

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

**НЕСТЕРЧУК Д.М., ПОСТНІКОВА М.В.**

# **КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ З ОСНОВАМИ МЕТРОЛОГІЇ**

**ПРАКТИКУМ  
для підготовки здобувачів  
ступеня вищої освіти «Бакалавр»**

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

**НЕСТЕРЧУК Д.М., ПОСТНІКОВА М.В.**

## **ПРАКТИКУМ**

з дисципліни

**«Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології»**

**для підготовки здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр»**

**зі спеціальності 141**

**«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

*Навчальне видання*

**Мелітополь**

**2019**

УДК [621.317.7+006.91] (076.5)

Н55

*Рекомендовано методичною комісією  
енергетичного факультету  
Таврійського державного агротехнологічного університету  
(протокол № 8 від «24» квітня 2019 р.)*

**Укладачі:**

**Нестерчук Діна Миколаївна**, доцент кафедри «Електротехніка і електромеханіка імені професора В.В.Овчарова», Таврійський державний агротехнологічний університет,

**Постнікова Марина Вікторівна**, доцент кафедри «Електротехніка і електромеханіка імені професора В.В.Овчарова», Таврійський державний агротехнологічний університет

**Рецензенти:**

**Назаренко Ігор Петрович**, д.т.н., професор, завідувач кафедри електротехнологій і теплових процесів, Таврійський державний агротехнологічний університет

**Лобода Олександр Іванович**, к.т.н., старший викладач кафедри електроенергетики і автоматизації, Таврійський державний агротехнологічний університет

**Нестерчук Д.М.**

**Н55** Практикум з дисципліни «Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології»: навчальне видання / Д.М.Нестерчук, М.В.Постнікова. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. - 100 с.

Практикум з дисципліни «Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології» призначений для проведення практичних 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 практичних робіт.

В практикумі зібраний, систематизований та наочно викладений теоретичний і методичний матеріал, який охоплює практичні питання методології електричних вимірювань та опрацювання отриманих результатів експериментів. Структура кожної практичної роботи, їх зміст є методично обґрунтованими та роблять посібник зручним для самостійного опрацювання матеріалу студентами, як денної, так й заочної (дистанційної) форм навчання.

© Нестерчук Д.М.

© Постнікова М.В.

© «Таврійський державний агротехнологічний університет», 2019

## ЗМІСТ

Передмова .....	4
<b>Практичне заняття</b>	
Вивчення класифікації засобів вимірювань та принципів маркування приладів .....	5
<b>Практичне заняття</b>	17
Вивчення метрологічних характеристик засобів вимірювань .....	17
<b>Практичне заняття</b>	24
Розрахунок похибок вимірювань .....	24
<b>Практичне заняття</b>	34
Вивчення способів розширення меж вимірювань приладів .....	34
<b>Практичне заняття</b>	47
Дослідження цифрових вимірювальних приладів .....	47
<b>Практичне заняття</b>	53
Дослідження методів вимірювання електричних величин .....	53
<b>Практичне заняття</b>	63
Дослідження методів вимірювання магнітних величин .....	63
<b>Практичне заняття</b>	75
Дослідження методів вимірювання температури .....	75
<b>Практичне заняття</b>	88
Дослідження методів вимірювання неелектричних величин .....	88
Список літератури .....	99

## ПЕРЕДМОВА

Задачею вищої школи є не тільки надання студентам певних теоретичних знань, але й розвитку їх творчих практичних здібностей та активізації самостійної пізнавальної діяльності. Вища школа повинна навчити студента думати, виховувати себе для постійного поповнення своїх знань та самостійно вчитися.

Дисципліна «Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології» належить до спеціальних профільюючих дисциплін та забезпечує формування знань та вмінь, які необхідні для практичного застосування при проведенні етапів вимірювань електричних, магнітних та неелектричних величин, а можливість їх вимірювання електричними засобами вимірювань й передачі вимірювальної інформації на відстань – все це надає зазначеним вимірюванням особливу роль в метрології та метрологічній діяльності.

Практикум з дисципліни «Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології» призначений для проведення практичних 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 практичних робіт.

В практикумі зібраний, систематизований та наочно викладений теоретичний і методичний матеріал, який охоплює практичні питання методології електричних вимірювань та опрацювання отриманих результатів експериментів. Структура кожної практичної роботи, їх зміст є методично обґрунтованими та роблять посібник зручним для самостійного опрацювання матеріалу студентами, як денної, так й заочної (дистанційної) форм навчання.


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.

**Практичне заняття**  
**ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПІВ МАРКУВАННЯ**  
**ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ТА**  
**УМОВНИХ ГРАФІЧНИХ ПОЗНАЧЕНЬ НА ШКАЛАХ**

**Мета роботи:** Ознайомлення з принципами маркування електровимірювальних приладів та умовними графічними позначеннями, що наносяться на шкали приладів, а також набуття практичних навичок при описі призначення та метрологічних характеристик приладів.

**Основні теоретичні відомості**

Маркування електровимірювальних приладів призначене для надання найбільш важливих відомостей про прилад, а саме, його метрологічних характеристик, тому то при маркуванні на лицеву панель приладу (шкалу) наноситься інформація у вигляді умовних літер або умовних графічних позначень, щоб надавати відомості про прилад у будь-який час.

На шкалі приладу позначаються: марка приладу, заводський номер приладу, скорочене позначення одиниць вимірюваної величини, клас точності приладу, умовне позначення роду струму та системи приладу, умовне позначення напруги випробування ізоляції та нормального положення приладу, а також позначення частоти струму або її меж для приладів змінного струму для кіл з не стандартною частотою струму, при яких гарантується точність показань приладу, ступінь захищеності від впливу магнітних та електричних полів. Крім перелічених, деякі прилади та допоміжні частини мають такі позначення, а саме, схема підключення приладу або допоміжної частини, коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів, опори та номінальні струми додаткових резисторів, номінальні значення струму та падіння напруги шунтів, коефіцієнт потужності. Допускається у відповідності з технічними умовами ряд позначень наводити в експлуатаційній документації, в такому випадку на приладі повинен бути наведений на шкалі символ  «Увага! Прилад без інструкції не вмикати».

Літера, з якої починається тип приладу, показує спосіб створення обертового моменту електромеханічного вимірювального приладу, визначає його назву: М – магнітоелектричний; Э – електромагнітний; Д – електро – та феродинамічний; И – індукційний; С – електростатичний; В – випрямний; Т – термоелектричний, Н - самописець, Р – міри та вимірювальні перетворювачі.

В залежності 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 на рисунку 1 та в таблиці 1.

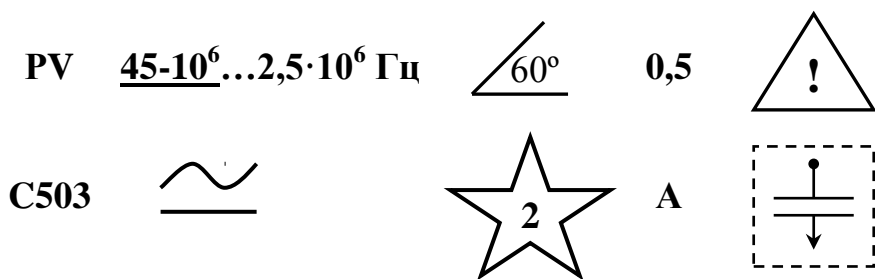


Рисунок 1 – Приклад умовних позначень на шкалі аналогового приладу

Таблиця 1 - Основні умовні позначення на шкалах аналогових приладів




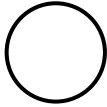

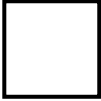




Назва	Умовне позначення
<b>1.Позначення системи вимірювального механізму приладу:</b>	
- магнітоелектричний механізм звичайний	
- магнітоелектричний механізм логометричний	
- електромагнітний механізм звичайний	

Продовження таблиці 1



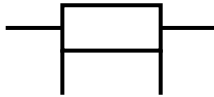
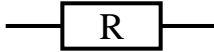

Назва	Умовне позначення
- електромагнітний механізм логометричний	
- електродинамічний механізм звичайний	
- електродинамічний механізм логометричний	
- феродинамічний механізм звичайний	
- феродинамічний механізм логометричний	
- електростатичний механізм	
- індукційний механізм	
<b>2. Позначення роду струму:</b>	
- постійний струм	
- змінний однофазний струм	
- постійний і змінний струм	
- трифазний змінний струм	
- трифазний змінний струм з асиметричним навантаженням	




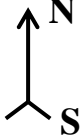

Продовження таблиці 1

Назва	Умовне позначення
<b>3. Позначення нормального положення шкали приладу:</b>	
- горизонтальне	
- вертикальне	
- установка шкали приладу під кутом (45...60...75°)	
<b>4. Екранування та захист:</b>	
- електростатичний екран	
- магнітний екран	
- захист від зовнішніх магнітних полів	
- захист від зовнішніх електричних полів	
<b>5. Позначення класу точності:</b>	
- клас точності, який виражений у формі зведеної похибки	<b>0,5</b>
- 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)	
<b>6. Міцність ізоляції вимірювального кола приладу:</b>	

Продовження таблиці 1

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

## Продовження таблиці 1

Назва	Умовне позначення
Увага! Прилад без інструкції не вмикати	
Орієнтація приладу в земному магнітному полі	
Обережно! Міцність ізоляції вимірювального кола не відповідає нормам!	

### Завдання для самостійної домашньої підготовки

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 1 [1, с.7-47, с.72, 3, с. 18-26, с. 37-42; 4, с.13-33, 5, с.21-24, 6, с.5-8];
2. Виконати тестові контрольні завдання за темою 1 «Класифікація вимірювань, методів та засобів вимірювань» на Навчально-інформаційному порталі ТДАТУ [7].

### Програма роботи

1. Вивчення основних теоретичних відомостей до практичного заняття.
2. Проведення поточного тематичного письмового тестування за темою заняття.
3. Виконання завдання 1 згідно варіантів, які наведені в таблиці 1.
4. Виконання завдання 2 згідно варіантів, які наведені в таблиці 2.
5. Виконання завдання 3 згідно варіантів, які наведені в таблиці 3.

### Завдання та вихідні дані для розрахунків

Вибір варіантів завдань здійснюється за вказівкою викладача.

#### Завдання 1.

Складіть логічні пари відповідності фізичної величини та електровимірювального приладу, який її вимірює, згідно варіанту, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для завдання 1

Варіант	Завдання			
	№ відповіді	фізична величина	№ відповіді	електровимірювальний прилад
<b>1</b>	1	активний опір	1	ампервольтметр
	2	активна потужність	2	варметр
	3	струм, напруга	3	омметр
	4	коефіцієнт потужності	4	ватметр
	5	реактивна потужність	5	фазометр
<b>2</b>	1	активна електроенергія	1	вольтметр
	2	ємність	2	частотомір
	3	напруга	3	амперметр
	4	частота струму	4	лічильник активної енергії
	5	сила струму	5	фарадомір
<b>3</b>	1	магнітна індукція	1	фазометр
	2	фазовий кут	2	тахометр
	3	активний опір	3	тесламетр
	4	реактивна електроенергія	4	лічильник реактивної енергії
	5	кутова швидкість	5	омметр
<b>4</b>	1	магнітний потік постійних магнітних полів	1	куметр
	2	активна потужність	2	фазометр
	3	добротність котушки	3	ватметр
	4	коефіцієнт потужності	4	фарадомір
	5	ємність	5	веберметр
<b>5</b>	1	сила струму	1	омметр
	2	форма та параметри електричних сигналів	2	мультиметр
	3	активний опір	3	осцилограф
	4	електричний заряд	4	амперметр
	5	напруга, струм, опір	5	електрометр
<b>6</b>	1	витрата рідини	1	фазометр
	2	реактивна потужність	2	ампервольтметр
	3	фазовий кут та коефіцієнт потужності	3	варметр
	4	кутова швидкість	4	тахометр
	5	струм, напруга	5	витратомір

Продовження таблиці 1

Варіант	Завдання			
	№ відповіді	фізична величина	№ відповіді	електровимірювальний прилад
7	1	ємність	1	частотомір
	2	електричний заряд	2	куметр
	3	частота	3	тесламетр
	4	магнітна індукція	4	електрометр
	5	добротність котушки	5	частотомір
8	1	магнітний потік постійних магнітних полів	1	куметр
	2	активна потужність	2	фазометр
	3	добротність котушки	3	ватметр
	4	коефіцієнт потужності	4	фарадомір
	5	ємність	5	веберметр
9	1	вологість	1	люксметр
	2	реактивна електроенергія	2	амперметр
	3	опір постійному струму	3	мегомметр
	4	сила струму	4	гігрометр
	5	освітленість	5	трифазний лічильник

**Завдання 2.**

Складіть логічні пари відповідності електровимірювального приладу та його умовного літерного позначення, згідно варіанту, які наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Вихідні дані для завдання 2


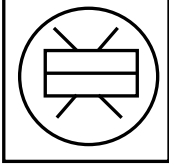



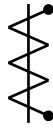





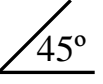


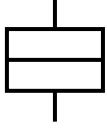



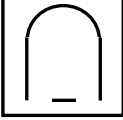





Варіант	Завдання			
	№ відповіді	електровимірювальний прилад	№ відповіді	умовне літерне позначення
1	1	амперметр	1	Wb
	2	веберметр	2	A
	3	омметр	3	$\Omega$
	4	частотомір	4	Hz
	5	лічильник електроенергії	5	Wh
2	1	мілівольтметр	1	W
	2	фазометр, що вимірює коефіцієнт потужності	2	$\mu A$
	3	ватметр	3	$\cos \varphi$
	4	мегомметр	4	$M\Omega$
	5	мікроамперметр	5	mV

Продовження таблиці 2


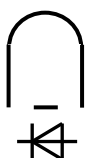









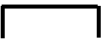
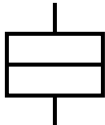


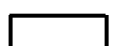
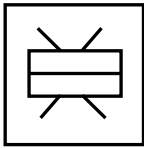



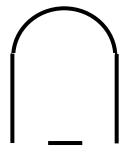





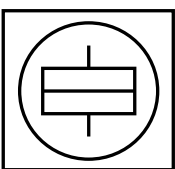



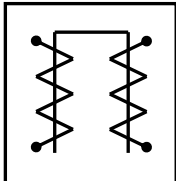

Варіант	Завдання			
	№ відповіді	електровимірювальний прилад	№ відповіді	умовне літерне позначення
3	1	вольтамперметр	1	mA
	2	кіловатметр	2	mWb
	3	мілівольтметр	3	kW
	4	лічильник реактивної енергії	4	Varh
	5	міліамперметр	5	VA
4	1	вольтметр	1	$\phi$
	2	варметр	2	F
	3	фарадомір	3	V
	4	фазометр, що вимірює фазовий кут	4	Var
	5	магнітоелектричний прилад	5	M
5	1	кілоамперметр	1	mT
	2	електромагнітний прилад	2	$\Omega$
	3	мілітесламетр	3	kA
	4	омметр	4	mV
	5	мілівольтметр	5	Э
6	1	феродинамічний прилад	1	C
	2	електростатичний прилад	2	P
	3	індукційний прилад	3	H
	4	самописець	4	D
	5	міри	5	I
7	1	міліамперметр	1	D
	2	мегомметр	2	M $\Omega$
	3	частотомір	3	Wh
	4	лічильник активної електроенергії	4	mA
	5	електродинамічний прилад	5	Hz
8	1	мікроамперметр	1	Ч
	2	мілівеберметр	2	$\mu$ A
	3	варметр	3	C
	4	електростатичний прилад	4	Var
	5	електронний частотомір	5	mWb
9	1	фазометр, що вимірює фазовий кут	1	AVF
	2	вольтамперметр	2	$\phi$
	3	мультиметр	3	VA
	4	лічильник реактивної енергії	4	Varh
	5	вольтметр з цифровим відліком	5	

**Завдання 3.** Розшифруйте умовні графічні та літерні позначення на шкалах електровимірювальних приладів згідно варіанту, які наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Вихідні дані для завдання 3

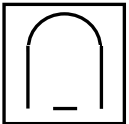
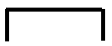



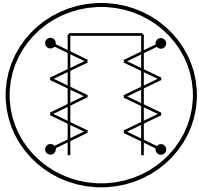

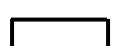

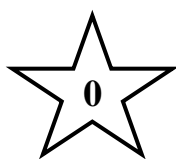
Варіант	Завдання					
1	Hz	50 Гц	1,5			
	Д126		$f_k = 45 \dots 55$ Гц	В		
2	РА	50 Гц	1,0			
	Э30		$I_k = 2,5$ А; 5 А	Б		
3	V		$U_k = 300$ В	1,0		
	С50		$20\text{Hz}-5\text{MHz}-10\text{MHz}$	А		
4	W		45-65-150Hz			
	Д529	0,5	$U_k = 75; 150; 300$ В $I_k = 2,5$ А; 5 А	А		
5	AV		$U_k = 75$ мВ; 0,5;1,0;5,0;10; 50;100 В			
	М321	1,5	$I_k = 0,005;$ 0,05;0,1;1,0; 5,0;10 А	А		
6	$\varphi^0$		49-50-51 Hz			
	ЭЛ ФМ	1,5	$\varphi = 0 \dots 360^0$	Б		

Продовження таблиці 3

Варіант	Завдання					
7	Ц43 53	 2,5		nF 		$U_{к\sim} = 6; 15;$ $60; 150;$ $300; 600 \text{ В}$ $I_{к\sim} = 0,3; 0,6;$ $3; 15; 60;$ $300; 1500 \text{ mA}$
		 1,5		$\Omega, \text{к}\Omega, \text{M}\Omega$ 		
8	W	 		$U_{к} = 75;$ $150; 300 \text{ В}$ $I_{к} = 2,5 \text{ A}; 5 \text{ A}$	0,2	45-500-1500Hz
	Д529		A		0,5	1500-3000Hz
9	Cos $\varphi$				інд. 1...0,2 ємн. 0,2...1	
	Д510 М		Б			
10	V	1,5			$U_{к} = 250 \text{ В}$	
	М330		В			
11	кW				250 В; 5 А	
	Н354	1,5	50 Гц		$P_{к} = 0...2$ кВт	
12	Cos $\varphi$ $\varphi^0$				$(0,5...1,0) \cdot I$ допуст. похибка $\pm 5^0$	
	Э500	A	інд.; ємн.		$(0,2...0,5) \cdot I$ допуст. похибка $\pm 10^0$	



Продовження таблиці 3

Варіант	Завдання					
13	M199	—		$R_{внутр} = 50 \text{ Ом}$		
	$\mu\text{Wb}$	1,5	A	$\Phi_k = 0 \dots 500 \text{ мкВб}$		
14	ЭФ				Б	
	мікрофарадомір				1 $\mu\text{F}$ 2 $\mu\text{F}$	
15	ЭМ4305		50;150; 500 мТл	2,5		
	тесламетр		1500 мТл	4,0		

**Контрольні запитання**

1. Що таке засоби вимірювальної техніки?
2. Що таке метрологічні та неметрологічні характеристики ЗВТ?
3. Яке призначення умовних графічних позначень на шкалах електровимірювальних приладів?
5. Наведіть умовні позначення класів точності ЗВ та поясніть їх зміст.
6. Які існують принципи маркування електровимірювальних приладів?
7. Для заданого приладу наведіть графічні умовні позначення, які необхідно нанести на його шкалу: вольтметр; тип Э8032-М1; границя вимірювання 500 В; клас точності 1,5; для кіл однофазного змінного струму; система приладу – електромагнітна; спосіб установки шкали – вертикальна; вимірювальне коло ізольоване від корпусу і випробуване під напругою 2,0 кВ; нормальна частота струму 50 Гц; умови експлуатації приладу – робота в сухих приміщеннях, що обігріваються.

**Практичне заняття**  
**ВИВЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**  
**ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ**

**Мета:** набуття практичних навичок при визначенні та описі метрологічних характеристик електровимірювальних приладів.

**Основні теоретичні відомості та рекомендації**

Проблема правильного вибору необхідного електровимірювального приладу є важливою та актуальною. Для вирішення такої проблеми є критерії оцінки ефективності застосування приладів, якими є їх *технічні характеристики*.

*Технічні характеристики* (метрологічні та неметрологічні) відображають властивості та функціонування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ).

*Метрологічними* є ті характеристики ЗВТ, 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.

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, має назву *діапазон вимірювань*.

Найменше і найбільше значення діапазону вимірювань мають назви **нижня**  $X_n$  і **верхня**  $X_v$  **границя вимірювань** відповідно.

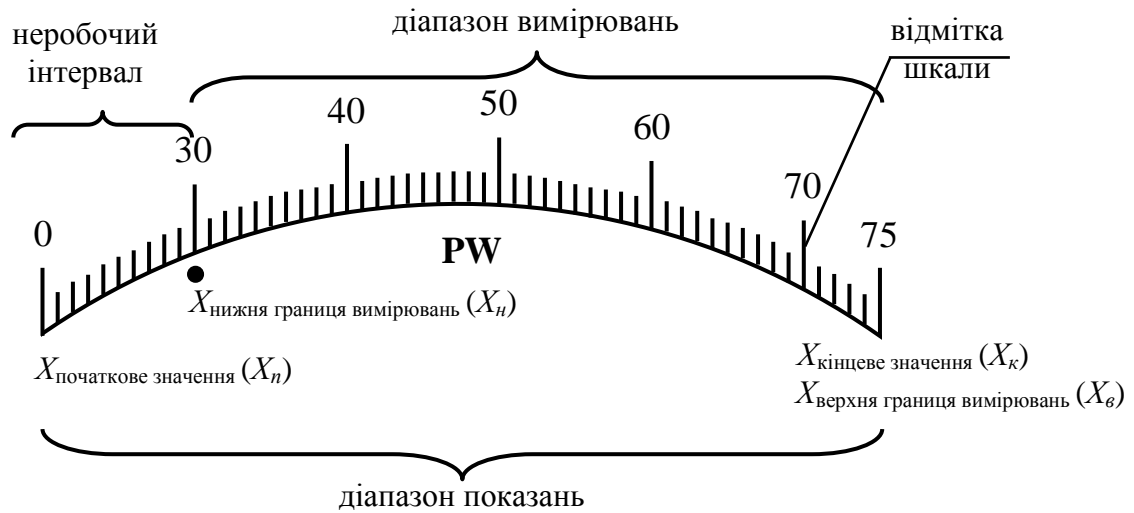


Рисунок 1 - Структура шкали аналогового ватметра

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 приладу. У таких випадках нижню границю вимірювання  $X_n$  приладу позначають спеціальною точкою на шкалі біля цифри.

Враховуючи усе вище наведене, визначаємо згідно рисунку 1:

- початкове значення шкали  $X_n$  дорівнює  $0 \text{ Вт}$ ;
- нижня границя вимірювання  $X_n$  дорівнює  $30 \text{ Вт}$ ;
- верхня границя вимірювання  $X_v$  дорівнює верхній границі показів  $X_k$  та дорівнюють  $75 \text{ В}$ ;
- 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 ( $N_{\epsilon}$ )** – це неіменоване абстрактне число, яке зчитане з пристроєм відліку або одержане підрахунком послідовних позначок чи сигналів. Найбільше число, яке можна зчитати з пристроєм 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 ( $X_{\kappa}$ ) або максимального значення багатозначної міри до максимального показу і є іменованим числом в одиницях величини  $x$ . Сталу приладу визначають за виразом

$$C = \frac{X_{\kappa}}{N_{B,max}}. \quad (1)$$

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

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

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

*Розв'язання.*

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

**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  $P_{\kappa} = U_{\kappa} \cdot I_{\kappa} = 150B \cdot 5A = 750Bm$ , отже, стала ватметра дорівнює

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

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 характе-

ристика 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. 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

Примітка до таблиці 1:

де  $\Delta X$  – абсолютна похибка приладу, яка дорівнює

$$\Delta X = \frac{\gamma \cdot X_K}{100\%}, \quad (3)$$

де  $X_K$  – верхня границя вимірювання приладу.

### Завдання для самостійної домашньої підготовки

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 2 [1, с. 47-71, с. 82-84, 3, с.27..35, с. 87...117, 4, с.33-47, 5, с.21-23];

2. Виконати тестові контрольні завдання за темою 2 «Засоби вимірювань» на Навчально-інформаційному порталі ТДАТУ [7].

### Програма роботи

1. Вивчення основних теоретичних відомостей до практичного заняття.
2. Проведення поточного тематичного письмового тестування за темою заняття.
3. Виконання завдання згідно варіантів, які наведені в таблиці 1.

### Завдання та вихідні дані для розрахунків


Вибір варіантів завдання здійснюється за вказівкою викладача.

### Завдання.

Визначити за даними таблиці 1 метрологічні характеристики заданого приладу:

- початкове значення шкали;
- нижню границю вимірювання;
- верхню границю вимірювання;
- діапазон показів та діапазон вимірювань;
- чутливість приладу для всіх можливих варіантів;
- сталу приладу для всіх можливих варіантів;
- максимальну можливу абсолютну похибку приладу;
- показ приладу.


Таблиця 1 – Вихідні дані для завдання

№ варіанту	Прилад	Верхня границя вимірювання	$N_{max}$ поділ	Клас точності	Відлік, $N_s$ , поділ	Загальний вид шкали приладу
1	PHz	45...55 Гц	50	1,5	30	
2	PV	0...300 В	60	1,0	40	
3	PmA	0...40 mA	75	0,5	55	

Продовження таблиці 1

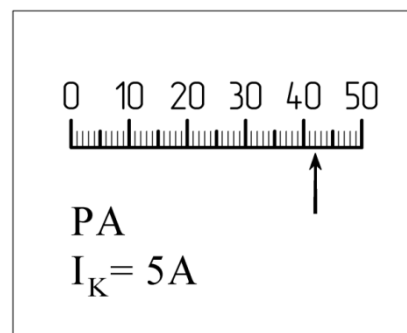
№ варіанту	Прилад	Верхня границя вимірювання	$N_{max}$ поділ	Клас точності	Відлік, $N_e$ , поділ	Загальний вид шкали приладу
4	PW	75;150;300; 450;600 В; 2,5; 5,0 А	150	0,5	120	
5	PΩ	15; 30 Ом	30	2,5	20	
6	PкW	0...2 кВт	40	1,5	37	
7	РА	5; 10 А	100	1,0	90	
8	PV	150; 300 В	150	0,5	88	
9	мікро-фарадомір	1,0 μF; 2,0 μF	100	1,0	96	
10	PWb	1,0; 2,5; 5,0; 10 мВб	100	$\gamma \leq 1,0$ $R_K = 10 \Omega$	85	
				$\gamma \leq 2,5$ $R_K = 20 \Omega$		
				$\gamma \leq 4,0$ $R_K = 30 \Omega$		
Примітка до варіанту 10: $R_K$ – опір вимірювальної котушки приладу						
11	люксметр	0...300 лк	30	10	27	
		0...1000 лк	100		78	
12	PAVW	$U_K = 100;$ 150; 300; 450; 600 В	100	0,5	92	
		$I_K = 0,1; 0,25;$ 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10; 25; 50 А			74	
		$P_K = U_K \cdot I_K$	75		59	

Продовження таблиці 1

№ варіанту	Прилад	Верхня границя вимірювання	$N_{max}$ поділ	Клас точності	Відлік, $N_6$ , поділ	Загальний вид шкали приладу
13	РАV	0,005;0,05;0,1; 1,0; 5,0; 10 А;	50	1,5	44	
		75 mB; 0,5; 1,0; 5,0; 10; 50; 100 В				
14	варметр	$U_K = 250; 375$ В $I_K = 1$ А	100	0,5	81	
15	РμА	0...200 мкА	50	1,0	44	

**Контрольні запитання та завдання**

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. Задана шкала амперметра (див. рисунок) з границею вимірювання  $I_K = 5$  А та усталеним розташуванням покажчика. Визначити кількість поділок шкали, максимальний відлік, ціну поділки шкали, сталу амперметра та його показ.





## РОЗРАХУНОК ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ

**Мета:** набуття практичних навичок при аналітичних розрахунках величин похибок вимірювань та електровимірювальних приладів.

### Основні теоретичні відомості та рекомендації

Через недосконалість конструкції засобів вимірювання (ЗВ), а також через кінцеві можливості технології їх виготовлення виникають інструментальні похибки, які необхідно оцінювати кількісно в процесі експлуатації. Похибки вимірювальної техніки за способом вираження поділяються на *абсолютні, відносні та приведені (зведені)*.

*Абсолютна похибка засобу вимірювань (ЗВ),  $\Delta_{ЗВ}$*  – це різниця між показом ЗВ,  $X_{ЗВ}$ , та істинним значенням вимірюваної величини,  $X_I$ , за відсутності методичних похибок і похибок від взаємодії ЗВ з об'єктом вимірювання. Абсолютна похибка аналітично визначається з виразом

$$\Delta_{ЗВ} = X_{ЗВ} - X_I. \quad (1)$$

З метою усунення методичних похибок та похибок від взаємодії засобу вимірювань з об'єктом вимірювання проводиться перевірка, під час якої значення вхідної величини визначається за допомогою зразкового засобу вимірювання.

*Відносна похибка ЗВ,  $\delta_{ЗВ}$*  – це відношення абсолютної похибки засобу вимірювань,  $\Delta_{ЗВ}$ , до істинного значення вимірюваної величини,  $X_I$ . Відносна похибка аналітично визначається з виразом

$$\delta_{ЗВ} = \frac{\Delta_{ЗВ}}{X_I} \cdot 100\%. \quad (2)$$

*Приведена похибка ЗВ,  $\gamma$*  – це відношення абсолютної похибки засобу вимірювань,  $\Delta_{ЗВ}$ , до нормованого значення,  $X_H$ . Приведена похибка аналітично визначається з виразом

$$\gamma = \frac{\Delta_{3B}}{X_H} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Залежно від умов експлуатації розрізняють *основну* і *додаткову* похибки.

**Основна похибка** – це похибка ЗВ за нормальних умов його використання. Основною причиною її виникнення є неточність і нестабільність елементів вимірювання кіл та конструктивних елементів вимірювальних механізмів ЗВ.

**Додаткова похибка ЗВ** – це похибка ЗВ, яка додатково виникає під час використання ЗВ в умовах відхилення хоча б однієї із впливних величин від нормального значення або виходу за границі нормальної області значень.

Границі допустимих основної і додаткових похибок ЗВТ встановлюють у формі абсолютних, зведених та відносних похибок залежно від характеру зміни похибки у межах діапазону вимірювання, а також від умов застосування та призначення ЗВТ конкретного виду.

**Адитивна похибка ЗВ** – це складова абсолютної похибки ЗВ, яка не залежить від значення вимірюваної величини, тобто вони ніби то додаються (від англ. *add* – додавати) до вимірюваної величини.

**Мультиплікативна похибка ЗВ** – це складова абсолютної похибки ЗВ, яка лінійно зростає чи зменшується зі збільшенням вимірюваної величини, тобто є пропорційними до добутку (від англ. *multiplication* – множення) певного коефіцієнта і значення вимірюваної величини.

**Клас точності ЗВ** - це узагальнена характеристика засобу вимірювань, що визначається межами його допустимих основної і додаткових похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на його точність. Клас точності ЗВТ характеризує його властивості щодо точності, але не є безпосереднім показником точності вимірювань, що виконуються за його допомогою. Це не похибка ЗВТ, а характеристика за допомогою якої можна оцінити похибку ЗВТ. По суті, клас точності – це максимально зведена похибка, яку гарантує підприємство-виробник. Таку похибку визначають у кожній точці шкали з цифрою. Про клас точності судять по максимальній зведеній похибці. Клас точності на шкалі приладі вказуєть-

ся відповідним числом, а саме: 0,002; 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4; 6; 10. Існують умовні позначення класу точності засобів вимірювань, які наносяться на циферблати, щітки та корпуси засобів. В таблиці 1, яка наведена на сторінці 20 практикуму, наведені умовні позначення класів точності та їх пояснення.

Похибки ЗВ необхідно оцінювати, тобто визначати їх граничні значення за спеціальною методикою, суть якої полягає у визначенні граничного значення основної похибки ЗВТ, при цьому враховується спосіб нормування похибки та форми вираження класу точності. В таблиці 1 наведена інформація щодо основних випадків оцінювання основної похибки ЗВ.

Таблиця 1 - Основні випадки оцінювання основної похибки ЗВ

Основні випадки оцінювання основної похибки ЗВ	Характеристика основної похибки	Аналітичні вирази
<p>Клас точності аналогового ЗВ, який виражений у формі допустимої зведеної основної похибки, та який позначається, як</p> <p style="text-align: center;"><b>0,5</b></p>	<p>стала основна похибка в діапазоні вимірювання ЗВ, при цьому нормується адитивна похибка</p>	<p>1. <math>Кл.точн. = \pm \gamma_{ep} = \pm \frac{\Delta_{ep}}{X_H} \cdot 100\% = const,</math></p> <p>де <math>\Delta_{ep}</math> - границі допустимої абсолютної основної похибки;  <math>X_H</math> - нормоване значення.</p> <p>2. Границі допустимої абсолютної основної похибки</p> $\Delta_{ep} = \pm \frac{\gamma_{ep} \cdot X_H}{100\%} = const.$ <p>3. Допустима відносна основна похибка</p> $\delta_{ep} = \pm \frac{\Delta_{ep}}{x_{вим}} \cdot 100\% = \pm \gamma_{ep} \cdot \frac{X_H}{x_{вим}} \cdot 100\%.$
<p>Клас точності аналогового ЗВ, який виражений у формі допустимої відносної основної похибки, та який позначається, як</p> <p style="text-align: center;">1,0</p>	<p>стала в діапазоні вимірювання ЗВ, при цьому нормується мультиплікативна похибка</p>	<p>1. <math>Кл._точн. = \delta_{ep} = \pm \frac{\Delta_{ep}}{x_{вим}} \cdot 100\% = const.</math></p> <p>де <math>\Delta_{ep}</math> - границі допустимої абсолютної основної похибки;  <math>x_{вим}</math> - значення вимірюваної величини</p> <p>2. Границі допустимої абсолютної основної похибки</p> $\Delta_{ep} = \pm \frac{\delta_{ep} \cdot x_{вим}}{100\%} = const.$

Продовження таблиці 1

Основні випадки оцінювання основної похибки ЗВ	Характеристика основної похибки	Аналітичні вирази
Клас точності цифрового ЗВ, який відображений двома числами $c/d$	похибка ЗВ містить як адитивну, так й мультиплікативну складові основної похибки ЗВ. $c$ – стале додатне число, характеризує границю основної зведеної похибки в кінці діапазону вимірювання ( $x_{вим} = X_K$ ); $d$ - стале додатне число, характеризує границю основної зведеної похибки на початку діапазону вимірювання ( $x_{вим} = 0$ )	<p>1. Границя основної зведеної похибки в кінці діапазону вимірювання, якщо <math>x_{вим} = X_K</math></p> $c = \pm \frac{\Delta_{зр.К}}{X_K} \cdot 100\% = \gamma_{зр.К}$ <p>2. Границя основної зведеної похибки на початку діапазону вимірювання, якщо <math>x = 0</math></p> $d = \pm \frac{\Delta_{зр.П}}{X_K} \cdot 100\% = \gamma_{зр.П}$ <p>3. Границі допустимої абсолютної основної похибки</p> $\Delta_{зр} = \pm \frac{d \cdot X_K + (c - d) \cdot x_{вим}}{100\%}$ <p>4. Допустима відносна основна похибка</p> $\delta_{зр} = \pm \left[ c + d \cdot \left( \frac{X_K}{x_{вим}} - 1 \right) \right] \cdot 100\%$

**Приклад 1.** За допомогою аналогового амперметра класу точності 0,5 з границею вимірювання  $I_K = 10$  А були виконані два вимірювання струму і отримали покази  $I_{вим1} = 8,1$  А та  $I_{вим2} = 2,5$  А. Визначити граничні значення основних абсолютної та відносної похибок для цих двох випадків і зробити висновок щодо точності виконаних вимірювань.

**Розв'язання.** Так як клас точності амперметра виражений у формі допустимої зведеної основної похибки  $\gamma_{зр}$ , яка дорівнює  $\pm 0,5\%$ , отже граничне значення абсолютної основної похибки  $\Delta_{зр}$  є однаковим для обох вимірювань, а саме

$$\Delta_{1.зр} = \Delta_{2.зр} = \pm \frac{\gamma_{зр} \cdot I_K}{100\%} = \pm \frac{0,5 \cdot 10}{100} = \pm 0,05 \text{ А.}$$

Граничне значення відносної основної похибки  $\delta_{зр}$  залежить від показу кожного амперметра

$$\delta_{1.зр} = \pm \gamma_{зр} \cdot \frac{I_K}{I_{вим1}} = \pm 0,5 \cdot \frac{10}{8,1} = \pm 0,62\%; ;$$

$$\delta_{2,зр} = \pm \gamma_{зр} \cdot \frac{I_K}{I_{вим2}} = \pm 0,5 \cdot \frac{10}{2,5} = \pm 2,0\%.$$

Точність вимірювання одним і тим самим приладом на цій самій границі залежить від того, наскільки отриманий показ близько чи далеко від границі вимірювання, і є вищою в першому випадку, при показі  $I_{вим1} = 8,1$  А.

**Приклад 2.** Визначити інтервал, в якому може знаходитися істинне значення опору однозначної міри електричного опору класу точності  $\textcircled{0,2}$  з номінальним значенням опору  $R_H = 10$  Ом.

*Розв'язання.* Так як клас точності виражений у формі допустимої відносної похибки  $\delta_{зр}$ , яка дорівнює 0,2%, то граничне значення абсолютної основної похибки  $\Delta R_{зр}$  дорівнює

$$\Delta R_{зр} = \pm \frac{\delta_{зр} \cdot R_H}{100\%} = \frac{0,2 \cdot 10}{100} = \pm 0,02 \text{ Ом}.$$

Істинне (дійсне) значення опору міру може знаходитися в інтервалі

$$R = (10,00 \pm 0,02) \text{ Ом} = (9,98 \dots 10,02) \text{ Ом}.$$

**Приклад 3.** Показ цифрового вольтметра класу точності 0,05/0,02 з границею вимірювань  $U_K = 150$  В становить 120 В. Знайти граничні значення відносної та абсолютної похибки вимірювання.

*Розв'язання.*

Граничне значення відносної похибки цифрового вольтметра визначається за формулою

$$\delta_{зр} = \pm \left[ c + d \cdot \left( \frac{U_K}{U_{вим}} - 1 \right) \right] \cdot 100\% = \pm \left[ 0,05 + 0,02 \cdot \left( \frac{150}{120} - 1 \right) \right] = \pm 0,055\%,$$

а граничне значення абсолютної похибки цифрового вольтметра дорівнює

$$\Delta_{зр} = \pm \frac{d \cdot U_K + (c - d) \cdot U_{вим}}{100\%} = \pm \frac{0,02 \cdot 150 + (0,05 - 0,02) \cdot 120}{100\%} = 0,066 \text{ В}.$$

### **Завдання для самостійної домашньої підготовки**

1. Вивчити теоретичний матеріал за темами 3 та 4 [1, с. 89-119, с.120-138, 3, с.122...125, 4, с.91-94, 5, с.609-630];
2. Виконати тестові контрольні завдання за темою 4 «Похибки вимірювань» на Навчально-інформаційному порталі ТДАТУ [7].

### **Програма роботи**

1. Вивчення основних теоретичних відомостей до практичного заняття.
2. Проведення поточного тематичного письмового тестування за темою заняття.
3. Виконання завдання 1 згідно варіантів, які обираються за вказівкою викладача.
4. Виконання завдання 2 згідно варіантів, які обираються за вказівкою викладача.

### **Завдання та вихідні дані для розрахунків**

Вибір варіантів завдання здійснюється за вказівкою викладача.

#### **Завдання 1.**

**Умова:** Амперметр, границя вимірювання якого дорівнює  $I_K = 10$  А, а клас точності якого  $\gamma_{зр.} = 0,2$ , за результатами вимірювань сили струму показав значення сили струму  $(2 \cdot N)$  А, де  $N$  – номер варіанту завдання від 1...5 за вказівкою викладача. Вольтметр, границя вимірювання якого дорівнює  $U_K = 0...100$  В, а клас точності якого  $\gamma_{зр.} = 0,5$ , за результатами вимірювань напруги показав значення напруги  $(10 \cdot N)$  В, де  $N$  – номер варіанту завдання від 6...10 за вказівкою викладача.

Визначити величини:

- виміряного значення електричних величин за результатами вимірювань згідно варіанту;
- абсолютної похибки вимірювання електричних величин завданими приладами;
- дійсного значення електричних величин;

- відносної похибки процесу вимірювання електричних величин завданими приладами.

Результати розрахунків величин похибок процесу вимірювання сили струму навести в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків похибок процесу вимірювання сили струму

Величини, що обчислюються	N – номер варіанту				
	1	2	3	4	5
Виміряне значення сили струму, $I_{вим}$ , А					
Абсолютна похибка, $\Delta I$ , А					
Дійсне значення сили струму, $I_0$ , А					
Відносна похибка процесу вимірювання сили струму амперметром, $\delta_I$ , %					

Результати розрахунків величин похибок процесу вимірювання напруги навести в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків похибок процесу вимірювання напруги

Величини, що обчислюються	N – номер варіанту				
	6	7	8	9	10
Виміряне значення напруги, $U_{вим}$ , В					
Абсолютна похибка, $\Delta U$ , В					
Дійсне значення напруги, $U_0$ , А					
Відносна похибка процесу вимірювання напруги вольтметром, $\delta_U$ , %					

### Приклад розрахунку для завдання 1

Вольтметр, границя вимірювання якого дорівнює  $U_K = 150$  В, а клас точності якого  $\gamma_{гр.} = 1,0$ , за результатами вимірювань напруги показав значення напруги 142 В. Результати вимірювань та розрахунків:

- виміряне значення напруги - 142 В;
- абсолютна похибка вимірювання напруги визначається за формулою

$$\Delta U = \pm \frac{\gamma_{zp} \cdot U_K}{100\%} = \pm \frac{1,0 \cdot 150}{100} = \pm 1,5 B;$$

- дійсне значення напруги дорівнює

$$U_{\delta} = U_{вим} \pm \Delta U = (142 \pm 1,5) = (140,5 \dots 143,5) B;$$

- відносна похибка процесу вимірювання напруги визначається за формулою

$$\delta_U = \pm \gamma_{zp} \cdot \frac{U_K}{U_{вим}} = \pm 1,0 \cdot \frac{150}{142} = \pm 1,06\%,$$

отже, величина відносної похибки залежить від показу вольтметра.

## **Завдання 2.**

**Умова:** Під час проведення метрологічної повірки електродинамічного ватметра в  $i$  – тій шкали з цифрою була отримана максимальна абсолютна похибка величиною  $0,2 \cdot (1 + 2 \cdot N)$  Вт, де  $N$  – номер варіанту завдання від 1...15 за вказівкою викладача. Границя вимірювання ватметра за напругою  $U_K = 150$  В, а границя вимірювання ватметра за струмом  $I_K = 2,5$  А, максимальний показ шкали приладу – 75 поділок.

Визначити:

- величину вимірюваного значення активної потужності згідно варіанту;
- величину абсолютної похибки за завданням варіантом;
- величину дійсного значення активної потужності;
- величину зведеної похибки за результатами метрологічної повірки;
- клас точності приладу за результатами метрологічної повірки;
- величину відносної похибки процесу вимірювання активної потужності, яка дорівнює  $24 \cdot N$ .

Результати розрахунків навести в таблиці 3.



Таблиця 3 – Результати розрахунків

Величини, що обчислюються	N – номер варіанту														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Вимірне значення активної потужності, $P_{вим}$ , Вт															
Абсолютна похибка, $\Delta P$ , Вт															
Дійсне значення актив- ної потужності, $P_0$ , Вт															
Зведена похибка ватметра, $\gamma_P$ , %															
Відносна похибка вимірювання активної потужності, $\delta_P$ , %															

### Контрольні запитання та завдання

1. Що таке точність вимірювання?
2. Що таке похибка вимірювання?
3. Що таке абсолютна та відносна похибки вимірювань?
4. Назвіть основні причини виникнення похибок вимірювання?
5. Як класифікують похибки засобів вимірювань?
6. Розкрийте поняття «абсолютна похибка засобу вимірювань», «відносна похибка», «приведена (зведена) похибка засобу вимірювань» та «клас точності».
7. Що таке нормування похибок ЗВТ?
8. Мілівольтметр має рівномірну шкалу з нульової відміткою в її середній зоні та розподілену на 50 поділок. Нижня межа вимірювання мілівольтметра  $U_H = -150$  мВ, а верхня межа  $U_B = +150$  мВ. Навести графічне зображення шкали та визначити ціну поділки. Знайти абсолютну і приведену похибки градуювання шкали мілівольтметра. Визначити величину чутливості приладу.
9. Під час повірки електромагнітного вольтметра з верхньою границею вимірювання 300 В на кожній позначці шкали з цифрами: 50; 100; 150; 200; 250; 300 В експериментатором були отримані відповідні покази цифрового вольтметра: 43; 95; 154; 198; 251; 299,5 В. До якого класу точності належить електромагнітний

вольтметр, якщо під нормування підпадає абсолютна похибка? Побудувати графічну залежність абсолютної похибки для всіх позначок шкали з цифрами вольтметра.

10. Ватметр з верхньою границею вимірювання за напругою  $150\text{ В}$  та з верхньою границею вимірювання за струмом  $5\text{ А}$  і максимальним відліком шкали  $150$  має граничне значення абсолютної похибки  $\pm 2,5\text{ Вт}$ . Визначити клас точності приладу та значення відносної похибки, якщо при вимірюванні активної потужності отримано показ  $500\text{ Вт}$ .

**Практичне заняття**  
**ВИВЧЕННЯ СПОСОБІВ РОЗШИРЕННЯ ГРАНИЦЬ**  
**ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ**

**Мета:** набуття практичних навичок при використанні вимірювальних перетворювачів: шунтів, додаткових резисторів, вимірювальних трансформаторів струму та напруги, для розширення границь вимірювання електровимірювальних приладів.

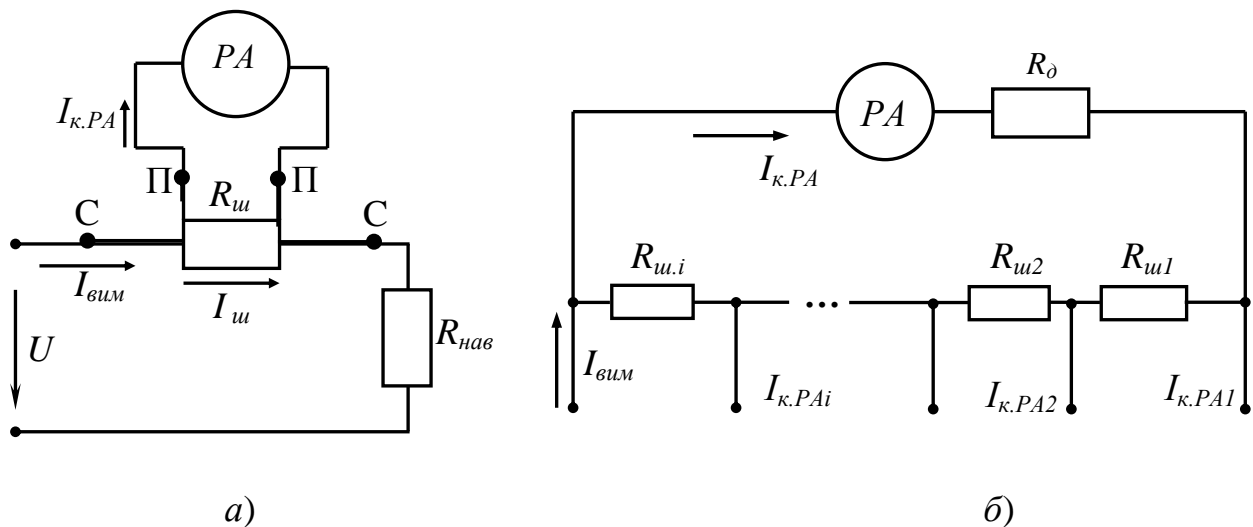
**Основні теоретичні відомості та рекомендації**

**Вимірювальний перетворювач** (ВП) – це вимірювальний пристрій, що реалізує вимірювальне перетворення фізичної величини. Вимірювальні перетворювачі поділяються на три групи:

- вимірювальні перетворювачі роду електричної величини – **шунти** та **додаткові резистори**;
- масштабні вимірювальні перетворювачі, в яких реалізоване масштабне вимірювальне перетворення електричної величини, тобто здійснюється зміна розміру електричної величини в задану кількість разів. До цієї групи належать **подільники напруги, вимірювальні трансформатори струму і напруги** та **вимірювальні підсилювачі**;
- вимірювальні перетворювачі роду струму – **вимірювальні перетворювачі середньовипрямлених, середньоквадратичних та амплітудних значень**.

**Шунт** – це резистивний вимірювальний перетворювач, який призначений для розширення границь вимірювання магнітоелектричних приладів за струмом. За конструкцією це резистор 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  $R_{BM}$ , який, переважно, працює в режимі мілівольтметра, тобто *шунт є перетворювачем струму в напругу*.

Схеми включення одностороннього та багаторонного шунтів подані на рисунку 1.



а - односторонній; б – багаторічний

Рисунок 1 – Схеми включення шунта

Аналітично опір одностороннього 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.

Опір багаторічного шунта розраховується за формулою

$$R_{ш1} = R_{РА} \cdot \frac{p_1}{p_1 - 1} \cdot \left( \frac{1}{p_1} - \frac{1}{p_2} \right); \quad (2)$$

$$R_{ш2} = R_{РА} \cdot \frac{p_1}{(p_1 - 1) \cdot p_2}, \quad (3)$$

де  $p_1, p_2$  - коефіцієнти шунтування, що показують в скільки разів необхідно розширити границі вимірювання приладу.

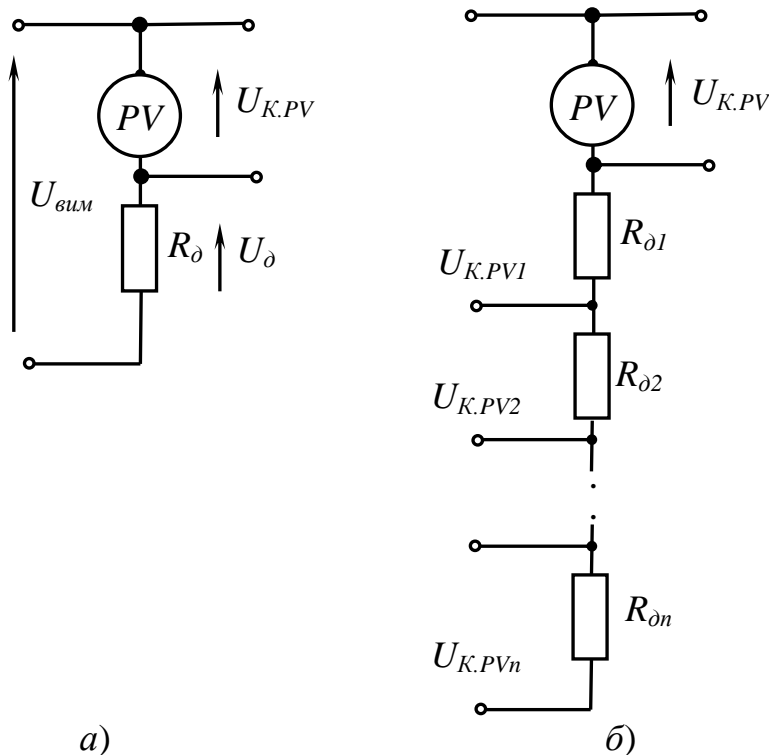
$$p_1 = \frac{I_{к.РА1}}{I_{к.РА}}; \quad p_2 = \frac{I_{к.РА2}}{I_{к.РА}}. \quad (4)$$

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  $\delta_{ш.зр}$

$$\delta_{ш.зр} = \pm \frac{\Delta R_{ш.зр}}{R_{ш.н}} \cdot 100\% = \pm c, \% \quad (5)$$

де  $\Delta R_{ш.зр}$  – границя допустимої абсолютної похибки шунта, Ом.

**Додатковий резистор** – це резистивний вимірювальний перетворювач напруги в струм, який вмикається послідовно з вимірювальним механізмом - рисунок 2, і який призначений для розширення границь вимірювань за напругою вольтметрів магнітоелектричної, електромагнітної та електродинамічної систем, а також приладів, що мають кола напруги: ватметрів, фазометрів.



*а* – однограничний; *б* – багатограничний

Рисунок 2 – Схеми включення додаткового резистора

Аналітично опір одностороннього додаткового резистора розраховується за формулою

$$R_{\partial} = R_{PV} \cdot \left( \frac{U_{вим}}{U_{K.PV}} - 1 \right) = R_{PV} \cdot (n - 1), \quad (6)$$

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.

Опір багатороннього додаткового резистора розраховується за формулою

$$R_{\partial 1} = \frac{U_{вим1} - I_{PV} \cdot R_{PV}}{I_{PV}}; \quad R_{\partial 2} = \frac{U_{вим2} - U_{вим1}}{I_{PV}}. \quad (7)$$

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  $\delta_{\partial.zp}$  згідно формули

$$\delta_{\partial.zp} = \pm \frac{\Delta R_{\partial.zp}}{R_{\partial.n}} \cdot 100\% = \pm c, \quad \%, \quad (8)$$

де  $\Delta R_{\partial.zp}$  – границя допустимої абсолютної похибки додаткового резистора, Ом.

**Вимірювальний трансформатор** - це масштабний електромагнітний перетворювач, який призначений для точного перетворення (трансформації) струму чи напруги, для розширення границь вимірювання приладів, а також для захисту персоналу при вимірюваннях у колах високої напруги. У вимірювальній техніці застосовують *вимірювальні трансформатори струму (ВТС)* та *вимірювальні трансформатори напруги (ВТН)* для розширення границь вимірювань за струмом та за напругою відповідних вимірювальних приладів - амперметрів, вольт-

метрів, ватметрів, тощо, а також вони дозволяють гальванічно розділити частини вимірювального кола: коло високої напруги від кола вимірювального приладу.

Вимірювальні трансформатори містять дві ізольовані обмотки, які розміщені на феромагнітних осердях – рисунок 3. Первинна обмотка має число витків  $w_1$ , вторинна –  $w_2$ . Виводи первинної обмотки підключаються до вимірювальних кіл, а до затискачів вторинної обмотки підключають засоби вимірювання. Вторинні кола вимірювальних трансформаторів заземлюють для безпечної роботи обслуговуючого персоналу.

Первинну обмотку вимірювального трансформатора струму вмикають до вимірювального кола послідовно, а вимірювального трансформатора напруги - паралельно.

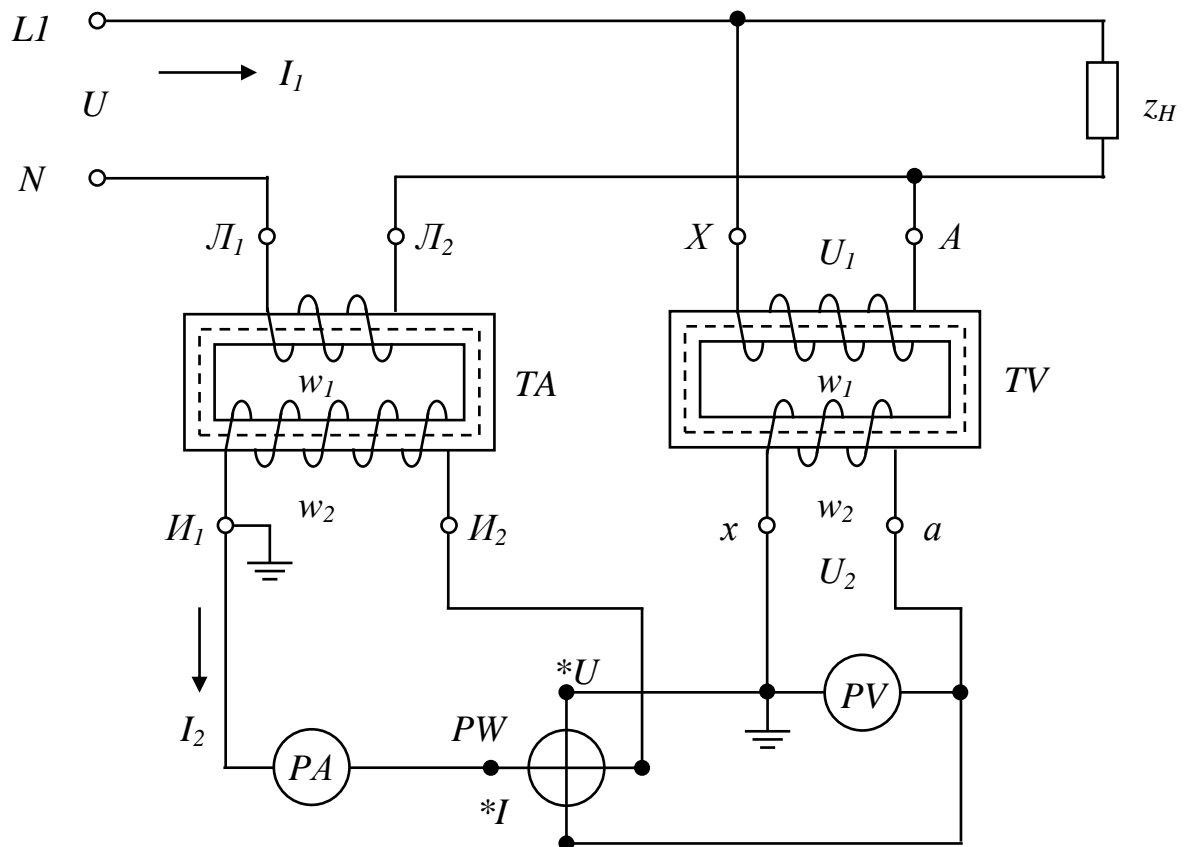
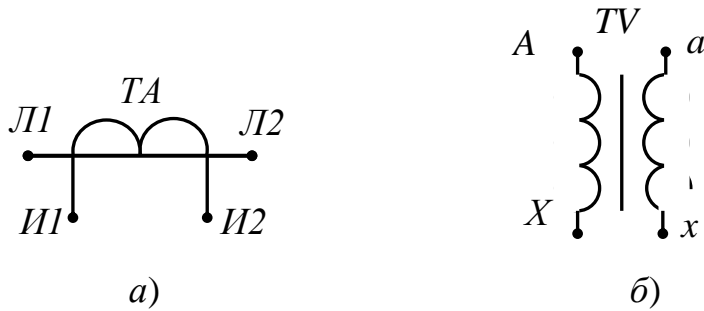


Рисунок 3 – Схеми включення вимірювальних трансформаторів струму (ТА) та напруги (ТВ) до однофазного кола змінного струму

Для правильного вмикання вимірювальних трансформаторів їх затискачі мають спеціальні позначення – рисунок 4. На рисунку 4.а наведено умовне гра-

фічне позначення вимірювального трансформатора струму, а на рисунку 4.б - умовне графічне позначення вимірювального трансформатора напруги.

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



а – трансформаторів струму; б - трансформаторів напруги

Рисунок 4 - Умовні графічні позначення вимірювальних трансформаторів

**Вимірювальний трансформатор струму** – це масштабний вимірювальний перетворювач, який 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. *Номінальний коефіцієнт трансформації ВТС* дорівнює відношенню номінального первинного струму  $I_{1H}$ , до номінального вторинного струму  $I_{2H}$

$$k_{IH} = \frac{I_{1H}}{I_{2H}} = \frac{w_2}{w_1}. \quad (9)$$

*Номінальне 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. *Номінальне 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 с, 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.



Так як опір котушок амперметрів, обмоток струму ватметрів, лічильників електричної енергії, фазометрів невеликий, тому ВТС працюють в режимі, близькому до режиму короткого замикання, тому кількість приладів у вторинному колі ВТС повинна бути обмежена. 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  $\Phi_2$ ;
- по осердю починає проходити великий змінний потік  $\Phi_1$ , який викликає появу великої ЕРС  $E_2$  (до тисячі вольт), так як вторинна обмотка має велику кількість витків;
- наявність такої ЕРС може призвести до пробію ізоляції вторинної обмотки, що є небезпечним для обслуговуючого персоналу;
- великий магнітний потік  $\Phi_1$  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.

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

$$I_{\text{кола}} = k_{IH} \cdot I_{2PA}, \quad (10)$$

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

**Вимірювальний трансформатор напруги** - це масштабний вимірювальний перетворювач, який застосовують для розширення границь вимірювань за напругою вольтметрів, ватметрів, лічильників електричної енергії та фазометрів у колах змінного струму. *Номінальний коефіцієнт трансформації ВТН* дорівнює відношенню номінальної первинної напруги  $U_{1H}$ , до номінальної вторинної напруги  $U_{2H}$

$$k_{UH} = \frac{U_{1H}}{U_{2H}} = \frac{w_1}{w_2}. \quad (11)$$

Номинальні значення первинної напруги ВТН вибирають зі стандартного ряду:  $U_{1H} = 100; 127; 150; 220; 380; 500; 1000; 2000; 3000; \dots 750000 \text{ В}$ , а номінальні значення вторинної напруги  $U_{2H} = 100/3; 100/\sqrt{3}; 100; 150; 200/\sqrt{3} \text{ В}; 200 \text{ В}$ .

Клас точності ВТН позначається одним числом  $c$ , яке вибирається зі стандартного ряду класу точності: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 10.

Характерною особливістю трансформатора напруги є великий опір приладів, що включаються до вторинного кола, унаслідок чого трансформатор напруги працює в умовах, близьких до холостого ходу. ВТН у вимірювальних колах використовуються у разі, коли вимірювальна напруга більша, ніж межа вимірювання вольтметра або іншого вимірювального приладу.

Значення вимірюваної напруги кола  $U_{\text{кола}}$  визначається за формулою

$$U_{\text{кола}} = k_{UH} \cdot U_{2PV}, \quad (12)$$

де  $U_{2PV}$  – вимірювана напруга за показаннями вольтметра.

### **Завдання для самостійної домашньої підготовки**

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 5 [1, с.139-167, с.186-223, с.228-252, 3, с. 132...178, 240...303, 4, с.152-282, 5, с.89-198];

2. Виконати тестові контрольні завдання за темою 5 «Вимірювальні перетворювачі, електромеханічні вимірювальні прилади, вимірювальні мости та компенсатори» на Навчально-інформаційному порталі ТДАТУ [7].

### **Програма роботи**

1. Вивчення основних теоретичних відомостей до практичного заняття.

2. Проведення поточного тематичного письмового тестування за темою заняття.

3. Виконання завдань 1 та 2 згідно варіантів, які обираються за вказівкою викладача.

## Завдання та вихідні дані для розрахунків

Вибір варіантів завдання здійснюється за вказівкою викладача.

### Завдання 1.

**Умова:** Магнітоелектричний міліамперметр з верхньою границею вимірювання  $I_k$ , внутрішнім опором  $R_{PmA}$  та з максимальним показом за шкалою  $N_{max}$  підключений до кола постійного струму через масштабні вимірювальні перетворювачі: шунт та додатковий резистор. Величини  $I_k$ ,  $R_{PmA}$ ,  $N_{max}$  для варіантів наведені в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1 – Вихідні дані для завдання 1 для розрахунку та вибору шунтів

Варіант	Верхня границя вимірювання $I_k$ , мА	Внутрішній опір, $R_{PmA}$ , Ом	Максимальний показ за шкалою $N_{в.мах}$ , поділки	Вимірювана величина сили струму, $I$ , А
1	5	48	50	0,05
2				0,1
3				1,0
4				2,5
5				5,0
6				10

Таблиця 2 – Вихідні дані для завдання 1 для розрахунку та вибору додаткових резисторів

Варіант	Верхня границя вимірювання $I_k$ , мкА	Внутрішній опір, $R_{PmA}$ , кОм	Максимальний показ за шкалою $N_{в.мах}$ , поділки	Вимірювана величина напруги, $U$ , В
1	50	1,5	50	0,5
2				1,0
3				5,0
4				10
5				50
6				100

Визначити:

- величину опору шунта  $R_{ш}$  для вимірювання сили струму  $I$  згідно варіанту (див. табл. 1) заданим міліамперметром;
- навести схему включення міліамперметра з шунтом до кола постійного струму для вимірювання струму;
- величини постійної та чутливості за струмом міліамперметра, який підключений до кола через шунт;
- величину опору додаткового резистора  $R_{\delta}$  для вимірювання напруги  $U$  згідно варіанту (див. табл. 1) заданим міліамперметром;
- навести схему включення міліамперметра з додатковим резистором до кола постійного струму для вимірювання напруги;
- величини постійної та чутливості за напругою міліамперметра, який підключений до кола через додатковий резистор.

Результати розрахунків навести в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунків

Варіант	Опір шунта $R_{ш}$ , Ом	Опір додаткового резистора $R_{\delta}$ , Ом	Постійна приладу		Чутливість приладу	
			$C_I$ , А/поділ	$C_U$ , В/поділ	$S_I$ , поділ/А	$S_U$ , поділ/В
1 та 6						

### Завдання 2.

**Умова:** Для вимірювання електричних величин в однофазному колі змінного струму: сили струму, напруги, активної потужності та активної електричної енергії, в розпорядженні оператора є електровимірювальні прилади: амперметр РА, вольтметр PV, ватметр PW та електронний лічильник PWh відповідно, які включені до кола через вимірювальні трансформатори струму та напруги.

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 - Вихідні дані для розрахунків

Варіант	Вихідні дані					$k_{UH}$
	PA	PV	PW	PWh	$k_{IH}$	
<b>1</b>	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{e,max} = 100;$ $N_i = 90$	$U_K = 75 \text{ B};$ $N_{e,max} = 150;$ $N_i = 145$	$I_K = 5 \text{ A};$ $U_K = 75 \text{ B};$ $N_{e,max} = 75; N_i = 40$	$W_{max} = 750$ кВт·год $W_{кiрм} = 950$ кВт·год	20/5	380/100
<b>2</b>	$I_K = 2,5 \text{ A};$ $N_{e,max} = 100;$ $N_i = 95$	$U_K = 150 \text{ B};$ $N_{e,max} = 150;$ $N_i = 140$	$I_K = 2,5 \text{ A};$ $U_K = 150 \text{ B};$ $N_{e,max} = 150;$ $N_i = 105$	$W_{max} = 70$ кВт·год $W_{кiрм} = 200$ кВт·год	10/5	500/100
<b>3</b>	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{e,max} = 100;$ $N_i = 75$	$U_K = 300 \text{ B};$ $N_{e,max} = 150;$ $N_i = 140$	$I_K = 5 \text{ A};$ $U_K = 300 \text{ B};$ $N_{e,max} = 150;$ $N_i = 90$	$W_{max} = 100$ кВт·год $W_{кiрм} = 330$ кВт·год	40/5	600/100
<b>4</b>	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{e,max} = 100;$ $N_i = 93$	$U_K = 75 \text{ B};$ $N_{e,max} = 150;$ $N_i = 60$	$I_K = 5 \text{ A};$ $U_K = 150 \text{ B};$ $N_{e,max} = 150; N_i = 35$	$W_{max} = 10$ кВт·год $W_{кiрм} = 300$ кВт·год	80/5	$\frac{500}{380/\sqrt{3}}$
<b>5</b>	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{e,max} = 100;$ $N_i = 53$	$U_K = 150 \text{ B};$ $N_{e,max} = 75;$ $N_i = 70$	$I_K = 5 \text{ A};$ $U_K = 150 \text{ B};$ $N_{e,max} = 150; N_i = 70$	$W_{max} = 20$ кВт·год $W_{кiрм} = 480$ кВт·год	20/5	500/100

Продовження таблиці 4

Варіант	Вихідні дані				
	PA	PV	PW	PWh	$k_{ГН}$
6	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{e, \max} = 100;$ $N_i = 86$	$U_K = 450 \text{ B};$ $N_{e, \max} = 150;$ $N_i = 70$	$I_K = 5 \text{ A};$ $U_K = 300 \text{ B};$ $N_{e, \max} = 150; N_i = 85$	$W_{\text{год}} = 140$ кВт·год $W_{\text{кварт}} = 670$ кВт·год	50/5  600/380
7	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{e, \max} = 100;$ $N_i = 98$	$U_K = 600 \text{ B};$ $N_{e, \max} = 150;$ $N_i = 50$	$I_K = 2,5 \text{ A};$ $U_K = 450 \text{ B};$ $N_{e, \max} = 150; N_i = 90$	$W_{\text{год}} = 110$ кВт·год $W_{\text{кварт}} = 880$ кВт·год	100/5  1000/100
8	$I_K = 10 \text{ A};$ $N_{e, \max} = 100;$ $N_i = 91$	$U_K = 75 \text{ B};$ $N_{e, \max} = 150;$ $N_i = 140$	$I_K = 10 \text{ A};$ $U_K = 300 \text{ B};$ $N_{e, \max} = 150; N_i = 110$	$W_{\text{год}} = 50$ кВт·год $W_{\text{кварт}} = 430$ кВт·год	75/5  500 380/3
9	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{e, \max} = 75;$ $N_i = 70$	$U_K = 300 \text{ B};$ $N_{e, \max} = 150;$ $N_i = 140$	$I_K = 5 \text{ A};$ $U_K = 150 \text{ B};$ $N_{e, \max} = 150; N_i = 110$	$W_{\text{год}} = 650$ кВт·год $W_{\text{кварт}} = 1050$ кВт·год	10/5  500/100
10	$I_K = 10 \text{ A};$ $N_{e, \max} = 100;$ $N_i = 84$	$U_K = 75 \text{ B};$ $N_{e, \max} = 150;$ $N_i = 140$	$I_K = 10 \text{ A};$ $U_K = 450 \text{ B};$ $N_{e, \max} = 150; N_i = 110$	$W_{\text{год}} = 750$ кВт·год $W_{\text{кварт}} = 950$ кВт·год	5/5  600/100

1. Пояснити необхідність включення заданих електровимірювальних приладів через вимірювальні трансформатори струму та напруги.

2. Розробити схему включення заданих приладів через вимірювальні трансформатори струму та напруги до однофазного кола змінного струму.

3. Визначити величини напруги  $U_2$ , сили струму  $I_2$ , активної потужності  $P_2$  та витрати активної електроенергії  $\Delta W_2$  у вторинному колі схеми.

4. Визначити первинні величини напруги  $U_1$ , сили струму  $I_1$ , активної потужності  $P_1$  та витрати активної електроенергії  $\Delta W_1$  у колі живлення споживача.

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Чому шунт, додатковий резистор, вимірювальні трансформатори струму та напруги є масштабними вимірювальними перетворювачами?

2. Опишіть конструкцію вимірювальних трансформаторів.

3. В яких умовах працюють вимірювальні трансформатори та чому?

4. За якими аналітичними виразами визначаються опори шунта та додаткового резистора?

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. Що таке номінальний коефіцієнт трансформації трансформатора напруги? Як аналітично він визначається?

8. Як включається вимірювальний трансформатор напруги з вимірювальним приладом до кола змінного струму?

9. Експериментатору необхідно обрати вимірювальні трансформатори струму та напруги, якщо відомо, що напруга живлення однофазного кола змінного струму дорівнює 450 В, а струм електричного навантаження дорівнює 6 А.

## ЦИФРОВІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

**Мета:** набуття практичних навичок при визначенні та описі метрологічних характеристик цифрових вимірювальних приладів.

### Основні теоретичні відомості та рекомендації

З погляду функціонального призначення цифрові засоби вимірювальної техніки поділяють на *аналого-цифрові перетворювачі (АЦП)*, *цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП)*, *цифрові вимірювальні прилади та цифрові вимірювальні системи*.

**Цифрові вимірювальні прилади (ЦВП)** – це прилади, в яких під час вимірювання здійснюється автоматичне перетворення неперервної вимірюваної величини в дискретну з подальшою індикацією результату вимірювання у цифровій формі. **Аналого-цифровий перетворювач (АЦП)** – це вимірювальний перетворювач, який призначений для автоматичного перетворення неперервної вимірюваної величини аналогового сигналу в пропорційну їй дискретну величину, яка зображена цифровим кодом. **Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП)** – це вимірювальний перетворювач, який призначений для перетворення цифрового коду в аналогову величину.

Залежно від виду вимірюваних величин ЦВП поділяються на: вольтметри постійного та змінного струму; вимірювачі частоти та інтервалу часу; омметри та мости постійного та змінного струму; комбіновані прилади (мультиметри); вимірювачі потужності; фазометри.

Границю допустимої відносної основної похибки ЦВП визначають формулою

$$\delta_{cp} = \pm \left[ c + d \cdot \left( \frac{X_K}{x_{вим}} - 1 \right) \right] \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $c/d$  – коефіцієнти, якими позначають клас точності ЦВП;

$X_K, x_{вим}$  – границя вимірювання та показ ЦВП.



### **Завдання для самостійної домашньої підготовки**

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 6 [5, с.240...303];
2. Виконати тестові контрольні завдання за темою 6 «Цифрові вимірювальні прилади» на Навчально-інформаційному порталі ТДАТУ [7].

### **Програма роботи**

1. Вивчення основних теоретичних відомостей до практичного заняття.
2. Проведення поточного тематичного письмового тестування за темою заняття.
3. Виконання завдань 1 та 2 згідно варіантів, які обираються за вказівкою викладача.

### **Завдання та вихідні дані для розрахунків**

Вибір варіантів завдання здійснюється за вказівкою викладача.

#### **Завдання 1**

**Умова:** Цифровий вольтметр має такі метрологічні характеристики: клас точності  $c/d$ , границя вимірювання  $U_K$ , вхідний опір  $R_{вх}$ , частотний діапазон  $f_{pv}$ .  
Оператор виконав два вимірювання величини напруги, результати вимірювань:  $U_{вим1}$  та  $U_{вим2}$ .

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 1.

Визначити:

- граничне значення абсолютної похибки для першого вимірювання;
- дійсне значення вимірюваної напруги за результатами першого вимірювання;
- граничне значення відносної похибки для першого вимірювання;
- граничне значення абсолютної похибки для другого вимірювання;
- дійсне значення вимірюваної напруги за результатами другого вимірювання;
- граничне значення відносної похибки для другого вимірювання.

Зробити висновок щодо точності процесу вимірювання напруги заданим цифровим вольтметром.

Таблиця 1 – Вихідні дані для завдання 1

Варіант	Верхня границя вимірювання, $U_k$	Клас точності, $c/d$	Вхідний опір, $R_{вх}$	Частотний діапазон	Результати вимірювань напруги	
					$U_{вим1}$	$U_{вим2}$
1	10 В	0,003/0,0005	1000 МОм/В	-	7,5 В	5,2 В
2	50 В	0,15/0,05	1 МОм	-	34 В	41 В
3	100 мВ	0,06/0,03	1000 МОм/В	-	85 мВ	69 мВ
4	200 мВ	0,15/0,05	100 МОм	-	134 мВ	195 мВ
5	20 В	0,6/0,5	10 МОм	45 Гц... 20 кГц	12 В	17 В
6	1 В	0,0025/0,001	1000 МОм/В	-	0,9 В	0,5 В
7	5 В	0,1/0,05	1000 МОм/В	-	3,5 В	4,8 В
8	1000 В	0,4/0,05	10 МОм	20 Гц...20 кГц	953 В	920 В
9	2 В	0,15/0,05	100 МОм	-	1,9 В	0,7 В
10	50 мВ	0,15/0,05	1000 МОм/В	-	37 мВ	49 мВ

**Завдання 2.**

**Умова:** Цифровий універсальний прилад призначений для вимірювання величин напруги, сили струму та опору постійному струму, а також середньої частоти синусоїдних коливань, паспортні дані якого наведені в таблиці 2.

Обрати відповідні піддіапазони приладу для вимірювання заданих електричних величин за даними таблиці 3.

Оцінити точність роботи цифрового універсального приладу при вимірюванні заданих електричних величин та записати результати вимірювань. Результати розрахунків навести в таблицю 4.

Таблиця 2 – Паспортні дані цифрового універсального приладу

Величини, що вимірюються	Діапазон вимірювання	Кінцеве значення піддіапазону вимірювання	Клас точності
Напруга	0,001...1000 В	1; 10; 100; 1000 В	0,25/0,1
Сила струму	0,1...1000 мА	1; 10; 100 мА;	0,25/0,1
		1000 мА	0,5/0,2
Опір постійному струму	10 Ом...1000 кОм	100 Ом; 1; 10; 100; 1000 кОм	0,25/0,1
Середня частота синусоїдних коливань	1...1000 кГц	10; 100; 1000 кГц	0,02/0,01

Таблиця 3 – Вихідні дані для завдання 2

(N – номер варіанту завдання від 1...15 за вказівкою викладача)

Напруга	Сила струму	Опір постійному струму	Середня частота синусоїдних коливань
$(185,7+0,2 \cdot N)$ , мВ	$(7,65+0,31 \cdot N)$ , мА	$(5,68+0,15 \cdot N)$ , кОм	$(1060+5 \cdot N)$ , Гц
$(37,2+0,1 \cdot N)$ , В	$(0,63+0,01 \cdot N)$ , А	$(25367+0,1 \cdot N)$ , Ом	$(778,5+2,5 \cdot N)$ , кГц

Таблиця 4 – Результати розрахунків

Варіант	Виміряна приладом електрична величина, $X_{вим}$	Обраний піддіапазон вимірювання, $X_k$ та клас точності, $c/d$	Похибка		Результат вимірювання, $(X_{вим} \pm \Delta)$
			відносна, $\delta$ , %	абсолютна, $\Delta$	
1	$U$				
	$I$				
	$R$				
	$f$				

## Приклад розрахунку для завдання 2

Розрахунок здійснений для варіанту 30. За таблицю 3 визначаються величини, що вимірюються цифровим універсальним приладом, результати наведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Результати розрахунків для варіанту 30

Варіант	Вимірjana приладом електрична величина, $X_{вим}$		Обраний піддіапазон вимірювання, $X_K$ , та клас точності, $c/d$	Похибка		Результат вимірювання, $(X_{вим} \pm \Delta)$
				відносна, $\delta$ , %	абсолютна, $\Delta$	
30	$U$	191,7 мВ	1 В; 0,25/0,1	0,672	1,3 мВ	$(191,7 \pm 1,3)$ , мВ
		40,2 В	100 В; 0,25/0,1	0,4	0,16 В	$(40,20 \pm 0,16)$ , В
	$I$	16,95 мА	100 мА; 0,25/0,1	0,74	0,12 мА	$(16,95 \pm 0,12)$ , мА
		0,93 А	1000 мА; 0,5/0,2	0,52	0,005 А	$(0,93 \pm 0,005)$ , А
	$R$	10,18 кОм	100 кОм; 0,25/0,1	0,13	0,12 кОм	$(10,18 \pm 0,12)$ , кОм
		256,7 Ом	1 кОм; 0,25/0,1	0,54	1,4 Ом	$(256,7 \pm 1,4)$ , Ом
	$f$	1210 Гц	100 кГц; 0,02/0,01	0,09	1,0 Гц	$(1210 \pm 1,0)$ , Гц
		853,5 кГц	1000 кГц; 0,02/0,01	0,02	0,18 кГц	$(853,5 \pm 0,18)$ , кГц

За таблицю 2 обираються кінцеві піддіпазони вимірювання та класи точності для вимірювання електричних величин цифровим приладом, результати наведені в таблиці 5. Так як клас точності цифрового приладу наведений у вигляді дроби  $c/d$ , тому граничне значення відносної похибки електричних величин визначається за формулою

$$\delta_{gp} = \pm \left[ c + d \cdot \left( \frac{X_K}{X_{вим}} - 1 \right) \right] \cdot 100\%,$$

а граничне значення абсолютної похибки дорівнює

$$\Delta U_{gp} = \pm \frac{d \cdot X_K + (c - d) \cdot X_{вим}}{100\%}.$$

Результати розрахунку величин похибок наведені в таблиці 8.

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Поясніть призначення ЦВП та на які види вони поділяються.
2. Які основні елементи є складовими в конструкції ЦВП?
3. Що таке аналого-цифровий перетворювач, цифро-аналоговий перетворювач, вимірювальний канал та цифрова вимірювальна система?
4. Які характеристики є метрологічними характеристиками цифрових приладів?
5. Назвіть основні елементи функціональної схеми цифрового мікропроцесорного приладу.
6. Визначити відносну та абсолютну похибки показу  $R = 8$  кОм цифрового омметра, клас точності якого  $0,1/0,04$ , а границя вимірювання опору дорівнює  $10$  кОм.

Практичне заняття

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ  
ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН**

**Мета:** набуття практичних навичок при вимірюванні електричних величин.

**Основні теоретичні відомості та рекомендації**

До найпоширеніших електричних величин: постійний струм і напруга, змінний струм і напруга, активна та реактивна потужність і електрична енергія змінного струму, частота і фаза змінних сигналів, а також параметри електричних кіл постійного і змінного струму – активний і комплексний електричний опори, індуктивність та ємність.

Одержання необхідної вимірювальної інформації з мінімальними матеріальними і часовими витратами вимагає ретельної підготовки та здійснення експерименту при вимірюванні фізичних електричних величин. Фактично під час вимірювання розв'язується вимірювальна задача, яка складається з трьох основних етапів – підготовка експерименту, його виконання та опрацювання його результатів.

Розуміння мети вимірювання електричних величин, попереднє формування моделі об'єкту вимірювання, обґрунтований вибір методу вимірювання та відповідних засобів вимірювань, які в сукупності забезпечують необхідну точність вимірювання, є основними задачами організації вимірювального експерименту для вимірювання електричних величин.

Так як зміст теоретичного матеріалу щодо методів вимірювання електричних величин, має дуже великий об'єм, тому то наведення такої інформації в змісті практикуму є недоцільним. Отже, при підготовці до практичного заняття студентові необхідно самостійно вивчити теоретичний матеріал, посилення на яке наведено в пункті «Завдання для самостійної домашньої підготовки» для даного практичного заняття.

### **Завдання для самостійної домашньої підготовки**

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 7 [2, с. 8-32, с. 33-54, с. 55-61, с.62-73, с.74-82, с. 83-101, с. 102-120, 3, с. 100-166, 4, с. 285-300, с.304-322, с.332-335, с.360-365, 5, с.178...196, 232...234, с.245-438];

2. Виконати тестові контрольні завдання за темою 7 «Вимірювання електричних величин» на Навчально-інформаційному порталі ТДАТУ [7].

### **Програма роботи**

1. Вивчення основних теоретичних відомостей до практичного заняття.

2. Проведення поточного тематичного письмового тестування за темою заняття.

3. Виконання завдання згідно двох варіантів, які обираються за вказівкою викладача.

### **Завдання та вихідні дані для розрахунків**

Вибір варіантів завдання здійснюється за вказівкою викладача.

**Формування умови:** Згідно обраного варіанту за змістом таблиці 1 студентом обираються вихідні дані та формується умова задачі. Пояснення щодо літерних позначень вихідних даних наведені в таблиці 2.

Завдання:

- обрати метод вимірювання електричної величини згідно таблиці 1;
- розробити схему електричну принципову для вимірювання електричної величини;
- скласти алгоритм аналітичного визначення вимірюваної електричної величини;
- визначити кількісне значення електричної вимірюваної величини за розробленим алгоритмом.

Таблиця 1 – Вихідні дані для завдання 1

Варіант	Електричне коло	Амперметр РА				Вольтметр РV				Ватметр РW			$R_{ш},$ ОМ	$R_{о},$ ОМ	Вимірювана електрична величина
		$I_K$	$N_{в. max}$	$R_{РА}$	$N_i$	$U_K$	$N_{в. max}$	$R_{PV}$	$N_i$	$P_K$	$N_{в. max}$	$N_i$			
1	коло постійного струму	1 А	50 поділ	-	25 поділ	3 В	50 поділ	$3 \cdot 10^4$ Ом	35 поділ	-	-	-	-	-	$R_x < 1$ Ом
2	коло постійного струму	5 А	50 поділ	0,01 Ом	46 поділ	5 В	50 поділ	-	30 поділ	-	-	-	-	-	$R_x > 1$ Ом
3	коло постійного струму	1 А	50 поділ	0,1 Ом	45 поділ	-	-	-	-	-	-	-	0,01 Ом	-	$I_{кола},$ А
4	коло постійного струму	-	-	-	-	50 В	50 поділ	10 кОм	41 поділ	-	-	-	-	10 кОм	$U_{кола},$ В
5	однофазне коло змінного струму	5 А	100 поділ	-	60 поділ	150 В	150 поділ	-	120 поділ	750 Вт	150 поділ	50 поділ	-	-	$I_{котушки},$ Гн
6	однофазне коло змінного струму	5 А	100 поділ	-	55 поділ	150 В	150 поділ	-	100 поділ	750 Вт	150 поділ	45 поділ	-	-	$C_{конденсаторів},$ МКФ



Продовження таблиці 1

Варіант	Електричне коло	Амперметр РА			Вольтметр PV			Ватметр PW1			Ватметр PW2			Вимірювана електрична величина
		$I_K$	$N_{6,max}$	$N_i$	$U_K$	$N_{6,max}$	$N_i$	$P_{K1}$	$N_{6,max}$	$N_i$	$P_{K2}$	$N_{6,max}$	$N_i$	
7	однофазне коло змінного струму	5 А	100 поділ	80 поділ	300 В	150 поділ	42 поділ	-	-	-	-	-	$M_{I,2}, \Gamma_H$	
8	трифазне коло змінного струму	-	-	-	-	-	-	300 Вт	150 поділ	90 поділ	300 Вт	150 поділ	125 поділ	$P_{\text{кола}}, \text{Вт};$ $Q_{\text{кола}}, \text{Вар}$
9	трифазне коло змінного струму	5 А	100 поділ	80 поділ	300 В	150 поділ	110 поділ	750 Вт	75 поділ	70 поділ	-	-	$\text{Cos } \varphi_{\text{кола}}$	
10	трифазне коло змінного струму	-	-	-	-	-	-	1500 Вт	100 поділ	75 поділ	1500 Вт	100 поділ	70 поділ	$\text{Cos } \varphi_{\text{кола}}$
11	трифазне коло змінного струму	5 А	100 поділ	60 поділ	300 В	150 поділ	140 поділ	1500 Вт	150 поділ	110 поділ	-	-	$I_L, \text{А};$ $U_L, \text{В};$ $P_{\text{кола}}, \text{Вт}$	
12	трифазне коло змінного струму	-	-	-	-	-	-	1500 Вт	150 поділ	95 поділ	1500 Вт	150 поділ	135 поділ	$Q_{\text{кола}}, \text{Вар}$

Продовження таблиці 1

Варіант	Електричне коло	Амперметр РА			Вольтметр PV			Ватметр PW1			Ватметр PW2			$k_{WH}$	$k_{LH}$	Вимірювана електрична величина
		$I_K$	$N_{e, max}$	$N_i$	$U_K$	$N_{e, max}$	$N_i$	$P_{K1}$	$N_{e, max}$	$N_i$	$P_{K2}$	$N_{e, max}$	$N_i$			
13	однофазне коло змінного струму	5 А	100 поділ	80 поділ	-	-	-	75 поділ	54 поділ	-	-	-	50/5	-	$I_L, A;$ $P_L, Вт$	
14	однофазне коло змінного струму	-	-	-	300 В	150 поділ	134 поділ	75 поділ	68 поділ	-	-	-	-	380/100	$U_L, В;$ $P_L, Вт$	
15	трифазне коло змінного струму	-	-	-	-	-	-	150 поділ	95 поділ	3000 Вт	150 поділ	135 поділ	20/5	-	$Q_{кола}, Вар$	
16	трифазне коло змінного струму	-	-	-	-	-	-	150 поділ	112 поділ	3000 Вт	150 поділ	85 поділ	100/5	600/100	$P_{кола}, Вт$	
17	однофазне коло змінного струму	Однофазний електронний лічильник активної енергії PWh											10/5	380/100	$\Delta W_{кв}, кВт \cdot год$	
				$W_{max} = 180 кВт \cdot год$				$W_{кв} = 620 кВт \cdot год$								

Таблиця 2 - Пояснення до таблиці 1 для розв'язання завдань

Варіант	Величини, що задані за умовою завдання	Вимірювана електрична величина
1	$I_K$ – границя вимірювання амперметра, А; $U_K$ – границя вимірювання вольтметра, В; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $R_{PV}$ – внутрішній опір вольтметра, Ом; $N_i$ – показ приладу, поділок	$R_x < 1$ Ом – малі значення опору постійному струму
2	$I_K$ – границя вимірювання амперметра, А; $U_K$ – границя вимірювання вольтметра, В; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $R_{PA}$ – внутрішній опір амперметра, Ом; $N_i$ – показ приладу, поділок	$R_x > 1$ Ом – великі та середні значення опору постійному струму
3	$I_K$ – границя вимірювання амперметра, А; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $R_{PA}$ – внутрішній опір амперметра, Ом; $N_i$ – показ приладу, поділок; $R_{ш}$ – опір шунта, Ом	$I_{кола}$ – сила струму у колі постійному струму, А
4	$U_K$ – границя вимірювання вольтметра, В; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $R_{PV}$ – внутрішній опір вольтметра, Ом; $N_i$ – показ приладу, поділок; $R_{\phi}$ – опір додаткового резистора, Ом	$U_{кола}$ – напруга у колі постійному струму, В
5	$U_K$ – границя вимірювання вольтметра, В; $I_K$ – границя вимірювання амперметра, А; $P_K$ – границя вимірювання ватметра, Вт; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $N_i$ – показ приладу, поділок	$L_{катушки}$ – індуктивність котушки, Гн
6	$U_K$ – границя вимірювання вольтметра, В; $I_K$ – границя вимірювання амперметра, А; $P_K$ – границя вимірювання ватметра, Вт; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $N_i$ – показ приладу, поділок	$C_{конденсатора}$ – ємність конденсатора, мкФ
7	$U_K$ – границя вимірювання вольтметра, В; $I_K$ – границя вимірювання амперметра, А; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $N_i$ – показ приладу, поділок	$M_{1,2}$ – взаємна індуктивність двох котушок, Гн

## Продовження таблиці 2

Варіант	Величини, що задані за умовою завдання	Вимірювана електрична величина
8	$P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра PW1, Вт; $P_{K2}$ – границя вимірювання ватметра PW2, Вт; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $N_i$ – показ приладу, поділок	одночасне вимірювання як активної потужності усього кола, $P_{кола}$ , Вт, так й реактивної потужності усього кола, $Q_{кола}$ , Вар
9	$U_K$ – границя вимірювання вольтметра, В; $I_K$ – границя вимірювання амперметра, А; $P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра, Вт; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $N_i$ – показ приладу, поділок	$\cos \varphi_{кола}$ – коефіцієнт потужності трифазного кола змінного струму
10	$P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра PW1, Вт; $P_{K2}$ – границя вимірювання ватметра PW2, Вт; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $N_i$ – показ приладу, поділок	$\cos \varphi_{кола}$ – коефіцієнт потужності трифазного кола змінного струму
11	$U_K$ – границя вимірювання вольтметра, В; $I_K$ – границя вимірювання амперметра, А; $P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра, Вт; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $N_i$ – показ приладу, поділок	$I_L$ – величина лінійного (фазного) струму, А; $U_L$ – величина лінійної напруги, В; $P_{кола}$ – активна потужність трифазного кола змінного струму, Вт
12	$P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра PW1, Вт; $P_{K2}$ – границя вимірювання ватметра PW2, Вт; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $N_i$ – показ приладу, поділок	реактивна потужність усього кола, $Q_{кола}$ , Вар

Продовження таблиці 2

Варіант	Величини, що задані за умовою завдання	Вимірювана електрична величина
13	$I_K$ – границя вимірювання амперметра, А; $P_{KI}$ – границя вимірювання ватметра, Вт; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $N_i$ – показ приладу, поділок; $k_{IH}$ – номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора струму	$I_I$ – сила струму в однофазному колі змінного струму, А; $P_I$ – активна потужність в однофазному колі змінного струму, Вт
14	$U_K$ – границя вимірювання вольтметра, В; $P_{KI}$ – границя вимірювання ватметра, Вт; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $N_i$ – показ приладу, поділок; $k_{UH}$ – номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора напруги	$U_I$ – напруга в однофазному колі змінного струму, В; $P_I$ – активна потужність в однофазному колі змінного струму, Вт
15	$P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра PW1, Вт; $P_{K2}$ – границя вимірювання ватметра PW2, Вт; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $N_i$ – показ приладу, поділок; $k_{IH}$ – номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора струму	реактивна потужність усього кола, $Q_{кола}$ , Вар
16	$P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра PW1, Вт; $P_{K2}$ – границя вимірювання ватметра PW2, Вт; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, поділок; $N_i$ – показ приладу, поділок; $k_{IH}$ – номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора струму ТА; $k_{UH}$ – номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора напруги TV	активна потужність усього кола, $P_{кола}$ , Вт
17	$W_{поч}$ – показання лічильника на початку звітної періоду, кВт·год; $W_{кінц}$ – показання лічильника наприкінці звітної періоду, кВт·год; $k_{IH}$ – номінальний коефіцієнт трансформації ТА; $k_{UH}$ – номінальний коефіцієнт трансформації TV	$\Delta W_a$ – витрата електроенергії за звітній період, кВт·год

## **Контрольні запитання та завдання**

1. Які вимірювальні перетворювачі є масштабними?
2. Яке призначення шунта, додаткового резистора, вимірювальних трансформаторів струму та напруги?
3. Наведіть схему включення амперметра через шунт та через вимірювальний трансформатор струму до електричних кіл.
4. Наведіть схему включення вольтметра через додатковий резистор та через вимірювальний трансформатор напруги до електричних кіл.
5. Експериментатору необхідно обрати вимірювальні трансформатори струму та напруги, якщо відомо, що напруга живлення однофазного кола змінного струму дорівнює 450 В, а струм електричного навантаження дорівнює 6 А. Представити схему вимірювання.
6. Які Вам відомі методи та засоби вимірювань активної потужності у однофазному колі змінного струму?
7. Які схеми застосовуються для вимірювання активної потужності у однофазному колі змінного струму. Відповідь обґрунтуйте.
8. Як аналітично визначається активна потужність за показаннями ватметра, який включений до однофазного кола змінного струму через вимірювальні трансформатори струму та напруги?
9. Які існують опосередковані методи вимірювання активної потужності у колах постійного та змінного струму?
10. Як аналітично визначаються активна та реактивна потужність трифазного трипровідного кола при симетричному характері навантаження за методом одного ватметра?
11. Поясніть принцип включення ватметра для вимірювання реактивної потужності.
12. Які методи необхідно обрати для вимірювання активної та реактивної потужності в трифазному трипровідному колі змінного струму при симетрич-

ному характері навантаження? Як аналітично визначаються активна та реактивна потужність трифазного трипровідного кола за вище обраним методом?

13. Як виміряти активну та реактивну потужності в трифазному чотирипровідному колі змінного струму при симетричному характері навантаження?

14. Поясніть, від чого залежить кількість ватметрів при вимірюванні активної та реактивної потужності в трифазних колах змінного струму?

15. Охарактеризуйте класифікацію методів та засобів вимірювань коефіцієнту потужності у колах змінного струму.

16. Які прилади та методи застосовуються для вимірювання індуктивності та взаємної індуктивності?

17. Які прилади та методи застосовуються для вимірювання ємності?

18. Які прилади та методи застосовуються для вимірювання сили струму у колах постійного та змінного струму?

19. Які прилади та методи застосовуються для вимірювання напруги у колах постійного та змінного струму?

20. Охарактеризуйте вимірювання електричної енергії в однофазних та у трифазних колах змінного струму.

21. Які прилади та методи застосовуються для вимірювання частоти та інтервалів часу?

22. Охарактеризуйте вимірювання параметрів елементів електричних кіл змінного струму.

**Практичне заняття**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ**  
**МАГНІТНИХ ВЕЛИЧИН**

**Мета:** набуття практичних навичок при вимірюванні магнітних величин електричними методами.

**Основні теоретичні відомості та рекомендації**

**Вимірювання магнітних величин (магнітні вимірювання)** – це галузь інформаційно-вимірювальної техніки, яка займається вимірюванням величин, що характеризують магнітне поле, магнітні кола, а також магнітні властивості речовин і матеріалів (феромагнетиків).

Основними величинами в галузі магнітних вимірювань є **магнітний потік**,  $\Phi$ , Вб, та **напруженість магнітного поля**,  $H$ , А/м. Ці величини зв'язані функціональними залежностями з іншими магнітними величинами, а саме - **магнітна індукція**,  $B$ , Тл

$$B = \frac{\Phi}{S}, \quad (1)$$

де  $S$  – площа контуру, через який проходить магнітний потік  $\Phi$ ;

- **намагнічувальна сила**,  $A$

$$F = I \cdot w = H \cdot L, \quad (2)$$

де  $I$  - струм, що протікає в замкнутому контурі з кількістю витків  $w$ ;

$L$  – довжина середньої лінії магнітного потоку.

Важливою характеристикою магнітних матеріалів є **феромагнітні втрати**, які визначаються за величиною потужності, що виділяється при перемагнічуванні феромагнетиків змінним струмом.

При вимірюванні магнітних величин електричними методами здійснюється перетворення магнітних величин в електричні, які зручні для вимірювань. Перетворювачі магнітних величин в електричні будуються на основі явищ електромагнітної індукції, ядерного магнітного резонансу, гальваномагнітного



ефекту, в яких сукупність магнітних величин пов'язана з вихідними електричними величинами суворими функціональними залежностями.

Відповідно засоби вимірювань магнітних величини складаються з двох функціональних блоків – первинного вимірювального перетворювача магнітної величини  $X$  в електричну величину  $Y$  та вторинного вимірювального приладу, який безпосередньо вимірює величину  $Y$ .

Для вимірювання індукції магнітного поля використовуються спеціальні вимірювальні прилади – **тесламетри**. Сучасна практика потребує вимірювань параметрів сталих магнітних полів індукцією від  $10^{-16}$  Тл до одиниць і навіть декількох десятків Тл, а також змінних – від  $10^{15} \dots 10^{14}$  Тл до декількох Тл в діапазоні частот від часток Гц до десятків МГц. Перетворювачі в таких приладах – це **перетворювачі Холла**, які розглянемо більш детально. Принцип дії перетворювачів Холла полягає у виникненні на гранях провідної пластини – рисунок 1, поперечної ЕРС  $E_x$ , поміщеної в магнітне поле перпендикулярно до вектора магнітної індукції  $B$ , за умови, що в позадвжньому напрямі по ній протікає струм  $I$ .

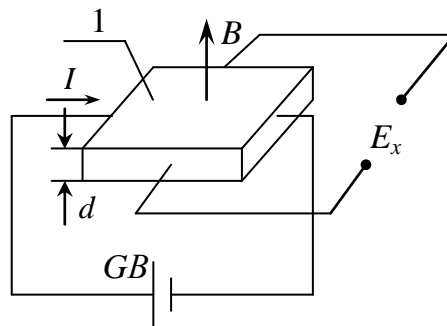


Рисунок 1 – Схема підключення перетворювача Холла для вимірювання магнітної індукції

Різниця потенціалів, яка виникає між гранями пластини, має назву ЕРС Холла, вона пов'язана з вимірюваною магнітною індукцією співвідношенням

$$E_x = \frac{R_x \cdot I \cdot B}{d}, \quad (3)$$

де  $R_x$  – постійна Холла, яка залежить від властивостей матеріалу пластини;

$I$  – струм;

$B$  – магнітна індукція;

$d$  – товщина пластини.

Пластина (1) перетворювача Холла має малі розміри (до 1...1,5 мм), тому за допомогою такого перетворювача можна вимірювати магнітну індукцію в малих зазорах. Матеріали для виготовлення пластини перетворювача Холла – це германій, кремній, арсенід галію, сурм'янистий індій. Перетворювачі Холла застосовуються для вимірювання як постійних, так й змінних магнітних полів у широкому діапазоні частот, похибка складає  $\pm(1...3)\%$ . Недоліками є невисока чутливість та сильна залежність постійної Холла від температури.

Для вимірювання магнітної індукції та напруженості магнітного поля призначений *метод амперметра та вольтметра*, який є найпростішим методом визначення *динамічних характеристик магнітних матеріалів*, тобто характеристик у змінному магнітному полі. Вимірювання здійснюються за схемою, що наведена на рисунку 2. На зразок із досліджуваного магнітного матеріалу намотують дві обмотки: намагнічувальну із кількістю витків  $w_1$  і вимірювальну із кількістю витків  $w_2$ . Через намагнічувальну обмотку від звукового генератора ЗГ пропускають намагнічувальний струм  $I$ , значення якого вимірюють амперметром. Вольтметром  $PVI$  вимірюють ЕРС  $e_2(t)$  вторинної обмотки. Якщо активний опір намагнічувальної котушки  $w_1$  великий, то намагнічувальний струм  $I$  та напруженість магнітного поля  $H$  практично синусоїдні, а індукція  $B$  – несинусоїдна. За допомогою амперметра середньоквадратичних значень вимірюються середньоквадратичні значення намагнічувального струму  $I$ , а амплітудне значення напруженості магнітного поля  $H_m$  визначається за виразом

$$H_m = \frac{w_1 \cdot I \cdot \sqrt{2}}{L}, \quad (4)$$

де  $L$  – довжина середньої лінії магнітного потоку в зразку із досліджуваного матеріалу, м.

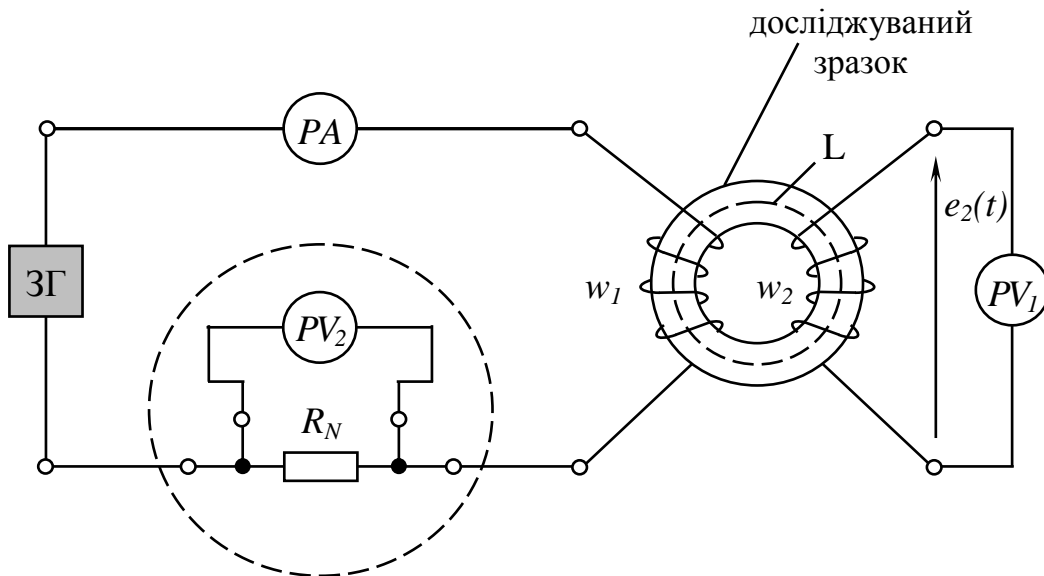


Рисунок 2 – Схема вимірювання магнітної індукції та напруженості магнітного поля за методом амперметра та вольтметра

Для визначення амплітудного значення  $B_m$  несинусоїдної магнітної індукції необхідно вольтметром середньовипрямлених значень виміряти середнє значення ЕРС  $e_2(t)$ , наведеної в обмотці  $w_2$ , тоді

$$B_m = \frac{E_{ср}}{4 \cdot f \cdot w_2 \cdot S}, \quad (5)$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу зразка,  $m^2$ .

Якщо активний опір намагнічувальної обмотки малий, то практично забезпечується режим синусоїдної магнітної індукції, а напруженість магнітного поля буде несинусоїдною. У такому разі амплітудне значення  $H_m$  напруженості магнітного поля, знайдене за виразом (4), може істотно (на 8...10 %) відрізнятися від істинного значення максимальної напруженості.

Для вимірювання синусоїдної ЕРС  $e_2(t)$ , яка наводиться в обмотці  $w_2$ , слід застосовувати вольтметр середньоквадратичних значень, при цьому максимальне значення  $B_m$  індукції визначається за формулою

$$B_m = \frac{E}{4 \cdot f \cdot w_2 \cdot S \cdot k_\phi}, \quad (6)$$

де  $k_\phi$  – коефіцієнт форми кривої ЕРС (для синусоїди  $k_\phi = 1,1$ ).

Діапазони вимірювань магнітної індукції та напруженості магнітного поля методом амперметра та вольтметра, а також частотний діапазон і точність вимірювань повністю визначаються характеристиками використаних приладів. Застосування сучасних прецизійних електронних та цифрових амперметрів та вольтметрів має змогу розширити можливості амперметра і вольтметра.

Під час перемагнічування феромагнітного матеріалу змінним струмом наявна втрата потужності, яка зумовлена втратами на гістерезис і вихрові струми, які загалом мають назву *феромагнітні втрати*. Такі втрати можна виміряти за допомогою ватметра (амперметр і вольтметр використовуються для контролю струму та напруги, які подаються на ватметр) – рисунок 3.

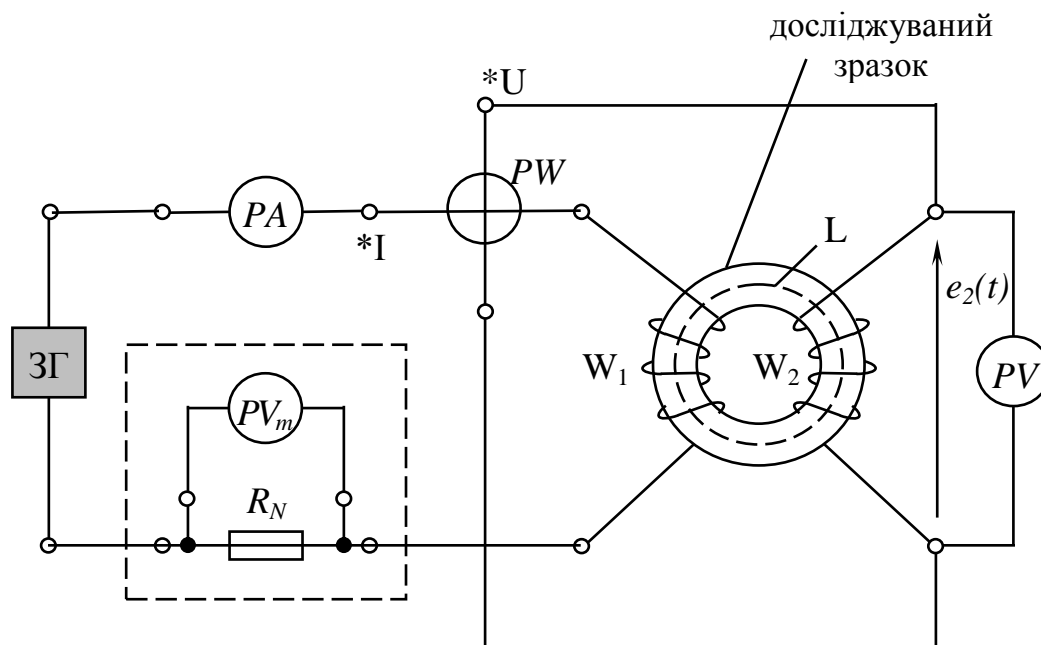


Рисунок 3 – Схема вимірювання феромагнітних втрат за допомогою ватметра

Включення кола напруги ватметра до вторинної обмотки  $w_2$  досліджуваного зразку дає змогу вимірювати тільки втрати в сталі, однак у такому разі необхідно покази ватметра приводити до намагнічувальної обмотки, тобто помножувати на відношення  $\frac{w_1}{w_2}$ . Потужність феромагнітних втрат дорівнює

$$P_{BTP} = P_{PW} \frac{w_1}{w_2}. \quad (7)$$

При вимірюванні малих потужностей доцільно користуватись ватметрами з  $\cos\varphi=0,1$ , а також вводити поправку для виключення похибки методу, зумовленої споживанням енергії самими приладами, отже  $P_{BTP}$  визначається за формулою

$$P_{BTP} = P_{PW} \cdot \frac{w_1}{w_2} - U^2 \cdot \left( \frac{1}{R_{PV}} + \frac{1}{R_{PWU}} \right), \quad (8)$$

де  $U$  – показ вольтметра,  $B$ ;

$R_{PV}$ ,  $R_{PWU}$  – опори вольтметра та кола напруги ватметра відповідно,  $\text{Ом}$ .

Якщо необхідно, коло струму ватметра можна вмикати через вимірювальний трансформатор струму.

**Приклад 1** Вибрати ватметр, вольтметр та амперметр для вимірювання феромагнітних втрат у зразку з електротехнічної сталі з такими даними:  $H_m = 50 \text{ А/м}$ ;  $B_m = 0,5 \text{ Тл}$ ;  $L = 0,14 \text{ м}$ ;  $S = 10^{-3} \text{ м}^2$ ;  $w_1 = 100$ ;  $w_2 = 200$ ;  $f = 50 \text{ Гц}$ ; режим синусоїдної напруженості магнітного поля.

*Розв'язання* 1. Діюче значення струму визначаємо з виразу (4)

$$I = \frac{H_m \cdot L}{\sqrt{2} \cdot w_1} = \frac{50 \cdot 0,14}{\sqrt{2} \cdot 100} = 0,049 \text{ А}.$$

2. ЕРС  $e_2(t)$  визначаємо з виразу (5)

$$E_{cep} = 4 \cdot f \cdot w_2 \cdot S \cdot B_m = 4 \cdot 50 \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 = 20 \text{ В}.$$

3. Значення потужності феромагнітних втрат визначаємо за виразом

$$P_{BTP} = I \cdot E_{cep} \cdot k_\phi \cdot \cos \varphi_X = 0,049 \cdot 20 \cdot 1,11 \cdot 0,6 = 0,65 \text{ Вт}.$$

4. Вибираємо прилади згідно завдання:

- амперметр діючих значень електромагнітної системи; тип Э524; клас точності 0,5; границя вимірювання  $I_K = 50 \text{ мА}$ ;

- вольтметр середньо випрямлених значень; тип Ф5053; клас точності 0,5; границя вимірювання  $U_K = 30 \text{ В}$ ; вхідний опір  $10 \text{ МОм}$ ;

- ватметр електродинамічної системи; тип Д5004/7; клас точності 0,5; границя вимірювання за напругою  $U_{KPW} = 30 \text{ В}$ ; границя вимірювання за струмом  $I_{KPW} = 50 \text{ мА}$ ;  $\cos \varphi_{HPW} = 1,0$ ;  $R_{UPW} = 10 \text{ кОм}$ ; кількість поділок на шкалі 150.

5. Граничне значення основної похибки ватметра визначаємо за виразом

$$\delta_{P_{W_{sp}}} = \pm \gamma_{P_{W_{sp}}} \cdot \frac{P_K}{P_{PW}} = \pm 0,5 \cdot \frac{30 \cdot 0,05 \cdot 1,0}{0,65} = \pm 0,6\%.$$

### **Завдання для самостійної домашньої підготовки**

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 8 [2, с.177-178, 182-203, 3, с.303...330, 6, с.104...110, 5, с.543-573].

2. Виконати тестові контрольні завдання за темою 8 «Вимірювання магнітних величин електричними методами» на Навчально-інформаційному порталі ТДАТУ [7].

### **Програма роботи**

1. Вивчення основних теоретичних відомостей до практичного заняття.
2. Проведення поточного тематичного письмового тестування за темою заняття.
3. Виконання завдань 1...3 згідно варіантів, які обираються за вказівкою викладача.

### **Завдання та вихідні дані для розрахунків**

Вибір варіантів завдання здійснюється за вказівкою викладача.

#### **Завдання 1**

**Умова:** Для вимірювання магнітного потоку застосовується веберметр, вимірювальна котушка якого має один виток. Опір котушки та основні метрологічні характеристики веберметрів наведені в таблиці 1 згідно варіантів.

Оцінити відносну,  $\delta_{\Phi_{sp}}$ , %, та абсолютну  $\Delta_{\Phi_{sp}}$ , мкВб, похибки вимірювання завданого магнітного потоку веберметром.

Таблиця 1 – Вихідні дані для завдання 1

Варіант	Вимірний магнітний потік, $\Phi_x$ , мкВб	Основні метрологічні характеристики веберметрів		
		діапазон або верхня границя вимірювання, $\Phi_k$ , мкВб	клас точності, $\gamma_{zp}$ , %	опір вимірювальної котушки, Ом
1	75	25; 50; 100; 250	$\pm 2,5$	100; 200; 300; 500
2	600	500; 1000; 2500	$\pm 1,5$	1000
3	3,0	2; 5; 10	$\pm 4,0$	10
4	23	25; 50; 100; 250	$\pm 2,5$	20
5	1,6	0,5; 1,0; 2,5	$\pm 1,0$	30
6	7,0	2,5; 5,0; 10	$\pm 1,0$	30
7	205	50; 100; 250	$\pm 2,5$	200; 300; 500
8	2200	500; 1000; 2500	$\pm 1,5$	1000
9	9,0	5; 10	$\pm 4,0$	10
10	44	25; 50; 100; 250	$\pm 2,5$	20

### Завдання 2

**Умова:** Для вимірювання магнітної індукції магнітного поля застосовуються тесламетри, основні метрологічні характеристики яких наведені в таблиці 2 згідно варіантів.

Оцінити відносну,  $\delta_{B.zp}$ , %, та абсолютну  $\Delta_{B.zp}$ , мТл, похибки вимірювання завданої магнітної індукції завданим тесламетром.

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 2.

### Завдання 3

**Умова:** Тесламетром вимірюється величина магнітної індукції,  $B_x$ , Тл. Чутливим елементом перетворювача Холлу в тесламетрі є пластина з германію, товщина якої  $d$ .

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 3.

Таблиця 2 – Вихідні дані для завдання 2

Варіант	Виміряна магнітна індукція, $B_x$ , мТл	Основні метрологічні характеристики тесламетрів		
		діапазон або верхня границя вимірювання, $B_k$ , мТл	клас точності, $\gamma_{гр}$ , %	частотний діапазон, Гц
<b>1</b>	59	10; 50; 100	$\pm 2,5$	-
<b>2</b>	1100	500; 1000; 1500	$\pm 2,5$	-
<b>3</b>	0,29	0,1; 0,3	$\pm 1,0$	50...10000
<b>4</b>	0,8	1,0; 3,0	$\pm 4,0$	20...20000
<b>5</b>	85	10; 30; 100	$\pm 4,0$	50
<b>6</b>	13	10; 50; 100	$\pm 2,5$	-
<b>7</b>	480	500; 1000; 1500	$\pm 2,5$	-
<b>8</b>	2,8	1,0; 3,0	$\pm 4,0$	20...20000
<b>9</b>	8,8	10; 30; 100	$\pm 4,0$	50
<b>10</b>	91	10; 50; 100	$\pm 2,5$	-

Таблиця 3 – Вихідні дані для завдання 3

Варіант	$B_x$ , мТл	$I$ , А	$R_x$ , м <sup>3</sup> /А·с	$d$ , мм	Варіант	$B_x$ , мТл	$I$ , А	$R_x$ , м <sup>3</sup> /А·с	$d$ , мм
<b>1</b>	0,2	2,0	0,01	1,0	<b>6</b>	0,8	3,5	0,02	0,6
<b>2</b>	0,5	2,0	0,01	1,0	<b>7</b>	1,0	5,0	0,02	0,5
<b>3</b>	1,2	2,0	0,01	1,0	<b>8</b>	0,5	1,0	0,02	0,3
<b>4</b>	0,7	3,0	0,02	0,5	<b>9</b>	1,0	4,0	0,01	1,0
<b>5</b>	0,6	4,0	0,02	0,5	<b>10</b>	1,1	2,5	0,01	0,9

Визначити величину напруги  $U_x$ , В, яка виникає на бічних гранях пластини, якщо через дві інші грані пластини проходить струм величиною  $I$ , а величина постійної Холла  $R_x$ , м<sup>3</sup>/А·с наведена в таблиці 3.



## **Завдання 4**

### **Умова:**

Визначення динамічних характеристик феромагнетиків здійснюється методом амперметра та вольтметра.

Необхідно вибрати амперметр та вольтметр для реалізації вищеназваного методу вимірювання (режим синусоїдної напруженості магнітного поля) – для варіантів 1, 4, 7, а для варіантів 2, 5, 9 - режим синусоїдної магнітної індукції магнітного поля.

Визначення феромагнітних втрат феромагнетиків здійснюється методом ватметра, амперметра та вольтметра.

Необхідно вибрати ватметр, амперметр та вольтметр для реалізації вищеназваного методу вимірювання – для варіантів 3, 6, 8, 10.

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 4.

Метрологічні характеристики амперметрів та вольтметрів наведені в [5, с. 200-206].

Таблиця 4 – Вихідні дані для завдання 4

Варіант	Матеріал зразка	Амплітудне значення магнітної індукції, $B_m, \text{Tl}$	Амплітудне значення напруженості магнітного поля, $H_{ms}, \text{A/m}$	Довжина середньої лінії магнітного потоку у зразку, $L, \text{m}$	Площа поперечного перерізу зразка, $S, \text{m}^2$	Кількість витків намагнічувальної котушки, $w_1$	Кількість витків вимірювальної котушки, $w_2$	Частота мережі, Гц
<b>1, 4, 7</b>	електротехнічна сталь	1,2	150	0,22	$12 \cdot 10^{-4}$	110	110	50
<b>2, 5, 9</b>	пермалой марки 50НХС	1,0	35	0,4	$10^{-4}$	600	600	50
<b>3, 6, 8, 10</b>	електротехнічна сталь	1,5	200	0,3	$8 \cdot 10^{-4}$	1000	700	50

## **Контрольні запитання**

1. Складіть класифікацію методів та засобів для вимірювання магнітних величин.
2. Поясніть принцип індукційного перетворювача магнітного потоку на прикладі вимірювальної котушки.
3. Поясніть принцип дії диференціального ферозонда.
4. Поясніть принцип феромодуляційного тесла метра.
5. Поясніть принцип дії ЯРМ-тесламера за методом вільної ядерної прецесії.
6. Поясніть суть індукційно-імпульсного методу визначення магнітних петель гістерезису.
7. Поясніть суть методу ватметра для вимірювання питомих магнітних втрат.
8. Які існують методи для вимірювання магнітного потоку в постійних та в змінних магнітних полях?
9. Поясніть принцип дії гальваномагніторекombінаційних перетворювачів.
10. Опишіть принцип дії гальваномагнітних перетворювачів та магніторезистивних перетворювачів.

## Практичне заняття 8

### ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

**Мета:** набуття практичних навичок при вимірюванні температури електричними методами.

#### Основні теоретичні відомості та рекомендації

Температуру, як неелектричну величину, вимірюють безконтактним і контактним методами.

**Безконтактним методом** температуру досліджуваного об'єкта визначають на основі вимірювань параметрів їх теплового випромінювання. Вимірювання здійснюються дистанційно (безконтактно), за допомогою вимірювальних приладів – *пірометрів*. За **контактним методом** безпосередньо у середовище, температуру якого вимірюють, поміщають тепловий первинний вимірювальний перетворювач, вихідна величина якого є функцією температури.

Тепловими первинними вимірювальними перетворювачами є **терморезистивні** (*терморезистори*) та **термоелектричні** (*термопари*) перетворювачі.

**Терморезистори** – це теплові параметричні перетворювачі, принцип дії яких оснований на властивості речовини змінювати свій опір при зміні температури. Для вимірювання температури терморезистор необхідно помістити в середовище, температуру якого необхідно виміряти. Чутливими елементами таких перетворювачів є провідники та напівпровідники. Перетворювачі з провідниковими чутливими елементами мають назву **термометри опору**, а матеріалами для їх виготовлення є платина, мідь та нікель. Існують термометри опору трьох типів: термоопори платинові (ТОП), термоопори мідні (ТОМ) і термоопори нікелеві (ТОН). Конструктивно ТОП – це перетворювач, чутливий елемент, якого виконаний зі стрічкової платини, навитої на трубчастий ізоляційний каркас із спеціального скла. Для захисту від механічних пошкоджень перетворювач покритий захисною оболонкою. Конструктивно ТОМ – це перетворювач, чутливий елемент якого виконаний як безкаркасна обмотка з мідного ізольованого дроту та зверху покрита фторопластовою плівкою. Для забезпе-

чення потрібної механічної міцності обмотку поміщають у тонкостінну металеву гільзу та засипають керамічним порошком і герметизують.

Характеристика градування для мідних термоопорів має вигляд

$$R_{\Theta} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Theta_{\text{середовища}}), \quad (1)$$

де  $R_0$  – опір мідного чутливого елемента при температурі  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{Ом}$ ;

$\alpha$  – температурний коефіцієнт опору,  $\alpha = 4,33 \cdot 10^{-3} \text{ 1}^{\circ}\text{C}$ .

Характеристика градування для платинових термоопорів має вигляд

$$R_{\Theta} = R_0 \cdot (1 + A \cdot \Theta_{\text{середовища}} + B \cdot \Theta_{\text{середовища}}^2), \quad (2)$$

де  $R_0$  – опір платинового чутливого елемента при температурі  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{Ом}$ ;

$A, B$  – температурні коефіцієнти опору;

$A = 3,9692 \cdot 10^{-3} \text{ 1}^{\circ}\text{C}$ ;  $B = - 5,802 \cdot 10^{-7} \text{ 1}^{\circ}\text{C}^2$ .

Коефіцієнт перетворення (чутливість) термоперетворювачів опору в діапазоні температур визначається за формулою

$$S_{TO} = \frac{\Delta R_{\Theta i}}{\Delta \Theta_i}. \quad (3)$$

Термоопори платинові використовуються в діапазоні температур від  $0^{\circ}\text{C}$  до плюс  $1100^{\circ}\text{C}$ , термоопори мідні - від плюс  $50^{\circ}\text{C}$  до плюс  $250^{\circ}\text{C}$ , термоопори нікелеві - від мінус  $60^{\circ}\text{C}$  до плюс  $180^{\circ}\text{C}$ .

Принцип дії термоелектричних перетворювачів оснований на явищі термоелектричного ефекту Зеебека, суть якого полягає у виникненні термо-ЕРС у колі, що містить два різнорідних провідника або напівпровідника, які мають назву **термоелектроди**, якщо температура місця з'єднання електродів (робочий кінець перетворювача) і температура вільних (холодних) кінців неоднакові. Чутливий елемент термоелектричного перетворювача, тобто пару термоелектродів, має назву **термопара**. Матеріалами термоелектродів термопар є сплави хромелю, копелю, алюмелю, вольфрамренію, платинородію, а також платина, мідь і залізо. Назва термоелектродів визначає назву самого термоперетворювача, наприклад, перетворювач типу ТХА має електроди з хромелю та алюмелю.

Вимірюючи температуру із застосуванням терморезисторів, необхідно враховувати можливість появи додаткових похибок, які виникають від нагрівання їх вимірювальним струмом. Як вторинні вимірювальні прилади у комплекті з терморезисторами використовують мостові кола: зрівноважені та незрівноважені автоматичні мости, а також логометри та цифрові вимірювальні прилади.

Розглянемо теоретичні положення щодо визначення похибок вимірювання температури термоопорами. Похибка  $\Delta\Theta_X$  вимірювання температури  $\Theta_X$  термоопорами та вторинного приладу (автоматичного моста або цифрового вимірювального приладу) має такі складові

$$\Delta\Theta_X = \Delta\Theta_{TP} + \Delta\Theta_{ВП}, \quad (3)$$

де  $\Delta\Theta_{TP}, \Delta\Theta_{ВП}$  - відповідно похибки термоопору та вторинного приладу,  $^{\circ}\text{C}$ .

Похибка  $\Delta\Theta_{TP}$  має дві складові – інструментальну і методичну. Граничне значення  $\Delta\Theta_{TP.zp}$  основної інструментальної похибки термоопору, зумовлене відхиленням його дійсної статичної характеристики перетворення від номінальних статичних характеристик перетворення (НСХП), наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Границі допустимих відхилень характеристик перетворення термоопорів від НСХП

Тип термоопору	Клас допуску	Діапазон температур, $^{\circ}\text{C}$	Границі допустимих відхилень від НСХП, $\pm \Delta\Theta_{TP.zp}, ^{\circ}\text{C}$
Платиновий (ТОП)	А	-260...-250	3,0
		-250...-200	1,0
		-200...+750	$0,15 + 0,02 \cdot  \Theta $
	В	-200...+1100	$0,4 + 0,005 \cdot  \Theta $
С	-100...+1100	$0,6 + 0,008 \cdot  \Theta $	
Мідний (ТОМ)	В	-200...+200	$0,25 + 0,0035 \cdot  \Theta $
	С	-200...+200	$0,5 + 0,0065 \cdot  \Theta $

Похибка  $\Delta\Theta_{ВП}$  показу вторинного приладу складається з його основної та додаткових інструментальних похибок.

При використанні автоматичного моста граничне значення його основної похибки розраховується за формулою

$$\Delta\Theta_{ВП.зр} = \pm \frac{\Delta R_{зр}}{S_{ТО}}, \quad (4)$$

де  $\Delta R_{зр}$  - допустиме значення основної абсолютної похибки моста, Ом;

$S_{ТО}$  - чутливість термоопору, Ом/°С.

Допустима основна зведена похибка моста дорівнює

$$\gamma_{зр} = \pm \frac{\Delta R_{зр}}{R_{норм}} \cdot 100\%. \quad (5)$$

При використанні цифрового вторинного приладу граничне значення його основної похибки  $\Delta\Theta_{ВП.зр}$  визначають за формулою

$$\Delta\Theta_{ВП.зр} = \pm \frac{\delta_{\Theta.зр} \cdot \Theta_X}{100}. \quad (6)$$

**Приклад 1.** Оцінити похибку вимірювання температури  $\Theta_X = 700$  °С за допомогою цифрового вимірювального приладу типу ЦР7701-05 класу точності 0,1/0,05 з діапазоном вимірювання від мінус 50 °С до плюс 1000 °С, який працює в комплекті з платиновим термоопором класом допуску В.

**Розв'язання 1.** Граничне значення похибки термоопору ТОП класу допуску В при температурі 700 °С визначається за формулою

$$\Delta\Theta_{ТР.зр} = \pm(0,4 + 0,005 \cdot |\Theta_X|) = \pm(0,4 + 0,005 \cdot 700) = \pm 3,9^\circ\text{C}.$$

2. Граничне значення похибки  $\Delta\Theta_{ВП.зр}$  цифрового приладу обчислюється

$$\delta_{ВП.зр} = \pm \left[ c + d \left( \frac{\Theta_K}{\Theta_X} - 1 \right) \right] = \left[ 0,1 + 0,05 \left( \frac{1000}{700} - 1 \right) \right] = \pm 0,17\% ;$$

$$\Delta\Theta_{ВП.зр} = \pm \frac{\delta_{\Theta.зр} \cdot \Theta_X}{100} = \frac{0,17 \cdot 700}{100} = \pm 1,2^\circ\text{C}.$$

3. Результиуюча похибка  $\Delta\Theta_{X.zp}$  вимірювання температури  $\Theta_X = 700$  °C розраховується та дорівнює  $\Delta\Theta_{X.zp} = \pm(\Delta\Theta_{ТО.zp} + \Delta\Theta_{ВП.zp}) = \pm(3,9 + 1,2) = \pm 5,1$  °C.

Термоелектричні термометри (термопари) використовуються для вимірювання температури у діапазоні від мінус 270 до плюс 2200 °C. Робочий кінець термопари розташовують у середовищі, температуру якого вимірюють, а вільні кінці приєднують до вторинного приладу за допомогою спеціальних термоелектродних проводів, які виготовляють з того самого матеріалу, що й термоелектроди термопари. Як вторинний прилад, у комплекті з термопарами використовуються пірометричні мілівольтметри, автоматичні компенсатори та цифрові вимірювальні прилади.

Розглянемо теоретичні положення щодо визначення похибок вимірювання температури термоелектричними термометрами. Похибка  $\Delta\Theta_X$  вимірювання температури  $\Theta_X$  за допомогою термопари та вторинного приладу (автоматичного компенсатора або цифрового вимірювального приладу) має такі складові

$$\Delta\Theta_X = \Delta\Theta_{ТП} + \Delta\Theta_{ТЕП} + \Delta\Theta_{ВП}, \quad (7)$$

де  $\Delta\Theta_{ТП}, \Delta\Theta_{ТЕП}, \Delta\Theta_{ВП}$  - відповідно похибки термопари, термоелектричних проводів та вторинного приладу, °C.

Похибка  $\Delta\Theta_{ТП}$  має дві складові – інструментальну, яка зумовлена відхиленням дійсної статичної характеристики перетворення термопари від номінального, і методичну, яка виникає через відхилення температури робочого кінця термоелектричного перетворювача  $\Theta_P$  від вимірюваної температури  $\Theta_X$ . Значення методичної похибки залежить від умов теплообміну між робочим кінцем термоелектричного перетворювача та середовищем, температуру якого вимірюють. На практиці таку похибку намагаються звести до мінімуму, застосовуючи відповідну конструкцію термоелектричного перетворювача і встановлюючи його на об'єкті так, щоб забезпечити максимальне вирівнювання температур



$\Theta_P$  та  $\Theta_X$ . Граничне значення  $\Delta\Theta_{ТП.зр}$  основної інструментальної похибки термоелектричного перетворювача розраховується за формулами, які наведені в таблиці 2.

Похибка  $\Delta\Theta_{ТЕП.зр}$  зумовлена відхиленням термо-ЕРС термоелектричних проводів від номінального значення і її граничне значення можна знайти за формулою

$$\Delta\Theta_{ТЕП.зр} = \pm \frac{\Delta E_{ТП.зр}}{S_{ТЕЕ}}, \quad (8)$$

де  $\Delta E_{ТЕП.зр}$  - границя допустимого відхилення термо-ЕРС термоелектричних проводів від номінального значення статичної характеристики, мВ;

$S_{ТЕЕ}$  - чутливість термоелектричних проводів термоелектричних проводів, мВ/°С.

Таблиця 2 - Границі допустимих відхилень характеристик перетворення термоелектричних перетворювачів від НСХП

Тип перетворювача	Клас допуску	Діапазон температур, °С	Границі допустимих відхилень від НСХП, $\pm \Delta\Theta_{ТП.зр}$ , °С
ТХА	3	мінус 250...плюс 166,7	$0,015 \cdot  \Theta $
		мінус 166,7... плюс 40	2,5
	2	мінус 40...плюс 333,4	2,5
		плюс 333,4... плюс 1350	$0,0075 \cdot \Theta$
	1	мінус 40... плюс 375	1,5
плюс 375... плюс 1350		0,004	
ТХК	3	мінус 200...плюс 100	$1,5 + 0,01 \cdot  \Theta $
		мінус 100...плюс 100	2,5
	2	мінус 40...плюс 400	2,5
		плюс 400... плюс 800	$0,7 + 0,005 \cdot \Theta$

Похибка  $\Delta\Theta_{ВП}$  показу вторинного приладу складається з його основної та додаткових інструментальних похибок. При використанні автоматичного ком-

пенсатора граничне значення його основної похибки розраховується за формулою

$$\Delta\Theta_{ВП.зр} = \pm \frac{\Delta U_{зр}}{S_{ТП}}, \quad (9)$$

де  $\Delta U_{зр}$  - допустиме значення основної абсолютної похибки компенсатора, мВ.

$S_{ТП}$  - чутливість термоелектричного перетворювача, мВ/°С.

В таблиці 3 наведені технічні характеристики стандартних термоелектричних проводів (ТЕП).

Таблиця 3 - Технічні характеристики стандартних ТЕП

Тип ПВП	Додатковий термоелектрод		Від'ємний термоелектрод		Позначення проводу	Значення термо-ЕРС, мВ, при $\Theta_p = 100^\circ\text{C}$ $\Theta_{\text{вл.кілц.}} = 0^\circ\text{C}$	Границя допустимого відхилення, $\Delta E_{ТЕП.зр}$ , мВ
	матеріал	колір	матеріал	колір			
ТХА	мідь	червоний, рожевий	константант	коричневий	МК	4,10	±0,15
ТХК	хромель	фіолетовий, чорний	копель	жовтий, оранжевий	ХК	6,95	±0,20

Допустима основна зведена похибка автоматичних компенсаторів визначається за формулою

$$\gamma_{зр} = \pm \frac{\Delta U_{зр}}{U_{норм}} \cdot 100\% . \quad (10)$$

Чутливість термоелектричного перетворювача визначається за формулою

$$S_{ТП} = \frac{\Delta E_{ТП}}{\Delta \Theta}, \quad (11)$$

де  $\Delta \Theta = \Theta_2 - \Theta_1$  - приріст температури відносно точки  $\Theta_X$ , °С;

$\Delta E_{ТП} = E_{\Theta_2} - E_{\Theta_1}$  - відповідний приріст термо-ЕРС термоелектричного перетворювача, мВ.

В таблиці 4 наведені нормальні статичні характеристики перетворення (НСХП) термоелектричних перетворювачів.

Таблиця 4 – НСХП термоелектричних перетворювачів

Температура робочого кінця, $\Theta_P$ , °С		-200	-50	0	20	200	400	500
термо-ЕРС, $E_{\Theta_P}$ , при $\Theta_{\text{вкл.кінц.}} = 0$ °С	ТХА	-5,891	-1,889	0	0,798	8,137	16,395	20,640
	ТХК	-9,488	-3,004	0	1,289	14,557	31,488	40,292
Температура робочого кінця, $\Theta_P$ , °С		600	700	800	1000	1100	1200	1400
термо-ЕРС, $E_{\Theta_P}$ , при $\Theta_{\text{вкл.кінц.}} = 0$ °С	ТХА	24,902	29,128	33,3	41,269	45,108	48,828	52,398
	ТХК	49,098	57,857	66,5	-	-	-	-

При використанні цифрового вторинного приладу граничне значення його основної похибки  $\Delta \Theta_{\text{ВП.зр}}$  визначають за формулою

$$\Delta \Theta_{\text{ВП.зр}} = \pm \frac{\delta_{\Theta.зр} \cdot \Theta_X}{100}. \quad (12)$$

**Приклад 2** Оцінити похибку вимірювання температури  $\Theta_X = 500$  °С за допомогою автоматичного компенсатора КСП2 класу точності 0,5 з діапазоном вимірювання від 0 °С до плюс 800 °С, який працює в комплекті з термоелектричним перетворювачем типу ТХА класом допуску 2.

**Розв'язання 1.** Граничне значення похибки термоелектричного перетворювача типу ТХА класу допуску 2 при температурі 500 °С визначаємо за формулою

$$\Delta \Theta_{\text{ТП.зр}} = \pm 0,0075 \cdot \Theta_X = \pm 0,0075 \cdot 500 = \pm 3,75^\circ \text{С}.$$

2. Граничне значення похибки  $\Delta\Theta_{ТЕП.зр}$  термоелектричних проводів перетворювача типу ТХА визначаємо за формулою  $\Delta\Theta_{ТЕП.зр} = \pm \frac{\Delta E_{ТП.зр}}{S_{ТЕЕ}}$ ,

при цьому,

$$S_{ТЕЕ} = \frac{E_{ТЕЕ}}{\Theta_P - \Theta_{\text{вiл.кiнцi}}} = \frac{4,10}{100 - 0} = 0,041 \text{ мВ/}^\circ\text{С};$$

$$\Delta\Theta_{ТЕП.зр} = \pm \frac{\Delta E_{ТП.зр}}{S_{ТЕЕ}} = \pm \frac{0,15}{0,041} = \pm 3,66^\circ\text{С}.$$

3. Допустиме значення основної абсолютної похибки компенсатора дорівнює

$$\Delta U_{зр} = \pm \frac{\gamma_{зр} \cdot U_{норм}}{100} = \pm \frac{0,5 \cdot 33,277}{100} = \pm 0,166 \text{ мВ};$$

$$\text{де } U_{норм} = |E_{\Theta_K} - E_{\Theta_{П}}| = |E_{800} - E_0| = |33,277 - 0| = 33,277 \text{ мВ};$$

4. Чутливість термоелектричного перетворювача визначаємо

$$S_{ТП} = \left( \frac{\Delta E_{ТП}}{\Delta\Theta} \right) = \frac{E_{600} - E_{400}}{600 - 400} = \frac{29,902 - 16,395}{200} = 0,0425 \text{ мВ/}^\circ\text{С}.$$

5. Граничне значення похибки  $\Delta\Theta_{ВП.зр}$  автоматичного компенсатора буде дорівнювати  $\Delta\Theta_{ВП.зр} = \pm \frac{\Delta U_{зр}}{S_{ТП}} = \frac{0,166}{0,0425} = \pm 3,9^\circ\text{С}.$

6. Результуюча похибка  $\Delta\Theta_{X.зр}$  вимірювання температури  $\Theta_X = 500^\circ\text{С}$

$$\Delta\Theta_{X.зр} = \pm(\Delta\Theta_{ТП.зр} + \Delta\Theta_{ТЕП.зр} + \Delta\Theta_{ВП.зр}) = \pm(3,75 + 3,66 + 3,9) = \pm 11^\circ\text{С}.$$

### **Завдання для самостійної домашньої підготовки**

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 9 [2, с.177-178, 182-203, 3, с.303...330, 6, с.104...110, 5, с.543-573].

2. Виконати тестові контрольні завдання за темою 9 «Вимірювання неелектричних величин електричними методами» на Навчально-інформаційному порталі ТДАТУ [9].

## Програма роботи

1. Вивчення основних теоретичних відомостей до практичного заняття.
2. Проведення поточного тематичного письмового тестування за темою заняття.
3. Виконання завдань 1 та 2 згідно варіантів, які обираються за вказівкою викладача.

### Завдання та вихідні дані для розрахунків

Вибір варіантів завдання здійснюється за вказівкою викладача.

#### Завдання 1

**Умова:** Вимірювання температури  $\Theta_x, ^\circ\text{C}$ , здійснюється термопарою в комплекті з вторинним приладом згідно варіанту.

Оцінити похибку вимірювання температури термопарою в комплекті з вторинним приладом. Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для завдання 1 (для варіантів 1...5)

Варіант	$\Theta_x, ^\circ\text{C}$	Термопара	Вторинний прилад			
		тип	Назва	Тип	Клас точності	Діапазон вимірювань, $^\circ\text{C}$
1	400	ТХА	автоматичний компенсатор	КСП2	0,5	0...600
2	200	ТХК		КСП2	0,5	0...600
3	800	ТХА	Цифровий вимірювальний прилад	A565	0,1/0,06	0...1400
4	600	ТХК		ЦР7701-01	0,1/0,05	-200...800
5	900	ТХА		ЦР7701-01	0,1/0,05	-200...1400

**Умова:** Вимірювання температури  $\Theta_x, ^\circ\text{C}$ , здійснюється терморезистором в комплекті з вторинним приладом згідно варіанту.

Оцінити похибку вимірювання температури терморезистором в комплекті з вторинним приладом. Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Вихідні дані для завдання 1 (для варіантів 6...9)

Варіант	$\Theta_x, ^\circ\text{C}$	Тип термоопору	Вторинний прилад			
			Назва	Тип	Клас точності	Діапазон вимірювань, $^\circ\text{C}$
6	50	ТОМ	автоматичний міст	КСМ2	0,5	0...100
7	200	ТОП		КСМ4	0,25	0...500
8	900	ТОП	Цифровий вимірювальний прилад	A566	0,25/0,2	-50...1000
9	100	ТОМ		ЦР7701-05	0,1/0,05	-200...200
10	450	ТОП		A566	0,25/0,2	-50...1000

## Завдання 2

### Умова:

Термоперетворювач опору мідний ТОМ10М при температурі  $0^\circ\text{C}$  має опір  $R_0 = 10 \text{ Ом}$ , а платиновий ТОП50П при температурі  $0^\circ\text{C}$  має опір  $R_0 = 50 \text{ Ом}$ . Температурний коефіцієнт опору перетворювача ТОМ дорівнює  $\alpha = 4,33 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$ , а температурні коефіцієнти опору перетворювача ТОП дорівнюють  $A = 3,9692 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$ ;  $B = - 5,802 \cdot 10^{-7} 1/^\circ\text{C}^2$ .

Визначити:

- величини опорів перетворювачів ТОМ10М та ТОП10П при заданих температурах  $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$  згідно варіантів, що наведені в таблиці 3;
- середнє значення коефіцієнту перетворення перетворювачів ТОМ10М та ТОП10П в діапазоні температур  $\Theta_1 \dots \Theta_3$ .

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 3.

Результати розрахунків навести в таблицю 4.

Таблиця 3 – Вихідні дані для завдання 2

Варіант	Термоперетворювач опору мідний ТОМ10М	$\Theta_1, ^\circ\text{C}$	$\Theta_2, ^\circ\text{C}$	$\Theta_3, ^\circ\text{C}$	Варіант	Термоперетворювач опору платиновий ТОП50П	$\Theta_1, ^\circ\text{C}$	$\Theta_2, ^\circ\text{C}$	$\Theta_3, ^\circ\text{C}$
<b>1</b>		34	87	125	<b>6</b>		30	105	215
<b>2</b>		61	156	178	<b>7</b>		200	303	113
<b>3</b>		124	175	90	<b>8</b>		145	180	550
<b>4</b>		138	120	81	<b>9</b>		271	337	409
<b>5</b>		162	30	205	<b>10</b>		467	530	220

Таблиця 4 – Результати розрахунків

Варіант	Термоперетворювач опору мідний ТОМ10М	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом	$S_{ТОМ},$ Ом/ $^\circ\text{C}$	Варіант	Термоперетворювач опору платиновий ТОП50П	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом	$S_{ТОП},$ Ом/ $^\circ\text{C}$
<b>1</b>						<b>6</b>					
<b>2</b>						<b>7</b>					
<b>3</b>						<b>8</b>					
<b>4</b>						<b>9</b>					
<b>5</b>						<b>10</b>					

### Контрольні запитання

1. Що таке тепловий первинний вимірювальний перетворювач?
2. Які теплові перетворювачі належать до генераторних, а які – до параметричних?
3. Які теплові перетворювачі належать до контактних теплових перетворювачів, а які - до безконтактних?
4. Що таке терморезистор? Який ефект є основою принципу дії терморезистора?
5. Опишіть конструктивні особливості металевих терморезисторів.

6. Опишіть конструктивні особливості напівпровідникових терморезисторів.
7. Що таке термоелектричний перетворювач – термопара? Який ефект є основою принципу дії термопари?
8. Опишіть конструктивні особливості термопар.
9. Який аналітичний вираз описує характеристику градуювання термопари?
10. Який аналітичний вираз описує характеристику градуювання терморезисторів?
11. Які вторинні прилади використовуються у комплекті з термопарою, а які у комплекті з терморезистором?
12. Складіть алгоритм визначення похибок вимірювання температури терморезистивними термометрами.
13. Складіть алгоритм визначення похибок вимірювання температури термоелектричними термометрами.



**Практичне заняття 9**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ**  
**НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН**

**Мета:** набуття практичних навичок при вимірюванні неелектричних величин електричними методами.

**Основні теоретичні відомості та рекомендації**

Вимірювання неелектричних величин досягло високого розвитку і є найбільшою та найрозвиненою галуззю інформаційно-виміральної техніки, а виробництво приладів для вимірювання різних неелектричних величин фізичної природи є основною частиною продукції приладобудування. Велика кількість вимірюваних неелектричних величин, розкиданість досліджуваних об'єктів у просторі, необхідність автоматизації керування для централізованого отримання виміральної інформації, опрацювання цієї інформації та вироблення сигналів для зворотної дії на об'єкт дослідження зумовлюють використання переважно електричних методів вимірювань неелектричних величин, так як електричні сигнали найпридатніші як для вимірювань, так й для опрацювання та передавання на відстані. Фахівцям необхідно вміти вимірювати чи контролювати понад 2000 величин, а існуючі методи і засоби дають можливість вимірювати лише 400...500 таких величин. При цьому кількість неелектричних величин, які необхідно вимірювати, значно перевищує кількість вимірюваних електричних і магнітних величин.

Таким чином, широкий спектр вимірюваних неелектричних величин, недостатнє вивчення методів їх вимірювання, метрологічна незабезпеченість визначають особливості вимірювання таких величин, а саме, *при вимірюванні неелектричних величин широко застосовуються електричні методи вимірювання, тобто виконується «електрифікація» таких вимірювань – перетворення неелектричної величини в електричну.*

Це зумовлює наявність *первинного вимірального перетворювача (ПВП)* в структурі засобу вимірювання неелектричних величин, що здійснює поперед-

не перетворювання досліджуваної неелектричної величини у функціонально пов'язану з нею електричну величину, *вторинного вимірювального приладу* (ВВП), а також *пристроїв їх спряження* – лінії зв'язку вимірювальні підсилювачі, пристрої гальванічної розв'язки вимірювальних кіл, пристрої коригування похибок.

Залежно від типу первинного вимірювального перетворювача і вигляду його вихідного інформативного параметра використовуються ті чи інші технічні засоби електровимірювальних приладів. У більшості випадків апаратна частина вторинних приладів для вимірювання неелектричних величин істотно не відрізняється від приладів для вимірювання електричних величин.

Суттєвою відмінністю є тільки алгоритм роботи приладу, який визначається алгоритмом виконання вимірювальної процедури тієї чи іншої фізичної величини. Оскільки вихідними інформативними параметрами перетворювачів є напруга, струм, опір, ємність або індуктивність, то вторинними вимірювальними приладами є прилади для вимірювання відповідних електричних величин. Вторинні прилади електричних величин проградуйовані з урахуванням функції перетворення первинного вимірювального перетворювача в одиницях вимірюваної неелектричної величини.

Узагальнена структурна схема електричного приладу для вимірювань неелектричних величин наведена на рисунку 1.

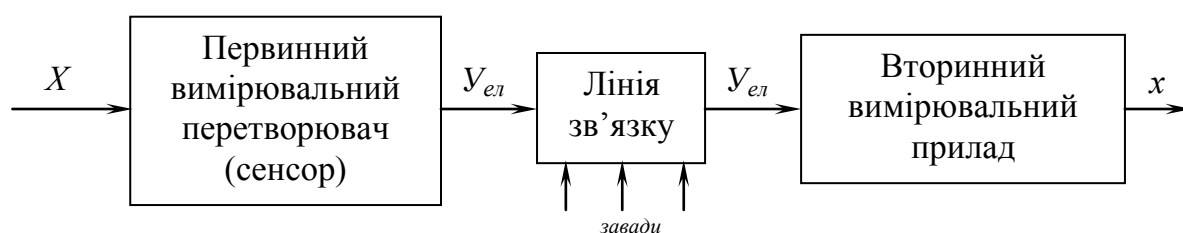


Рисунок 1 - Узагальнена структурна схема електричного приладу для вимірювань неелектричних величин

Вимірювана неелектрична величина  $X$  надходить на вхід первинного вимірювального перетворювача (сенсора) (ПВП), де перетворюється в пропорцій-

ну їй електричну величину  $X_{ел}$ , яка по лінії зв'язку (ЛЗ) подається на вторинний вимірювальний прилад (ВВП). На лінію зв'язку, довжина якої може бути досить значною, в загальному випадку, впливають завади, які можуть спотворити сигнал  $X_{ел}$ . Показ  $x$  ВВП, який визначений в одиницях вимірювальної величини  $X$ , може бути використаний для візуального спостереження або подальшого опрацювання у вимірювально-інформаційній системі.

Слід відзначити, що у ПВП фактично відбувається перетворення енергії одного виду (механічної, теплової, світлової) в іншу (електричну). Під час такого перетворення неелектричної величини реалізуються два принципи:

- вплив на електричні параметри ПВП – *пасивні ПВП*;
- генерування електричного сигналу – *активні ПВП*.

Для пасивних ПВП притаманна зміна електричного параметра перетворювача – електричного опору, ємності, індуктивності, через механічний контакт або використання фізичних залежностей. До таких ПВП, які мають назву ***параметричні***, належать резистивні, ємнісні, індуктивні та інші перетворювачі.

Для активних ПВП притаманна генерація активними елементами електричних сигналів – струм, напруга, заряд, при перетворенні механічної, теплової, світлової або хімічної енергії в електричну. До таких ПВП, які мають назву ***генераторні***, належать термоелектричні, п'єзоелектричні, гальваноманітні та інші ПВП.

*Висновок:* вимірювання неелектричних величин фактично зводиться до вимірювання електричних величин: струму, напруги, ЕРС, опору, ємності, індуктивності, частоти, інтервалу часу, фази, з якими вимірювані неелектричні величини пов'язані відомими функціональними залежностями. Електричні величини вимірюють аналоговими і цифровими вторинними вимірювальними приладами. У ВВП над електричним сигналом може здійснюватись додаткові операції: підсилення до необхідного рівня, лінеаризація функції перетворення і корекція похибок ПВП та реєстрація. Важливою задачею при вимірюваннях неелектричних величин є передача інформації від ПВП до ВВП по лінії зв'язку,

на яку впливають завади і можуть внести істотну похибку в результат вимірювання. В самій ЛЗ можуть відзначатись втрати вимірювальної інформації. При малих рівнях вихідних сигналів ПВП до складу приладу вводяться вимірювальні підсилювачі, які можуть бути суміщені з перетворювачами. При передачі сигналів на значні відстані (до десятків та до сотень кілометрів) використовуються телевимірювальні інформаційні системи.

**Приклад 1.** Розрахуйте параметри тензоперетворювача для вимірювання механічних величин, який виконаний з константної проволочки діаметром  $d$ , з довжиною  $l$  та шириною  $h$ .

Визначити параметри тензоперетворювача:

- початковий опір тензоперетворювача  $R_{ТП}$ , Ом;
- напругу живлення мостової схеми для включення тензоперетворювачів  $U$ , В;
- статичну чутливість моста  $K_M$ ;
- потужність, яка споживається мостовою схемою,  $P$ , Вт.

**Розв'язання.** Для розрахунків слід враховувати, що:

- питомий опір константанти,  $\rho$ , дорівнює  $0,49 \cdot 10^{-3}$  Ом·мм;
- відносна чутливість перетворювача,  $K_{ТП}$ , дорівнює 2,2;
- з припущенням питомої площі поверхні охолодження,  $S_{num}$ , дорівнює  $2 \text{ см}^2/\text{Вт}$ ;
- площа, що віддає тепло,  $S$ , дорівнює  $2 \cdot h \cdot l$ ;
- крок петлі,  $\Delta_{петлі}$ , дорівнює  $2 \cdot d$  (де  $d$  – діаметр проволочки,  $d=0,03$  мм);
- опір навантаження мостової схеми,  $R_H$ , складає 2 кОм;
- кількість активних плечей мостової схеми,  $K$ , дорівнює 1;

Визначаємо параметри тензоперетворювача:

1. Кількість петель перетворювача дорівнює

$$n = 0,5 \cdot \left( \frac{h}{\Delta_{петлі}} + 1 \right) = 0,5 \cdot \left( \frac{h}{2d} + 1 \right) = 0,5 \cdot \left( \frac{6,9}{2 \cdot 0,03} + 1 \right) = 58;$$

2. Початковий опір перетворювача:  $R_{ТП} = R_l + R_n = 804,5 + 4,79 = 809,29 \text{ Ом}$ ;

$$\text{де } R_l = \frac{8 \cdot \rho \cdot n \cdot l}{\pi \cdot d^2} = \frac{8 \cdot 0,49 \cdot 10^{-3} \cdot 58 \cdot 10}{\pi \cdot 0,03^2} = 804,5 \text{ Ом};$$

$$R_h = \frac{4 \cdot \rho \cdot h}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,49 \cdot 10^{-3} \cdot 6,9}{\pi \cdot 0,03^2} = 4,79 \text{ Ом};$$

3. Напряга живлення мостової схеми:

$$U = \sqrt{\frac{8 \cdot h \cdot l \cdot R_{III}}{S_{num}}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 6,9 \cdot 10 \cdot 809,29}{200}} = 47,2 \text{ В};$$

4. Статична чутливість моста  $K_M$  дорівнює

$$K_M = 0,25 \cdot K \cdot \frac{R_H \cdot R_l}{R_{III}(R_H + R_{III})} \cdot U \cdot K_{III} = 0,25 \cdot 1 \cdot \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 804,5}{100\% \cdot 809,29 \cdot (2 \cdot 10^3 + 809,3)} \cdot 47,2 \cdot 2,2 = 0,184 \text{ В} / \%$$

5. Потужність, яка споживається мостовою схемою,  $P$ , дорівнює

$$P = \frac{U^2}{R_{III}} = \frac{47,2^2}{809,29} = 2,75 \text{ Вт}.$$

**Приклад 2.** Розрахуйте силу струму та чутливість ємнісного перетворювача для вимірювання механічних величин, якщо повітряний зазор  $\delta_3$  між рухомим та нерухомим електродами дорівнює 1 мм, площа електродів  $F$  перетворювача дорівнює  $250 \text{ см}^2$ , діелектрична постійна повітря  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ . Обґрунтуйте вплив на струм ємнісного перетворювача частоти  $f = 50 \text{ кГц}$  напруги мережі живлення, якщо  $U = 127 \text{ В}$ .

*Розв'язання.*

1. Струм, що протікає через перетворювач дорівнює

$$I = 2\pi \cdot f \cdot U \cdot C;$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot F}{\delta_3};$$

$$I = \frac{2\pi \cdot f \cdot U \cdot \varepsilon_0 \cdot F}{\delta_3} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 127 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,025}{1 \cdot 10^{-3}} = 8,82 \text{ мА};$$

## 2. Чутливість ємнісного перетворювача

$$S = -\frac{\varepsilon_0 \cdot F}{\delta^2} = -\frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,025}{(1 \cdot 10^{-3})^2} = -221 \text{ пФ/мм};$$

### **Завдання для самостійної домашньої підготовки**

1. Вивчити теоретичний матеріал за темою 9 [2, с.177-178, 182-203, 3, с.303...330, 6, с.104...110, 5, с.543-573].

2. Виконати тестові контрольні завдання за темою 9 «Вимірювання неелектричних величин електричними методами» на Навчально-інформаційному порталі ТДАТУ [7].

### **Програма роботи**

1. Вивчення основних теоретичних відомостей до практичного заняття.
2. Проведення поточного тематичного письмового тестування за темою заняття.
3. Виконання завдань 1...3 згідно варіантів, які обираються за вказівкою викладача.

### **Завдання та вихідні дані для розрахунків**

Вибір варіантів завдання здійснюється за вказівкою викладача.

#### **Завдання 1**

**Умова:** Розрахувати та побудувати залежності (більш, ніж 5 точок) сили струму  $I$ , мА, та чутливості  $S$ , пФ/мм, ємнісного перетворювача переміщення від зміни величини повітряного зазору  $\delta$  в діапазоні 0,2...2 мм під дією неелектричної величини – лінійного переміщення  $x$ . Схема підключення ємнісного перетворювача до кола змінного струму наведена на рисунку 2.

Оцінити ступінь впливу на сили струму перетворювача частоти  $f$  мережі живлення.

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 1.

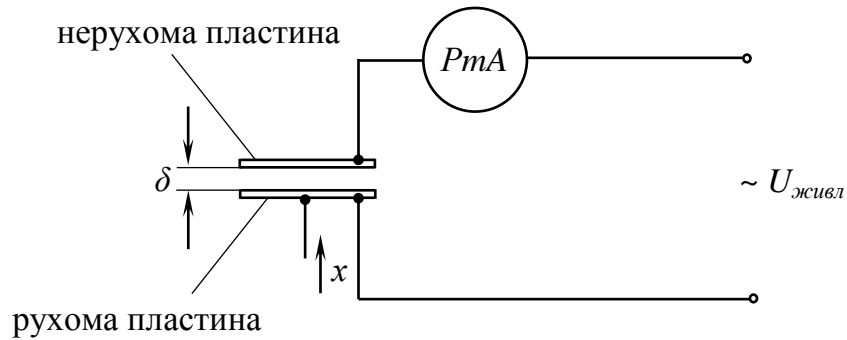


Рисунок 2 - Схема підключення ємнісного перетворювача до кола змінного струму

Таблиця 1 - Вихідні дані для виконання завдання 1

Варіант	$U_{живлення}, \text{В}$	$f, \text{кГц}$	Площа пластин ємнісного перетворювача, $\text{см}^2$	Діелектрична постійна повітря, $\epsilon_0, \text{Ф/м}$
<b>1</b>	127	50	250	$8,85 \cdot 10^{-12}$
<b>2</b>	220		230	
<b>3</b>	127	100	210	
<b>4</b>	220		10	
<b>5</b>	127	150	170	
<b>6</b>	220		150	
<b>7</b>	127	200	130	$8,85 \cdot 10^{-12}$
<b>8</b>	220		110	
<b>9</b>	127	250	90	
<b>10</b>	220		70	

Результати розрахунків для побудови залежностей  $I = f(\delta)$  та  $S = f(\delta)$  навести в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків

Варіант	$\delta$ , мм	$I$ , мА	$S$ , пФ/мм
1	0,2		
	0,4		
	0,6		
	0,8		
	1,0		
	1,4		
	1,8		
	2,0		

### Завдання 2

**Умова:** Розрахуйте параметри тензоперетворювача для вимірювання механічних величин, який виконаний з константаної проволочки діаметром  $d$ , з довжиною  $l$  та шириною  $h$  – рисунок 3. Питомий опір константанту,  $\rho$ , дорівнює  $0,49 \cdot 10^{-3}$  Ом·мм, а відносна чутливість перетворювача,  $K_{ТП}$ , дорівнює 2,2.

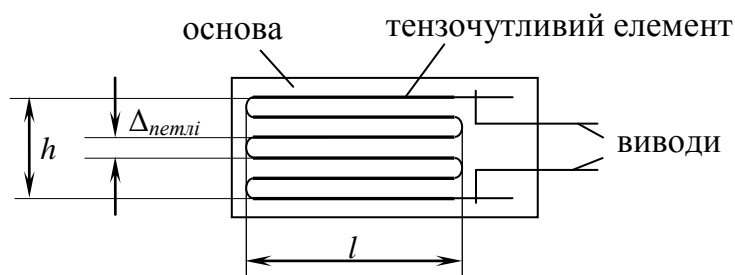


Рисунок 3 – Конструкція тензоперетворювача

Визначити параметри тензоперетворювача:

- крок петлі перетворювача,  $\Delta_{петлі}$ , мм;
- площу, що віддає тепло,  $S$ , м<sup>2</sup>;
- початковий опір тензоперетворювача,  $R_{ТП}$ , Ом;
- напругу живлення мостової схеми для включення тензоперетворювачів,  $U$ , В;
- статичну чутливість моста,  $K_M$ ;
- потужність, яка споживає мостова схема,  $P$ , Вт.



Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Вихідні дані для виконання завдання

Варіант	Опір навантаження, $R_H$ , кОм	Розміри перетворювача, мм			Питома площа поверхні охолодження, $S_{num}$ , см <sup>2</sup> /Вт	Кількість активних плечей моста, К
		$h$	$l$	$d$		
<b>1</b>	2,0	6,9	10	0,03	2	1
<b>2</b>	2,2	7,5			5	
<b>3</b>	2,5	8,1			2	2
<b>4</b>	2,1	8,7			5	
<b>5</b>	2,6	9,3			2	4
<b>6</b>	2,7	10,5	5			
<b>7</b>	3,2	11,1	15	0,05	2	2
<b>8</b>	3,0	7,9			5	
<b>9</b>	3,7	9,1			2	4
<b>10</b>	4,0	9,5			5	

Результати розрахунків навести в таблиці 4.

Таблиця 4 – Результати розрахунків

Варіант	$\Delta_{неллi}$ , мм	$S$ , м <sup>2</sup>	$R_{ТП}$ , Ом	$U$ , В	$K_M$	$P$ , Вт
<b>1</b>						

### Завдання 3

Умова: Тиск газу,  $P$ , МПа, в трубопроводі вимірюється деформаційним манометром. Так як тиск змінюється у межах від нижньої границі  $P_H$  до верхньої  $P_K$  границі, тому то шкала приладу має діапазон, що проградуїований від 0 до  $P_K$ . Величина тиску  $P_H$  дорівнює  $(1,5 + 0,07 \cdot N)$ , МПа, а величина  $P_K$  дорівнює  $(3,0 + 0,1 \cdot N)$ , МПа.

Визначити, який клас точності повинен бути у манометра, щоб відносна похибка вимірювання тиску не перевищувала значення  $\delta = \pm(1,5 + 0,05 \cdot N)\%$ , де  $N$  – номер варіанту індивідуального завдання студента.

При вирішенні завдання слід враховувати, що манометри мають класи точності 0,15; 0,25; 0,4; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10.

### **Контрольні запитання**

1. Охарактеризуйте загальні положення вимірювань неелектричних величин електричними засобами.

2. Які вимірювальні перетворювачі неелектричних величин є параметричними?

3. Опишіть будову, принцип дії, метрологічні та експлуатаційні ознаки параметричних вимірювальних перетворювачів.

4. Які вимірювальні перетворювачі неелектричних величин є генераторними?

5. Опишіть будову, принцип дії, метрологічні та експлуатаційні ознаки генераторних вимірювальних перетворювачів.

6. Розкрийте суть методів та охарактеризуйте засоби вимірювання механічних величин.

7. Розкрийте суть методів та охарактеризуйте засоби вимірювання температури.

8. Розкрийте суть методів та охарактеризуйте засоби вимірювання вологості.

Розкрийте суть методів та охарактеризуйте засоби вимірювання складу рідин і газів.

## 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. 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. 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. 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. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 656 с.
6. Панев Б.И. Электрические измерения. Справочник / Б.И.Панев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.
7. Навчально-інформаційний портал ТДАТУ: <http://nip.tsatu.edu.ua>.

