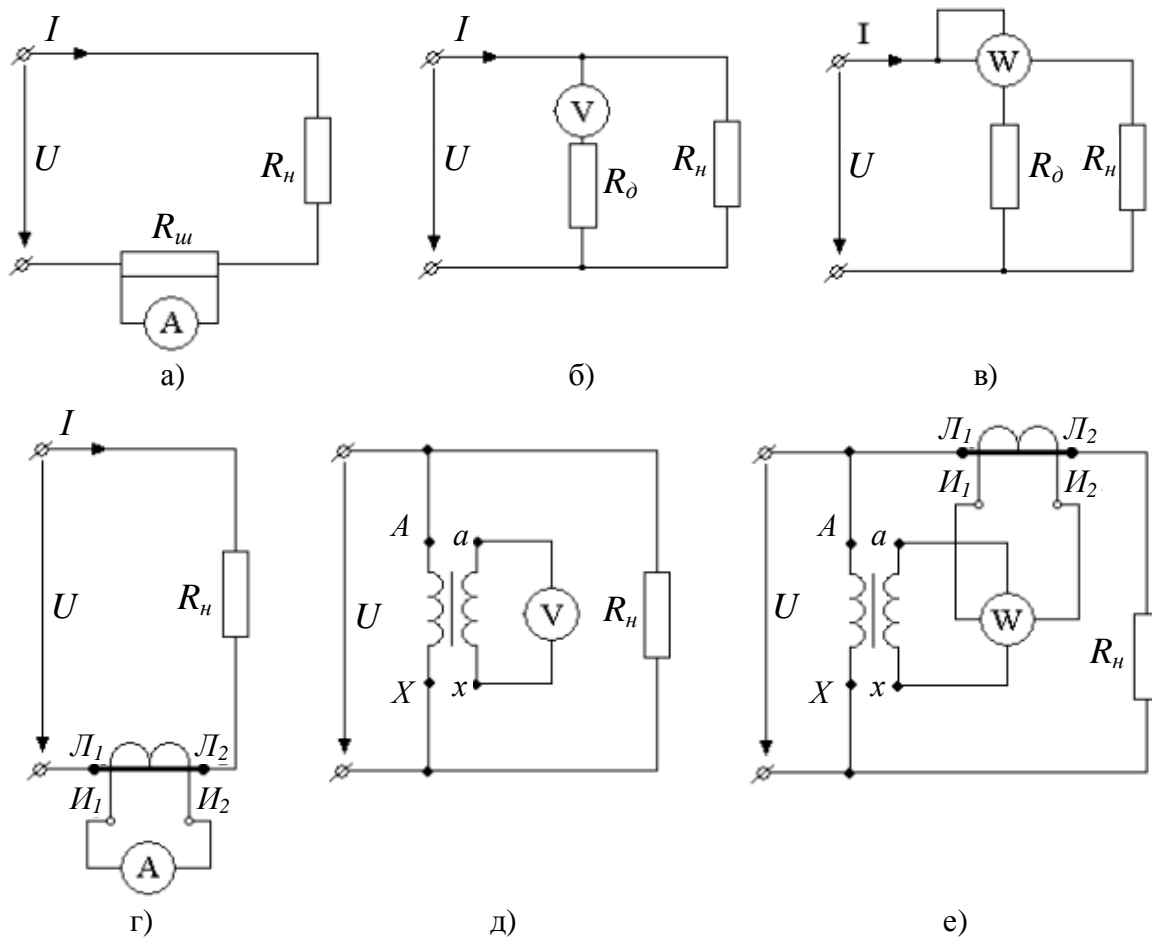


Рисунок 1.3. Схеми вмикання приладів з вимірювальними перетворювачами

Для розширення межі 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. 1.2, 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 I_1 та I_2 .

Розширення межі вимірювання вольтметра на постійному і змінному струмі може бути досягнуте за допомогою додаткового опору, що вмикається послідовно з вольтметром (рис. 2, в).

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 1.2, д) його ціна поділку дорівнює

$$C'_U = C_U K_U,$$

де $K_U = \frac{U_{1H}}{U_{2H}}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора напруги; U_{1H} , U_{2H} – 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. 1.2, в, е).

При вмиканні ватметра з додатковим опором в колі напруги (рис. 1.2, 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. 1.2, е) його ціна поділку дорівнює

$$C_P = C_P K_U K_I$$

де K_U , K_I – коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів.

До етапу 5

Струм і напруга в колі з послідовно з'єднаними елементами розраховуються по формулах:

– Струм у колі, А:

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2};$$

– Падіння напруги на опорі R_1 , В:

$$U_1 = R_1 I;$$

- Падіння напруги на опорі R_1 , В:

$$U_2 = R_2 I;$$

- Потужність, що споживається колом, Вт:

$$P = UI = I^2(R_1 + R_2).$$

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 вимірювання на 30...50 відсотків перевищувала очікуване значення вимірююмого параметра. 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 $U_m = (1,1...1,6)U$, а по струму $I_m = (1,5...1,8)I$. Тоді $P_m = (1,65...2,9)P$. 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 дотримуватися умов:

- внутрішній опір амперметра повинен бути

$$R_A \leq (0,001...0,005)R;$$

- внутрішній опір ватметра повинен бути

$$R_U = (1000...500)R,$$

де R – опір кола, в яке ввімкнено прилади.

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

Результати вимірювання знаходять по формулі

$$x = C_x \alpha,$$

де α – відхилення покажчика приладу в поділках.

Тоді покази приладів визначаються як:

- вольтметра

$$U = C_U a,$$

- амперметра

$$I = C_I a,$$

- ватметра

$$P = C_P a.$$

Контрольні запитання

1. Які фізичні явища використовуються в електровимірювальних приладах?
2. Як вмикається в коло вольтметр, амперметр, ватметр?
3. Як визначається ціна поділку приладу? Що називається ціною поділку приладу?
4. Що називають класом точності приладів?
5. Дайте пояснення умовним позначкам, що наносяться на шкалу приладів.
6. Як визначають шукане значення вимірюваної величини при вимірюванні?
7. Які способи розширення меж вимірювання приладів застосовуються на постійному та змінному струмі?
8. Як визначити ціну поділку приладу, що вмикається з вимірювальними електричними перетворювачами?
9. Які умовні графічні позначення застосовуються для позначення елементів електричного кола на схемах?
10. Як умикаються генераторні затискачі ватметра?
11. Як вибираються межі вимірювання приладів?
12. Для чого служить перемикач напряму відхилення стрілки ватметра?

Список рекомендованої літератури

1. Шкрабець Ф.П., Циценков Д.В., Куваєв Ю.В. та ін. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки: Навчальний посібник – Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2004. – 515 с. (§ 1.1 стор. 8 – 16; §§ 5.1 – 5.18, стор. 96-131).
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Высшая школа. 2002. – 542 с. (§§ 12.1-12.7, стор. 338-358).
3. Электрические измерения. Р.М. Демидова-Панферова, В.Н. Малиновский, В.С. Попов и др.. – М.: Энергоиздат, 1983. – 392 с. (§§ 1.2 – 1.4, стор. 16 – 28; §§ 2.1-2.3 стор. 31-45; § 5 – стор. 72-117; §10-12).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8/2

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНОГО РОЗГАЛУЖЕНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: Дослідити електричний стан лінійного розгалуженого електричного кола постійного струму. Встановити вплив зміни параметрів розгалуженого електричного кола на розподіл струмів у вітках. Навчитися застосовувати закони Кирхгофа для перевірки результатів вимірювань.

Програма роботи

1. Попередній розрахунок електричного кола та складання електричного кола.
2. Експериментальне дослідження кола зі змішаним з'єднанням опорів на постійному струмі.
3. Складання звіту.

Порядок виконання роботи

Етап 1. Попередній розрахунок електричного кола та складання електричного кола.

За заданими значеннями опорів реостатів R_1 , R_2 , R_3 розрахувати значення струмів та напруг на ділянках електричного кола, наведеного на рис. 2.1. В залежності з отриманими значеннями струмів та напруг обрати межі вимірів електричних приладів та скласти електричне коло по схемі рис. 2.1. Встановити двійки реостатів у положення, яке відповідає максимальному опору.

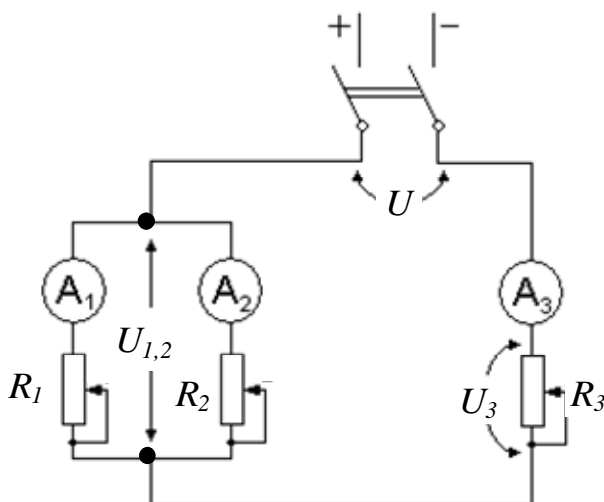


Рисунок. 2.1. Принципова схема з'єднань розгалуженого електричного кола.

Етап 2. Експериментальне дослідження кола зі змішаним з'єднанням опорів на постійному струмі.

Після перевірки викладачем правильності з'єднань ввімкнути до мережі зібрану схему та виконати вимірювання напруг і струмів. Результати занести в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

Результати вимірювання напруг і струмів.

Параметри електричного кола	U , B	R_1 , Om	R_2 , Om	R_3 , Om	I_1 , A	I_2 , A	I_3 , A	$U_{1,2}$, B	U_3 , B
Задано					–	–	–	–	–
Обчислено		–	–	–					
Виміряно		–	–	–					

Після вимірювань порівняти результати вимірювань і розрахунків та зробити висновки.

Переміщаючи движки одного з реостатів, у відповідності з таблицею 2.2 визначити напрямок зміни струму і напруги в елементах електричного кола при зміні величини опору цього реостата. Опір інших реостатів повинен дорівнювати максимально можливому. Напрямок зміни вказати стрілками. Якщо параметр залишається незмінним ставити знак "=".

Таблиця 2.2.

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

$R_1 \downarrow$	$R_2 =$	$R_3 =$	I_1	I_2	I_3	$U_{1,2}$	U_3
$R_1 =$	$R_2 \downarrow$	$R_3 =$	I_1	I_2	I_3	$U_{1,2}$	U_3
$R_1 =$	$R_2 =$	$R_3 \downarrow$	I_1	I_2	I_3	$U_{1,2}$	U_3

Етап 4. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Схему рис. 2.1.
3. Таблиці 2.1 та 2.1
4. Розрахункові формули і обчислення всіх величин, що входять до таблиці 2.1.
5. Висновок за результатами порівняння результатів вимірювань і розрахунків.

Методичні вказівки.

До етапу 3

Виконати розрахунок розгалуженого електричного кола шляхом перетворень:

– Еквівалентний опір всього кола.

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

– Струми і напруги віток:

$$I_3 = \frac{U}{R_{\text{екв}}}; \quad I_1 = \frac{U_{12}}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U_{21}}{R_2};$$

$$U_3 = R_3 I_3; \quad U_{12} = U - U_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I_3.$$

Контрольні запитання

1. Скласти схему з послідовним з'єднанням опорів R_1 , R_2 , R_3 і визначити еквівалентний опір кола і струм.
2. Скласти схему з паралельним з'єднанням опорів R_1 , R_2 , R_3 і визначити еквівалентний опір і струм в вітках.
3. Що називається віткою, вузлом, незалежним контуром?
4. Визначити число віток, вузлів та незалежних контурів в досліджуваній схемі (рис. 2.1).
5. Як розподіляються струми в паралельних вітках?
6. Сформулюйте узагальнений закон Ома і запишіть його для ділянки кола, що містить джерело ЕРС.
7. Сформулюйте закони Кирхгофа і запишіть їх. Для законів Кирхгофа дайте по два формулювання.
8. Як вибирають позитивні напрямки для струмів віток і як зв'язані з ними позитивні напрямки напруг на опорах.
9. Як зміняться струми в вітках схеми рис. 2.1 при збільшенні опору: а) R_1 ; б) R_2 ; в) R_3 ? Обґрунтувати відповідь.
10. Як зміняться струми в вітках схеми рис. 2.1 при зменшенні опору: а) R_1 ; б) R_2 ; в) R_3 ? Обґрунтувати відповідь.
11. Як зміняться струми в колі (рис. 2.1) при збільшенні числа паралельно ввімкнених приймачів до опорів R_1 або R_2 ? Обґрунтувати відповідь.
12. Як зміняться струми в колі (рис. 2.1) при збільшенні послідовно ввімкнених приймачів до опорів: а) R_1 ; б) R_2 ; в) R_3 ? Обґрунтувати відповідь.

Список рекомендованої літератури

1. Шкрабець Ф.П., Циценков Д.В., Куваєв Ю.В. та ін. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки: Навчальний посібник – Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2004. – 515 с. (§§ 1.1-1.3, стор. 20–32).
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Высшая школа. 2002. – 542 с. (§§ 1.1-1.8, стор. 4-17)
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – 10-е изд. М.: УИЦ "Гардарика", 2001. – 638 с. (§§ 2.1-2.8, стор. 28-37).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8/3.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНОГО НЕРОЗГАЛУЖЕНОГО КОЛА СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ

Мета роботи: Дослідити електричний стан лінійного нерозгалуженого кола синусоїдального струму в області резонансу. Розрахувати параметри окремих елементів електричного кола. Побудувати за дослідними даними векторні діаграми напруги і струму.

Програма роботи

1. Складання електричного кола.
2. Випробування електричного кола.
3. Обчислення параметрів електричного кола.
4. Побудова векторних діаграм і резонансної кривої $I = f(X_C)$.

Порядок виконання роботи.

Етап 1. Складання електричного кола.

Ознайомитися з приладами і устаткуванням експериментальної установки. Скласти електричне коло за схемою, яка зображена на рис. 3.1.

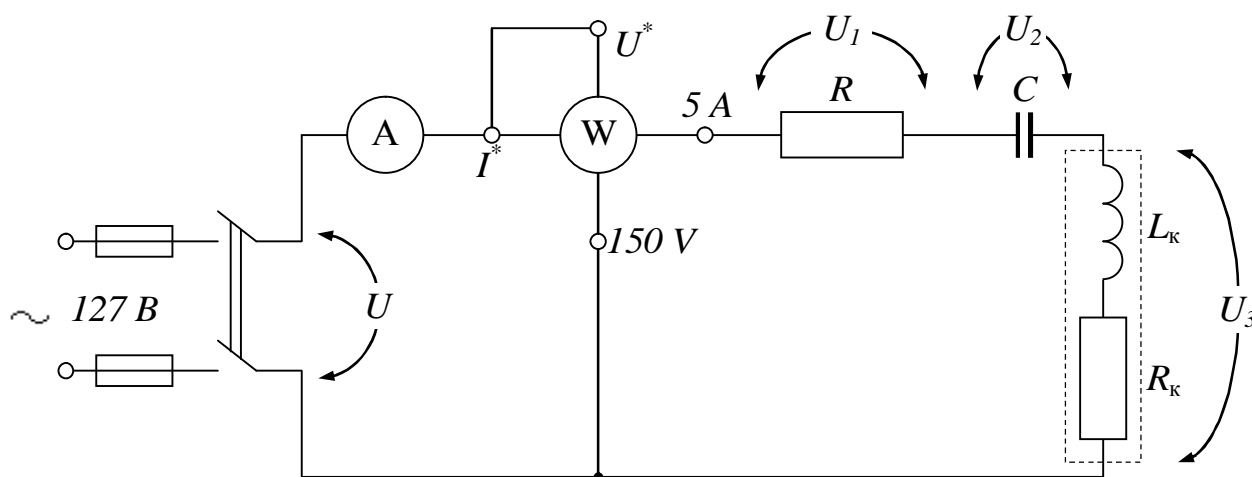


Рисунок 3.1. Принципова схема з'єднань нерозгалуженого електричного кола.

Етап 2. Дослідження електричного кола.

Після перевірки викладачем правильності з'єднань увімкнути автоматичний вимикач. Змінюючи ємність електричного кола за допомогою магазину конденсаторів, встановити стан резонансу в колі (струм та потужність при цьому повинні мати максимальне значення). Визначити параметри електричного кола та результати вимірювань записати у другу строчку таблиці 3.1.

Встановити значення ємності менше (перша строчка) та більше (третя строчка) резонансної таким чином, що значення струму у колі відрізнялось від значення при резонансі та дослідити коло у обох випадках.

Таблиця 3.1.

Результати дослідів та розрахунків

№ дослідів	Вміряно							Обчислено												
	$C, \text{ мкФ}$	$U, \text{ В}$	$U_1, \text{ В}$	$U_2, \text{ В}$	$U_3, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$P, \text{ Вт}$	$Z, \text{ Ом}$	$R, \text{ Ом}$	$R_1, \text{ Ом}$	$R_k, \text{ Ом}$	$Z_k, \text{ Ом}$	$X_k, \text{ Ом}$	$X_C, \text{ Ом}$	$L, \text{ Гн}$	$U_{3a}, \text{ В}$	$U_{3p}, \text{ В}$	$\cos j$	Q	
1																				
2																				
3																				

Етап 3. Обчислення параметрів електричного кола

За даними вимірювань для трьох значень ємності обчислити і записати в табл. 3.1 наступні величини:

- Z – модуль повного активного опору всього кола;
- R – повний активний опір всього кола;
- R_1 – опір резистора;
- R_k – активний опір котушки індуктивності;
- Z_k – модуль повного опору котушки індуктивності;
- X_k – індуктивний опір котушки;
- X_C – опір ємності кола;
- L – індуктивність котушки;
- U_{3a} – активна складова напруги на котушці;
- U_{3p} – реактивна складова напруги на котушці;
- $\cos j$ – коефіцієнт потужності всього кола;
- Q – добротність електричного кола при резонансі.

Етап 4. Побудова векторних діаграм і резонансної кривої

За даними з таблиці побудувати три векторні діаграми:

- для випадку індуктивного навантаження ($X_k > X_C$);
- для випадку ємності навантаження ($X_k < X_C$);
- для режиму резонансу ($X_k = X_C$).

На кожній діаграмі показати вектори \underline{I} , \underline{U} , \underline{U}_1 , \underline{U}_2 , \underline{U}_3 .

Побудувати резонансну криву $I = f(X_C)$.

Етап 5 Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Схему досліду (рис. 3.1).
3. Таблицю 3.1. з результатами вимірювань та розрахунків.

4. Розрахункові формули і обчислення всіх величин, що входять в таблицю 3.1.

5. Векторні діаграми для трьох випадків та резонансну криву $I = f(X_C)$.

Методичні вказівки

До етапу 2

Випробування схеми рекомендується почати з режиму резонансу. Для цього вибирають ємність магазину конденсаторів так, щоб одержати максимальний струм в колі, після чого знімають показання приладів. При високій добротності контуру в режимі резонансу напруг $U_k \approx U_C$. Потім знімають показання всіх приладів при значенні ємності, меншій резонансної, і при значенні ємності, більшій за резонансну (через 5...10 мкФ).

До етапу 3

Обчислення параметрів електричного кола виконується за формулами:

– модуль повного опору всього кола

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2},$$

де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота; $f = 50$ Гц – частота синусоїдальної напруги;

– модуль повного опору котушки індуктивності

$$Z_k = \frac{U_3}{I};$$

– коефіцієнт потужності всього кола

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI};$$

– активний опір всього кола

$$R = \frac{P}{I^2};$$

– опір резистора

$$R_1 = \frac{U_1}{I};$$

– активний опір котушки індуктивності

$$R_k = R - R_1;$$

– індуктивний опір котушки

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \omega L = 2\pi f L;$$

– ємносний опір

$$X_C = Z_C = \frac{U_2}{I} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C};$$

– індуктивність котушки

$$L = \frac{X_k}{2\pi f};$$

– активна і реактивна складові падіння напруги на котушці

$$U_{3a} = R_k I; \quad U_{3p} = X_k I = \sqrt{U_3^2 - U_{3a}^2};$$

– добротність електричного кола при резонансі

$$Q = \frac{X_C}{R} = \frac{X_k}{R}.$$

До етапу 4

Для побудови векторних діаграм напруг і струму скористаємося результатами розрахунків, зведених в табл. 3.1.

Для побудови діаграм вибираємо окремо масштаб для векторів струму та масштаб для векторів напруг, наприклад $m_I = 0,5 \text{ A/cm}$, $m_U = 40 \text{ B/cm}$.

З точки 0 відкладаємо вектор струму \underline{I} у довільному напрямку (наприклад, горизонтально). З точки 0 відкладаємо в масштабі вектор падіння напруги \underline{U}_1 , співпадаючий по фазі із струмом \underline{I} . З кінця вектора \underline{U}_1 відкладаємо вектор падіння напруги \underline{U}_2 на ємності С, який відстає від вектора струму \underline{I} на 90° . З кінця вектора \underline{U}_2 паралельно вектору струму \underline{I} відкладаємо відрізок, пропорційний вектору активного спаду напруги \underline{U}_{3a} котушки індуктивності. Вектор реактивного падіння напруги \underline{U}_{3p} випереджає струм \underline{I} на 90° . Вектор повного спаду напруги \underline{U}_3 є геометричною сумою векторів \underline{U}_{3a} і \underline{U}_{3p} . З'єднавши точку 0 з кінцем вектора \underline{U}_3 , одержимо вектор підведеної напруги \underline{U} .

Зразки векторних діаграм напруг і струму приведені на рис. 3.2. При індуктивному характері навантаження ($X_k > X_C$) векторна діаграма напруг і струму має вигляд, представлений на рис. 3.2, а. При ємнісному характері навантаження ($X_k < X_C$) – на рис. 3.3, б. У разі резонансу напруг ($X_k = X_C$) – рис. 3.3, в.

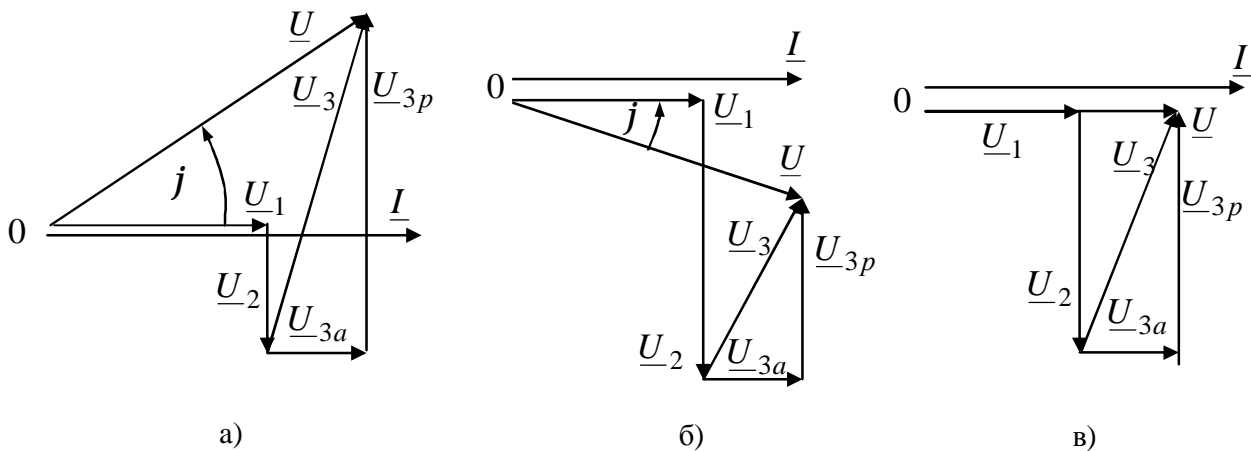


Рисунок 3.2. Векторні діаграми: а – при індуктивному характері навантаження ($X_L > X_C$); б – при ємнісному характері навантаження ($X_L < X_C$); в – при резонансі ($X_L = X_C$)

Для побудови резонансної кривої $I = f(X_C)$ визначаємо опір ємності для трьох значень ємності (табл. 3.1) по формулі

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

За результатами розрахунку будемо залежність $I = f(X_C)$.

Контрольні запитання

1. Від яких величин залежить зсув між напругою і струмом?
2. Яке явище називають резонансом напруг? Які умови його виникнення?
3. Що називають індуктивним та ємнісним опором?
4. Як впливає зміна частоти синусоїдального струму на реактивний опір електричного кола?
5. Чому дорівнюють індуктивний та ємнісний опори на постійному струмі?
6. Як розрахувати діючий струм лінійного нерозгалуженого електричного кола синусоїдального струму з приймачами, що характеризуються параметрами R , L і C ?
7. Від чого залежить повний опір електричного кола?
8. За яких умов діючі напруги індуктивної котушки та конденсатора перевищують діючу напругу на затискачах лінійного нерозгалуженого електричного кола при резонансі напруг?
9. Яким способом можна визначити індуктивність і ємність реактивних елементів?
10. Як визначити коефіцієнт потужності всього кола?
11. Як визначити коефіцієнт потужності котушки?
12. Чому дорівнює $\cos \phi$ у колі з чисто реактивним і чисто активним опором?
13. Що таке добротність контуру і що вона характеризує?
14. Як розрахувати активну, реактивну і повну потужність лінійного нерозгалуженого електричного кола?

Список рекомендованої 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. (§§ 2.1-2.8, стор. 36– 57).
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Высшая школа. 2002. – 542 с. (§§ 2.1-2.13, стор. 37-74).
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – 10-е изд. М.: УИЦ "Гардарики", 2001. – 638 с. (§§ 3.1-3.5, 3.28, стор. 81-86, 110).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8/4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНОГО РОЗГАЛУЖЕНОГО КОЛА СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ

Мета роботи: Дослідити електричний стан лінійного розгалуженого електричного кола синусоїдального струму при різних режимах. Побудувати за дослідними даними векторні діаграми напруги і струмів.

Програма роботи

1. Складання та дослідження електричного кола.
2. Обчислення параметрів електричного кола.
3. Побудова векторних діаграм.
4. Складання звіту.

Порядок виконання роботи

Етап 1. Складання та дослідження електричного кола.

1.1. Ознайомитися з приладами і устаткуванням експериментальної установки. Скласти електричне коло за схемою рис. 4.1. Після перевірки викладачем правильності складання кола під'єднати його до джерела.

- 1.2. Зміряти напругу U , струм I , потужність P при вмиканні:
- а) тільки резистора (включено вимикач S_1);
 - б) тільки котушки індуктивності (включено вимикач S_3);
 - в) тільки магазину конденсаторів (включено вимикач S_2);
 - г) всіх віток.

Дані вимірювань занести в табл. 4.1.

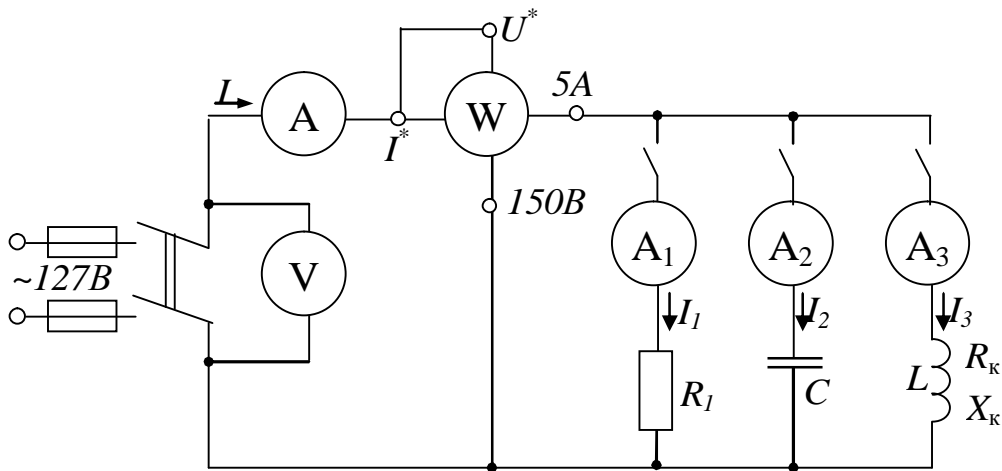


Рисунок 4.1 Принципова схема з'єднань розгалуженого електричного кола

1.3. Дослідити коло в режимі резонансу струмів. Змінюючи ємність магазина конденсаторів, встановити стан резонансу в колі (струм I в нерозгалуженій частині повинен бути мінімальним). Результати вимірювань занести в табл. 4.1 (остання строчка).

Таблиця 4.1.

Результати вимірювань

№ вимірювань	Найменування приймачів	U , B	P , $Вт$	C , $мкФ$	I , A	I_1 , A	I_2 , A	I_3 , A
1	Резистор							
2	Котушка							
3	Магазин конденсаторів							
4	Усе коло $b_k \neq b_c$							
5	Усе коло $b_k = b_c$							

Етап 2. Обчислення параметрів електричного кола

За даними вимірювань розрахувати для всіх дослідів і записати в табл. 4.2 наступні величини:

- $\cos j$ – коефіцієнт потужності установки;
- Z – модуль повного опору всього кола;
- R_1 – активний опір резистора;
- Z_k – модуль повного опору котушки індуктивності;
- X_C – опір ємності магазина конденсаторів;
- I_{3a} – активну складову струму котушки індуктивності;
- I_{3p} – реактивну складову струму котушки індуктивності.

Результати обчислень.

№ вимірювань	Назва приймача	$\cos\varphi$	Z , Ом	R_1 , Ом	z_k , Ом	x_c , Ом	I_{3a} , А	I_{3p} , А
1	Резистор							
2	Котушка							
3	Магазин конденсаторів							
4	Все коло $b_k \neq b_C$							
5	Все коло $b_k = b_C$							

Етап 3. Побудова векторних діаграм

За даними таблиць 4.1 та 4.2 побудувати векторні діаграми для випадків:

- активного навантаження;
- активно-індуктивного навантаження;
- ємнісного навантаження;
- змішаного навантаження ($b_k \neq b_C$);
- резонансу струмів ($b_k = b_C$).

На кожній діаграмі вказати вектори \underline{U} , \underline{I} , \underline{I}_1 , \underline{I}_2 , \underline{I}_3 .

Етап 4 Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Схема рис.4.1.
3. Таблиці 4.1 і 4.2.
4. Розрахункові формули і обчислення всіх величин, що входять в таблицю 4.2.
5. Векторні діаграми для усіх випадків.

Методичні вказівки**До етапу 2**

Розрахунок параметрів електричних кіл проводиться по формулах:

1. При вмиканні тільки резистора.

– модуль повного опору вітки $Z_1 = R_1 = \frac{U}{I_1}$;

– коефіцієнт потужності вітки $\cos\varphi_1 = \frac{P}{UI_1} = 1$;

– струм вітки $I = I_1$;

– повна провідність вітки (рівна активній провідності) $y_1 = g_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{I_1}{U}$.

2. При вмиканні тільки батареї конденсаторів.

– модуль повного опору вітки $Z_2 = X_C = \frac{U}{I_2} = \frac{1}{2\pi fC}$;

– коефіцієнт потужності вітки $\cos\varphi_2 = \frac{P}{UI_2} = 0$;

– струм вітки $I = I_2$;

– повна провідність вітки (рівна реактивній провідності)

$$y_2 = b_2 = b_C = \frac{1}{X_C} = \frac{I_2}{U}.$$

3. При вмиканні тільки котушки індуктивності

– модуль повного опору вітки $Z_3 = Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2} = \frac{U}{I_3}$;

– активний опір котушки $R_K = \frac{P}{I_3^2}$;

– реактивний опір котушки $X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} = 2\pi fL_K$;

– повна провідність вітки $y = \frac{1}{z_k} = \sqrt{g_3^2 + b_3^2}$;

– активна провідність вітки $g_3 = \frac{R_K}{Z_K^2}$;

– реактивна провідність вітки $b_3 = \frac{X_K}{Z_K^2}$;

– коефіцієнт потужності вітки $\cos j_3 = \frac{P}{UI_3}$;

– струм вітки $I = I_3 = \frac{U}{Z_K}$;

– активна і реактивна складові струму

$$I_a = I \cdot \cos\varphi; \quad I_p = I \cdot \sin\varphi = \sqrt{I^2 - I_a^2}.$$

4. При вмиканні усіх віток ($b_K \neq b_C$)

– активна провідність кола $g = g_1 + g_3$;

– реактивна провідність кола $b = b_3 - b_2 = b_K - b_C$;

– повна провідність кола $y = \sqrt{g^2 + b^2}$;

– еквівалентні повне, активне, і реактивне опори всього кола

$$Z_1 = \frac{1}{y}; \quad R = gZ^2; \quad R = bZ^2;$$

– коефіцієнт потужності кола $\cos j = \frac{P}{UI}$;

– струм кола $I = \frac{U}{Z}$;

– активна і реактивна складові струму всього кола

$$I_a = I \cos j ; \quad I_p = I \sin j = \sqrt{I^2 - I_a^2} .$$

5. При умиканні їх віток ($b_k = b_C$)

– активна провідність схеми $g = g_1 + g_3$;

– реактивна провідність схеми $b = b_3 - b_2 = b_k - b_C = 0$;

– повна провідність схеми $y = g$;

– еквівалентні повний, активний, і реактивний опори усієї схеми

$$Z = \frac{1}{y} \quad ; \quad R = Z ; \quad X = 0 ;$$

– коефіцієнт потужності схеми $\cos j = \frac{P}{UI} = 1$;

– струм схеми $I = \frac{U}{Z}$;

– активна і реактивна складові струму усієї схеми $I_a = I ; \quad I_p = 0$.

До етапу 4

Для побудови векторних діаграм напруги і струмів користуємося результатами вимірювань і розрахунків таблиць 1 і 2. Вибираємо масштаб струму та масштаб напруги (наприклад: 25В/см). Векторні діаграми в загальному вигляді показані на рис. 4.2 при вмиканні: *a* – тільки резистора; *b* – тільки котушки; *в* – тільки магазина конденсаторів; *г* – всіх віток ($b_k > b_C$); *д* – всіх віток ($b_k = b_C$).

Порядок побудови векторних діаграм у загальному випадку (якщо струм дорівнює нулю вектора немає):

Для побудови діаграм вибираємо окремо масштаб для векторів струму та масштаб для векторів напруг, наприклад $m_I = 0,5 \text{ A/см}$, $m_U = 40 \text{ B/см}$.

З точки 0 проводимо вектор напруги \underline{U} горизонтально зліва направо (див. рис. 4.2). З точки 0 паралельно вектору напруги \underline{U} відкладаємо вектор струму \underline{I}_1 , так як синусоїдальний струм в резисторі співпадає по фазі з напругою. З кінця вектора \underline{I}_1 відкладаємо вертикально вгору вектор струму \underline{I}_2 , так як синусоїдальний струм в конденсаторі опереджає напругу по фазі на 90° . З кінця вектора \underline{I}_2 паралельно вектору напруги \underline{U} відкладаємо вектор активної складової струму \underline{I}_{3a} в котушці індуктивності, так як струм \underline{I}_{3a} співпадає по фазі з напругою (активна складова струму \underline{I}_{3a} обумовлена активним опором R_k котушки). З кінця вектора \underline{I}_{3a} відкладаємо вертикально вниз вектор реактивної скла-

дової струму I_{3p} в котушці індуктивності, так як ця складова струму відстає від напруги по фазі на 90° (реактивна складова струму I_{3p} обумовлена індуктивним опором котушки). Вектор струму в котушці I_3 є геометричною сумою векторів I_{3a} та I_{3p} . Вектор загального струму I – геометрична сума векторів I_1 , I_2 , I_3 на основі 1-го закону Кирхгофа.

Вектор загального струму I отримуємо в результаті з'єднання точки 0 з кінцем вектора I_3 . Вектор струму I по відношенню до вектору напруги U може співпадати по фазі (рис. 4.2, а) – при активному навантаженні, відставати по фазі на кут φ при індуктивному характері навантаження (рис. 4.2, б, г), опереджати по фазі на кут φ при ємнісному характері навантаження (рис. 4.2, в) або співпадати по фазі при резонансі струмів (рис. 4.2, д).

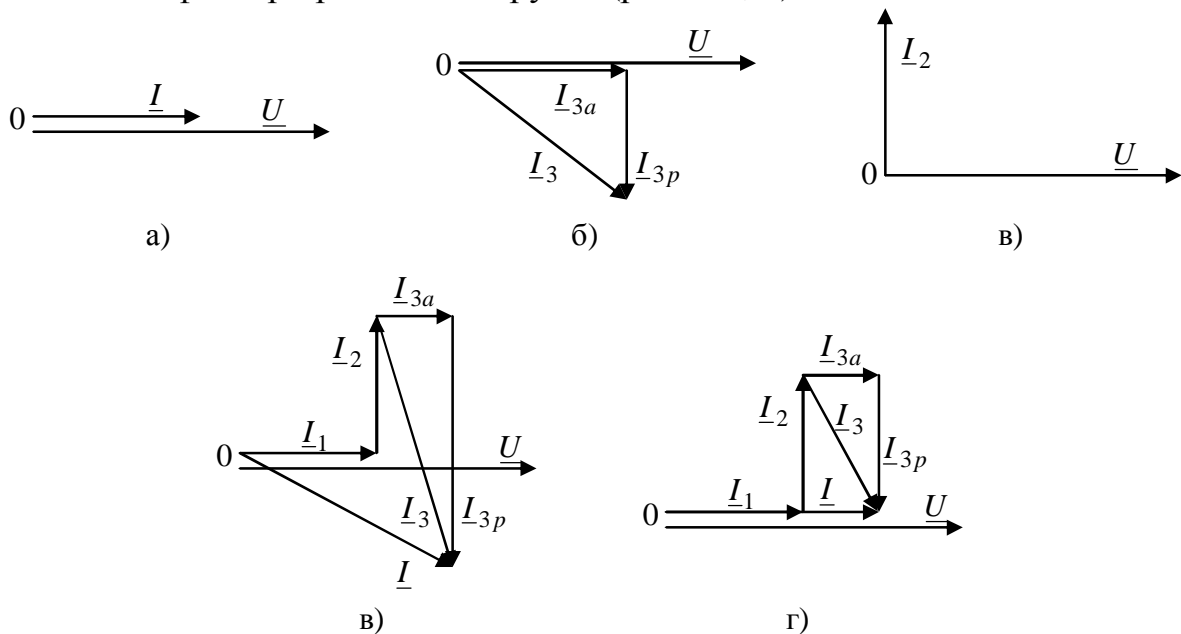


Рисунок 4.2. Векторні діаграми в загальному вигляді при вмиканні:
 а – тільки резистора; б – тільки котушки; в – тільки магізина конденсаторів;
 г – всіх віток ($b_k > b_C$); д – всіх віток ($b_k = b_C$).

Контрольні питання

1. Які величини визначають знак реактивного опору вітки лінійного електричного кола синусоїдального струму?
2. Як розрахувати діючі струми в нерозгалуженій частині лінійного розгалуженого кола синусоїдального струму?
3. У якому електричному колі і за яких умов може виникнути резонанс струмів?
4. Чому дорівнює коефіцієнт потужності електричного кола при резонансі струмів?
5. Чи можуть діючі струми паралельно з'єднаних віток електричного кола перевищувати діючий струм в її нерозгалуженій частині?
6. До якого значення доцільно підвищувати коефіцієнт потужності установок?

7. Чому коефіцієнт потужності, як правило, не доводять до одиниці?
8. Як складаються провідності паралельно з'єднаних елементів?
9. Як визначити загальний опір для випадку паралельного з'єднання елементів?

Список рекомендованої літератури

1. Шкрабець Ф.П., Циленков Д.В., Куваєв Ю.В. та ін. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки: Навчальний посібник – Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2004. – 515 с. (§§ 2.1-2.8, стор. 36– 60).
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Высшая школа. 2002. – 542 с. (§§ 2.15-2.16, стор. 74-82).
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – 10-е изд. М.: УИЦ "Гардарики", 2001. – 638 с. (§ 3.26, стор. 108)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8/5.

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

- 1.1. Ознайомитися з приладами, апаратами, і іншим устаткуванням експериментальної установки. Скласти електричне коло по схемі рис. 5.1.
- 1.2. Після перевірки керівником правильності з'єднань створити симетричне навантаження фаз. Зміряти і записати величини, вказані в табл. 5.1 при:
 - трипровідній системі з'єднань;
 - чотирипровідній системі з'єднань.
- 1.3. Створити несиметричне навантаження фаз. Виміряти і записати величини, вказані в таблиці 5.1 при:

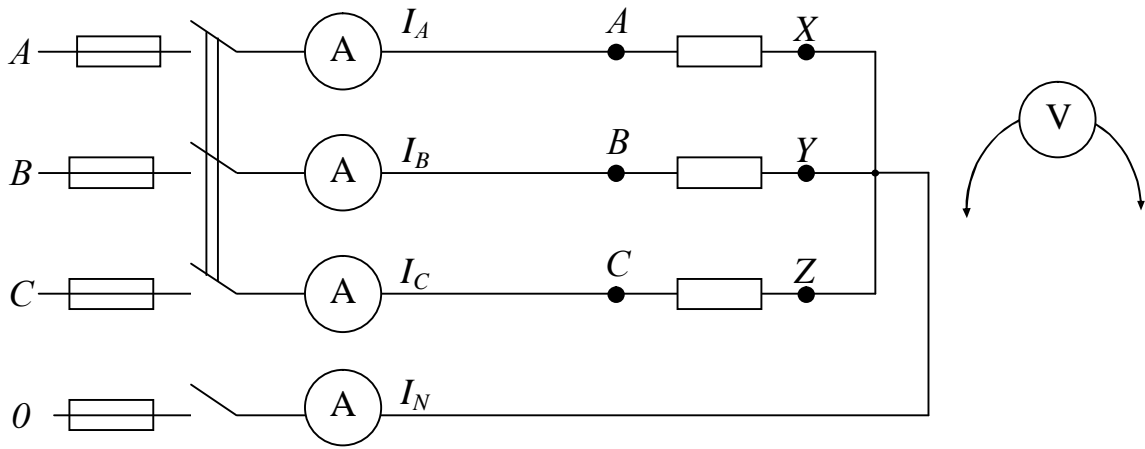


Рисунок 5.1. Принципова схема вмикання навантаження зіркою

Таблиця 5.1.

Результати дослідження режимів роботи трифазної схеми при вмиканні приймачів зіркою

Режим навантаження	Лінія	Виміряно											Розраховано		
		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-провідна														
	4-провідна														
Несиметричний	3-провідна														
	4-провідна														

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

1.4. 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.

2.1. Скласти електричну схему за рис. 5.2. Після перевірки викладачем правильності з'єднань зміряти напруги і струми (лінійні і фазні) у випадку:

- симетричного навантаження;
- несиметричного навантаження.

2.2. Результати вимірювань записати в табл. 5.2.

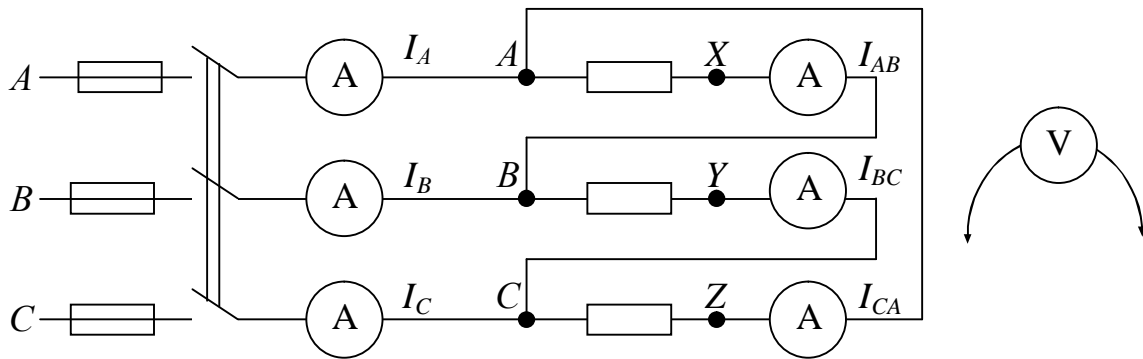


Рисунок 5.2. Принципова схема вмикання навантаження трикутником

Таблиця 5.2.

Результати дослідження режимів роботи трифазної схеми при вмиканні приймачів трикутником

Режим навантаження	Виміряно									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 5.1 та 5.2 побудувати в зручному масштабі векторні діаграми напруг і струмів для випадків:

- сполучення зіркою, навантаження активне, симетричне, трипровідна система;
- сполучення зіркою, навантаження активне, несиметричне, трипровідна система;
- сполучення зіркою, навантаження активне, несиметричне, чотирипровідна 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, її мету та програму.
2. Схема вмикання навантаження за схемою зірка (рис. 5.1) та трикутник (рис. 5.2).

3. Заповнені таблиці 5.1 та 5.2.
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 (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 $Z_A = Z_B = Z_C$. 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:

$$I_{\text{л}} = I_\phi; \quad U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_\phi.$$

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

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_\phi; \quad U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_\phi.$$

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: $Z_A \neq Z_B \neq Z_C$. Прикладом несиметричного навантаження може бути освітлювальна мережа, коли характер навантаження однаковий, а кількість ламп, тобто опір, розрізняється.

При несиметричному навантаженні (схема трикутник) вектор лінійного струму можна одержати графічно або аналітично з рівнянь, складених по першому закону Кирхгофа для вузлів схеми.

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

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

До етапу 3

Побудова векторних діаграм за дослідними даними виконується в наступній послідовності:

– будують в масштабі трикутник векторів лінійних напруг (U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}) методом засічок;

- з відповідних вершин трикутника радіусами, рівними фазним напругам (з урахуванням масштабу), описують дуги, перетин яких дає нейтральну (нульову) точку. Ця точка є початком векторів фазних напруг;
- під кутами $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ (з урахуванням їх знаку) до векторів фазних напруг проводимо вектори фазних струмів (при активному навантаженні $\varphi = 0$);
- струм в нейтральному проводі дорівнює сумі векторів фазних струмів

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C.$$

На рис. 5.3 приведені приклади векторних діаграм для випадків:

- сполучення зіркою, навантаження активне, симетричне, трипровідна система (рис. 5.3, а);

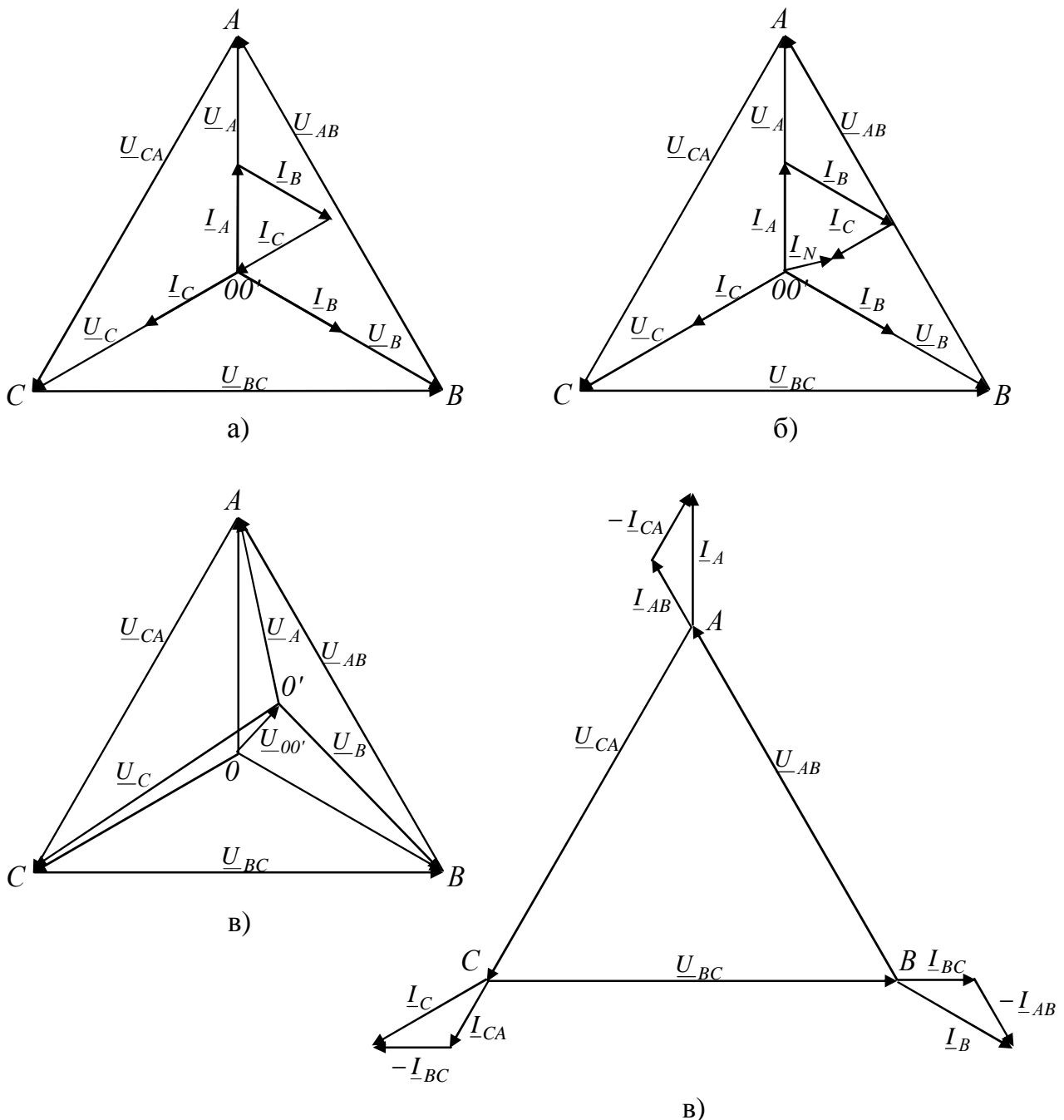


Рисунок 5.3. Векторні діаграми для різних випадків з'єднання трифазної мережі

- сполучення зіркою, навантаження активне, несиметричне, чотирипровідна система (рис. 5.3, б);
- сполучення зіркою, навантаження активне, несиметричне, трипровідна система (рис. 5.3, в);
- сполучення трикутником, навантаження активне, несиметричне (рис. 5.3, г).

Контрольні запитання

1. Нарисуйте схеми з'єднання навантаження зіркою, трикутником.
2. Яке навантаження називається симетричним, несиметричним? Наведіть приклади.
3. Приведіть співвідношення між лінійними і фазними струмами і напругами при з'єднанні навантаження зіркою, трикутником.
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 вмиканні приймачів зіркою і трикутником при симетричному і несиметричному навантаженнях.
11. У яких випадках можна обійтися без нейтрального проводу?

Список рекомендованої 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. (§§ 3.1-3.3, стор. 61–75).
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Высшая школа. 2002. – 542 с. (§§ 3.1-3.8, стор. 104-122).
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – 10-е изд. М.: УИЦ "Гардарики", 2001. – 638 с. (§§ 6.1-6.11, стор. 184-192)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8/6.

ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ЕНЕРГІЇ ТРИФАЗНОГО СТРУМУ

Мета роботи: Вимірювання активної потужності і енергії трифазної схеми при симетричному навантаженні, сполученому зіркою, і несиметричному навантаженні, сполученому трикутником.

Програма роботи

1. Складання схеми і вимірювання активної потужності та енергії трифазного струму при з'єднанні симетричного навантаження зіркою.
2. Складання схеми і вимірювання активної потужності та енергії трифазного струму при з'єднанні несиметричного навантаження трикутником.
3. Складання звіту.

Порядок виконання роботи

Етап 1. Складання схеми і вимірювання активної потужності та енергії трифазного струму при з'єднанні симетричного навантаження зіркою.

Ознайомитися з приладами, апаратами, і іншим устаткуванням експериментальної установки. Скласти електричну схему за рис. 6.1. Після перевірки викладачем правильності з'єднання створити симетричне навантаження фаз.

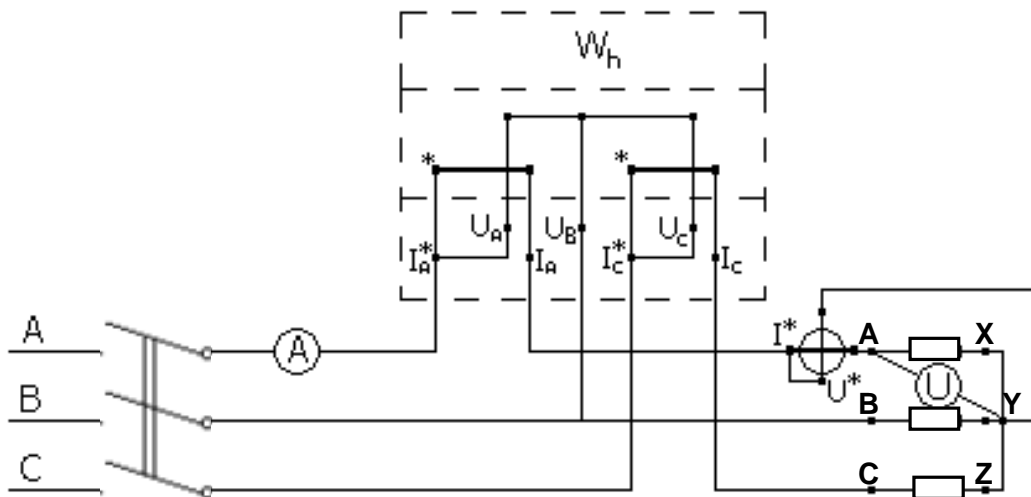


Рисунок 6.1. Схема для вимірювання активної потужності і енергії, що споживаються 3-фазним навантаженням з'єднаних за схемою зірка з доступною нейтраллю.

Виміряти фазну напругу, струм і потужність в одній з фаз симетричного навантаження з доступною нейтраллю.

Виміряти активну енергію, споживану навантаженням, за певний проміжок часу Dt . Це вимірювання по лічильнику активної енергії виконати в наступній послідовності:

1. Визначити по годиннику час Dt , за який диск лічильника зробить N оборотів (рекомендується прийняти $N=20$).

2. Визначити на шкалі лічильника передавальне число K (наприклад, 1 кіловат-година – 450 оборотів, отже, $K=450$).

3. Визначити номінальну сталу лічильника:

$$C_H = \frac{1}{K} [кВт \cdot ч / оборот] = \frac{1000}{3600 \cdot K} [Вт \cdot с / оборот]$$

4. Визначити активну енергію W_h , споживану навантаженням за час Dt по формулі:

$$W_h = C_H N [Вт \cdot с],$$

враховуючи, що енергія, що проходить через лічильник, пропорційна числу оборотів диска.

5. Визначити активну енергію, споживану навантаженням за час Dt , за даними вимірювання потужності.

$$W_h = P_H \cdot Dt [Вт \cdot с]$$

Результати вимірювань і обчислень записати в таблицю 6.1. Порівняти дані визначення W_h по лічильнику і ватметру.

Таблиця 6.1.

Результати дослідження фазного симетричного навантаження, з'єданого зіркою.

Виміряно					Обчислено			
U_ϕ	I_ϕ	P_ϕ	$P_{нав}$	Проміжок часу Dt , за який лічильник зробив N оборотів	Активна енергія виміряна лічильником $W_h = C_H N$	Активна енергія за даними ватметра $W_h = P_H \cdot \Delta t$	ΔW_h	
В	А	Вт	Вт	с	Вт·с	Вт·с	Вт·с	

Етап 2. Складання схеми і вимірювання активної потужності та енергії трифазного струму при з'єднанні несиметричного навантаження трикутником.

Скласти електричну схему за рис. 6.2. Створити несиметричне навантаження фаз. Після перевірки викладачем правильності з'єднання ввімкнути схему до мережі.

Виміряти лінійні напругу і струм, а також потужність навантаження.

Виміряти активну енергію, споживану навантаженням, за певний проміжок часу Dt . При виконанні цього вимірювання керуватися послідовністю, яка приведена в етапі 1.

Результати вимірювань і обчислень записати в табл. 6.2.

Проаналізувати одержані дані і зробити висновок про можливі способи вимірювання активної потужності в трифазних схемах.

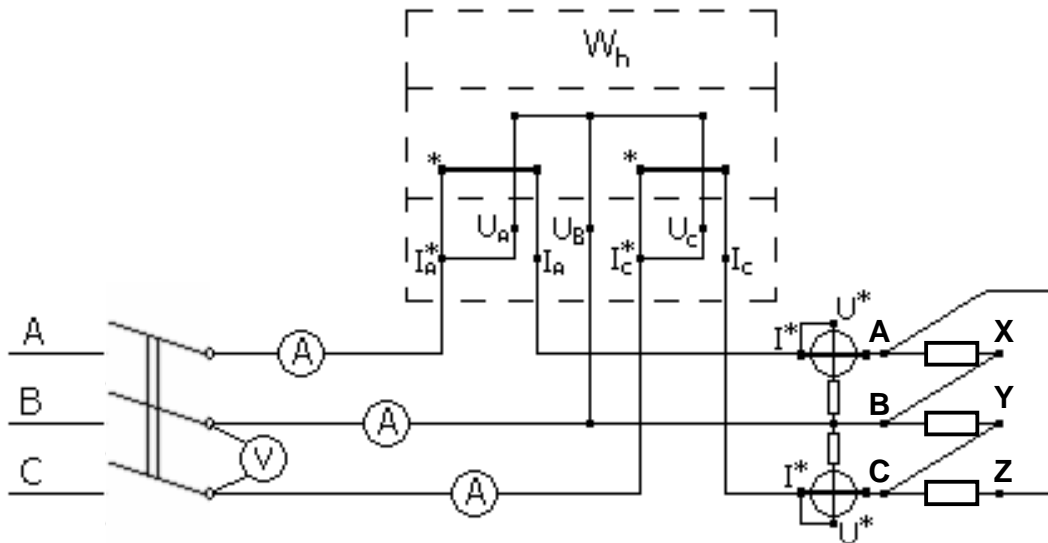


Рисунок 6.2. Схема для вимірювання активної потужності і енергії 3-фазного несиметричного навантаження, з'єднаного трикутником.

Таблиця 6.2.

Результати дослідження фазного несиметричного навантаження, з'єднаного трикутником.

Виміряно							Обчислено			
U _A	Струм			Потужність		Проміжок часу Δt , за який лічильник зробить N оборотів	$P_H = P_1 + P_2$	Активна енергія виміряна лічильником $W_h = C_H N$	Активна енергія за даними ватметра $W_h = P_H \cdot \Delta t$	ΔW_h
	I _A	I _B	I _C	P ₁	P ₂					
V	A	A	A	Вт	Вт	с	Вт	Вт·с	Вт·с	Вт·с

Етап 3. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Схеми з'єднань (рисунок 6.1 та 6.2).
3. Таблиці 6.1 та 6.2 з результатами вимірювань та розрахунків.
4. Розрахункові формули і обчислення всіх величин, що входять в таблиці 6.1 та 6.2.

Контрольні запитання

1. В яких випадках і по яких схемах можна зміряти активну потужність трифазної системи одним однофазним ватметром?
2. Коли для вимірювання активної потужності трифазної системи можна користуватися схемою двох однофазних ватметрів?
3. За яких умов два однофазні ватметри, увімкнені для вимірювання активної потужності трифазної системи, дають однакові показання?
4. Які прилади слід застосовувати для обліку активної енергії в трифаз-

них мережах?

5. Які особливості вимірювання активної потужності трифазної системи при наявності і відсутності нейтралі?

6. Приведіть вираз для розрахунку активної потужності через фазні і лінійні струми і напруги.

7. Дайте характеристику схеми умикання лічильника активної енергії трифазного струму. Вкажіть на схемі обмотки лічильника.

8. З яких міркувань вибирають опір додаткових резисторів до однофазного ватметра для утворення штучної нейтральної точки?

Список рекомендованої літератури

4. 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. (§ 5.16, стор. 120–124).

5. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Высшая школа. 2002. – 542 с. (§§ 3.6-3.8, стор. 114-119).

6. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – 10-е изд. М.: УИЦ "Гардарика", 2001. – 638 с. (§6.13, § 6.15, стор. 193-195)

СПИСОК ДОДАТКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Малинівський С.М. Загальна електротехніка: Підручник. – Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2003. 640 с.
2. Электротехника /Под ред. В.С. Пантюшина. – М.: Высшая школа, 1976. – 568 с.
3. Общая электротехника /Под ред. А. Т. Блажкина. – 4-0 изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 592 с.
4. Борисов Ю.М., Липатов Н.Д. Общая электротехника. – М.: Высшая школа, 1974. – 519 с.
5. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Энргоиздат, 1983. – 440 с.

З М І С Т

Лабораторна робота 8/1 Електровимірювальні прилади та вимірювання електричних величин	4
Лабораторна робота 8/2 Дослідження лінійного розгалуженого електричного кола постійного струму	14
Лабораторна робота 8/3 Дослідження лінійного нерозгалуженого кола синусоїдального струму	18
Лабораторна робота 8/4 Дослідження лінійного розгалуженого кола синусоїдального струму	23
Лабораторна робота 8/5 Дослідження режимів роботи трифазних схем	29
Лабораторна робота 8/6 Вимірювання активної потужності та енергії трифазного струму	35
Список додаткової літератури	39

Упорядники:
Ципленков Дмитро Володимирович
Федоров Сергій Іванович
Остапчук Олександр Володимирович

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з дисциплін:
"ЕЛЕКТРОТЕХНІКА, ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ
ТА МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ"
та "ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ"
для студентів напрямів 0902 – Інженерна механіка,
0903 – Гірництво, 0707 – Геологія
(Розділ „Електричні кола“)

Редакційно-видавничий комплекс

Підписано до друку 21.09.2008. Формат 30x42/4. Папір Captain.
Ризографія. Умовн. друк. арк. 2,2. Обліково-видавн. арк. 2,2.
Тираж 500 прим. Зам. №

Надруковано з готових оригінал-макетів у редакційно – видавничому комплексі
Національного гірничого університету
49005. ДСП, м. Дніпропетровськ, пр. Карла Маркса, 19