

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



Кафедра електротехніки



В.С. Хілов, С.І. Федоров

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до виконання лабораторних робіт з дисципліни:
“Основи метрології та електричні вимірювання”
для студентів напрямку: 14 Електрична інженерія
спеціальності: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

**Дніпро
2021**

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



Кафедра електротехніки



В.С. Хілов, Д.В., С.І. Федоров

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до виконання лабораторних робіт з дисципліни:
“Основи метрології та електричні вимірювання”
для студентів напрямку: 14 Електрична інженерія
спеціальності: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

**Дніпро
2021**

Рекомендовано до видання навчально-методичним
відділом (протокол № від за поданням
науково-методичної комісії зі спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(протокол № від)

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни: “Осно-
ви метрології та електричні вимірювання” для студентів спеціальностей 141 –
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. /В.С. Хілов, С.І. Федоров;
Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Д.: НТУ "ДП", 2021. – 41 с.

Автори:

Хілов В.С., д-р техн. наук, проф. (роботи 2, 4, 5)
Федоров С. І., старший викладач (роботи 1, 3, 5)

Методичні вказівки написані на основі багаторічного досліду, накопиче-
ного на кафедрах НТУ «Дніпровська політехніка» при викладанні дисципліни
“Основи метрології та електричні вимірювання” та суміжних з нею дисциплін.

Вступ

У програму лабораторних робіт входять деякі контрольні, а також інші випробування, що дозволяють досліджувати методи метрології та електричних вимірювань, навчитися проводити вимірювання в електричних колах постійного, синусоїдального однофазного та трифазного струму в електричних схемах 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:

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

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

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

ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ ТА ДОДАТКОВЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Мета роботи:

Ознайомлення з електровимірювальними приладами, вивчення методів вимірювання основних електричних величин приладами, що використовуються при виконанні електротехнічних робіт та досліджень електричних кіл.

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

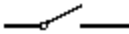
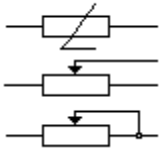
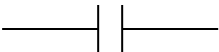
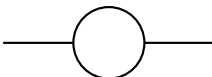
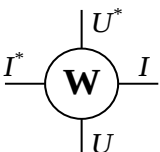
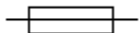
Етап 1. Вивчення умовних графічних позначень елементів електричних кіл та електровимірювальних приладів

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

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

Таблиця 1.1

Графічне позначення елементів електричних кіл і електровимірювальних приладів

<i>Найменування</i>	<i>Умовне позначення</i>
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

Ознайомитись з будовою і принципом дії приладів для вимірювання струму, напруги і потужності керуючись літературою та згідно методичних вказівок.

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.

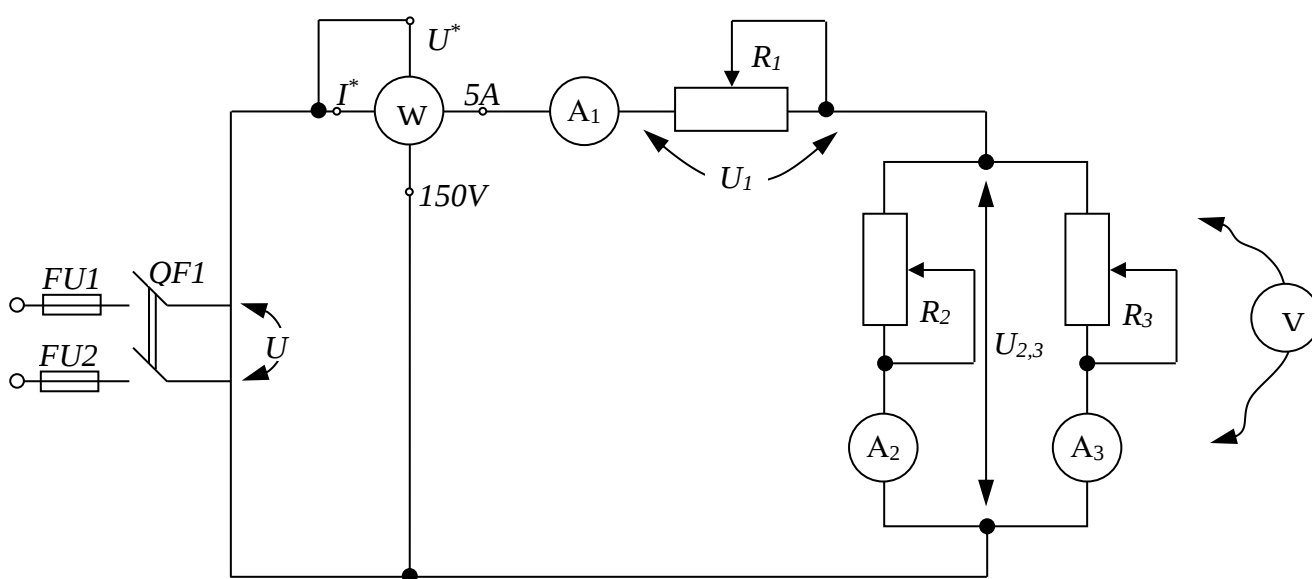


Рисунок 1.1 – Принципова схема з'єднань розгалуженого електричного кола

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_{23} , B	P , Bm
Задано										
Розраховано	$U_1 + U_{23}$									
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 виміряної 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>Ватметр</i>
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, 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.

4. Розрахункові формули та обчислення всіх величин, що входять в таблиці 1.5 та 1.6

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 $\tilde{o}$ – 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.

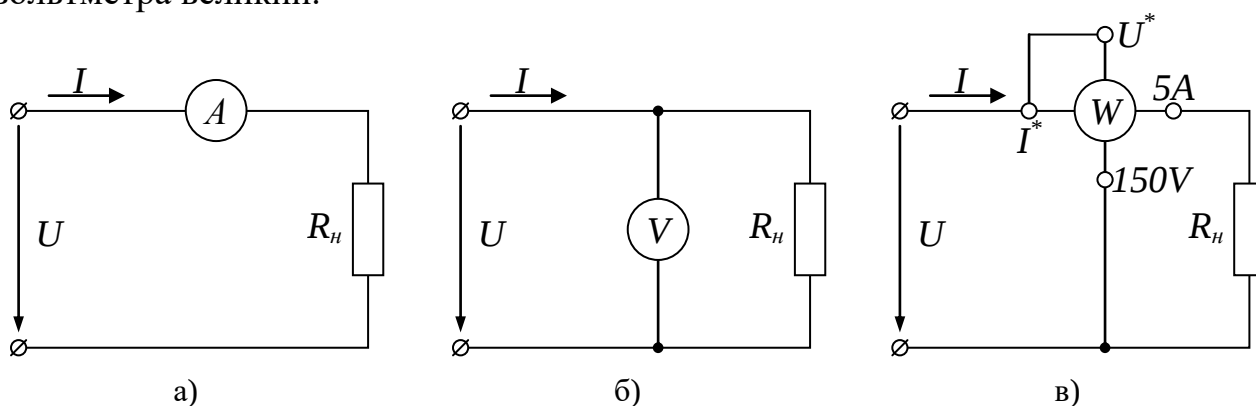


Рисунок 1.2 – Схеми вмикання приладів:
а – амперметра; б – вольтметра; в – ватметра

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

$$C'_I = C_I n$$

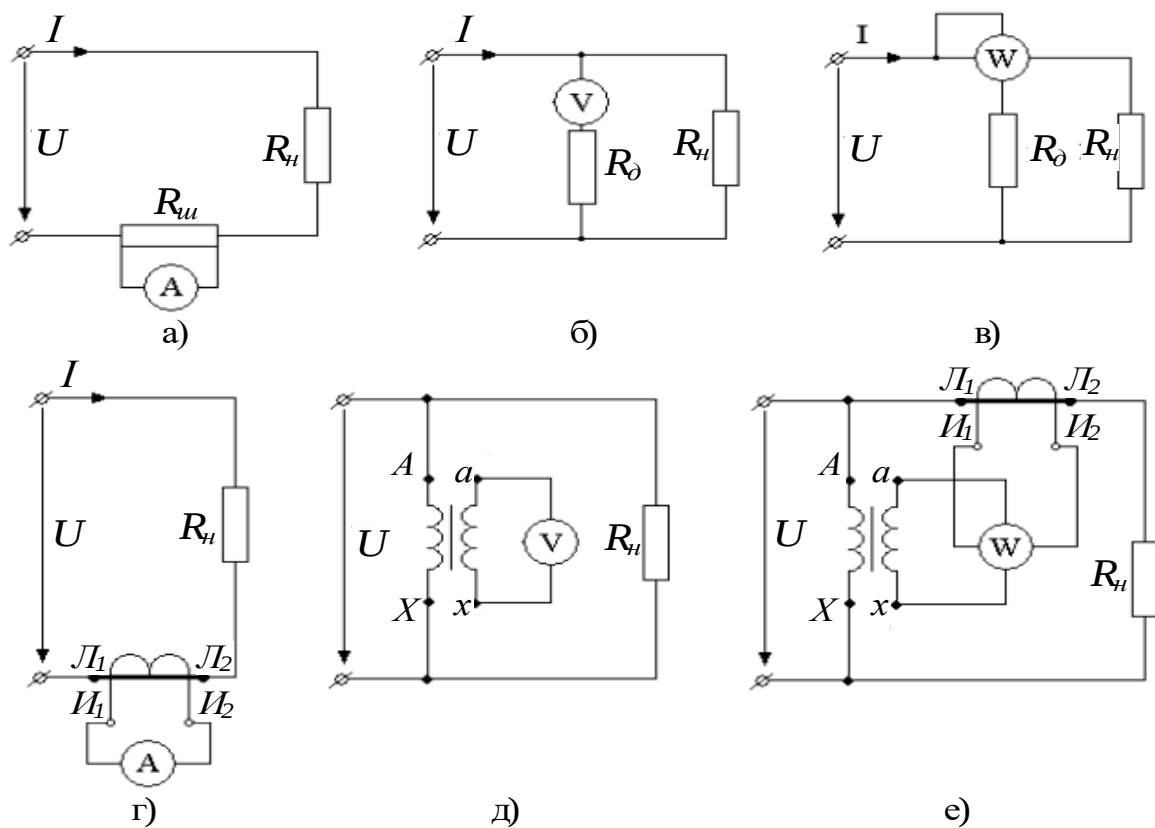


Рисунок 1.3 – Схеми вмикання приладів з вимірювальними перетворювачами

Для розширення 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. 1.3, 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 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.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.

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

- Струми і напруги віток:

$$I_1 = \frac{U}{R_{\text{екв}}}; \quad I_2 = \frac{U_{23}}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U_{23}}{R_3};$$
$$U_1 = R_1 I_1; \quad U_{23} = U - U_1 = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} I_1.$$

- Потужність кола

$$P = I_1^2 R_{\text{екв}} = U I_1.$$

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

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 на пряму відхилення стрілки ватметра?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ПЕРЕВІРКА АМПЕРМЕТРА І ВОЛЬТМЕТРА

Мета роботи

Одержати практичні навички при виконанні перевірки електровимірювальних приладів.

Програма роботи

1. Ознайомлення з приладами, які підлягають перевірці, та вибір зразкових приладів.
2. Визначення умов перевірки.
3. Перевірка амперметра.
4. Перевірка вольтметра.

Етапи роботи

Етап 1. Ознайомлення з приладами, які перевіряються, і вибір зразкових приладів

На шкалі вимірювальних приладів міститься інформація про вимірювальну систему приладу; клас точності, якому відповідає прилад; відомості про внутрішні параметри; вимоги до умов експлуатації; ступінь захищеності від впливу зовнішніх електричних, магнітних полів, тощо. Інформація відображується у вигляді умовних позначок, перелік яких затверджено державним стандартом.

Необхідно ознайомитися з приладами, які перевіряються, умовними позначками на шкалах і розшифрувати їх. Установити принцип дії кожного приладу, призначення, клас точності, необхідні вимоги щодо коректного виконання вимірів. Спираючись на відомості про прилади, які підлягають перевірці, необхідно правильно визначити метрологічні параметри зразкових приладів.

Дані про зразкові прилади та прилади, які перевіряються, занести до табл.

2.1.

Етап 2. Визначення умов виконання перевірки електровимірювальних приладів

Таблиця 2.1

Умовні позначки на шкалі

Назва приладу	Система	Межа вимірювань	Умовні позначки на шкалі
Амперметр, що перевіряється			
Амперметр зразковий			
Вольтметр, що перевіряється			
Вольтметр зразковий			

При перевірці вимірювальних приладів необхідно визначити умови їх експлуатації: температуру та вологу навколишнього повітря, атмосферний тиск, наявність поблизу приладів джерел електричних та магнітних полів. Звернути увагу на необхідне робоче положення приладів (горизонтальне, вертикальне).

Отримані дані про умови експлуатації занести до табл. 2.2. Зробити висновки відносно умов перевірки приладів.

Таблиця 2.2

Умови роботи вимірювальних приладів

Температура повітря, °C	Відносна вологість, %	Атмосферний тиск, мм.рт.ст.	Рівень зовнішніх магнітних полів	Положення приладів	Висновок

Етап 3. Перевірка амперметра

Зібрати електричне коло за схемою, наведеною на рис.2.1.

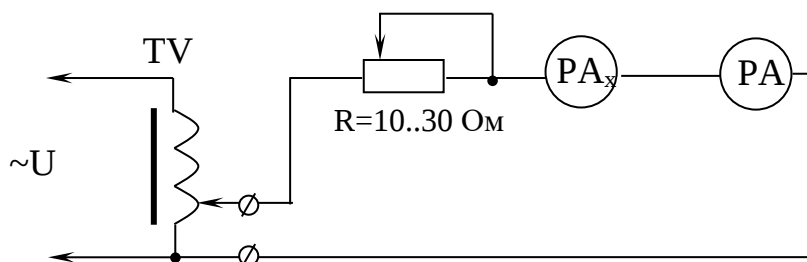


Рисунок 2.1 – Схема дослідного кола при перевірці амперметра

У якості джерела напруги, що подається на вхід схеми, використовується лабораторний автотрансформатор (ЛАТР), який на схемі позначено “TV”. Грубе регулювання сили струму у електричному колі досягається завдяки використанню автотрансформатора. Точне регулювання необхідно здійснювати за допомогою реостата R . Перед перевіркою стрілки перевіряемого та зразкового приладів встановити точно проти нульових позначок на шкалі.

Перевірка приладів виконується наступним чином. Шляхом поступового збільшення вхідної напруги електричного кола (грубе регулювання) досягти першої оцифрованої поділки шкали перевіряемого амперметра. За допомогою плавного регулювання з використанням реостату встановити стрілку точно напроти оцифрованої поділки перевіряемого приладу. Зняти покази зразкового приладу. Покази обох приладів занести до табл. 2.3 (стовбчики 1 та 2).

Таблиця 2.3

Результати перевірки амперметрів

Покази приладів				П о х и б к и						
По вір .	Зразкового			Абсолютна		Поправка	Відносна		Приведена	
				Зрост .	Змен ш.		Зрост.	Зменш.	Зрост .	Змен ш.
I_x , А	При зрост. I' , А	При змен ш. I'' , А	Се- ред- не I_{cp} , А	$\Delta I'$, А	$\Delta I''$, А	I_n , А	δ' , %	δ'' , %	γ' , %	γ'' , %

Таким чином необхідно зняти покази для усіх оцифрованих поділок перевіряемого амперметра, при цьому треба переміщувати стрілку тільки в одному

напрямку – напрямку зростання сили струму. При невиконанні останньої вимоги дослідження треба зробити спочатку. Після досягнення найбільшого значення вимірюваної сили струму необхідно повторити експеримент у бік зменшення показів приладу. Результати занести до табл. 2.3 (стовбчик 3).

Примітка: один штрих при літерних позначеннях вимірюваних та обчислених параметрів відповідає режиму зростання показів приладу, подвійний штрих використано при зменшенні вимірюваної величини.

Етап 4. Перевірка вольтметра

Порядок проведення перевірки вольтметра аналогічний. Схема дослідного кола при увімкненні двох вольтметрів зображена на рис. 2.2. Результати перевірки занести у табл. 2.4.

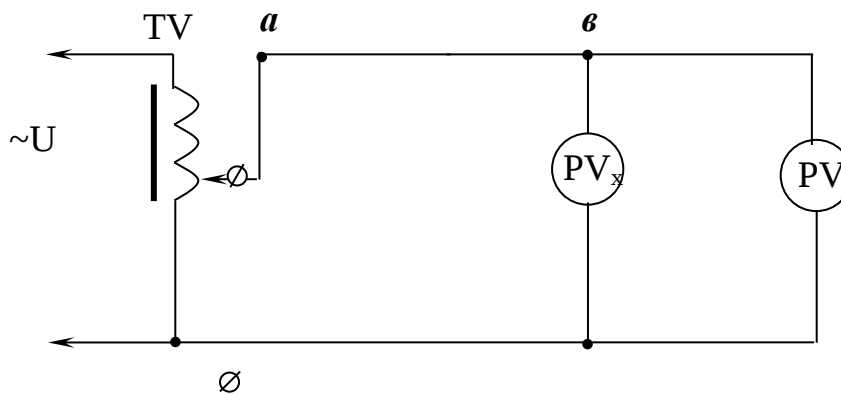


Рисунок 2.2 – Схема дослідного кола при перевірці вольтметра

Для точного регулювання напруги на вольтметрах між точками **а** та **в** схеми рекомендується увімкнути реостат з опором 1..1,5 кОм.

Таблиця 2.4

Результати перевірки вольтметрів

Покази приладів				П о х и б к и						
По вір .	Зразкового			Абсолютна		Поправка	Відносна		Приведена	
				Зрост .	Змен ш.		Зрост.	Зменш.	Зрост .	Змен ш.
U _x , В	При зрост. U', В	При змен ш. U'', В	Се- ред- нє U _{ср} , В	ΔU' , В	ΔU'', В	U _n , В	δ', %	δ'', %	γ', %	γ'', %

Після виконання розрахунків та заповнення таблиць необхідно зробити висновок – чи відповідають амперметр та вольтметр, що перевірялися, своєму класу точності.

Звіт повинен містити

1. Номер, назву, мету та програму лабораторної роботи.
2. Дані про прилади (табл. 2.1, 2.2).
3. Схеми перевірки амперметра та вольтметра.
4. Табл. 2.3 та 2.4 з результатами перевірки приладів.
5. Висновки щодо відповідності приладів вказаному класу точності.

Методичні вказівки

Етап 1. При виборі зразкових приладів необхідно керуватись наступними правилами:

- ♦ основна приведена похибка зразкового приладу повинна бути не менш, ніж у три, а бажано у п'ять разів нижче основної приведеної похибки приладу, який перевіряється;
- ♦ прилади змінного струму необхідно перевіряти зразковими приладами електродинамічної системи. Припускається використання в якості зразкових приладів амперметри та вольтметри тієї ж системи, що і перевіряємі, але з кращими метрологічними характеристиками;
- ♦ верхня межа вимірювань зразкового приладу повинна бути такою ж, як і у перевіряємого, або не повинна перевищувати її більш, ніж на 25%.

Етап 2. Нормативними документами встановлені умови експлуатації засобів вимірювань у відношенні величин (виключаючи ту, яка підлягає вимірюванню), під дією яких змінюється дійсне значення міри, покази приладу чи рівняння перетворення перетворювача. Факторами, які впливають на покази приладів, є температура і вологість повітря, атмосферний тиск, рівень зовнішніх електричних та магнітних полів, положення приладу, частота та інші.

Похибка засобів вимірювань при нормальних умовах експлуатації називається основною похибкою. Висновок про нормальні умови експлуатації виконується при порівнянні дійсних значень вказаних факторів з допустимими значеннями, вказаними у паспортних даних приладів. Основні похибки вимірювань підлягають визначенню на основі даних про клас точності приладів. Якщо умови перевірки приладів відрізняються від нормальних, то при обробці результатів вимірювань необхідно врахувати додаткову помилку.

Етапи 3, 4. Абсолютною похибкою показів приладу ΔA є різниця між показами приладу, що перевіряється A_x і дійсним значенням вимірюваної величини A (зразковий прилад):

$$\Delta A = A_x - A.$$

Абсолютна похибка має ті ж одиниці вимірювання, які має вимірювана величина.

Відносна похибка показів приладу визначається як відношення абсолютної похибки до дійсного значення величини, тому вимірюється у долях одиниці чи у відсотках:

$$\delta = \frac{\Delta A}{A} \cdot 100\%.$$

Поправкою називається значення величини, що додається до одержаного при вимірюванні значення величини з метою виключення систематичної похибки. Поправки визначають для кожної позначки шкали перевіряемого приладу по середньому арифметичному двох вимірювань при збільшенні і зменшенні вимірюваної величини:

$$A_n = A_{cp} - A_x, \text{ де } A_{cp} = \frac{A' + A''}{2},$$

A' , A'' - дійсне значення вимірюваної величини відповідно при її зростанні та зменшенні.

Приведена похибка розраховується як відношення абсолютної похибки до нормуючого значення:

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_H} \cdot 100\%,$$

де A_H - нормуюче значення (дорівнює довжині діапазону вимірювань, на який працював прилад).

Щоб урахувати похибку, що вноситься зразковим приладом, рахуються, що прилад відповідає своєму класу точності, якщо

$$\gamma_{max} \leq K_{нов} - K_{зр},$$

де γ_{max} - найбільше із розрахованих значень приведеної похибки, одержаних в результаті перевірки;

$K_{нов}$, $K_{зр}$ - відповідно класи точності перевіряемого та зразкового приладів.

Прилад не відповідає присвоєному класу точності, якщо

$$\gamma_{max} \geq K_{нов} + K_{зр}.$$

Висновок про відповідність приладу присвоєному класу точності зробити не можна, якщо $K_{нов} - K_{зр} < \gamma_{max} < K_{нов} + K_{зр}$.

Бувають випадки, коли приладом з класом точності за приведеною похибкою необхідно виконати перевірку приладу з класом точності за відносною

похибкою, або навпаки. В цьому випадку максимальна абсолютна похибка зразкового приладу $\Delta_{\text{зд}}$ повинна бути в три і більше разів меншою за максимальну абсолютну похибку перевіряемого приладу $\Delta_{\text{па}}$. Абсолютні похибки приладів находимо за формулами:

$$\Delta = \frac{\gamma \cdot A_H}{100}; \quad \Delta = \frac{\delta \cdot A}{100}.$$

Прилад відповідає своєму класу точності, якщо $\Delta A_{\text{max}} \leq \Delta_{\text{нов}} - \Delta_{\text{зр}}$, де ΔA_{max} - найбільше із значень абсолютних похибок, взятих з ряду перевіряємих процифрованих поділок.

Прилад не відповідає присвоєному класу точності, якщо $\Delta A_{\text{max}} \geq \Delta_{\text{нов}} + \Delta_{\text{зр}}$.

Висновок про відповідність приладу присвоєному класу точності зробити не можна, якщо $\Delta_{\text{нов}} - \Delta_{\text{зр}} < \Delta A_{\text{max}} < \Delta_{\text{нов}} + \Delta_{\text{зр}}$.

Контрольні запитання

1. Які вимоги ставляться до зразкових приладів?
2. Що таке основна і додаткова похибка вимірювань?
3. Як визначаються поправки до перевіряємих приладів?
4. Що характеризує клас точності приладу?
5. За якими похибками визначається клас точності приладу?
6. Які фактори впливають на точність вимірювань?
7. Чому покази зразкового приладу, одержані при зростанні і зменшенні вимірюваної величини, можуть бути різні?
8. Які прилади потрібні для визначення умов перевірки приладів?
9. Чим характеризуються нормальні умови роботи приладів?
10. Яке призначення мають резистори у схемах та як вони обираються?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИМІРЮВАННЯ СТРУМІВ ТА НАПРУГ В ТРИФАЗНИХ СХЕМАХ ПРИ СПОЛУЧЕННІ ЗІРКОЮ ТА ТРИКУТНИКОМ

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. 3.1.
2. Після перевірки керівником правильності з'єднань створити симетричне навантаження фаз. Зміряти і записати величини, вказані в табл. 3.1 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.

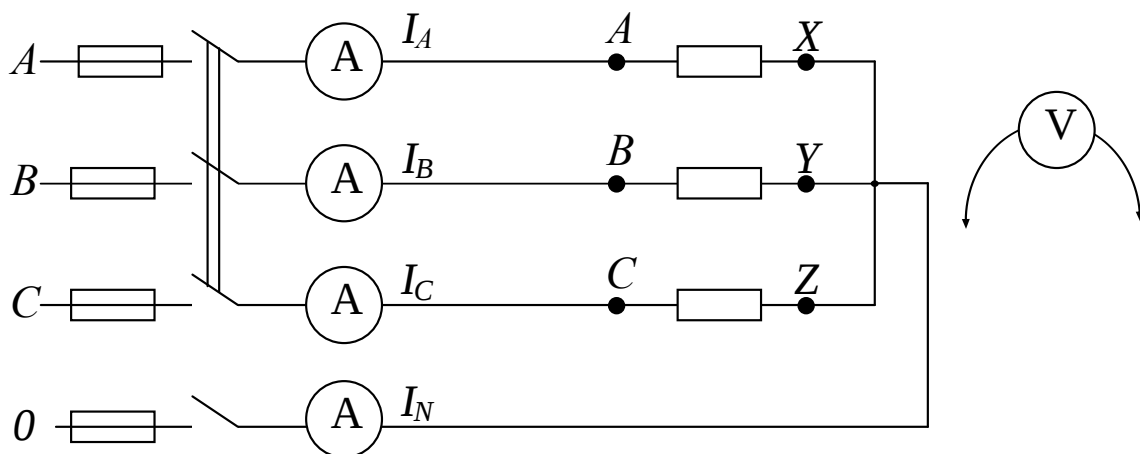


Рисунок 3.1 – Принципова схема вмикання навантаження зіркою

Таблиця 3.1

Результати дослідження режимів роботи трифазної схеми при вмиканні приймачів зіркою

Режим навантаження	Лінія	Виміряно										
		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	
Симетричний	3-провідна										—	
	4-провідна											—
Несиметричний	3-провідна										—	
	4-провідна											—

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. 3.2.

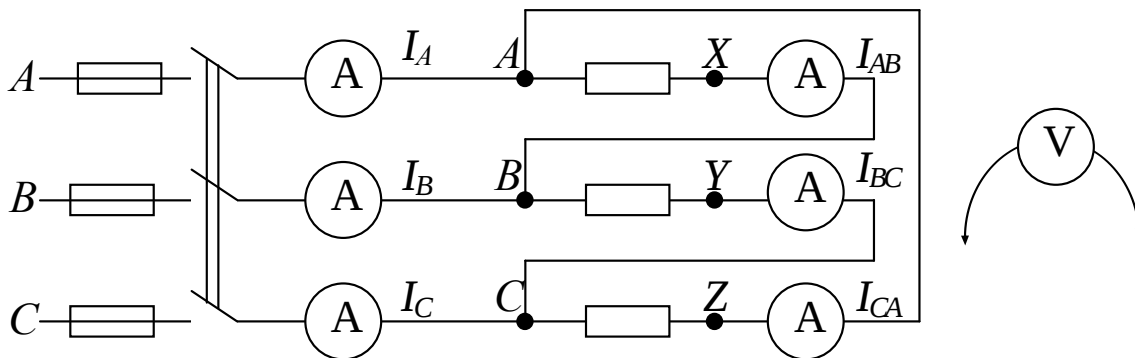


Рисунок 3.2. – Принципова схема вмикання навантаження трикутником

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

- симетричного навантаження;
- несиметричного навантаження.

Результати вимірювань записати в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Результати дослідження режимів роботи трифазної схеми
при вмиканні приймачів трикутником

Режим навантаження	В и м і р я н о								
	Напруга			Струм					
	Лінійні значення			Лінійні значення			Фазні 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
Симетричний									
Несиметричний									

Етап 3. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи та її мету.
2. Схема вмикання навантаження за схемою зірка (рис. 3.1) та трикутник (рис. 3.2).
3. Заповнені таблиці 3.1 та 3.2.

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 кожену 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:

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

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 кожену 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 вектор лінійного струму можна одержати графічно або аналітично з рівнянь, складених по першому закону Кирхгофа для вузлів схеми.

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

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

Контрольні запитання

1. Які методи в основному застосовуються для вимірювання напруги і струму в даний час?
2. Який найбільш поширений і найбільш оперативний метод вимірювання напруги і струму?
3. При якому методі чисельне значення вимірюваної величини визначається безпосередньо по відліковому пристрою вимірювального приладу, відградуйованому в одиницях вимірюваної величини?
4. Як називається метод вимірювання, при якому вимірювана величина ^ порівнюється з однойменної величиною $X_{обр}$, що відтворюється зразковою мірою?
5. Як підключається Вольтметр до ділянки кола, на якому необхідно виміряти напругу, як підключається амперметр до ділянки ланцюга, в якому необхідно виміряти силу струму..
6. Як включення вольтметра і амперметра в досліджувану ланцюг спотворює режим роботи цього ланцюга?
7. Як абсолютна похибка вимірювання напруги залежить від опору вольтметра:?
8. Як абсолютна похибка вимірювання струму залежить від опору R_a ?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ У ТРИФАЗНИХ КОЛАХ

Мета роботи: Навчитися робити вимірювання активної та реактивної потужності у трифазних колах.

Програма роботи

1. Зборка кола для вимірювання активної потужності.
2. Вимірювання активної потужності.
3. Зборка кола для вимірювання реактивної потужності.

4. Вимірювання реактивної потужності.
5. Розрахунок похибок вимірювання.

Етапи роботи

Етап 1. Зборка кола для вимірювання активної потужності

Для вимірювання активної потужності у трифазних колах використовуються різні схеми ввімкнення ватметрів, які обумовлені особливостями підключення навантаження у трифазному колі (з'єднання трикутником або зіркою, трипровідні та чотирипровідні кола, симетричне та несиметричне навантаження).

Вимірювання активної потужності в чотирипровідних колах здійснюється за допомогою трьох ватметрів; для вимірювання потужності в трипровідних колах при симетричному навантаженні достатньо одного ватметра, для несиметричного – двох. В лабораторній роботі для вимірювання активної потужності в трипровідному колі використовується метод двох ватметрів.

Схема підключення двох ватметрів, яка показана на рис.1, дозволяє вимірювання активної потужності при симетричному та несиметричному навантаженні.

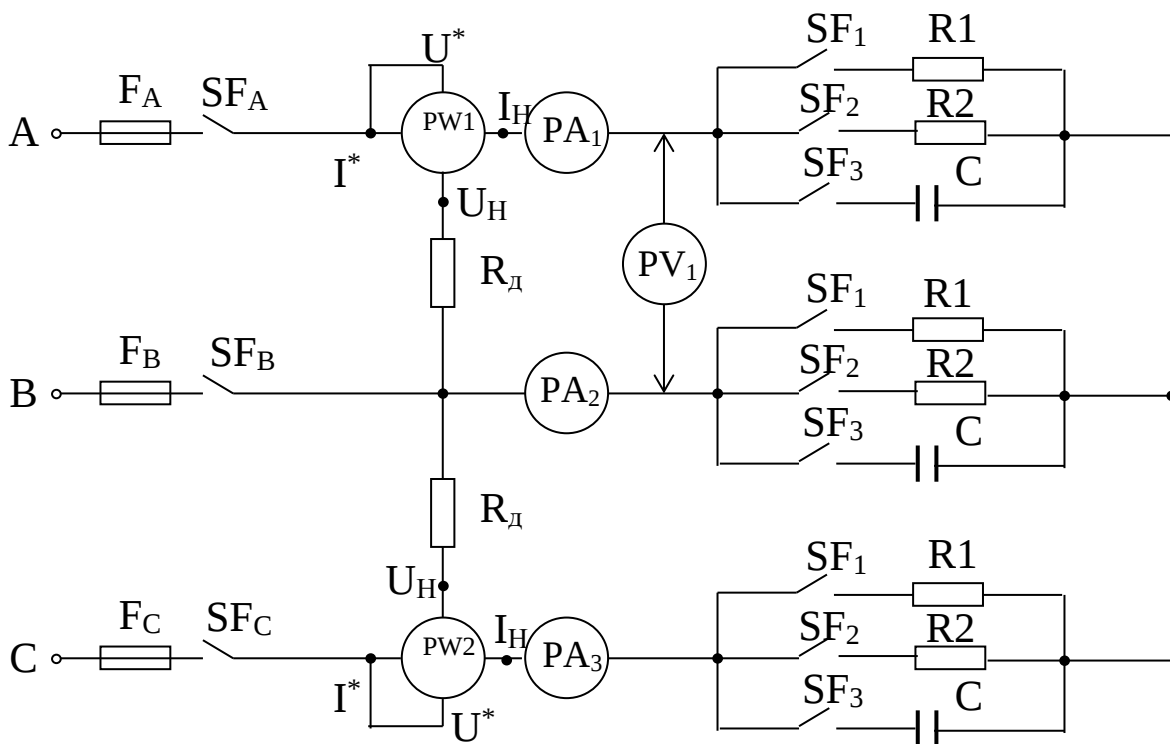


Рисунок 4.1 – Електричне коло за схемою зіркою для вимірювання активної потужності

Зібрати електричне коло за схемою, приведеною на рис. 4.1, враховуючи, що: 1) при опорі навантаження $R_{1,2}=400; 600; 800$ Ом їх з'єднують трикутником; 2) амперметри повинні вимірювати лінійні струми; 3) перемикач межі ватметра за напругою встановити у положення $U_H=300$ В, якщо межа ватметра за напру-

гою становить 150 В, то для розширення межі вимірювань за напругою необхідно послідовно з обмоткою напруги кожного ватметра ввімкнути додатковий опір R_d (при цьому ціна поділки ватметра зміниться).

Етап 2. Вимірювання активної потужності

Виміряти активну потужність трипровідного кола при симетричному та несиметричному неоднорідному навантаженні. Несиметрію здійснювати вмикаючи навантаження у фазах кола з різними значеннями опору $R_{1,2}$. Показання приладів та значення опору навантаження занести у табл. 4.1.

Впевнитися в тому, що зміна реактивного навантаження не впливає на суму показів ватметрів!

Таблиця 4.1

Навантаження		Виміряно						Обчислено			
		U_L	I_1	I_2	I_3	W_1	W_2	$P=W_1+W_2$	ΔP_m	ΔP_b	δ_{Pm}
		В	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	%
Симетричне	R										
	C										
	R, C										
Несиметричне	R										
	R, C										

Етап 3. Зборка кола для вимірювання реактивної потужності

Зібрати ланцюг згідно із схемою, наведеною на рис. 4.2, для вимірювання реактивної потужності. Для цього необхідно змінити тільки схему ввімкнення паралельних обмоток ватметрів. Опір R_f повинен бути рівним опору паралельних обмоток обох ватметрів.

Етап 4. Вимірювання реактивної потужності

Виміряти реактивну потужність трипровідного кола при симетричному, несиметричному навантаженні. Отримані показання приладів занести у табл. 4.2.

Примітка: провести дослідження, спостерігаючи, як змінюються покази ватметрів та їх сума при зміні активного опору фаз.

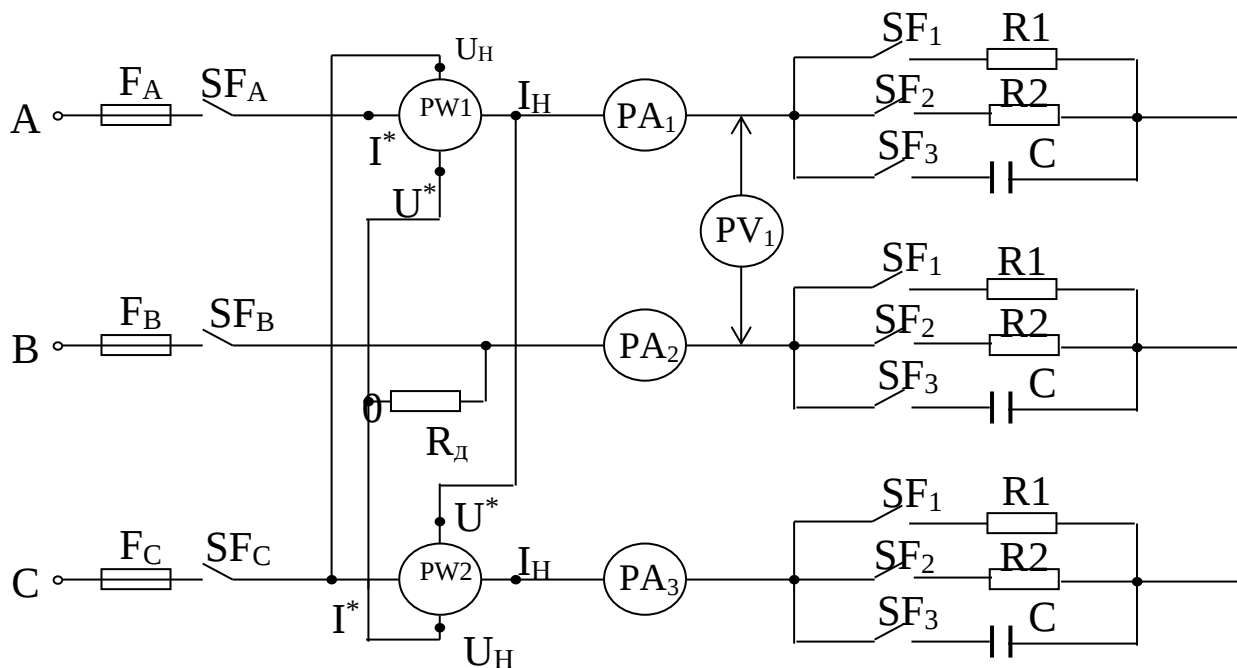


Рисунок 4.2 – Електричне коло за схемою зірка для вимірювання реактивної потужності

Таблиця 4.2

Наванта- ження		Виміряно						Обчислено				
		V_L	I_1	I_2	I_3	P_1	P_2	$Q = \sqrt{3}(P_1 + P_2)$	ΔQ_m	ΔQ_b	δ_{Qm}	δ_{Qb}
		В	А	А	А	Вт	Вт	вар	вар	вар	%	%
Си- мет-	R											
	C											
	R, C											
Несимет- ричне	C											
	R, C											

Етап 5. Розрахунок похибок вимірювань

Паспортні дані вимірювальних приладів занести до таблиці 3. За формулами, наведеними у методичних вказівках до лабораторної роботи, обчислити абсолютну та відносну похибку вимірювань активної і реактивної потужностей.

Звіт повинен містити

1. Номер, назву, мету та програму лабораторної роботи.
2. Схеми електричних кіл для проведення вимірювань активної та реактивної потужностей (рис.4.1 та 4.2).

3. Заповнені таблиці 4.1, 4.2, 4.3.
4. Обчислення активної та реактивної потужностей.
5. Обчислення похибок вимірювань.

Таблиця 4.3

Призначення приладу	Заводський номер	Система	Межа вимірювання	Ціна поділки	Клас точності
Вольтметр (PV_1)					
Ватметр (PW_1)					
Ватметр (PW_2)					
Амперметр (PA_1)					
Амперметр (PA_2)					
Амперметр (PA_3)					

Методичні вказівки

Еман 2. Покази ватметра можуть бути позитивні чи негативні в залежності від кута зсуву між струмами та напругами, тому покази ватметрів слід підсумовувати алгебраїчно. При ввімкненні приймачів реактивного навантаження сума показань ватметрів не повинна змінитись, так як при цьому змінюється величина лише реактивної потужності, активна потужність залишається незмінною.

Еман 4. При вимірюванні реактивної потужності трифазного кола двома ватметрами паралельні обмотки цих ватметрів разом з опором R_0 створюють зірку. При цьому необхідно дотримуватися умови:

$$R_{U1} = R_{U2} = R_0,$$

де R_{U1} , R_{U2} - опори паралельних обмоток ватметрів.

Еман 5. Обчислення похибок при непрямих вимірюваннях створюється шляхом диференціювання функції в частинних похідних кожного з визначених параметрів [4]. Розрахункові формули для оцінки похибки вимірювання активної потужності наведено нижче. Розрахунок похибки вимірювання реактивної потужності виконати самостійно.

Повна активна потужність трифазного кола складається із суми показів двох ватметрів, ввімкнених за схемою рис.4.1:

$$P = W_1 + W_2.$$

Абсолютні похибки показань ватметрів обчислюються наступним чином - для приладів з класом точності, який відповідає приведеній похибці:

$$\Delta P_1 = \pm \frac{\gamma_1 \cdot P_{H1}}{100}; \quad \Delta P_2 = \pm \frac{\gamma_2 \cdot P_{H2}}{100};$$

- для приладів з класом точності, який відповідає відносній похибці:

$$\Delta P_1 = \pm \frac{\delta_1 \cdot W_1}{100}; \quad \Delta P_2 = \pm \frac{\delta_2 \cdot W_2}{100}.$$

Максимальна абсолютна похибка вимірювань

$$\Delta P_m = |\Delta P_1| + |\Delta P_2|;$$

ймовірна абсолютна похибка

$$\Delta P_b = \sqrt{(\Delta P_1)^2 + (\Delta P_2)^2}.$$

Максимальна відносна похибка вимірювань:

$$\delta P_m = \frac{\Delta P_m}{P} 100\%,$$

ймовірна відносна похибка розраховується таким чином

$$\delta P_b = \frac{\Delta P_b}{W_1 + W_2} 100\% = \sqrt{\left(\frac{\Delta P_1}{P}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_2}{P}\right)^2}, \%$$

Контрольні запитання

1. При якій умові покази одного з ватметрів у схемі рис. 4.1 при повній симетрії кола:

- а) рівні нулю;
- б) негативні?

2. Чому пропорційна різниця показів ватметрів у схемі рис. 4.1 при симетричному колі?

3. Яке призначення має опір R_0 у схемі рис. 4.2 та як його розрахувати?

4. Як виміряти одним ватметром активну і реактивну потужності у трипро-відному симетричному колі?
5. Як визначити ціну поділки ватметру?
6. Запишіть вирази показань ватметрів у схемі рис. 4.1 для несиметричного і симетричного трифазного кола.
7. Які умови застосування схем з двома ватметрами рис.4.1 та 4.2?
8. Як розрахувати R_D для ватметрів у схемі рис. 4.1?
9. По яким метрологічним характеристикам обирається ватметр?
- 10.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН ОСЦИЛОГРАФАМИ

Мета роботи

Навчитись використовувати різні методи та технічні підходи для вимірювання електричних величин, що змінюються періодично, за допомогою осцилографа.

Програма роботи

1. Ознайомлення з основними конструктивними елементами, принципом дії та правилами роботи з осцилографом.
2. Вимірювання часових та амплітудних параметрів синусоїдного сигналу: частоти, періоду, кута зсуву фаз, амплітуди і діючого значення.
3. Вимірювання постійної складової сигналу.
4. Обчислення результатів вимірювання.

Етапи роботи

Етап 1. Ознайомлення з основними конструктивними елементами, принципом дії та правилами роботи з осцилографом

За конспектом лекцій, літературними джерелами та методичними вказівками вивчити призначення та принцип дії основних конструктивних елементів осцилографа.

Етап 2. Вимірювання частоти, періоду, кута зсуву фаз, амплітуди і діючого значення синусоїдного сигналу

Для вимірювання часових та амплітудних параметрів періодичного сигналу зібрати електричне коло за схемою, представленою на рис. 5.1. Електричне ко-

ло вмикається на вхід генератора звукових сигналів (ГЗС). ГЗС дозволяє отримати синусоїдний сигнал, параметри якого можна регулювати.

Щоб виміряти характеристики синусоїдного сигналу необхідно виконати наступну послідовність дій:

1. Подати вимірювальну напругу в гніздо “ $\oplus$ $1\text{ M}\Omega$, 30 pF ”;
2. Установити перемикачем режиму роботи підсилювача відповідний канал;

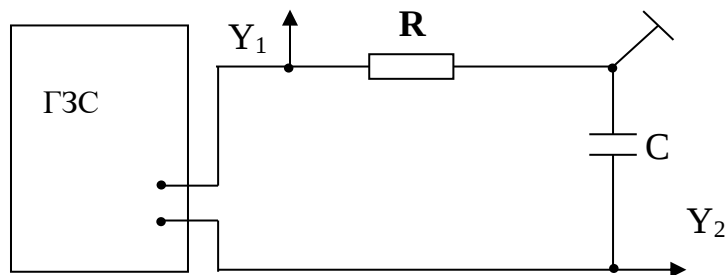


Рисунок 5.1 – Схема електричного кола для вимірювання часових та амплітудних параметрів періодичного сигналу.

3. Поставити перемикач “ $V/\text{дел}$ ” у таке положення, щоб амплітуда зображення складала 5 клітинок;
 4. Поставити перемикачі каналів та синхронізації “ $\sim$ ”, “ $\sim$ ” в положення “ $\sim$ ”;
 5. Відповідно каналу “Y”, на який подається сигнал, ввімкнути синхронізації. “Внутр.” I або II;
 6. Ручку “Уровень” установити в середнє положення; ручку “Стаб.” повільно переводити з крайнього лівого положення в праве до появи сталого зображення;
 7. Ручкою “Уровень” установити стале зображення;
 8. Ручку “ $\updownarrow$ ” установити так, щоб мінімальний рівень сигналу співпадав із однією із нижніх ліній, а максимальний був у межах екрану.
- Наприклад, ми отримали зображення, приведене на рис. 5.2.

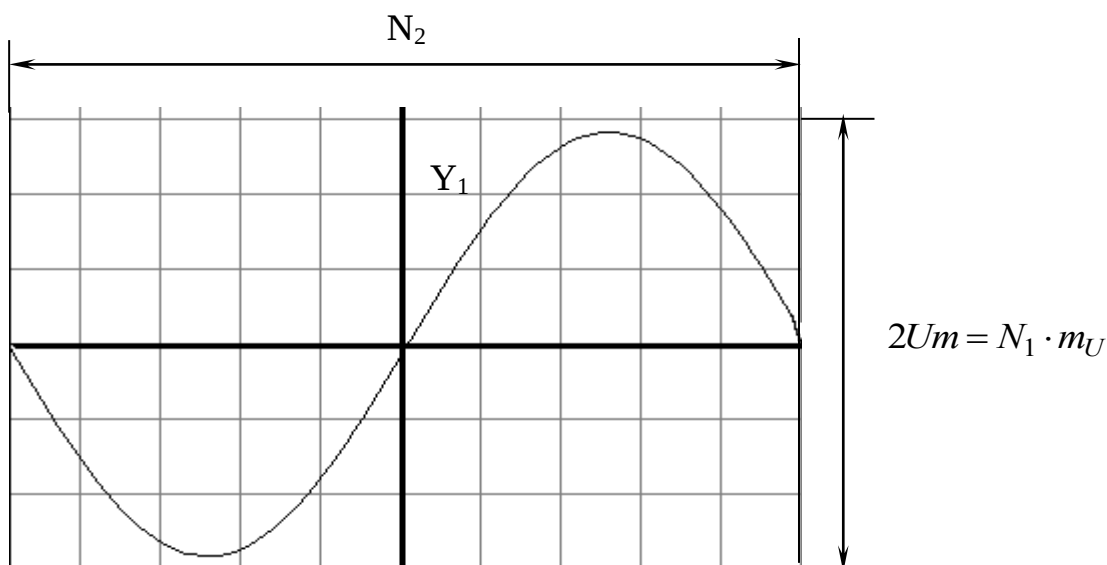


Рисунок 5.2 – Зображення на екрані осцилографа

Період сигналу $T = N_2 \cdot m_S$, де N_2 - кількість клітинок, що відповідає періоду сигналу на екрані осцилографа; m_S - масштабний множник часу, "с/дел".

Частота сигналу $f = \frac{1}{T}$.

Амплітуда сигналу $U_m = \frac{N_1 \cdot m_U}{2}$, де N_1 - кількість клітин, що відповідають розмаху синусоїдного сигналу; m_U - масштабний множник напруги, "В/дел".

Діюче значення синусоїдного сигналу:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

Осцилограма напруги на активному опорі R за формою співпадає з осцилограмою струму у цьому колі $u_R = iR$. На підставі цього можна розрахувати амплітудні параметри сили струму за законом Ома $I_m = U_m / R$.

При відсутності активного опору для вимірювання струму у коло додатково необхідно ввімкнути безреактивний шунт і відповідну напругу виміряти на ньому.

Для визначення фази між двома синусоїдними сигналами однієї частоти можна використовувати двоканальний осцилограф.

При цьому:

- перемикачі каналів – “ $\simeq$ ”, “ $\sim$ ” установити в однакове положення;
- установити перемикач режиму роботи підсилювача в положення “...”;
- подати опорний сигнал на вхід каналу I, а порівнюючий – на вхід каналу II;
-

Будьте уважні при вмиканні кінців вимірювального кабелю до схеми. Його виводи “ $\perp 1$ ”, “ $\perp 2$ ” повинні бути приєднані до однієї точки, інакше вони перемкнуть елементи схеми.

- 1) інвертувати сигнал II каналу шляхом натискання кнопки П;
- 2) установити перемикачем “В/дел” кожного із каналів близькі за величиною зображення (біля 5 клітинок по амплітуді);
- 3) ручкою “Уровень” установити стійке зображення сигналів;
- 4) установити перемикач “Время/дел” на швидкість розгортки, що забезпечує 1, 2 періоди сигналів на екрані;
- 5) розмістити осцилограми сигналів Y_1 та Y_2 симетрично відносно горизонтальної осі за допомогою ручки “ $\updownarrow$ ”;
- 6) виміряти період опорного сигналу 1 (рис. 5.3);

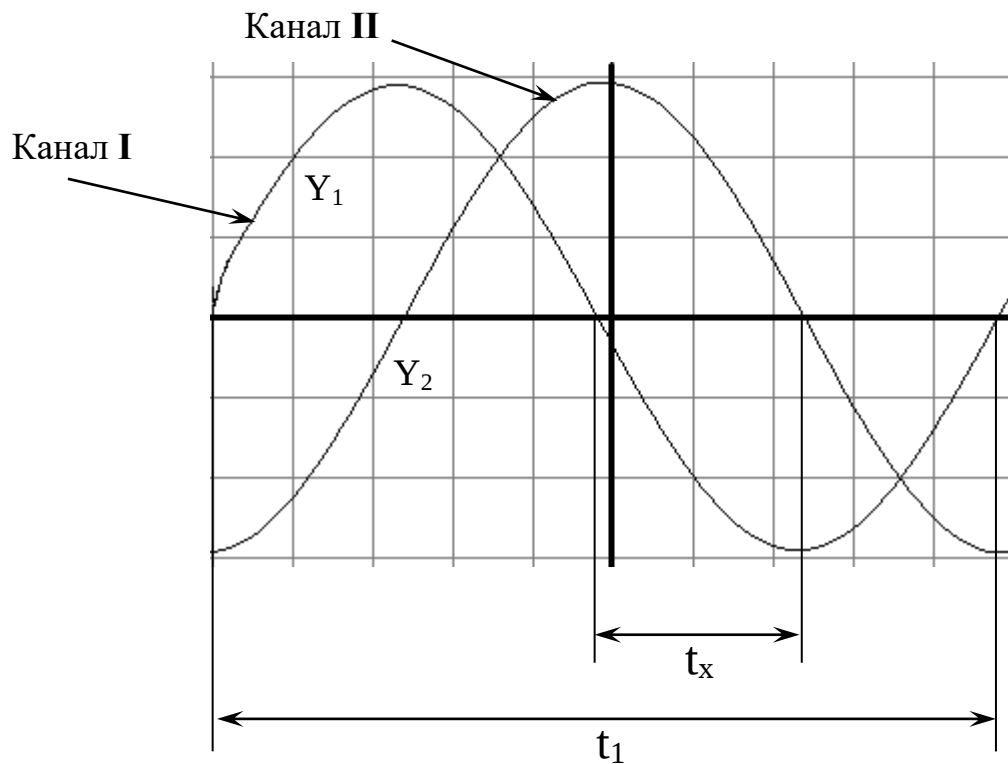


Рисунок 5.3 – Вимірювання періоду опорного сигналу.

- 7) виміряти різницю по горизонталі між відповідними точками сигналів;
- 8) фазовий зсув розраховується за формулою

$$\varphi = \frac{360}{t_1} t_x.$$

Етап 3. Вимірювання постійної складової сигналу

Для вимірювання постійної складової сигналу зібрати електричне коло за схемою, наведеною на рис. 5.4, та виконати наступну послідовність дій:

- а) шляхом перемикавання відповідних ручок управління осцилографом забезпечити стійке зображення дослідного сигналу на екрані;

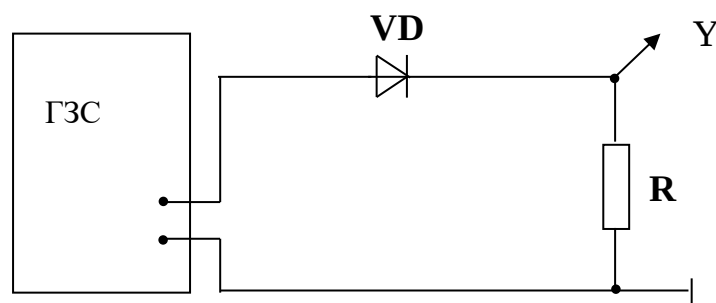


Рисунок 5.4 – Схема підключення для вимірювання постійної складової сигналу.

б) встановити тумблер “~”, “⎓” в положення “~”, при цьому на екрані осцилографа буде отримано зображення, аналогічне наведеному на рис. 5.5, крива 1;

в) перемкнути тумблер в “~”, “⎓” в положення “⎓”, при цьому зображення сигналу зміститься на його постійну складову U_0 (аналогічно рис. 5.5, крива 2);

г) постійна складова сигналу обчислюється за наступною формулою:

$$U_0 = l_3 \cdot m_U.$$

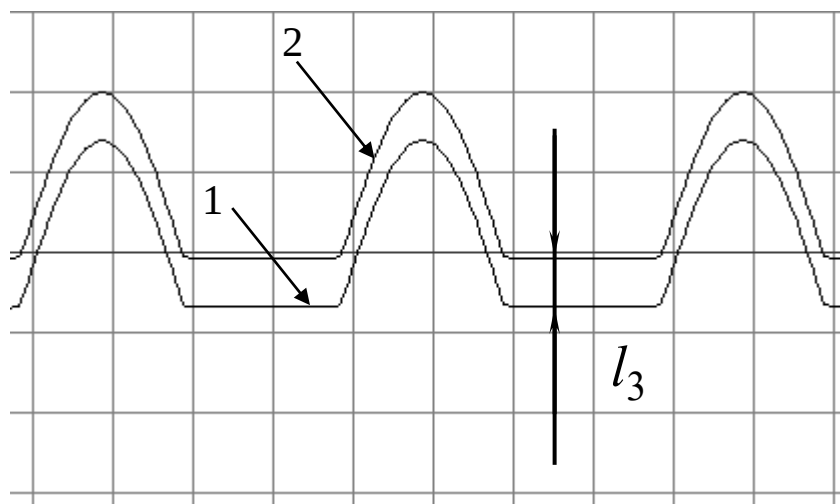


Рисунок 5.5 – Вимірювання постійної складової сигналу.

Етап 4. Обчислення результатів вимірювання

За наведеними вище методиками були одержані результати спостережень вимірюваних параметрів електричних сигналів. Для запису результату вимірювань необхідно визначити абсолютну похибку.

Звіт повинен містити

1. Назву, мету і програму роботи.
2. Схеми дослідних кіл (рис. 5.1-5.4).
3. Експериментальні осцилограми з визначеними масштабами за напругою та часом.
4. Формули з виконаними обчисленнями.
5. Запис результатів вимірювання параметрів електричних величин.
6. Висновки, що повинні містити порівняння похибок вимірювання осцилографів з іншими видами приладів для вимірювання параметрів електричних сигналів.

Методичні вказівки

Принцип дії осцилографа вивчити самостійно за рекомендованою літературою. Особливу увагу потрібно приділити ознайомленню з призначенням блоків осцилографа.

Схема управління променем осцилографа виробляє прямокутні імпульси, які поступають на блокуючі пластини і використовуються для гасіння променя електронного осцилографа під час зворотного ходу розгортки.

Органи управління осцилографом:

- Ручка “*” – регулює яскравість зображення.
- Ручка “Θ” – регулює чіткість (фокус) зображення.
- Ручка “ ” – регулює чіткість освітлення шкали на екрані осцилографа.

Органи управління вертикального відхилення:

- Перемикач “V /дел” – установлює калібровані коефіцієнти відхилення каналу.
- Ручка “↑” – регулює положення променя по вертикалі.
- Ручка “↔” – регулює положення променя по горизонталі.
- Перемикач вибору режиму роботи підсилювача вхідного сигналу (каналу Y).
- “~” – на вхід підсилювача дослідний сигнал поступає через розподільний конденсатор, тобто вимірюється тільки змінна складова сигналу.
- • “~ ” – на вхід підсилювача дослідний сигнал поступає разом з постійною складовою.

Перемикач режиму роботи підсилювача (для однопроменевих осцилографів з комутатором):

- “I” – на екрані осцилографа спостерігається сигнал каналу I.
- “II” – на екрані осцилографа спостерігається сигнал каналу II.
- “...” – на екрані осцилографа спостерігається зображення сигналів обох каналів.
- “→→” – на екрані осцилографа зображення обох сигналів виникає в кінці кожного прямого ходу розгортки.
- I + II – на екрані осцилографа маємо зображення суми обох сигналів.

Перемикач полярності (інвертування) каналу II.

- “+” – фаза сигналу не змінюється.
- “-” – фаза сигналу змінюється на 180°.

Органи управління синхронізації.

- Ручка “Уровень” – вибирається рівень дослідного сигналу, при якому виконується запуск розгортки.
- Ручка “Стабильность” – стабілізує початок розгортки сигналу.
- Перемикач виду синхронізації.
- “Внутр.”, (+), (-) – внутрішня синхронізація сигналу.
- “Внешн.” – розгортка синхронізується зовнішнім сигналом.

- “Авт.” – розгортка при дослідженні періодичних сигналів.
 - “Ждуш.” – розгортка вмикається переднім фронтом дослідного сигналу.
- Органи управління розгорткою.*
- Перемикач “Время/дел” – установлює калібрований коефіцієнт розгортки при крайньому правому положенні ручки “Плавно” (до фіксації).
 - Ручка “Плавно” забезпечує плавне регулювання коефіцієнта розгортки з перекриттям в 2,5 рази в кожному положенні перемикача “Время/дел”.

Підготовка осцилографа до роботи.

- Установити органи управління на панелі осцилографа в такі положення:
- ручка “*” – в крайнє праве;
- ручка “Θ” – в середнє;
- перемикач “ V /дел” – в максимальнє значення;
- ручку “ $\updownarrow$ ” – в середнє;
- перемикач “ $\sim$ ”, “ $\sim$ ” – в положення “ $\sim$ ”;
- перемикач полярності – в “+”;
- перемикач “Время/дел” – в положення “1 mS ”;
- ручка “Авт”, “Ждуш” - в положення “Авт.”;
- перемикач виду синхронізації – “Внутр.”;
- ручку “Уровень” – в крайнє праве положення;
- ручку “ $\leftrightarrow$ ” – в середнє;
- для однопроменевого осцилографа – у крайнє праве.

З’єднати осцилограф з джерелом живлення та ввімкнути його. Через 2-3 хвилини відрегулювати чіткість, фокус променя, змістивши його в робочу зону екрану. Через 10-15 хвилин перевірити та виконати (ручкою “Баланс”) балансування підсилювача. Промінь на екрані осцилографа при правильному балансуванні не повинен переміщуватися зі зміною положення перемикача “ V /дел”. Розрахувати, знаючи масштаб по вісі ординат, максимальнє значення напруги, яке можна подавати на вхід осцилографу. Після виконання проведених операцій можна подавати дослідний сигнал на вхід осцилографа.

Обчислення результатів вимірювання. Результати вимірювання параметрів електричних сигналів повинні бути записані згідно з вимогами державних стандартів. Для подання результату вимірювання необхідно обчислити абсолютну похибку, спираючись на дані про клас точності осцилографа.

Осцилографи бувають 1, 2, 3 та 4 класів точності, яким відповідають значення відносних похибок, що приведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Клас точності	1	2	3	4
Відносна похибка, %	2	6	10	12

Контрольні запитання

1. Назвіть методи вимірювання частоти електронно-променевим осцилографом.
2. Як можна виміряти за допомогою осцилографа значення сили струму?
3. Чи можна за допомогою ручок осцилографа зупинити постійний рух зображення по горизонталі? Як це зробити?
4. Назвіть види синхронізації зображення.
5. Як розширити межу вимірювання осцилографа за напругою?
6. Яке призначення генератора розгортки?
7. Як перевірити калібровку каналів підсилювача та розгортки?
8. Яке призначення закритого і відкритого входів осцилографа?

Література

1. Тарасенко В.Г., Долга О.Ю. Основи метрології та електричні вимірювання. Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2011. – 214с.
2. Основи метрології та електричні вимірювання: Навч. посібник / М.Г. Поляков, В.Г. Тарасенко. – Дніпропетровськ: НГАУ, 2002.
3. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник/ Є.С.Поліщук, В.М.Ванько, Т.Г.Бойко. - Львів: Видав. "Львівська політехніка", 2012. - 544с
4. Основи метрології та електричних вимірювань [Текст] : підручник / Кухарчук В. В. [та ін.] ; Вінниц. нац. техн. ун-т. - Херсон : Олді-плюс, 2013. - 537 с.
5. Основи метрології та електричні вимірювання [Текст] : навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів / Є. К. Шевцов, М. П. Ревун. - Запоріжжя : [б.в.], 2001. - 206 с.
6. Ціделко В. Д., Яремчук Н. А., Затока С. А., Бурченков Г. К., Шведова В. В., Стасевич В. А. Основи метрології та вимірювальної техніки : у 2 т.: навч. посіб. / В. Д. Ціделко, Н. А. Яремчук, С. А. Затока та ін. — К. : НТУУ «КПІ», 2013. — 1 т. — 236 с.
7. Основи метрології : навч. посіб. / Г. В. Микитин ; Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України, Терноп. держ. техн. ун-т ім. І. Пулюя. — Львів : Сполом, 2008. — 296 с.
8. 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.
9. Збірник задач з метрології та основ вимірювань: навч. посібник / уклад.: З-41 А. К. Бабіченко, І. Л. Красніков, В. І. Вельма та ін.; за ред. А. К. Бабіченка.- Харків: НТУ «ХПІ», НФаУ, 2021. – 95 с.

З М І С Т

Лабораторна робота № 1 Електровимірювальні прилади та додаткове обладнання для вимірювання електричних величин.	4
Лабораторна робота №2 Перевірка амперметра і вольтметра.	16
Лабораторна робота № 3 Вимірювання струмів та напруг в трифазних схемах при сполученні зіркою та трикутником.	22
Лабораторна робота № 4 Вимірювання потужності у трифазних колах.	26
Лабораторна робота № 5 Вимірювання параметрів електричних величин осцилографами.. . . .	32
Список літератури	39

автори:

Хілов Віктор Сергійович
Федоров Сергій Іванович

Матеріали методичного забезпечення
до виконання лабораторних робіт дисципліни :
“Основи метрології та електричні вимірювання”
для студентів напрямку: 14 Електрична інженерія
спеціальності: 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49027, м. Дніпропетровськ-27, просп. Д. Яворницького, 19.