

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно-дорожній  
університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторних робіт з дисципліни  
“Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка”  
( розділ “Електричні кола та електровимірювальні прилади”)

Харків 2018

Укладачі: С. Е. Рожкова

П. П. Рожков

Кафедра автомобільної електроніки

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Методичні вказівки включають лабораторні роботи з електричних кіл постійного і змінного струму - згідно з програмою курсів "Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка", «Загальна електротехніка», «Електротехніка та електромеханіка».

Мета лабораторних робіт - закріплення знань, здобутих на лекціях та під час самостійної роботи з питань будови і характеристики найбільш важливих електричних вимірювальних приладів, електричних кіл постійного та змінного струму. Студенти набувають навичок з регулювання електротехнічних пристроїв і їх управління, а також з техніки проведення експериментальних досліджень.

Опис лабораторних робіт дано з урахуванням використання обладнання лабораторії загальної електротехніки та електричних машин кафедри автомобільної електроніки.

Для виконання лабораторних робіт використовується лабораторний стенд, що забезпечує їх фронтальне проведення.

Перед тим як приступити до експериментальної частини роботи, студент має уважно вивчити методичні рекомендації, чітко уявити собі мету дослідження, характер явищ, що вивчаються. Треба ознайомитись зі схемою і елементами лабораторного стенду, послідовністю виконання лабораторної роботи.

Після того як викладач перевірить готовність студентів до виконання роботи, вони починають складати схему. Перед тим як складати схему, треба переконатися, що всі автомати живлення вимкнені. Починати складання схеми постійного струму або однофазної схеми змінного струму необхідно з одного послідовного кола, що йде від одного виводу до другого. Потім до цього кола приєднуються паралельні кола. При цьому треба мати на увазі, що ділянки схеми, обведені пунктиром, вже складені, а їх виводи розташовані на клеммах панелі стенду.

Для запобігання появи великих струмів необхідно всі дільники напруги встановити в положення, що відповідає мінімуму сигналу на виході, а ручки автотрансформаторів виставити на нуль.

Вмикати живлення і приступати до виконання експериментів можна тільки після того, як схеми перевірів викладач та у його присутності. При проведенні дослідів недопустимо перевищувати номінальні значення струмів і напруг. У випадку, якщо стрілка приладу виходить за межі виміру, треба негайно вимкнути схему і сповістити про це викладача.

Після закінчення кожного етапу дослідження результати необхідно показати викладачу для перевірки, тільки після цього дозволяється приступити до наступного етапу роботи.

Звіт до всіх лабораторних робіт складає кожен студент. Звіт повинен мати номер і назву роботи, її мету, електричну схему, перелік приладів і апаратури, таблиці з результатами вимірів і обчислень, графіки і векторні діаграми, висновки по роботі.

Звіт повинен бути оформлений акуратно, текст написаний чорнилами, а електричні схеми, таблиці, графіки і векторні діаграми накреслені олівцем за допомогою лінійки, циркуля і лекал. Електричні схеми повинні бути накреслені з дотриманням стандарту на умовні позначення елементів електричних схем. При накреслюванні графіків треба мати на увазі, що будь-яке вимірювання має випадкові похибки. Тому не слід проводити криві через усі експериментальні точки. На графіку треба проводити плавні криві, які проходять між точками.

При виконанні наступної роботи попередня повинна бути оформлена і захищена. Студенти, що прийшли на заняття не підготовленими або не склали звіт до попередньої роботи, до виконання робіт не допускаються.

## ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

При виконанні лабораторних робіт студенти зобов'язані суворо дотримуватися правил техніки безпеки. Щоб уникнути нещасних випадків під час роботи в електротехнічних лабораторіях, вони повинні виконувати такі основні вимоги:

1. Перед складанням схеми необхідно переконатися, що всі автомати і апарати вимкнені.

2. При складанні схеми звернути увагу на надійність закріплення всіх провідників у затискачах.

3. Вмикати схему можна тільки після перевірки її викладачем, з його дозволу й у його присутності. Це ж треба робити при будь-яких змінах у схемі.

4. Не торкатися до оголених частин електроустановок, що знаходяться під напругою (неізолюваний провід, затискачі реостатів і т.п.).

5. Не робити змін у монтажі схеми та не усувати її несправності при увімкненому електроживленні.

6. При зникненні напруги в мережі негайно виключити всі автомати та апарати.

7. Стежити, щоб частота оберту машин, що випробовуються, не перевищувала номінального значення.

8. Відключити схему негайно при виявленні будь-якої несправності та сповістити про це викладача. Не усувати несправність без дозволу викладача.

9. У разі ураження струмом негайно вимкнути схему і надати першу допомогу потерпілому.

10. Не залишати увімкнену схему під час перерви. Після закінчення роботи схему вимкнути і після перевірки отриманих даних викладачем розібрати її.

Відповідальність за дотримання правил техніки безпеки покладається на студентів, що працюють у лабораторії, а контроль за їх виконанням – на викладача.

# Лабораторна робота 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

## МЕТА РОБОТИ

Дослідити електричне коло постійного струму зі змішаною схемою вмикання резисторів; скласти баланс потужностей електричного кола.

## ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Основні елементи електричного кола - джерела електричної енергії і приймачі (споживачі) цієї енергії.

Джерела здійснюють перетворення різноманітних видів електричної енергії (механічної, хімічної і т.д.) в електричну енергію.

Приймачі здійснюють перетворення електричної енергії в інші види енергії.

Електричне коло постійного струму, приведене на рис. 1, містить джерело з ЕРС  $E$  та внутрішнім опором  $R_0$ , і навантаження з опором  $R_H$ .

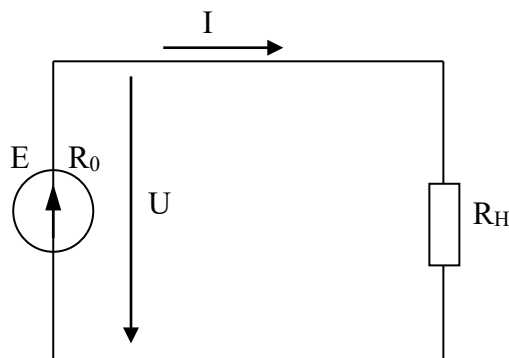


Рисунок 1 - Електричне коло постійного струму

Струм у колі визначається законом Ома

$$I = \frac{E}{R_H + R_0}. \quad (1)$$

Напруга на затискачах джерела

$$U = E - \Delta U = E - I \cdot R_0,$$

де  $\Delta U$  - падіння напруги на внутрішньому опорі джерела.

Звідси

$$R_0 = \frac{E - U}{I}.$$

По мірі зменшення опору навантаження  $R_H$  струм у колі зростає, а напруга  $U$  на затискачах джерела зменшується.

Залежність напруги  $U$  на затискачах джерела від струму навантаження  $I$  називається зовнішньою характеристикою джерела.

Зовнішня характеристика джерела наведено на рис. 2.

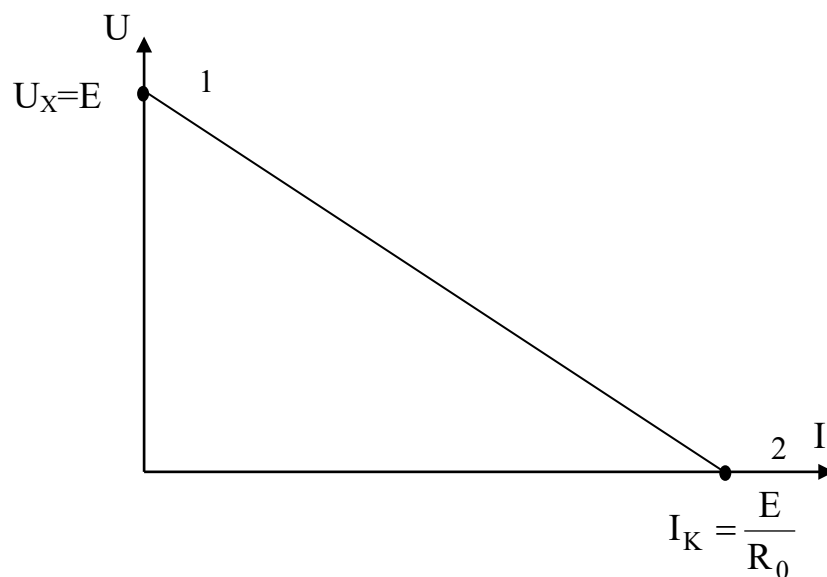


Рисунок 2 - Вольтамперна характеристика

Згідно з законом зберігання енергії електрична енергія  $W$ , що генерується джерелом за час  $t$ , дорівнює сумі двох енергій - енергії, споживаної приймачем -  $W_H$ , і втрат енергії на внутрішньому опорі джерела  $\Delta W$

$$W_B = W_H + \Delta W.$$

Електрична енергія  $W_H$  перетворюється в теплову в опорі навантаження  $R_H$ . Енергія  $\Delta W$  губиться у виді тепла в самому джерелі. Енергії  $W_B$ ,  $W_H$  та  $\Delta W$  визначаються рівняннями

$$W_B = P_B \cdot t;$$

$$W_H = P_H \cdot t;$$

$$\Delta W = \Delta P \cdot t,$$

де  $P_B = EI$  - потужність, що генерується джерелом;

$P_H = UI = I^2 R_H$  - потужність, споживана приймачем (навантаженням);

$\Delta P = \Delta UI = I^2 R_0$  - втрати потужності на внутрішньому опорі джерела.

З наведених залежностей випливає рівняння балансу потужностей електричного кола – потужність, яка генерується джерелом електричної енергії, складається з суми потужностей, споживаних усіма опорами електричного кола, та втрат потужності на внутрішньому опорі джерела

$$P_B = P_H + \Delta P.$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД) джерела

$$\eta = \frac{P_H}{P_B} = \frac{I^2 \cdot R_H}{I^2 \cdot (R_0 + R_H)} = \frac{R_H}{R_0 + R_H} .$$

Щоб ККД джерела був достатньо високим, необхідно мати співвідношення  $R_0 \ll R_H$ .

Співвідношення між ЕРС, напругами і струмами будь-якого електричного кола визначається трьома основними законами електричних кіл: законом Ома, першим і другим законами Кирхгофа.

*Закон Ома.* Струм у замкнутому колі прямо пропорційний ЕРС і обернено пропорційний опоріві (див. рівняння 1).

Для ділянки кола, яка не містить ЕРС (рис. 3) закон Ома визначається за формулою

$$I = \frac{U}{R} .$$

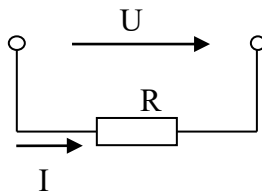


Рисунок 3 - Ділянки кола, яка не містить ЕРС

*Перший закон Кирхгофа.* Сума струмів, що притікають до вузла розгалуження електричного кола, дорівнює сумі струмів, що відтікають від вузла.

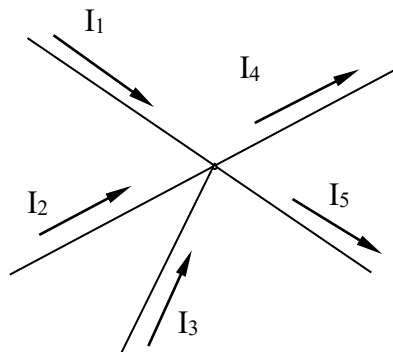


Рисунок 4 - Перший закон Кирхгофа для електричного вузла

Для схеми, зображеної на рис.4 рівняння за першим законом Кирхгофа має вид

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 .$$

Цей закон формулюється також в іншій формі: алгебраїчна сума струмів у будь-якому вузлі електричного кола дорівнює нулю



$$\sum_{k=1}^n I_k = 0,$$

де  $n$  – кількість віток у вузлі.

Струми, спрямовані до вузла, умовно включаються в цю суму зі знаком плюс, а спрямовані від вузла - зі знаком мінус.

*Другий закон Кирхгофа.* У будь-якому замкнутому контурі електричного кола алгебраїчна сума ЕРС дорівнює алгебраїчній сумі падінь напруг на всіх опорах контуру

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^m I_k R_k,$$

де  $n$  – кількість ЕРС у контурі,  $m$  – кількість опорів цього контуру.

Позитивними вважаються ЕРС і струми, напрямки яких збігаються з довільно обраним напрямком обходу контуру.

За допомогою закону Ома і першого закону Кирхгофа можна розрахувати еквівалентний опір декількох паралельно включених приймачів (рис. 5).

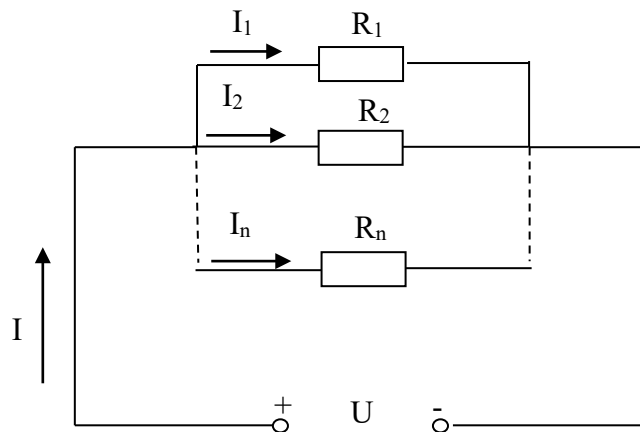


Рисунок 5 - Електричне коло з паралельною схемою з'єднання опорів

При паралельному з'єднанні будь-якого числа приймачів еквівалентний опір кола розраховується за формулою

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

При послідовному з'єднанні опорів еквівалентний опір визначається як сума опорів електричного кола (рис. 6)

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$

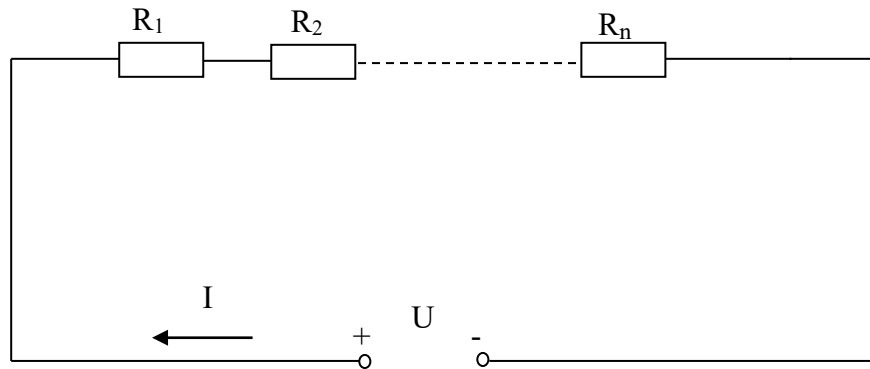


Рисунок 6. Електричне коло з послідовною схемою з'єднання опорів

Еквівалентний опір кола при змішаному (послідовному та паралельному) вмиканні приймачів (рис. 7) розраховується за формулою

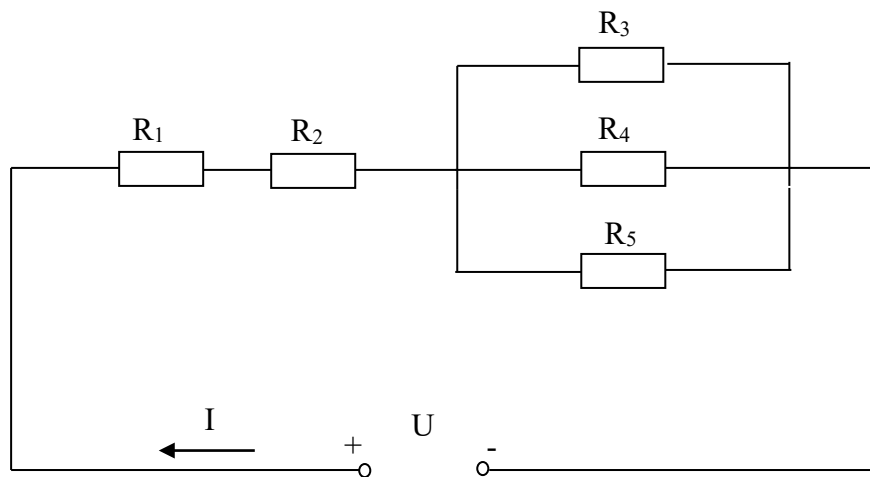


Рисунок 7. Електричне коло зі змішаною схемою з'єднання опорів

$$R_e = R_1 + R_2 + R_{e1},$$

де

$$\frac{1}{R_{e1}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}.$$

У залежності від співвідношення опорів  $R_n$  і  $R_0$  розрізняють чотири характерних режими роботи електричних кіл:

1. Номінальний режим
2. Режим холостого ходу
3. Режим короткого замикання
4. Узгоджений режим.

*Номінальний режим* - це режим роботи, для якого розраховане коло. При номінальному режимі джерело має номінальне значення напруги, струму і потужності. Номінальна потужність  $P_{ном} = U_{ном} I_{ном}$  - це найбільша потужність,

яку джерело може віддавати довгостроково в зовнішнє коло. Приймачі мають також номінальні значення струму, напруги і потужності.

У режимі холостого ходу зовнішнє коло розімкнуте, тобто опір навантаження  $R_n = \infty$ . Тому струм у колі  $I$  і падіння напруги усередині джерела  $\Delta U$  рівні нулю, а напруга на затискачах джерела дорівнює його ЕРС  $U_x = E$ . Режим холостого ходу відповідає точці 1 на рис.2.

У режимі короткого замикання опір навантаження дорівнює нулю ( $R_n=0$ ). Цей режим звичайно є аварійним. У колі протікає струм короткого замикання

$$I_k = \frac{E_k}{R_0},$$

який обмежується лише внутрішнім опором джерела  $R_0$ . Струм  $I_k$  значно більше номінального струму  $I_{ном}$ . Тому в режимі короткого замикання виникає небезпека перегріву всіх елементів електричного кола. Захист від короткого замикання застосовується за допомогою плавких запобіжників або швидкодіючих вимикачів. Режим короткого замикання відповідає точці 2 на рис. 2.

У узгодженому режимі джерело віддає приймачу найбільшу потужність  $P_n = P_{nmax}$ . Джерело віддає приймачу максимальну потужність, коли опір навантаження дорівнює внутрішньому опорі джерела  $R_n = R_0$ .

При узгодженому режимі ККД джерела складає усього 0,5. Тому такий режим застосовується у тих випадках, коли основна задача - одержати максимально можливу потужність у колі навантаження (робота з малим ККД має другорядне значення, оскільки абсолютний розмір втрат потужності малий). Для подібних установок узгоджений режим є номінальним.

#### АПАРАТУРА ТА ПРИЛАДИ

1. Джерело напруги (керований випрямляч УП)
2. Опори  $R_a, R_b, R_c$
3. Регульовані опори  $R_3, R_2$
4. Амперметр
5. Вольтметр
6. Автомат триполюсний АП1
7. Вимикач SA7.

#### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

А. Дослідження змішаної схеми з'єднання приймачів.

У якості джерела живлення використовується керований випрямляч УП (на схемі - частина обведена пунктиром), вхідними затискачами якого є "1" - "2" (змінний струм), а вихідними - "3" - "4" (постійний струм).

1. Зібрати схему, наведену на рис.8, і пред'явити її керівнику для перевірки.

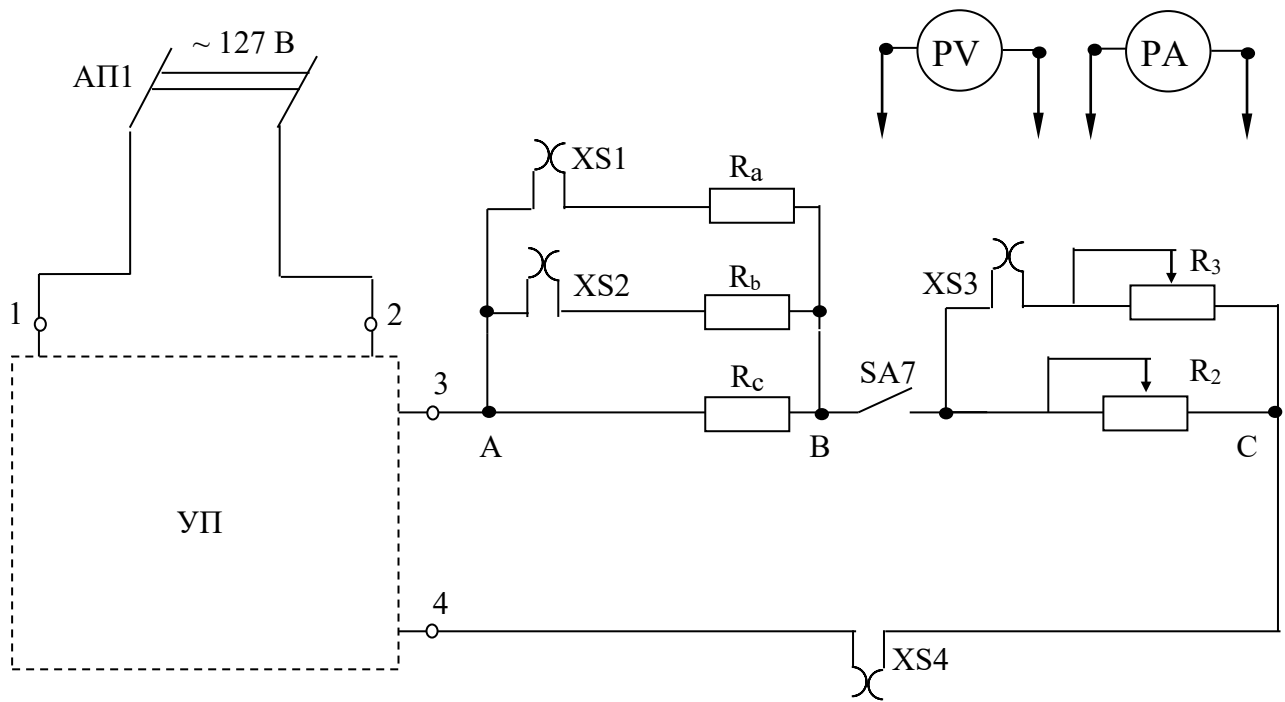


Рисунок 8. Дослідження змішаної схеми з'єднання приймачів

2. Увімкнути схему. При виключеному вимикачі SA7 установити напругу на виході джерела  $U_{3-4}$  (ЕРС джерела живлення E) за вказівкою керівника (не більш ніж 75В).

3. Включити вимикач SA7 і виконати виміри напруг і струмів схеми згідно з табл. 1.

Таблиця 1

Результати вимірювань напруг і струмів

Напруга, В	$U_{A-C}$	$U_{A-B}$	$U_{B-C}$

Струм, А	$I_a$	$I_b$	$I_3$	$I$

Розрахувати параметри схеми і одержані результати занести у табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків параметрів схеми

Опір, Ом	$R_a$	$R_b$	$R_c$	$R_3$	$R_2$	$R_0$	$R_{екв}$

Струм, А	$I_c$	$I_2$	$I = U/R_{екв}$

4. Перевірити дотримання балансу потужностей, користуючись формулами, наведеними у теоретичній частині. Результати занесіть у табл. 3.

Розрахунок балансу потужностей

Опор, Ом	Струм, А	(Струм) <sup>2</sup>	Потужність, Вт
$R_a$	$I_a$		
$R_b$	$I_b$		
$R_c$	$I_c$		
$R_3$	$I_3$		
$R_2$	$I_2$		
$R_0$	$I$		
Сумарна потужність приймачів			
Потужність джерела			

Б. Дослідження джерела постійного струму.

1. Вивчити схему, наведену на рис. 9. У якості джерела постійного струму з регульованою напругою використовується автомат постійного струму АП2 і реостат  $R_3$ , включений за схемою потенціометра. Опори  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  імітують внутрішній опір джерела енергії. Точки “а” і “у” схеми можуть розглядатися як затискачі джерела енергії.

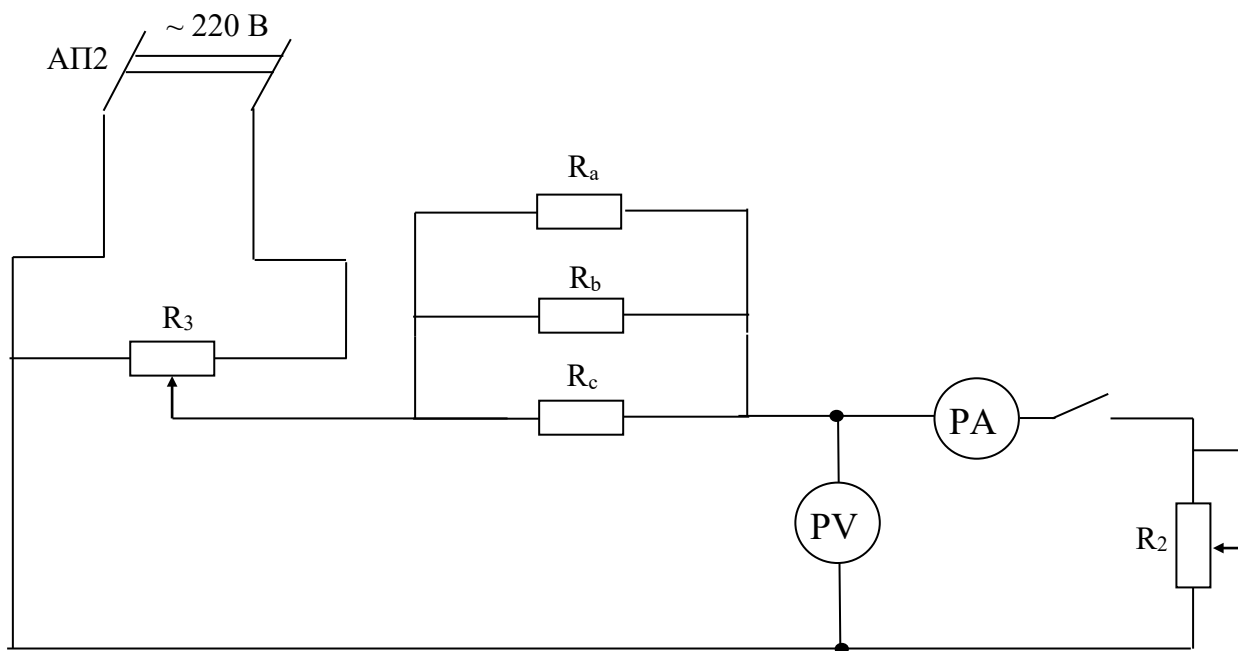


Рисунок 9. Дослідження джерела постійного струму

2. Зібрати схему, наведену на рис. 9, і пред'явити її керівнику для перевірки. Вимикач SA7 виключити. Цілком ввести опір  $R_2$  (перемикач реостата  $R_2$  повинний бути в положенні, при якому опір реостата максимальне).

3. Включити автомат АП2 і встановити ЕРС джерела  $E = 50\text{В}$  (перемикач SA7 розімкнутий).

4. Включити вимикач SA7 і поступово збільшувати струм кола I за допомогою реостата R<sub>2</sub>. Значення струму і напруги занести до табл. 4.

Таблиця 4

Дослідження джерела постійного струму

Результати вимірювань		Результати розрахунків				
I <sub>a</sub>	U <sub>B</sub>	P <sub>B</sub> = EI	P <sub>H</sub> = UI	η	R <sub>H</sub> = $\frac{U}{I}$	$\frac{R_H}{R_0}$

Виміри продовжувати до тих пір, поки опір реостата R<sub>2</sub> не стане рівним нулю (при R<sub>2</sub>=0, U=0, I=I<sub>K</sub>).

5. Вимкнути вимикачі АП2 і SA1 і повернути перемикач реостата R<sub>2</sub> у вихідне положення.

6. Відключити опори R<sub>b</sub> і R<sub>c</sub>. Після перевірки схеми керівником заняття включити автомат АП2 і повторити виміри, як зазначено у п.п. 4 і 5. Результати вимірів занести до табл. 4.

7. Побудувати дві зовнішніх характеристики джерела за даними табл. 4 на одному рисунку.

8. Побудувати графіки залежності  $P_H = f\left(\frac{R_H}{R_0}\right)$  за даними табл. 4 на одному рисунку.

2. Побудуйте графіки залежності  $\eta = f\left(\frac{R_H}{R_0}\right)$  за даними табл. 4 на одному рисунку.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які залежності визначають зовнішню характеристику джерела енергії?
  2. Як впливає збільшення внутрішнього опору джерела на його зовнішню характеристику?
  3. Як впливає на ККД джерела зменшення R<sub>0</sub>?
  4. При якому співвідношенні R<sub>0</sub> і R<sub>H</sub> забезпечується максимальна вихідна потужність джерела?
  5. Які залежності відповідають режиму холостого ходу електричного кола?
  6. Які залежності відповідають режиму короткого замикання електричного кола?
  7. Як розраховується еквівалентний опір декількох паралельно включених приймачів?
  8. Як розраховується еквівалентний опір при змішаному з'єднанні приймачів?
  9. Як формулюються перший і другий закони Кирхгофа?
  10. Привести рівняння балансу потужностей електричного кола.
- Література: [1, с.19 - 26]; [2, с.17- 21, 24 - 34, 40 - 41].

Лабораторна робота 2  
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ЗМІННОГО СТРУМУ

МЕТА РОБОТИ

Дослідити послідовну та паралельну схеми з'єднання елементів кола змінного струму; визначити фазові співвідношення між напругами і струмами в елементах R, L, C, а також резонанс напруг і резонанс струмів.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

*Змінним струмом* називається електричний струм, розмір і напрямок якого змінюються у часі.

У промисловості широко використовується змінний струм, що змінюється за законом синуса

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi),$$

де  $i$  - миттєве значення струму, тобто значення струму в даний момент часу;

$I_m$  - максимальне значення струму;

$\omega$  - кутова частота змінного струму;

$\psi$  - початкова фаза змінного струму, що визначає значення струму при  $t = 0$ ;

$(\omega t + \psi)$  - повна фаза, що визначає значення струму в даний момент часу.

Кутова частота визначається за формулою

$$\omega = 2\pi/T = 2\pi f,$$

де  $T$  - період змінного струму;

$f = 1/T$  - частота змінного струму.

Промислова частота змінного струму дорівнює  $f = 50$  Гц.

Всі вимірювальні прилади дають показання, пропорційні діючому значенню струму

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}.$$

Діючі значення напруги  $U$  та ЕРС  $E$  визначаються аналогічно. Якщо струм змінюється за законом синуса, то діюче значення струму  $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ , а

напруги  $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ .

Нехай у деякому електричному колі при напрузі на її затискачах  $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$  тече струм  $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ . Різниця початкових фаз напруги  $\psi_u$  та струму  $\psi_i$  називається *кутом зсуву фаз*

$$\phi = \psi_u - \psi_i.$$

Якщо  $\psi_u > \psi_i$ , то напруга випереджає по фазі струм. Якщо  $\psi_u < \psi_i$ , то напруга відстає по фазі від струму. Якщо в системі координат  $xOy$  (рис. 10) помістити вектор, довжина якого дорівнює максимальному значенню струму, під кутом  $\psi$  до осі  $Ox$ , то проекція цього вектора на вісь  $Oy$  дорівнює значенню змінного струму в момент  $t = 0$ .

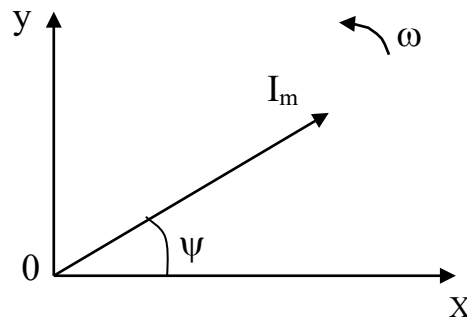


Рисунок 10. Зображення струму у системі

Якщо уявити, що починаючи з моменту часу  $t = 0$  вектор обертається проти годинникової стрілки з кутовою швидкістю  $\omega$ , рівною кутовій частоті змінного струму, то проекція цього вектора на вісь  $Oy$  дорівнює миттєвому значенню струму

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i).$$

Таке векторне зображення величин, які змінюються за законом синуса, зручно тому, що дозволяє показати фазові співвідношення між струмами і напругами. Також це дозволяє робити операції геометричного додавання векторів, що простіше аналогічного додавання синусоїд. Практично осі координат не зображують, а приймають один вектор за вихідний і будують інші вектори відносно вихідного з урахуванням зсуву фаз. Наприклад, якщо  $u = U_m \sin(\omega \cdot t + \varphi)$ , а  $i = I_m \sin \omega t$ , то можна зобразити їх векторами так, як це показано на рис.11.

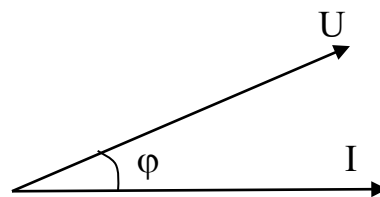


Рисунок 11. Векторна

На рис. 11 довжини векторів пропорційні діючим значенням. Сукупність векторів зветься векторної діаграми. Використовуючи векторну діаграму, роблять додавання електричних розмірів змінного струму. Наприклад, треба знайти суму двох струмів, що змінюються з однаковою частотою

$$i = i_1 + i_2,$$



де  $i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \psi_1)$ ,  $i_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \psi_2)$ .

Нехай  $\psi_2 > \psi_1$ . Операція додавання показана на рис. 12. З рисунку видно, що при додаванні потрібно кожний доданок суми відкласти з кінця попереднього з урахуванням зсуву фаз.

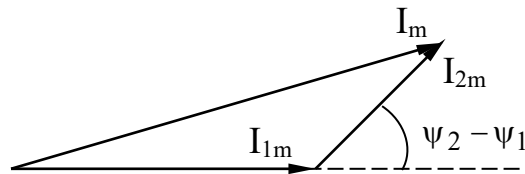


Рисунок 12. Додавання двох векторів

У колі змінного струму існують три різноманітних елементи електричного кола: резистивний, індуктивний та ємнісний.

*Резистивний елемент* (рис.13) – це елемент електричного кола змінного струму, у якому відбувається перетворення електричної енергії (необоротне) в інші види енергії. Основним параметром резистивного елементу є активний опір  $R$ .

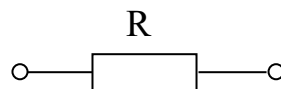


Рисунок 13. Резистивний

Якщо напруга на затискачах активного опору  $U = U_m \sin \omega t$ , то струм в опорі  $i = \frac{U}{R} = I_m \sin \omega t$ , де  $I_m = \frac{U_m}{R}$ .

Якщо порівняти миттєві значення струму і напруги на резистивному елементі, то можна зауважити, що їхні початкові фази однакові. Струм в резистивному елементі збігається по фазі з напругою на його кінцях зображена на рис.14.

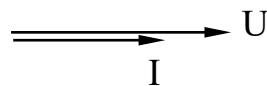


Рисунок 14. Векторна діаграма струму та напруги на активному елементі

*Індуктивний елемент* (рис.15) - це елемент електричного кола, у якому відбувається оборотне перетворення електричної енергії в енергію магнітного поля. Індуктивний елемент характеризується величиною індуктивності  $L$ .



Рисунок 15. Індуктивний елемент

Коли струм в індуктивному елементі збільшується, електрична енергія накопичується у виді енергії магнітного поля, а при зменшенні струму повертається в джерело енергії. Якщо струм в індуктивному елементі  $i = I_m \sin \omega t$ , то напруга на індуктивності

$$U_L = L \frac{di}{dt}$$

або

$$u_L = U_{Lm} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right),$$

де  $U_{Lm} = \omega L I_m$ .

Величина  $\omega L = x_L$  - індуктивний опір. Індуктивний опір є реактивним опором.

Початкові фази струму в індуктивному елементі і напруги на його затискачах відрізняються на кут  $\pi/2$ , тобто напруга випереджає по фазі струм на кут  $\pi/2$ . Векторна діаграма зображена на рис.16.

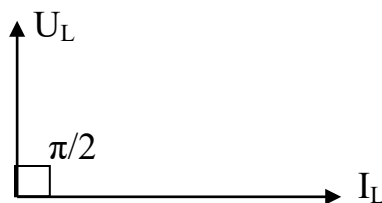


Рисунок 16. Векторна діаграма напруги та струму на індуктивному елементі

*Ємнісний елемент* (рис.17) є елементом електричного кола змінного струму, у якому відбувається тимчасове оборотне накопичування електричної енергії. Ємнісний елемент характеризується величиною ємності  $C$ .

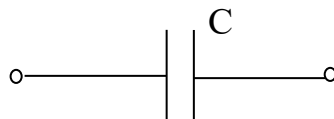


Рисунок 17. Ємнісний елемент

Коли напруга на ємності збільшується, енергія накопичується в електричному полі ємності, а при зменшенні напруги енергія з електричного поля ємності повертається в джерело енергії. Якщо напруга на ємності змінюється за законом  $u_C = U_{Cm} \sin \omega t$ , тоді величина струму дорівнює

$$i = C \frac{du_C}{dt} = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right),$$

де 
$$I_m = \frac{U_{Cm}}{x_C},$$

$x_C$  - ємнісний опір, що є реактивним опором.

Початкова фаза струму відрізняється від початкової фази напруги на кут  $\pi/2$ , тобто напруга на ємності відстає по фазі від струму на кут  $\pi/2$  (рис.18).

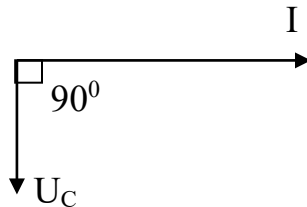


Рисунок 18. Векторна діаграма напруги та струму на ємнісному елементі

Роздивимося послідовне з'єднання активного й індуктивного елементів (рис.19).

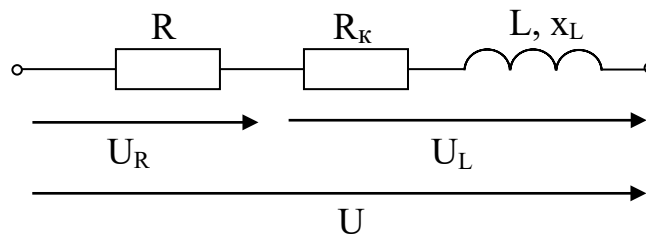


Рисунок 19. Послідовне з'єднання індуктивного та активного елементів:  $U$  - напруга на затискачах кола;  $U_R$  - напруга на активному елементі;  $U_L$  - напруга на індуктивному елементі

Реальна котушка індуктивності, крім індуктивного опору  $x_L$  має ще й активний опір  $R_k$  (опір проводу, яким намотана котушка). Якщо струм кола змінюється за законом  $i = I_m \sin \omega t$ , то миттєве значення напруга на затискачах кола

$$u = u_R + u_L = Ri + R_k i + L \frac{di}{dt}$$

або

$$u = U_{Rm} \sin \omega t + U_{R_k m} \sin \omega t + U_{x_L m} \sin(\omega t + \pi/2).$$

Векторна діаграма послідовного з'єднання, побудована для діючих значень, зображена на рис. 20. На підставі векторної діаграми визначається закон зміни напруги на затискачах кола  $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ . З діаграми випливає, що не можна одержати діюче значення напруги на затискачах кола простим додаванням напруг на активному опорі і котушці.

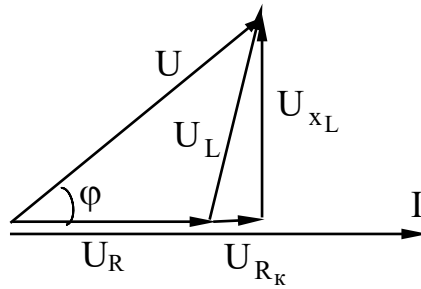


Рисунок 20. Векторна діаграма при послідовному з'єднанні активного опору та котушки індуктивності

У колі змінного струму розрізняють три опори: активний R, реактивний x і повний Z. Зв'язок між цими опором виражається трикутником опорів (рис.21).

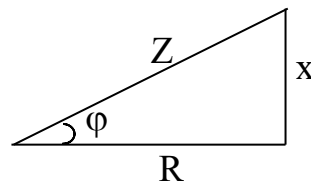


Рисунок 21. Трикутник опорів

Повний опір дорівнює

$$Z = \frac{U}{I},$$

де U - напруга на затискачах кола;  
I - струм кола.

Також повний опір можна визначити через активний і реактивний опори за формулою

$$Z = \sqrt{R^2 + x^2},$$

де  $x = x_L - x_C$ .

У випадку *послідовного* з'єднання резистивного, індуктивного та ємнісного елементів (рис.22) напруга на затискачах кола визначається

$$u = u_R + u_L + u_C$$

або

$$u = U_{Rm} \sin \omega t + U_{Lm} \sin(\omega t + \varphi_L) + U_{Cm} \sin(\omega t - \pi/2),$$

якщо струм змінюється за законом  $i = I_m \sin \omega t$ .

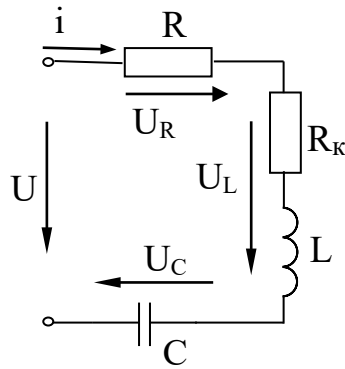


Рисунок 22. Схема послідовного з'єднання активного, індуктивного та ємнісного елементів

Векторна діаграма напруг зображена на рис.23 (побудована для діючих значень).

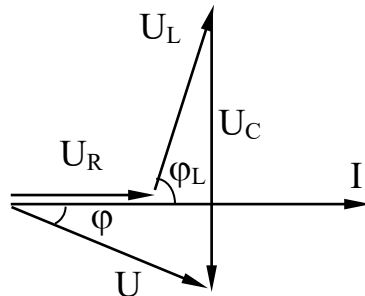


Рисунок 23. Векторна діаграма при послідовному з'єднанні активних та реактивних елементів

У цьому випадку повний опір дорівнює

$$Z = \sqrt{R^2 + x^2},$$

де  $x = x_L - x_C$  - реактивний опір кола.

Якщо при послідовному з'єднанні активного опору, індуктивності і ємності індуктивний опір  $x_L$  дорівнює ємнісному, реактивний опір кола  $x = x_L - x_C = 0$ , то електричне коло знаходиться в режимі *резонансу напруг*. При резонансі напруг струм кола збігається по фазі з напругою на затискачах кола (рис.24).

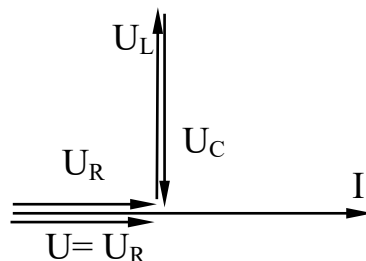


Рисунок 24. Векторна діаграма при резонансі

Струм кола при резонансі

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{R},$$

тому що

$$Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2} = R.$$

При резонансі напруг струм кола має максимальне для даного кола значення. Напруги на котушці індуктивності та на ємності при резонансі можуть бути більш за напругу на затискачах кола

$$U_L = I \cdot x_L = U \cdot \frac{x_L}{R};$$

$$U_C = I \cdot x_C = U \cdot \frac{x_C}{R}$$

Якщо  $x_L = x_C > R$ , тоді  $U_L > U$  і  $U_C > U$ .

При *паралельному* з'єднанні котушки індуктивності і ємності (рис.25) напруга на вітках кола однакова, а струм нерозгалуженої частини кола  $i = i_1 + i_2$ .

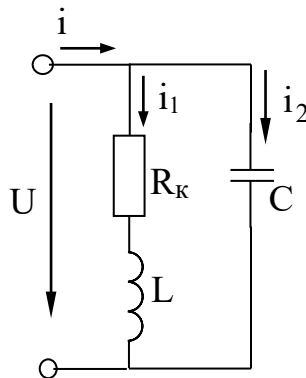


Рисунок 25. Паралельне з'єднання елементів

Векторна діаграма для паралельного з'єднання зображена на рис.26.

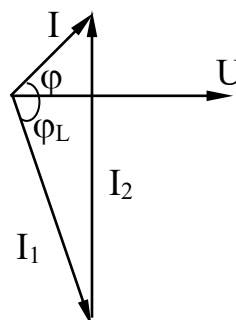


Рисунок 26. Векторна діаграма при паралельному з'єднанні

При паралельному з'єднанні котушки індуктивності і ємності можливо виникнення режиму *резонансу струмів*. При резонансі струмів струм нерозгалуженої частини кола збігається по фазі з напругою (рис.27).

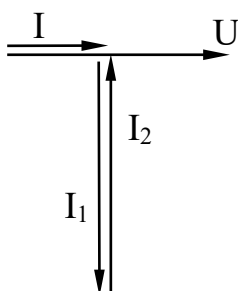


Рисунок 27. Векторна діаграма при резонансі

При цьому можливо, що струми в паралельних вітках будуть більш за струм нерозгалуженої частини кола.

У колі змінного струму розрізняють три види потужності: повна -  $S$ , активна -  $P$  і реактивна -  $Q$ . Зв'язок між цими потужностями виражається трикутником потужностей (рис.28).

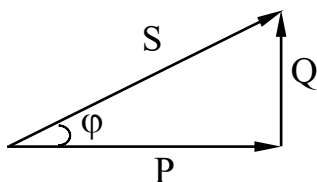


Рисунок 28. Трикутник

Повна потужність визначається як  $S = UI$  і вимірюється у вольт-амперах (ВА). Активна потужність  $P = UI \cos \varphi = RI^2$  вимірюється у ватах (Вт). Реактивна потужність  $Q = UI \sin \varphi$  вимірюється у варах (Вар). З трикутника потужностей випливає залежність між різними видами потужності  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ .

При виконанні лабораторної роботи використовуються такі приладив: вольтметр - прилад для виміру напруги, амперметр - прилад для виміру струму, ватметр - прилад для виміру потужності.

Вольтметр включають паралельно ділянці кола, напруга на який вимірюється (рис.29); амперметр включається послідовно в коло, в якому вимірюється струм (рис.30). Вмикання ватметра показане на рис.31. Затискачі, позначені зірочками, повинні бути включені з боку джерела енергії. При вимірі потужності в колі змінного струму ватметр вимірює тільки активну потужність.

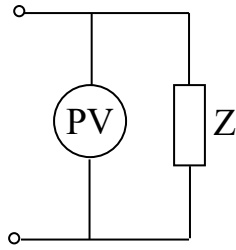


Рисунок 29. Схема включення вольтметра

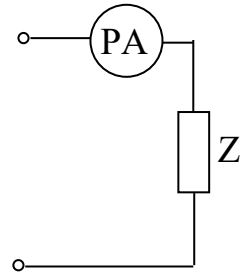


Рисунок 30. Схема включення амперметра

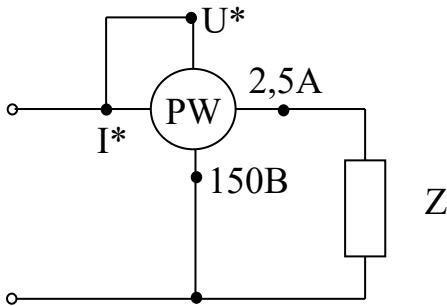


Рисунок 31. Схема включення ватметра

Використовуючи вольтметр, амперметр і ватметр, можна визначити опори кола змінного струму. Для цього потрібно зібрати схему, зображену на рис.32.

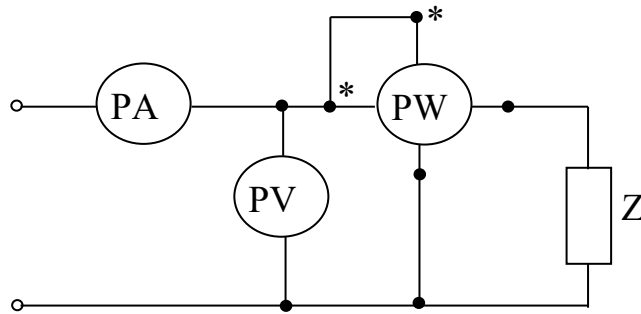


Рисунок 32. Схема включення вимірювальних приладів

Повний опір кола можна визначити як  $Z = \frac{U}{I}$ , тобто необхідно розділити показання вольтметра на показання амперметра. Активний опір кола  $R = P/I^2$ , де  $P$  - показання ватметра. Реактивний опір  $x = \sqrt{Z^2 - R^2}$ . Якщо





I - струм кола;

$U_1$  - напруга на затискачах кола;

P - активна потужність кола;

$\varphi$  - кут зсуву фаз між напругою на затискачах кола і струмом.

За даними табл.5 побудувати в масштабі векторну діаграму. Порівняти розміри  $U_1$  і векторної суми напруг  $U_2 + U_3$ .

II. Дослідження послідовного з'єднання котушки індуктивності й активного опору.

Зібрати схему, зображену на рис.34. Після перевірки її викладачем підключити схему до джерела змінного струму.

Виміри зробити при декількох значеннях індуктивності (за указівкою викладача). Вибір розміру індуктивності зробити за допомогою вимикачів.

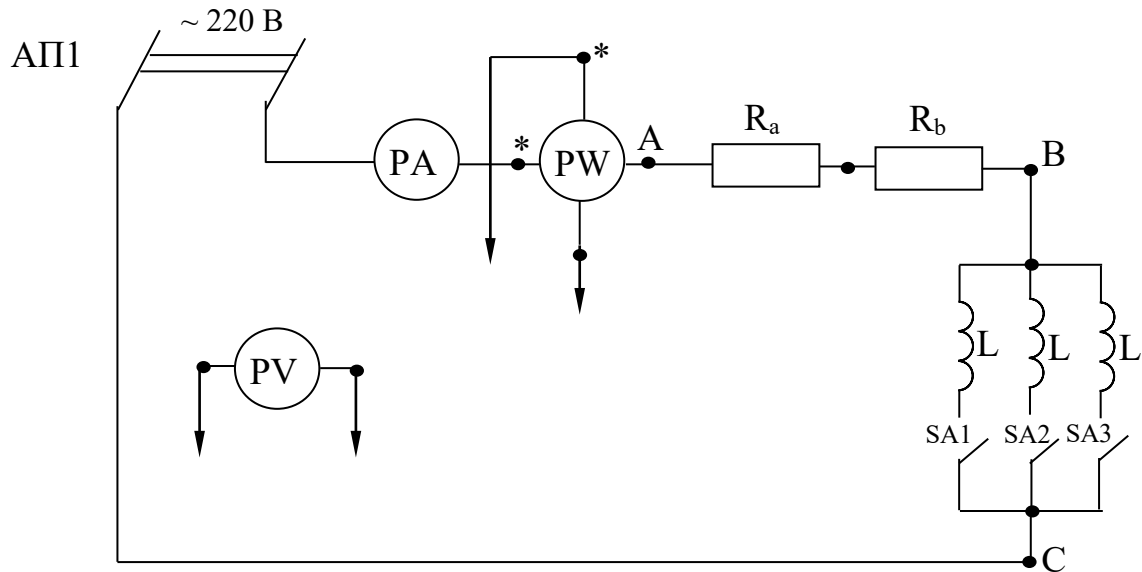


Рисунок 34. Схема вимірювань

Напруга на затискачах кола вимірюється при підключенні вольтметра до точок А - С схеми, напруга на активному опорі - при підключенні вольтметра до точок А - В, напруга на котушці індуктивності - при підключенні вольтметра до точок В - С схеми.

Результати виміру занести до табл.6.

Таблиця 6

Дослідження послідовного з'єднання котушки індуктивності й активного опору

Результати вимірювань							Результати розрахунку					
I	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$	$\cos \varphi_3$	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$

I - струм кола;

$U_1$  - напруга на затискачах кола;

$U_2$  - напруга на активному опорі;

$U_3$  - напруга на котушці індуктивності;

$P_1$  - активна потужність кола;

$P_2$  - активна потужність активного опору;

$P_3$  - активна потужність котушки індуктивності;

$\varphi_1$  - кут зсуву фаз між напругою на затискачах кола і током;

$\varphi_2$  - кут зсуву фаз між напругою на активному опорі і током;

$\varphi_3$  - кут зсуву фаз між напругою на котушці індуктивності і током;

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 \cdot I}; \quad \cos \varphi_2 = \frac{P_2}{U_2 \cdot I}; \quad \cos \varphi_3 = \frac{P_3}{U_3 \cdot I};$$

При вимірі активної потужності коло напруги ватметра також включається до точок А - С (активна потужність кола), до точок А - В (активна потужність активного опору), до точок В - С (активна потужність котушки індуктивності). Якщо при вимірі потужності стрілка ватметра відхиляється вліво, необхідно поміняти місцями провідники, підключені до кола напруги ватметра.

За даними табл.6 побудувати векторну діаграму. Порівняти векторну суму ( $U_2+U_3$ ) із напругою на затискачах кола  $U_1$ .

III. Дослідження послідовного з'єднання активного опору, індуктивності і ємності. Зібрати схему, зображену на рис.35.

Напруга на затискачах кола вимірюється при підключенні вольтметра до точок А - С схеми, напруга на активному опорі - при підключенні вольтметра до точок А - В, напруга на котушці індуктивності - при підключенні вольтметра до точок В - С; напруга на ємності - при підключенні вольтметра до точок С - D схеми.

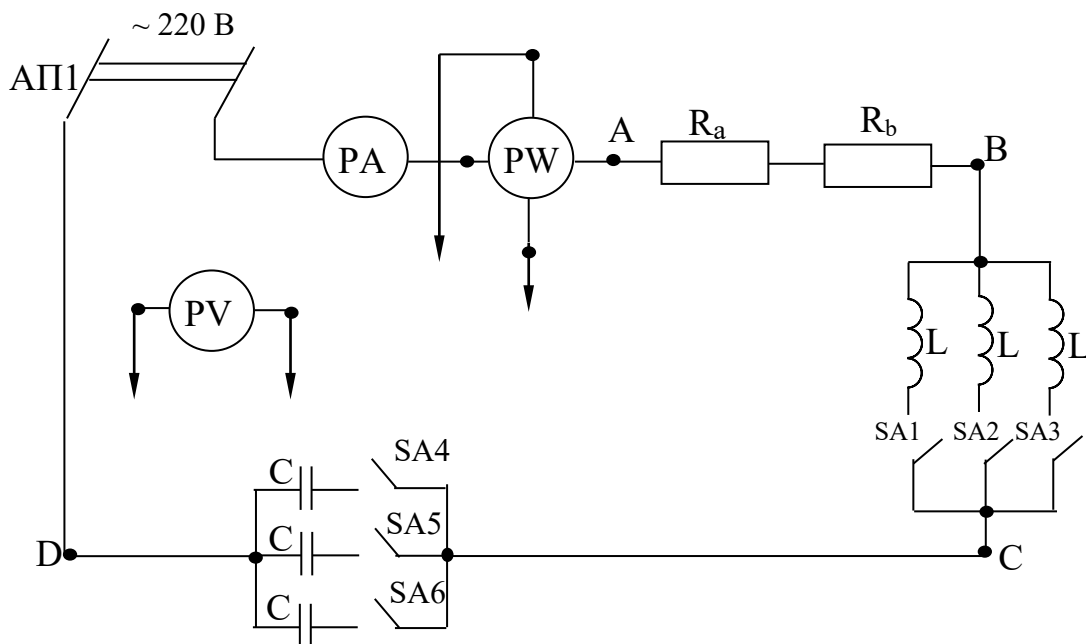


Рисунок 35. Схема вимірювань

Виміри зробити при  $x_L \neq x_C$  й у режимі резонансу напруг. Настання резонансу визначити за показниками амперметра. Резонансний режим

установити, змінюючи значення ємності (за допомогою вимикачів). Результати виміру занести до табл.7.

Таблиця 7

Дослідження послідовного з'єднання активного опору, індуктивності і ємності

Результати вимірювань							Результати розрахунку							
I	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>4</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	cos φ <sub>1</sub>	cos φ <sub>2</sub>	cos φ <sub>3</sub>	φ <sub>1</sub>	φ <sub>2</sub>	φ <sub>3</sub>	φ <sub>4</sub>

I - струм кола;

U<sub>1</sub> - напруга на затискачах кола;

U<sub>2</sub> - напруга на активному опорі;

U<sub>3</sub> - напруга на котушці індуктивності;

U<sub>4</sub> - напруга на конденсаторі;

P<sub>1</sub> - активна потужність кола;

P<sub>2</sub> - активна потужність активного опору;

P<sub>3</sub> - активна потужність котушки індуктивності;

φ<sub>1</sub>; φ<sub>2</sub>; φ<sub>3</sub>; φ<sub>4</sub> - кути зсуву фаз між напругою і струмом на відповідних елементах кола.

За даними табл.7 побудувати в масштабі векторні діаграми кола при  $x_L \neq x_C$  й у режимі резонансу напруг. Порівняти U<sub>1</sub> із векторною сумою (U<sub>2</sub> + U<sub>3</sub> + U<sub>4</sub>) при  $x_L \neq x_C$  і при резонансі напруг.

IV. Дослідження паралельного з'єднання опорів у колі змінного струму. Для виконання цієї частини роботи зібрати схему, зображену на рис.36. Гнізда XS служать для вмикання амперметра у колі струму ватметра.

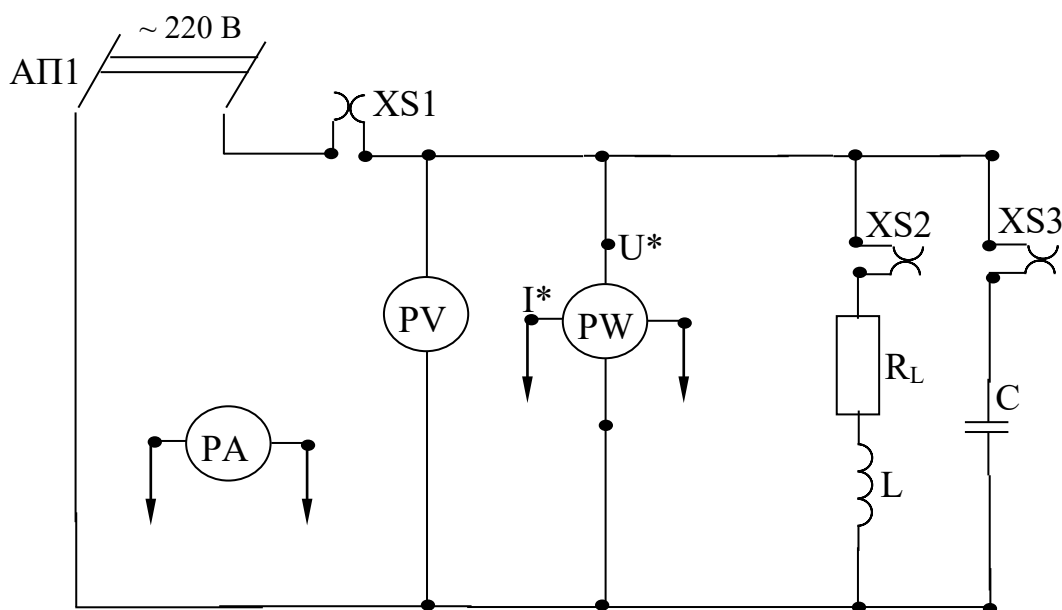


Рисунок 36. Схема вимірювань

Зробити виміри в двох режимах: коли  $x_L \neq x_C$  й у режимі резонансу струмів. Настання резонансу визначається за показниками амперметра, коли він включений у гніздо XS1. Резонансу домогтися зміною ємності.

Результати вимірів занести до табл.8.

Таблиця 8

Дослідження паралельного з'єднання опорів у колі змінного струму

Результати вимірювань							Результати розрахунку					
U	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	cos φ <sub>1</sub>	cos φ <sub>2</sub>	cos φ <sub>3</sub>	φ <sub>1</sub>	φ <sub>2</sub>	φ <sub>3</sub>

U - напруга на затискачах кола;

I<sub>1</sub> - струм нерозгалуженої частини кола (гніздо XS1);

I<sub>2</sub> - струм котушки індуктивності (гніздо XS2);

I<sub>3</sub> - струм конденсатора (гніздо XS3);

P<sub>1</sub> - активна потужність кола;

P<sub>2</sub> - активна потужність котушки індуктивності;

P<sub>3</sub> - активна потужність конденсатора;

φ<sub>1</sub> - кут зсуву фаз між напругою на затискачах кола і током нерозгалуженої частини кола;

φ<sub>2</sub> - кут зсуву фаз током I<sub>2</sub> і напругою на затискачах кола;

φ<sub>3</sub> - кут зсуву фаз між током I<sub>3</sub> і напругою на затискачах кола.

За даними табл.8 побудувати в масштабі векторну діаграму при  $x_L \neq x_C$  й у резонансному режимі порівняти розміри I<sub>1</sub> і I<sub>2</sub>+ I<sub>3</sub>.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому дорівнює повний опір кола змінного струму?
2. Що таке кут ??
3. Від чого залежить розмір індуктивного опору?
4. Від чого залежить розмір ємнісного опору?
5. Як позначається активна потужність кола змінного струму і чому вона дорівнює?
6. Як позначається, чому дорівнює й у яких одиницях вимірюється реактивна потужність?
7. Як позначається, чому дорівнює й у яких одиницях вимірюється повна потужність?
8. Як провадиться додавання струмів і напруг у колах змінного струму?
9. Як зрушені по фазі струм і напруга на індуктивності?
10. Як зрушені по фазі струм і напруга на ємності?
11. Чому дорівнює повний опір кола змінного струму в режимі резонансу напруг?

Література: [1, с.47 - 51, 73 – 77, 94 - 98]; [2, с.60 - 64, 66 - 84].

Лабораторна робота 3  
ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО КОЛА ЗМІННОГО СТРУМУ

МЕТА РОБОТИ

Дослідити співвідношення між лінійними і фазними струмами та напругами в трифазному колі змінного струму, з'єднаному за схемою зірки і трикутника при симетричному і несиметричному навантаженнях фаз.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Трифазним електричним колом називається сукупність трьох електричних кіл, у яких діють три електрорушійні сили, що змінюються за законом синуса з однаковою частотою, але які відрізняються друг від друга по фазі.

Окреме електричне коло трифазного кола називається *фазою*.

Якщо діючи в трифазному колі електрорушійні сили мають однакові максимальні значення і зрушені друг щодо друга на  $120^\circ$ , то ці електрорушійні сили утворюють симетричну трифазну систему електрорушійних сил

$$e_A = E_m \sin \omega t;$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ);$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ).$$

Якщо електрорушійні сили утворюють трифазну систему електрорушійних сил, то сума їхніх миттєвих значень дорівнює нулю

$$e_A + e_B + e_C = 0.$$

Трифазні електричні кола можуть бути з'єднані за схемою зірки і трикутника. *З'єднання зіркою* (позначають  $Y$ ) утворюється, якщо кінці фаз обмоток генератора і кінці фаз навантаження з'єднуються в загальні точки  $N$  у генератора і  $n$  у навантаження (рис.37). Ці точки називаються нульовими або нейтральними. Початки фаз обмотки генератора з'єднуються з початками фаз навантаження *лінійними* проводами. Нульові точки генератора і навантаження з'єднуються *нульовим* або *нейтральним* проводом. Опори  $Z_A, Z_B, Z_C$  - опори фаз навантаження. Струми в лінійних проводах  $I_A, I_B, I_C$  називаються *лінійними струмами*. Напруги на фазах обмоток генератора  $U_A, U_B, U_C$  і на фазах навантаження  $U_a, U_b, U_c$  називаються *фазними напругами*. Напруги  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  між лінійними проводами називаються *лінійними напругами*.

Якщо опори фаз навантаження однакові, тобто  $Z_A = Z_B = Z_C$  і кути зсуву фаз  $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C$ , то таке навантаження називається *симетричним*. При

симетричному навантаженні трифазного кола, з'єднаного в зірку, сума миттєвих значень лінійних струмів дорівнює нулю

$$i_A + i_B + i_C = 0$$

і струм у нульовому проводі дорівнює нулю

$$i_N = i_A + i_B + i_C = 0.$$

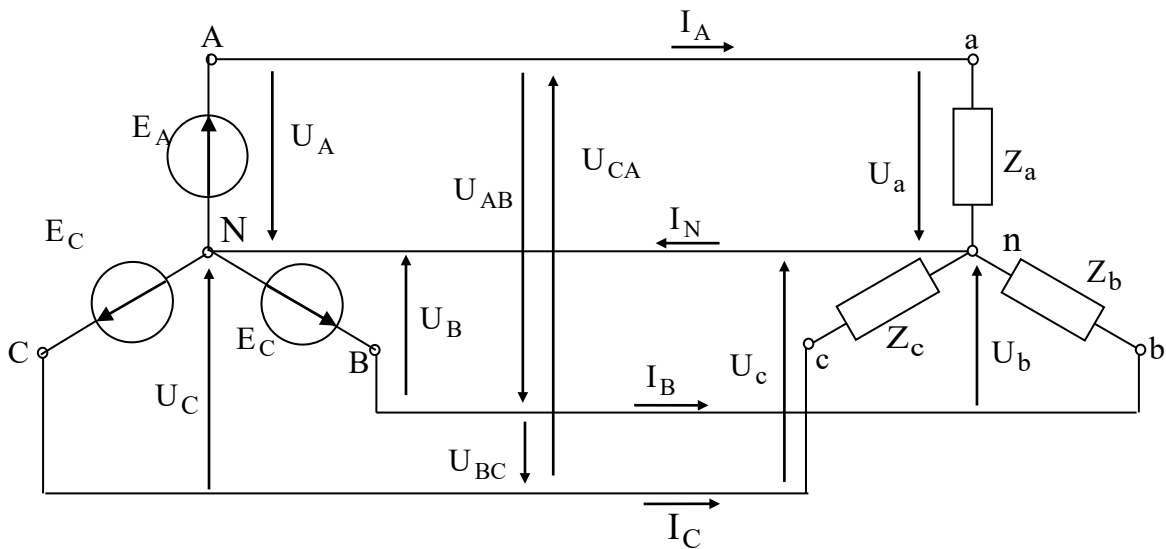


Рисунок 37. Трифазне електричне коло, з'єднане за схемою зірки

Якщо навантаження несиметричне, то сума миттєвих значень лінійних струмів дорівнює миттєвому значенню струму в нульовому проводі.

$$i_A + i_B + i_C = i_N$$

При відсутності нульового проводу і несиметричному навантаженні виникає різниця потенціалів між нульовими точками генератора і навантаження. У результаті цього при симетричній системі ЕРС генератора напруги на фазах навантаження стають неоднаковими по розміру (рис.38), а це неприпустимо.

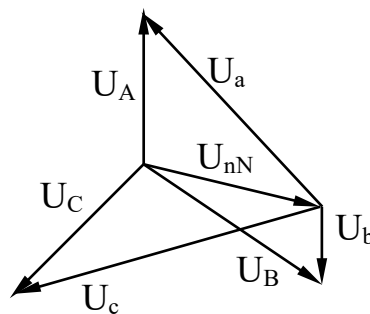


Рисунок 38. Векторна діаграма фазних напруг при несиметричному навантаженні

При з'єднанні зіркою і наявності нульового проводу напруги на фазах навантаження мають однаковий розмір при будь-якій несиметричному навантаженні. Якщо трифазне коло з'єднане у зірку з нульовим проводом, то лінійні напруги

$$U_{\text{Л}} = U_{\text{AB}} = U_{\text{BC}} = U_{\text{CA}}$$

у  $\sqrt{3}$  разів більше фазних напруг  $U_{\text{Ф}} = U_{\text{a}} = U_{\text{b}} = U_{\text{c}}$ , тобто  $U_{\text{Л}} = \sqrt{3}U_{\text{Ф}}$ .

Струми у фазах навантаження і генератора називаються *фазними струмами*. При симетричному навантаженні  $I_{\text{A}} + I_{\text{B}} + I_{\text{C}} = I_{\text{Ф}}$ . При з'єднанні зіркою фазні струми рівні відповідним лінійним струмам

$$I_{\text{Л}} = I_{\text{Ф}}.$$

При з'єднанні генератора і навантаження за схемою трикутника початок кожної наступної фази обмотки генератора з'єднується з кінцем попередньої. Також з'єднуються і фази навантаження (рис. 39).

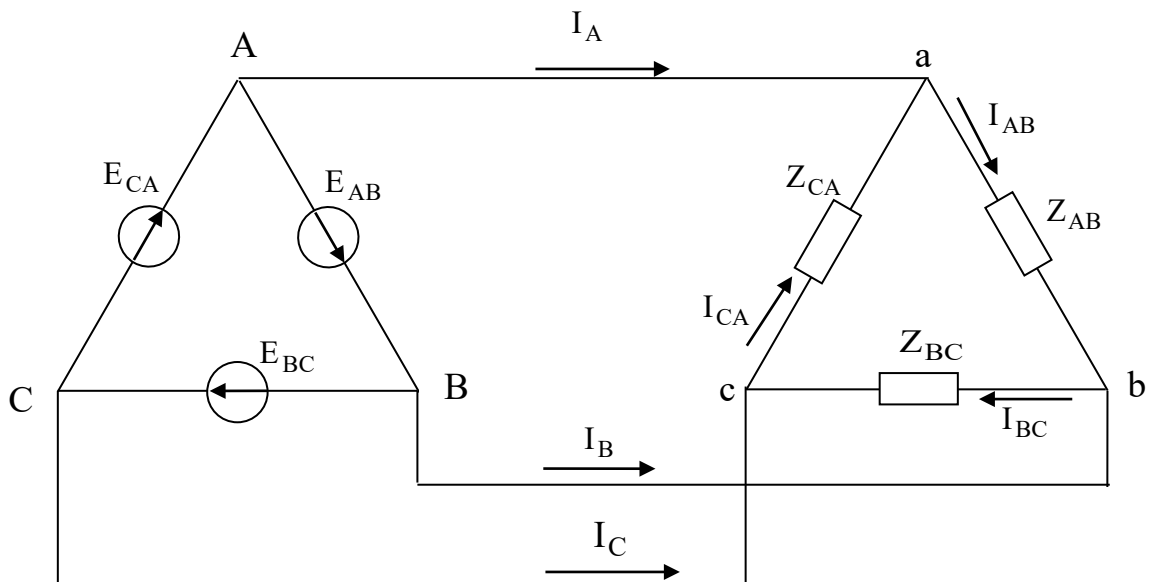


Рисунок 39. Трифазне електричне коло, з'єднане за схемою трикутника

На рис.39 елементи  $Z_{\text{AB}}, Z_{\text{BC}}, Z_{\text{CA}}$  - опори фаз навантаження,  $I_{\text{A}}, I_{\text{B}}, I_{\text{C}}$  - лінійні струми;  $I_{\text{AB}}, I_{\text{BC}}, I_{\text{CA}}$  - фазні струми у фазах навантаження.

При з'єднанні трикутником у будь-якому випадку сума миттєвих значень лінійних струмів дорівнює нулю

$$i_{\text{A}} + i_{\text{B}} + i_{\text{C}} = 0.$$

Лінійні напруги при з'єднанні трикутником рівні фазним  $U_{\text{Л}} = U_{\text{Ф}}$ .

Якщо навантаження симетричне, то лінійні струми  $I_{\text{Л}} = I_{\text{A}} = I_{\text{B}} = I_{\text{C}}$  в  $\sqrt{3}$  разів більше фазних струмів  $I_{\text{Ф}} = I_{\text{AB}} = I_{\text{BC}} = I_{\text{CA}}$

$$I_{\text{Л}} = \sqrt{3}I_{\text{Ф}}.$$

При несиметричному навантаженні ця рівність не виконується.



## АПАРАТУРА ТА ПРИЛАДИ

1. Амперметр 2,5-5 А
2. Вольтметр багатомежний
3. Ватметр багатомежний
4. Опори  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$
5. Автотрансформатори АТ1, АТ2, АТ3
6. Гнізда (позначені на схемі XS).

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

I. Для дослідження з'єднання трифазного кола зіркою зібрати схему зображену на рис. 40. На схемі АТ позначає автотрансформатор - апарат, що дозволяє регулювати розмір струму у фазі навантаження.

1. Після перевірки схеми викладачем підключити її до мережі. Включаючи амперметр по черзі в кожен з фаз, встановити у фазах навантаження однакові струми за вказівкою на робочому місці. Виміряти напруги на фазах навантаження і лінійні напруги.

**УВАГА:** струми у фазах навантаження не більше 1,5 А !!!

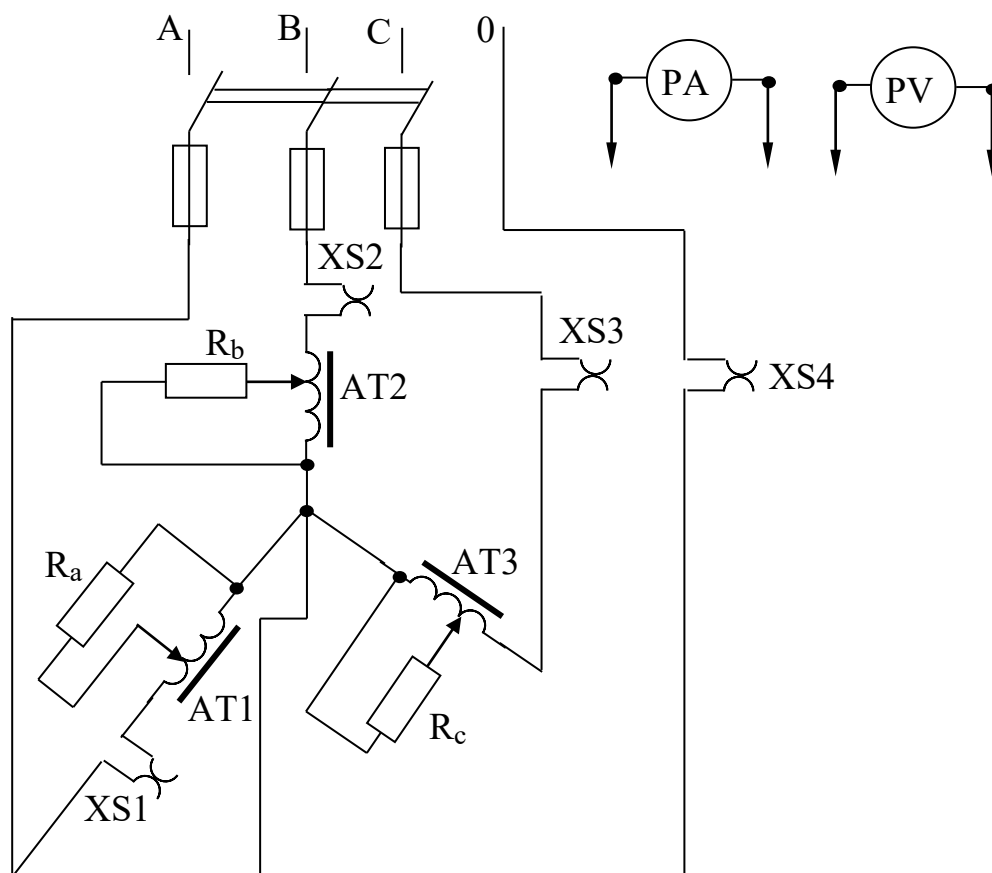


Рисунок 40. Вимірювальна схема з'єднання зіркою

Результати вимірів занести до табл. 9.

Таблиця 9

Таблиця вимірів струмів і лінійних та фазних напруг

$I_0$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$U_A$	$U_B$	$U_C$	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$

2. Не змінюючи положень ручок автотрансформаторів, відключити нульовий провід. Записати показання приладів у табл. 9.

3. За допомогою автотрансформаторів, по черзі включаючи амперметр у кожен з фаз, установити неоднакові струми у фазах за вказівкою викладача. Виміряти ті ж величини, що при симетричному навантаженні. Результати вимірів занести до табл. 9.

4. Не змінюючи положень ручок автотрансформаторів, відключити нульовий провід і провести ті ж виміри. Записати показання приладів у табл. 9.

Зробити висновок про вплив нульового проводу на роботу трифазного кола при симетричному і несиметричному навантаженнях.

II. Для дослідження з'єднання трикутником зібрати схему, зображену на рис.41. Після перевірки схеми викладачем підключити її до мережі.

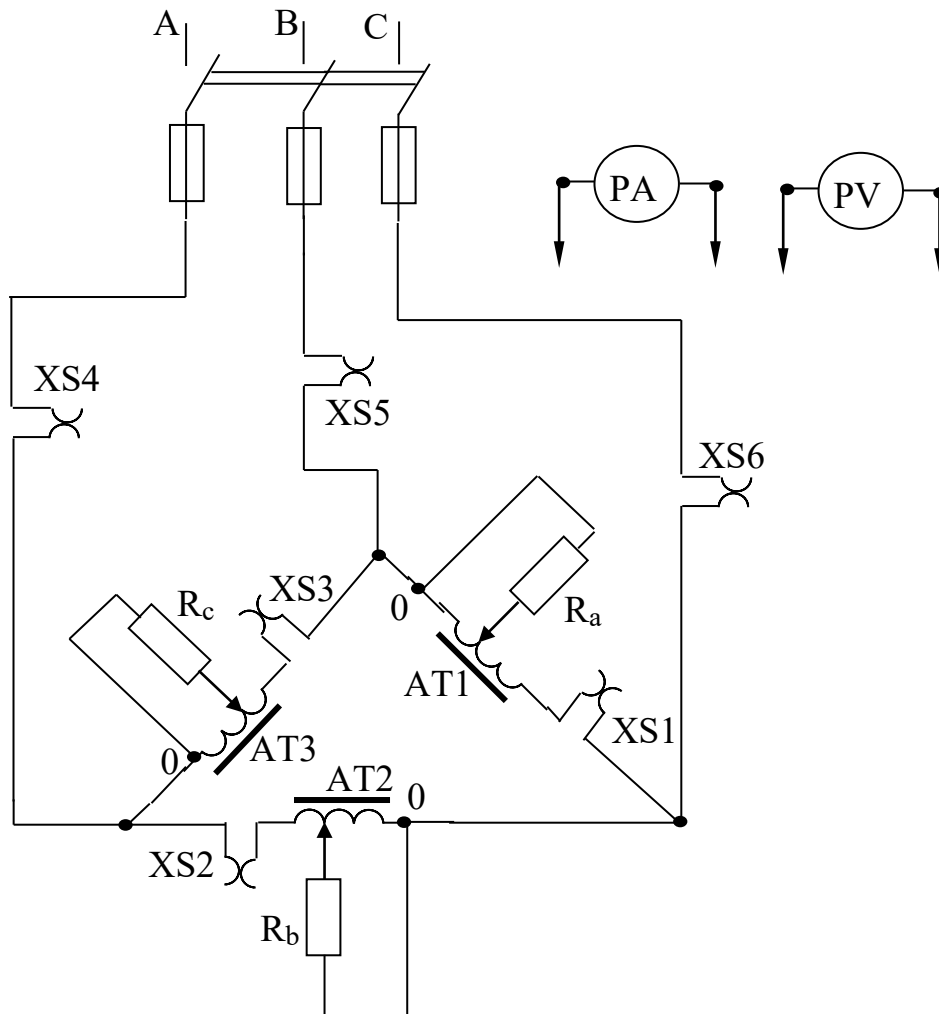


Рисунок 41. Вимірювальна схема з'єднання трикутником

1. Включаючи амперметр по черзі в кожну фазу навантаження, встановити однакові струми у фазах навантаження. Розмір струмів установлюється за вказівкою на робочому місці. Виміряти напруги на фазах навантаження, лінійні і фазні струми. Результати вимірів занести до табл. 10.

Таблиця 10

Таблиця вимірів лінійних та фазних струмів і напруг

Лінійні струми			Фазні струми			$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$
$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_{AB}$	$I_{BC}$	$I_{CA}$			

2. За допомогою автотрансформаторів, включаючи амперметр по черзі в кожну фазу навантаження, установити неоднакові струми у фазах навантаження. Розмір струмів установлюється за вказівкою викладача. Виміряти фазні і лінійні струми, а також напруги. Результати вимірів занести до табл. 10.

3. Відключити схему від мережі й від'єднати одну з фаз навантаження. Включити схему в мережу і виконати усі виміри. Результати вимірів занести до табл. 10.

Зробити висновки про співвідношеннями між лінійними і фазними струмами при з'єднанні трикутником для симетричного і несиметричного навантажень.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається трифазним колом змінного струму?
2. Що таке симетрична система ЕРС?
3. Яке навантаження трифазного струму називається симетричним?
4. Для чого при з'єднанні зіркою трифазного кола необхідний четвертий нульовий провід?
5. Яке співвідношення існує між розмірами лінійних і фазних напруг у трифазному колі при з'єднанні зіркою?
6. Яке співвідношення існує між розмірами лінійних і фазних струмів у трифазному колі при з'єднанні зіркою?
7. Чому дорівнює струм нульового проводу?
8. Яке співвідношення існує між розмірами лінійних і фазних напруг у трифазному колі при з'єднанні трикутником?
9. Яке співвідношення існує між розмірами лінійних і фазних струмів у трифазному колі при з'єднанні трикутником і симетричному навантаженні?

Література: [1, с.109 - 113, 119 – 121; [2, с.123 - 140].

Лабораторна робота 4  
ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

МЕТА РОБОТИ

Ознайомитися з електровимірювальними приладами різних систем і різного призначення та умовними позначеннями на їх шкалах.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Електровимірювальні прилади застосовуються для вимірювання різних електричних і неелектричних величин. Електровимірювальні прилади класифікуються за галуззю застосування, класом точності, системою (принципом дії), видом струму тощо.

При будь-якому вимірюванні неминуче виникає похибка, тобто виміряна величина відрізняється від дійсної. Похибки діляться на: абсолютну похибку, відносну похибку і зведену похибку вимірювального приладу.

$$\text{Абсолютна похибка } \Delta A = A_{\text{в}} - A_{\text{д}},$$

де:  $A_{\text{в}}$  - виміряне значення вимірюваної величини;

$A_{\text{д}}$  - дійсне значення вимірюваної величини.

$$\text{Відносна похибка } \gamma = \frac{\Delta A}{A_{\text{д}}} \cdot 100\%.$$

$$\text{Зведена похибка вимірювального приладу } k = \frac{\Delta A}{A_{\text{н}}},$$

де  $A_{\text{н}}$  - номінальне значення вимірюваної величини, яке характеризує прилад (верхня межа вимірювання приладу).

Точність вимірювальних приладів виражається класом точності приладу. *Класом точності* приладу називається максимальна зведена похибка приладу, виражена у процентах. Існують наступні класи точності приладів:

$$\left. \begin{array}{l} 0.05 \\ 0.1 \\ 0.2 \\ 0.5 \end{array} \right\} - \text{ контрольні прилади,} \quad \left. \begin{array}{l} 1.0 \\ 1.5 \\ 2.5 \\ 4.0 \end{array} \right\} - \begin{array}{l} \text{ лабораторні прилади,} \\ \text{ технічні прилади (щитові).} \end{array}$$

Прилади класу точності 0.5 можуть застосовуватися і для лабораторних вимірів. За назвою прилади діляться на: прилади для вимірювання напруги - вольтметри; прилади для вимірювання струму - амперметри; прилади для вимірювання потужності - ватметри; прилади для вимірювання зсуву фаз - фазометри; прилади для обліку споживання електричної енергії – лічильники та інші.

За принципом дії (за системою) електричні вимірювальні прилади діляться на: прилади магнітоелектричної системи; прилади електромагнітної

системи; прилади електродинамічної системи; прилади індукційної системи та ін.

Принцип дії приладів магнітоелектричної системи оснований на взаємодії магнітного поля постійного магніту і котушки зі струмом. Позначення системи, що наноситься на шкалу приладу, зображене на рис.42,а. Прилади магнітоелектричної системи можуть застосовуватися для вимірювання струму або напруги у колах постійного струму.

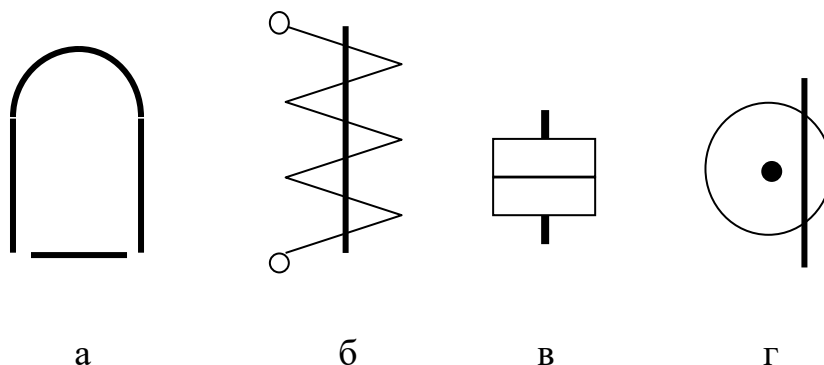


Рисунок 42. Умовні позначення вимірювальних систем

Принцип дії приладів електромагнітної системи оснований на втягненні феромагнітного осердя в котушку при проходженні у витках котушки струму. Позначення цієї системи показане на рис. 42,б. Прилади електромагнітної системи застосовуються для вимірювання струму або напруги у колах постійного або змінного струму. У колах змінного струму вони показують діюче значення вимірюваної величини.


Принцип дії приладів електродинамічної системи оснований на взаємодії магнітних полів двох котушок при проходженні у їхніх витках струмів. Позначення системи зображене на рис. 42, в.

Прилади цієї системи мають два кола струму, тому, в принципі, ними можна вимірювати різні електричні величини. Але найчастіше прилади електродинамічної системи застосовуються для вимірювання потужності у колах постійного і змінного струму. У колах однофазного змінного струму ці прилади вимірюють активну потужність.

Принцип дії приладів індукційної системи оснований на взаємодії змінних магнітних потоків з вихровими струмами, які індуковані цими потоками в рухомій частині приладу. Позначення системи зображене на рис.42, г. У наш час прилади індукційної системи застосовуються тільки для обліку споживання енергії у колах змінного струму (лічильники електричної енергії). Усі відомості про електричні прилади наносяться на їхній шкалі.

На шкалі наносяться:

1. Вимірювана величина або найменування приладу. Якщо нанесене умовне позначення вимірюваної величини (наприклад, А), то воно вказує, що шкала приладу градуйована в одиницях цієї величини. Якщо написана повна назва приладу (наприклад, «вольтметр»), то це означає, що шкала нанесена в поділках і ціну поділки треба визначати згідно з межами вимірювання приладу.

2. Тип приладу.
  3. ДСТУ, номер і рік випуску приладу.
  4. Вид струму (- постійний струм,  $\sim$  змінний струм,  $\cong$  постійний і змінний струми,  $\approx$  - трифазний струм).
  5. Система приладу.
  6. Клас точності приладу.
  7. Нормальне робоче положення ( $\perp$  - вертикальне положення,  $\ulcorner$  - горизонтальне положення,  $\sphericalangle$  - під кутом  $60^\circ$ ).
  8. Напруга, при якій випробувалась ізоляція приладу (наприклад  - 2кВ).
- Крім того, можуть бути нанесені й інші відомості.

## АПАРАТУРА ТА ПРИЛАДИ

1. Вольтметр щитовий – PV1
2. Амперметр щитовий – PA1
3. Вольтметр багатомежний – PV2
4. Амперметр на 2,5 - 5 А – PA2
5. Лічильник електричної енергії – PI
6. Ватметр – PW
7. Автотрансформатори АТ – 2 шт.
8. Опори навантаження  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$ .

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Для виконання лабораторної роботи необхідно зібрати схему, наведену на рис. 43.

На рис. 43 зображені:

- АТ1 і АТ2 - автотрансформатори;
- $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  - опори навантаження;
- PA1 –амперметр, що перевіряється;
- PV1 - вольтметр, що перевіряється;
- PA2 - контрольний амперметр;
- PV2 - контрольний вольтметр;
- PW - ватметр;
- PI – лічильник електричної енергії.

1. Перевірити вольтметр. Перевірка вольтметра робиться шляхом порівняння даних приладу з даними вольтметра, що має клас точності, не нижчий за 0,5. Контрольний прилад обирається так, щоб його верхня межа вимірювання відповідала верхній межі вимірювання приладу, що перевіряється, а клас точності приладу повинен бути вищий, ніж у приладу, що перевіряється.

У даній лабораторній роботі за прилад, що перевіряється, необхідно взяти технічний щитовий вольтметр.

Після збирання схеми і перевірки її керівником заняття, перевіряється положення стрілок приладів відносно нуля. Якщо за відсутності напруги стрілки приладів не стоять на нулі, то за допомогою коректора їх встановлюють на нуль (для контрольних приладів це робить керівник заняття).

Перед вмиканням схеми у мережу змінного струму ручка автотрансформатора АТ1 повинна бути встановлена так, щоб показчик був на нулі. Ручка автотрансформатора АТ2 повинна бути встановлена у середнє положення. Переміщенням ручки автотрансформатора АТ2 на шкалі приладу, що перевіряється, встановлюють напругу згідно з вказівками на робочому місці.

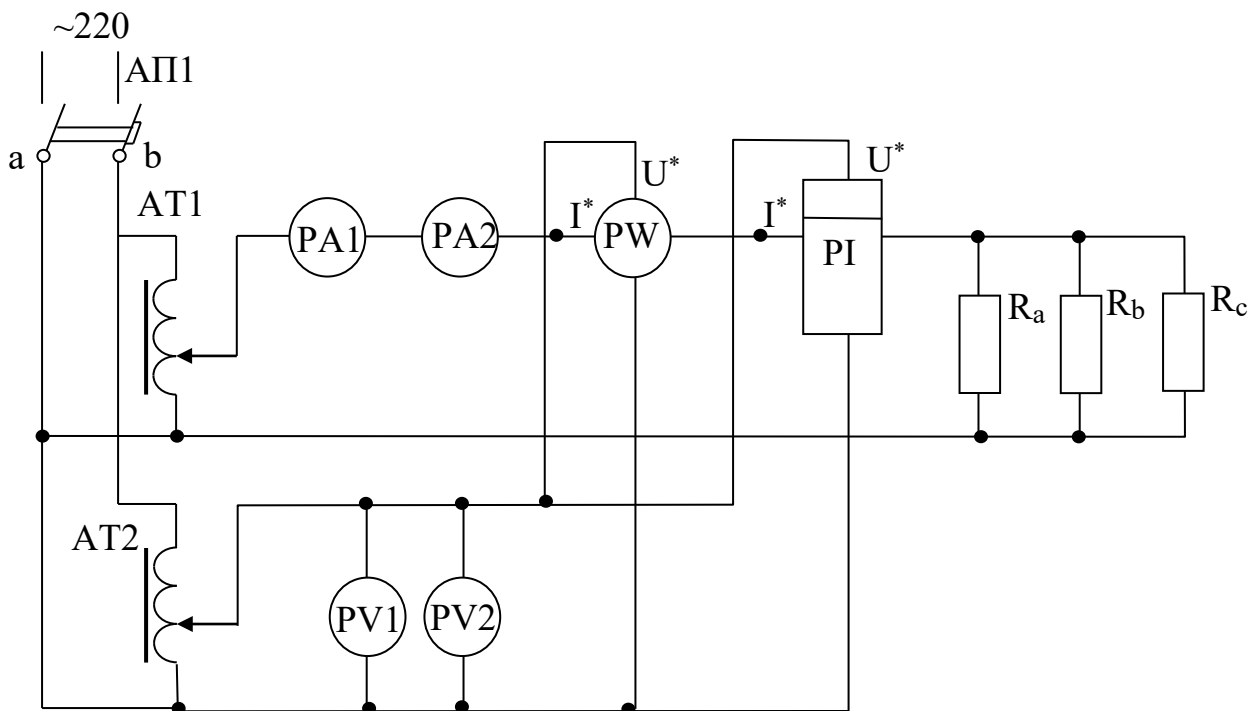


Рисунок 43. Схема електрична вимірювальна

На приладі, що перевіряється, необхідно встановлювати цілі значення напруги.

Показання контрольного приладу відраховуються так, щоб стрілка приладу співпадала з її відображенням у дзеркалі.

Результати перевірки занести у табл.11.

Таблиця 11

Таблиця вимірів напруги

Виміряне значення		Обчислене значення		
$U_1$	$U_2$	$\Delta U$	$\gamma_u$	$-\Delta U$

$U_1$  - показання приладу, що перевіряється;

$U_2$  - показання контрольного приладу;

$\Delta U = U_1 - U_2$  - абсолютна похибка приладу, що перевіряється;

$\gamma_u = \frac{\Delta U}{U_2} \cdot 100\%$  - відносна похибка приладу, що перевіряється;

$-\Delta U$  - поправка приладу, що перевіряється, тобто величина, яку можна додати до показань приладу, щоб отримати дійсне значення вимірюваної величини.

За даними табл.11 побудувати графіки  $\Delta U = f(U_1)$ ,  $\gamma_u = f(U_1)$ . При побудові графіків точки з'єднувати прямими лініями.

2. Перевірити амперметр. Як прилад, що перевіряється, використовується щитовий амперметр з межею вимірювання 5А.

Перед вмиканням схеми у мережу необхідно встановити ручки автотрансформаторів так, щоб покажчики були на нулі. Після вмикання схеми у мережу обертанням ручки автотрансформаторів АТ1 встановлюють на амперметрі, що перевіряється, значення струму згідно з вказівками на робочому місці.

Показання контрольного приладу та того, що перевіряється, заносять у табл. 12.

Таблиця 12

Таблиця вимірів струму

Виміряне значення		Обчислене значення		
$I_1$	$I_2$	$\Delta I$	$\gamma_I$	$-\Delta I$

$I_1$  - показання приладу, що перевіряється;

$I_2$  - показання контрольного приладу;

$\Delta I$  - абсолютна похибка приладу;

$\gamma_I$  - відносна похибка приладу;

$-\Delta I$  - поправка.

За даними табл. 12 побудувати графіки залежностей  $\Delta I = f(I_1)$ ,  $\gamma_I = f(I_1)$

3. Перевірити ватметр. Перевірка ватметра здійснюється шляхом порівняння показань ватметра, що перевіряється, зі значенням потужності, що визначається шляхом обчислення згідно з показаннями контрольних амперметра і вольтметра.

Після вмикання схеми за допомогою автотрансформатора АТ2 встановити напругу на контрольному вольтметрі згідно з вказівками на робочому місці.

За допомогою автотрансформатора АТ1 поступово змінювати струм на контрольному амперметрі згідно з вказівками на робочому місці.

Показання ватметра, контрольних амперметра і вольтметра заносити у табл. 13.



Повторити перевірку, змінивши величину напруги.

ПРИМІТКА. При виконанні перевірки ватметра потрібно встановити межу виміру напруги на ватметрі, що дорівнює 300 В.

Таблиця 13

Таблиця вимірів потужності

Виміряне значення			Обчислене значення			
$U_2$	$I_2$	$P$	$U_2 \cdot I_2$	$\Delta P$	$\gamma_w$	$-\Delta P$

$U_2$  - показання контрольного вольтметра;

$I_2$  - показання контрольного амперметра;

$P$  - показання ватметра, що перевіряється;

$\Delta P = P - U_2 \cdot I_2$  - абсолютна похибка ватметра;

$\gamma_w$  - відносна похибка ватметра;

$-\Delta P$  - поправка.

За даними табл.13 побудувати графіки залежностей  $\Delta P = f(P)$  і  $\gamma_w = f(P)$  при  $U = \text{const}$  для двох значень напруги.

4. Перевірити лічильник. Після вмикання схеми встановити напругу на контрольному вольтметрі згідно з вказівками на робочому місці.

На контрольному амперметрі встановлюється струм навантаження згідно з вказівками на робочому місці. Для кожного значення струму визначити час у секундах, за яке диск лічильника зробить 50 обертів.

Показання приладів занести у табл. 14. Перевірку лічильника повторити при іншому значенні напруги.

Таблиця 14

Таблиця вимірів електричної енергії

Виміряне значення			Обчислене значення		
$U_2$	$I_2$	$t$	$W_1$	$W_2$	$\gamma_{\text{л}}$

$U_2$  - показання контрольного вольтметра;

$I_2$  - показання контрольного амперметра;

$t$  - час у секундах;

$W_2 = \frac{U_2 I_2 t}{3600}$  - кількість енергії в ват-годинах, що витратиться за час  $t$ ;

$W_1 = \frac{n}{c}$  - кількість енергії у ват-годинах за показаннями лічильника;

де  $n$  - число обертів диску,  $c$  - постійна лічильника (вказана на робочому місці);

$\gamma_{\text{л}} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \cdot 100\%$  - відносна похибка лічильника.

За даними табл. 14 побудувати графік  $\gamma_{\text{л}} = f(I_2)$ .

ПРИМІТКА. Рахуючи оберти диску лічильника, треба стежити, щоб напруга і струм не змінювалися. За результатами перевірки приладів зробити висновок про їхню відповідність класу точності.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що означають зірки біля затискачів ватметра?
2. Як включається у схему амперметр для вимірювання струму електричного кола?
3. Як включається у схему вольтметр для вимірювання напруги на ділянці електричного кола?
4. Яку максимальну похибку у вольтах можна очікувати у вольтметра з межею вимірювання 250 В і класом точності 4.0?
5. Яку потужність показує ватметр при вимірюванні потужності у колах змінного струму?
6. У якій частині шкали прилад дасть більш точні показання (на початку чи в кінці)?
7. Чому лічильником індукційної системи можна вести облік енергії тільки у колах змінного струму?
8. Чому прилади магнітоелектричної системи можуть застосовуватися для вимірів тільки у колах постійного струму?

Література: [1, с.254 - 258].

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

#### **Базова**

1. Малинівський С.М. Загальна електротехніка / С.М. Малинівський. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 263 с.
2. Монтік П.М. Електротехніка та електромеханіка / П.М. Монтік. – Львів: Новий світ-2000, 2012. – 302 с.
3. Рожкова С.Е. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: конспект лекцій / В.І. Калмиков, С.Е. Рожкова. – Харків: ХНАДУ, 2006. – 179 с.

#### **Допоміжна**

4. Красников В.М., Новиков А.В. Електромеханіка / В.М. Красников, А.В. Новиков. – Київ: Вища шк., 1994. – 372 с.
5. Электрические измерения / Под ред. Е.Г.Шрамкова.- М: Высшая школа – 1972 – 345с.

Навчальне видання  
Методичні вказівки до лабораторних робіт  
з дисципліни “Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка”  
Розділ "Електричні кола та електровимірювальні прилади"  
для студентів усіх спеціальностей

Укладачі: Рожкова Світлана Едуардівна  
Рожков Петро Павлович

Відповідальний за випуск О. В. Бажинов

Редактор

План \_\_\_\_\_, поз.  
Підписано до друку                      Формат 60×80 1/16                      Папір газетний  
Віддруковано на ризографі              Умов. друк. арк.                      Обл.-вид. арк.  
Замовлення №                              Тираж                      прим.                      Ціна договірна

---

ХНАДУ, 61002, Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25

---

Підготовлено і віддруковано видавництвом Харківського національного  
автомобільно-дорожнього університету