

**Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет**

НЕСТЕРЧУК Д.М., КВІТКА С.О., ГАЛЬКО С.В.

КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ З ОСНОВАМИ МЕТРОЛОГІЇ

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК ДЛЯ ВИКОНАННЯ
ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

*Рекомендовано Вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного університету
як посібник для підготовки здобувачів
ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

Мелітополь

2018

УДК [621.317.7+006.91] (076.5)

H55

*Гриф надано Вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного університету
(протокол № 9 від «24» квітня 2018 р.)*

Укладачі: **Нестерчук Д.М.**, доцент Таврійського ДАТУ,
Квітка С.О., доцент Таврійського ДАТУ,
Галько С.В., доцент Таврійського ДАТУ

Рецензенти:

Островецький М.Я., д.т.н., професор, завідувач кафедри «Теоретична електротехніка», Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»

Тиховод С.М., д.т.н., доцент, завідувач кафедри «Теоретична і загальна електротехніка», Запорізький національний технічний університет

Діордієв В.Т., д.т.н., професор, завідувач кафедри «Електроенергетика і автоматизація», Таврійський державний агротехнологічний університет

Нестерчук Д.М.

H55 Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: навчальний посібник для виконання лабораторних робіт / Д.М.Нестерчук, С.О. Квітка, С.В. Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2018. - 172 с.

ISBN

У навчальному посібнику зібраний, систематизований та наочно викладений теоретичний і методичний матеріал, який охоплює практичні питання методології електричних вимірювань та опрацювання отриманих результатів експериментів. Структура кожної лабораторної роботи, їх зміст та наочна ілюстрація теоретичного матеріалу схемами вимірювання електричних величин є методично обґрунтованими та роблять посібник зручним для самостійного опрацювання матеріалу студентами, як денної, так й заочної (дистанційної) форм навчання.

Навчальний посібник призначений для викладачів при підготовці до лабораторних робіт з дисципліни «Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології», а також для студентів вищих навчальних закладів при підготовці здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

© Нестерчук Д.М.

© Квітка С.О.

© Галько С.В.

© «Таврійський державний агротехнологічний університет», 2018

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	5
Лабораторна робота	
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ	6
Лабораторна робота	
ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКТУ К50	19
Лабораторна робота	
МЕТРОЛОГІЧНА ПОВІРКА АНАЛОГОВОГО АМПЕРМЕТРА МЕТОДОМ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО ПОРІВНЯННЯ ЗІ ЗРАЗКОВИМ ПРИЛАДОМ	28
Лабораторна робота	
МЕТРОЛОГІЧНА ПОВІРКА АНАЛОГОВОГО ВОЛЬТМЕТРА МЕТОДОМ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО ПОРІВНЯННЯ ЗІ ЗРАЗКОВИМ ПРИЛАДОМ	38
Лабораторна робота	
МЕТРОЛОГІЧНА ПОВІРКА АНАЛОГОВОГО ВАТМЕТРА МЕТОДОМ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО ПОРІВНЯННЯ ЗІ ЗРАЗКОВИМ ПРИЛАДОМ	45
Лабораторна робота	
МЕТРОЛОГІЧНА ПОВІРКА ОДНОФАЗНОГО ЛІЧИЛЬНИКА АКТИВНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	53
Лабораторна робота	
МЕТРОЛОГІЧНА ПОВІРКА ЕЛЕКТРОННИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ АКТИВНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	65
Лабораторна робота	
ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ РОЗШИРЕННЯ ГРАНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ ПРИЛАДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ШУНТІВ ТА ДОДАТКОВИХ РЕЗИСТОРІВ	78

Лабораторна робота	
ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА СТРУМУ	89
Лабораторна робота	
ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ ОДИНАРНИМ МОСТОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	100
Лабораторна робота	
ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН ЦИФРОВИМИ ВИМІРЮВАЛЬНИМИ ПРИЛАДАМИ	108
Лабораторна робота	
ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СПОЖИВАЧІВ У ОДНОФАЗНИХ КОЛАХ ЗМІННОГО СТРУМУ	117
Лабораторна робота	
ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОЇ ТА РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СПОЖИВАЧІВ У ТРИФАЗНИХ КОЛАХ ЗМІННОГО СТРУМУ	132
Лабораторна робота	
ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПОТУЖНОСТІ У КОЛАХ ЗМІННОГО СТРУМУ ПРИ РІЗНИХ ВИДАХ НАВАНТАЖЕННЯ	146
Лабораторна робота	
ВИМІРЮВАННЯ ІНДУКТИВНОСТІ, ВЗАЄМНОЇ ІНДУКТИВНОСТІ ТА ЄМНОСТІ ОПОСЕРЕДКОВАНИМИ МЕТОДАМИ	157
Додатки	167

ПЕРЕДМОВА

Велика кількість різноманітних електричних величин, можливість вимірювання їх електричними засобами вимірювань та передачі вимірювальної інформації на відстань – все це надає зазначеним вимірюванням особливу роль в метрології та метрологічній діяльності.

Навчальний посібник «Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: навчальний посібник для виконання лабораторних робіт» призначений для проведення лабораторних робіт на основі вивчення теоретичного матеріалу з курсу «Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології» для підготовки здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та для викладачів при підготовці до лабораторних робіт.

У посібнику зібраний, систематизований та наочно викладений теоретичний і методичний матеріал, який охоплює практичні питання методології електричних вимірювань та опрацювання отриманих результатів експериментів.

Структура кожної лабораторної роботи, їх зміст та наочна ілюстрація теоретичного матеріалу схемами вимірювання електричних величин є методично обґрунтованими та роблять посібник зручним для самостійного опрацювання матеріалу студентами, як денної, так й заочної (дистанційної) форм навчання.

Рівень наведеного матеріалу практичного спрямування ґрунтується на знаннях та вміннях з фізики, вищої математики, теоретичних основ електротехніки, з електроніки та мікросхемотехніки в обсязі навчальних програм названих дисциплін.

Під час підготовки навчального посібника максимально враховані та використані, як традиції й багаторічний досвід викладання дисципліни «Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології» на кафедрі «Електротехніка і електромеханіка імені професора В.В.Овчарова» в ТДАТУ, так і тенденції досягнень й розвитку сучасної вимірювальної техніки в Україні.

Лабораторна робота
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Мета роботи:

Ознайомлення з будовою, принципом дії та з областю застосування електровимірювальних приладів різних систем, а також набуття практичних навичок при описі метрологічних характеристик приладів.

Основні теоретичні відомості

Проблема правильного вибору необхідного засобу вимірювань є важливою та актуальною. Для вирішення такої проблеми є критерії оцінки ефективності застосування засобів вимірювань, якими є *технічні характеристики* засобів вимірювань. *Технічні характеристики* (метрологічні та неметрологічні) відображають властивості та функціонування засобів вимірювальної техніки. *Метрологічними* є ті характеристики засобів вимірювальної техніки, які впливають на результат та точність вимірювання. *Нормованими метрологічними характеристиками* аналогових вимірювальних приладів є: діапазон вимірювань, клас точності, чутливість та поріг чутливості, стала та ціна поділки шкали, а також умови застосування [1, 2].

Складовою частиною аналогового приладу є його *шкала* - це частина пристрою відліку у вигляді впорядкованої сукупності позначок разом з пов'язаною з нею певною послідовністю чисел. Позначкою шкали може бути риска або інший знак на шкалі, що відповідає одному або декільком значенням вимірюваної величини. На рисунку 1 наведена структура шкали аналогового приладу - ватметра, яка наочно пояснює такі характеристики аналогового приладу, як діапазон показів, межі (границі) та діапазон вимірювань. Вказане на шкалі *початкове значення шкали* X_n є найменшим значенням вимірюваної величини X , а вказане на шкалі *кінцеве значення шкали* X_k є найбільшим значенням вимірюваної величини X .

Діапазон показань – це інтервал значень вимірюваної величини, який обмежений найменшим у діапазоні показів та найбільшим її значенням.

Частина діапазону показів засобу вимірювань, для якої границі допустимих похибок є нормованими, називається **діапазоном вимірювань**.

Найменше і найбільше значення діапазону вимірювань називають **нижньою X_n і верхньою X_v границею вимірювань**.

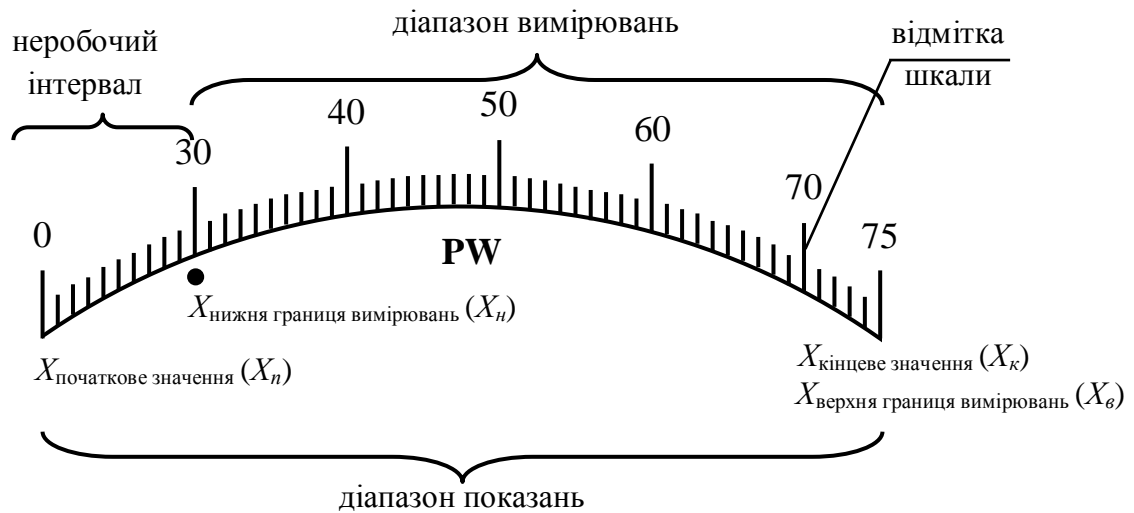


Рисунок 1 - Структура шкали аналогового ватметра

Верхня границя вимірювання X_v практично завжди збігається з верхньою границею показів X_k ЗВ, тобто $X_v = X_k$, а нижня границя вимірювання X_n не завжди збігається з початковим значенням шкали X_n , як видно з рисунку.

Інтервал показів між позначками шкали X_n та X_n є *неробочим* і не входить в діапазон вимірювань засобу вимірювання. У таких випадках нижню границю вимірювання X_n засобу позначають спеціальною точкою на шкалі біля цифри.

Враховуючи усе вище наведене, визначаємо згідно рисунку 1:

- початкове значення шкали X_n дорівнює 0 Вт ;
- нижня границя вимірювання X_n дорівнює 30 Вт ;
- верхня границя вимірювання X_v дорівнює верхній границі показів X_k та дорівнюють 75 В ;
- діапазон показів становить $0 \dots 75 \text{ Вт}$;
- діапазон вимірювань становить $30 \dots 75 \text{ Вт}$.

Показ вимірювального приладу (x) – це значення вимірюваної величини, яке відтворене шкалою вимірювального приладу і подане сигналом вимірювальної інформації. Найбільше число, яке можна зчитати з пристрою відліку, має назву **максимальний показ**.

Відлік (N_v) – це неіменоване абстрактне число, яке зчитане з пристрою відліку або одержане підрахунком послідовних позначок чи сигналів. Найбільше число, яке можна зчитати з пристрою відліку, має назву **максимальний відлік ($N_{B.max}$)**.

Ціна поділки шкали (C_{nod}) – це різниця значень вимірюваної величини, що відповідає відстані між двома найближчими позначками шкали.

Стала приладу (C) – це відношення границі вимірювання приладу (X_k) або максимального значення багатозначної міри до максимального показу і є іменованим числом в одиницях величини x .

Сталу приладу визначають за виразом

$$C = \frac{X_k}{N_{B.max}}. \quad (1)$$

Показ x , відлік N_v , стала приладу C і ціна поділки шкали C_{nod} пов'язані між собою співвідношенням

$$x = N_v \cdot C = N_{nod} \cdot C_{nod}. \quad (2)$$

Приклад 1 Визначити сталу вольтметра з границею вимірювання 600 В і з максимальним відліком 150.

Розв'язання.

Так як границя вимірювання приладу $U_k = 600$ В, максимальний відлік $N_{B.max} = 150$, тоді за виразом (1) визначається стала вольтметра $C_{PV} = \frac{U_k}{N_{B.max}} = \frac{600B}{150} = 4B$.



Приклад 2 Визначити сталу ватметра з границею вимірювання напруги 150 В та границею вимірювання струму 5 А та з максимальним відліком 75.

Розв'язання. Так як границя вимірювання активної потужності ватметра дорівнює $P_k = U_k \cdot I_k = 150B \cdot 5A = 750W$, отже, стала ватметра дорівнює

$$C_{PW} = \frac{U_k \cdot I_k}{N_{B,max}} = \frac{750}{75} = 10 \text{ Bm / под.}$$

Характеристикою засобу вимірювань, яка визначає близькість його показів до істинного значення вимірюваної величини, є *точність засобу вимірювань*. Показником точності є *клас точності засобу вимірювань* – це узагальнена характеристика засобу, яка визначається границями його допустимих основної і додаткових похибок, а також регламентованими характеристиками, що впливають на його точність. Слід відзначити, що клас точності ЗВ – це не похибка, а кількісна характеристика, за величиною якої можна оцінити похибку ЗВ [1...3]. На практиці можна застосувати вимірювальний прилад високого класу точності, але в результаті неправильно проведеного експерименту (наприклад, в області неробочого інтервалу вимірювань) отримати велику похибку показу приладу. В таблиці 1 наведені умовні позначення класів точності ЗВ з поясненням їх змісту.

Таблиця 1 - Умовні позначення класів точності ЗВ

Позначення класу точності		Форма похибки	Вираз для оцінювання, границі допустимої основної похибки	Пояснення
на засобі вимірювання	в технічній документації			
0,5	клас точності 0,5	зведена	$\gamma = \frac{\Delta X}{X_H} \cdot 100\%;$ $\gamma = \pm 0,5\%$	нормоване значення X_H визначено в одиницях вимірюваної фізичної величини
	клас точності 1,5	зведена	$\gamma = \frac{\Delta X}{X_H} \cdot 100\%;$ $\gamma = \pm 1,5\%$	нормоване значення X_H приймається рівним довжині шкали або її частині
	клас точності 2,5	відносна	$\delta = \pm 2,5\%$	безпосередня вказівка на границю допустимої основної похибки

Залежно від принципу дії вимірювального механізму, а саме, від принципу перетворення електромагнітної енергії вимірювального сигналу

в механічну енергію рухомої частини і виду функції перетворення, електромеханічні аналогові вимірювальні прилади поділяються на такі **системи**: *магнітоелектричну, електромагнітну, електродинамічну, феродинамічну, електростатичну та індукційну*. Типи, структури та основні метрологічні характеристики електромеханічних аналогових вимірювальних приладів різних систем наведені в таблиці 2 та на рисунку 2.

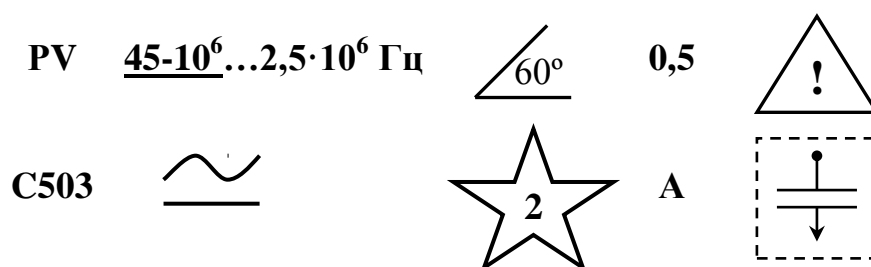


Рисунок 2 – Приклад умовних позначень на шкалі аналогового приладу


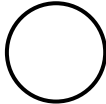

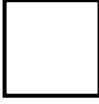






Таблиця 2 - Основні умовні позначення на шкалах аналогових приладів [1, 2]

Назва	Умовне позначення
<i>1.Позначення системи вимірювального механізму приладу:</i>	
- магнітоелектричний механізм звичайний	
- магнітоелектричний механізм логометричний	
- електромагнітний механізм звичайний	
- електромагнітний механізм логометричний	
- електродинамічний механізм звичайний	
- електродинамічний механізм логометричний	




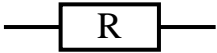



Продовження таблиці 2

Назва	Умовне позначення
- феродинамічний механізм звичайний	
- феродинамічний механізм логометричний	
- електростатичний механізм	
- індукційний механізм	
2. Позначення роду струму:	
- постійний струм	
- змінний однофазний струм	
- постійний і змінний струм	
- трифазний змінний струм	
- трифазний змінний струм з асиметричним навантаженням	
3. Позначення нормального положення шкали приладу:	
- горизонтальне	
- вертикальне	

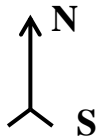

Продовження таблиці 2

Назва	Умовне позначення
- установка шкали приладу під кутом (45...60...75°)	
4. Екранування та захист:	
- електростатичний екран	
- магнітний екран	
- захист від зовнішніх магнітних полів	
- захист від зовнішніх електричних полів	
5. Позначення класу точності:	
- клас точності, який виражений у формі зведеної похибки	0,5
- клас точності, який виражений у формі відносної похибки	
- клас точності, який виражений у формі зведеної похибки (у відсотках від довжини шкали)	
- клас точності, який виражений у формі зведеної похибки (у відсотках від інтервалу вимірювань)	
6. Міцність ізоляції вимірювального кола приладу:	
- вимірювальне коло приладу ізольоване від корпусу і випробуване під напругою 2,0 кВ	
- вимірювальне коло приладу ізольоване від корпусу і випробуване під напругою 0,5 кВ	

Продовження таблиці 2

Назва	Умовне позначення
- прилад випробуванню ізоляції не підлягає	
7. Прилади з перетворювачами струму:	
- магнітоелектричний прилад з випрямлячем	
8. Додаткові елементи вимірювального кола:	
- шунт	
- додатковий резистор	
- додаткова індуктивність	
- затискач для заземлення	
9. Умови експлуатації приладу:	
- робота в сухих приміщеннях, що обігріваються	A
- робота в закритих приміщеннях при температурі повітря від мінус 20 °С до плюс 50 °С та при вологості до 80 %	Б
- робота в закритих приміщеннях при температурі повітря від мінус 40 °С до плюс 60 °С та при вологості до 98 %, морські та польові умови	В
- робота в сухому і вологому тропічному кліматі	T
10. Частотний діапазон:	
- розширений діапазон частоти струму	<u>35 – 55 – 1500 Hz</u>
- нормальний діапазон частоти струму	<u>35 – 55</u>
- робочий діапазон частоти струму	35 - 1500 Hz
Увага! Прилад без інструкції не вмикати	

Продовження таблиці 2

Назва	Умовне позначення
Орієнтація приладу в земному магнітному полі	
Обережно! Міцність ізоляції вимірювального кола не відповідає нормам!	

Завдання для самостійної підготовки

1.Опрацювати теоретичний матеріал: характеристики засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), класифікація ЗВТ за метрологічними характеристиками, властивості засобів вимірювань [1, с. 60-72, с. 186-191, 2, с. 138-141; 3, с.87-91, 102-120].

2. Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в [1, с.84-88]. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи – таблиця 1.

Порядок виконання роботи

1. Візуально ознайомитись з електровимірювальними приладами різних систем, які використовуються в роботі, та охарактеризувати їх область застосування - таблиця 2.

2. За умовними графічними позначеннями, які нанесені на шкали приладів, заповнити таблицю 3 звіту роботи.

3. В таблиці 3 представити інформацію щодо основних метрологічних характеристик електровимірювальних приладів різних систем, які застосовуються в роботі.

4. Сформулювати висновок стосовно значущості метрологічних характеристик та умовних графічних позначень на шкалах електровимірювальних приладів різних систем.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблица 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		8		15	
2		9		16	
3		10		17	
4		11		18	
5		12		19	
6		13			
7		14			

3. Таблица 2 – Область застосування електровимірювальних приладів

Найменування та система приладу	Літерне позн. приладу	Тип	Область застосування
Мілівольтметр магнітоелектричної системи			
Ампермілівольтметр магнітоелектричної системи			
Амперметр електромагнітної системи			
Вольтметр електромагнітної системи			
Вольтметр електростатичної системи			
Ватметр електродинамічної системи			
Частотомір феродинамічної системи			
Фазометр електромагнітної системи			
Омметр магнітоелектричний з випрямлячем			
Вольтметр електромагнітної системи з астатуванням			
Мегомметр магнітоелектричної системи			
Фазометр феродинамічної системи			
Амперметр електромагнітної системи з астатуванням			

4. Таблиця 3 - Умовні графічні позначення та метрологічні характеристики електровимірювальних приладів

Найменування позначення	Літерне позначення електровимірювального приладу											
Тип приладу												
Система (умовне позначення)												
Верхня границя вимірювання												
Клас точності												
Рід струму												
Спосіб установки шкали приладу												
Умови експлуатації												
Напруга випробування, <i>кВ</i>												
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, <i>Гц</i>												
Початкове значення шкали												
Нижня границя вимірювання												
Діапазон показів												
Стала (постійна) приладу												
Чутливість приладу												
Максимальний відлік, <i>поділок</i>												
Заводський номер, рік випуску												

5.Зміст висновку стосовно значущості метрологічних характеристик та умовних графічних позначень на шкалах електровимірювальних приладів різних систем.

Контрольні запитання

1 Що таке засоби вимірювальної техніки?

2 Що таке метрологічні та неметрологічні характеристики ЗВТ?

3 Охарактеризуйте такі поняття, як «шкала приладу», «діапазон показань та діапазон вимірювань», «показ вимірювального приладу», «ціна поділки» та «стала приладу».

4 Як аналітично пов'язані між собою показ, стала приладу та ціна поділки?

5 Що таке чутливість ЗВТ та його поріг чутливості?

6 Наведіть умовні позначення класів точності ЗВ та поясніть їх зміст.

7 Як класифікують засоби вимірювань за метрологічними характеристиками?

8 Сформулюйте сутність фізичного ефекту, який покладено в основу роботи магнітоелектричних вимірювальних приладів.

9 Обґрунтуйте, що галузь застосування магнітоелектричного вимірювального приладу – це вимірювання постійних струмів.

10 Сформулюйте сутність фізичного ефекту, який покладено в основу роботи електромагнітних вимірювальних приладів.

11 Обґрунтуйте, що галузь застосування електромагнітного вимірювального приладу – це вимірювання постійних та змінних струмів.

12 Сформулюйте сутність фізичного ефекту, який покладено в основу роботи електродинамічних вимірювальних приладів.

13 Обґрунтуйте, що галузь застосування електродинамічного вимірювального приладу – це вимірювання постійних та змінних струмів.

14 Сформулюйте сутність фізичного ефекту, який покладено в основу роботи електростатичних вимірювальних приладів.

15 Обґрунтуйте, що галузь застосування електростатичного вимірювального приладу – це вимірювання постійних та змінних напруг.

Список літератури

1. Нестерчук Д.М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

2. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.

3. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник / [В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т.Володарський, В.В.Грабко] – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 538 с.

Лабораторна робота

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКТУ К50

Мета роботи:

Набуття практичних навичок при роботі з переносним вимірювальним комплектом К50, а також ознайомлення з будовою, принципом дії та з областю застосування.

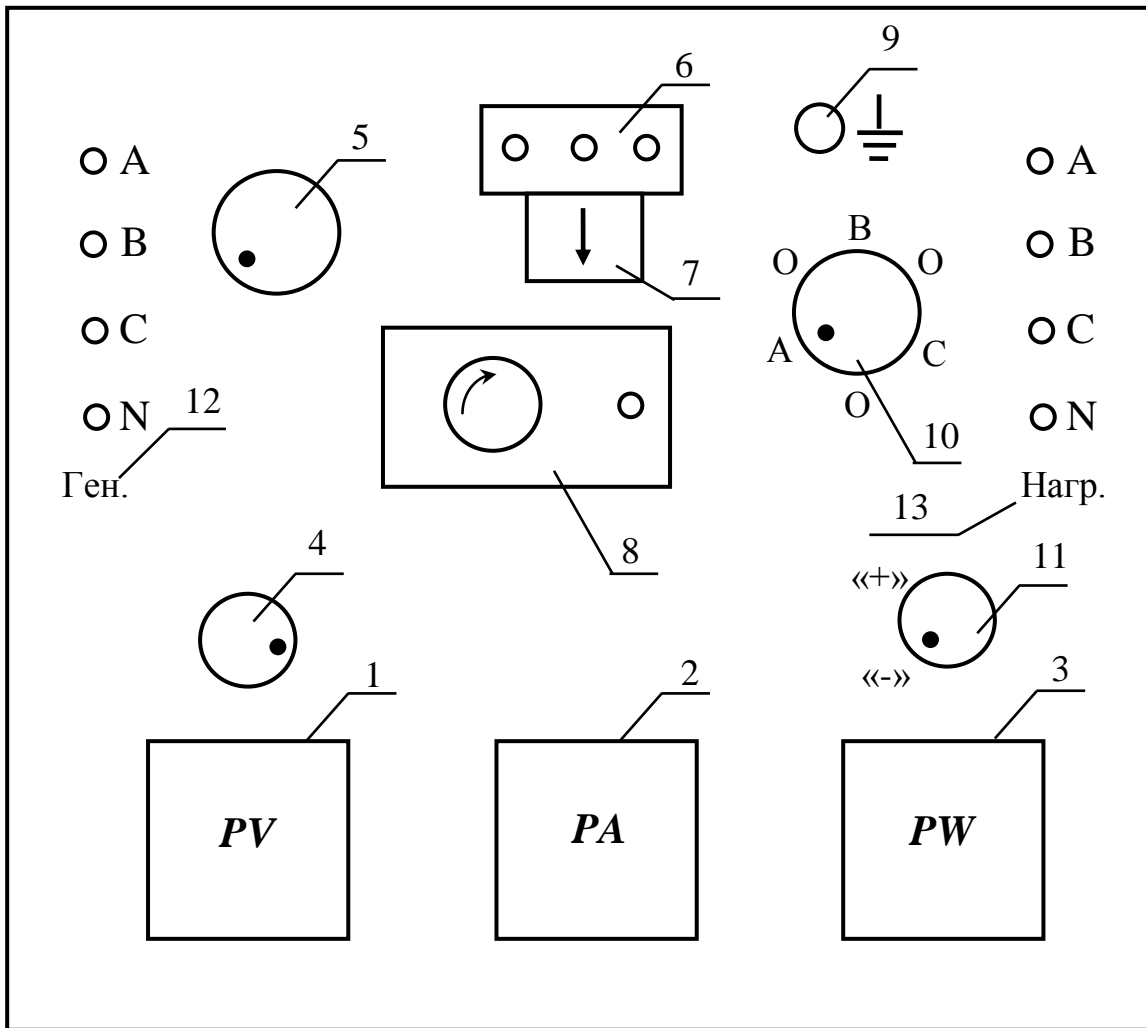
Основні теоретичні відомості

Комплект вимірювальний переносний призначений для вимірювання сили струму до 50 А, напруги до 600 В та активної потужності до 30 кВт у однофазних та трифазних трипровідних та чотирипровідних колах змінного струму при симетричному та несиметричному характері навантаження.

Вимірювальний комплект складається з амперметра, вольтметра електромагнітної системи та ватметра феродинамічної системи, з фазометра, який використовується як фазопоказчик, а також з вбудованого до спеціальної чарунки вимірювального трансформатора струму. Комплект є універсальною установкою, так як його застосування здатне розширювати можливості роботи технічного фахівця. Невеликі габарити та маса не викликає ускладнень при його транспортуванні. Особливо широко комплект використовується на промислових підприємствах та електростанціях, а також в лабораторіях енергосистем. За умовами експлуатації комплект придатний для роботи в закритих сухих приміщеннях, які опалюються, при температурі повітря від плюс 10⁰С до плюс 35⁰С, вологість повітря не повинна перевищувати 80%. До переваг комплекту належать міцний ударостійкий корпус та простота сприйняття панелі керування.

Слід відзначити, що з'єднання усіх елементів комплекту виконані постійним монтажем усередині загального корпусу. На рисунку 1 наведений загальний вигляд панелі вимірювального комплекту з позиційними позначеннями основних частин комплекту.

Для вимірювання струму, напруги та активної потужності у фазах трифазного кола схемою передбачена можливість швидкого перемикавання приладів комплекту з однієї фази на іншу за допомогою перемикача фаз 10.



- 1 – вольтметр; 2 – амперметр; 3 - ватметр;
 4 – перемикач границі вимірювання струму амперметра;
 5 - перемикач границі вимірювання напруги вольтметра;
 6 – затискачі підключення блоку вимірювальних трансформаторів струму;
 7 – колодка - вказівник «К»; 8 – фазопоказчик; 9 – затискач заземлення;
 10 - перемикач фаз; 11 – перемикач полярності ватметра;
 12 - група затискачів «Ген.» (генератор);
 13 – група затискачів «Нагр.» (нагрузка);

Рисунок 1 - Загальний вигляд панелі вимірювального комплекту з позиційними позначеннями основних частин комплекту

Перемикання величин границь вимірювання струмів та напруг здійснюється відповідними перемикачами 4 та 5. Фазопоказчик 8 з короткочасним включенням кругового показчика призначений для перевірки правильності чергування фаз. Елементи схеми комплексу змонтовані на панелі із ізоляційного матеріалу. Групи затискачів «Ген.» (генератор) 12 та «Нагр.» (нагрузка) 13 призначені для підключення відповідно джерела живлення та навантаження.

Завдання для самостійної підготовки

Опрацювати теоретичний матеріал: характеристики засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), класифікація ЗВТ за метрологічними характеристиками, властивості засобів вимірювань [1, с. 60-72, с. 186-191, 2, с. 138-141; 3, с.87-91, 102-120].

Порядок виконання роботи

1. Візуально ознайомитись з вимірювальним комплектом: з панеллю, з вимірювальними приладами, з перемикачами та затискачами.

2. Ознайомитись з основними технічними характеристиками вимірювального комплексу та за умовними графічними позначеннями, які нанесені на шкали приладів, заповнити таблиці 1 та 2 звіту роботи.

3. Встановити вимірювальний комплект у горизонтальне положення. Перемикач границі вимірювання струму амперметра встановити в положення «50 А», перемикач границі вимірювання напруги – в положення «600 В», перемикач полярності ватметра – в положення «+», колодку «К» встановити в сторону приладів. Стрілочні показчики приладів коректорами встановити на нульові позначки шкал.

4. Підключити вимірювальний комплект до однофазного кола змінного струму з освітлювальним навантаженням, три секції якого з'єднанні паралельно – рисунок 1 звіту до лабораторної роботи.

5. Здійснити вимірювання струму, напруги та активної потужності в однофазному колі змінного струму. При цьому слід враховувати, якщо відхилення

стрілочних показчиків менші, ніж 50% верхньої границі вимірювання, тому то відповідний перемикач приладів слід переключити на меншу границю вимірювань. Під час роботи комплекту слід короткочасно натиснути кнопку на фазопоказчику та візуально визначити напрямок обертання магнітного поля. Результати вимірювань занести в таблицю 3.

6. Підключити вимірювальний комплект до трифазного трипровідного кола змінного струму з освітлювальним навантаженням, три секції якого з'єднані за схемою «зірка» – рисунок 2 звіту до лабораторної роботи.

7. Здійснити вимірювання струму, напруги та активної потужності в трифазному трипровідному колі змінного струму при симетричному та несиметричному характерах навантаження. Вимірювання величин слід здійснювати у кожній фазі окремо, перемикач фаз, при цьому, необхідно встановлювати у відповідне положення позначення фази. Величина активної потужності трифазного кола визначається аналітично за формулою (1) звіту до лабораторної роботи. Результати вимірювань навести в таблиці 4.

8. Сформулювати висновок щодо практичної значущості переносного вимірювального комплекту при вимірюванні електричних величин.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.
2. Таблиця 1 – Основні технічні характеристики вимірювального комплекту К50

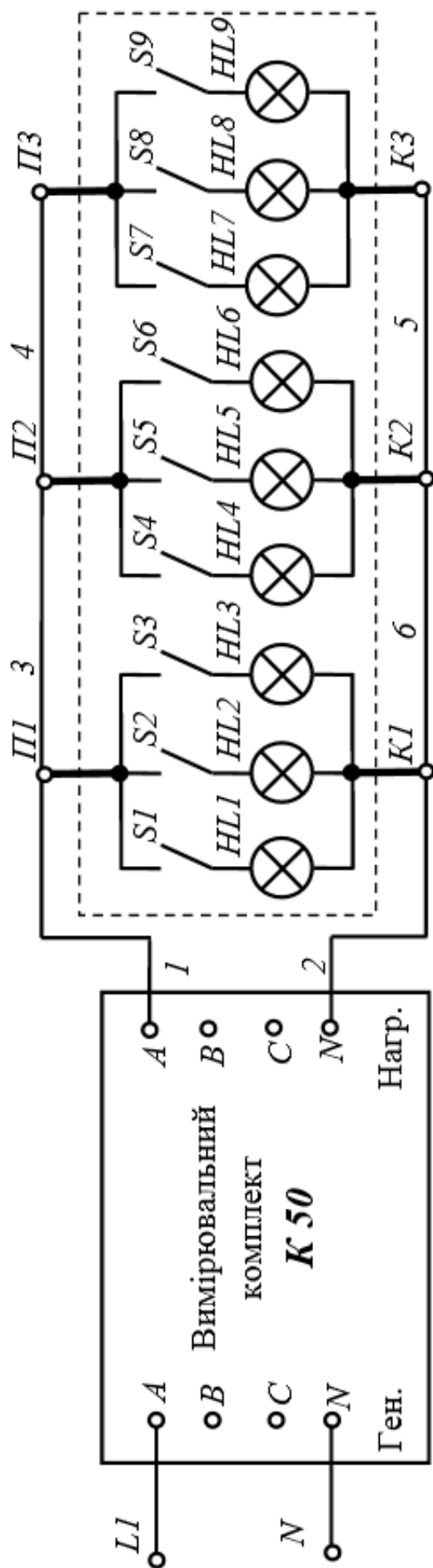
Найменування	Величина, позначення
Діапазон вимірювання струму, A	
Діапазон вимірювання напруги, B	
Діапазон вимірювання активної потужності, Bm	
Система електровимірювальних приладів: - амперметра - вольтметра - ватметра	

Продовження таблиці 1

Найменування	Величина, позначення
Клас точності приладів	
Номінальна область частот, $Гц$	
Розширений діапазон частоти, $Гц$	
Час встановлення показів приладів, c	
Потужність, яка споживається послідовним колом комплекту, $Вт$	
Габаритні розміри, $мм$	
Маса, $кг$	

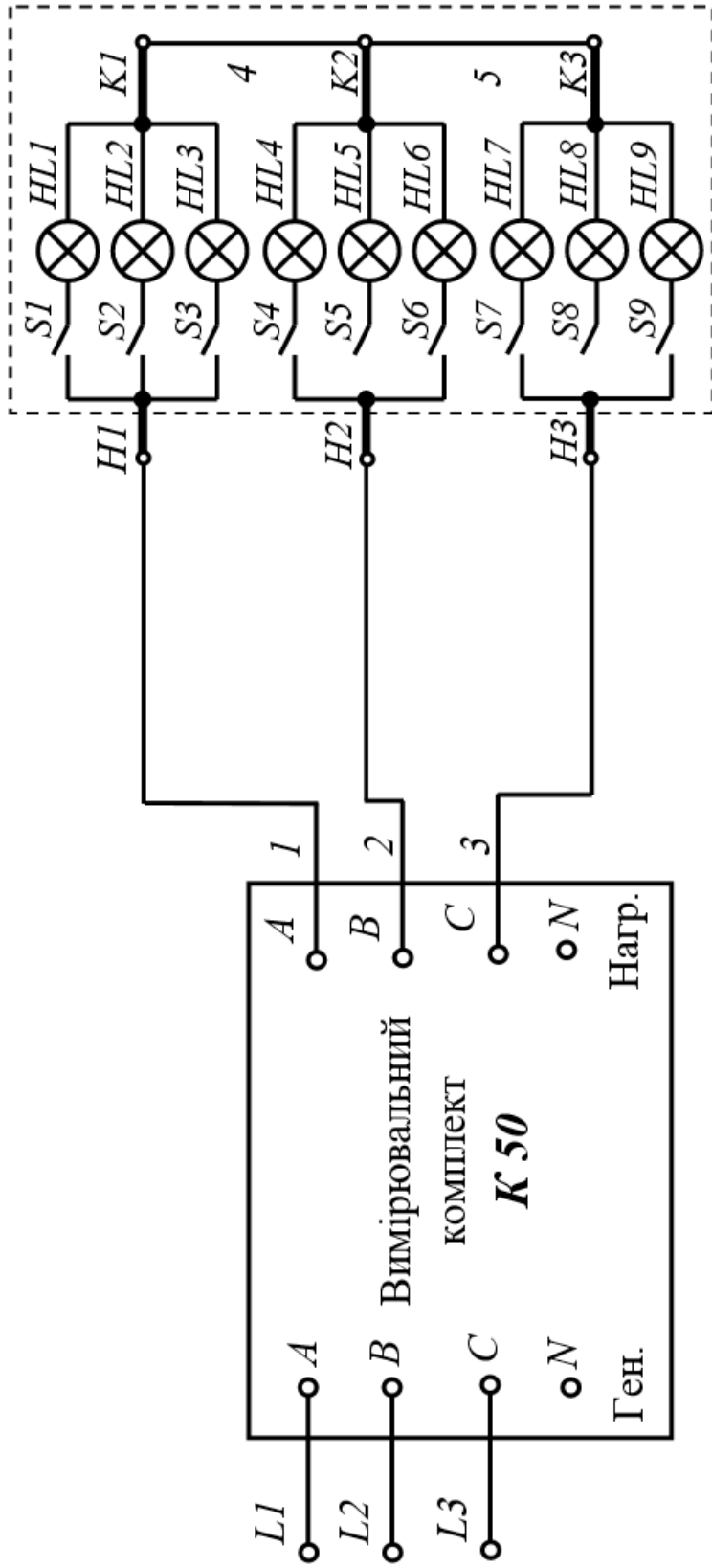
3. Таблиця 2 - Умовні графічні позначення та метрологічні характеристики електровимірювальних приладів комплекту

Найменування	Величина, позначення		
	електровимірювальний прилад		
	PV	PA	PW
Тип приладу			
Система (умовне позначення)			
Верхня границя вимірювання			
Клас точності			
Рід струму			
Спосіб установки шкали приладу			
Умови експлуатації			
Напруга випробування, $кВ$			
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, $Гц$			



$S1 \dots S9$ - тумблери; $HL1 \dots HL9$ - освітлювальне навантаження; $П1 \dots П3$ - затискачі «початки секцій навантаження»; $K1 \dots K3$ - затискачі «кінці секцій навантаження»; $1 \dots 6$ - з'єднувальні проводи

4. Рисунок 1 – Схема підключення вимірювального комплекту до однофазного кола змінного струму з освітлювальним навантаженням



$S1 \dots S9$ - тумблери; $HL1 \dots HL9$ — освітлювальне навантаження; $П1 \dots П3$ — затискачі «початки секцій навантаження»; $K1 \dots K3$ — затискачі «кінці секцій навантаження»; $1 \dots 5$ — з'єднувальні проводи

5. Рисунок 2— Схема підключення вимірювального комплекту до трифазного трипровідного кола змінного струму з освітлювальним навантаженням

6. Таблиця 3 – Результати вимірювань величин

Найменування	Електровимірювальний прилад		
	<i>PV</i>	<i>PA</i>	<i>PW</i>
Границя вимірювання величин, <i>B; A; Вт</i>			
Максимальний відлік, N_{max} , поділок			
Постійна приладу, відповідно, <i>B/поділ; A/поділ; Вт/поділ</i>			
Відлік, N_i , поділок			
Показ приладу, відповідно, <i>B; A; Вт</i>			

7. Таблиця 4 – Результати вимірювань величин

Найменування фази	Показання приладів	Характер навантаження	
		симетричний	несиметричний
фаза А	U_{PV}, B		
	I_{PA}, A		
	$P_{PW}, Вт$		
фаза В	U_{PV}, B		
	I_{PA}, A		
	$P_{PW}, Вт$		
фаза С	U_{PV}, B		
	I_{PA}, A		
	$P_{PW}, Вт$		
Активна потужність трифазного кола змінного струму, $P_{кола}, Вт$			

Активна потужність трифазного кола змінного струму, $P_{кола}$, визначається за формулою

$$P_{кола} = P_{PW.A} + P_{PW.B} + P_{PW.C} \quad (1)$$

8. Зміст висновку щодо практичної значущості переносного вимірювального комплексу при вимірюванні електричних величин.

Контрольні запитання

1 Поясніть призначення переносного вимірювального комплексу та опишіть конструкцію та його принцип дії.

2 Як аналітично визначаються постійні вольтметра і амперметра та їх чутливості, як складових вимірювального комплексу? Як аналітично визначаються постійна вольтметра та його чутливість?

3 Поясніть призначення фазопоказчика комплексу та два варіанти його функціонування.

4 Які масштабні вимірювальні перетворювачі застосовані в комплекті для розширення границь вимірювання приладів за струмом та за напругою?

5 Наведіть схему підключення вимірювального комплексу до трифазного чотирипровідного кола змінного струму з трифазним асинхронним електродвигуном при з'єднанні обмоток за схемою «зірка».

6 Як аналітично визначається величина активної потужності трифазного чотирипровідного кола змінного струму, а також величини коефіцієнту потужності та повної потужності кола за показаннями приладів комплексу?

Список літератури

1. Нестерчук Д.М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

2. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.

3. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник / [В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т.Володарський, В.В.Грабко] – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 538 с.

Лабораторна робота
МЕТРОЛОГІЧНА ПОВІРКА АНАЛОГОВОГО АМПЕРМЕТРА
МЕТОДОМ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО ПОРІВНЯННЯ
ЗІ ЗРАЗКОВИМ ПРИЛАДОМ

Мета роботи:

Набуття практичних навичок при проведенні метрологічної повірки аналогового амперметра методом безпосереднього порівняння показів із показами зразкового амперметра та опрацювання результатів повірки.

Основні теоретичні відомості

Метрологічна повірка – це встановлення придатності засобу вимірювальної техніки (ЗВТ) до застосування на основі експериментального визначення його метрологічних характеристик і контролю їх відповідності встановленим нормам. Метрологічну перевірку ЗВТ здійснюють згідно з «Законом України про метрологію та метрологічну діяльність» та ДСТУ 2708-99 «Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація і порядок проведення». На підставі порівняння одержаних під час повірки фактичних характеристик з нормованими для засобу вимірювань приймається рішення про його придатність або непридатність для подальшого використання та оформлюють свідоцтвом або тавром.

Повірка є частиною Державної системи забезпечення єдності вимірювань – комплексу загальнодержавних нормативно-технічних і нормативних документів, які регламентують загальні правила, норми та вимоги, спрямовані на забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань. Методики виконання повірок регламентують стандарти Державної системи забезпечення єдності вимірювань.

Під час повірки виконуються такі операції: зовнішній огляд приладу; перевірка роботоздатності приладу; перевірка електричної міцності ізоляції і визначення опору ізоляції; визначення впливу нахилу на покази приладу; визначення основної похибки та варіації показів; встановлення величини «неповер-

нення» показчика на нульову позначку шкали; визначення часу заспокоєння рухомої частини приладу, визначення похибки реєстрації показів.

Найпоширенішим методом метрологічної повірки аналогових приладів є метод безпосереднього порівняння ЗВТ, що повіряється, із зразковим ЗВТ, який застосовується в галузі електричних та магнітних вимірювань для повірки приладів прямого перетворення: амперметрів, вольтметрів, ватметрів, частотомірів, омметрів, та в галузі вимірювань механічних величин – для повірки манометрів та витратомірів.

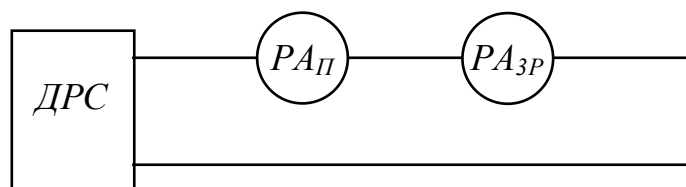
Основою методу є одночасне вимірювання одного й того самого значення фізичної величини зразковим приладом та приладом, що повіряється. За результатами вимірювань порівнюють показання приладу, що повіряється, X_{Π} , з показаннями зразкового приладу, $X_{ЗР}$, та визначають похибку, Δ , приладу, що повіряється, за формулою

$$\Delta = X_{\Pi} - X_{ЗР}. \quad (1)$$

Регульованим джерелом вимірюваної величини встановлюють відповідну позначку шкали з цифрою 1 для неї за показами двох приладів визначають похибку приладу за формулою (1).

Перевагами методу є простота реалізації та відсутність складного вимірювального обладнання, недоліком – практична неможливість автоматизації повірки аналогових приладів.

На рисунку 1 наведена схема повірки амперметра $РА_{\Pi}$ методом безпосереднього порівняння із зразковим амперметром $РА_{ЗР}$.



ДРС – джерело регулювання струму

Рисунок 1 – Схема повірки амперметра методом безпосереднього порівняння із зразковим амперметром

Основними завданнями під час вибору зразкових ЗВТ для повірки приладів прямого перетворення є: вибір системи зразкового приладу; вибір границі вимірювання зразкового приладу; визначення необхідного класу точності зразкового приладу.

При виборі системи зразкового приладу керуються такими вимогами:

- повірка здійснюється на тому роді струму, для якого вони призначені;
- зразковий прилад повинен бути призначений для вимірювання тієї ж самої фізичної величини, що й прилад, що повіряється;
- діапазони вимірювань і частот зразкових приладів повинні містити відповідні діапазони приладу, що повіряється;
- при повірці приладу на змінному струмі слід обирати такий зразковий прилад, який реагує на зміну кривої сигналу так само, як і прилад, що повіряється.

Границю вимірювання зразкового приладу $X_{K.ЗР}$ вибирають не меншою за значення найбільшої позначки шкали з цифрою приладу, що повіряється, $X_{K.П}$, за співвідношенням

$$X_{K.ЗР} \geq X_{K.П} \quad (2)$$

Співвідношення між основними похибками зразкових приладів та приладів, що повіряється, повинно бути не більш, ніж 1:3 при повірці приладів класів точності 0,05...0,5 і не більш, ніж 1:4 – для приладів класів точності 1,0...5,0.

Основні характеристики точності ЗВТ, а також властивості, що впливають на його точність, регламентує узагальнена характеристика приладу – *клас точності*. Відповідно до класів точності чинні стандарти встановлюють границі основних похибок для певних типів засобів вимірювань (ЗВ) [1].

За класом точності ЗВТ можна обчислити його стандартну непевність. Відповідно до [2, 3] *непевність* – це параметр, який пов'язаний із результатом вимірювання, який характеризує розкид можливих значень величини навколо одержаного результату, які обґрунтовано можна приписати вимірюваній величині.

Стандартна непевність є середньоквадратичною мірою розкиду можливих значень вимірюваної величини навколо результату вимірювання. Її позначають як $u(x)$ – за першою літерою англійського слова «*uncertainty*». У дужках вказують назву величини, яку вимірюють. Одиницею стандартної непевності є одиниця вимірюваної величини, а саме, одиницею стандартної непевності результату вимірювання сили струму $u(I)$ є одиниця сили струму – А.

В таблиці 1 наведені приклади подання класів точності та формули для визначення стандартних непевностей ЗВТ.

Таблиця 1 - Позначення класів точності ЗВТ та формули для визначення стандартних непевностей результатів вимірювання[3, 4]

Позначення класу точності		Формула для обчислення границі відхилень показу приладу від дійсного значення	Вираз для обчислення стандартної непевності результату вимірювання
на засобі вимірювання	в технічній документації		
0,5	клас точності 0,5	$\Delta_{x,zp} = \pm \frac{\gamma_{zp} \cdot X_K}{100\%}$	$u(x) = \frac{\Delta_{x,zp}}{\sqrt{3}} = \frac{\gamma_{zp} \cdot X_K}{100\% \cdot \sqrt{3}}$
0,1	клас точності 0,1	$\Delta_{x,zp} = \pm \frac{\delta_{zp} \cdot x}{100\%}$	$u(x) = \frac{\Delta_{x,zp}}{\sqrt{3}} = \frac{\delta_{zp} \cdot x}{100\% \cdot \sqrt{3}}$
0,05/0,02	клас точності 0,05/0,02	$\Delta_{x,zp} = \pm \left[\frac{d \cdot X_K}{100\%} + \frac{(c-d) \cdot x}{100\%} \right]$	$u_c(x) = \frac{\Delta_{x,zp}}{\sqrt{3}} = \left[\frac{d \cdot X_K + (c-d) \cdot x}{100\% \cdot \sqrt{3}} \right]$

Завдання для самостійної підготовки

1.Опрацювати теоретичний матеріал: мета і види метрологічної повірки ЗВТ, методи повірки, повірка приладів прямого перетворення, методика повірки приладів порівнянням зі зразковими приладами та опрацювання результатів вимірювання [2, с.187-195, 4, с.611-634; 5, с.120-133, с.108-114].

2. Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в [5, с.136-138]. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи – таблиця 1.

Порядок виконання роботи

1. Записати метрологічні характеристики амперметра, що повіряється, та зразкового амперметра в таблицю 2 звіту до лабораторної роботи.

2. Обчислити стандартні непевності показів амперметра, що повіряється, та зразкового амперметра згідно формул (1) та (2) звіту до лабораторної роботи.

3. Скласти електричне коло за схемою повірки амперметра, що наведена на рисунку 1 звіту до лабораторної роботи. В схемі на лабораторному стенді встановлене регульоване джерело живлення - лабораторний автотрансформатор TV, з діапазоном регулювання напруги 0...250 В, а для плавної зміни струму в схемі застосовується регулювальний реостат R_p .

4. Після перевірки та включення схеми викладачем прогріти амперметр, що повіряється, протягом 15 хвилин за номінального значення відхилення покажчика приладу.

5. Виконати повірку амперметра PA_{II} , що повіряється, методом безпосереднього порівняння показів із показами зразкового амперметра $PA_{зр}$. Для визначення основної похибки та варіації показів необхідно плавно (без коливань) змінювати реостатом величину струму, при цьому покажчик амперметра, що повіряється, слід встановлювати на позначку шкали з цифрою *двічі*: при збільшенні струму – «хід ввєрх» та при зменшенні струму – «хід вниз».

6. За показами зразкового амперметра записати покази при збільшенні струму $N_{PA_{зр} \uparrow}$ та при зменшенні струму $N_{PA_{зр} \downarrow}$, а також розрахувати відповідні дійсні значення струму $I_{PA_{зр} \uparrow}$ і $I_{PA_{зр} \downarrow}$ за виразами (3) та (4) звіту до лабораторної роботи. Результати повірки навести в таблицю 3.

7. За результатами експериментів опрацювати результати повірки згідно алгоритму, який наведений в пункті 8 звіту до лабораторної роботи.

8. Побудувати графіки залежностей допустимих та експериментальних абсолютних похибок амперметра, що повіряється, у функції його показів - рисунок 2 звіту до лабораторної роботи.

9. Сформулювати висновок стосовно придатності амперметра для подальшого застосування, в якому слід порівняти обчислені значення абсолютної похибки амперметра, що повіряється, з обчисленими значеннями границі відхилень показу від дійсного значення струму.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		4		7	
2		5		8	
3		6		9	

3. Таблиця 2 - Метрологічні характеристики амперметрів

Найменування позначення	Амперметр	
	зразковий	що повіряється
Тип приладу		
Система (умовне позначення)		
Границя вимірювання струму, <i>A</i>		
Клас точності		
Рід струму		
Спосіб установки шкали приладу		
Умови експлуатації		
Напруга випробування, <i>кВ</i>		
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, <i>Гц</i>		
Заводський номер, рік випуску		

4. Обчислення величини стандартної непевності результату вимірювання дійсного значення струму зразковим амперметром за формулою [3, 4]

$$u(I)_{PA_{зр}} = \frac{\gamma_{PA_{зр}, зр} \cdot I_{K, PA_{зр}}}{100\% \cdot \sqrt{3}}, \quad (1)$$

де $\gamma_{PA_{зр}, зр}$ - клас точності зразкового амперметра, %;

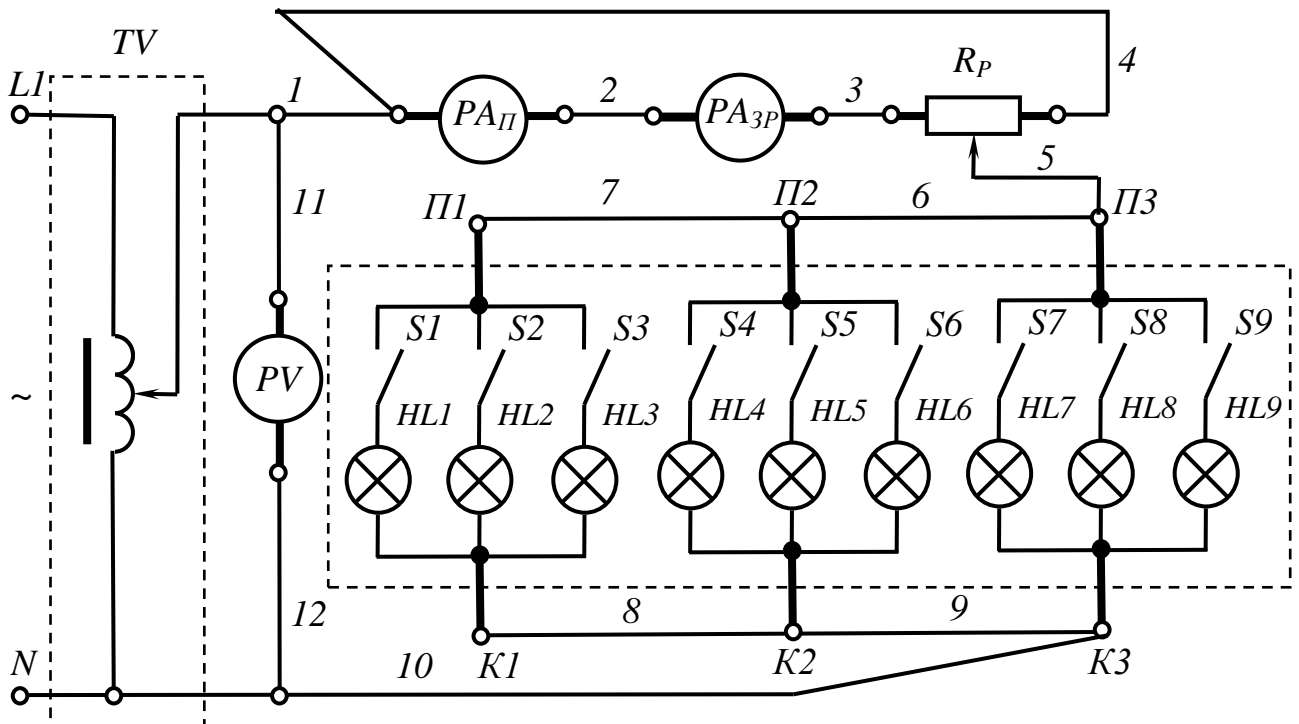
$I_{K, PA_{зр}}$ - границя вимірювання зразкового амперметра, *A*.

5. Обчислення величини стандартної непевності показів амперметр, що повіряється, за формулою [3, 4]

$$u(I)_{PA_{\Pi}} = \frac{\gamma_{PA_{\Pi},zp} \cdot I_{K,PA_{\Pi}}}{100\% \cdot \sqrt{3}}, \quad (2)$$

де $\gamma_{PA_{\Pi},zp}$ - клас точності амперметра, що повіряється, %;

$I_{K,PA_{\Pi}}$ - границя вимірювання амперметра, що повіряється, А.



TV – лабораторний автотрансформатор; PA_{Π} – амперметр, що повіряється;
 PA_{zp} - зразковий амперметр; R_p – регулювальний реостат; $S1 \dots S9$ - тумблери;
 $HL1 \dots HL9$ – освітлювальне навантаження; $\Pi1 \dots \Pi3$ – затискачі «початки секцій навантаження»;
 $K1 \dots K3$ – затискачі «кінці секцій навантаження»;
 PV – вольтметр; 1...12 – з'єднувальні проводи

6. Рисунок 1 - Схема повірки амперметра методом безпосереднього порівняння показів із показами зразкового амперметра

7. Таблица 3 – Результати повірки амперметра

№ досліджу	Величини, що вимірювались			Величини, що обчислювались						
	Показ амперметра, що повіряється	Показ зразкового амперметра		Постійна зразкового амперметра	Дійсне значення струму		Абсолютна похибка амперметру, що повіряється		Границі відхилення показу $I_{PA\pi}$ від дійсного значення струму	Абсолютна варіація
		$I_{PA\pi}$, <i>A</i>	$N_{PAзр\uparrow}$, <i>поділ</i>		$N_{PAзр\downarrow}$, <i>поділ</i>	$C_{PAзр}$, <i>A/поділ</i>	$I_{PAзр\uparrow}$, <i>A</i>	$I_{PAзр\downarrow}$, <i>A</i>		
1										
2										
3										
4										
5										
6										

8. Алгоритм опрацювання результатів повірки:

- визначення дійсних значень струму

$$I_{PAзр\uparrow} = C_{PAзр} \cdot N_{PA\uparrow}; \quad (3)$$

$$I_{PAзр\downarrow} = C_{PAзр} \cdot N_{PA\downarrow}, \quad (4)$$

де $C_{PAзр}$ - клас точності зразкового амперметра, *A/поділ*;

- визначення абсолютних похибок амперметра, що повіряється, за виразами

$$\Delta_{PA\pi\uparrow} = I_{PA\pi} - I_{PAзр\uparrow}; \quad (5)$$

$$\Delta_{PA\pi\downarrow} = I_{PA\pi} - I_{PAзр\downarrow}; \quad (6)$$

- визначення границі відхилення показу від дійсного значення амперметра, що повіряється, за виразом

$$\Delta_{PA_{II},zp} = \pm \frac{\gamma_{PA_{II},zp} \cdot I_{K,PA_{II}}}{100\%}, \quad (7)$$

де $\gamma_{PA_{II},zp}$ - клас точності амперметра, що повіряється, %;

$I_{K,PA_{II}}$ - границя вимірювання амперметра, що повіряється, A ;

- визначення абсолютної варіації показів за виразом [3]

$$B = \left| I_{PA_{3P}\uparrow} - I_{PA_{3P}\downarrow} \right|. \quad (8)$$

9. Графіки залежностей допустимих $\Delta_{PA_{II},zp}$ та експериментальних $\Delta_{PA_{II}\uparrow}$, $\Delta_{PA_{II}\downarrow}$ абсолютних похибок амперметра, що повіряється, у функції його показів – рисунок 2.

10. Висновок стосовно придатності амперметра, що повіряється, для подальшого застосування.

Контрольні запитання та завдання

1 Що таке повірка засобів вимірювальної техніки? Яка мета повірки?

2 Які види повірок Вам відомі?

3 Які Ви знаєте методи повірки засобу вимірювань?

4 Що таке абсолютна, відносна та зведена похибки приладу?

5 Охарактеризуйте метод безпосереднього порівняння засобу вимірювань зі зразковим приладом.

6 Охарактеризуйте основні операції повірки.

7 Як повинен співвідноситися клас точності зразкового приладу та приладу, що повіряється?

8 За якими умовами слід обирати систему зразкового приладу?

9 Що таке варіація показів приладу? Як її визначити під час повірки?

10 Які є умовні позначення класу точності приладів, та як за ними обчислюється стандартна непевність показів приладів?

11 Обрати метод і схему повірки та зразкові засоби вимірювальної техніки для проведення метрологічної повірки приладу, метрологічні характеристики якого наведені в таблиці.

№ варіанту	Прилад	Тип приладу	Клас точності	Границя вимірювання	Частота струму, Гц	Рід струму
1	РА	Э316	1,0	20 А	45...60	змінний
2	РА	M4262	1,5	5 А	-	постійний
3	РА	Э140	2,5	10 А	50...400	змінний

Список літератури

1. ГОСТ 8.401-80 ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 2010. – 11 с.

2. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.1: Основи метрології. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 532 с.

3. Дорожовець М.М. Основи метрології та електричні вимірювання: навч. посібник / М.М. Дорожовець, Р.М.Івах, В.П.Мотало, І.Д.Пітель, Б.І.Стадник, О.З.Базилевич, П.Р.Гамула, М.І.Грибок, Т.І.Домінюк, О.В.Івахів, І.П.Микитин, І.Р.Петровська, О.П.Ришковський, А.В.Серкіз, Я.В.Скологдра, П.І.Скорпад; За ред. д-ра техн.наук, проф. Б.І.Стадника. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2011. – 372 с.

4. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.

5. Нестерчук Д.М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

Лабораторна робота

МЕТРОЛОГІЧНА ПОВІРКА АНАЛОГОВОГО ВОЛЬТМЕТРА МЕТОДОМ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО ПОРІВНЯННЯ ЗІ ЗРАЗКОВИМ ПРИЛАДОМ

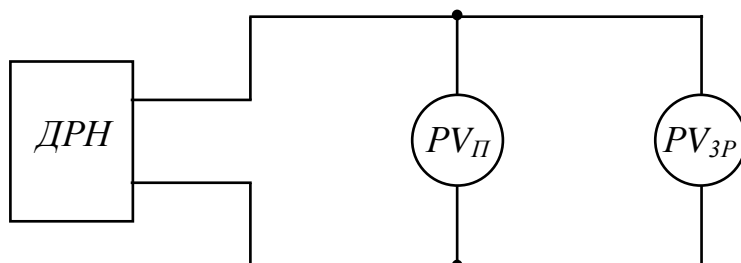
Мета роботи:

Набуття практичних навичок при проведенні метрологічної повірки аналогового вольтметра методом безпосереднього порівняння показів із показами зразкового вольтметра та опрацювання результатів повірки.

Основні теоретичні відомості

Основні теоретичні відомості, які описують принцип метрологічної повірки аналогового вольтметра методом безпосереднього порівняння показів із показами зразкового вольтметра, аналогічні теоретичним відомостям [1...3], що наведені в лабораторній роботі «Метрологічна повірка аналогового амперметра методом безпосереднього порівняння зі зразковим приладом» (див. стор. 28-31).

Найпоширенішим методом метрологічної повірки аналогових приладів є метод безпосереднього порівняння ЗВТ, що повіряється, із зразковим ЗВТ, який застосовується в галузі електричних та магнітних вимірювань для повірки приладів прямого перетворення: амперметрів, вольтметрів, ватметрів, частотомірів, омметрів, та в галузі вимірювань механічних величин – для повірки манометрів та витратомірів. На рисунку 1 наведена схема повірки вольтметра PV_{II} методом безпосереднього порівняння із зразковим вольтметром $PV_{ЗР}$ [3, 5].



ДРН – джерело регулювання напруги

Рисунок 1 – Схема повірки вольтметра методом безпосереднього порівняння із зразковим вольтметром

Завдання для самостійної підготовки

1. Опрацювати теоретичний матеріал: мета і види метрологічної повірки ЗВТ, методи повірки, повірка приладів прямого перетворення, методика повірки приладів порівнянням зі зразковими приладами та опрацювання результатів вимірювання [2, с.187-195, 4, с.611-634; 5, с.120-133, с.108-114].
2. Здійснити розв'язання задач №1...3 для самостійного опрацювання, які наведені в [5, с.135].

Порядок виконання роботи

1. Записати метрологічні характеристики вольтметра, що повіряється, та зразкового вольтметра в таблицю 1 звіту до лабораторної роботи.
2. Обчислити стандартні непевності показів вольтметра, що повіряється, та зразкового вольтметра згідно формул (1) та (2) звіту до лабораторної роботи.
3. Скласти електричне коло за схемою повірки вольтметра, що наведена на рисунку 1 звіту до лабораторної роботи. В схемі на лабораторному стенді встановлене регульоване джерело живлення - лабораторний автотрансформатор TV, з діапазоном регулювання напруги 0...250 В, який призначений для плавної зміни напруги.
4. Після перевірки та включення схеми викладачем прогріти вольтметр, що повіряється, протягом 15 хвилин за номінального значення відхилення показчика приладу.
5. Виконати повірку вольтметра PV_{II} , що повіряється, методом безпосереднього порівняння показів із показами зразкового вольтметра $PV_{ЗР}$. Для визначення основної похибки та варіації показів необхідно плавно (без коливань) змінювати величину напруги, при цьому показчик вольтметра, що повіряється, слід встановлювати на позначку шкали з цифрою *двічі*: при збільшенні напруги – «хід ввєрх» та при зменшенні напруги – «хід вниз».
6. За показами зразкового вольтметра записати покази при збільшенні напруги $N_{PV_{ЗР}\uparrow}$ та при зменшенні напруги $N_{PV_{ЗР}\downarrow}$, а також розрахувати відповідні

дійсні значення напруги $U_{PV_{зр}\uparrow}$ і $U_{PV_{зр}\downarrow}$ за виразами (3) та (4) звіту до лабораторної роботи. Результати перевірки навести в таблицю 2.

7. За результатами експериментів опрацювати результати перевірки вольтметра згідно алгоритму, який наведений в пункті 8 звіту до лабораторної роботи.

8. Побудувати графіки залежностей допустимих та експериментальних абсолютних похибок вольтметра, що перевіряється, у функції його показів - рисунок 2 звіту до лабораторної роботи.

9. Сформулювати висновок стосовно придатності вольтметра для подальшого застосування, в якому слід порівняти обчислені значення абсолютної похибки вольтметра, що перевіряється, з обчисленими значеннями границі відхилень показу від дійсного значення напруги.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.
2. Таблиця 1 - Метрологічні характеристики вольтметрів

Найменування позначення	Вольтметр	
	зразковий	що перевіряється
Тип приладу		
Система (умовне позначення)		
Границя вимірювання напруги, B		
Клас точності		
Рід струму		
Спосіб установки шкали приладу		
Умови експлуатації		
Напруга випробування, κB		
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, $Гц$		
Заводський номер, рік випуску		

3. Обчислення величини стандартної непевності результату вимірювання дійсного значення напруги зразковим вольтметром за формулою [3, 4]

$$u(U)_{PV_{ЗР}} = \frac{\gamma_{PV_{ЗР},\varepsilon P} \cdot U_{K,PV_{ЗР}}}{100\% \cdot \sqrt{3}}, \quad (1)$$

де $\gamma_{PV_{ЗР},\varepsilon P}$ - клас точності зразкового вольтметра, %;

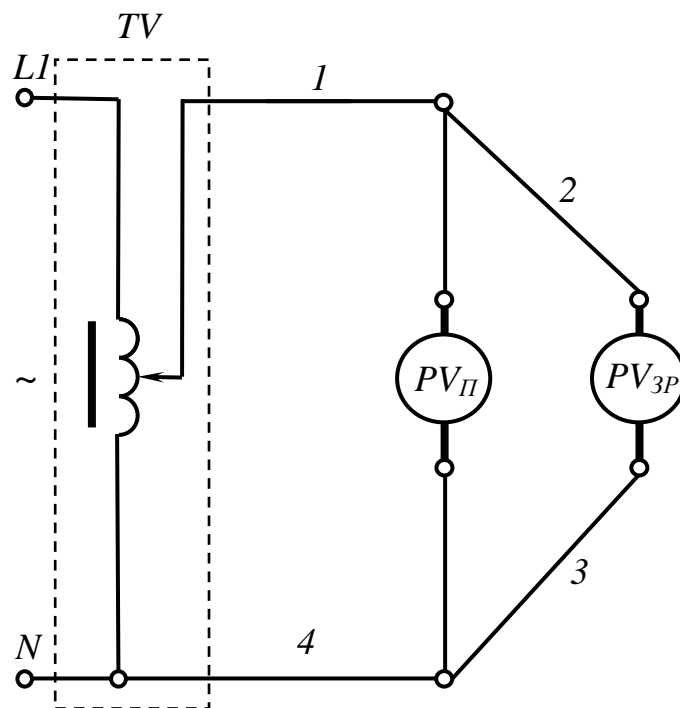
$U_{K,PV_{ЗР}}$ - границя вимірювання зразкового вольтметра, В.

4. Обчислення величини стандартної непевності показів вольтметра, що повіряється, за формулою [3, 4]

$$u(U)_{PV_{П}} = \frac{\gamma_{PV_{П},\varepsilon P} \cdot U_{K,PV_{П}}}{100\% \cdot \sqrt{3}}, \quad (2)$$

де $\gamma_{PV_{П},\varepsilon P}$ - клас точності вольтметра, що повіряється, %;

$U_{K,PV_{П}}$ - границя вимірювання вольтметром, що повіряється, В.



TV – лабораторний автотрансформатор; $PV_{П}$ – вольтметр, що повіряється;

$PV_{ЗР}$ – зразковий вольтметр; 1...4 – з'єднувальні проводи

5. Рисунок 1 - Схема повірки вольтметра методом безпосереднього порівняння показів із показами зразкового вольтметра

6. Таблица 2 – Результати повірки вольтметра

№ досліду	Величини, що вимірювались			Величини, що обчислювались						
	Показ вольтметра, що повіряється	Показ зразкового вольтметра		Постійна зразкового вольтметра	Дійсне значення напруги		Абсолютна похибка вольтметра, що повіряється		Границі відхилення показу PV_{II} від дійсного значення напруги	Абсолютна варіація
		$U_{PV_{II}},$ B	$N_{PV_{зп}\uparrow},$ <i>поділ</i>		$N_{PV_{зп}\downarrow},$ <i>поділ</i>	$C_{PV_{зп}},$ $B/\text{поділ}$	$U_{PV_{зп}\uparrow},$ B	$U_{PV_{зп}\downarrow},$ B		
1										
2										
3										
4										
5										
6										

8. Алгоритм опрацювання результатів повірки:

- визначення дійсних значень напруги

$$U_{PV_{зп}\uparrow} = C_{PV_{зп}} \cdot N_{PV\uparrow}; \quad (3)$$

$$U_{PV_{зп}\downarrow} = C_{PV_{зп}} \cdot N_{PV\downarrow}, \quad (4)$$

де $C_{PV_{зп}}$ - клас точності зразкового вольтметра, $B/\text{поділ}$;

- визначення абсолютних похибок вольтметра, що повіряється, за виразами

$$\Delta_{PV_{II}\uparrow} = U_{PV_{II}} - U_{PV_{зп}\uparrow}; \quad (5)$$

$$\Delta_{PV_{II}\downarrow} = U_{PV_{II}} - U_{PV_{зп}\downarrow}; \quad (6)$$

- визначення границі відхилення показу від дійсного значення вольтметра, що повіряється, за виразом

$$\Delta_{PV_{II},zp} = \pm \frac{\gamma_{PV_{II},zp} \cdot U_{K,PV_{II}}}{100\%}, \quad (7)$$

де $\gamma_{PV_{II},zp}$ - клас точності вольтметра, що повіряється, %;

$U_{K,PV_{II}}$ - границя вимірювання вольтметра, що повіряється, В;

- визначення абсолютної варіації показів за виразом [3]

$$B = \left| U_{PV_{3P}\uparrow} - U_{PV_{3P}\downarrow} \right|. \quad (8)$$

9. Графіки залежностей допустимих $\Delta_{PV_{II},zp}$ та експериментальних $\Delta_{PV_{II}\uparrow}$, $\Delta_{PV_{II}\downarrow}$ абсолютних похибок вольтметра, що повіряється, у функції його показів – рисунок 2.

10. Висновок стосовно придатності вольтметра, що повіряється, для подальшого застосування.

Контрольні запитання та завдання

1 У чому суть метрологічної повірки аналогових вольтметрів та яка її мета?

2 Які існують види метрологічних повірок?

3 Чим визначається точність метрологічної повірки ЗВТ?

4 Який вольтметр можна вважати зразковим?

5 Охарактеризуйте методи метрологічної повірки.

6 Охарактеризуйте основні операції метрологічної повірки аналогового вольтметра.

7 Які є умовні позначення класу точності приладів, та як за ними обчислюється стандартна непевність показів приладів?

8 На підставі яких даних можна зробити висновок щодо придатності вольтметра для подальшої експлуатації?

9 Обрати метод і схему повірки та зразкові вольтметри для проведення метрологічної повірки приладу, метрологічні характеристики якого наведені в таблиці.

№ варіанту	Прилад	Тип приладу	Клас точності	Границя вимірювання	Частота струму, Гц	Рід струму
1	PV	Э140/1	1,5	450 В	50...400	змінний
2	PV	M4262	1,5	250 В	-	постійний
3	PV	M2004	0,2	150 В	-	постійний

Список літератури

1. ГОСТ 8.401-80 ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 2010. – 11 с.

2. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.1: Основи метрології. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 532 с.

3. Дорожовець М.М. Основи метрології та електричні вимірювання: навч. посібник / М.М. Дорожовець, Р.М.Івах, В.П.Мотало, І.Д.Пітель, Б.І.Стадник, О.З.Базилевич, П.Р.Гамула, М.І.Грибок, Т.І.Домінюк, О.В.Івахів, І.П.Микитин, І.Р.Петровська, О.П.Ришковський, А.В.Серкіз, Я.В.Скологдра, П.І.Скорпад; За ред. д-ра техн.наук, проф. Б.І.Стадника. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2011. – 372 с.

4. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.

5. Нестерчук Д.М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

Лабораторна робота
МЕТРОЛОГІЧНА ПОВІРКА АНАЛОГОВОГО ВАТМЕТРА
МЕТОДОМ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО ПОРІВНЯННЯ
ЗІ ЗРАЗКОВИМ ПРИЛАДОМ

Мета роботи:

Набуття практичних навичок при проведенні метрологічної повірки аналогового ватметра методом безпосереднього порівняння показів із показами зразкового ватметра та опрацювання результатів повірки.

Основні теоретичні відомості

Основні теоретичні відомості, які описують принцип метрологічної повірки аналогового ватметра методом безпосереднього порівняння показів із показами зразкового ватметра, аналогічні теоретичним відомостям [1...3], що наведені в лабораторній роботі «Метрологічна повірка аналогового амперметра методом безпосереднього порівняння зі зразковим приладом» (див. стор. 28-31).

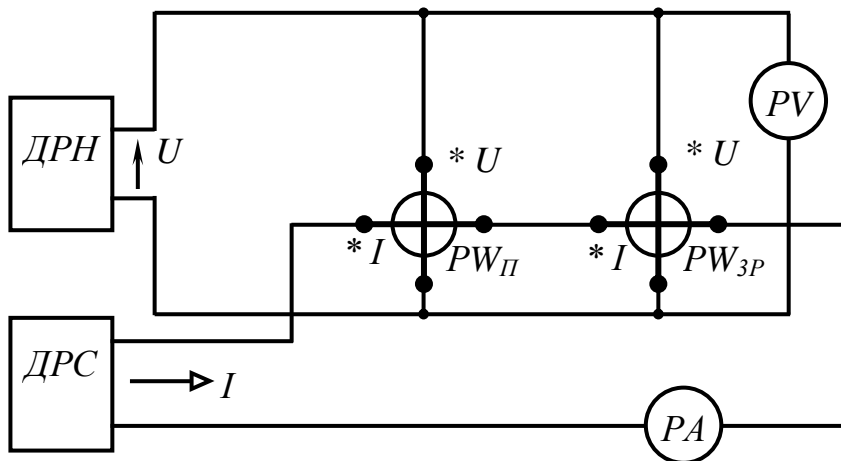
Найпоширенішим методом метрологічної повірки аналогових приладів є метод безпосереднього порівняння ЗВТ, що повіряється, із зразковим ЗВТ, який застосовується в галузі електричних та магнітних вимірювань для повірки приладів прямого перетворення: амперметрів, вольтметрів, ватметрів, частотомірів, омметрів, та в галузі вимірювань механічних величин – для повірки манометрів та витратомірів.

На рисунку 1 наведена схема повірки ватметра PW_{II} методом безпосереднього порівняння із зразковим ватметром $PW_{ЗР}$ [3, 5].

Завдання для самостійної підготовки

1. Опрацювати теоретичний матеріал: мета і види метрологічної повірки ЗВТ, методи повірки, повірка приладів прямого перетворення, методика повірки приладів порівнянням зі зразковими приладами та опрацювання результатів вимірювання [2, с.187-195, 4, с.611-634; 5, с.120-133, с.108-114].

2. Здійснити розв'язання задач №4, 5 для самостійного опрацювання, які наведені в [5, с.135-136].



ДРН – джерело регулювання напруги; ДРС – джерело регулювання струму

Рисунок 1 – Схема повірки вольтметра методом безпосереднього порівняння із зразковим вольтметром

Порядок виконання роботи

1. Записати метрологічні характеристики ватметра, що повіряється, та зразкового ватметра в таблицю 1 звіту до лабораторної роботи.
2. Обчислити стандартні непевності показів ватметра, що повіряється, та зразкового ватметра згідно формул (1) та (2) звіту до лабораторної роботи.
3. Скласти електричне коло за схемою повірки ватметра, що наведена на рисунку 2 звіту до лабораторної роботи. В схемі на лабораторному стенді встановлене регульоване джерело живлення - лабораторний автотрансформатор TV , з діапазоном регулювання напруги $0...250$ В, який призначений для плавної зміни напруги, а також для плавної зміни струму в схемі застосовується регулювальний реостат R_p .
4. Після перевірки та включення схеми викладачем прогріти ватметр, що повіряється, протягом 15 хвилин за номінального значення відхилення показчика приладу.
5. Виконати повірку ватметра PW_{II} , що повіряється, методом безпосереднього порівняння показів із показами зразкового ватметра PW_{3P} . Для визначення основної похибки та варіації показів необхідно плавно (без коливань) змінювати величину активної потужності, при цьому показчик ватметра, що повіряється, слід встановлювати на позначку шкали з цифрою *двічі*: при збільшенні

активної потужності – «хід вверх» та при зменшенні активної потужності – «хід вниз».

6. За показами зразкового ватметра записати покази при збільшенні активної потужності $N_{PW_{зр}\uparrow}$ та при зменшенні активної потужності $N_{PW_{зр}\downarrow}$, а також розрахувати відповідні дійсні значення активної потужності $P_{PW_{зр}\uparrow}$ і $P_{PW_{зр}\downarrow}$ за виразами (3) та (4) звіту до лабораторної роботи. Результати перевірки навести в таблицю 2.

7. За результатами експериментів опрацювати результати перевірки згідно алгоритму, який наведений в пункті 8 звіту до лабораторної роботи.

8. Побудувати графіки залежностей допустимих та експериментальних абсолютних похибок ватметра, що повіряється, у функції його показів - рисунок 2 звіту до лабораторної роботи.

9. Сформулювати висновок стосовно придатності ватметра для подальшого застосування, в якому слід порівняти обчислені значення абсолютної похибки ватметра, що повіряється, з обчисленими значеннями границі відхилень показу від дійсного значення активної потужності.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 - Метрологічні характеристики ватметрів

Найменування позначення	Ватметр	
	зразковий	що повіряється
Тип приладу		
Система (умовне позначення)		
Границя вимірювання за напругою, B		
Границя вимірювання за струмом, A		
Клас точності		
Рід струму		
Спосіб установки шкали приладу		
Умови експлуатації		

Продовження таблиці 1

Найменування позначення	Ватметр	
	зразковий	що повіряється
Напруга випробування, kV		
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, $Гц$		
Заводський номер, рік випуску		

3. Обчислення величини стандартної непевності результату вимірювання дійсного значення активної напруги зразковим ватметром за формулою [3, 4]

$$u(P)_{PW_{зр}} = \frac{\gamma_{PW_{зр}, зр} \cdot U_{K, PW_{зр}} \cdot I_{K, PW_{зр}}}{100\% \cdot \sqrt{3}}, \quad (1)$$

де $\gamma_{PW_{зр}, зр}$ - клас точності зразкового ватметра, %;

$U_{K, PW_{зр}}$ - границя вимірювання за напругою зразкового ватметра, B ;

$I_{K, PW_{зр}}$ - границя вимірювання за струмом зразкового ватметра, A .

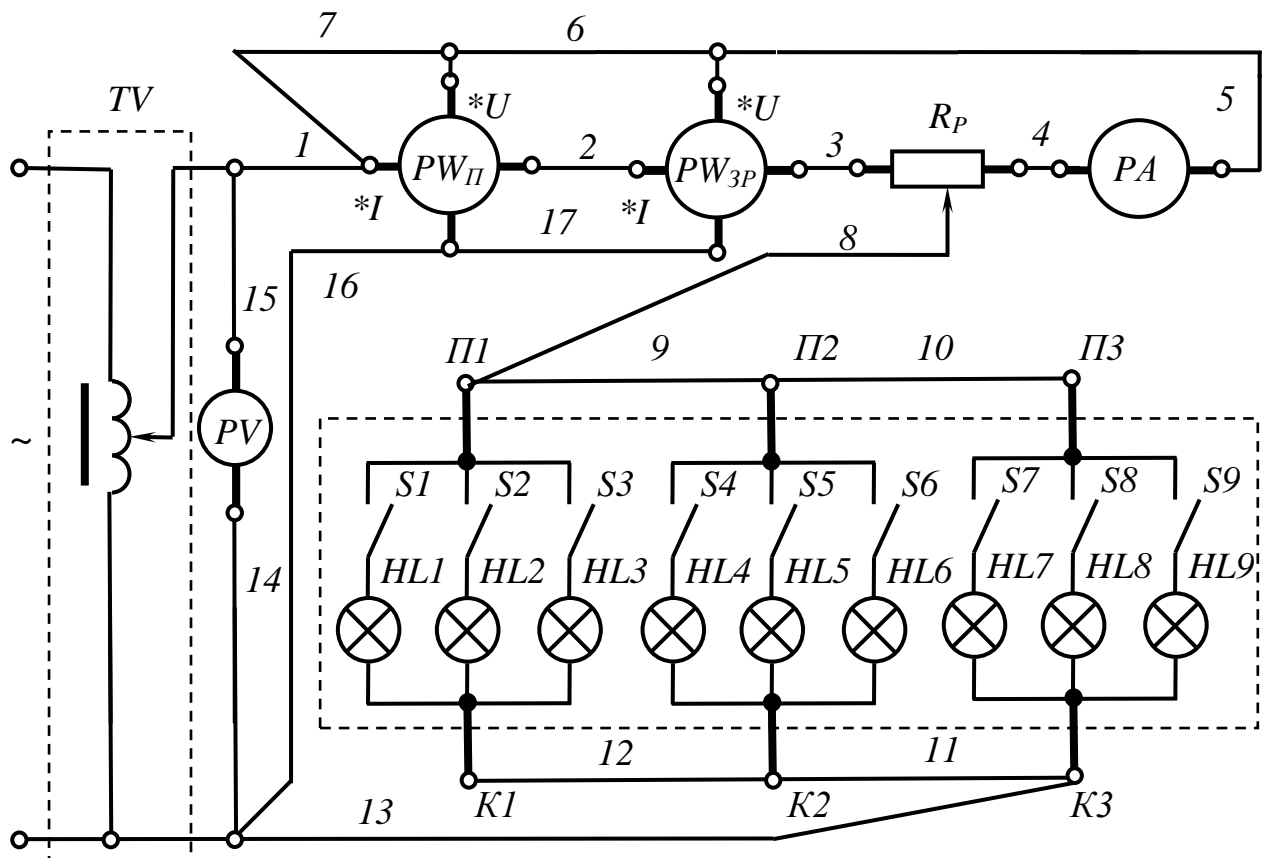
4. Обчислення величини стандартної непевності показів ватметра, що повіряється, за формулою [3, 4]

$$u(P)_{PW_{п}} = \frac{\gamma_{PW_{п}, зр} \cdot U_{K, PW_{п}} \cdot I_{K, PW_{п}}}{100\% \cdot \sqrt{3}}, \quad (2)$$

де $\gamma_{PW_{п}, зр}$ - клас точності ватметра, що повіряється, %;

$U_{K, PW_{п}}$ - границя вимірювання за напругою ватметра, що повіряється, B ;

$I_{K, PW_{п}}$ - границя вимірювання за струмом ватметра, що повіряється, A .



TV – лабораторний автотрансформатор;

PW_{II} – ватметр, що повіряється; *PW_{3P}* – зразковий ватметр;

PV – вольтметр; *PA* – амперметр; *R_p* – регулювальний реостат;

S1...S9 - тумблери; *HL1...HL9* – освітлювальне навантаження;

П1...П3 – затискачі «початки секцій навантаження»;

K1...K3 – затискачі «кінці секцій навантаження»;

1...17 – з'єднувальні проводи

5. Рисунок 1 - Схема повірки ватметра методом безпосереднього порівняння показів із показами зразкового ватметра

6. Таблица 2 – Результати повірки ватметра

№ досліду	Величини, що вимірювались			Величини, що обчислювались							
	Показ ватметра, що повіряється	Показ зразкового ватметра		Постійна зразкового ватметра	Дійсне значення активної потужності		Абсолютна похибка ватметра, що повіряється		Границі відхилення показу $P_{W_{II}}$ від дійсного значення активної потужності	Абсолютна варіація	
											$P_{PW_{II}}$, <i>Вт</i>
1											
2											
3											
4											
5											
6											

7. Алгоритм опрацювання результатів повірки:

- визначення дійсних значень активної потужності

$$P_{PW_{3P}\uparrow} = C_{PW_{3P}} \cdot N_{PW\uparrow}; \quad (3)$$

$$P_{PW_{3P}\downarrow} = C_{PW_{3P}} \cdot N_{PW\downarrow}, \quad (4)$$

де $C_{PW_{3P}}$ - клас точності зразкового ватметра, *Вт/поділ.*;

- визначення абсолютних похибок ватметра, що повіряється, за виразами

$$\Delta_{PW_{II}\uparrow} = P_{PW_{II}} - P_{PW_{3P}\uparrow}; \quad (5)$$

$$\Delta_{PW_{II}\downarrow} = P_{PW_{II}} - P_{PW_{3P}\downarrow}; \quad (6)$$

- визначення границі відхилення показу від дійсного значення ватметра, що повіряється, за виразом

$$\Delta_{PW_{II},zp} = \pm \frac{\gamma_{PW_{II},zp} \cdot U_{K,PW_{II}} \cdot I_{K,PW_{II}}}{100\%}, \quad (7)$$

де $\gamma_{PW_{II},zp}$ - клас точності ватметра, що повіряється, %;

$U_{K,PW_{II}}$ - границя вимірювання за напругою ватметра, що повіряється, В;

$I_{K,PW_{II}}$ - границя вимірювання за струмом ватметра, що повіряється, А;

- визначення абсолютної варіації показів за виразом [3]

$$B = \left| P_{PW_{3P}\uparrow} - P_{PW_{3P}\downarrow} \right|. \quad (8)$$

8. Графіки залежностей допустимих $\Delta_{PV_{II},zp}$ та експериментальних $\Delta_{PW_{II}\uparrow}$, $\Delta_{PW_{II}\downarrow}$ абсолютних похибок ватметра, що повіряється, у функції його показів – рисунок 2.

9. Висновок стосовно придатності ватметра, що повіряється, для подальшого застосування.

Список літератури

1. ГОСТ 8.401-80 ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 2010. – 11 с.

2. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.1: Основи метрології. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 532 с.

3. Дорожовець М.М. Основи метрології та електричні вимірювання: навч. посібник / М.М. Дорожовець, Р.М.Івах, В.П.Мотало, І.Д.Пітель, Б.І.Стадник, О.З.Базилевич, П.Р.Гамула, М.І.Грибок, Т.І.Домінюк, О.В.Івахів, І.П.Микитин,

І.Р.Петровська, О.П.Ришковський, А.В.Серкіз, Я.В.Сколоздра, П.І.Скорпад; За ред. д-ра техн.наук, проф. Б.І.Стадника. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2011. – 372 с.

4. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.

5. Нестерчук Д.М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

Лабораторна робота
МЕТРОЛОГІЧНА ПОВІРКА ОДНОФАЗНОГО
ЛІЧИЛЬНИКА АКТИВНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мета роботи:

Набуття практичних навичок при проведенні метрологічної повірки однофазного лічильника активної електричної енергії та опрацювання результатів повірки.

Основні теоретичні відомості

Однофазні лічильники активної електричної енергії є традиційними інтегрвальними приладами, які побудовані на основі індукційного вимірювального механізму. Обертальний момент виникає внаслідок взаємодії магнітних потоків нерухомих електромагнітів і вихрових струмів, які індуковані цими магнітними потоками у рухомій частині механізму, яка виконана у формі диска. Магнітні потоки створюються двома електромагнітами, на обмотку одного з них подається напруга, а через обмотку другого електромагніту протікає струм споживача електроенергії. Як наслідок, магнітні потоки є пропорційними до напруги U та до струму I споживача, а обертальний момент $M_{об}$ пропорційний до його активної потужності P згідно виразу [1...3]

$$M_{об} = k_{об} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = k_{об} \cdot P, \quad (1)$$

де φ – кут зсуву фаз між струмом і напругою у споживачеві;

$k_{об}$ – сталий коефіцієнт.

Крім обертального моменту, на рухомий диск діє гальмівний момент M_z , який виникає внаслідок взаємодії магнітного потоку Φ_m , створеного постійним магнітом, із вихровим струмом, який наведений цим потоком в диску, при обертанні останнього

$$M_z = k_m \cdot \Phi_m^2 \cdot \frac{d\alpha}{dt} = k_z \cdot \frac{d\alpha}{dt}, \quad (2)$$

де k_m та k_z – коефіцієнти пропорційності;

α – кут повороту диска.

Швидкість обертання диска стає пропорційною до потужності споживача за умови рівності обертального і гальмівного моментів

$$M_{об} = M_2; k_{об} \cdot P = k_2 \cdot \frac{d\alpha}{dt}. \quad (3)$$

Функція перетворення індукційного вимірювального механізму описується виразом

$$\alpha = \frac{k_{об}}{k_2} \cdot \int_{t_1}^{t_2} P dt = \frac{k_{об}}{k_2} \cdot W, \quad (4)$$

де α – кут повороту диска, на який повернувся диск за час Δt ;

$W = \int_{t_1}^{t_2} P dt$ – енергія, яка спожита споживачем за час Δt .

Кількість обертів диска лічильника n дорівнює

$$n = \frac{\alpha}{2\pi} = \frac{k_{об}}{k_2 \cdot 2\pi} = \frac{W}{C_H} = A_n \cdot W, \quad (5)$$

де C_H – номінальна стала лічильника, яка характеризує співвідношення між облікованою лічильником енергією і відповідною кількістю обертів, $кВт \cdot год / об.$;

A_n – номінальне передатне число, що дорівнює кількості обертів диска на $1 кВт \cdot год / об.$

Номінальна стала лічильника $C_H, Вт \cdot год / об.$, і номінальне передатне число зв'язані співвідношенням

$$C_H = \frac{10^3}{A_n}. \quad (6)$$

Енергія, $W, кВт \cdot год.$, яку спожив споживач протягом певного часу визначається за виразом

$$W = 10^3 \cdot n \cdot C_H \cdot \frac{1 \cdot n}{A_n}. \quad (7)$$

Отже, порахувавши кількість обертів диску лічильника n за певний час t , стає можливим визначення активної електричної енергії W , яку спожив споживач протягом певного часу [2].

В таблиці 1 наведені основні метрологічні характеристики однофазних індукційних лічильників.

Таблиця 1 - Основні метрологічні характеристики лічильників [1...4]

Метрологічні характеристики	Пояснення
Номінальний струм, $I_{НЛЧ}$	Значення струму при безпосередньому вмиканні обирають із ряду: 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 80; 100 А.
Номінальна напруга, $U_{НЛЧ}$	Значення напруги при безпосередньому вмиканні обирають із ряду: 127; 230; 240; 380; 400; 415; 480 В.
Номінальна частота, f_H	Значення частоти знаходиться в діапазоні 46...65 Гц, зазвичай $f_H = 50$ Гц або 60 Гц.
Номінальна стала, C_H	Співвідношення між облікованою енергією і відповідною кількістю обертів, $кВт \cdot год/об.$
Номінальне передаточне число, A_H	Кількість обертів диска на 1 $кВт \cdot год/об.$
Клас точності	Визначає границі допустимої основної відносної похибки. Стандарт нормує класи точності 0,5; 1,0; 2,0; 2,5.
Поріг чутливості	Найменше нормоване значення струму, при якому починається неперервне обертання диска за номінальних значень напруги і частоти. Для лічильників класу точності 0,5 поріг чутливості 0,3% від $I_{НЛЧ}$; для лічильників класу точності 1,0 – 0,4% від $I_{НЛЧ}$, для лічильників класу точності 2,5 – 1,0% від $I_{НЛЧ}$.
Самохід	Обертання диска під дією поданої напруги і за відсутності струму в струмовому колі лічильника $I_L=0$. Диск лічильника не повинен здійснити більше одного повного оберту при $I_L=0$ і за будь-якої напруги $U_{ЛВ}$ діапазоні 80...100% від $U_{НЛЧ}$.

Розглянемо операції, які здійснюються під час перевірки лічильника: зовнішній огляд приладу; перевірка міцності електричної ізоляції; перевірка наявності

самоходу; перевірка порогу чутливості; визначення основної похибки; перевірка роботи лічильного механізму [5].

Найважливішою операцією повірки лічильника є визначення його основної похибки, відносно значення якої дорівнює

$$\delta_{\text{ліч}} = \frac{W_{\text{вим}} - W_{\text{Д}}}{W_{\text{Д}}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

де $W_{\text{вим}}$ і $W_{\text{Д}}$ – відповідно виміряне і дійсне значення електричної енергії, *кВт·год*.

Існують два методи метрологічної повірки: метод порівняння показів лічильника, що повіряється, і зразкового лічильника та метод вимірювання потужності і часу за допомогою зразкових ватметра і секундоміра [2...4].

Розглянемо суть метода вимірювання потужності і часу за допомогою зразкових ватметра і секундоміра. За показом зразкового ватметра встановлюють активну потужність P при струмі навантаження 10% від $I_{\text{НЛ}}$ та при струмі навантаження 100% від $I_{\text{НЛ}}$, і підтримуючи її сталою, зразковим секундоміром вимірюють час t , за який диск лічильника зробить відповідно ціле число обертів n .

За результатами експериментів визначаються:

- дійсне значення енергії

$$W_{\text{Д}} = P \cdot t; \quad (9)$$

- виміряне значення енергії

$$W_{\text{вим}} = \frac{n}{A_{\text{H}}}; \quad (10)$$

- нормальний час, упродовж якого диск лічильника зробить n обертів

$$t_{\text{H}} = \frac{3,6 \cdot 10^6 \cdot n}{A_{\text{H}} \cdot U_{\text{Нліч}} \cdot I_{\text{Нліч}} \cdot \cos \varphi_{\text{Л}}}; \quad (11)$$

- основна похибка лічильника

$$\delta_{\text{ліч}} = \frac{W_{\text{вим}} - W_{\text{Д}}}{W_{\text{Д}}} \cdot 100\% = \frac{P \cdot t_{\text{Н}} - P \cdot t}{P \cdot t} \cdot 100\% = \frac{t_{\text{Н}} - t}{t} \cdot 100\%. \quad (12)$$

Висновок: значення похибки $\delta_{\text{ліч}}$ не повинно перевищувати граничного значення похибки $\delta_{\text{ліч,гр.}}$, яка наведена на щитку лічильника.

Завдання для самостійної підготовки

1. Опрацювати теоретичний матеріал: вивчити будову та принцип дії однофазного індукційного лічильника активної електричної енергії, а також основні метрологічні характеристики лічильників [1, с.181-183, 2, с.259-262, 3, с.217-221].

2. Вивчити загальні положення та схеми увімкнення індукційних лічильників електричної енергії до кіл змінного струму [1, с.389-393].

3. Вивчити методику метрологічної перевірки однофазних лічильників електричної енергії [3, с.262-274].

4. Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в [3, с.59-61]. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи – таблиця 1.

Порядок виконання роботи

1. Записати метрологічні характеристики електровимірювальних приладів, що використовуються в роботі в таблиці 2 та 3 звіту до лабораторної роботи.

2. Скласти електричне коло за схемою перевірки однофазного індукційного лічильника, що наведена на рисунку 1 звіту до лабораторної роботи. В схемі на лабораторному стенді встановлене регульоване джерело живлення - лабораторний автотрансформатор TV , з діапазоном регулювання напруги $0 \dots 250 \text{ В}$, який призначений для плавної зміни напруги, а також для плавної зміни струму в схемі застосовується регулювальний реостат R_p .

3. За допомогою лабораторного автотрансформатора TV та вольтметра PV встановити номінальне значення напруги лічильника, що перевіряється.

4. За допомогою регулювального реостату R_p та амперметра PA встановити номінальне значення струму, що протікає через лічильник, що перевіряється.
5. Після перевірки та включення схеми викладачем прогріти лічильник протягом 15 хвилин за номінальних значень струму та напруги.
6. Під час прогрівання здійснити перевірку роботи лічильного механізму лічильника. Лічильний механізм лічильника вважається таким, що працює вірно, якщо добуток активної потужності та часу роботи лічильника відповідає різниці показів лічильного механізму лічильника до та після його роботи. Результати перевірки роботи навести в таблиці 4.
7. Визначити кількість обертів диска лічильника під час повірки лічильника класу точності 2 з урахуванням умови (1) звіту до лабораторної роботи.
8. Обчислити нормальний час лічильника за формулою (11), що наведена в основних теоретичних відомостях роботи.
9. Результати розрахунків згідно пунктів 5 та 6 навести в таблицю 5.
10. Виміряти з трикратною повторністю інтервали часу t_{e1} , t_{e2} , t_{e3} , протягом яких диск лічильника здійснить відповідну кількість обертів.
11. Результати вимірювань інтервалів часу t_{e1} , t_{e2} , t_{e3} записати в таблицю 5 та визначити середній час $t_{сер}$.
12. Здійснити перевірку наявності самоходу. Встановити напругу лічильника $1,1 \cdot U_{НЛ}$ за показом вольтметра, а струмове коло лічильника відімкнути однополюсним автоматичним вимикачем QF , при цьому диск лічильника не повинен зробити один повний оберт, а під час його зупинки у вікні лічильника повинен з'явитися знак, нанесений на ребро диску. Результат наявності або відсутності самоходу записати в таблицю 5.
13. Визначити поріг чутливості лічильника за номінальної напруги лічильника $U_{НЛ}$. Струм лічильника $I_{ліч}$ плавно змінюють від нуля до такого значення $I_{ліч, min}$, коли диск зробить не менше, ніж один повний оберт. Значення $I_{ліч, min}$ для лічильників класу точності 2 не повинно перевищувати 0,5% від $I_{НЛ}$. Результат вимірювань записати в таблицю 5.

14. Розрахувати величину основної похибки лічильника за формулою (12), що наведена в основних теоретичних відомостях роботи. Результати розрахунку навести в таблиці 5.

15. За результатами перевірки лічильника електричної енергії сформулювати висновок стосовно придатності лічильника для подальшого застосування, в якому слід порівняти обчислені значення відносної похибки $\delta_{ліч}$ лічильника, що повіряється, з граничним значенням похибки $\delta_{ліч,гр.}$, яка наведена на щитку лічильника.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.
2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		5	
2		6	
3		7	
4			

3. Таблиця 2 - Метрологічні характеристики електровимірювальних приладів

Найменування позначення	Прилад		
	<i>PV</i>	<i>PA</i>	<i>PW</i>
Тип приладу			
Система (умовне позначення)			
Границя вимірювання за напругою, <i>B</i>			
Границя вимірювання за струмом, <i>A</i>			
Клас точності			
Рід струму			
Спосіб установки шкали приладу			
Умови експлуатації			

Продовження таблиці 2

Найменування позначення	Прилад		
	<i>PV</i>	<i>PA</i>	<i>PW</i>
Напруга випробування, <i>кВ</i>			
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, <i>Гц</i>			
Заводський номер, рік випуску			

4. Таблиця 3 - Основні метрологічні характеристики лічильника

Метрологічні характеристики	Величина
Тип	
Номінальний струм, <i>I_{Нліч}, А</i>	
Номінальна напруга, <i>U_{Нліч}, В</i>	
Номінальна частота, <i>f_Н, Гц</i>	
Номінальне передаточне число, <i>A_Н, об/ Вт·с</i>	
Номінальна стала, <i>C_Н, Вт·с/об</i>	
Клас точності	
Заводський номер, рік випуску	

5. Рисунок 1 - Схема повірки однофазного лічильника активної енергії методом вимірювання потужності і часу за допомогою зразкових ватметра і секундоміра:

TV – лабораторний автотрансформатор; *PWh_П* – лічильник, що повіряється; *PV* – вольтметр; *PA* – амперметр; *R_P* – регульовальний реостат; *QF* – однополюсний автоматичний вимикач; *S1...S9* – тумблери; *HL1...HL9* – освітлювальне навантаження; *П1...П3* – затискачі «початки секцій навантаження»; *К1...К3* – затискачі «кінці секцій навантаження»; *1...17* – з'єднувальні проводи.

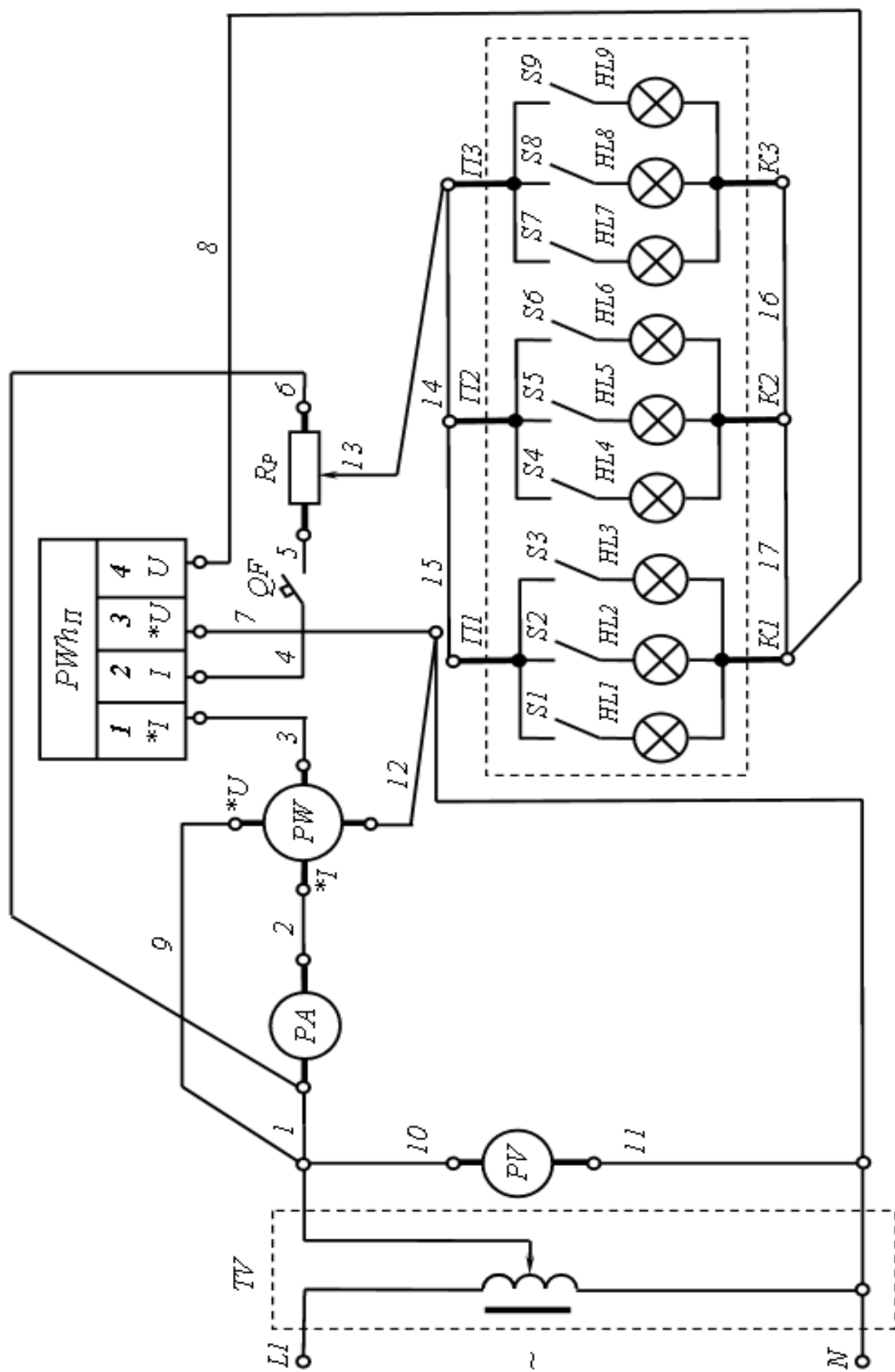


Рисунок 1 - Схема повірки однофазного лічильника активної енергії

6. Таблица 4 - Результати перевірки роботи лічильного механізму

Показання приладів		ватметра, $P, \text{кВт}$	час, $t, \text{год}$	Обчислено		Висновок
лічильника				$W_1 - W_0,$ $\text{кВт} \cdot \text{год}$	$P \cdot t,$ $\text{кВт} \cdot \text{год}$	
попередні, $W_0,$ $\text{кВт} \cdot \text{год}$	поточні, $W_1,$ $\text{кВт} \cdot \text{год}$					

7. Визначення кількості обертів диска лічильника під час повірки лічильника класу точності 2 з урахуванням умови [2]

$$n_{\text{диск}} = \frac{U_{\text{Нліч}} \cdot I_{\text{Нліч}} \cdot A_{\text{Н}} \cdot \cos \varphi_{\text{ліч}} \cdot t_{\text{Н}}}{1000 \cdot 3600}, \quad (1)$$

де $t_{\text{Н}}$ – нормальний час роботи лічильника, с; $t_{\text{Н}} = 100 \dots 120$ с.

8. Обчислення нормального часу лічильника, який необхідний для виконання кількості обертів диску $n_{\text{диск}}$ [2]

$$t_{\text{Н}} = \frac{3,6 \cdot 10^6 \cdot n_{\text{диск}}}{A_{\text{Н}} \cdot U_{\text{Нліч}} \cdot I_{\text{Нліч}} \cdot \cos \varphi_{\text{ліч}}}. \quad (2)$$

9. Таблица 4 – Результати розрахунків та вимірювань

№	Результати	Найменування та літерні позначення та одиниці вимірювання величин	Величина
1	Результати розрахунків	Кількість обертів диска під час повірки $n_{\text{диск}}$, <i>обертів</i>	
2	згідно формул (1) та (2)	Нормальний час лічильника $t_{\text{Н}}$, с	
3	Результати вимірювань згідно пунктів 10...14 порядку виконання роботи	Інтервал часу, t_{e1} , с	
4		Інтервал часу, t_{e2} , с	
5		Інтервал часу, t_{e3} , с	
6		Середній інтервал часу, $t_{\text{сер}}$, с	
7		Самохід (наявність чи відсутність)	
8		Поріг чутливості, $I_{\text{ліч, min}}$, А	
9		Основна похибка лічильника, $\delta_{\text{ліч}}$, %	

10. Зміст висновку щодо придатності лічильника для подальшого застосування згідно умови

$$\delta_{ліч} < \delta_{ліч.гр}. \quad (3)$$

Контрольні запитання

1 Опишіть конструкцію та принцип дії однофазного індукційного лічильника активної електричної енергії.

2 Які існують методи перевірки однофазного індукційного лічильника активної електричної енергії?

3 Назвіть основні операції метрологічної перевірки однофазного індукційного лічильника активної електричної енергії.

4 Що таке самохід лічильника? Як перевірити наявність або відсутність самоходу лічильника?

5 Як перевірити поріг чутливості лічильника?

6 Як експериментально визначити та аналітично розрахувати основну похибку лічильника?

7 Як оцінити відповідність лічильника своєму класу точності та встановити придатність лічильника до подальшої експлуатації?

Список літератури

1. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.

2. Дорожовець М.М. Основи метрології та електричні вимірювання: навч. посібник / М.М. Дорожовець, Р.М.Івах, В.П.Мотало, І.Д.Пітель, Б.І.Стадник, О.З.Базилевич, П.Р.Гамула, М.І.Грибок, Т.І.Домінюк, О.В.Івахів, І.П.Микитин, І.Р.Петровська, О.П.Ришковський, А.В.Серкіз, Я.В.Скологдра, П.І.Скорпад; За ред. д-ра техн.наук, проф. Б.І.Стадника. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2011. – 372 с.

3. Нестерчук Д.М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

4. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник / [В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т.Володарський, В.В.Грабко] – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 538 с.

5. ДСТУ 2708-99. Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення. - Чинний від 2000-07-01 // Кат. нормат. док. - К.: Держстандарт України, 2001. - Група 17.020.

Лабораторна робота
МЕТРОЛОГІЧНА ПОВІРКА ЕЛЕКТРОННИХ
ЛІЧИЛЬНИКІВ АКТИВНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мета роботи:

Набуття практичних навичок при проведенні метрологічної повірки електронних лічильників активної електричної енергії методом безпосереднього порівняння показів із показами зразкового амперметра та опрацювання результатів повірки.

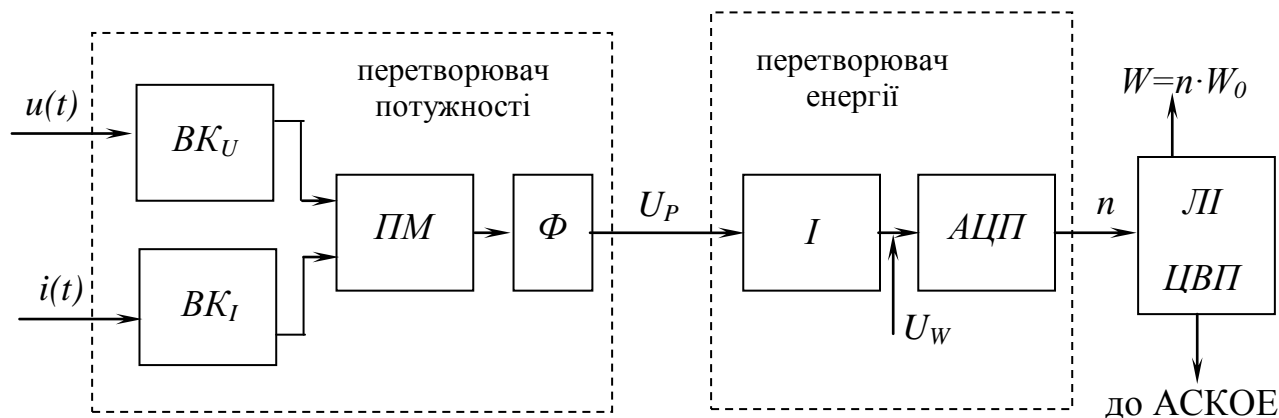
Основні теоретичні відомості

Електронні лічильники характеризуються значно вищою точністю роботи на відміну від індукційних лічильників. Такі лічильники конструктивно складаються з електронного інтегратора та зі спеціальних електронних вузлів, які необхідні для одержання сигналу, пропорційного до спожитої енергії, з подальшим аналого-цифровим його перетворенням і цифровим відліком результату вимірювання [1, 2].

В електронних лічильниках вихідний сигнал у цифровому коді можна використовувати у схемах автоматизованого обліку електроенергії. Електронні лічильники використовують для вимірювання активної та реактивної потужностей в однофазних та трифазних колах змінного струму, а також для вимірювання, обліку активної та реактивної енергії при двох напрямках і при різних тарифах, для вимірювання частоти мережі, для вимірювання напруги та струму споживача, для вимірювання поточного часу при фіксованій календарній даті з наданням поточного тарифу на електричну енергію.

Електронні лічильники зберігають інформацію про загальну кількість спожитої електроенергії, про спожиту електроенергію за поточні і попередні роки та місяці. Основними блоками типового електронного лічильника є перетворювач потужності на напругу (ПН) та перетворювач енергії (ПЕ) в кількість імпульсів, а також лічильник імпульсів з цифровим пристроєм відліку.

На рисунку 1 наведена структурна схема електронного лічильника енергії [1...3].



BK_U та BK_I – вхідні кола напруги та струму; $ПМ$ – перемножувач;
 Φ – фільтр; I – інтегратор; $ПНЧ$ – перетворювач напруги в частоту;
 $ЦВП$ – цифровий пристрій відліку; $ЛІ$ – лічильник імпульсів;
 $АСКОЕ$ – автоматизована система контролю і обліку електроенергії.

Рисунок 1 - Структурна схема електронного лічильника енергії

У вхідних колах лічильника використовуються масштабні перетворювачі – вимірювальні трансформатори струму і напруги, подільники напруги, вимірювальні підсилювачі. Фільтр виконує функцію інтегрування вихідного сигналу перемножувача – миттєвої потужності $p(t) = u(t) \cdot i(t)$.

Вихідна напруга перетворювача потужності

$$U_P = k_P \cdot P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt, \quad (1)$$

де P – середнє значення потужності споживача потужності за період T ;

k_P – коефіцієнт перетворення перетворювача потужності.

Перетворювач напруги в частоту забезпечує відповідність кількості імпульсів на виході перетворювача енергії певного рівня, який прийнятий за одиницю. Тому кількість імпульсів n , які надходять на лічильник імпульсів $ЛІ$ лічильника за час t , буде пропорційна до величини енергії W , яка споживається за цей час за формулою

$$W = n \cdot W_0. \quad (2)$$

Результати обліку (вимірювання) величини активної енергії надаються на цифровому пристрої відліку лічильника або на дисплеї, а також у цифровому коді результати надходять до АСКОВЕ.

До основних метрологічних характеристик однофазних електронних лічильників активної енергії належать: номінальний струм, $I_{НЛ}, A$; максимальний струм, $I_{Л, max}, A$; номінальна напруга, $U_{НЛ}, B$; номінальне передатне число, $A_{Н}, \text{имп}/\text{кВт}\cdot\text{год}$; постійна лічильника, $C_{Н}, \text{Вт}\cdot\text{год}/\text{имп}$; номінальна частота, $f_{Н}, \text{Гц}$; клас точності лічильника, який визначає границі допустимої основної відносної похибки.

Операції, які здійснюються під час повірки електронного лічильника: зовнішній огляд приладу; перевірка міцності електричної ізоляції; перевірка наявності самоходу; перевірка порогу чутливості; перевірка роботи лічильного механізму; визначення основної похибки [3]. Найважливішою операцією повірки лічильника є визначення його основної похибки, відносно значення якої дорівнює

$$\delta_{\text{ліч}} = \frac{W_{\text{вим}} - W_{\text{Д}}}{W_{\text{Д}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де $W_{\text{вим}}$ і $W_{\text{Д}}$ – відповідно вимірне і дійсне значення електричної енергії (за показами зразкового електронного лічильника), $\text{кВт}\cdot\text{год}$.

Існують три методи метрологічної повірки: метод ватметра і секундоміра, метод зразкового лічильника і метод довготривалих випробувань. Згідно аналізу літературних джерел [1, 3] показами електронного лічильника під час повірки є: приріст показів інтегровального пристрою; кількість імпульсів, які отримані від одного із передавальних пристроїв протягом інтервалу часу повірки; період або частота проходження імпульсів від одного із передавальних пристроїв. За результатами експериментів визначаються [1, 3]:

- дійсне значення енергії

$$W_{\text{Д}} = \frac{n_{\text{ЗР.ліч}}}{A_{\text{Н, ЗР.ліч}}}; \quad (4)$$

- виміряне значення енергії

$$W_{вим} = \frac{n_{П.ліч}}{A_{Н.П.ліч}}; \quad (5)$$

- основна похибка лічильника

$$\begin{aligned} \delta_{ліч} &= \frac{W_{вим} - W_{Д}}{W_{Д}} \cdot 100\% = \frac{\frac{n_{П.ліч}}{A_{Н.П.ліч}} - \frac{n_{ЗР.ліч}}{A_{Н.ЗР.ліч}}}{\frac{n_{ЗР.ліч}}{A_{Н.ЗР.ліч}}} \cdot 100\% = \\ &= \frac{n_{ЗР.ліч} \cdot \frac{A_{Н.ЗР.ліч}}{A_{Н.П.ліч}} - n_{ЗР.ліч}}{n_{ЗР.ліч}} \cdot 100\%, \end{aligned} \quad (6)$$

де $A_{Н.ЗР}$, $A_{Н.П}$ – номінальні значення передаточні числа відповідно зразкового лічильника та лічильника, що повіряється;
 $n_{ЗР.ліч}$ та $n_{П.ліч}$ – кількість імпульсів, які створені на передавальних пристроях відповідно зразкового лічильника та лічильника, що повіряється, протягом інтервалу часу повірки.

Висновок: значення похибки $\delta_{ліч}$ не повинно перевищувати граничного значення похибки $\delta_{ліч,гр.}$, яка наведена на щитку лічильника.

Розглянемо суть методу повірки. За показами вольтметра, амперметра та ватметра встановлюють певну потужність навантаження лічильника і протягом певного інтервалу часу здійснюється підрахунок кількості імпульсів $n_{ЗР.ліч}$ та $n_{П.ліч}$ на виходах відповідно зразкового лічильника та лічильника, що повіряється. Мінімальний інтервал часу $t_{розр}$, який необхідний для проведення повірки, визначається за формулою

$$t_{розр} \geq \frac{\tau_{ліч}}{2 \cdot \delta_t} \cdot 100\% = \frac{1}{2 \cdot f_{ліч} \cdot \delta_t}, \quad (7)$$

де $\tau_{ліч}$ – тривалість періоду імпульсів на випробувальному виході лічильника;

$f_{ліч}$ – частота послідовності імпульсів;

δ_t – похибка підрахунку кількості імпульсів на випробувальному виході лічильника.

При цьому необхідно визначити й тривалість періоду імпульсів на випробувальному виході лічильника за формулою

$$\tau_{ліч} = \frac{1}{f_{ліч}} = \frac{3,6 \cdot 10^6}{A_H \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi}. \quad (8)$$

Завдання для самостійної підготовки

1. Опрацювати теоретичний матеріал: вивчити будову та принцип дії однофазного електронного лічильника активної електричної енергії, а також основні метрологічні характеристики таких лічильників [1, с.394-397, 2, с.58-59, 3, с.325-334].

2. Вивчити загальні положення та схеми увімкнення однофазних електронних лічильників електричної енергії до кіл змінного струму [1, с.389-393, 2, с. 55-58].

3. Вивчити методику метрологічної повірки однофазних електронних лічильників електричної енергії [3, с.329-339].

Порядок виконання роботи

1. Записати метрологічні характеристики електровимірювальних приладів, що використовуються в роботі в таблиці 1...3 звіту до лабораторної роботи.

2. Скласти електричне коло за схемою повірки однофазного електронного лічильника методом безпосереднього порівняння показів із показами зразкового лічильника, що наведена на рисунку 1 звіту до лабораторної роботи. В схемі на лабораторному стенді встановлене регульоване джерело живлення - лабораторний автотрансформатор TV , з діапазоном регулювання напруги $0...250$ В, який призначений для плавної зміни напруги, а також для плавної зміни струму в схемі застосовується регульовальний реостат R_p .

3. За допомогою лабораторного автотрансформатора TV та вольтметра PV встановити номінальне значення напруги лічильника, що перевіряється.

4. За допомогою регульовального реостату R_P та амперметра PA встановити номінальне значення струму, що протікає через лічильник, що перевіряється.

5. Після перевірки та включення схеми викладачем прогріти лічильник протягом 15 хвилин за номінальних значень струму та напруги.

6. Визначити аналітично тривалість періоду імпульсів на випробувальному виході зразкового лічильника за його метрологічними характеристиками згідно формули (1) звіту з лабораторної роботи. Результати розрахунків навести в таблиці 5.

7. Визначити аналітично тривалість часового інтервалу, який необхідний для проведення перевірки лічильника за формулою (2) звіту з лабораторної роботи. Результати розрахунку навести в таблиці 5.

8. Визначити аналітично кількість імпульсів лічильника, які підраховують під час перевірки лічильника, що перевіряється, за формулою (4) звіту з лабораторної роботи. Результати розрахунку навести в таблиці 5.

9. Здійснити для різних режимів перевірки лічильника облік кількості імпульсів, що створюються вихідними пристроями зразкового лічильника та лічильника, що перевіряється. При цьому слід припинити облік імпульсів з приходом останнього імпульсу від лічильника, що перевіряється. Такі вимірювання здійснити з трикратною повторністю. Результати вимірювань кількості імпульсів перевірки для двох режимів навести в таблиці 5.

10. Розрахувати величину основної похибки лічильника для двох режимів перевірки за формулою (5) звіту з лабораторної роботи. Результати розрахунку навести в таблиці 5.

11. Здійснити перевірку наявності самоходу. Встановити напругу лічильника $1,1 \cdot U_{НЛ}$ за показом вольтметра, а струмове коло лічильника відімкнути однополюсним автоматичним вимикачем QF , при цьому випробувальний вихідний пристрій лічильника не повинен створити більше, ніж один імпульс за час

перевірки, який визначається за формулою (6) звіту лабораторної роботи. Результат наявності або відсутності самоходу записати в таблицю 5.

13. Визначити поріг чутливості лічильника за номінальної напруги лічильника $U_{НД}$. Струм лічильника $I_{Л}$ плавно змінюють від нуля до такого значення $I_{Л,min}$, коли лічильник має вмикатись і продовжувати реєструвати покази. Значення $I_{Л,min}$ для лічильників класу точності 1,0 не повинно перевищувати 0,4% від $I_{НД}$. Результат вимірювань записати в таблицю 5.

14. За результатами повірки електронного лічильника електричної енергії сформулювати висновок стосовно придатності лічильника для подальшого застосування, в якому слід порівняти обчислені значення відносної похибки $\delta_{ліч}$ лічильника, що повіряється, з граничними значеннями $\delta_{ліч,гр}$ для різних режимів повірки згідно таблиці 4 звіту лабораторної роботи.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.
2. Таблиця 1 - Метрологічні характеристики електровимірювальних приладів

Найменування позначення	Прилад		
	<i>PV</i>	<i>PA</i>	<i>PW</i>
Тип приладу			
Система (умовне позначення)			
Границя вимірювання за напругою, <i>B</i>			
Границя вимірювання за струмом, <i>A</i>			
Клас точності			
Рід струму			
Спосіб установки шкали приладу			
Умови експлуатації			
Напруга випробування, <i>кВ</i>			
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, <i>Гц</i>			
Заводський номер, рік випуску			

3. Таблиця 2 - Основні метрологічні характеристики зразкового лічильника

Метрологічні характеристики	Величина
Тип	
Номинальний струм, $I_{НЛ}, A$	
Максимальний струм, $I_{Л, max}, A$	
Номинальна напруга, $U_{НЛ}, B$	
Номинальна частота, $f_H, Гц$	
Номинальне передаточне число, $A_H, імн/кВт \cdot год$	
Номинальна стала, $C_H, Вт \cdot год/імн$	
Клас точності	
Заводський номер, рік випуску	

4. Таблиця 3 - Основні метрологічні характеристики лічильника, що повіряється

Метрологічні характеристики	Величина
Тип	
Номинальний струм, $I_{НЛ}, A$	
Максимальний струм, $I_{Л, max}, A$	
Номинальна напруга, $U_{НЛ}, B$	
Номинальна частота, $f_H, Гц$	
Номинальне передаточне число, $A_H, імн/кВт \cdot год$	
Номинальна стала, $C_H, Вт \cdot год/імн$	
Клас точності	
Заводський номер, рік випуску	

5. Рисунок 1 - Схема перевірки електронного лічильника активної енергії методом безпосереднього порівняння показів із показами зразкового лічильника:

TV – лабораторний автотрансформатор; $PWh_{зр}$ – зразковий лічильник; $PWh_{п}$ – лічильник, що повіряється; PV – вольтметр; PA – амперметр; R_p – регулювальний реостат; QF – однополюсний автоматичний вимикач; $S1...S9$ – тумблери; $1...18$ – з'єднувальні проводи; $HL1...HL9$ – освітлювальне навантаження; $П1...П3$ – затискачі «початки секцій навантаження»; $K1...K3$ – затискачі «кінці секцій навантаження»

6. Визначення тривалості періоду імпульсів на випробувальному виході зразкового лічильника за його метрологічними характеристиками

$$\tau_{зрліч} = \frac{3,6 \cdot 10^6}{A_{H.зрліч} \cdot U_{H.зрліч} \cdot I_{H.зрліч} \cdot \cos \varphi} \cdot \quad (1)$$

7. Визначення тривалості часового інтервалу, який необхідний для проведення повірки лічильника, за формулою

$$t_{розр} \geq \frac{\tau_{зрліч}}{2 \cdot \delta_{зр.t}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де $\delta_{зр.t}$ – похибка підрахунку кількості імпульсів на випробувальному виході зразкового лічильника;

$$\delta_{зр.t} \leq \frac{\delta_{зрліч}}{5}, \quad (3)$$

де $\delta_{зр.t}$ – клас точності зразкового лічильника.

8. Визначення кількості імпульсів лічильника, які підраховують під час повірки лічильника, що повіряється, за формулою

$$n_{п.ліч.розр} = \frac{U_{H.п.ліч} \cdot I_{H.п.ліч} \cdot A_{H.п.ліч} \cdot \cos \varphi \cdot t_{розр}}{1000 \cdot 3600} \cdot \quad (4)$$

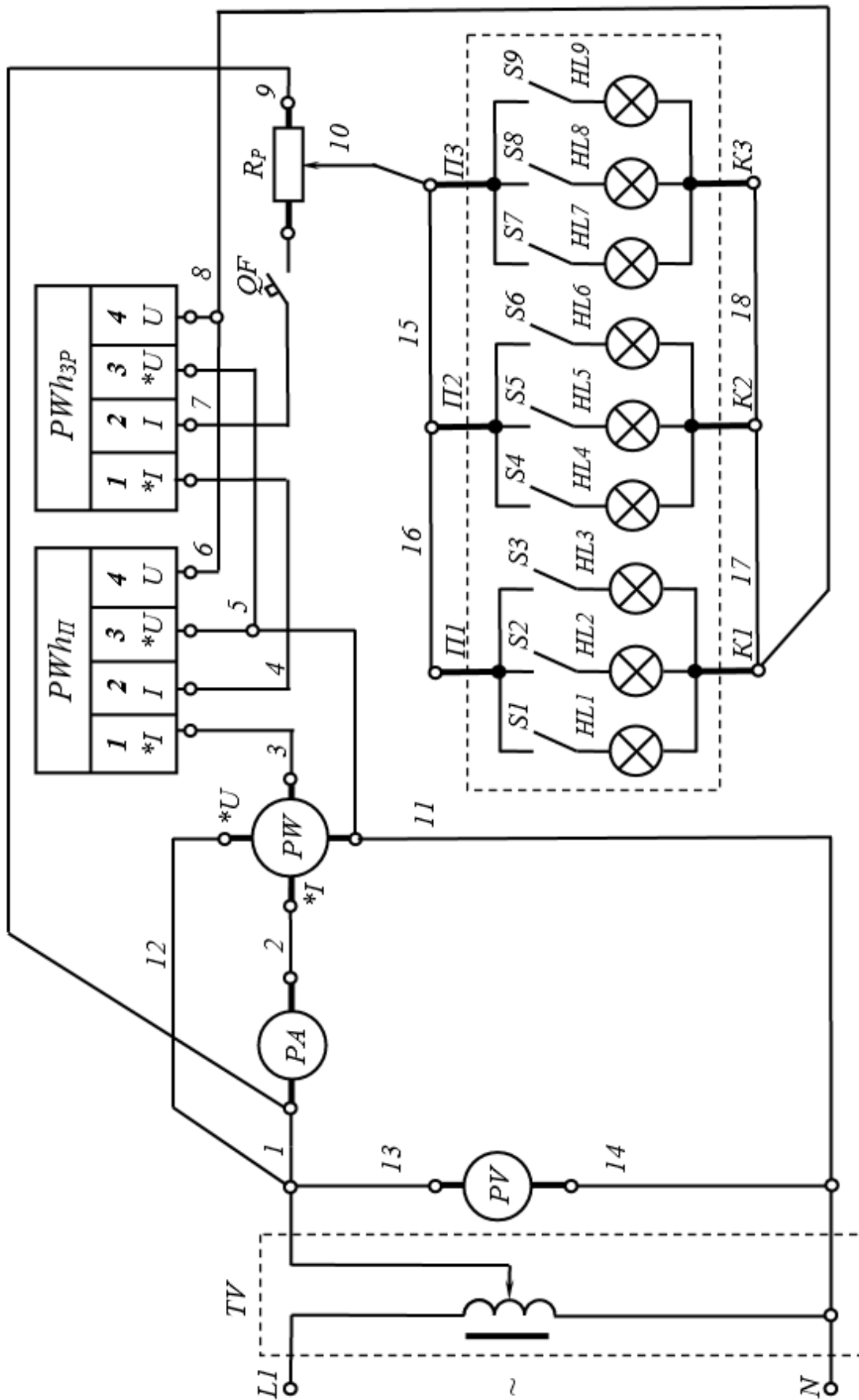


Рисунок 1 - Схема повірки електронного лічильника активної енергії

8. Таблица 4 – Граничні значення основної похибки $\delta_{ліч,зр.}$ однофазних електронних лічильників для різних режимів повірки

Напруга лічильника, $U_{ліч}, B$	Струм лічильника, $I_{ліч}, A$	Граничні значення основної похибки $\delta_{ліч,зр.}, \%$
$U_{Нліч}$	$I_{Нліч}$	1,0
$U_{Нліч}$	$0,1 \cdot I_{Нліч}$	1,0
$0,9 \cdot U_{Нліч}$	$I_{Нліч}$	1,7

9. Таблица 5 – Результати розрахунків та вимірювань

№	Вид розрахунків	Найменування та літерні позначення та одиниці вимірювання величин	Режими повірки лічильника		
			Режим « $I_{ліч} = I_{Нліч};$ $U_{ліч} = U_{Нліч}$ »	Режим « $I_{ліч} = 0,1 \cdot I_{Нліч};$ $U_{ліч} = U_{Нліч}$ »	Режим « $I_{ліч} = I_{Нліч};$ $U_{ліч} =$ $0,9 \cdot U_{Нліч}$ »
1	Результати розрахунків згідно формул (1)...(4)	Тривалість періоду імпульсів на виході зразкового лічильника, $\tau_{зр,ліч}, c$			
2		Тривалість часового інтервалу, який необхідний для проведення повірки лічильника, $t_{розр}, c$			
		Похибка підрахунку кількості імпульсів на виході зразкового лічильника, $\delta_{зр,t}, \%$			
		Кількість імпульсів лічильника, які підраховують під час повірки лічильника, що повіряється, $n_{П.ліч.розр}, імп$			

Продовження таблиці 5

№	Результати	Найменування та літерні позначення та одиниці вимірювання величин	Режими повірки лічильника			
			Режим « $I_{ліч} = I_{Н.ліч};$ $U_{ліч} = U_{Н.ліч}$ »	Режим « $I_{ліч} = 0,1 \cdot I_{Н.ліч};$ $U_{ліч} = U_{Н.ліч}$ »	Режим « $I_{ліч} = I_{Н.ліч};$ $U_{ліч} =$ $0,9 \cdot U_{Н.ліч}$ »	
3	Результати вимірювань згідно пунктів 9...14 порядку виконання роботи	Напруга, $U, В$				
4		Струм, $I, А$				
5		Активна потужність, $P, Вт$				
6		Кількість імпульсів зразкового лічильника, $n_{ЗР.ліч}, імп$	$n_{ЗР.ліч1},$ $імп$			
			$n_{ЗР.ліч2},$ $імп$			
			$n_{ЗР.ліч3},$ $імп$			
7		Середня кількість імпульсів зразкового лічильника, $n_{сер.ЗР.ліч},$ $імп$				
8		Основна похибка лічильника, $\delta_{ліч}, \%$				
9		Самохід (наявність чи відсутність)				
10		Поріг чутливості, $I_{ліч,min}, А$				

10. Зміст висновку стосовно придатності лічильника для подальшого застосування

Контрольні запитання

1 Опишіть конструкцію та принцип дії однофазного електронного лічильника активної електричної енергії.

2 Які основні операції проводять під час метрологічної повірки однофазного електронного лічильника активної електричної енергії?

3 Як встановити необхідний клас точності зразкового електронного лічильника для повірки лічильника?

4 Що таке самохід лічильника? Як перевірити наявність або відсутність самоходу лічильника?

5 Як перевірити поріг чутливості електронного лічильника?

6 Як експериментально визначити та аналітично розрахувати основну похибку електронного лічильника?

7 Як оцінити відповідність електронного лічильника своєму класу точності та встановити придатність лічильника до подальшої експлуатації?

Список літератури

1. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.

2. Нестерчук Д.М. Методи і засоби вимірювань електричних та неелектричних величин: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 206 с.

3. Дорожовець М.М. Основи метрології та електричні вимірювання: навч. посібник / М.М. Дорожовець, Р.М.Івах, В.П.Мотало, І.Д.Пітель, Б.І.Стадник, О.З.Базилевич, П.Р.Гамула, М.І.Грибок, Т.І.Домінюк, О.В.Івахів, І.П.Микитин, І.Р.Петровська, О.П.Ришковський, А.В.Серкіз, Я.В.Сколоздра, П.І.Скорпад; За ред. д-ра техн.наук, проф. Б.І.Стадника. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2011. – 372 с.

Лабораторна робота
ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ РОЗШИРЕННЯ ГРАНИЦЬ
ВИМІРЮВАННЯ ПРИЛАДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ШУНТІВ
ТА ДОДАТКОВИХ РЕЗИСТОРІВ

Мета роботи:

Набуття практичних навичок при розширенні границь вимірювання приладів магнітоелектричної системи (амперметрів та вольтметрів) за допомогою шунтів та додаткових резисторів.

Основні теоретичні відомості

Шунт – це резистивний вимірювальний перетворювач, який призначений для розширення меж вимірювання магнітоелектричних приладів за струмом, який за конструкцією є резистором з чотирма затискачами: струмові затискачі «С» вмикають послідовно в коло вимірюваного струму, а потенціальні затискачі «П» - паралельно до вимірювального механізму чи приладу магнітоелектричної системи з внутрішнім опором $R_{ВМ}$, який переважно працює в режимі мілівольтметра, тобто *шунт є перетворювачем струму в напругу*.

Шунти виготовляють із манганіну у вигляді котушок опору або у формі пластин чи стержнів, запаяних у масивні латунні або мідні наконечники. Шунти поділяються на внутрішні, які входять до складу вимірювального кола приладу і розміщені всередині його корпусу, і зовнішні, які є самостійними вимірювальними перетворювачами. Внутрішні шунти виготовляють переважно на струми до 30 А, а зовнішні - до 10 кА. Зовнішні шунти поділяються на універсальні або взаємозамінні та індивідуальні або частково взаємозамінні. Універсальні шунти можуть використовуватись в комплекті з будь-яким приладом, який має такий самий номінальний спад напруги, як і шунт, а індивідуальні - тільки з конкретними приладами. За призначенням шунти поділяються на стаціонарні та переносні. Як внутрішні, так і зовнішні шунти можуть бути одно- або багато граничними [1, 2].

Аналітично опір однограничного шунта розраховується за формулою

$$R_{ш} = \frac{R_{РА}}{\frac{I_{вим}}{I_{К.РА}} - 1} = \frac{R_{РА}}{p - 1}, \quad (1)$$

де $R_{РА}$ - внутрішній опір амперметра, Ом;

$I_{вим}$ - струм, який необхідно виміряти, А;

$I_{К.РА}$ - верхня границя вимірювання амперметра, А;

p - коефіцієнт шунтування, що показує в скільки разів необхідно розширити границю вимірювання приладу.

Основними метрологічними характеристиками шунтів є: номінальне значення опору $R_{шн}$, номінальне значення спаду напруги $U_{шн}$, номінальне значення струму $I_{шн}$ та клас точності. Номінальні значення спаду напруги на шунті $U_{шн}$ можуть дорівнювати 15; 30; 45; 75; 150; 300 мВ, а номінальний струм $I_{шн} = a \cdot 10^n$, де a – одне із чисел 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 7,5; n – ціле число.

Похибка внутрішнього шунта – це складова основної похибки приладу, частиною якого є шунт. Зовнішні шунти мають свій клас точності, що позначається одним числом c , яке вибирається зі стандартного ряду класу точності: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5, і що дорівнює границі допустимої відносної основної похибки шунта $\delta_{ш.зр}$

$$\delta_{ш.зр} = \pm \frac{\Delta R_{ш.зр}}{R_{ш.н}} \cdot 100\% = \pm c, \% \quad (2)$$

де $\Delta R_{ш.зр}$ – границя допустимої абсолютної похибки шунта, Ом [1, 2, 4].

Додатковий резистор – це резистивний вимірювальний перетворювач напруги в струм, який вмикається послідовно з вимірювальним механізмом і призначений для розширення меж вимірювань за напругою вольтметрів магнітоелектричної, електромагнітної та електродинамічної систем, а також приладів, що мають кола напруги: ватметрів та фазометрів.

Додаткові резистори виготовляють з манганінового ізолюваного проводу, намотаного на пластини або каркаси із ізоляційного матеріалу. Високоомні додаткові резистори виготовляють із литого мікропроводу в скляній ізоляції. Додаткові резистори, які призначені для використання на змінному струмі, мають біфілярне намотування для одержання безреактивного опору.

Додаткові резистори поділяються на внутрішні, які входять до складу вимірювального кола приладу і розміщені всередині його корпусу, і зовнішні, які є самостійними вимірювальними перетворювачами. Зовнішні додаткові резистори поділяються на універсальні або взаємозамінні та індивідуальні або частково взаємозамінні. Внутрішні додаткові резистори виготовляють на номінальні напруги до 600 В, а зовнішні – до 30 кВ. Як внутрішні, так і зовнішні додаткові резистори можуть бути одно- або багато граничними. За призначенням додаткові резистори поділяються на переносні та стаціонарні [1, 2].

Аналітично опір однограничного додаткового резистора розраховується за формулою

$$R_o = R_{PV} \cdot \left(\frac{U_{вим}}{U_{K.PV}} - 1 \right) = R_{PV} \cdot (n - 1), \quad (3)$$

де R_{PV} - внутрішній опір вольтметра, Ом;

$U_{вим}$ - напруга, яку необхідно виміряти, А;

$U_{K.PV}$ - верхня границя вимірювання вольтметра, А;

n - коефіцієнт, що показує в скільки разів необхідно розширити границю вимірювання приладу.

Основними метрологічними характеристиками додаткових резисторів є: номінальне значення опору $R_{дн}$, номінальна напруга $U_{дн}$, номінальне значення струму $I_{дн}$ та клас точності.

Похибка внутрішнього додаткового резистора – це складова основної похибки приладу, частиною якого є додатковий резистор. Зовнішні додаткові резистори мають свій клас точності, що позначається одним числом c , яке вибирається зі

стандартного ряду класу точності: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0, і що дорівнює границі допустимої відносної основної похибки додаткового резистора $\delta_{\Delta R_{\text{д.зр}}}$

$$\delta_{\Delta R_{\text{д.зр}}} = \pm \frac{\Delta R_{\text{д.зр}}}{R_{\text{д.н}}} \cdot 100\% = \pm c, \%, \quad (4)$$

де $\Delta R_{\text{д.зр}}$ – границя допустимої абсолютної похибки додаткового резистора, Ом [1, 2, 4].

Завдання для самостійної підготовки

1. Опрацювати теоретичний матеріал: призначення та основні метрологічні характеристики шунтів, схеми включення приладів через шунти у кола постійного та змінного струму [1, с.90 - 93, 2, с.141 – 143, 3, с. 63 - 64, 4, с.152 - 153].

2. Опрацювати теоретичний матеріал: призначення та основні метрологічні характеристики додаткових резисторів, схеми включення приладів через додаткові резистори у кола постійного та змінного струму [1, с.94 - 97, 2, с.143 – 145, 3, с. 61 - 62, 4, с.153, 154].

Порядок виконання роботи

1. Записати метрологічні характеристики електровимірювальних приладів, що використовуються в роботі, в таблицю 1 звіту до лабораторної роботи.

2. Обчислити величину опору шунта для використання з амперметром $PA1$ при вимірюванні величини струму 3 А за формулою (1) звіту до лабораторної роботи.

3. Обрати зовнішній шунт за довідковою літературою або за Інтернет - джерелами, записати метрологічні характеристики шунта в таблицю 2 звіту до лабораторної роботи.

4. Скласти електричну схему вимірювання струму у колі постійного струму амперметром $PA1$ магнітоелектричної системи, який включений до кола через шунт $R_{ш}$, що наведена на рисунку 1. Джерелом напруги живлення кола постійного струму в схемі є блок живлення постійного струму (БЖ).

Шунт за конструкцією має чотири затискачі: струмові затискачі «С» вмикають послідовно в коло вимірюваного струму, а потенціальні затискачі «П» - паралельно до амперметра магнітоелектричної системи.

Споживачем у схемі є дві секції з освітлювальними лампами $HL1 \dots HL6$, які включені паралельно. Тумблери $S1 \dots S6$ призначені для включення (відключення) ламп та для ступеневого регулювання струму споживача. Для більш точного вимірювання величини струму у колі призначений амперметр $PA2$ електромагнітної системи.

5. Здійснити вимірювання величини струму у колі постійного струму з освітлювальним навантаженням амперметром $PA1$, який включений через обраний шунт, та амперметром $PA2$. Результати вимірювань навести в таблиці 3.

6. Обчислити величину опору додаткового резистора для використання з вольтметром $PV1$ при вимірюванні величини напруги 15 В за формулою (2) звіту до лабораторної роботи.

7. Обрати зовнішній додатковий резистор за довідковою літературою або за Інтернет - джерелами, записати метрологічні характеристики додаткового резистора в таблицю 4 звіту до лабораторної роботи.

8. Скласти електричну схему вимірювання напруги у колі постійного струму вольтметром $PV1$ магнітоелектричної системи, який включений до кола через додатковий резистор R_0 , що наведена на рисунку 2. Для більш точного вимірювання величини напруги у колі призначений вольтметр $PV2$ електромагнітної системи.

9. Здійснити вимірювання величини напруги у колі постійного вольтметром $PV1$, який включений через обраний додатковий резистор, та вольтметром $PV2$. Результати вимірювань навести в таблиці 5.

10. Сформулювати висновок щодо практичної значущості масштабних вимірювальних перетворювачів – шунтів та додаткових резисторів, при використанні з електровимірювальними приладами при вимірюванні електричних величин.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблица 1 - Основні метрологічні характеристики приладів

Найменування позначення	Прилад			
	<i>PV1</i>	<i>PV2</i>	<i>PA1</i>	<i>PA2</i>
Тип приладу				
Система (умовне позначення)				
Границя вимірювання за напругою, <i>B</i>	5,0	30,0	-	-
Границя вимірювання за струмом, <i>A</i>	-	-	1,0	5,0
Клас точності				
Рід струму				
Спосіб установки шкали приладу				
Умови експлуатації				
Напруга випробування, <i>кВ</i>				
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, <i>Гц</i>				
Заводський номер, рік випуску				

3. Обчислення величини опору шунта для використання з амперметром *PA1* при вимірюванні величини струму 3 A за формулою

$$R_{ш} = \frac{R_{PA1}}{\frac{I_{вим}}{I_{K.PA1}} - 1} = \frac{R_{PA1}}{p - 1}, \quad (1)$$

де R_{PA1} - внутрішній опір амперметра *PA1*, *Ом*; $R_{PA1} = 0,24\text{ Ом}$;

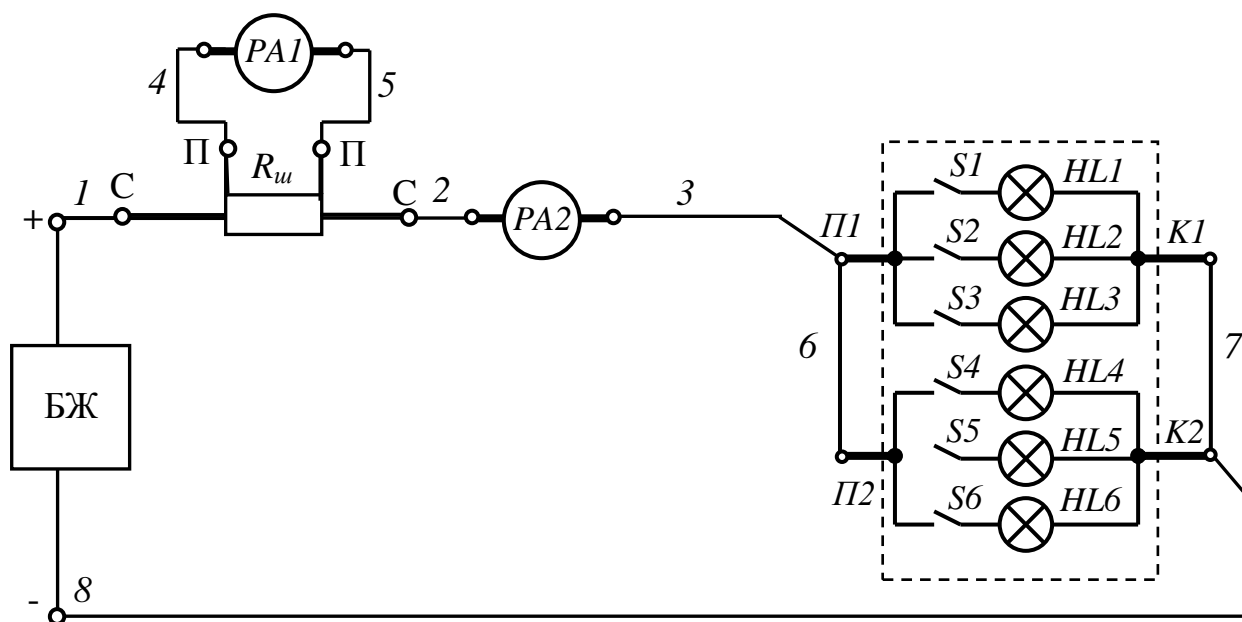
$I_{вим}$ - струм, який необхідно виміряти, *A*; $I_{вим} = 3,0\text{ A}$;

$I_{K.PA1}$ - верхня границя вимірювання амперметра *PA1*, *A*; $I_{K.PA1} = 1,0\text{ A}$;

p - коефіцієнт шунтування, що показує в скільки разів необхідно розширити границю вимірювання приладу.

4. Таблиця 2 - Метрологічні характеристики шунта

Тип	Клас точності	Номінальне значення напруги, мВ	Номінальне значення струму, А	Діапазон робочих температур, °С



БЖ – блок живлення постійного струму; *R_ш* - шунт;

PA1 – амперметр магнітоелектричної системи;

PA2 – амперметр електромагнітної системи; *S1...S6* - тумблери;

HL1...HL6 – освітлювальне навантаження;

П1, П2 – затискачі «початки секцій навантаження»;

K1, K2 – затискачі «кінці секцій навантаження»; 1...8 – з'єднувальні проводи

5. Рисунок 1 - Схема вимірювання струму у колі постійного струму

амперметром *PA1*, який включений до кола через шунт *R_ш*

6. Таблица 3 – Результати вимірювань та розрахунків

Найменування	Амперметр	
	<i>PA1</i>	<i>PA2</i>
Границя вимірювання за струмом, I_K, A	1,0	5,0
Максимальний відлік, $N_{max}, \text{поділок}$		
Постійна приладу, $C_{PA}, A/\text{поділ}$		
Внутрішній опір амперметра, $R_{PA}, \text{Ом}$		
Відлік, $N_i, \text{поділок}$		
Показ амперметра, $I_{вим}, A$		
Коефіцієнт шунтування, p		-
Струм кола, $I_{кола}, A$		
Відносна похибка вимірювання струму, $\delta_I, \%$		

7. Обчислення величини опору додаткового резистора для використання з вольтметром *PV1* при вимірюванні величини напруги 15 В за формулою

$$R_{\delta} = R_{PV1} \cdot \left(\frac{U_{вим}}{U_{K.PV1}} - 1 \right) = R_{PV1} \cdot (n - 1), \quad (2)$$

де R_{PV1} - внутрішній опір вольтметра *PV1*, Ом;

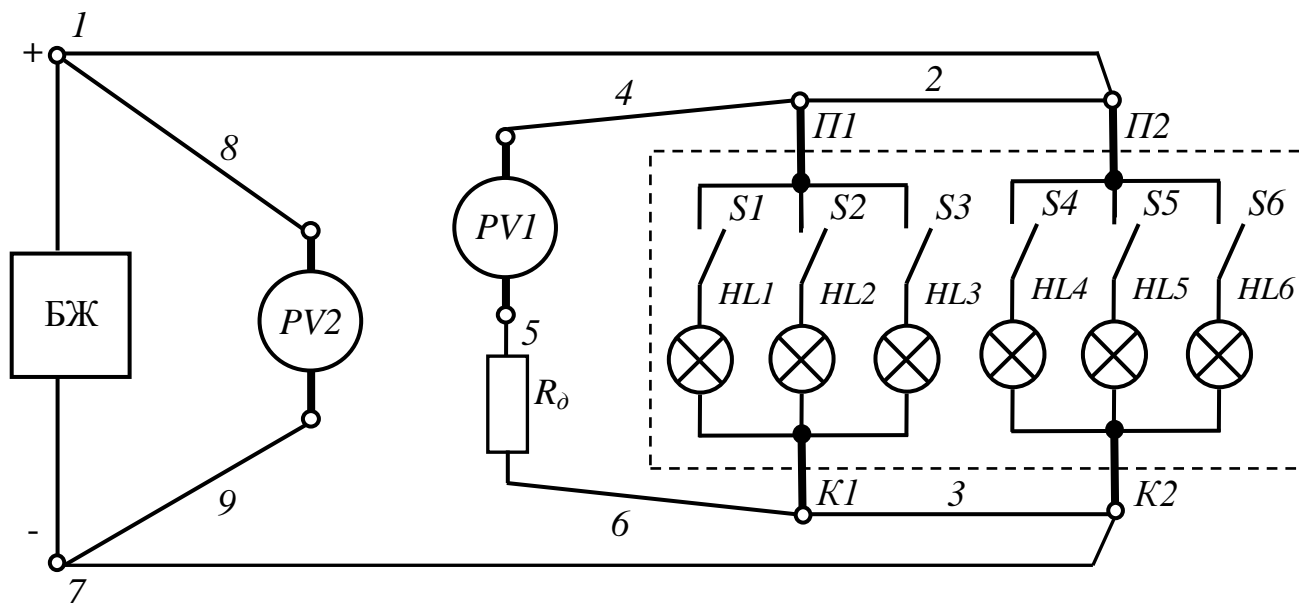
$U_{вим}$ - напруга, яку необхідно виміряти, В;

$U_{K.PV1}$ - верхня границя вимірювання вольтметра *PV1*, В;

n - коефіцієнт, що показує в скільки разів необхідно розширити границю вимірювання приладу.

8. Таблица 4 - Метрологічні характеристики додаткового резистора

Тип	Клас точності	Номінальне значення струму, А	Номінальне значення напруги, мВ	Діапазон робочих температур, °С



БЖ – блок живлення постійного струму; R_{δ} - додатковий резистор;
 PV1 – вольтметр магнітоелектричної системи; PV2 – вольтметр електромагнітної системи; S1...S6 - тумблери; HL1...HL6 – освітлювальне навантаження;
 III, II2 – затискачі «початки секцій навантаження»; K1, K2 – затискачі «кінці секцій навантаження»; 1...9 – з'єднувальні проводи

9. Рисунок 2 - Схема вимірювання напруги у колі постійного струму вольтметром PV1, який включений до кола через додатковий резистор R_{δ}

10. Таблиця 5 – Результати вимірювань та розрахунків

Найменування	Вольтметр	
	PV1	PV2
Границя вимірювання за струмом, U_K, B	5,0	30,0
Максимальний відлік, $N_{max}, \text{поділок}$		
Постійна приладу, $C_{PV}, B/\text{поділ}$		
Внутрішній опір вольтметра, $R_{PV}, \text{Ом}$		
Відлік, $N_i, \text{поділок}$		
Показ вольтметра, $U_{вим}, B$		

Продовження таблиці 5

Найменування	Вольтметр	
	<i>PV1</i>	<i>PV2</i>
Коефіцієнт розширення, <i>n</i>		-
Напруга кола, $U_{\text{кола}}, B$		
Відносна похибка вимірювання напруги, $\delta_U, \%$		

11. Висновок щодо практичної значущості масштабних вимірювальних перетворювачів – шунтів та додаткових резисторів, при використанні з електровимірювальними приладами при вимірюванні електричних величин.

Контрольні запитання та завдання

- 1 Що таке масштабні вимірювальні перетворювачі?
- 2 Яке призначення шунта?
- 3 Наведіть схему включення амперметра через шунт до електричних кіл.
- 4 Як аналітично розрахувати опір шунта для розширення границь вимірювання приладів?
- 5 Як аналітично розрахувати опір багатограничного шунта?
- 6 Яке призначення додаткового резистора?
- 7 Наведіть схему включення вольтметра з додатковим резистором до електричних кіл.
- 8 Як аналітично розрахувати опір додаткового резистора для розширення границь вимірювання приладів?
- 9 Як аналітично розрахувати опір багатограничного додаткового резистора?
- 10 Охарактеризуйте область застосування шунтів та додаткових резисторів.
- 11 Амперметр з границею вимірювання $25 A$ побудований на основі мілівольтметра магнітоелектричної системи класу точності $0,5$ з максимальним від-

ліком шкали 100, зі сталою за напругою $0,1 \text{ мВ/поділ.}$ та внутрішнім опором 250 Ом підключений до шунта. Визначити опір шунта і потужність

12 Визначити опір додаткового резистора, який підключений до вольтметра з границею вимірювання 75 В і власним споживанням потужності $0,95 \text{ Вт}$, якщо границя вимірювання нового вольтметра 300 В .

Список літератури

1. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.

2. Нестерчук Д.М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

3. Панев Б.И. Электрические измерения: Справочник (в вопросах и ответах) / Б.И. Панев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 224с.

4. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; за ред. проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2012. – 544 с.

Лабораторна робота
ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО
ТРАНСФОРМАТОРА СТРУМУ

Мета роботи:

Набуття практичних навичок при роботі з масштабним вимірювальним перетворювачем - вимірювальним трансформатором струму, через який включені амперметр та струмові обмотки ватметра та електронного лічильника активної енергії до однофазних кіл змінного струму

Основні теоретичні відомості

Вимірювальний трансформатор струму (ВТС) – це масштабний вимірювальний перетворювач, призначений для перетворення вимірюваних струмів в стандартні і, як наслідок, для розширення границь вимірювання амперметрів, обмоток струму ватметрів, лічильників електричної енергії та фазометрів у колах змінного струму.

На рисунку 1 наведено умовне графічне позначення вимірювального трансформатора струму [1, 3, 4].

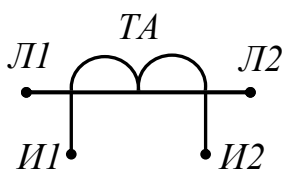


Рисунок 1 - Умовне графічне позначення ВТС

Первинну обмотку вимірювального трансформатора струму позначають великими літерами «Л1» (початок) і «Л2» (кінець), а вторинну – «И1» (початок) і «И2» (кінець).

Основними метрологічними характеристиками ВТС є номінальні значення первинного та вторинного струмів, номінальний коефіцієнт трансформації, частота або розширена область частот, клас точності та номінальний опір навантаження вторинного кола [1...4].

Номинальний коефіцієнт трансформації ВТС дорівнює відношенню номінального первинного струму I_{1H} , до номінального вторинного струму I_{2H}

$$k_{IH} = \frac{I_{1H}}{I_{2H}} = \frac{w_2}{w_1}. \quad (1)$$

Номинальні значення первинного струму ВТС вибирають зі стандартного ряду: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; ...60000 А.

Номинальні значення вторинного струму ВТС переважно дорівнює 5 А, а також для частоти 50 Гц допустимими є значення 1 А та 2 А.

Клас точності ВТС позначається одним числом s , яке вибирається зі стандартного ряду класу точності: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0.

Первинна обмотка ВТС виконується з проводу, переріз якого залежить від номінального первинного струму I_{1H} . При $I_{1H} \geq 100$ А первинна обмотка – це пряма шина, яка проходить крізь вікно магнітопроводу та до якої приєднуються проводи вторинного вимірювального кола. Оскільки опір котушок амперметрів, обмоток струму ватметрів, лічильників електричної енергії, фазометрів невеликий, ВТС працюють в режимі, близькому до режиму короткого замикання, тому кількість приладів у вторинному колі ВТС повинна бути обмежена.

Розглянемо принцип дії вимірювального трансформатора струму більш детально. При проходженні по первинній обмотці струму I_1 в ній створюється сила намагнічування $I_1 \cdot W_1$, яка створює змінний магнітний потік Φ_1 . Цей потік перетинає витки вторинної обмотки, наводить в ній ЕРС E_2 та струм I_2 (якщо прилад підключений до вторинної обмотки). Струм створює силу намагнічування $I_2 \cdot W_2$ та свій магнітний потік Φ_2 . Так як згідно закону Ленца цей потік спрямований назустріч потоку Φ_1 , то сумарний магнітний потік в осерді трансформатора невеликий. Отже, в вторинній обмотці виникає невелика ЕРС, яка викликає появу порівняно невеликого вторинного струму I_2 в практично замкнутій на коротко вторинній обмотці.

Слід суворо слідкувати, щоб вторинна обмотка при підключеній до мережі живлення первинній не залишалась розімкнутою, тому що:

- при розмиканні вторинного кола зникає зустрічний магнітний потік Φ_2 ;
- по осердю починає проходити великий змінний потік Φ_1 , який викликає появу великої ЕРС E_2 (до тисячі вольт), так як вторинна обмотка має велику кількість витків;
- наявність такої ЕРС може призвести до пробоя ізоляції вторинної обмотки, що є небезпечним для обслуговуючого персоналу;
- великий магнітний потік Φ_1 призводить до появи великих вихрових струмів в магнітопроводі;
- магнітопровід починає нагріватися, починає руйнуватися ізоляція обмоток трансформатора.

Якщо необхідно відімкнути чи замінити прилади у вторинному контурі ВТС, який підключений до мережі, слід спочатку замкнути накоротко вторинну обмотку, для цього в ВТС передбачаються спеціальні перемички.

ВТС у вимірювальних колах змінного струму використовують у трьох випадках:

- для зменшення струму у вимірювальному приладі, якщо вимірювальний струм більший, ніж границя вимірювання амперметра або іншого струмового приладу;
- для збільшення струму у вимірювальному приладі, якщо вимірювальний струм менший, ніж границя вимірювання амперметра або іншого струмового приладу;
- для захисту обслуговуючого персоналу і вимірювальних приладів при вимірюваннях у колах високої напруги, причому, у такому разі, номінальний коефіцієнт трансформації ВТС може дорівнювати одиниці [1...4].

За призначенням ВТС поділяються на *стаціонарні* та *переносні*. Переносні лабораторні трансформатори переважно є *багатограничними* з багатосекційними первинними і вторинними обмотками. Для вимірювання струму в лінії без її розриву застосовують спеціальні ВТС з роз'ємним осердям, які мають назву *струмо-*

вимірювальні кліщі. Для вимірювань струмів у проводах, які знаходяться під високою напругою, такі ВТС розміщують на кінці довгої ізольованої штанги.

Значення вимірюваного струму у колі $I_{\text{кола}}$ визначається за формулою

$$I_{\text{кола}} = k_{IH} \cdot I_{2PA}, \quad (2)$$

де I_{2PA} – вимірюваний струм за показаннями амперметра.

Приклад 1. Визначити номінальний коефіцієнт трансформації ВТС та очікуване показання амперметра у вторинному колі при вимірюванні струму, якщо орієнтовне значення якого дорівнює 45 A .

Розв’язання. Так як орієнтовне значення струму дорівнює 45 A , то з ряду стандартних номінальних первинних струмів обираємо первинний номінальний струм $I_{IH} = 50 \text{ A}$, а вторинний стандартний номінальний струм дорівнює $I_{2H} = 5 \text{ A}$, тобто $k_{IH} = 50/5$. Очікуване показання амперметра у вторинному колі буде дорівнювати

$$I_{2PA} = \frac{I_{\text{кола}}}{k_{IH}} ; I_{2PA} = \frac{45}{50/5} = 4,5 \text{ A}.$$

Завдання для самостійної підготовки

1. Опрацювати теоретичний матеріал за темою «Вимірювальні трансформатори струму та напруги» [1, с.158 - 161, 2, с. 173 - 176, 3, с.110 – 119, 4, с.149 - 154].

2. Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені у додатку А посібника. Відповіді навести в звіті з лабораторної роботи – таблиця 5.

Порядок виконання роботи

1. Записати метрологічні характеристики електровимірювальних приладів та електронного лічильника, що використовуються в роботі, відповідно в таблиці 1 та 2 звіту до лабораторної роботи.

2. Записати технічну характеристику вимірювального трансформатора струму в таблицю 3 звіту до лабораторної роботи.

3. Скласти електричну схему вимірювання струму та активної потужності у однофазному колі змінного струму амперметром PA та ватметром PW , які включені до кола через вимірювальний трансформатор струму TA , що наведена на рисунку 1.

4. Здійснити вимірювання струму та активної потужності у однофазному колі змінного струму за показаннями амперметра PA та ватметра PW , які включені до кола через вимірювальний трансформатор струму TA .

5. Визначити величини первинного струму та первинної активної потужності з урахуванням номінального коефіцієнту трансформації трансформатора струму TA за формулами (1) та (2) звіту до лабораторної роботи. Результати вимірювань та розрахунків навести в таблиці 4 звіту до лабораторної роботи.

6. Скласти електричну схему вимірювання активної електроенергії у однофазному колі змінного струму електронним лічильником PWh , який включений до кола через вимірювальний трансформатор струму TA , що наведена на рисунку 2.

7. Здійснити вимірювання активної електроенергії у однофазному колі змінного струму за показаннями електронного лічильника PWh , який включений до кола через вимірювальний трансформатор струму TA .

8. Визначити величину первинної активної електроенергії з урахуванням номінального коефіцієнту трансформації трансформатора струму TA за формулою (3) звіту до лабораторної роботи. Результати вимірювань та розрахунків навести в таблиці 4 звіту до лабораторної роботи.

9. Сформулювати висновок щодо практичної значущості вимірювального трансформатора струму, як масштабного вимірювального перетворювача, для розширення границь вимірювань електровимірювальних приладів за струмом.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.
2. Таблица 1 - Метрологічні характеристики приладів

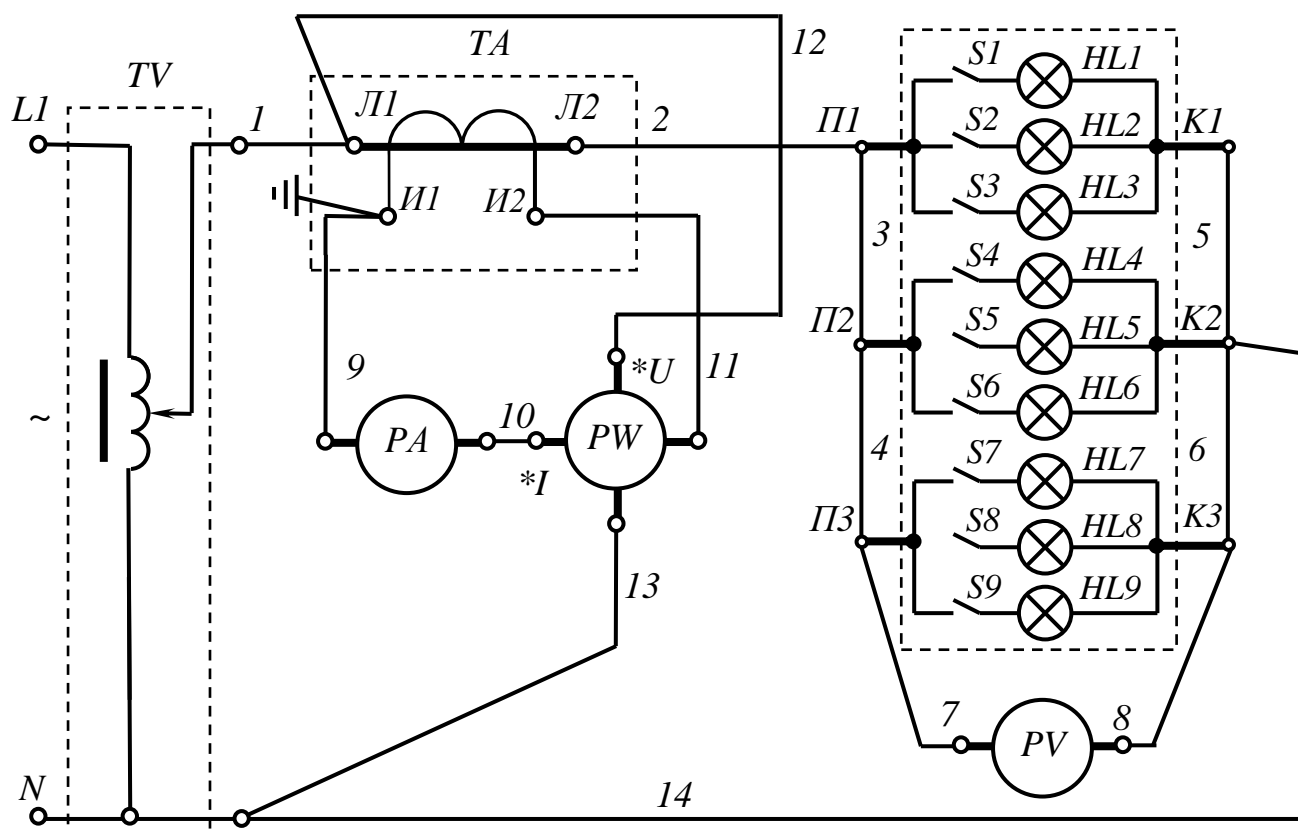
Найменування позначення	Прилад		
	<i>PV</i>	<i>PA</i>	<i>PW</i>
Тип приладу			
Система (умовне позначення)			
Границя вимірювання за напругою, <i>B</i>			
Границя вимірювання за струмом, <i>A</i>			
Клас точності			
Рід струму			
Спосіб установки шкали приладу			
Умови експлуатації			
Напруга випробування, <i>кВ</i>			
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, <i>Гц</i>			
Заводський номер, рік випуску			

3. Таблица 2 - Основні метрологічні характеристики електронного лічильника

Метрологічні характеристики	Величина
Тип	
Номінальний струм, $I_{НЛ}, A$	
Максимальний струм, $I_{Л, max}, A$	
Номінальна напруга, $U_{НЛ}, B$	
Номінальна частота, $f_H, Гц$	
Номінальне передаточне число, $A_H, \text{имп/кВт}\cdot\text{год}$	
Номінальна стала, $C_H, \text{Вт}\cdot\text{год/имп}$	
Клас точності	
Заводський номер, рік випуску	

4. Таблиця 3 - Паспортні дані вимірювального трансформатора струму

Тип	Номінальний первинний струм, А	Номінальний вторинний струм, А	Частота або область частот, Гц	Клас точності	Номінальне навантаження, Ом

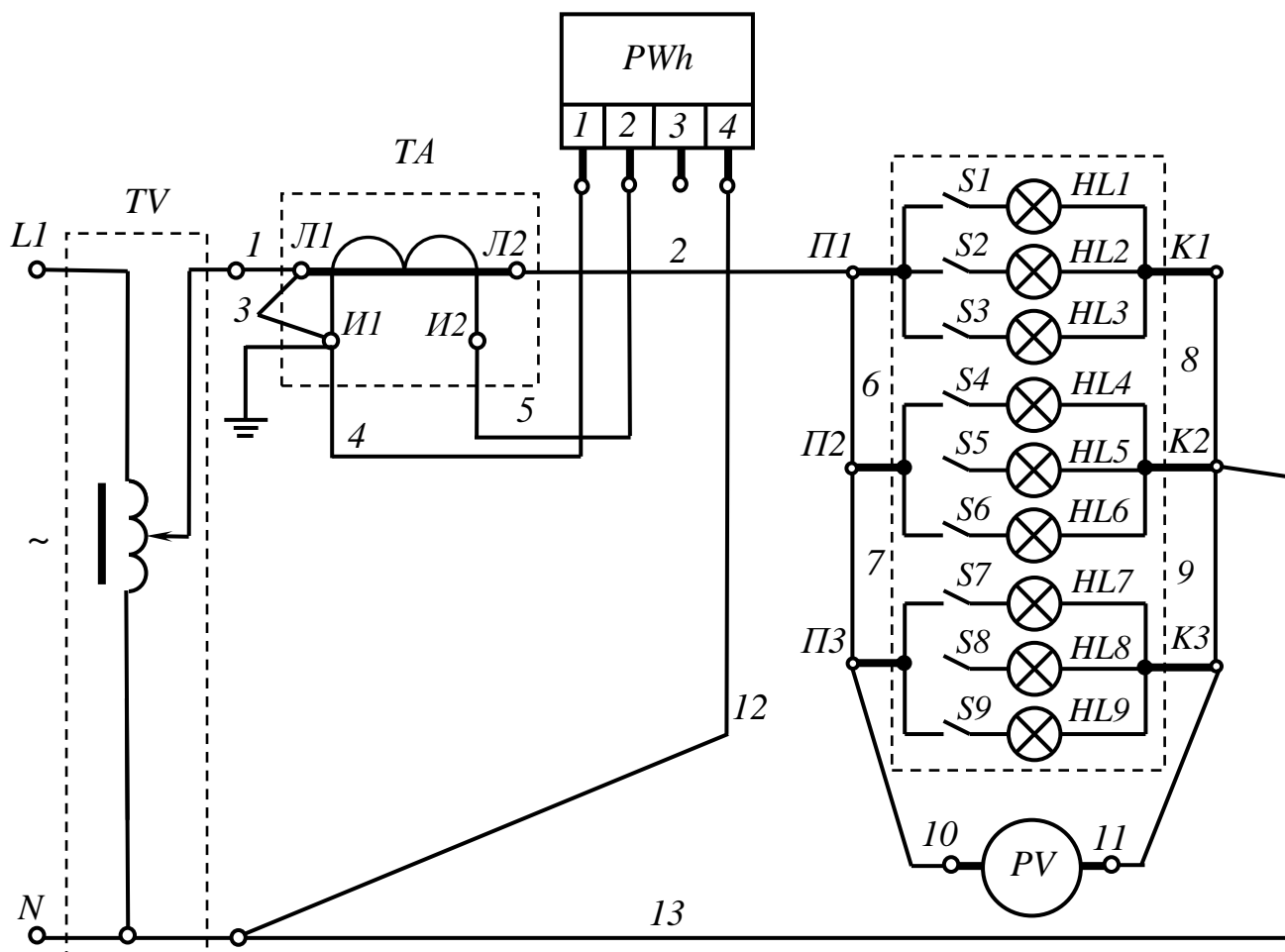


TV – лабораторний автотрансформатор; *PV* – вольтметр; *PA* – амперметр;
PW – ватметр; *TA* – вимірювальний трансформатор струму; *S1...S9* - тумблери;
 1...14 – з'єднувальні проводи; *HL1...HL9* – освітлювальне навантаження;
П1...П3 – затискачі «початки секцій навантаження»;
К1...К3 – затискачі «кінці секцій навантаження»

5. Рисунок 1 - Схема вимірювання струму та активної потужності у однофазному колі змінного струму амперметром *PA* та ватметром *PW*, які включені до кола через вимірювальний трансформатор струму *TA*

6. Таблица 4 - Результаты измерений та обчислень

Коефіцієнт трансформації K_{IH}	Показания приладів			Величини, що обчислені	
	U_{PV}, B	I_{2PA}, A	P_{2PW}, Bm	$I_{I_{кола}}, A$	$P_{I_{кола}}, Bm$
5/5					
10/5					



TV – лабораторний автотрансформатор; PV – вольтметр; TA – вимірювальний трансформатор струму; PWh – електронний лічильник активної енергії; $S1 \dots S9$ - тумблери; $1 \dots 13$ – з'єднувальні проводи; $HL1 \dots HL9$ – освітлювальне навантаження; $\Pi 1 \dots \Pi 3$ – затискачі «початки секцій навантаження»; $K1 \dots K3$ – затискачі «кінці секцій навантаження»

7. Рисунок 2 - Схема вимірювання активної електроенергії у однофазному колі змінного струму за показаннями електронного лічильника PWh , який включений до кола через вимірювальний трансформатор струму TA

8. Таблиця 4 - Результати вимірювань та обчислень

Коефіцієнт трансформації K_{IH}	Величини, що вимірювались				Величини, що обчислені
	U, V	час роботи установки, год	попередні, $W_0, кВт \cdot год$	поточні, $W_1, кВт \cdot год$	дійсна витрата електроенергії, $\Delta W, кВт \cdot год$
5/5					
10/5					

9. Обчислення величин первинних струму та активної потужності з урахуванням номінального коефіцієнту трансформації за струмом k_{IH} трансформатора струму TA за формулами (1) та (2) відповідно

$$I_{1\text{кола}} = k_{IH} \cdot I_{2PA}; \quad (1)$$

$$P_{1\text{кола}} = k_{IH} \cdot P_{2PW}. \quad (2)$$

10. Обчислення величини первинної активної енергії з урахуванням номінального коефіцієнту трансформації за струмом k_{IH} трансформатора струму TA за формулою

$$\Delta W_{1\text{кола}} = k_{IH} \cdot (W_1 - W_0). \quad (3)$$

11. Висновок щодо практичної значущості вимірювального трансформатора струму, як масштабного вимірювального перетворювача, при розширенні границь вимірювань за струмом електровимірювальних приладів.

12. Таблиця 5 - Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

Контрольні запитання та завдання

1 Чому вимірювальний трансформатор струму є масштабним?

2 Опишіть конструкцію вимірювального трансформатора струму.

3 В яких умовах працює вимірювальний трансформатор струму та чому?

4 Чому не можна розривати вторинну обмотку вимірювального трансформатора струму при включеній первинній?

5 Що таке номінальний коефіцієнт трансформації трансформатора струму? Як аналітично він визначається?

6 Як включається вимірювальний трансформатор струму з вимірювальним приладом до кола змінного струму?

7 Яку назву має наведений чисельний ряд: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; ...60000A?

8 До однофазного кола змінного струму включений феродинамічний ватметр з границею вимірювання за струмом 5 A та з границею вимірювання за напругою 75 B , з максимальним відліком 150 поділок через вимірювальні трансформатори струму $80/5$ і напруги $500/100$. Визначити активну потужність однофазного кола змінного струму, якщо світловий покажчик ватметра зупинився на позначці шкали «70». Представити схему вимірювання.

9 Розрахувати значення первинного струму у колі, якщо показ амперметра, який підключений до вторинного кола вимірювального трансформатора струму з номінальним коефіцієнтом $100/5$, дорівнює $4,2\text{ A}$.

10 Визначити активну потужність у вторинному колі вимірювального трансформатора струму з номінальним коефіцієнтом трансформації $50/5$, до якого підключений електродинамічний ватметр. Стала приладу дорівнює 5 Вт/поділ. , а стрілочний покажчик приладу зупинився на позначці шкали «90».

11 Експериментатору необхідно обрати вимірювальні трансформатори струму та напруги, якщо відомо, що напруга живлення однофазного кола змінного струму дорівнює 450 B , а струм електричного навантаження дорівнює 6 A . Представити схему вимірювання.

Список літератури

1. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; за ред. проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2012. – 544 с.
2. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник / [В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т.Володарський, В.В.Грабко] – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 538 с.
3. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.
4. Нестерчук Д.М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

Лабораторна робота
ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ
ОДИНАРНИМ МОСТОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи:

Набуття практичних навичок при вимірюванні електричного опору одинарним мостом постійного струму та при опрацюванні результатів експериментальних досліджень з поданням результату вимірювання.

Основні теоретичні відомості

Одинарний (чотириплечий) вимірювальний міст постійного струму використовують для вимірювання електричних опорів у діапазоні від 10^{-4} Ом до 10^{10} Ом. Об'єктами вимірювання одинарних мостів в діапазоні від 1 Ом до 10^6 Ом є: резистори, додаткові опори до вольтметрів, опори резистивних подільників напруги, з'єднувальні провідники, навої трансформаторів та котушок індуктивностей. Вимірювальний міст складається з чотирьох резисторів R_A , R_B , R_x , $R_{нор}$, що мають назву *плечі моста* – рисунок 1 [1...3].

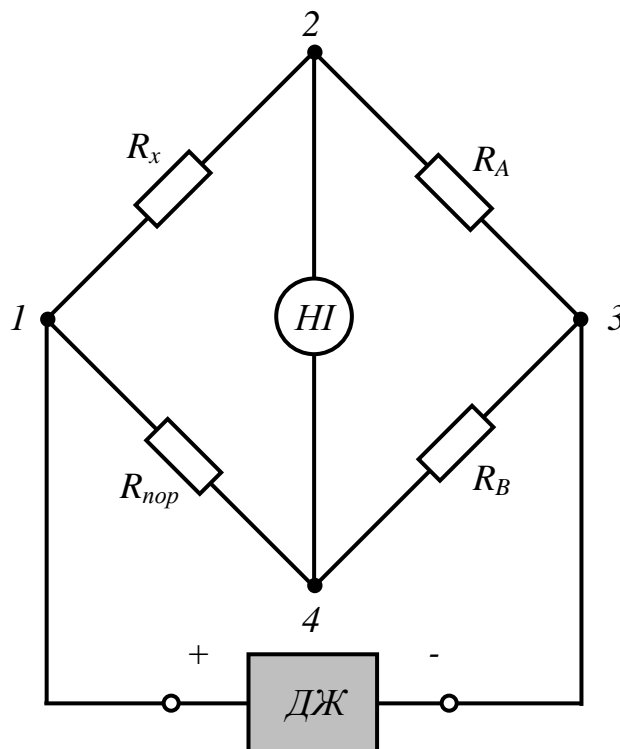


Рисунок 1 – Одинарний (чотириплечий) вимірювальний міст постійного струму

Точки 1, 2, 3, 4 - це *вершини* моста, а гілки між протилежними вершинами мають назву *діагоналі моста*. В одну з діагоналей вмикають джерело живлення (діагональ живлення), а іншу підключається нуль – індикатор або покажчик рівноваги (вимірювальна діагональ). На рисунку 1 позначені: R_x – об’єкт, опір якого необхідно виміряти; R_{nop} – плече порівняння; R_A та R_B – плечі відношення.

Рівновага моста досягається певним співвідношенням між опорами плечей моста, за якої напруга в вимірювальній діагоналі дорівнює нулю. Умова рівноваги має вигляд [1]

$$R_x \cdot R_B = R_{nop} \cdot R_A. \quad (1)$$

Після зрівноваження моста опір R_x можна визначити за відомими значеннями решти трьох опорів. Для зручності плече порівняння R_{nop} виконують регульованим, у вигляді багатодакадного магазину опору з достатньою плавністю зміни (дискретністю). Плечі відношення R_A та R_B виконують у вигляді резистивного подільника з коефіцієнтом поділу, кратним до 10^n . Якщо позначити відношення $R_A/R_B = N$, то результат вимірювання буде дорівнювати

$$R_x = R_{nop} \cdot \frac{R_A}{R_B} = R_{nop} \cdot 10^n = R_{nop} \cdot N. \quad (2)$$

Для вимірювання порівняно малих опорів (від 10^{-4} Ом до 10^2 Ом) використовують чотирипровідне під’єднання R_x [2, 3]. При визначенні результату вимірювань опору R_x одинарним мостом існують такі джерела непевності:

- непевності значень опору плеча порівняння моста R_{nop} та відношення $R_A/R_B = N$, що є складовими формули (2);
- дискретність зміни плеча порівняння R_{nop} ;
- вплив опорів з’єднувальних проводів [1].

Завдання для самостійної підготовки

1. Опрацювати теоретичний матеріал за темою «Вимірювальні мости та вимірювальні компенсатори» [1, с.243 - 257, 2, с. 451 - 463, 3, с.268 – 272, 4, с.215 – 219].

2. Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені у [5, с. 250 - 252]. Відповіді навести в звіті з лабораторної роботи – таблиця 1.

Порядок виконання роботи

1. Записати метрологічні характеристики одинарного вимірювального моста постійного струму в таблицю 2.

2. Визначити орієнтовне значення вимірюваного опору R_x за даними електричних параметрів об'єкту, що досліджується. Результат визначення навести в таблиці 3.

3. Визначити оптимальні значення опорів плечей моста:

- значення мінімального опору плеча порівняння $R_{пор, min}$, за якого можна знехтувати непевністю $u_{B, rel}(R_x)_{\Delta R_{KB}}$, яка зумовлена дискретним (квантованим) відліком плеча порівняння, за формулою (1) звіту до лабораторної роботи;

- оптимальне значення опору $R_{пор}$;

- множник із умови рівноваги моста (4) звіту до лабораторної роботи.

Результат обчислень навести в таблиці 3.

4. Скласти електричне коло за схемою, яка наведена на рисунку 1 роботи, та встановити на мості значення опорів плечей порівняння $R_{пор}$ та множника N , які визначені при розрахунках.

5. Ввімкнути внутрішнє джерело живлення моста.

6. Перевірити готовність схеми до виконання експерименту при збільшенні чутливості нуль-індикатора на мінімально можливу величину і спостерігати за його показами, при цьому слід звертати увагу:

- якщо стрілочний вказівник нуль-індикатора відхиляється на 1...2 поділки, то це свідчить про відповідну чутливість нуль-індикатора і можливість виконання зрівноважування моста;

- якщо стрілочний вказівник різко відхиляється від нульового положення, то це свідчить про те, що міст не готовий до виконання експерименту. У такому разі

необхідно вимкнути напругу джерела живлення і нуль – індикатор та перевірити правильність всіх попередніх встановлень.

7. Якщо засіб вимірювання готовий до зрівноваження, то регулюванням плеча порівняння R_{nop} , починаючи з найменшої декади, досягти нульового показу нуль – індикатора спочатку на найменшій чутливості, а далі - перемикаючи чутливість на вищий ступінь. Слід відзначити, що чутливість нуль – індикатора вважається достатньою, якщо зміна опору порівняння R_{nop} на крок квантування ΔR_{KB} зумовлює помітну зміну показу нуль – індикатора на 0,5...1 поділки.

8. Після зрівноваження моста регулятор чутливості нуль – індикатора встановити на мінімальну чутливість і вимкнути джерело живлення моста. Отриманий відлік опору плеча порівняння $R_{nop,e}$ навести в таблиці 3.

9. За отриманим відліком плеча порівняння $R_{nop,e}$ та множника N обчислити значення вимірюваного опору за формулою (5) звіту до лабораторної роботи. Результат навести в таблиці 3.

10. Обчислити відносну стандартну непевність $u_{CB,rel}(R_x)$ результату вимірювання опору за формулою (2) звіту до лабораторної роботи. Результат обчислення навести в таблиці 3.

11. Обчислити стандартну непевність $u_{CB}(R_x)$ результату вимірювання опору за формулою (6) звіту до лабораторної роботи. Результат обчислення навести в таблиці 3.

12. Обчислити розширену непевність результату вимірювання опору $U_P(R_x)$ при рівні довіри $p = 0,95$ і при коефіцієнті розширення $k_P = 1,96$ за формулою (7) звіту до лабораторної роботи. Результат обчислення навести в таблиці 3.

13. Результат вимірювання опору $R_{вим}$ подати у стандартній формі за формулою (8) звіту до лабораторної роботи. Результат обчислення навести в таблиці 3.

14. Сформулювати висновок щодо практичної значущості вимірювального моста постійного струму при вимірюванні величин електричного опору.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	

3. Таблиця 2 – Метрологічні характеристики одинарного моста

Найменування параметра		Величина
Тип		P4833
Клас точності одинарного моста, $\delta_{м.гр}$		0,1
Максимальне значення опору плеча порівняння, $R_{пор.мах}, Ом$		1111,10
Можливі значення множника N , що визначає відношення, $N = \frac{R_A}{R_B}$		$10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-2}; 10^{-1}; 1;$ $10; 10^2; 10^3$
Крок квантування плеча порівняння, $\Delta R_{KB}, Ом$		0,01
Діапазон вимірювання опорів, $Ом$		$10^{-4} \dots 10^6$
Значення декад, $Ом$		100; 10; 1; 0,1; 0,01
Живлення	Автономне: - від внутрішніх батарей; - від однофазної мережі змінного струму	
Максимальна потужність розсіювання, $Вт$		0,001 $Вт$ для 0,01 $Ом$; 0,01 $Вт$ для 0,1 $Ом$; 0,1 $Вт$ для 1 $Ом$
Габаритні розміри, $мм$		250x390x190
Маса, $кг$		8,0

3. Аналітичні формули для визначення оптимальних значень опорів плечей моста [1, 2, 3]:

- значення мінімального опору плеча порівняння $R_{пор,мин}$, за якого можна знехтувати непевністю $u_{B,rel}(R_x)_{\Delta R_{KB}}$, яке визначається за формулою

$$R_{nop,min} = \frac{0,5 \cdot \Delta R_{KB} \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot \frac{1}{5} \cdot u_{B,rel}(R_B)_{R_m}}, \quad (1)$$

де $u_{B,rel}(R_x)_{R_m}$ - відносна стандартна непевність показів моста, який має клас точності $\delta_{m,зр}$, %;

$$u_{B,rel}(R_x)_{R_m} = \frac{\delta_{m,зр}}{\sqrt{3}}. \quad (2)$$

За умовою, якщо

$$u_{B,rel}(R_x)_{\Delta R_{KB}} \leq \frac{1}{5} \cdot u_{B,rel}(R_x)_{R_m}, \quad (3)$$

тоді можна знехтувати непевністю $u_{B,rel}(R_x)_{\Delta R_{KB}}$, яка зумовлена дискретним (квантованим) відліком плеча порівняння;

- оптимальне значення опору R_{nop} має бути кратним до значення вимірюваного опору R_x , а вибрати його можна з діапазону $[R_{nop,min} \dots R_{nop,max}]$;

- значення множника N визначається із умови рівноваги моста

$$N = \frac{R_x}{R_{nop}}, \quad (4)$$

та обирається з ряду можливих значень 10^{-4} ; 10^{-3} ; 10^{-2} ; 10^{-1} ; 1; 10; 10^2 ; 10^3 для моста.

4. Обчислення значення вимірюваного опору $R_{x,вим}$ за отриманим відліком плеча порівняння $R_{nop,e}$ та множника N здійснюється за формулою [1]

$$R_{x,вим} = R_{nop,e} \cdot N. \quad (5)$$

5. Обчислення відносної стандартної непевності $u_{cB,rel}(R_x)$ результату вимірювання опору здійснюється за формулою (2) звіту до лабораторної роботи.

6. Обчислення стандартної непевності $u_{cB}(R_x)$ результату вимірювання опору здійснюється за формулою [1...3]

$$u_{cB}(R_x) = \frac{u_{cB,rel}(R_x) \cdot R_{x,вим}}{100}. \quad (6)$$

7. Обчислення розширеної непевності результату вимірювання опору $U_p(R_x)$ при рівні довіри $p = 0,95$ і при коефіцієнті розширення $k_p = 1,96$ здійснюється за формулою [1...3]

$$U_p(R_x) = k_p \cdot u_{cB}(R_x) = 1,96 \cdot u_{cB}(R_x). \quad (7)$$

8. Результат вимірювання опору $R_{вим}$ подати у стандартній формі за формулою

$$R_{вим} = (R_{x,вим} \pm U_p(R_x)). \quad (8)$$

9. Таблиця 3 – Результати вимірювань та розрахунків

Найменування	Величина
Орієнтовне значення вимірюваного опору, R_x , Ом	
Значення мінімального опору плеча порівняння, $R_{пор, min}$, Ом	
Оптимальне значення опору, $R_{пор}$, Ом	
Множник N	
Отриманий відлік опору плеча порівняння, $R_{пор, е}$, Ом	
Значення вимірюваного опору, $R_{x, вим}$, Ом	
Відносна стандартна непевність, $u_{cB, rel}(R_x)$, %	
Стандартна непевність, $u_{cB}(R_x)$, Ом	
Розширена непевність результату вимірювання опору, $U_p(R_x)$, Ом	
Результат вимірювання опору, $R_{вим}$, Ом	

10. Зміст висновку щодо практичної значущості вимірювального моста постійного струму при вимірюванні величин електричного опору.

Контрольні запитання

1 З яких елементів складається одинарний вимірювальний міст постійного струму?

2 Опишіть принцип дії одинарного вимірювального моста. Що таке зрівноваження та збіжність вимірювального моста?

3 Чому одинарний міст можна застосовувати для вимірювання малих опорів?

4 Як досягти нехтовно малого впливу з'єднувальних проводів на результат вимірювання?

5 Як експериментально перевірити достатність чутливості нуля-індикатора для виконання вимірювань із необхідною точністю?

6 Які складові має непевність результату вимірювання опору одинарним вимірювальним мостом постійного струму?

7 Як обчислити розширену непевність результату вимірювання опору?

Список літератури

1. Дорожовець М.М. Основи метрології та електричні вимірювання: навч. посібник / М.М. Дорожовець, Р.М.Івах, В.П.Мотало, І.Д.Пітель, Б.І.Стадник, О.З.Базилевич, П.Р.Гамула, М.І.Грибок, Т.І.Домінюк, О.В.Івахів, І.П.Микитин, І.Р.Петровська, О.П.Ришковський, А.В.Серкіз, Я.В.Сколоздра, П.І.Скорпад; За ред. д-ра техн.наук, проф. Б.І.Стадника. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2011. – 372 с.

2. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.

3. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; за ред. проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2012. – 544 с.

4. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник / [В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т.Володарський, В.В.Грабко] – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 538 с.

5. Нестерчук Д.М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

Лабораторна робота
ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН
ЦИФРОВИМИ ВИМІРЮВАЛЬНИМИ ПРИЛАДАМИ

Мета роботи:

Набуття практичних навичок при проведенні вимірювань електричних величин цифровими вимірювальними приладами.

Основні теоретичні відомості

Цифрові вимірювальні прилади (ЦВП) – це вимірювальні прилади, в яких вимірювана величина автоматично в результаті квантування, дискретизації, порівняння та цифрового кодування і відповідних обчислень постає у цифровому коді. ЦВП характеризуються підвищеною точністю, швидкодією, чутливістю при вимірюванні змінних величин, здатністю видачі результатів вимірювань у кодованій формі безпосередньо інформаційно-вимірювальній системі та здатністю здійснення повної автоматизації складних процедур прямих, непрямих, сукупних та сумісних вимірювань [1, 2].

Основними функціональними вузлами ЦВП є: вхідний аналоговий перетворювач (ВАП), аналого-цифровий перетворювач (АЦП), обчислювальний пристрій (ОП), цифровий відліковий пристрій (ЦВП) і пристрій управління (УП).

Вимірювана величина $x(t)$ спочатку перетворюється за допомогою ВАП в іншу величину $x'(t)$, зручну для подальшого аналого-цифрового перетворення. Наприклад, ВАП перетворює напругу або силу змінного струму в напругу постійного струму, електричний опір в напругу постійного струму, виконує масштабне перетворення вхідного сигналу. Аналого-цифровий перетворювач перетворює величину $x'(t)$, у відповідний їй цифровий код N_x , який або надходить безпосередньо на цифровий відліковий пристрій ЦВП, або піддається додатковому опрацюванню в обчислювальному пристрої (ОП). Зокрема, ОП може усереднювати результати декількох вимірювань для зменшення випадкової похибки та визначати параметри сигналів, наприклад, частоти на основі інформації про період та інші сервісні функції.

Цифровий відліковий пристрій містить дешифратор для перетворення вихідного цифрового коду АЦП або ОП в десятковий цифровий код і табло індикації результату вимірювання.

Вихідний цифровий код АЦП або ОП може надійти також на цифровий реєструвальний пристрій або на вхід ЕОМ і використовуватись у системах керування об'єктами. Роботою всіх вузлів ЦВП керує пристрій управління (ПУ) [1, 2, 4].

Залежно від виду вимірюваних величин ЦВП поділяться на: вольтметри постійного та змінного струму, амперметри змінного струму, вимірювачі частоти та інтервалу часу, омметри та мости постійного та змінного струму, комбіновані прилади – мультиметри, вимірювачі потужності, фазометри та спеціалізовані ЦВП, які призначені для вимірювання температури, витрати, швидкостей та механічних напружень. ЦВП конструктивно виконуються у вигляді переносних лабораторних приладів, приладів плоскої форми для стандартних стійок, панельних приладів, переносних малогабаритних приладів з автономним живленням і автономних кишенькових цифрових приладів.

У стандартних стійках може бути набрана будь-яка необхідна вимірювальна система, що складається з цифрових приладів та перетворювачів [1, 4].

Завдання для самостійної підготовки

1. Опрацювати теоретичний матеріал за темою «Цифрові вимірювальні прилади» [1, с.211 - 230, 2, с. 240 - 275, 3, с.142 – 160, 3, с.254 - 264].

2. Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені у додатку Б посібника. Відповіді навести в звіті з лабораторної роботи – таблиця 9.

Порядок виконання роботи

1. Записати метрологічні характеристики цифрових приладів та електронного лічильника, що використовуються в роботі в таблиці 1...5 звіту до лабораторної роботи.

2. Скласти електричне коло вимірювання електричних величин цифровими приладами за схемою, що наведена на рисунку 1.

3. Здійснити вимірювання цифровими приладами величин сили струму, напруги, активної потужності та активної енергії у однофазному колі змінного струму при різних струмових навантаженнях. Результати вимірювань навести в таблиці 6.

4. Здійснити цифровим мультиметром вимірювання величин активного опору та температури об'єкту, а також сили струму, напруги та ємності споживача у однофазному колі змінного струму при різних струмових навантаженнях. Результати вимірювань навести в таблиці 7.

5. Сформулювати висновок стосовно значущості цифрових приладів в процесах вимірювань електричних величин.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 - Основні метрологічні характеристики електронного лічильника

Найменування характеристики	Величина
Тип	
Номинальний струм, $I_{НЛ}, A$	
Максимальний струм, $I_{Л, max}, A$	
Номинальна напруга, $U_{НЛ}, B$	
Номинальна частота, $f_H, Гц$	
Номинальне передаточне число, $A_H, імн/кВт·год$	
Номинальна стала, $C_H, Вт·год/імн$	
Клас точності	

3. Таблица 2 – Метрологічні характеристики цифрового амперметра

Найменування характеристики	Величина
Тип	
Призначення	
Діапазон вимірювання струму, A	
Напруга живлення, B	
Похибка вимірювання струму, %	
Діапазон робочих температур, $^{\circ}C$	
Ступінь захисту приладу	
Потужність, що споживається приладом, Bt	
Максимальний струм перевантаження, A	

4. Таблица 3 – Метрологічні характеристики цифрового вольтметра

Найменування характеристики	Величина
Тип	
Призначення	
Діапазон вимірювання напруги, B	
Дискретність індикації, B	
Похибка вимірювання напруги, %	
Діапазон робочих температур, $^{\circ}C$	
Потужність, що споживається приладом, Bt	
Габаритні розміри, mm	

5. Таблиця 4 – Метрологічні характеристики цифрового ватметра

Найменування характеристики	Величина
Тип	
Призначення	
Діапазон вимірювання потужності, <i>Вт</i>	
Напруга живлення, <i>В</i>	
Похибка вимірювання потужності, %	
Діапазон робочих температур, $^{\circ}\text{C}$	
Ступінь захисту приладу	
Потужність, що споживається приладом, <i>Вт</i>	
Кількість розрядів індикатора	

6. Таблиця 5 – Метрологічні характеристики цифрового мультиметра

Найменування характеристики	Величина
Тип	
Призначення	
Діапазон вимірювання величин: - напруги, <i>В</i> - сили струму, <i>А</i> - активного опору, <i>Ом</i> - ємності, <i>мкФ</i> - температури, $^{\circ}\text{C}$	
Діапазон робочих температур, $^{\circ}\text{C}$	
Діапазон точності процесів вимірювання величин: - напруги, <i>В</i> - сили струму, <i>А</i> - активного опору, <i>Ом</i> - ємності, <i>мкФ</i> - температури, $^{\circ}\text{C}$	
Швидкість вимірювання, <i>с</i>	
Габаритні розміри, <i>мм</i>	

7. Рисунок 1 - Схема вимірювання електричних величин цифровими приладами:

TV – лабораторний автотрансформатор; PA – цифровий амперметр; PWh – електронний лічильник; PV – цифровий вольтметр; $PA1...PA3$ – цифрові амперметри; PW – цифровий ватметр; $S1...S9$ - тумблери; $1...16$ - з'єднувальні проводи; $HL1...HL9$ – освітлювальне навантаження; $PI1...PI3$ – затискачі «початки секцій навантаження»; $K1...K3$ – затискачі «кінці секцій навантаження».

8. Таблица 6 – Результати вимірювань

Величина	Показання цифрових приладів						
	PV	PA	$PA1$	$PA2$	$PA3$	PW	PWh
1 Сила струму, A	-					-	-
2 Напруга, B		-	-	-	-	-	-
3 Активна потужність, Bm	-	-	-	-	-		-
4 Активна електроенергія, $кВт \cdot год$	-	-	-	-	-	-	

9. Таблица 8 – Результати вимірювань

Величина	Показання цифрового мультиметра				
	№ досліду				
	1	2	3	4	5
1 Активний опір, Om					
2 Температура, $^{\circ}C$					
3 Сила струму, A					
4 Напруга, B					
5 Ємність, $мкФ$					

10. Зміст висновку щодо значущості цифрових приладів в процесах вимірювань електричних величин.

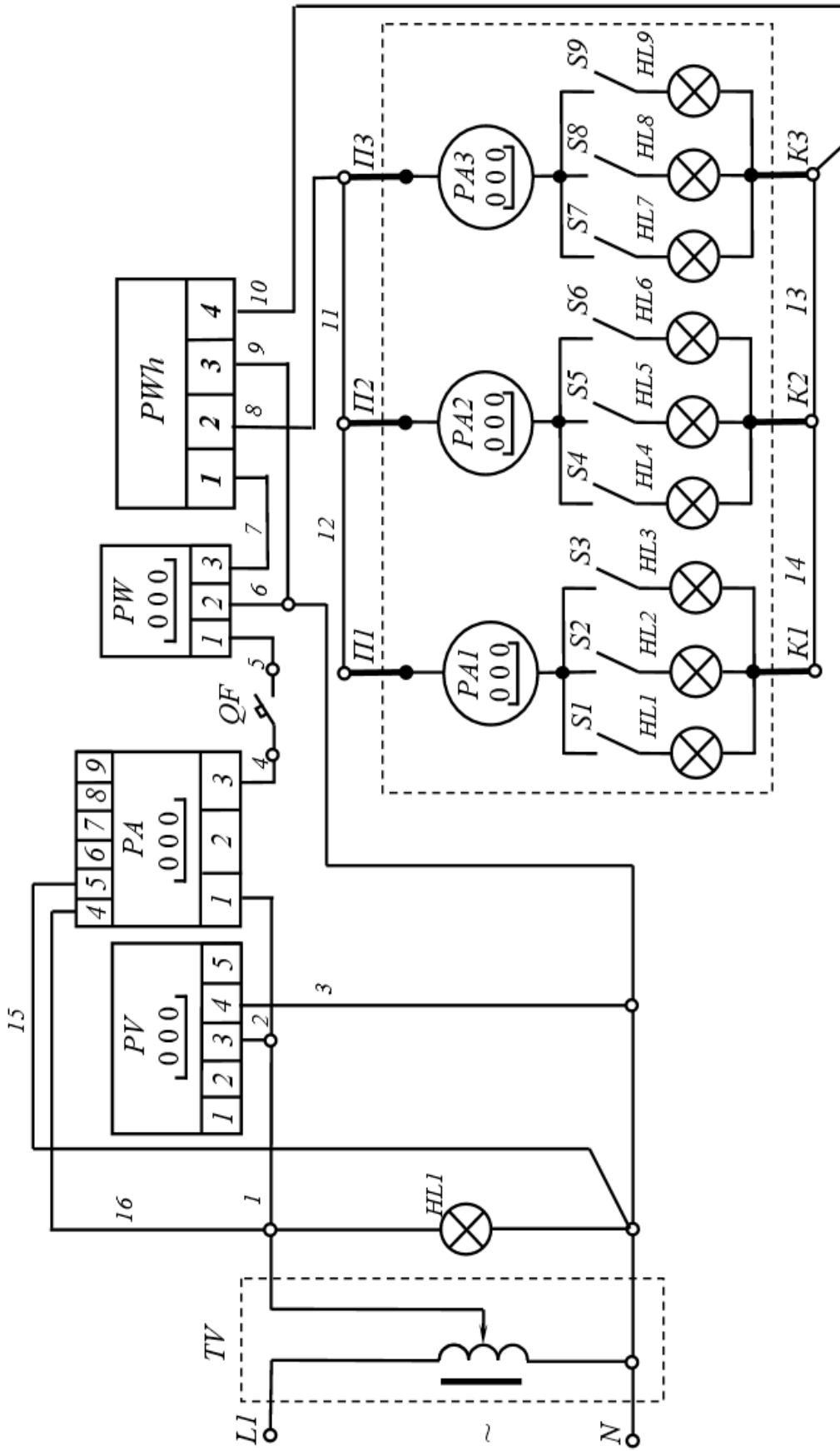


Рисунок 1 - Схема вимірювання електричних величин цифровими приладами

11. Таблиця 9 - Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

Контрольні запитання та завдання

1 Яке призначення цифрових засобів вимірювальної техніки?

2 Які основні переваги цифрових вимірювальних приладів?

3 На які різновиди, з точки зору функціонального призначення, поділяють цифрові засоби вимірювальної техніки?

4 Назвіть основні метрологічні характеристики аналого-цифрових перетворювачів та цифрових приладів.

5 Охарактеризуйте основні елементи структурної схеми цифрового мультиметра.

6 Які існують аналого-цифрові перетворювачі (АЦП)? Наведіть структурні схеми АЦП.

7 Які існують цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП)?

8 Визначити відносну та абсолютну похибки показу $U = 60 \text{ В}$ цифрового вольтметра, клас точності якого $0,05/0,01$, а границя вимірювання - 100 В .

9 Визначити відносну та абсолютну похибки показу $R = 8 \text{ кОм}$ цифрового омметра, клас точності якого $0,1/0,05$, а границя вимірювання - 10 кОм .

10 В розпорядженні оператора є два цифрові вольтметри з однаковими границями вимірювань 10 В . Клас точності першого цифрового вольтметра $0,2/0,05$, клас точності другого вольтметра – $0,1/0,02$.

Обґрунтуйте, за яких значень вимірюваної напруги похибка першого вольтметра буде більшою, ніж другого вольтметра.

Список літератури

1. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.
2. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник / [В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т.Володарський, В.В.Грабко] – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 538 с.
3. Кухарчук В.В. Метрологія та вимірювальна техніка: навч. посібник. / В.В.Кухарчук, В.Ю. Кучерук, В.П. Долгополов, Л.В. Грумінська. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 252 с.
4. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; за ред. проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2012. – 544 с.

Лабораторна робота

ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СПОЖИВАЧІВ У ОДНОФАЗНИХ КОЛАХ ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета роботи:

Набуття практичних навичок при проведенні вимірювань активної потужності споживачів у однофазному колі змінного струму та ознайомлення з методикою опрацювання результатів вимірювань.

Основні теоретичні відомості

Потужність є основною характеристикою більшості фізичних об'єктів, процесів та явищ, тому її вимірювання займає важливе місце серед методів вимірювань фізичних величин. У сучасній вимірювальній практиці доводиться вимірювати потужності від часток $nВт$ (потужність сигналів радіолокаційних станцій) до десятків $ГВт$ (потужність сучасних електричних станцій). Специфічною є сама вимірювана величина – *потужність*, що безпосередньо не впливає на вимірювальний перетворювач, а впливають напруга U , струму I та значення кута зсуву фаз φ між ними. У зв'язку з цим всі вимірювання потужності поділяються на дві групи – *прямі* та *опосередковані* методи.

У разі *прямих* вимірювань активної потужності результат вимірювання пропорційний добутку вхідних величин - U , I та $\cos \varphi$, реалізують такі вимірювань за допомогою електродинамічних, феродинамічних, електронних аналогових і цифрових ватметрів, і застосовують для вимірювань всіх видів потужності як на постійному, так і на змінному струмі. Для вимірювання активної потужності у однофазних колах змінного струму на частотах до 10 кГц використовують електродинамічні та феродинамічні ватметри, а на вищих частотах – електронні аналогові ватметри.

Ватметри вмикають за схемою правильного вимірювання напруги – рисунок 1.а, або за схемою правильного вимірювання струму – рисунок 1.б. Наявність у цих схемах вольтметра і амперметра дає змогу не тільки уникнути перевантаження кіл ватметра, а й опосередковано визначати низку додаткових па-

раметрів споживача, таких, як повна потужність, коефіцієнт потужності та еквівалентний опір [1].

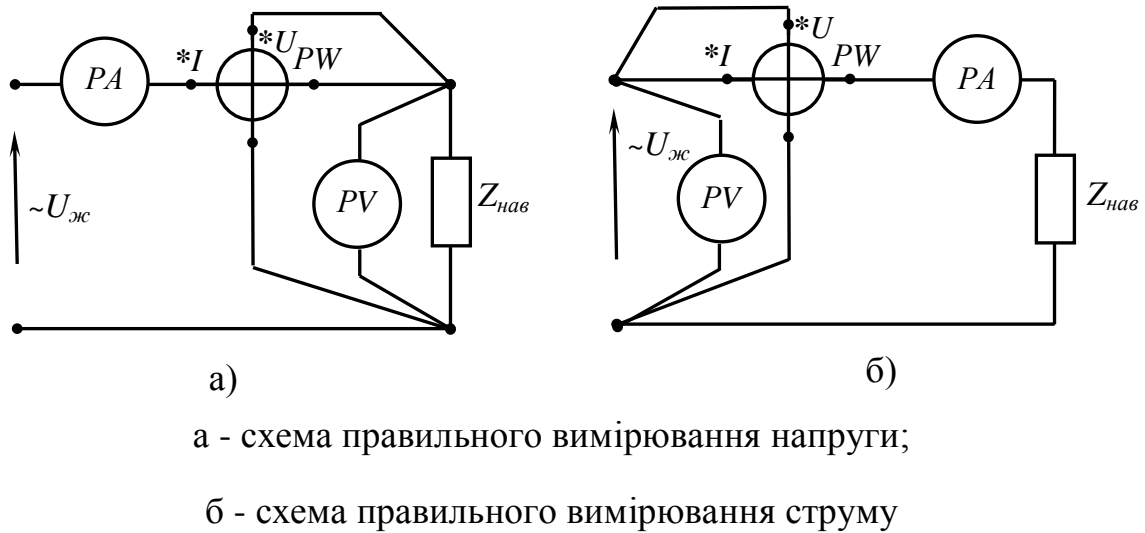


Рисунок 1 - Схема прямого вимірювання активної потужності ватметром у однофазних колах змінного струму

Потужність, яка виміряна ватметром, визначається за формулою [2, 3]

$$P_{PW} = C_{PW} \cdot N_{PW} = \frac{U_{K.PW} \cdot I_{K.PW} \cdot \cos \varphi_{H.PW}}{N_{PW_{max}}} \cdot N_{PW}, \quad (1)$$

де C_{PW} – стала ватметра;

N_{PW} – відлік за шкалою ватметра;

$U_{K.PW}$, $I_{K.PW}$ - границі вимірювання ватметра за напругою і струмом відповідно;

$\cos \varphi_{H.PW}$ – номінальний коефіцієнт потужності ватметра;

$N_{PW_{max}}$ – максимальний відлік за шкалою ватметра.

Найпоширеніші однофазні лабораторні ватметри мають такі метрологічні характеристики: $U_{K.PW} = 30; 75; 150; 300; 450; 600 \text{ В}$; $I_{K.PW} = 0,01; 0,02; 0,025; 0,05; 0,1; 0,2; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10 \text{ А}$; $\cos \varphi_{H.PW} = 1,0; 0,1$; клас точності = 0,1; 0,2; 0,5. Слід відзначити, що в залежності від модифікації ватметри виготовля-

ють на дві границі вимірювання за струмом із наведеного вище ряду, наприклад, 0,01 і 0,02 A ; ... 5 та 10 A .

Граничне значення основної похибки ватметра $\delta_{PW.zp}$ знаходять за формулою [3, 5]

$$\delta_{PW.zp} = \pm \gamma_{PW.zp} \cdot \frac{P_{K.PW}}{P_{PW}} = \pm \gamma_{PW.zp} \cdot \frac{N_{PW.max}}{N_{PW}}, \quad (2)$$

де $\gamma_{PW.zp}$ – граничне значення основної зведеної похибки ватметра, яка чисельно дорівнює його класу точності.

Безпосереднє увімкнення ватметра в коло споживача за схемами, які зображені на рисунку 1, здійснюють при значеннях струмів до 10 A і напруг до 600 B .

Для розширення границь вимірювання ватметрів на змінному струмі застосовують вимірювальні трансформатори струму та вимірювальні трансформатори напруги – рисунки 2 та 3 відповідно.

Схему, яка наведена на рисунку 2, використовують для вимірювання активної потужності споживачів за напругою ($U_X \leq 600 B$), якщо струм споживача I_X перевищує границю вимірювання ватметра за струмом $I_{K.PW}$, при цьому $I_X > I_{K.PW}$ або, навпаки, є набагато меншим від неї ($I_X \ll I_{K.PW}$) [3, 5].

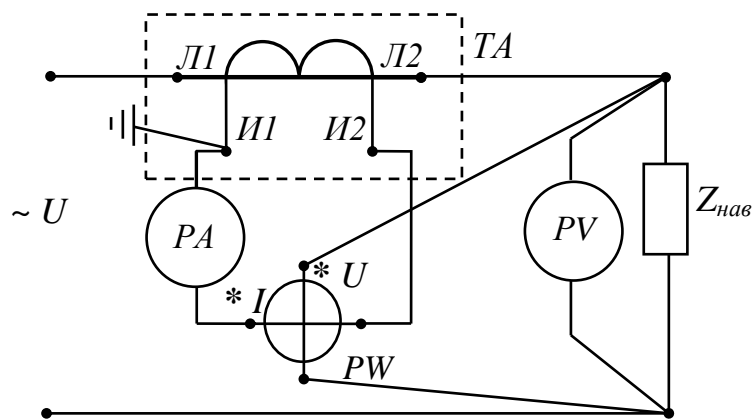


Рисунок 2 – Схема вимірювання активної потужності і струму однофазних споживачів з використанням вимірювального трансформатора струму

Виміряні значення активної потужності і струму знаходять за показами ватметра та амперметра з урахуванням номінального коефіцієнта трансформації k_{IH} вимірювального трансформатора струму

$$P = P_{PW} \cdot k_{IH} = C_{PW} \cdot N_{PW} \cdot k_{IH}; \quad (3)$$

$$I = I_{PA} \cdot k_{IH} = C_{PA} \cdot N_{PA} \cdot k_{IH}. \quad (4)$$

Схему, що наведена на рисунку 3, використовують для вимірювання активної потужності споживачів за високої напруги ($U_X > 600 \text{ В}$) та при значеннях струму споживача I_X , який перевищує границю вимірювання ватметра за струмом $I_{K.PW}$, при цьому $I_X > I_{K.PW}$.

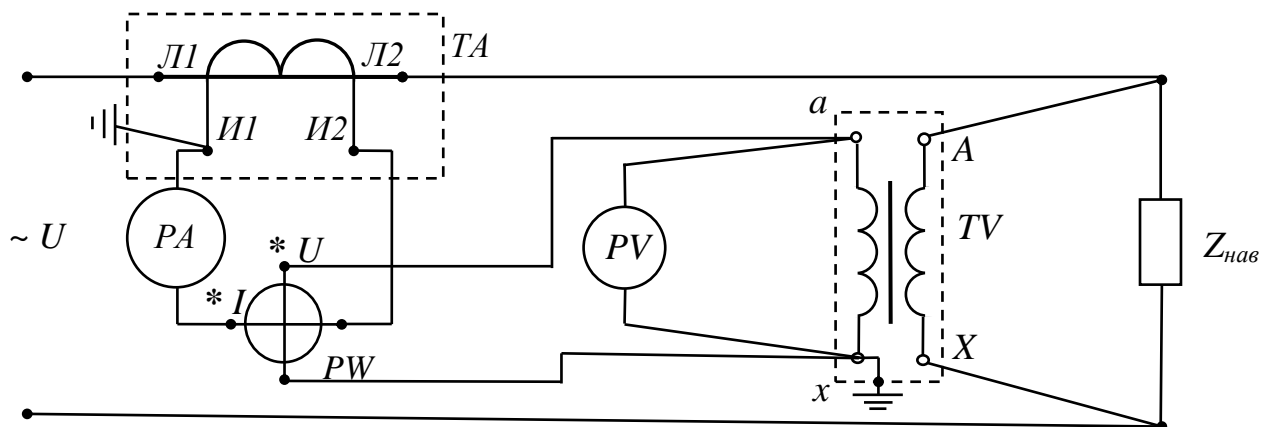


Рисунок 3 - Схема вимірювання активної потужності і струму однофазних споживачів з використанням вимірювальних трансформаторів струму та напруги [1...3, 5]

Виміряні значення активної потужності, струму і напруги знаходять за показами ватметра, амперметра і вольтметра з урахуванням номінальних коефіцієнта трансформації k_{IH} вимірювального трансформатора струму та коефіцієнта трансформації k_{UH} вимірювального трансформатора напруги

$$I = I_{PA} \cdot k_{IH} = C_{PA} \cdot N_{PA} \cdot k_{IH}; \quad (5)$$

$$U = U_{PV} \cdot k_{UH} = C_{PV} \cdot N_{PV} \cdot k_{UH}; \quad (6)$$

$$P = P_{PW} \cdot k_{IH} \cdot k_{UH} = C_{PW} \cdot N_{PW} \cdot k_{IH} \cdot k_{UH}. \quad (7)$$

Завдання для самостійної підготовки

1. Опрацювати теоретичний матеріал: будова, принцип дії та основні метрологічні характеристики електродинамічних, феродинамічних та цифрових ватметрів [2, с.159 - 162, 3, с.170 - 177, 4, с.208 - 210].

2. Опрацювати теоретичний матеріал: схеми включення ватметрів для вимірювання активної потужності споживачів у однофазних колах змінного струму [1, с.305 - 314, 3, с. 354 -359, 5, с.37 - 39].

Порядок виконання роботи

1. Записати метрологічні характеристики електровимірювальних приладів, що використовуються в роботі в таблиці 1 та 2 звіту до лабораторної роботи.

2. Скласти електричну схему вимірювання аналоговим ватметром активної потужності споживача у однофазному колі змінного струму з використанням вимірювального трансформатора струму, що наведена на рисунку 1 звіту до лабораторної роботи.

3. Здійснити вимірювання активної потужності споживача у однофазному колі змінного струму аналоговим ватметром змінного струму з використанням вимірювального трансформатора струму. Результати вимірювань навести в таблиці 3 звіту до лабораторної роботи.

4. Обчислити скориговане значення потужності споживача з урахуванням внутрішнього опору вольтметра та опору обмотки напруги ватметра за формулою (1) звіту до лабораторної роботи. Результати розрахунку навести в таблиці 3 звіту до лабораторної роботи.

5. Обчислити величини відносної сумарної стандартної непевності та стандартної непевності результату вимірювань активної потужності аналоговим ватметром змінного струму з використанням вимірювального трансформатора струму за формулами (3) та (5) відповідно звіту до лабораторної роботи.

6. Записати результат вимірювання активної потужності аналоговим ватметром у стандартній формі: $P_{вим} = [P_{x,вим} \pm U_p(P_x)]$.

7. Результати розрахунків навести в таблиці 3 звіту до лабораторної роботи.

8. Скласти електричну схему вимірювання цифровим ватметром активної потужності споживача у однофазному колі змінного струму з використанням вимірювального трансформатора струму, що наведена на рисунку 2 звіту до лабораторної роботи.

9. Здійснити вимірювання активної потужності споживача у однофазному колі змінного струму цифровим ватметром змінного струму з використанням вимірювального трансформатора струму. Результати вимірювань навести в таблиці 4 звіту до лабораторної роботи.

10. Обчислити величини відносної сумарної стандартної непевності та стандартної непевності результату вимірювань активної потужності цифровим ватметром змінного струму з використанням вимірювального трансформатора струму за формулами (8) та (9) відповідно звіту до лабораторної роботи.

11. Записати результат вимірювання активної потужності цифровим ватметром у стандартній формі: $P_{вим} = [P_{x,вим} \pm U_p(P_x)]$.

12. Результати розрахунків навести в таблиці 4 звіту до лабораторної роботи.

13. Проаналізувати отримані результати вимірювань і сформулювати висновки.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблица 1 - Основні метрологічні характеристики приладів

Найменування позначення	Прилад		
	<i>PV</i>	<i>PA</i>	<i>PW</i>
Тип приладу			
Система (умовне позначення)			
Границя вимірювання за напругою, <i>B</i>			
Границя вимірювання за струмом, <i>A</i>			
Клас точності			
Рід струму			
Спосіб установки шкали приладу			
Умови експлуатації			
Напруга випробування, <i>кВ</i>			
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, <i>Гц</i>			
Заводський номер, рік випуску			

3. Таблица 2 – Метрологічні характеристики цифрового ватметра

Найменування характеристики	Величина
Тип	
Призначення	
Діапазон вимірювання потужності, <i>Вт</i>	
Напруга живлення, <i>B</i>	
Похибка вимірювання потужності, %	
Діапазон робочих температур, <i>°C</i>	
Ступінь захисту приладу	
Потужність, що споживається приладом, <i>Вт</i>	
Кількість розрядів індикатора	

4. Рисунок 1 - Схема вимірювання аналоговим ватметром активної потужності споживачів у однофазному колі змінного струму з використанням вимірювального трансформатора струму:

TV – лабораторний автотрансформатор; PA – амперметр; PV – вольтметр; PW – аналоговий ватметр; TA – вимірювальний трансформатор струму; $S1 \dots S9$ - тумблери; $1 \dots 14$ - з'єднувальні проводи; $HL1 \dots HL9$ – освітлювальне навантаження; $П1 \dots П3$ – затискачі «початки секцій навантаження»; $K1 \dots K3$ – затискачі «кінці секцій навантаження».

5. Обчислення скоригованого значення потужності споживача з урахуванням внутрішнього опору вольтметра та опору обмотки напруги ватметра за формулою

$$P_{x, \text{вим}} = P_{PW} - P_{np}, \quad (1)$$

де P_{np} – потужність, яку споживають ватметр та вольтметр, $Вт$;

$$P_{np} = \frac{U_{PV}^2}{R_{PV}} + \frac{U_{PV}^2}{R_{UPW}}, \quad (2)$$

де U_{PV} – показання вольтметра, $В$;

R_{PV} – внутрішній опір вольтметра, $Ом$; (за паспортом приладу);

R_{UPW} – внутрішній опір обмотки напруги ватметра, $Ом$;

(за паспортом приладу).

6. Обчислення величини відносної сумарної стандартної непевності $u_{c,B,rel}(P_x)$, $\%$, результату вимірювання потужності споживача аналоговим ватметром за формулою

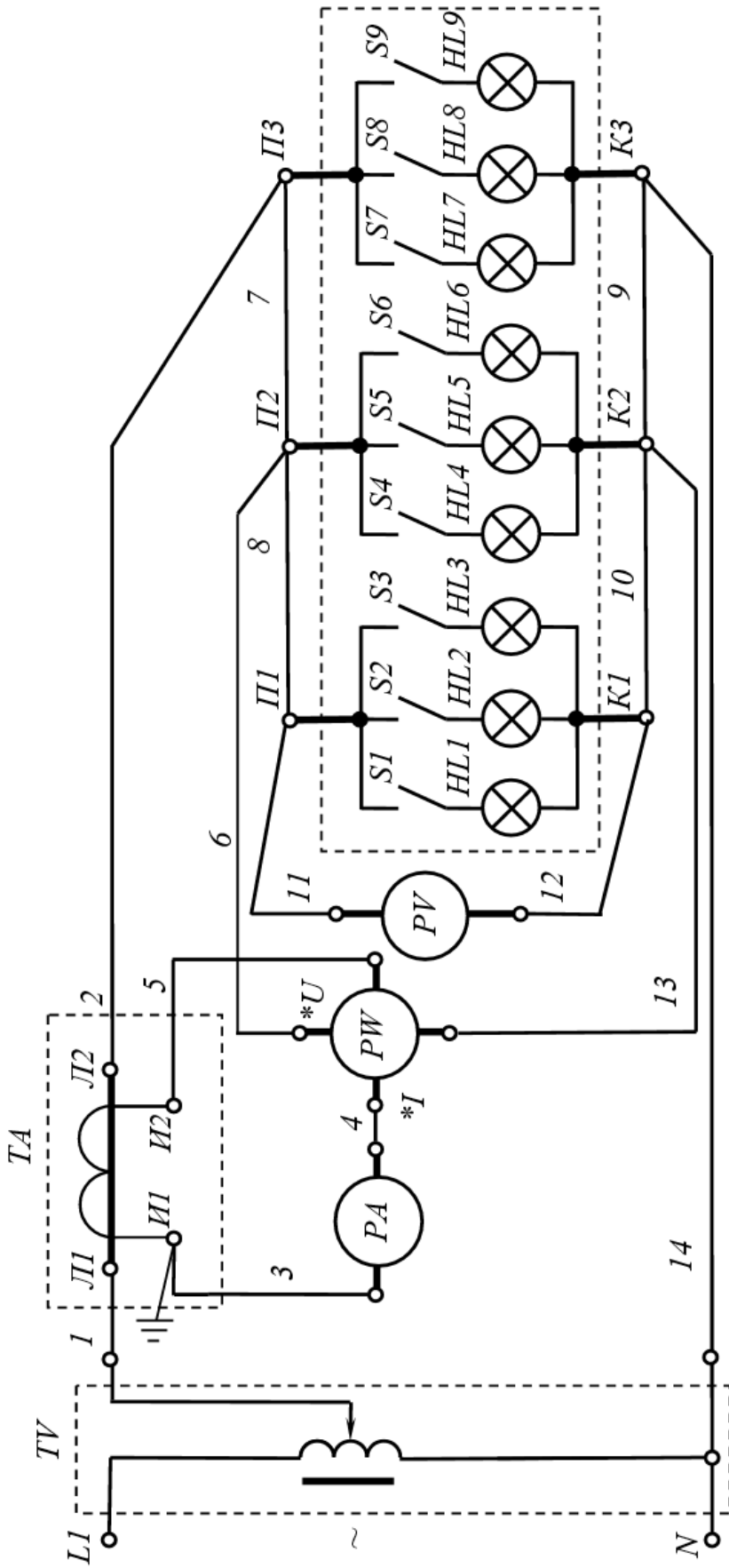


Рисунок 1 - Схема вимірювання аналоговим ватметром активної потужності споживачів у однофазному колі змінного струму з використанням вимірювального трансформатора струму

$$u_{c,B,rel}(P_x) = \sqrt{\left(\frac{\gamma_{PW,зр} \cdot P_{K_{PW}}}{\sqrt{3} \cdot P_x}\right)^2 + \left(\frac{c_{TA,зр}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,03 \cdot (\delta_{PW}^{\cdot} + \delta_{TA}^{\cdot}) \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\sqrt{3}}\right)^2}, \quad (3)$$

де γ_{PW} – клас точності аналогового ватметра, %;

$P_{K_{PW}}$ – границя вимірювання потужності аналогового ватметра, *Вт*;

P_x – скориговане значення потужності споживача, *Вт*;

c_{TA} – клас точності вимірювального трансформатора струму, %;

δ_{PW}^{\cdot} – кут зміщення струму паралельної обмотки ватметра відносно напруги за показанням вольтметра, *мін.*;

δ_{TA}^{\cdot} – граничне значення кутової похибки вимірювального трансформатора струму, *мін.* [3];

$$\delta_{PW}^{\cdot} = 0,03 \cdot \gamma_{PW,зр} \cdot \cos \varphi_{H.PW}. \quad (4)$$

7. Обчислення величини стандартної непевності $u_{c,B}(P_x)$, *Вт*, результату вимірювання активної потужності споживача аналоговим ватметром за формулою

$$u_{c,B}(P_x) = \frac{u_{c,B,rel}(P_x) \cdot P_x}{100\%}. \quad (5)$$

8. Запис результату вимірювання активної потужності аналоговим ватметром у стандартній формі

$$P_{вим} = [P_{x,вим} \pm U_p(P_x)], \quad (6)$$

де $U_p(P_{PW})$ – розширена непевність результату вимірювання потужності, *Вт*;

$$U_p(P_{PW}) = k_p \cdot u_{c,B}(P_x), \quad (7)$$

де k_p – коефіцієнт розширення при рівні довіри $p = 0,95$; $k_p = k_{0,95} = 1,96$.

9. Таблиця 3 – Результати вимірювання та розрахунків

Найменування	Величина
Постійна вольтметра, C_{PV} , $V/\text{поділ}$	
Показ вольтметра, поділ	
Показання вольтметра, U_{PV} , V	
Постійна амперметра, C_{PA} , $A/\text{поділ}$	
Показ амперметра, поділ	
Показання амперметра, I_{PA} , A	
Номінальний коефіцієнт трансформації, K_{IH}	
Значення первинного струму кола, $I_{I\text{кола}}$, A	
Постійна ватметра, C_{PW} , $Wt/\text{поділ}$	
Показ ватметра, поділ	
Показання ватметра, P_{PW} , Wt	
Значення первинної потужності кола, $P_{I\text{кола}}$, Wt	
Внутрішній опір вольтметра, R_{PV} , Ω	
Опір обмотки напруги ватметра, R_{PW} , Ω	
Скориговане значення потужності споживача, $R_{x,\text{вим}}$, Ω	
Відносна сумарна стандартна непевність, $u_{c,B,\text{rel}}(P_x)$, %	
Стандартна непевність результату вимірювання активної потужності споживача, $u_{c,B}(P_x)$, Wt	
Результат вимірювання активної потужності аналоговим ватметром у стандартній формі, Wt	

10. Рисунок 2 - Схема вимірювання цифровим ватметром активної потужності споживачів у однофазному колі змінного струму з використанням вимірювального трансформатора струму: TV – лабораторний автотрансформатор; PA – амперметр; PV – вольтметр; PW – цифровий ватметр; TA – вимірювальний трансформатор струму; $S1...S9$ - тумблери; $1...14$ - з'єднувальні проводи; $HL1...HL9$ – освітлювальне навантаження; $П1...П3$ – затискачі «початки секцій навантаження»; $K1...K3$ – затискачі «кінці секцій навантаження».

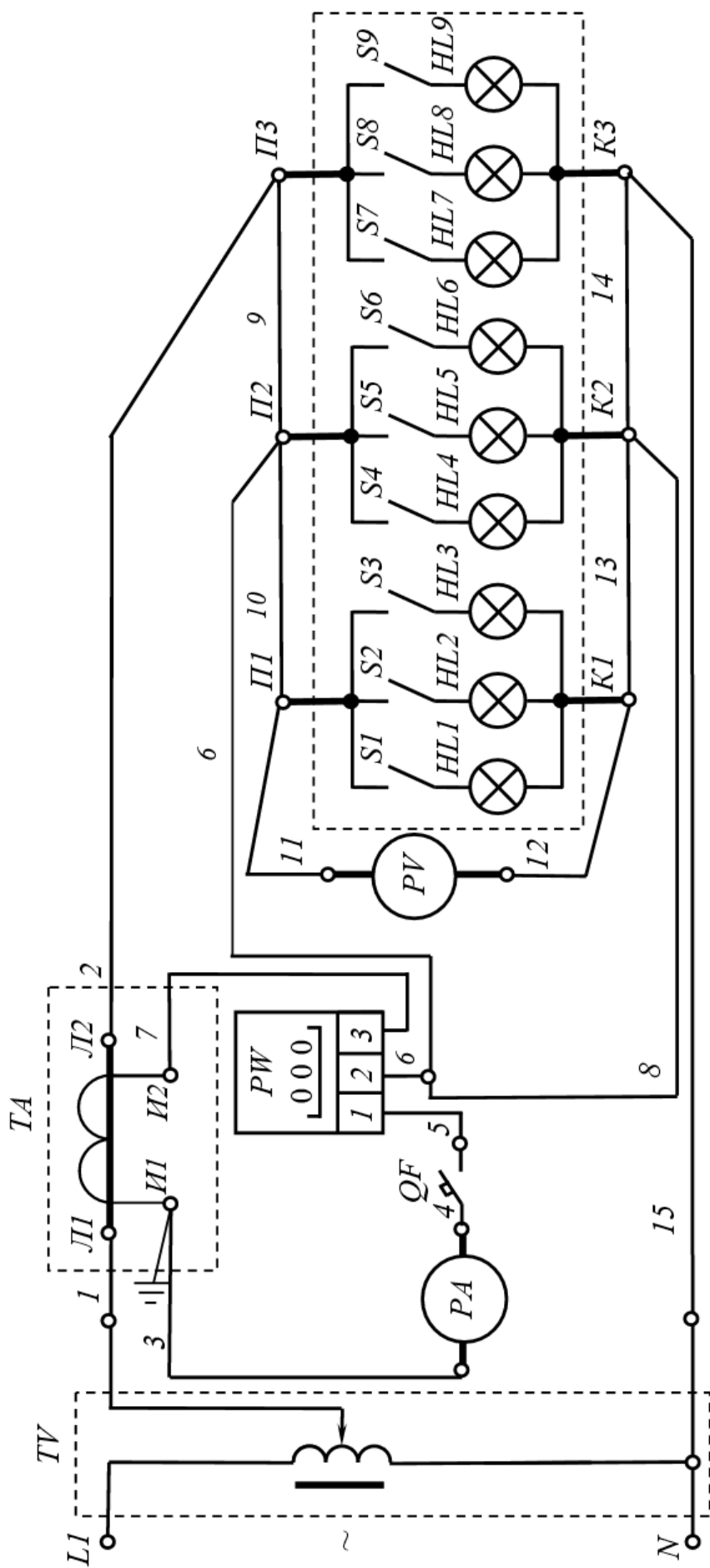


Рисунок 2 - Схема вимірювання цифровим ватметром активної потужності споживачів у однофазному колі змінного струму з використанням вимірювального трансформатора струму

11. Обчислення величини відносної сумарної стандартної непевності $u_{c,B,rel}(P_x)$, %, результату вимірювання потужності споживача цифровим ватметром за формулою [3, 5]

$$u_{c,B,rel}(P_x) = \sqrt{\left(\frac{\gamma_{PW,зр} \cdot P_{K_{PW}}}{\sqrt{3} \cdot P_x}\right)^2 + \left(\frac{c_{TA,зр}}{\sqrt{3}}\right)^2}, \quad (8)$$

де γ_{PW} – клас точності цифрового ватметра, %;

$P_{K_{PW}}$ – границя вимірювання потужності цифрового ватметра, Вт;

P_x – скориговане значення потужності споживача, Вт;

c_{TA} – клас точності вимірювального трансформатора струму, %;

12. Обчислення величини стандартної непевності $u_{c,B}(P_x)$, Вт, результату вимірювання активної потужності споживача цифровим ватметром [3, 5]

$$u_{c,B}(P_x) = \frac{u_{c,B,rel}(P_x) \cdot P_x}{100\%}. \quad (9)$$

13. Запис результату вимірювання активної потужності цифровим ватметром у стандартній формі

$$P_{вим} = [P_{x,вим} \pm U_p(P_x)] = [P_{x,вим} \pm k_p \cdot u_{c,B}(P_x)], \quad (10)$$

де k_p – коефіцієнт розширення при рівні довіри $p = 0,95$; $k_p = k_{0,95} = 1,96$.

14. Таблиця 4 – Результати вимірювання та розрахунків

Найменування	Величина
Показання вольтметра, U_{PV} , В	
Показання амперметра, I_{PA} , А	
Номінальний коефіцієнт трансформації, K_{IH}	
Значення первинного струму кола, $I_{I_{кола}}$, А	
Показання ватметра, P_{PW} , Вт	
Значення первинної потужності кола, $P_{I_{кола}}$, Вт	
Стандартна непевність результату вимірювання активної потужності споживача, $u_{c,B}(P_x)$, Вт	
Результат вимірювання активної потужності аналоговим ватметром у стандартній формі, Вт	

15. Зміст висновку щодо аналізу отриманих результатів вимірювання.

Контрольні запитання

1 Які Вам відомі методи та засоби вимірювань активної потужності у однофазному колі змінного струму?

2 Охарактеризуйте конструкцію та опишіть принцип дії електродинамічного та феродинамічного ватметрів для вимірювання активної потужності у однофазному колі змінного струму.

3 Які слід застосовувати схеми для вимірювання активної потужності у однофазному колі змінного струму. Відповідь обґрунтуйте.

4 Які масштабні вимірювальні перетворювачі застосовуються з ватметрами для вимірювання активної потужності у однофазному колі змінного струму?

5 Як аналітично визначається активна потужність за показаннями ватметра, який включений до однофазного кола змінного струму через вимірювальні трансформатори струму та напруги?

6 Які існують опосередковані методи вимірювання активної потужності у колах постійного та змінного струму?

7 Опишіть методику опрацювання експериментальних даних за показаннями ватметра.

8 Що таке відносна сумарна стандартна непевність результату вимірювання активної потужності?

Список літератури

1. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; за ред. проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2012. – 544 с.

2. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник / [В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т.Володарський, В.В.Грабко] – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 538 с.

3. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.

4. Нестерчук Д.М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

5. Нестерчук Д.М. Методи і засоби вимірювань електричних та неелектричних величин: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 206 с.

Лабораторна робота

ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОЇ ТА РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СПОЖИВАЧІВ У ТРИФАЗНИХ КОЛАХ ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета роботи:

Набуття практичних навичок при проведенні вимірювань активної та реактивної потужності споживачів у трифазних колах змінного струму.

Основні теоретичні відомості

Активну потужність у трифазному колі (як симетричному, так і несиметричному) вимірюють за допомогою ватметрів, які увімкнені на відповідні струми та напруги. У чотирипровідному несиметричному трифазному колі використовують три однофазні ватметри, які увімкнені на фазні струми та напруги – рисунок 1 [1...3].

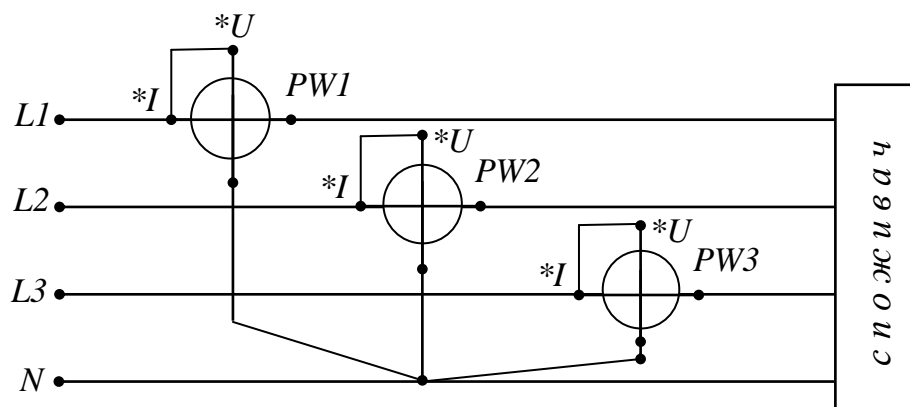


Рисунок 1 – Схема вимірювання активної потужності у чотирипровідному несиметричному трифазному колі за методом трьох ватметрів

Вимірне значення активної потужності кола дорівнює сумі показів трьох ватметрів з формулою

$$P_{\text{кола}} = P_{PW1} + P_{PW2} + P_{PW3}. \quad (1)$$

За умови повної симетрії в чотирипровідній трифазній системі можна застосовувати тільки один ватметр, увімкнений за схемою, що наведена на рисунку 1, у будь-яку фазу, показ якого множать на 3 (за кількістю фаз), за формулою

$$P_{\text{кола}} = 3 \cdot P_{PW}. \quad (2)$$

У трипровідному несиметричному трифазному колі для вимірювання активної потужності застосовуються два ватметри, струмові кола яких вмикають у будь-які дві лінії, а кола напруги генераторними кінцями під'єднують до цих самих ліній, а вільними кінцями кіл напруги – до вільної від приладів лінії трифазного кола – рисунок 2. Вимірне значення активної потужності кола за таким методом дорівнює сумі показів двох ватметрів з формулою

$$P_{\text{кола}} = P_{PW1} + P_{PW2}. \quad (3)$$

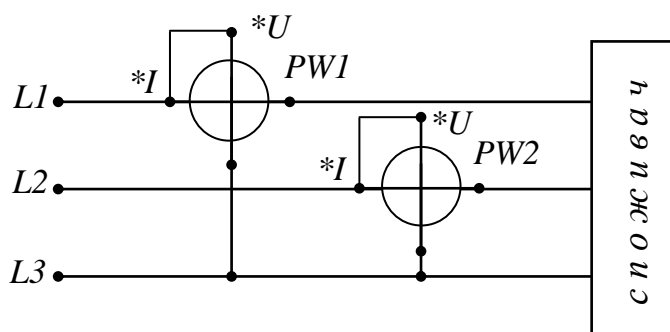


Рисунок 2 – Схема вимірювання активної потужності у трипровідному несиметричному трифазному колі за методом двох ватметрів

Слід зауважити, що можливі такі режими роботи трифазного кола в залежності від характеру навантаження, коли показчик одного з ватметрів відхиляється ліворуч від нуля, незважаючи на правильне увімкнення ватметра до кола [1, 3].

Щоб зробити відлік у такому разі та правильно записати вимірне значення активної потужності усього трифазного кола, необхідно змінити напрямок струму в одному з кіл цього ватметра, а його показ записати зі знаком «мінус». Тому то, для визначення активної потужності усього трифазного кола змінного струму необхідно враховувати при розрахунках алгебраїчну суму показів ватметрів з урахуванням їх знаків і тому необхідно суворо дотримуватися принципу правильного під'єднання генераторних та вільних затискачів кіл напруги та струму ватметрів.

На практиці поряд з однофазними ватметрами використовують і трифазні ватметри, які дають можливість отримати значення активної потужності трифазного споживача без додаткових обчислень. Такі ватметри поєднують в одному приладі два або три однофазні вимірювальні механізми, які знаходяться на одній спільній осі, на яку діють обертальні моменти, які виникають в одноелементних механізмах. Найбільшого розповсюдження одержали феродинамічні трифазні ватметри. Вмикання ватметрів у трифазне коло здійснюється за тими самими схемами, які аналогічні до відповідних схем вмикання однофазних ватметрів. Через великий обертальний момент феродинамічні ватметри виготовляють у вигляді самописних приладів [3, 4].

Для розширення границь вимірювання струму струмові кола ватметрів вмикають через вимірювальні трансформатори струму, а при вимірюванні у колах, де напруга перевищує 600 В, застосовують вимірювальні трансформатори струму та напруги [1...4]. У такому разі виміряне значення потужності визначається за формулою

$$P_{\text{кола}} = (P_{PW1} + P_{PW2}) \cdot k_{IH} \cdot k_{UH}, \quad (4)$$

де k_{IH} , k_{IU} - номінальні коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів струму та напруги відповідно.

Вимірювання реактивної потужності має практичне значення тільки для потужних споживачів електроенергії, які підключаються до трифазних кіл. Тому в однофазних колах реактивна потужність вимірюється тільки в лабораторних умовах при проведенні наукових досліджень. Прилади для вимірювання реактивної потужності в однофазних колах змінного струму не випускаються.

Для вимірювання реактивної потужності у трифазних колах у промислових умовах застосовують *трифазні варметри*, які є прямими вимірювачами реактивної потужності.

Реактивна потужність може бути виміряна за спеціальними схемами, для цього відхилення рухомої частини електро- чи феродинамічних механізмів ватметрів повинне бути пропорційне значенню $\sin\varphi$. Для вимірювання реактивної

потужності необхідно замінити фазні напруги на лінійні, які відстають на кут 90° згідно схеми, що наведена на рисунку 3.

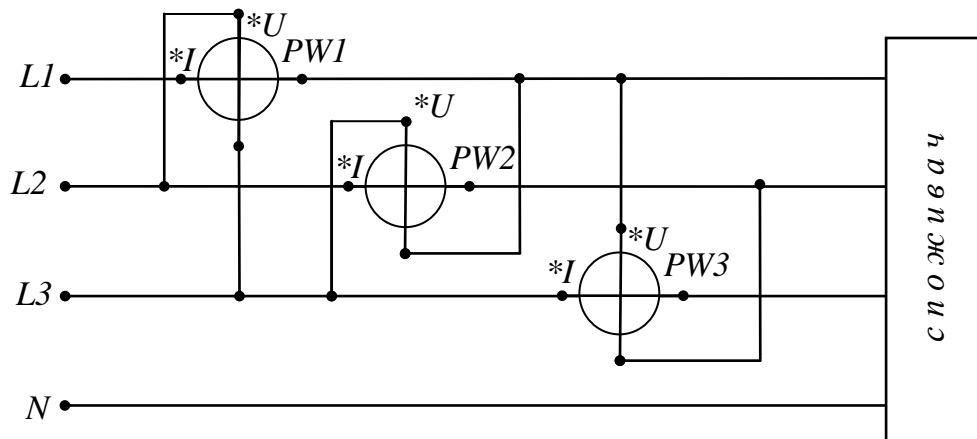


Рисунок 3 – Схема вимірювання реактивної потужності трифазних споживачів методом трьох ватметрів

Реактивна потужність трифазного кола буде дорівнювати

$$Q_{\text{кола}} = \frac{P_{PW1} + P_{PW2} + P_{PW3}}{\sqrt{3}}. \quad (5)$$

Для правильного підключення ватметрів потрібно знати послідовність фаз. Струмове коло кожного ватметра вмикають послідовно в одну з трьох ліній трифазного кола, а затискачі кола напруги приєднують до двох інших ліній, так, щоб генераторний затискач був приєднаний до лінії, яка є наступною у послідовності фаз ABCABC... за тією фазою, до якої увімкнено струмове коло приладу. Слід відзначити, що при вимірюванні активної потужності за методом двох ватметрів (див. рисунок 2) у разі повної симетрії трифазного кола можна одночасно з активною потужністю визначити й реактивну потужність за формулою

$$Q_{\text{кола}} = (P_{PW2} - P_{PW1}) \cdot \sqrt{3}. \quad (6)$$

Якщо лінійні струми трифазного кола більші, ніж границі вимірювання ватметрів за струмом, то їх струмове коло вмикають через вимірювальні трансформатори струму, а якщо напруги перевищують 600 В, застосовують вимірювальні трансформатори напруги [1...4].

Завдання для самостійної підготовки

1. Опрацювати теоретичний матеріал: схеми включення ватметрів для вимірювання активної потужності споживачів у трифазних колах змінного струму [1, с.315 - 317, 2, с.178 – 184, 3, с. 371 -377, 4, с.40 - 44].

2. Опрацювати теоретичний матеріал: схеми включення ватметрів для вимірювання реактивної потужності споживачів у трифазних колах змінного струму [1, с.315 - 317, 2, с.184 – 187, 3, с. 377 -380, 4, с.45 - 49].

Порядок виконання роботи

1. Записати метрологічні характеристики електровимірювальних приладів, що використовуються в роботі, в таблицю 1 звіту до лабораторної роботи.

2. Скласти електричну схему вимірювання активної потужності у трифазному трипровідному колі змінного струму з симетричним навантаженням, яке з'єднане за схемою «зірка», за методом одного ватметра, що наведена на рисунку 1 звіту до лабораторної роботи.

3. Здійснити вимірювання активної потужності у трифазному трипровідному колі змінного струму з симетричним навантаженням, яке з'єднане за схемою «зірка», за методом одного ватметра. Результати вимірювань навести в таблиці 2 звіту.

4. Скласти електричну схему вимірювання активної потужності у трифазному трипровідному колі змінного струму з симетричним навантаженням, яке з'єднане за схемою «трикутник», за методом одного ватметра, що наведена на рисунку 2 звіту до лабораторної роботи.

5. Здійснити вимірювання активної потужності у трифазному трипровідному колі змінного струму з симетричним навантаженням, яке з'єднане за схемою «трикутник», за методом одного ватметра. Результати вимірювань навести в таблиці 2 звіту.

6. Скласти електричну схему вимірювання активної потужності у трифазному трипровідному колі змінного струму з симетричним та несиметричним

навантаженням за методом двох ватметрів, що наведена на рисунку 3 звіту до лабораторної роботи.

7. Здійснити вимірювання активної потужності у трифазному три провідному колі змінного струму з симетричним та несиметричним навантаженням за методом двох ватметрів.

8. Результати вимірювань та розрахунків навести в таблиці 4 звіту.

9. Скласти електричну схему вимірювання реактивної потужності у трифазному трипровідному колі змінного струму з симетричним навантаженням за методом двох ватметрів, що наведена на рисунку 4 звіту до лабораторної роботи.

10. Здійснити вимірювання реактивної потужності у трифазному трипровідному колі змінного струму з симетричним навантаженням за методом двох ватметрів.

11. Результати вимірювань та розрахунків навести в таблиці 4 звіту.

12. Скласти електричну схему вимірювання активної потужності у трифазному чотирипровідному колі змінного струму за методом трьох ватметрів, що наведена на рисунку 5 звіту до лабораторної роботи.

13. Здійснити вимірювання активної потужності у трифазному чотирипровідному колі змінного струму за методом трьох ватметрів.

14. Результати вимірювань та розрахунків навести в таблиці 5 звіту.

15. Скласти електричну схему вимірювання реактивної потужності у трифазному чотирипровідному колі змінного струму за методом трьох ватметрів, що наведена на рисунку 6 звіту до лабораторної роботи.

16. Здійснити вимірювання реактивної потужності у трифазному чотирипровідному колі змінного струму за методом трьох ватметрів.

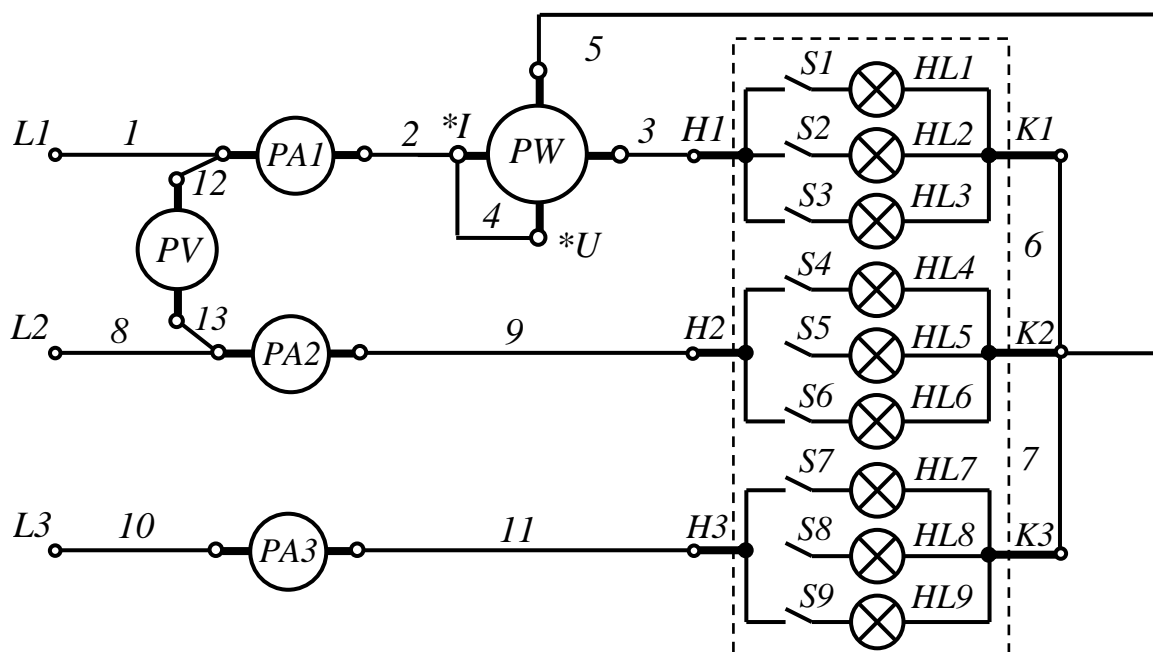
17. Результати вимірювань та розрахунків навести в таблиці 5 звіту.

18. Сформулювати висновок щодо практичної значущості методів вимірювання активної та реактивної потужності у трифазних колах змінного струму.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.
2. Таблиця 1 - Основні метрологічні характеристики приладів

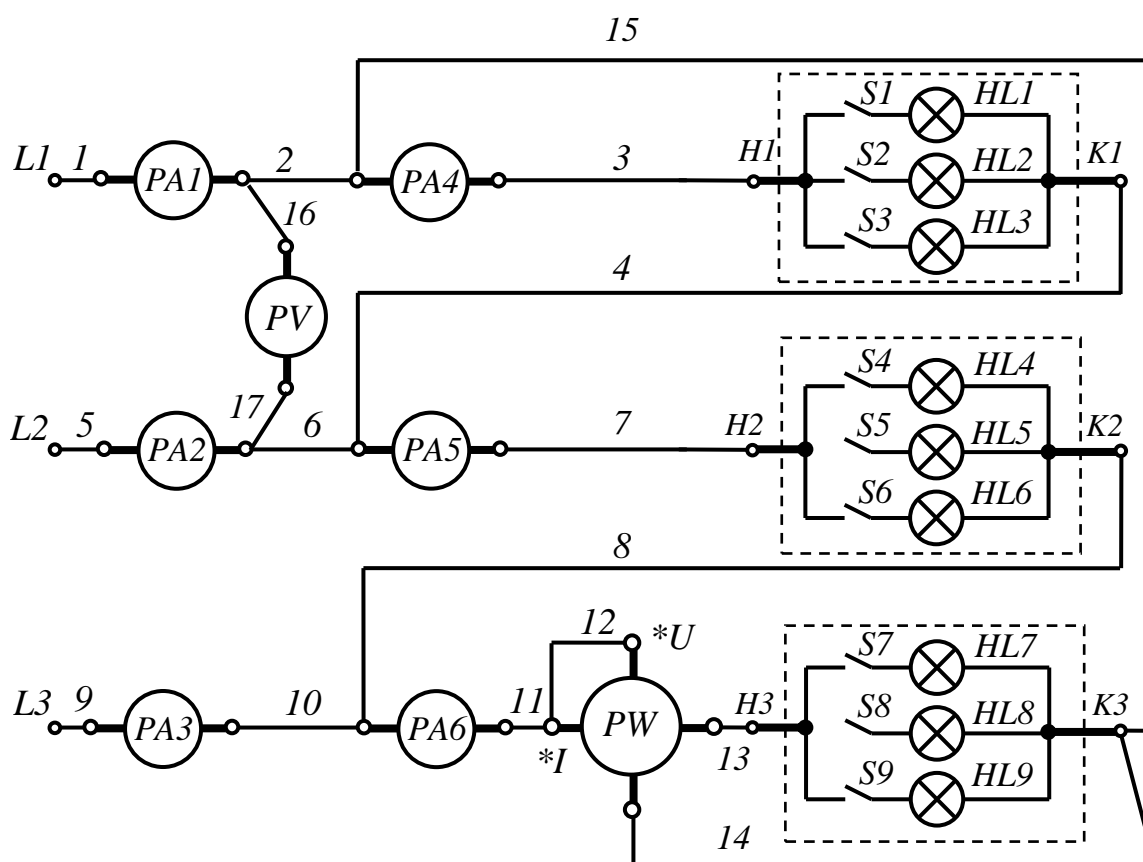
Найменування позначення	Прилад		
	<i>PV</i>	<i>PA</i>	<i>PW</i>
Тип приладу			
Система (умовне позначення)			
Границя вимірювання за напругою, <i>B</i>			
Границя вимірювання за струмом, <i>A</i>			
Клас точності			
Рід струму			
Спосіб установки шкали приладу			
Умови експлуатації			
Напруга випробування, <i>кВ</i>			
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, <i>Гц</i>			
Заводський номер, рік випуску			



3. Рисунок 1 - Схема вимірювання активної потужності у трифазному трипровідному колі змінного струму з симетричним навантаженням, яке з'єднане за схемою «зірка» за методом одного ватметра

4. Таблиця 2 - Результати вимірювань та розрахунку

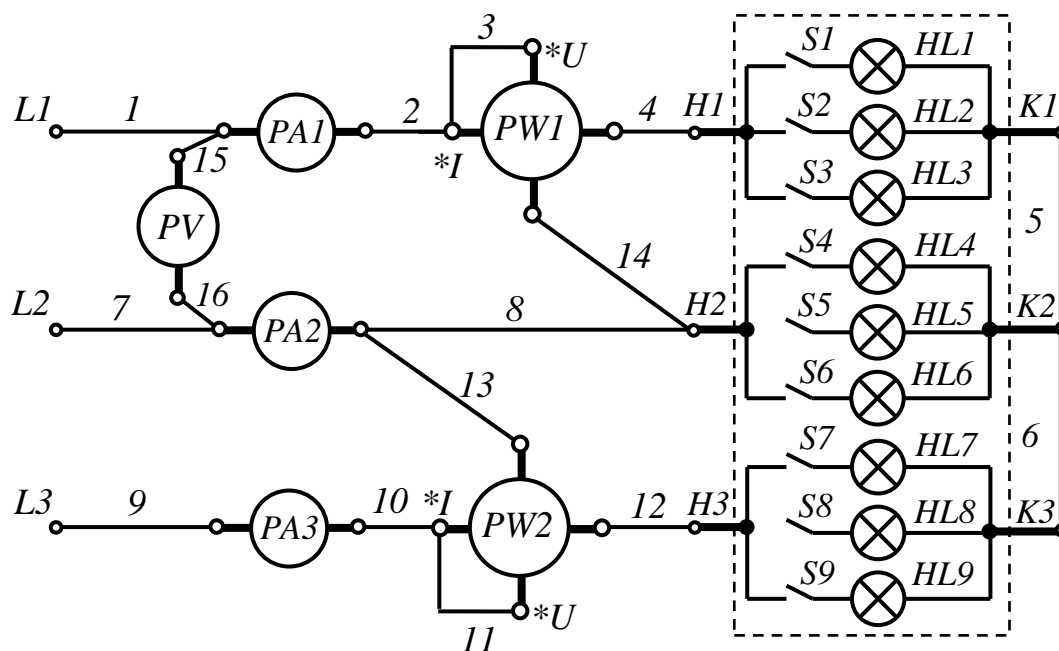
Характер та схема з'єднання навантаження	Показання приладів					Обчислено $P_{\text{кола}} = 3 \cdot P_{PW}$
	$U_{PV},$ <i>B</i>	$I_{PA1},$ <i>A</i>	$I_{PA2},$ <i>A</i>	$I_{PA3},$ <i>A</i>	$P_{PW},$ <i>Bm</i>	
Симетричне освітлювальне навантаження, яке з'єднане за схемою «зірка»						



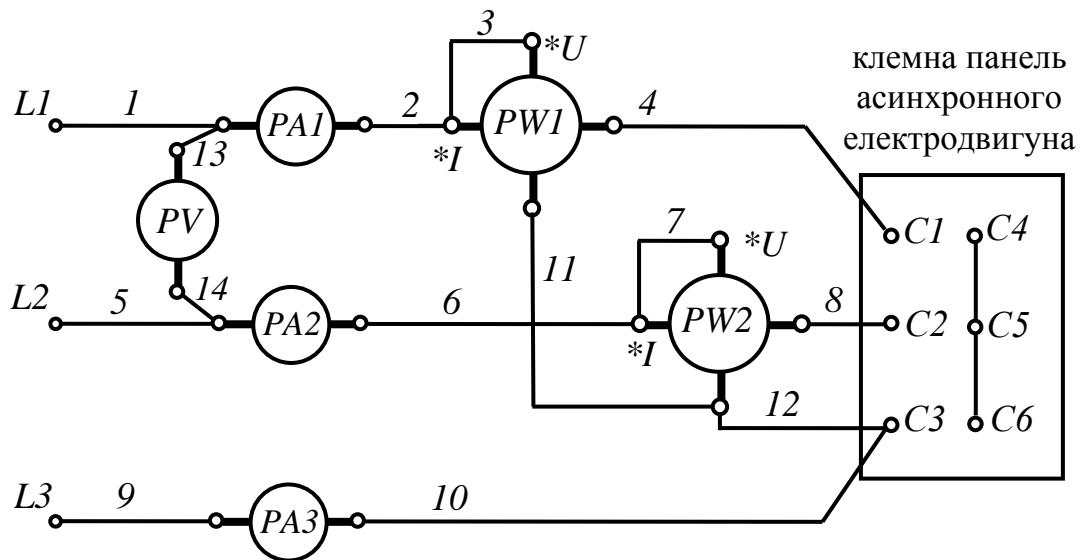
4. Рисунок 2 - Схема вимірювання активної потужності у трифазному трипровідному колі змінного струму з симетричним навантаженням, яке з'єднане за схемою «трикутник» за методом одного ватметра

5. Таблица 3 - Результати вимірювань та розрахунку

Прилади	Величина	
	найменування та літерне позначення	значення
Амперметр $PA1$	лінійний струм, I_A, A	
Амперметр $PA2$	лінійний струм, I_B, A	
Амперметр $PA3$	лінійний струм, I_C, A	
Амперметр $PA4$	фазний струм, I_{ab}, A	
Амперметр $PA5$	фазний струм, I_{bc}, A	
Амперметр $PA6$	фазний струм, I_{ca}, A	
Вольтметр PV	фазна (лінійна) напруга, B	
Ватметр PW	фазна активна потужність, P_{PW}, Bm	
Обчислена активна потужність трифазного трипровідного кола	$P_{кола} = 3 \cdot P_{PW}$	



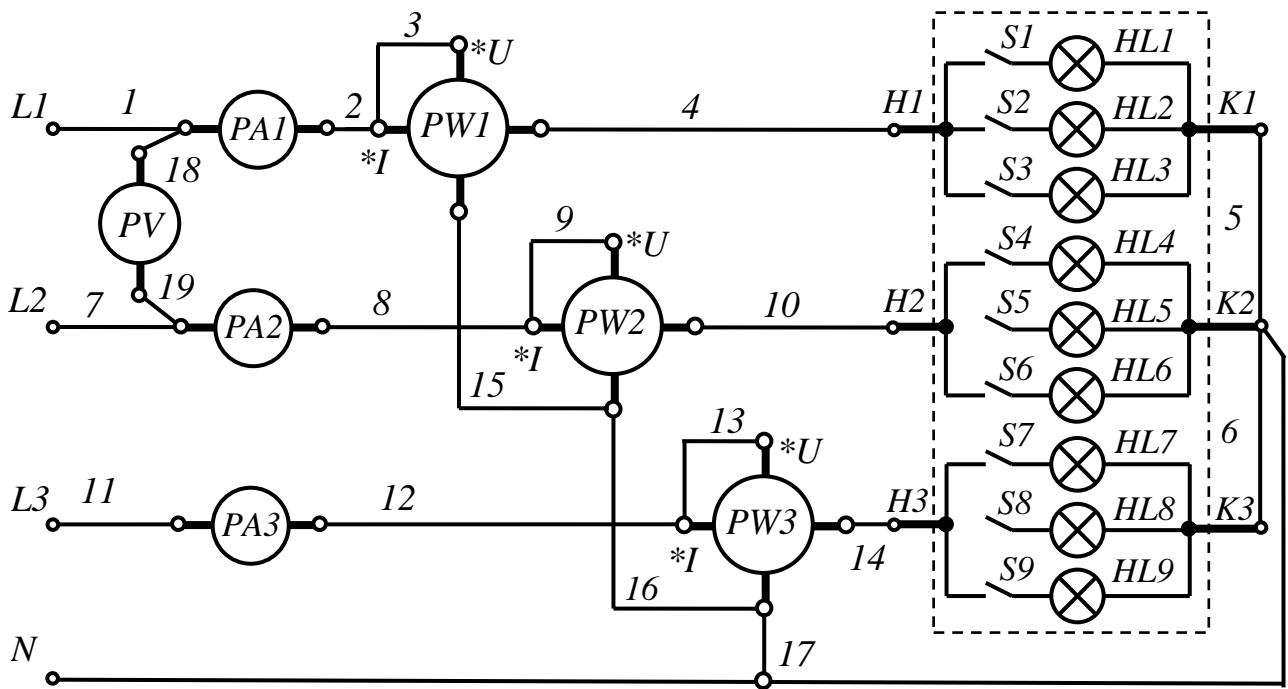
6. Рисунок 3 - Схема вимірювання активної потужності у трифазному трипровідному колі змінного струму за методом двох ватметрів



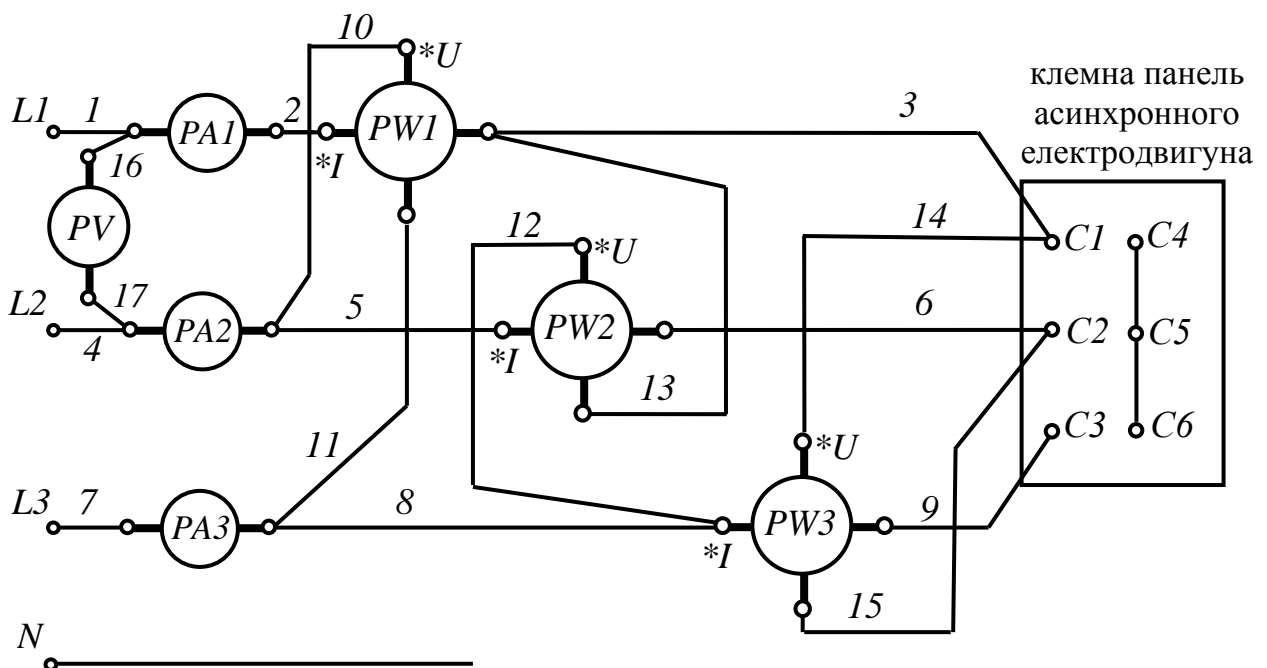
7. Рисунок 4 - Схема вимірювання реактивної потужності у трифазному трипровідному колі змінного струму за методом двох ватметрів

8. Таблица 4 - Результати вимірювань та розрахунків

Потужність	Характер навантаження	Показання приладів						Обчислено
		$U_{PV},$ <i>B</i>	$I_{PA1},$ <i>A</i>	$I_{PA2},$ <i>A</i>	$I_{PA3},$ <i>A</i>	$P_{PW1},$ <i>Bm</i>	$P_{PW2},$ <i>Bm</i>	
Активна потужність	симетричний							$P_{\text{кола}} = P_{PW1} + P_{PW2}$
	несиметричний							
Реактивна потужність	симетричний							$Q_{\text{кола}} = \sqrt{3} \cdot (P_{PW2} - P_{PW1})$



9. Рисунок 5 - Схема вимірювання активної потужності у трифазному чотирипровідному колі змінного струму за методом трьох ватметрів



10. Рисунок 6 - Схема вимірювання реактивної потужності у трифазному чотирипровідному колі змінного струму за методом трьох ватметрів

11. Таблиця 5 - Результати вимірювань та розрахунків (метод трьох ватметрів)

Потужність	Характер навантаження	Показання приладів							Обчислено
		U_{PV}, V	I_{PA1}, A	I_{PA2}, A	I_{PA3}, A	P_{PW1}, Wt	P_{PW2}, Wt	P_{PW3}, Wt	
Активна потужність	симетричний								$P_{\text{кола}} = P_{PW1} + P_{PW2} + P_{PW3}$
	несиметричний								
Реактивна потужність	симетричний								$Q_{\text{кола}} = \frac{P_{PW1} + P_{PW2} + P_{PW3}}{\sqrt{3}}$

11. Зміст висновку щодо практичної значущості методів вимірювання активної та реактивної потужності у трифазних колах змінного струму.

Контрольні запитання

1 Які види приладів застосовуються для вимірювання активної та реактивної потужності?

2 Як аналітично визначається активна потужність трифазного трипровідного кола при симетричному характері навантаження за методом одного ватметра?

3 Поясніть принцип включення ватметра для вимірювання реактивної потужності.

4 Як аналітично визначається реактивна потужність трифазного трипровідного кола при симетричному характері навантаження за методом одного ватметра?

5 Які методи необхідно обрати для вимірювання активної та реактивної потужності в трифазному трипровідному колі змінного струму при симетричному характері навантаження? Як аналітично визначаються активна та реактивна потужність трифазного трипровідного кола за вище обраним методом?

6 Як виміряти активну та реактивну потужності в трифазному чотирипровідному колі змінного струму при симетричному характері навантаження?

7 Поясніть від чого залежить кількість ватметрів при вимірюванні активної та реактивної потужності в трифазних колах змінного струму?

Список літератури

1. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; за ред. проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2012. – 544 с.

2. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник / [В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т.Володарський, В.В.Грабко] – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 538 с.

3. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.

4. Нестерчук Д.М. Методи і засоби вимірювань електричних та неелектричних величин: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 206 с.

Лабораторна робота
ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПОТУЖНОСТІ
У КОЛАХ ЗМІННОГО СТРУМУ ПРИ РІЗНИХ ВИДАХ
НАВАНТАЖЕННЯ

Мета роботи:

Набуття практичних навичок при вимірюванні коефіцієнту потужності у колах змінного струму при різних видах навантаженнях.

Основні теоретичні відомості

Фазовий зсув вимірюють методами *безпосередньої оцінки* та *порівняння і опосередковано*, класифікація яких наведена на рисунку 1 [1, 2].

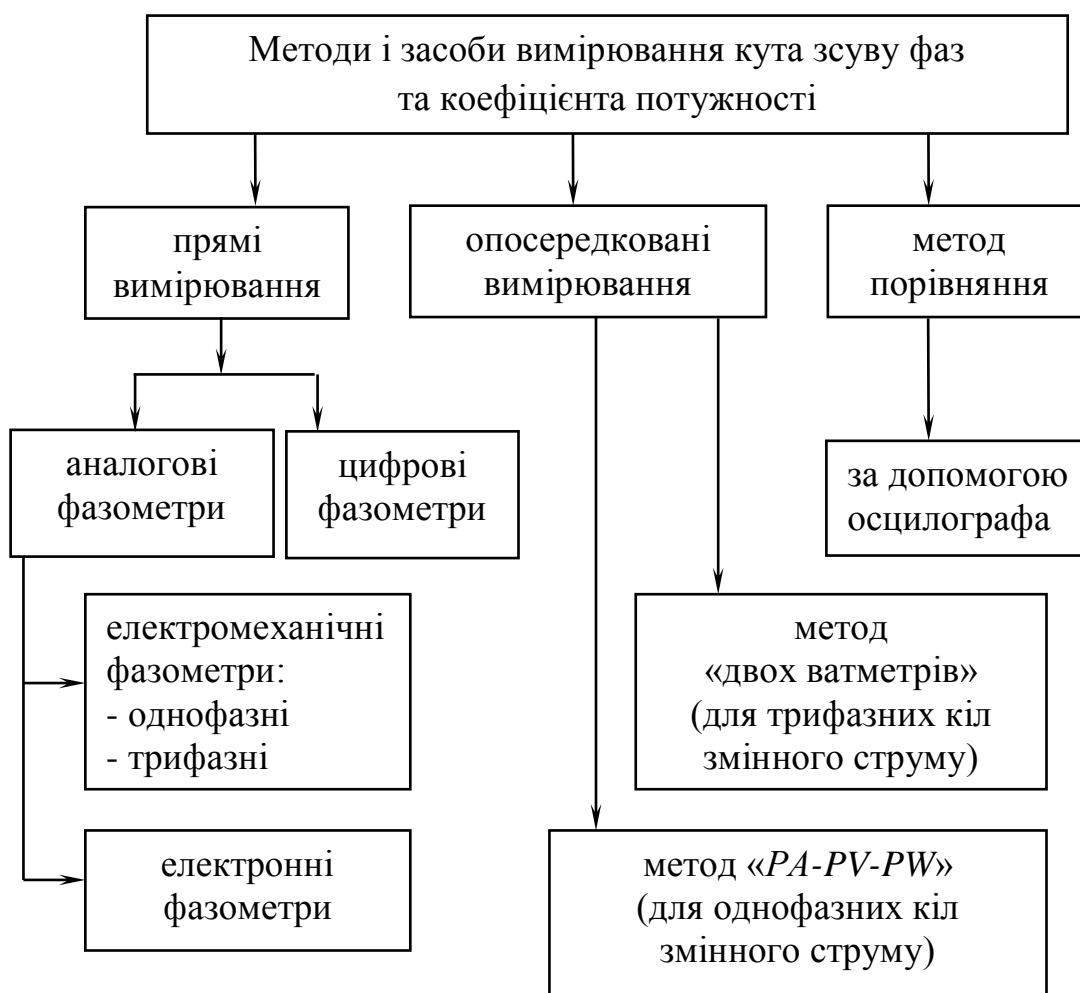


Рисунок 1 – Класифікація методів і засобів вимірювання кута зсуву фаз та коефіцієнта потужності

Вибір методу вимірювання залежить від частоти, рівня та форми сигналу, необхідної точності вимірювання і виду досліджуваного об'єкта.

Прямі вимірювання кута зсуву фаз або *метод безпосередньої оцінки* реалізують за допомогою спеціальних приладів – *фазометрів*, до яких належать:

- аналогові електромеханічні однофазні та трифазних фазометри;
- аналогові електронні фазометри;
- цифрові фазометри.

Всі фазометри градуйовані у кутових градусах або в радіанах.

Аналогові електромеханічні фазометри, які побудовані на основі логометричних механізмів електродинамічної та електромагнітної систем, застосовують для вимірювання кута зсуву фаз між струмом та напругою однофазних та трифазних споживачів у частотному діапазоні $20 \dots 10000$ Гц при високих рівнях сигналу ($U \leq 600$ В) і невисокій точності вимірювання (класи точності 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0). Недоліком таких приладів є велике власне споживання потужності.

Електронні аналогові та цифрові фазометри застосовують для вимірювання кута зсуву фаз між двома гармонічними сигналами (напругами та струмами) у діапазоні частот 1 Гц... 10 МГц при низьких рівнях сигналів і високій точності вимірювань (похибка вимірювання $\delta_\varphi \geq \pm 0,1$ %).

Метод порівняння реалізують за допомогою електронного осцилографа і використовують для вимірювання кута зсуву фаз між двома сигналами однакової частоти у широкому діапазоні частот, який визначається смугою пропускання осцилографа (10 Гц... 20 МГц), і при невисокій точності вимірювань [1...4].

Завдання для самостійної підготовки

1. Опрацювати теоретичний матеріал: класифікація та суть методів вимірювання кута зсуву фаз та коефіцієнту потужності, конструкція та принцип дії фазометрів: аналогових електромеханічних, електронних аналогових та цифро-

вих. [1, с.393 – 412, с.415 - 421, 2, с.62 – 71, 3, с. 165 - 169, 4, с.317 – 320, 5, с.139 - 141].

2. Виконати тестові контрольні завдання для самоаналізу, які наведені в [2, с.73]. Відповіді навести у звіті до лабораторної роботи – таблиця 1.

Порядок виконання роботи

1. Записати метрологічні характеристики фазометрів та електровимірювальних приладів, що використовуються в роботі, в таблиці 2 та 3 звіту до лабораторної роботи.

2. Скласти електричну схему прямого вимірювання коефіцієнту потужності однофазним фазометром в однофазному колі змінного струму, навантаженням якого є котушка індуктивності (дослід №1) та конденсаторна батарея (дослід №2) – рисунок 1.

3. Здійснити вимірювання коефіцієнту потужності однофазним фазометром в однофазному колі змінного струму, навантаженням якого є котушка індуктивності (дослід №1) та конденсаторна батарея (дослід №2). Результати вимірювань навести в таблиці 4.

4. Скласти електричну схему вимірювання коефіцієнту потужності з використанням вимірювального комплексу К50 (непрямий метод амперметра – вольтметра - ватметра) в однофазному колі змінного струму, навантаженням якого є котушка індуктивності (дослід №1) та конденсаторна батарея (дослід №2) – рисунок 2.

5. Здійснити вимірювання коефіцієнту потужності з використанням вимірювального комплексу К50 (непрямий метод амперметра – вольтметра - ватметра) в однофазному колі змінного струму, навантаженням якого є котушка індуктивності (дослід №1) та конденсаторна батарея (дослід №2). Результати вимірювань навести в таблиці 5.

6. Обчислити величини коефіцієнту потужності для різних видів навантаження за формулою (1) звіту до лабораторної роботи.

7. Порівняти отримані результати вимірювань коефіцієнту потужності за прямим та непрямим методами вимірювань.

8. Скласти електричну схему прямого вимірювання коефіцієнту потужності трифазним фазометром в трифазному трипровідному колі змінного струму, навантаженням якого є асинхронний електродвигун, що наведена на рисунку 3.

9. Здійснити вимірювання коефіцієнту потужності трифазним фазометром в трифазному трипровідному колі змінного струму, навантаженням якого є асинхронний електродвигун. Результати вимірювань навести в таблиці 6.

10. Скласти електричну схему вимірювання коефіцієнту потужності за непрямим методом двох ватметрів в трифазному трипровідному колі змінного струму, навантаженням якого є асинхронний електродвигун, що наведена на рисунку 4.

11. Здійснити вимірювання коефіцієнту потужності за непрямим методом двох ватметрів в трифазному трипровідному колі змінного струму, навантаженням якого є асинхронний електродвигун. Результати вимірювань навести в таблиці 7.

12. Обчислити величину коефіцієнту потужності за непрямим методом двох ватметрів за формулою (2) звіту до лабораторної роботи.

13. Порівняти отримані результати вимірювань коефіцієнту потужності за прямим та непрямим методами вимірювань.

14. Сформулювати висновок щодо практичної значущості як прямих, так й непрямих методів вимірювання коефіцієнту потужності у колах змінного струму при різних видах навантаження.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.

2. Таблиця 1 – Відповіді на тестові контрольні завдання для самоаналізу

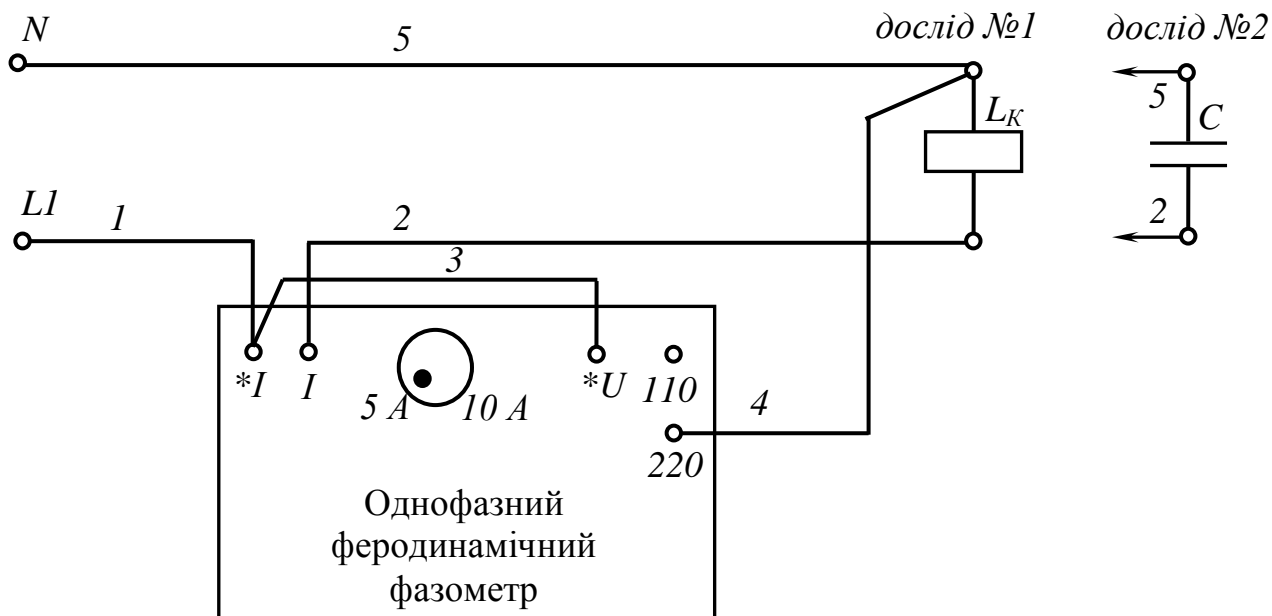
Тестове завдання	Вірна відповідь	Тестове завдання	Вірна відповідь
1		3	
2		4	

3. Таблица 2 - Основні метрологічні характеристики приладів

Найменування позначення	Ватметр	Фазометр	
		однофазний	трифазний
Тип приладу			
Система (умовне позначення)			
Границя вимірювання за напругою, B			
Границя вимірювання за струмом, A			
Клас точності			
Рід струму			
Спосіб установки шкали приладу			
Умови експлуатації			
Напруга випробування, kB			
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, $Гц$			
Заводський номер, рік випуску			

4. Таблица 3 – Основні технічні характеристики вимірювального комплекту К50

Найменування	Величина
Діапазон вимірювання струму, A	
Діапазон вимірювання напруги, B	
Діапазон вимірювання активної потужності, Bm	
Система електровимірювальних приладів: - амперметра - вольтметра - ватметра	
Клас точності приладів	
Номінальна область частот, $Гц$	
Розширений діапазон частоти, $Гц$	
Час встановлення показів приладів, c	
Потужність, яка споживається послідовним колом комплекту, Bm	
Габаритні розміри, mm	



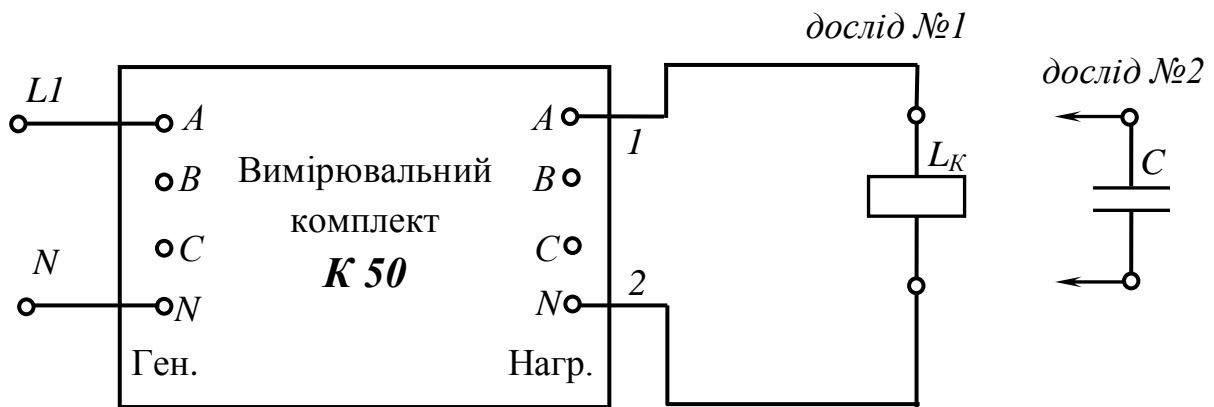
L_K – котушка індуктивності з індуктивністю; C – конденсатор з ємністю;

1...5 – з'єднувальні проводи;

5. Рисунок 1 - Схема прямого вимірювання коефіцієнту потужності однофазним фазометром в однофазному колі змінного струму

6. Таблица 4 – Результати вимірювань

Вид навантаження кола		Коефіцієнт потужності кола та кут зсуву фаз за показаннями однофазного фазометра	
		$\cos \varphi$, в.о.	φ , град
Котушка індуктивності з індуктивністю L_K , мГн	$L_{K1} =$		
	$L_{K2} =$		
	$L_{K3} =$		
Конденсаторна батарея з ємністю C , мкФ	$C_1 =$		
	$C_2 =$		
	$C_3 =$		



L_K – котушка індуктивності з індуктивністю; C – конденсатор з ємністю;

1, 2 – з'єднувальні проводи;

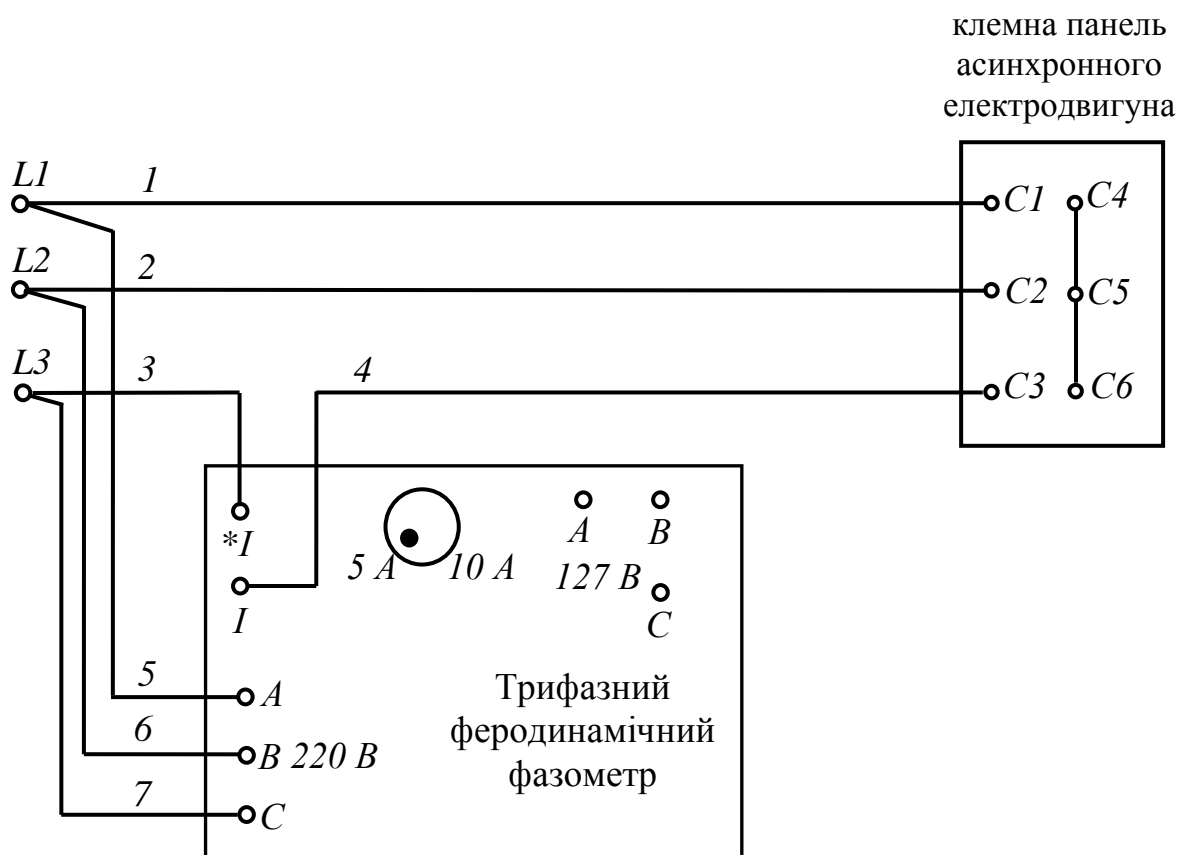
7. Рисунок 2 - Схема вимірювання коефіцієнту потужності з використанням вимірювального комплекту K50 (непрямий метод амперметра – вольтметра - ватметра) в однофазному колі змінного струму

8. Таблиця 5 – Результати вимірювань

Вид навантаження кола		Показання приладів			Обчислено за формулою (1) звіту	
		$U_{PV},$ B	$I_{PA},$ A	$P_{PW},$ Bm	$\cos \varphi,$ $в.о.$	$\varphi,$ $град$
Котушка індуктивності з індуктивністю $L_K, мГн$	$L_{K1} =$					
	$L_{K2} =$					
	$L_{K3} =$					
Конденсаторна батарея з ємністю, $C, мкФ$	$C_1 =$					
	$C_2 =$					
	$C_3 =$					

9. Розрахунок величини коефіцієнту потужності за непрямим методом амперметра – вольтметра – ватметра здійснюється за формулою

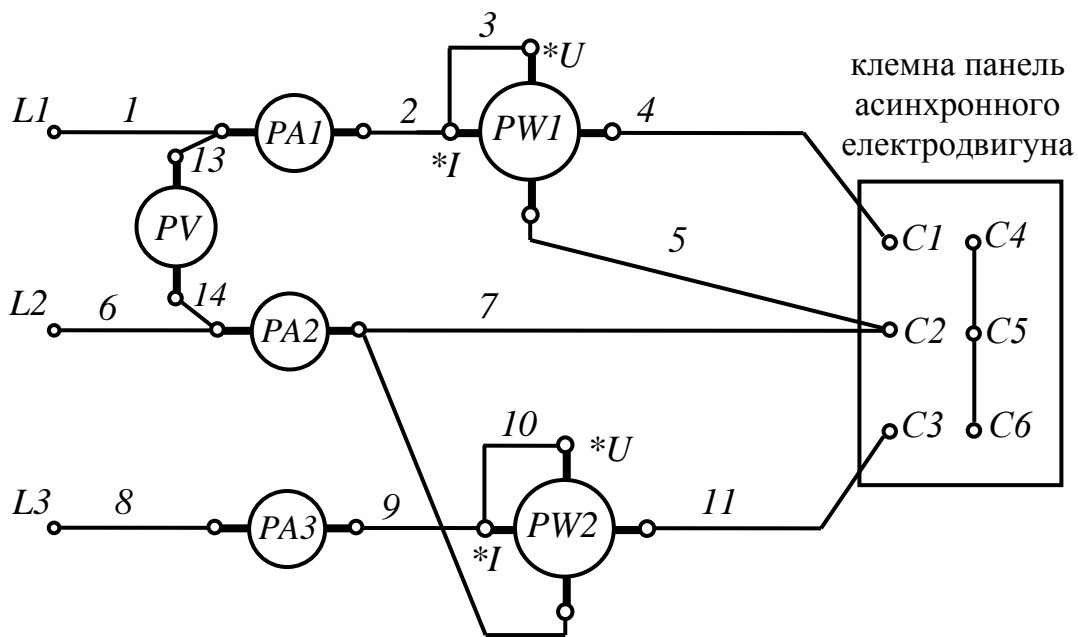
$$\cos \varphi = \frac{P_{PW}}{U_{PV} \cdot I_{PA}}. \quad (1)$$



10. Рисунок 3 - Схема прямого вимірювання коефіцієнту потужності трифазним фазометром в трифазному трипровідному колі змінного струму, навантаженням якого є асинхронний електродвигун

11. Таблиця 6 – Результати вимірювань

Серія та потужність трифазного асинхронного електродвигуна	Коефіцієнт потужності кола та кут зсуву фаз за показаннями трифазного фазометра	
	$\cos \varphi$, в.о.	φ , град



12. Рисунок 4 - Схема вимірювання коефіцієнту потужності за непрямим методом двох ватметрів в трифазному трипровідному колі змінного струму, навантаженням якого є асинхронний електродвигун

13. Таблиця 7 – Результати вимірювань

Серія та потужність трифазного асинхронного електродвигуна	Показання приладів		Обчислено за формулою (2) звіту	
	$P_{PW1}, \text{Вт}$	$P_{PW2}, \text{Вт}$	$\cos \varphi, \text{в.о.}$	$\varphi, \text{град}$

14. Розрахунок величини коефіцієнту потужності за непрямим методом двох ватметрів здійснюється за формулою

$$\cos \varphi = \frac{P_{PW1} + P_{PW2}}{2 \cdot \sqrt{P_{PW1}^2 - P_{PW1} \cdot P_{PW2} + P_{PW2}^2}}. \quad (2)$$

15. Висновок щодо практичної значущості як прямих, так й непрямих методів вимірювання коефіцієнту потужності у колах змінного струму при різних видах навантаження.

Контрольні запитання та завдання

1 Охарактеризуйте класифікацію методів та засобів вимірювань коефіцієнту потужності у колах змінного струму.

2 Опишіть конструкцію електродинамічного фазометра та наведіть схему увімкнення його до однофазного кола змінного струму.

3 Як вимірювати кут зсуву фаз електронним осцилографом? Які переваги осцилографічного методу вимірювання?

4 Опишіть конструкцію електромагнітного фазометра та наведіть схему увімкнення його до однофазного кола змінного струму.

5 На електростанції встановлені електронні лічильники активної і реактивної енергії. За час роботи споживачів показання лічильників збільшилися відповідно на $220\ 000\ \text{кВт}\cdot\text{год}$ та на $68\ 000\ \text{кВар}\cdot\text{год}$. Визначити середнє значення коефіцієнта потужності.

6 В однофазному колі змінного струму за даними опосередкованих вимірювань за допомогою трьох приладів були отримані такі показання: амперметр - $3,5\ \text{А}$, вольтметр – $145\ \text{В}$, ватметр – $95\ \text{Вт}$. Визначити кут зсуву фаз між напругою та струмом.

7 Для задачі 6 розробіть схему включення трьох приладів до однофазного кола змінного струму для вимірювання кута зсуву фаз між напругою та струмом.

Список літератури

1. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.

2. Нестерчук Д.М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

3. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник / [В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т.Володарський, В.В.Грабко] – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 538 с.

4. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; за ред. проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2012. – 544 с.

5. Панев Б.И. Электрические измерения: Справочник (в вопросах и ответах) / Б.И. Панев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 224с.

Лабораторна робота

ВИМІРЮВАННЯ ІНДУКТИВНОСТІ, ВЗАЄМНОЇ ІНДУКТИВНОСТІ ТА ЄМНОСТІ ОПОСЕРЕДКОВАНИМИ МЕТОДАМИ

Мета роботи:

Набуття практичних навичок при вимірюванні індуктивності, взаємної індуктивності котушок індуктивності та ємності конденсаторів опосередкованими методами.

Основні теоретичні відомості

Опосередковані (непрямі) вимірювання параметрів L , M , C здійснюються методами двох приладів (амперметра і вольтметра) або трьох приладів (амперметра, вольтметра і ватметра), а також резонансним методом (куметрами) [1, 2].

Завдання для самостійної підготовки

1. Опрацювати теоретичний матеріал: класифікація та суть методів вимірювання індуктивності, взаємної індуктивності котушок індуктивності та ємності конденсаторів [1, с.330 – 334, 2, с. 362 – 364, 3, с. 102 - 108].

2. Опрацювати теоретичний матеріал: вивчити схеми вимірювання індуктивності, взаємної індуктивності котушок індуктивності та ємності конденсаторів прямими та опосередкованими методами [1, с.330 – 334, 2, с. 362 – 364, 3, с. 102 - 108].

Порядок виконання роботи

1. Записати метрологічні характеристики електровимірювальних приладів, що використовуються в роботі, в таблиці 1 звіту до лабораторної роботи.

2. Скласти електричну схему вимірювання індуктивності котушки за методом трьох приладів (метод амперметра – вольтметра – ватметра) в однофазному колі змінного струму, навантаженням якого є котушка індуктивності – рисунок 1.

3. Здійснити вимірювання індуктивності котушки за методом трьох приладів (метод амперметра – вольтметра – ватметра) в однофазному колі змінного струму, навантаженням якого є котушка індуктивності. Результати вимірювань навести в таблиці 2.

4. Обчислити величину індуктивності котушки за методом трьох приладів (метод амперметра – вольтметра – ватметра) за формулами (1)...(4) звіту до лабораторної роботи. Результати обчислень навести в таблиці 2.

5. Скласти електричну схему вимірювання ємності конденсатора за методом трьох приладів (метод амперметра – вольтметра – ватметра) в однофазному колі змінного струму, навантаженням якого є конденсаторна батарея – рисунок 2.

6. Здійснити вимірювання ємності конденсатора за методом трьох приладів (метод амперметра – вольтметра – ватметра) в однофазному колі змінного струму, навантаженням якого є конденсаторна батарея. Результати вимірювань навести в таблиці 3.

7. Обчислити величину ємності конденсатора за методом трьох приладів (метод амперметра – вольтметра – ватметра) за формулою (5)...(8) звіту до лабораторної роботи. Результати обчислень навести в таблиці 3.

8. Скласти електричну схему вимірювання ємності конденсатора за методом двох приладів (метод амперметра – вольтметра) в однофазному колі змінного струму, навантаженням якого є конденсаторна батарея – рисунок 3.

9. Здійснити вимірювання ємності конденсатора за методом двох приладів (метод амперметра – вольтметра) в однофазному колі змінного струму, навантаженням якого є конденсаторна батарея. Результати вимірювань навести в таблиці 4.

10. Обчислити величину ємності конденсатора за методом двох приладів (метод амперметра – вольтметра) за формулою (9) звіту до лабораторної роботи. Результати обчислень навести в таблиці 4.

11. Скласти електричну схему вимірювання взаємної індуктивності двох котушок при їх узгодженому та зустрічному включенні за методом трьох при-

ладів (метод амперметра – вольтметра – ватметра) в однофазному колі змінного струму, навантаженням якого є дві котушки індуктивності – рисунок 4.

12. Здійснити вимірювання струму, напруги та активної потужності в однофазному колі змінного струму при узгодженому включенні двох котушок за схемою, що наведена на рисунку 4. Результати вимірювань навести в таблиці 5.

13. Здійснити вимірювання струму, напруги та активної потужності в однофазному колі змінного струму при зустрічному включенні двох котушок за схемою, що наведена на рисунку 4. Результати вимірювань навести в таблиці 5.

14. Обчислити величину взаємної індуктивності двох котушок за методом трьох приладів (метод амперметра – вольтметра – ватметра) за формулою (10) звіту до лабораторної роботи. Результати обчислень навести в таблиці 5.

15. Скласти електричну схему вимірювання взаємної індуктивності двох котушок за методом двох приладів (метод амперметра – вольтметра) в однофазному колі змінного струму, навантаженням якого є дві котушки індуктивності – рисунок 5.

16. Здійснити вимірювання взаємної індуктивності двох котушок за методом двох приладів (метод амперметра – вольтметра) в однофазному колі змінного струму, навантаженням якого є дві котушки індуктивності. Результати вимірювань навести в таблиці 6.

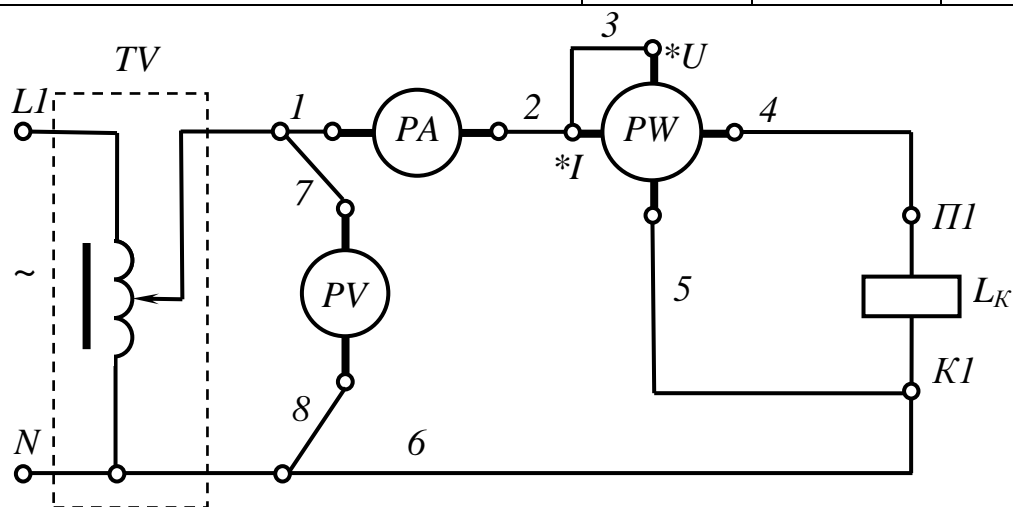
17. Обчислити величину взаємної індуктивності за методом двох приладів (метод амперметра – вольтметра) за формулою (11) звіту до лабораторної роботи. Результати обчислень навести в таблиці 6.

18. Сформулювати висновок щодо практичної значущості опосередкованих методів вимірювання індуктивності, взаємної індуктивності котушок індуктивності та ємності конденсаторів.

Зміст звіту

1. Найменування лабораторної роботи.
2. Таблиця 1 - Основні метрологічні характеристики приладів

Найменування позначення	Прилад		
	<i>PA</i>	<i>PV</i>	<i>PW</i>
Тип приладу			
Система (умовне позначення)			
Границя вимірювання за напругою, <i>B</i>			
Границя вимірювання за струмом, <i>A</i>			
Клас точності			
Рід струму			
Спосіб установки шкали приладу			
Умови експлуатації			
Напруга випробування, <i>кВ</i>			
Номінальна частота чи розширений діапазон частот, <i>Гц</i>			
Заводський номер, рік випуску			



TV – лабораторний автотрансформатор; *PA* – амперметр; *PV* – вольтметр; *PW* – ватметр; L_K – індуктивність котушки; *ПІ* та *КІ* - затискачі «Початок» та «Кінець» котушки індуктивності; 1...8 - з'єднувальні проводи

3. Рисунок 1 - Схема вимірювання індуктивності котушки за методом трьох приладів (метод амперметра – вольтметра – ватметра)

в однофазному колі змінного струму

4. Таблиця 2 – Результати вимірювань та обчислень індуктивності

Котушка	Показання приладів			Величини, що обчислені			
	$U_{PV},$ <i>B</i>	$I_{PA},$ <i>A</i>	$P_{PW},$ <i>Вт</i>	$Z_K,$ <i>Ом</i>	$r_K,$ <i>Ом</i>	$X_L,$ <i>Ом</i>	$L_K,$ <i>мГн</i>
<i>H1 – K1</i>							
<i>H2 – K2</i>							

5. Визначення величини індуктивності L_K котушки індуктивності здійснюється за формулами

$$L_K = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_{PV}}{I_{PA}}\right)^2 - \left(\frac{P_{PW}}{I_{PA}^2}\right)^2}}{2 \cdot \pi \cdot f}; \quad (1)$$

$$X_L = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2}; \quad (2)$$

$$Z_K = \frac{U_{PV}}{I_{PA}}; \quad (3)$$

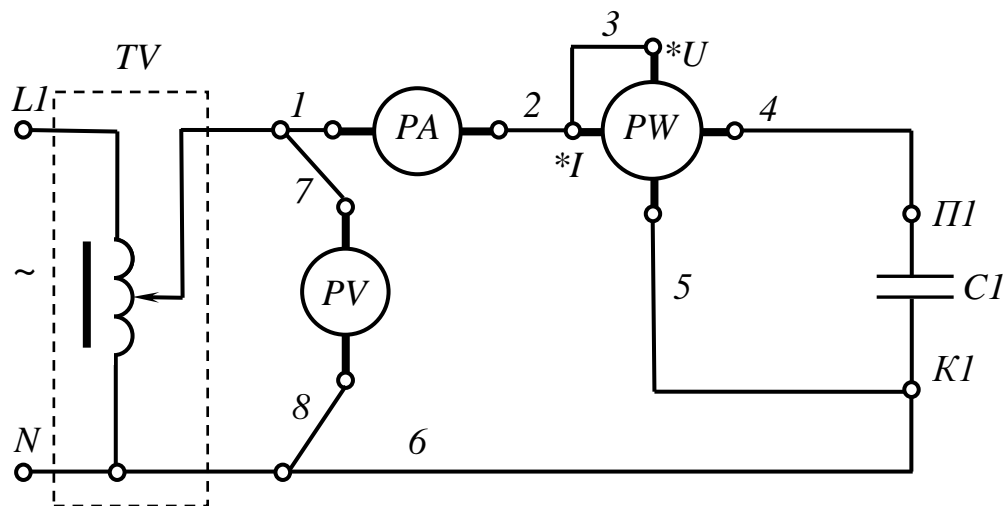
$$r_K = \frac{P_{PW}}{I_{PA}^2}, \quad (4)$$

де X_K – індуктивний опір котушки, *Ом*;

Z_K – повний опір котушки, *Ом*;

r_K – активний опір котушки, *Ом*;

f – частота струму мережі живлення, *Гц*; $f = 50$ *Гц*.



TV – лабораторний автотрансформатор; *PA* – амперметр; *PV* – вольтметр; *PW* – ватметр; *C1* – конденсатор конденсаторної батареї; *ПI* та *KI* - затискачі «Початок» та «Кінець» конденсатора; 1...8 - з'єднувальні проводи

5. Рисунок 2 - Схема вимірювання ємності конденсатора за методом трьох приладів (метод амперметра – вольтметра – ватметра) в однофазному колі змінного струму

6. Таблиця 3 – Результати вимірювань та обчислень індуктивності

Задана ємність конденсатора, мкФ	Показання приладів			Величини, що обчислені			
	$U_{PV},$ В	$I_{PA},$ А	$P_{PW},$ Вт	$Z_C,$ Ом	$r_C,$ Ом	$X_C,$ Ом	$C,$ мкФ

7. Визначення величини ємності *C* конденсатора здійснюється за формулами

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{\left(\frac{U_{PV}}{I_{PA}}\right)^2 - \left(\frac{P_{PW}}{I_{PA}^2}\right)^2}}; \quad (5)$$

$$X_C = \sqrt{Z_C^2 - r_C^2}; \quad (6)$$

$$Z_C = \frac{U_{PV}}{I_{PA}}; \quad (7)$$

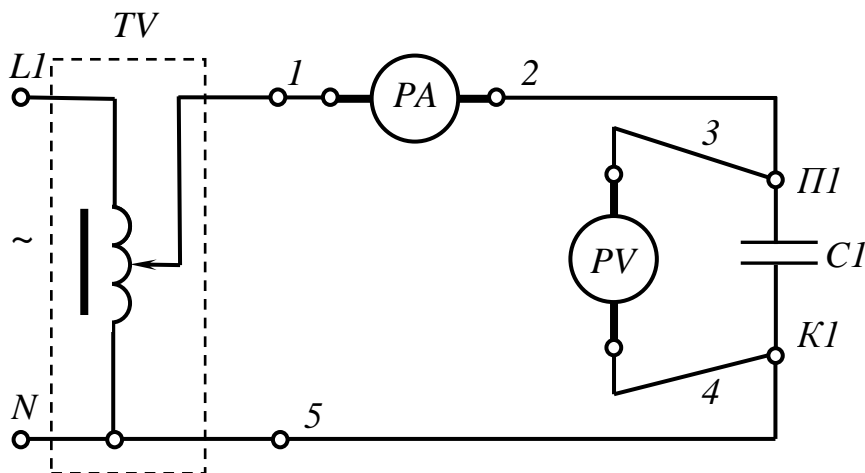
$$r_C = \frac{P_{PW}}{I_{PA}^2}, \quad (8)$$

де X_C – індуктивний опір конденсатора, $Ом$;

Z_C – повний опір конденсатора, $Ом$;

R_C – активний опір конденсатора, $Ом$;

f – частота струму мережі живлення, $Гц$; $f = 50 Гц$.



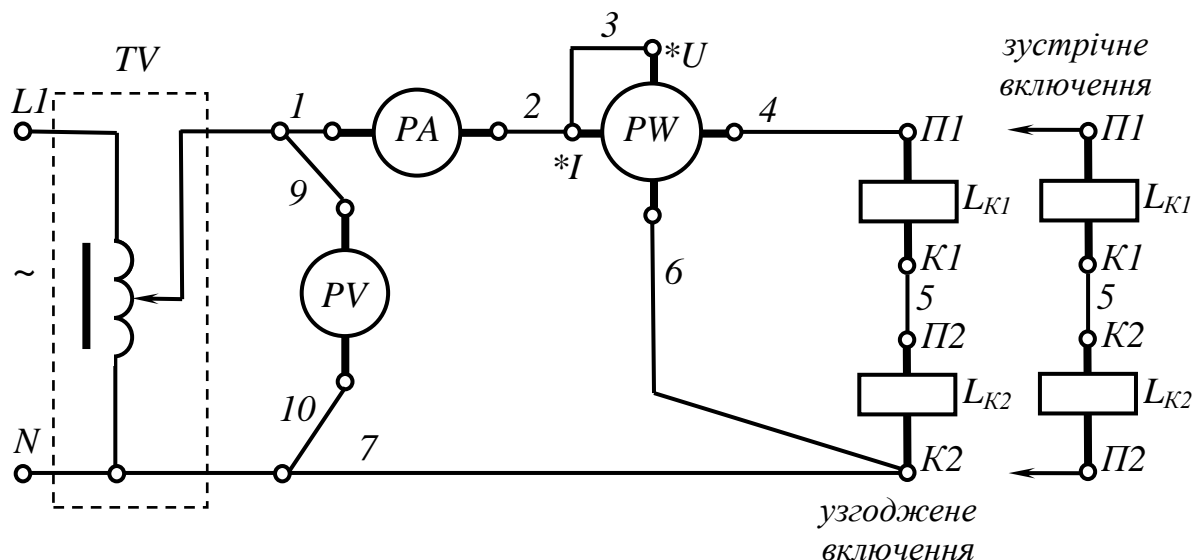
8. Рисунок 3 - Схема вимірювання ємності конденсатора за методом двох приладів (метод амперметра – вольтметра) в однофазному колі змінного струму

9. Таблиця 4 – Результати вимірювань та обчислень

Задана ємність конденсатора, $мкФ$	Показання приладів		Величина, що обчислена
	$U_{PV}, В$	$I_{PA}, А$	$C, мкФ$

10. Визначення ємності конденсатора здійснюється за формулою

$$C = \frac{I_{PA}}{\omega \cdot U_{PV}} = \frac{I_{PA}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_{PV}}. \quad (9)$$



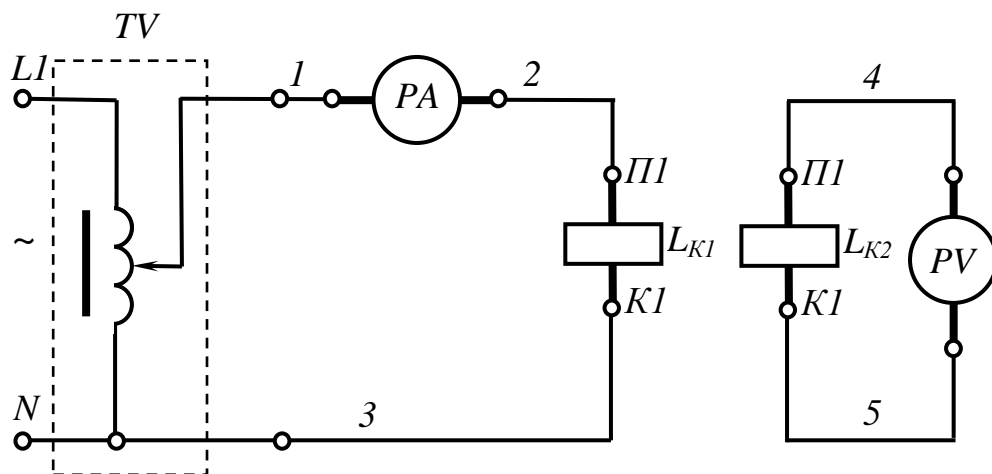
11. Рисунок 5 - Схема вимірювання взаємної індуктивності двох котушок при їх узгодженому та зустрічному включенні за методом трьох приладів (метод амперметра – вольтметра – ватметра) в однофазному колі змінного струму

12. Таблиця 5 – Результати вимірювань та обчислень

З'єднання котушок	Показання приладів			Величина, що обчислена
	U_{PV}, B	I_{PA}, A	$P_{PW}, Вт$	$M_{1,2}, Гн$
Узгоджене				
Зустрічне				

13. Взаємна індуктивності двох котушок визначається за формулою

$$M_{1,2} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_{PV}}{I_{PA}}\right)_{уз}^2 - \left(\frac{P_{PW}}{I_{PA}^2}\right)_{уз}^2} - \sqrt{\left(\frac{U_{PV}}{I_{PA}}\right)_{зуст}^2 - \left(\frac{P_{PW}}{I_{PA}^2}\right)_{зуст}^2}}{4 \cdot \omega}. \quad (10)$$



14. Рисунок 6 - Схема вимірювання взаємної індуктивності двох котушок за методом двох приладів (метод амперметра – вольтметра) в однофазному колі змінного струму

15. Таблиця 6 – Результати вимірювань та обчислень

Показання приладів		Величина, що обчислена
U_{PV}, B	I_{PA}, A	$M_{1,2}, Гн$

16. Взаємна індуктивність двох котушок визначається за формулою

$$M_{1,2} = \frac{U_{PV}}{\omega \cdot I_{PA}}. \quad (11)$$

17. Зміст висновку щодо практичної значущості опосередкованих методів вимірювання індуктивності, взаємної індуктивності котушок індуктивності та ємності конденсаторів.

Контрольні запитання

1 Які прилади та методи застосовуються для вимірювання індуктивності та взаємної індуктивності?

2 Охарактеризуйте метод «амперметра – вольтметра – ватметра» вимірювання індуктивності котушки. Як аналітично визначається індуктивність котушки за методом «амперметра – вольтметра – ватметра»?

3 Охарактеризуйте метод «амперметра – вольтметра» вимірювання взаємної індуктивності двох котушок. Як аналітично визначається взаємна індуктивність двох котушок за методом «амперметра – вольтметра»?

4 Охарактеризуйте метод «амперметра – вольтметра – ватметра» вимірювання взаємної індуктивності двох котушок. Як аналітично визначається взаємна індуктивність двох котушок за методом «амперметра – вольтметра – ватметра»?

5 Які прилади та методи застосовуються для вимірювання ємності?

6 Що таке електродинамічний фарадомір? Чому кут відхилення рухомої частини приладу залежить від величини ємності?

7 Охарактеризуйте метод «амперметра – вольтметра – ватметра» вимірювання ємності. Як аналітично визначається ємність за методом «амперметра – вольтметра – ватметра»?

8 Охарактеризуйте метод «амперметра – вольтметра» вимірювання ємності. Як аналітично визначається ємність конденсатора за методом «амперметра – вольтметра»?

Список літератури

1. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Т.2: Вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 654 с.

2. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; за ред. проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2012. – 544 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Тестові завдання для самоаналізу до лабораторної роботи

«Дослідження роботи вимірювального трансформатора струму»

1. В яких умовах працює вимірювальний трансформатор струму?

- 1 в умовах, які наближені до холостого ходу
- 2 в умовах перевантаження
- 3 в умовах, які наближені до короткого замикання
- 4 в звичайних умовах

2. Чому повинна дорівнювати величина сили струму в однофазному колі змінного струму, якщо амперметр до кола включений через вимірювальний трансформатор струму з коефіцієнтом трансформації 10/5, а показ приладу дорівнює 4,0 А?

- 1 4,0 А 3 3,0 А
- 2 8,0 А 4 5 А

3. До однофазного кола змінного струму включений феродинамічний ватметр з границею вимірювання за струмом 5 А та з границею вимірювання за напругою 75 В, зі шкалою на 75 поділок через вимірювальні трансформатори струму 10/5 і напруги 500/100. Визначити активну потужність, *кВт*, однофазного кола змінного струму, якщо показ приладу дорівнює «70».

- 1 3,5 кВт 3 5,0 кВт
- 2 1,0 кВт 4 7,0 кВт

4. Однофазний індукційний лічильник активної енергії включений до однофазного кола змінного струму через вимірювальні трансформатори струму 50/5 та напруги 500/200. Показання індукційного лічильника дорівнюють: на початку місяця 50 *кВт·год.*, а наприкінці місяця – 160 *кВт·год.* Визначити дійсну витрату активної енергії, *кВт·год.*, за поточний період.

- 1 2750 *кВт·год* 3 160 *кВт·год*
- 2 110 *кВт·год* 4 50 *кВт·год*

5. Як аналітично визначається номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора струму?

$$1 \quad K_{UH} = \frac{U_{1H}}{U_{2H}} = \frac{w_1}{w_2}$$

$$3 \quad K_I = \frac{w_1}{w_2}$$

$$2 \quad K_I = \frac{I_1}{I_2}$$

$$4 \quad K_{IH} = \frac{I_{1H}}{I_{2H}} \approx \frac{w_1}{w_2}$$

6. Для захисту обслуговуючого персоналу і вимірювальних приладів при вимірюваннях у колах високої напруги номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора струму може дорівнювати 5/5?

1 10/5

3 5/5

2 100/5

4 50/5

7. Яку назву має наведений чисельний ряд - 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; ...60000 А?

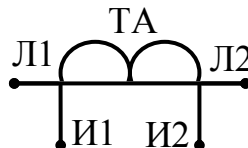
1 стандартний ряд номінальних первинних струмів вимірювальних трансформаторів струмів

2 номінальний вторинний струм вимірювальних трансформаторів струмів

3 клас точності приладу

4 стандартний ряд номінальних первинних струмів вимірювальних трансформаторів напруги

8. Що зображено на рисунку?



1 позначення вимірювального трансформатора напруги на схемах електричних принципів

2 позначення шунта на схемах електричних принципів

3 позначення вимірювального трансформатора струму на схемах електричних принципів

4 позначення додаткового резистора на схемах електричних принципів

Тестові завдання для самоаналізу до лабораторної роботи

**«Вимірювання електричних величин цифровими
вимірювальними приладами»**

1. Доповніть відповідь.

Які засоби вимірювань за функціональним призначенням поділяються на АЦП, ЦАП, цифрові вимірювальні прилади та цифрові вимірювальні системи?

- 1 цифрові засоби вимірювальної техніки
- 2 засоби вимірювальної техніки
- 3 вимірювальні прилади
- 4 вимірювальні системи

2. Вимірювальний перетворювач для автоматичного перетворення неперервної вимірюваної величини аналогового сигналу в пропорційну їй дискретну величину у вигляді цифрового коду, має назву ...

- 1 вхідний аналоговий перетворювач (ВАП)
- 2 інтерфейс
- 3 цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП)
- 4 аналого-цифровий перетворювач (АЦП)

3. Вимірювальний перетворювач, який призначений для перетворення цифрового коду в аналогову величину, має назву ...?

- 1 цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП)
- 2 обчислювальний пристрій (ОП)
- 3 інтерфейс
- 4 аналого-цифровий перетворювач (АЦП)

4. Прилади, в яких під час вимірювання здійснюється автоматичне перетворення неперервної вимірюваної величини в дискретну з подальшою індикацією результату вимірювання у цифровій формі – це ...

- 1 аналогові вимірювальні прилади
- 2 електронні вимірювальні прилади

- 3 цифрові вимірювальні прилади
- 4 вторинні вимірювальні прилади

5. Сукупність технічних і програмних засобів, правил (протоколів) для одно- або ж двостороннього обміну інформації між цифровими засобами має назву ...

- 1 інтерфейс
- 2 цифровий відліковий пристрій
- 3 цифровий мультиметр
- 4 цифрові вимірювальні прилади

6. Сукупність правил, які встановлюють значення кожного елемента залежно від його місця у кодовій комбінації та її довжини, має назву ...

- 1 інтерфейс
- 2 цифровий код
- 3 одиничний нормальний (число-імпульсний) код
- 4 десятковий код

7. Для подання оператору результату вимірювання у цифрових засобах призначені ...

- 1 пристрої відображення інформації
- 2 інтерфейс
- 3 пристрій управління
- 4 обчислювальний пристрій

8. З яких структурних блоків складається цифровий відліковий пристрій?

- 1 підсилювач
- 2 дешифратор
- 3 табло індикації
- 4 блок керування

