

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

МЕТРОЛОГІЯ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

методичні вказівки до виконання
практичних робіт

Запоріжжя 2025



УДК 006.91(072)
M54

*Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 8 від 27.06.2025 р.)*

Укладач
Шрамко Ю.Ю. канд. техн. наук,

M54 **Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Метрологія та електричні вимірювання» / уклад. Ю. Ю. Шрамко. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025. 62 с.**

УДК 006.91(072)

У методичних рекомендаціях викладено тематику практичних робіт, методичні вказівки щодо порядку їх виконання, наведено приклади розв'язання типових завдань, а також критерії оцінювання результатів. Окрему увагу приділено вимогам до оформлення звітної документації та переліку контрольних запитань для самоперевірки, що сприяють поглибленому засвоєнню навчального матеріалу та формуванню практичних компетентностей у галузі метрології та електричних вимірювань.

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025



ЗМІСТ

Вступ.....	4
Практична робота №1. Вивчення класифікації засобів вимірювань та принципів маркування.....	5
1.1. Основні теоретичні відомості	5
1.2 Програма роботи	9
1.3. Завдання та вихідні дані для розрахунків	10
1.4. Критерії оцінювання та вимоги до оформлення звітів.....	16
1.5 Питання для самоперевірки.....	16
1.6 Перелік рекомендованих джерел	17
Практична робота №2. Вивчення метрологічних характеристик засобів вимірювань	18
2.1 Основні теоретичні відомості та рекомендації.....	18
2.2 Програма роботи	21
2.3 Завдання та вихідні дані для розрахунків	22
2.4. Критерії оцінювання та вимоги до оформлення звітів.....	24
2.5 Питання для самоперевірки.....	24
2.6 Перелік рекомендованих джерел	25
Практична робота №3. Розрахунок похибок вимірювань	26
3.1 Основні теоретичні відомості та рекомендації.....	26
3.2Програма роботи	30
3.3 Завдання та вихідні дані для розрахунків	31
3.4. Критерії оцінювання та вимоги до оформлення звітів.....	33
3.5 Питання для самоперевірки.....	34
3.6 Перелік рекомендованих джерел	35
Практична робота №4. Вивчення способів розширення меж вимірювань приладів	36
4.1 Основні теоретичні відомості та рекомендації.....	36
4.2 Програма роботи	44
4.3 Завдання та вихідні дані для розрахунків	44
4.4. Критерії оцінювання та вимоги до оформлення звітів.....	49
4.5 Питання для самоперевірки.....	49
4.6 Перелік рекомендованих джерел	50
Практична робота №5. Дослідження методів вимірювання температури.....	51
5.1 Основні теоретичні відомості та рекомендації.....	51
5.2 Програма роботи	59
5.3 Завдання та вихідні дані для розрахунків	59
5.4. Критерії оцінювання та вимоги до оформлення звітів.....	61
5.5 Питання для самоперевірки.....	62
5.6 Перелік рекомендованих джерел	62



ВСТУП

Практичні роботи з дисципліни **«Метрологія та електричні вимірювання»** є невід'ємною частиною підготовки фахівців технічного профілю в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. Вони спрямовані на закріплення теоретичних знань та формування практичних навичок щодо застосування засобів вимірювальної техніки, аналізу їхніх метрологічних характеристик, а також опанування методів вимірювання електричних і неелектричних величин.

Мета практичних занять полягає у формуванні вмінь:

- класифікувати та ідентифікувати електровимірювальні прилади за умовними позначеннями;
- визначати та аналізувати метрологічні характеристики ЗВТ (діапазони, ціна поділки, чутливість, клас точності тощо);
- оцінювати похибки вимірювань та визначати достовірність отриманих результатів;
- застосовувати методи розширення меж вимірювань за допомогою шунтів, додаткових резисторів та вимірювальних трансформаторів;
- використовувати елементи вимірювальної техніки для контролю температури, потужності, струму, напруги та інших параметрів.

Кожна практична робота містить теоретичний огляд, програму виконання, індивідуальні завдання, методику розрахунків, контрольні запитання для самоперевірки та критерії оцінювання. Виконання практичної роботи завершується складанням звіту, що оформлюється відповідно до встановлених вимог і подається на перевірку.

Практичні роботи сприяють:

- розвитку професійного мислення;
- підвищенню рівня технічної грамотності;
- формуванню відповідального ставлення до точності вимірювань;
- підготовці до кваліфікаційної роботи та подальшої інженерної діяльності.

Результатом кожної практичної роботи є звіт, оформлений згідно з встановленими вимогами та поданий у систему Moodle. Оцінювання здійснюється відповідно до критеріїв, наведених у методичних рекомендаціях, за максимальною шкалою 5 балів.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1. ВИВЧЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ТА ПРИНЦИПІВ МАРКУВАННЯ

Мета роботи: Ознайомитися з правилами маркування електровимірювальних приладів, вивчити умовні графічні символи, що наносяться на шкали, та сформулювати практичні навички розпізнавання призначення і визначення основних метрологічних характеристик вимірювальних приладів.

1.1. Основні теоретичні відомості

Маркування електровимірювальних приладів здійснюється з метою надання користувачеві ключової інформації про прилад, насамперед — його метрологічні характеристики. З цією метою на лицьову панель або шкалу приладу наносяться умовні літерні або графічні позначення, що забезпечують доступність основних технічних даних під час експлуатації приладу в будь-який момент.

На шкалі електровимірювального приладу обов'язково вказуються такі основні відомості:

- марка та заводський номер приладу;
- скорочене позначення одиниць вимірюваної фізичної величини;
- клас точності;
- умовне позначення роду струму (постійного або змінного) та типу вимірювальної системи;
- напруга випробування ізоляції;
- нормальне (робоче) положення приладу.

Для приладів змінного струму, що експлуатуються в колах із нестандартною частотою, додатково наносяться:

- номінальна частота струму або допустимі межі її зміни, в межах яких гарантується точність показань;
- ступінь захисту від дії зовнішніх магнітних і електричних полів.

Крім зазначеного, на прилад або його допоміжні частини можуть додатково наноситись:

- схема електричного підключення;
- коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів струму та напруги;
- номінальні опори і струми додаткових резисторів;
- номінальні значення струму та падіння напруги на шунтах;
- номінальний коефіцієнт потужності.

За узгодженням з технічними умовами частина цих відомостей може бути винесена до експлуатаційної документації. У такому випадку на шкалі приладу обов'язково вказується попереджувальне повідомлення: **«Увага! Прилад без інструкції не вмикати».**

Початкова літера у позначенні типу електромеханічного вимірювального приладу вказує на принцип створення обертального моменту, що лежить в основі його дії, і водночас визначає тип приладу. Зокрема:

- **М** — магнітоелектричний;
- **Е (Э)** — електромагнітний;
- **Д** — електродинамічний або феродинамічний;
- **І (И)** — індукційний;
- **С** — електростатичний;
- **В** — випрямний;
- **Т** — термоелектричний;
- **Н** — самописець;
- **Р** — міри та вимірювальні перетворювачі.

Залежно від принципу дії вимірювального механізму, тобто способу перетворення електромагнітної енергії сигналу у механічну енергію обертання рухомої частини та характеру функціонального перетворення, електромеханічні аналогові вимірювальні прилади класифікуються за типами вимірювальних систем. До таких систем належать:

- магнітоелектрична,
- електромагнітна,
- електродинамічна,
- феродинамічна,
- електростатична,
- індукційна.

Кожна з цих систем має характерну конструкцію та специфічні метрологічні властивості. Типи приладів, структурні особливості їх механізмів і основні метрологічні характеристики наведено на рисунку 1.1 та в таблиці 1.1.

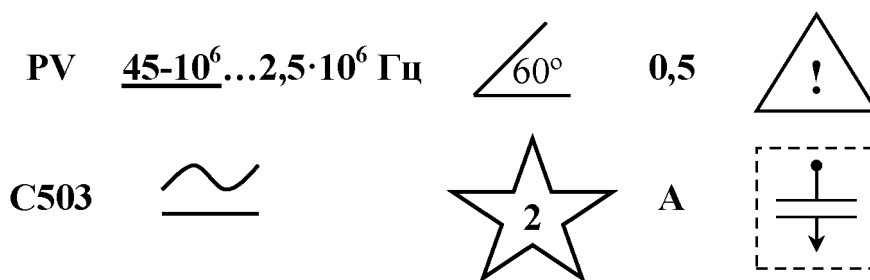















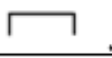















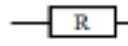





Рисунок 1.1 - Приклад умовних позначень аналогового приладу

Таблиця 1.1 - Основні умовні позначення на шкалах аналогових приладів

Назва	Умовне позначення
<i>1. Позначення системи вимірювального механізму приладу</i>	
-магнітоелектричний механізм звичайний	
-магнітоелектричний механізм логометричний	
-електромагнітний механізм звичайний	
-електромагнітний механізм логометричний	
-електродинамічний механізм звичайний	
-електродинамічний механізм логометричний	
-феродинамічний механізм звичайний	
-феродинамічний механізм логометричний	
-електростатичний механізм	
-індукційний механізм	
Назва	Умовне позначення
<i>2. Позначення роду струму</i>	
-постійний струм	
-змінний однофазний струм	
-постійний і змінний струм	
-трифазний змінний струм	
-трифазний змінний струм з асиметричним навантаженням	

Назва	Умовне позначення
3. Позначення нормального положення приладу	
- горизонтальне	
- вертикальне	
- установка шкали приладу під кутом (45...60...75)°	
4. Екранування та захист	
- електростатичний екран	
- магнітний екран	
- захист від зовнішніх магнітних полів	
- захист від зовнішніх електричних полів	
5. Позначення класу точності	
- клас точності, який виражений у формі зведеної похибки	0,5
- клас точності, який виражений у формі відносної похибки	
- клас точності, який виражений у формі зведеної похибки (у відсотках від довжини шкали)	
- клас точності, який виражений у формі зведеної похибки (у відсотках від інтервалу вимірювань)	2,5

Назва	Умовне позначення
6. Міцність ізоляції вимірювального кола приладу	
- вимірювальне коло приладу ізольоване від корпусу і випробуване під напругою 2,0 кВ	
- вимірювальне коло приладу ізольоване від корпусу і випробуване під напругою 0,5 кВ	
- прилад випробуванню ізоляції не підлягає	

Назва	Умове позначення
7. Прилади з перетворювачами струму	
-магнітоелектричний прилад з випрямлячем	
8. Додаткові елементи вимірювального кола	
-шунт	
-додатковий резистор	
-додаткова індуктивність	
-затискач для заземлення	
9. Умови експлуатації приладу	
-робота в сухих приміщеннях, що обігріваються	A
-робота в закритих приміщеннях при температурі повітря від мінус 20 °С до плюс 50 °С та при вологості до 80 %	Б
-робота в закритих приміщеннях при температурі повітря від мінус 40 °С до плюс 60 °С та при вологості до 98 %, морські та польові умови	В
-робота в сухому і вологому тропічному кліматі	Г
10. Частотний діапазон	
-розширений діапазон частоти струму	35 ~ 55 ~ 1500 Hz
-нормальний діапазон частоти струму	35 ~ 55
-робочий діапазон частоти струму	35 ~ 1500 Hz
Увага! Прилад без інструкції не емкає	
Орієнтація приладу в земному магнітному полі	
Обережно! Міцність ізоляції вимірювального кола не відповідає нормам!	

1.2 Програма роботи

1. Ознайомлення з основними теоретичними відомостями, необхідними для виконання практичного заняття.
2. Виконання завдання 1 відповідно до варіантів, наведених у таблиці 1.

3. Виконання завдання 2 відповідно до варіантів, поданих у таблиці 2.

4. Виконання завдання 3 відповідно до варіантів, вказаних у таблиці 3.

1.3. Завдання та вихідні дані для розрахунків

Вибір варіантів для виконання завдань здійснюється відповідно до вказівок викладача.

Завдання 1. Сформуйте логічні пари відповідності між фізичними величинами та електровимірювальними приладами, призначеними для їх вимірювання, відповідно до варіанта, зазначеного в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Вихідні дані для завдання 1

Варіант	Завдання			
	№-відповіді	фізична величина	№-відповіді	Електровимірювальний прилад
1	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
2	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
3	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

Варіант	Завдання			
	№ від-повіді	фізична величина	№ від-повіді	Електровимірювальний прилад
1 4	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

Варіант	Завдання			
	№ від-повіді	фізична величина	№ від-повіді	Електровимірювальний прилад
1 5	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
1 6	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

Варіант	Завдання			
	№ від-повіді	фізична величина	№ від-повіді	Електровимірювальний прилад
1 7	1	ємність	1	частотомір
	2	електричний заряд	2	куметр
	3	частота	3	тесламетр
	4	магнітна індукція	4	електрометр
	5	добротність котушки	5	частотомір

Варіант	Завдання			
	№-відповіді	фізична величина	№-відповіді	Електровимірвальний прилад
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. Сформуйте логічні пари відповідності між електровимірвальними приладами та їх умовними літерними позначеннями відповідно до варіанта, зазначеного в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Вихідні дані для завдання 2

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

Ва-рі-ант	№ від-повіді	електровимірювальний прилад	№ від-повіді	умовне літе-рне \uparrow позначення
3	1	вольтамперметр	1	mA
	2	кіловатметр	2	mWh
	3	мілівольметр	3	kWh
	4	лічильник реактивної енергії	4	$Varh$
	5	міліамперметр	5	VA
4	1	вольтметр	1	ϕ
	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	Ω
	3	мілітесламетр	3	kA
	4	омметр	4	mV
	5	мілівольметр	5	Ξ
6	1	феродинамічний прилад	1	C
	2	електростатичний прилад	2	P
	3	індукційний прилад	3	H
	4	самописець	4	D
	5	мір	5	I
7	1	міліамперметр	1	D
	2	мегаомметр	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	μA
	3	варметр	3	C
	4	електростатичний прилад	4	Var
	5	електронний частотомір	5	mWh
9	1	фазометр, що вимірює фазовий кут	1	AVF
	2	вольтамперметр	2	ϕ
	3	мультиметр	3	VA
	4	лічильник реактивної енергії	4	$Varh$
	5	вольтметр з цифровим відліком	5	

Завдання 3. Розшифруйте умовні графічні та літерні позначення, нанесені на шкали електровимірювальних приладів, відповідно до варіанта, зазначеного в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Вихідні дані для завдання 3

Варіант	Завдання					
1	Hz	50-Гц	1,5			
	Д12 6		$f_k = 45 \dots 55$ Гц	В		
2	РА	50-Гц	1,0			
	Э30		$I_k = 2,5 \text{ A}; 5 \text{ A}$	Б		
3	V		$U_k = 300 \text{ В}$	1,0		
	С50		$20 \text{ Hz} - 5 \text{ MHz}$ 10MHz	А		
4	W		45-65-150Hz			
	Д52 9	0,5	$U_k = 75; 150;$ 300 В $I_k = 2,5 \text{ A}; 5 \text{ A}$	А		
5	AV		$U_k = 75 \text{ mB};$ 0,5; 1,0; 5,0; 10 ; 50; 100-В			
	А М32 1	1,5	$I_k = 0,005;$ 0,05; 0,1; 1,0; 5,0; 10-А	А		
6	φ^0		49-50-51-Hz			
	ЭЛ- ФМ	1,5	$\varphi = 0 \dots 360^0$	Б		

Варіант	Завдання					
7а	Ц43-53	2,5а	2,5а	μF		$U_k = 6; 15; 60; 150; 300; 600 \text{ В}$ $I_k = 0,3; 0,6; 3; 15; 60; 300; 1500 \text{ mA}$
		1,5а		$\Omega, \text{к}\Omega, \text{M}\Omega$		
8а	Wа			$U_k = 75; 150; 300 \text{ В}$ $I_k = 2,5 \text{ A}; 5 \text{ A}$	0,2а	45-500-1500Hzа
	Д529а		Aа		0,5а	1500-3000Hzа
9а	$\cos \varphi$				инд. $1 \dots 0,2$ емн. $0,2 \dots 1$	
	Д510-М		Ба			
10а	Vа	1,5а			$U_k = 250 \text{ В}$	
	М330а		Ва			
11а	кWа				250 В; 5 А	
	Н354а	1,5а	50 Гца		$P_k = 0 \dots 2 \text{ кВт}$	
12а	$\cos \varphi$ φ				$(0,5 \dots 1,0) \cdot I$ допуст. похибка ± 50	
	Э500а	Aа	инд.; емн.		$(0,2 \dots 0,5) \cdot I$ допуст. похибка ± 100	

Варіант	Завдання					
13а	М19 9а			$R_{\text{внутр}} = 50 \text{ Ом}$		
	μW а	1,5а	Aа	$\Phi_k = 0 \dots 500$ мкВб		
14а	ЭФа				Bа	
	мікрофара- домір				1 μF 2 μF	
15а	ЭМ4305а			50; 150; 500-мТл	2,5а	
	тесламетр			1500-мТл	4,0а	

1.4. Критерії оцінювання та вимоги до оформлення звітів

. Звіт має бути оформлений відповідно до вимог щодо оформлення технічної документації на аркушах формату А4. До складу звіту повинні входити:

1. Титульна сторінка.
2. Назва та мета лабораторної роботи.
3. Постановка завдання.
4. Заповнені відповідні таблиці, виконані необхідні розрахунки.
5. Висновки

Таблиця 1.5 - Критерій оцінювання

Кількість балів	Критерій оцінювання
5	Повна відповідність оцінці 4 бали, також ініціативність студента у роботі над проблемою, логічність та структурованість вербальної відповіді під час навчальної дискусії, здатність комунікувати у команді та під впливом негативних факторів, у т.ч. під тиском викладача та/або групи, вміння вести дискусію та бути критичним та самокритичним;
4	Всі досліді/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів повний та обґрунтований, звіт оформлений акуратно;
3	Досліді/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів неповний, або звіт оформлений неохайно;
2	У досліді/розрахунках присутні певні помилки, або аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно;
1	У досліді/розрахунках присутні певні помилки, аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно.
0	Здобувач(ка) був(ла) відсутнім на практичних заняттях та не завантажив(ла) звіт (сертифікат) в Moodle

1.5 Питання для самоперевірки

1. Що розуміють під терміном «засоби вимірювальної техніки» (ЗВТ)? Які об'єкти входять до цієї категорії?

2. Які характеристики електровимірювальних приладів класифікуються як метрологічні, а які — як неметрологічні? Наведіть приклади кожної групи.


3. Яке функціональне призначення умовних графічних та літерних позначень, що наносяться на шкали електровимірювальних приладів?

4. Які умовні позначення класів точності ЗВТ застосовуються на практиці та який зміст вони мають?

5. Які основні принципи покладено в основу маркування електровимірювальних приладів?

6. Для приладу вольтметр типу Э8032-М1 з такими характеристиками:

- межа вимірювання — 500 В,

- 
- клас точності — 1,5,
 - призначений для кіл однофазного змінного струму,
 - вимірювальний механізм — електромагнітної системи,
 - шкала — вертикальна,
 - вимірювальне коло — ізольоване від корпусу та витримує випробувальну напругу 2,0 кВ,
 - частота струму — 50 Гц,
 - умови експлуатації — сухі опалювані приміщення, — наведіть умовні графічні позначення, які мають бути нанесені на шкалу цього приладу

1.6 Перелік рекомендованих джерел

1. Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т., Грабко В. В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник. Херсон: Олді-плюс, 2013. 538 с.
2. Дорожовець М. М., Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А. Основи метрології та вимірювальної техніки: підручник: у 2 т. / за ред. Б. Стадника. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. 656 с.
3. Нестерчук Д. М., Квітка С. О., Галько С. В. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. 256 с.



ПРАКТИЧНА РОБОТА №2. ВИВЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ

Мета роботи: Сформувати практичні навички у визначенні та описі основних метрологічних характеристик електровимірювальних приладів.

2.1 Основні теоретичні відомості та рекомендації

Проблема вибору відповідного електровимірювального приладу є однією з ключових у практиці вимірювань, оскільки від неї значною мірою залежить точність, достовірність і ефективність процесу вимірювання. Для обґрунтованого вибору застосовуються критерії, пов'язані з технічними характеристиками приладу.

Технічні характеристики — як метрологічні, так і неметрологічні — відображають сукупність властивостей засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), що визначають їх функціональність та придатність до використання в конкретних умовах.

До метрологічних характеристик належать ті параметри, які прямо впливають на результат та точність вимірювання. Для аналогових електровимірювальних приладів до нормованих метрологічних характеристик належать:

- діапазон вимірювань;
- клас точності;
- чутливість та поріг чутливості;
- стала та ціна поділки шкали;
- умови застосування (температурний діапазон, положення приладу, вологість тощо).

Невід'ємною складовою частиною аналогового електровимірювального приладу є його шкала — елемент пристрою відліку, що являє собою впорядковану сукупність позначок, пов'язаних із певною послідовністю числових значень. Кожна позначка шкали (це може бути риска або інший символ) відповідає одному або кільком значенням вимірюваної величини.

На рисунку 1 представлено структуру шкали аналогового приладу — зокрема ватметра, — що ілюструє основні метрологічні характеристики приладу: діапазон показів, межі (границі) та діапазон вимірювань.

- Початкове значення шкали ($X_{\text{п}}$) визначає найменше значення вимірюваної величини.
- Кінцеве значення шкали ($X_{\text{к}}$) встановлює найбільше значення, яке прилад здатен зафіксувати.

Діапазон показань — це інтервал значень вимірюваної величини, який обмежується найменшим і найбільшим значенням шкали, і в якому допускається зчитування результатів вимірювання.

Частину діапазону показів засобу вимірювань, у межах якої встановлено нормовані границі допустимих похибок, називають діапазоном вимірювань.

Його межі визначаються:

- нижньою границею вимірювання — X_H ,
- верхньою границею вимірювання — X_B .

У більшості випадків верхня границя вимірювання X_B збігається з верхньою межею показів X_K , тобто $X_B = X_K$. Водночас нижня границя вимірювання X_H не завжди збігається з початковим значенням шкали X_{Π} , що ілюструється на відповідному рисунку.

Інтервал шкали між значеннями X_{Π} та X_H вважається неробочим і не включається до діапазону вимірювань. У таких випадках положення X_H на шкалі позначається спеціальним символом (наприклад, точкою), розміщеним поруч із відповідною числовою позначкою.

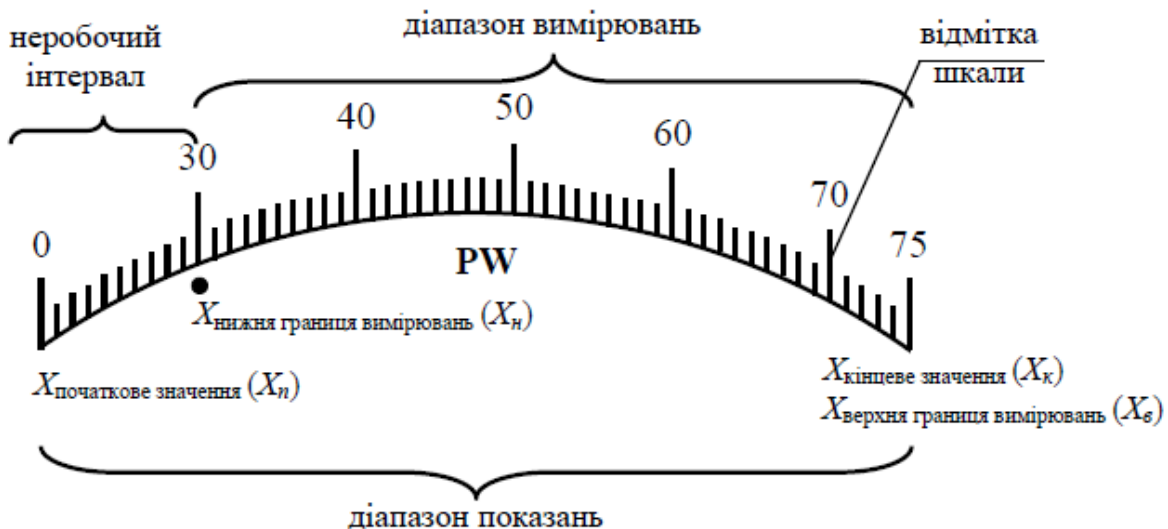



Рисунок 2.1 - Структура шкали аналогового ватметра

Враховуючи наведені вище положення, на підставі рис.2.1 можна визначити такі характеристики шкали:

- Початкове значення шкали X_{Π} становить 0 Вт.
- Нижня границя вимірювання X_H дорівнює 30 Вт.
- Верхня границя вимірювання X_B збігається з верхньою межею показів X_K , тобто $X_B = X_K = 75$ Вт.
- Діапазон показів: 0...75 Вт.
- Діапазон вимірювань: 30...75 Вт.

Показ вимірювального приладу (x) — це значення вимірюваної величини, відтворене на шкалі приладу у вигляді вимірювального сигналу, доступного для зчитування.



Відлік (N_B) — це абстрактне неіменоване число, отримане в результаті спостереження шкали: воно визначається за кількістю позначок або зчитується безпосередньо з пристрою відліку.

Максимальне значення, яке можна зчитати з пристрою, називається максимальний відлік і позначається як $N_{B.max}$

Ціна поділки шкали ($C_{под}$) — це числове значення інтервалу між двома суміжними поділками шкали, яке визначає різницю вимірюваної величини, що відповідає мінімальному зчитуваному приросту.

Стала приладу (C) — це іменоване значення, що характеризує відношення верхньої границі вимірювання приладу (X_k) або максимального значення багатозначної міри до максимального показу шкали. Визначається за формулою:

$$C = \frac{X_k}{N_{B.max}}. \quad (2.1)$$

Показ вимірювального приладу X , відлік за шкалою N_B , стала приладу C та ціна поділки шкали $C_{под}$ пов'язані між собою наступним співвідношенням:

$$X = N_B \cdot C = N_{под} \cdot C_{под},$$

де: X — значення вимірюваної величини;

N_B — кількість поділок між нульовим значенням і показом стрілки;

C — стала приладу (або ціна однієї поділки);

$C_{под}$ — ціна поділки шкали (у відповідних одиницях вимірювання).

Приклад 1 Визначити сталу вольтметра, якщо його верхня границя вимірювання становить 600 В, а максимальний відлік за шкалою дорівнює 150 поділок.

Розв'язання.

Оскільки верхня границя вимірювання приладу становить $U_k = 600$ В, а максимальний відлік за шкалою дорівнює $N_{B.max} = 150$ відповідно до виразу (2.1) стала вольтметра визначається як:

$$C_{PV} = \frac{U_k}{N_{B.max}} = \frac{600B}{150} = \frac{4B}{П}.$$

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

Розв'язання. Так як границя вимірювання активної потужності ватметра дорівнює

$$P_k = U_k \cdot I_k = 150B \cdot 5A = 750Bт, \text{ отже, стала ватметра дорівнює}$$

$$C_{PV} = \frac{U_k I_k}{N_{B.max}} = \frac{750}{75} = 10 \text{ Ват/под.}$$

Точність засобу вимірювання—це характеристика, яка визначає ступінь наближеності його показів до істинного значення вимірюваної фізичної величини.

Кількісним показником, що характеризує точність засобу вимірювання, є клас точності. Клас точності є узагальненою характеристикою засобу вимірювань, що визначається нормованими межами основної та додаткових похибок, а також іншими регламентованими характеристиками, які впливають на його точність.

Необхідно підкреслити, що клас точності засобу вимірювань не є його безпосередньою похибкою, а є кількісною оцінкою, що дозволяє визначати допустимі межі похибки приладу. Наприклад, на практиці навіть при використанні приладу високого класу точності можна отримати значну похибку вимірювання, якщо експеримент буде проведено некоректно (наприклад, покази взято у неробочій зоні шкали).

У табл. 2.1 наведено умовні позначення класів точності засобів вимірювання з відповідним поясненням їх значень.

Таблиця 2.1 - Умовні позначення класів точності ЗВ.

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

2.2 Програма роботи

1. Ознайомлення з теоретичним матеріалом, необхідним для виконання практичного заняття.
2. Проведення письмового тематичного тестування для контролю засвоєння поточної теми заняття.

3. Виконання індивідуальних завдань відповідно до варіантів, зазначених у таблиці 2.2.

2.3 Завдання та вихідні дані для розрахунків

Вибір варіантів завдання здійснюється за вказівкою викладача.

Завдання:

На основі вихідних даних, наведених у таблиці 1, визначити наступні метрологічні характеристики заданого приладу:

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

Таблиця 2.2 - Вихідні дані для завдання

№ варіанту	Прилад	Верхня границя вимірювання	N_{max} поділ	Клас точності	Відлік, N_e 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	

№ 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	PkW	0...2 кВт	40	1,5	37	
7	PA	5; 10 А	100	1,0	90	

7	РА	5; 10 А	100	1,0	90	
8	PV	150; 300 В	150	0,5	88	
9	мікро-фараломір	1,0 μF; 2,0 μF	100	1,0	96	
10	РWь	1,0; 2,5; 5,0; 10 мВ6	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	РАVW	$U_K = 100;$ 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

№ варіанту	Прилад	Верхня границя вимірювання	N_{max} поділ	Клас точності	Відлік, N_e поділ	Загальний вид шкали приладу
13	РАV	0,005; 0,05; 0,1; 1,0; 5,0; 10 А;	50	1,5	44	
		75 мВ; 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	

2.4. Критерії оцінювання та вимоги до оформлення звітів

Звіт має бути оформлений відповідно до вимог щодо оформлення технічної документації на аркушах формату А4. До складу звіту повинні входити:

1. Титульна сторінка.
2. Назва та мета лабораторної роботи.
3. Постановка завдання.
4. Заповнені відповідні таблиці, виконані необхідні розрахунки.
5. Висновки

Таблиця 2.3 - Критерій оцінювання

Кількість балів	Критерій оцінювання
5	Повна відповідність оцінці 4 бали, також ініціативність студента у роботі над проблемою, логічність та структурованість вербальної відповіді під час навчальної дискусії, здатність комунікувати у команді та під впливом негативних факторів, у т.ч. під тиском викладача та/або групи, вміння вести дискусію та бути критичним та самокритичним;
4	Всі досліді/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів повний та обґрунтований, звіт оформлений акуратно;
3	Досліді/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів неповний, або звіт оформлений неохайно;
2	У досліді/розрахунках присутні певні помилки, або аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно;
1	У досліді/розрахунках присутні певні помилки, аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно.
0	Здобувач(ка) був(ла) відсутнім на практичних заняттях та не завантажив(ла) звіт (сертифікат) в Moodle

2.5 Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення поняттю «засоби вимірювальної техніки».
2. Поясніть, що являють собою метрологічні та неметрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки (ЗВТ).
3. Наведіть визначення та охарактеризуйте наступні поняття:
 - шкала приладу;
 - діапазон показів та діапазон вимірювань;
 - показ вимірювального приладу;
 - ціна поділки шкали;
 - стала приладу.
4. Наведіть аналітичний взаємозв'язок між показом, сталою приладу та ціною поділки.
5. Поясніть сутність понять «чутливість засобу вимірювальної техніки» та «поріг чутливості».

6. За заданою шкалою амперметра (див. рисунок), верхня межа вимірювання якого становить $I_K = 5 \text{ A}$ та зображенням усталеного положення покажчика, визначити:

- кількість поділок шкали;
- максимальний відлік;
- ціну поділки шкали;
- сталу амперметра;
- показ амперметра.

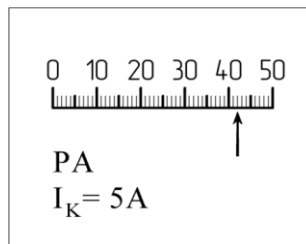


Рисунок 2.2 - Приклад шкали приладу

2.6 Перелік рекомендованих джерел

1. Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т., Грабко В. В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник. Херсон: Олді-плюс, 2013. 538 с.
2. Поліщук Є. С., Дорожовець М. М., Яцук В. О., Ванько В. М., Бойко Т. Г. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / за ред. проф. Є. С. Поліщука. Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2012. 544 с.
3. Дорожовець М. М., Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А. Основи метрології та вимірювальної техніки: підручник: у 2 т. / за ред. Б. Стадника. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. 656 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3. РОЗРАХУНОК ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ

Мета роботи: формування практичних навичок, пов'язаних із аналітичними розрахунками величин похибок вимірювань, а також оцінювання метрологічних характеристик електровимірювальних приладів.

3.1 Основні теоретичні відомості та рекомендації

Через конструктивну недосконалість засобів вимірювальної техніки (ЗВ), а також обмеження, обумовлені можливостями сучасних технологій виготовлення, при експлуатації ЗВ виникають **інструментальні похибки**, які необхідно кількісно оцінювати для забезпечення достовірності вимірювань.

Похибки вимірювальної техніки, залежно від способу їх представлення, класифікуються на:

- абсолютні похибки;
- відносні похибки;
- приведені (зведені) похибки.

Абсолютна похибка

Абсолютна похибка засобу вимірювань ($\Delta_{ЗВ}$) — це різниця між показом засобу вимірювання $X_{ЗВ}$ та істинним значенням вимірюваної величини X_I за умови відсутності методичних похибок і впливу ЗВ на об'єкт вимірювання. Аналітичне вираження має вигляд:

$$\Delta_{ЗВ} = X_{ЗВ} - X_I. \quad (3.1),$$

де $X_{ЗВ}$ — показ засобу вимірювання;


X_I — істинне значення вимірюваної фізичної величини.

З метою усунення методичних похибок та похибок, що виникають внаслідок взаємодії засобу вимірювання з об'єктом вимірювання, проводиться повірка. У процесі повірки значення вхідної (еталонної) величини визначається за допомогою зразкового засобу вимірювання, точність якого суттєво перевищує точність приладу, що перевіряється.

Відносна похибка засобу вимірювання $\delta_{ЗВ}$ — це відношення абсолютної похибки $\Delta_{ЗВ}$ до істинного значення вимірюваної величини X_I . Аналітичний вираз має вигляд:

$$\delta_{ЗВ} = \frac{\Delta_{ЗВ}}{X_I} \cdot 100\% . \quad (3.2)$$

Приведена похибка засобу вимірювання γ — це величина, яка характеризує точність засобу вимірювання шляхом співвідношення його абсолютної похибки $\Delta_{ЗВ}$ до нормованого значення вимірюваної величини X_H ,



яке зазвичай відповідає верхній межі діапазону вимірювань або номінальному значенню.

Аналітичний вираз для обчислення приведеної похибки має вигляд:

$$\gamma = \frac{\Delta_{ЗВ}}{X_H} \cdot 100\% . \quad (3.3)$$

де γ — приведена похибка (безрозмірна величина або у відсотках);

$\Delta_{ЗВ}$ — абсолютна похибка засобу вимірювання;

X_H — нормоване (номінальне) значення вимірюваної вел.

Залежно від умов експлуатації засобів вимірювань розрізняють основну та додаткову похибки.

Основна похибка — це похибка, яка виникає за нормальних умов експлуатації засобу вимірювальної техніки. Її поява зумовлена насамперед неточністю та нестабільністю елементів вимірювальних кіл, а також конструктивних частин вимірювального механізму.

Додаткова похибка — це похибка, яка виникає внаслідок відхилення хоча б однієї з впливних величин від нормованого значення або при виході параметрів експлуатації за межі встановленої нормальної області. Ця похибка додається до основної похибки і враховується у випадках використання ЗВ у несприятливих умовах (температурних, вібраційних, електромагнітних тощо).

Границі допустимих значень основної та додаткових похибок встановлюються у вигляді:


- абсолютних похибок;
- відносних похибок;
- зведених похибок.

Форма подання залежить від характеру зміни похибки в межах діапазону вимірювання, умов експлуатації та призначення конкретного типу засобу вимірювальної техніки.

Адитивна похибка засобу вимірювання — це складова абсолютної похибки, яка не залежить від значення вимірюваної величини. Її величина залишається сталою по всій шкалі вимірювання, і вона як би додається до результату вимірювання. Назва походить від англійського слова *add* — додавати.

Мультиплікативна похибка — це така складова абсолютної похибки, яка залежить від значення вимірюваної величини, змінюючись пропорційно до нього. Іншими словами, вона лінійно зростає або зменшується зі збільшенням або зменшенням величини, що вимірюється. Назва утворена від англійського *multiplication* — множення, що вказує на її пропорційний характер.

Клас точності — це узагальнена характеристика засобу вимірювань, яка визначається межами допустимих основної та додаткової похибок, а



також іншими технічними параметрами, що впливають на точність роботи приладу.

Слід підкреслити, що клас точності не є прямим показником похибки, яка виникає при конкретному вимірюванні. Натомість, він є індикатором максимальної приведеної похибки, яку гарантує виробник у межах діапазону вимірювання при нормальних умовах експлуатації. Фактично, клас точності дозволяє оцінити рівень довіри до засобу вимірювання.

На практиці клас точності позначається числовим значенням 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

Ці позначення наносяться на циферблат, шкалу або корпус вимірювального приладу у вигляді умовного маркування.

Таким чином, клас точності — це основна метрологічна характеристика, що дозволяє оцінити похибку засобу вимірювання в умовах його застосування, не проводячи додаткових розрахунків у кожній точці шкали.

Для забезпечення достовірності результатів вимірювань похибки засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) підлягають обов'язковій оцінці. Це передбачає визначення граничних значень похибок згідно зі встановленою методикою.

Суть методики оцінювання похибок полягає у визначенні граничного значення основної похибки ЗВТ з урахуванням:

- способу нормування похибки (у вигляді абсолютної, зведеної або відносної похибки);
- форми подання класу точності засобу вимірювання.

Відповідні методичні підходи до розрахунку похибки передбачають врахування конструктивних характеристик приладу, форми шкали, діапазону вимірювань і допустимого класу точності.

У таблиці 1 наведено типові варіанти оцінювання основної похибки ЗВ відповідно до прийнятих норм вираження точності приладу.

Необхідно визначити граничні значення основної абсолютної та відносної похибок для кожного з вимірювань і зробити висновок щодо точності результатів.

Розв'язання. Клас точності приладу визначено як гранична зведена основна похибка $\gamma_{гр}$, яка дорівнює $\pm 0,5\%$. Гранична абсолютна похибка визначається за формулою

$$\Delta I_{1.гр} = \Delta I_{2.гр} = \pm \frac{\gamma_{гр} \cdot I_K}{100\%} = \pm \frac{0,5 \cdot 10}{100} = \pm 0,05A.$$

Обчислюємо відносну похибку для кожного випадку

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

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

Таблиця 3.1 - Основні випадки оцінювання основної похибки ЗВ

Основні випадки оцінювання основної похибки ЗВ	Характеристика основної похибки	Аналітичні вирази
Клас точності аналогового ЗВ, який виражений у формі допустимої зведеної основної похибки, та який позначається, як 0,5	стала основна похибка в діапазоні вимірювання ЗВ, при цьому нормується адитивна похибка	1. Кл.точн. = $\pm \gamma_{zp} = \pm \frac{\Delta_{zp}}{X_H} \cdot 100\% = const$, де Δ_{zp} - границі допустимої абсолютної основної похибки; X_H - нормоване значення. 2. Границі допустимої абсолютної основної похибки $\Delta_{zp} = \pm \frac{\gamma_{zp} \cdot X_H}{100\%} = const.$ 3. Допустима відносна основна похибка $\delta_{zp} = \pm \frac{\Delta_{zp}}{x_{вим}} \cdot 100\% = \pm \gamma_{zp} \cdot \frac{X_H}{x_{вим}} \cdot 100\%.$
Клас точності аналогового ЗВ, який виражений у формі допустимої відносної основної похибки, та який позначається, як 1,0	стала в діапазоні вимірювання ЗВ, при цьому нормується мультиплікативна похибка	1. Кл. _точн. = $\delta_{zp} = \pm \frac{\Delta_{zp}}{x_{вим}} \cdot 100\% = const$. де Δ_{zp} - границі допустимої абсолютної основної похибки; $x_{вим}$ - значення вимірюваної величини 2. Границі допустимої абсолютної основної похибки $\Delta_{zp} = \pm \frac{\delta_{zp} \cdot x_{вим}}{100\%} = const.$
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 ($x_{вим} = 0$)	1. Границя основної зведеної похибки в кінці діапазону вимірювання, якщо $x_{вим} = X_K$ $c = \pm \frac{\Delta_{zp,K}}{X_K} \cdot 100\% = \gamma_{zp,K}.$ 2. Границя основної зведеної похибки на початку діапазону вимірювання, якщо $x = 0$ $d = \pm \frac{\Delta_{zp,П}}{X_K} \cdot 100\% = \gamma_{zp,П}.$ 3. Границі допустимої абсолютної основної похибки $\Delta_{zp} = \pm \frac{d \cdot X_K + (c - d) \cdot x_{вим}}{100\%}.$ 4. Допустима відносна основна похибка $\delta_{zp} = \pm \left[c + d \cdot \left(\frac{X_K}{x_{вим}} - 1 \right) \right] \cdot 100\%.$

Приклад 1. Для вимірювання сили струму використано аналоговий амперметр класу точності 0,5 з верхньою межею вимірювання $I_K = 10A$. У ході експерименту отримано два значення: $I_{вим1} = 8,1A$ та $I_{вим2} = 2,5A$.

Абсолютна похибка для обох вимірювань однакова, проте відносна похибка суттєво менша у випадку $I_{\text{вим1}} = 8,1\text{А}$. Це свідчить про те, що точність вимірювання зростає при роботі у верхній частині шкали приладу.

Приклад 2. Визначити інтервал, в якому може знаходитися істинне значення опору однозначної міри електричного опору класу точності 0,2 з номінальним значенням опору $R_{\text{Н}} = 100\text{Ом}$.

Розв'язання. Оскільки клас точності приладу заданий у вигляді допустимої відносної похибки $\delta_{\text{гр}} = 0,2\%$, то відповідне граничне значення абсолютної основної похибки $\Delta R_{\text{гр}}$ визначається за формулою:

$$\Delta R_{\text{гр}} = \pm \frac{\delta_{\text{гр}} \cdot R_{\text{Н}}}{100\%} = \frac{0,2 \cdot 10}{100} = \pm 0,020\text{Ом}.$$

Істинне (дійсне) значення опору міру може знаходитися в інтервалі
Істинне (дійсне) значення електричного опору міри може знаходитися в межах інтервалу, обмеженого значенням вимірюваного опору та граничною абсолютною похибкою, тобто:

$$R_{\text{дійсн}} \in [R_{\text{ном}} - \Delta R_{\text{гр}}; R_{\text{ном}} + \Delta R_{\text{гр}}]$$
$$R = (10,00 \pm 0,02)\text{Ом} = (9,98 \dots 10,02)\text{Ом}.$$

Приклад 3. Показ цифрового вольтметра з класом точності $0,05/0,02$ та верхньою межею вимірювання $U_{\text{К}} = 150\text{В}$ становить 120В .

Потрібно знайти:

- граничне значення відносної похибки;
- граничне значення абсолютної похибки вимірювання.

Розв'язання.

Гранична відносна похибка цифрового вольтметра обчислюється за формулою

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

а граничне значення абсолютної похибки цифрового вольтметра дорівнює

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

3.2 Програма роботи

1. Ознайомлення з основними теоретичними положеннями, необхідними для виконання практичного заняття.
2. Проведення письмового тематичного тестування з теми заняття.
3. Виконання завдання 1 відповідно до варіанта, визначеного викладачем.

4. Виконання завдання 2 відповідно до варіанта, обраного за вказівкою викладача

3.3 Завдання та вихідні дані для розрахунків

Вибір варіантів завдання здійснюється за вказівкою викладача.

Завдання 1.

Умова: Амперметр з верхньою межею вимірювання $I_k = 10A$ та класом точності $\gamma_{гр} = 0,2$ під час вимірювання сили струму зафіксував значення:

$$I = 2 \cdot N$$

де N — номер варіанта завдання, що відповідає номеру в списку в журналі групи.

Вольтметр з діапазоном вимірювання $U_k = 0 \dots 100V$ та класом точності $\gamma_{гр} = 0,5$ показав результат вимірювання напруги:

$$U = 10 \cdot N,$$

де N — номер варіанта що відповідає номеру в списку в журналі групи.

Потрібно визначити:

- Вимірне значення сили струму та напруги згідно з варіантом;
 - Абсолютну похибку вимірювання кожної з величин, враховуючи характеристики приладів;
 - Істинне значення вимірюваної величини з урахуванням допустимої похибки;
 - Відносну похибку вимірювання кожної з електричних величин.
- Результати розрахунків похибок для сили струму подати у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Результати розрахунків похибок процесу вимірювання сили струму

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

Результати розрахунків величин похибок процесу вимірювання напруги на- вести в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Результати розрахунків похибок процесу вимірювання напруги

Величини, що обчислюються	N – номер варіанту				
	6	7	8	9	10
Вимірне значення напруги, $U_{\text{вим}}$, В					
Абсолютна похибка, ΔU , В					
Дійсне значення напруги, $U_{\text{д}}$, А					
Відносна похибка процесу вимірювання напруги вольтметром, δ_U , %					

Приклад розрахунку для завдання 1

Вольтметр із верхньою межею вимірювання $U_K = 150\text{В}$ та класом точності $\gamma_{\text{гр}} = 1,0$ під час вимірювання зафіксував показ напруги $U = 142\text{ В}$.

На основі отриманих даних проводимо розрахунки:

Вимірне значення напруги: 142 В

Абсолютна гранична похибка вимірювання напруги обчислюється за формулою

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

- дійсне значення напруги дорівнює

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

- відносна похибка процесу вимірювання напруги визначається за формулою

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

отже, величина відносної похибки залежить від показу вольтметра.

Завдання 2.

Умова:

Під час проведення метрологічної повірки електродинамічного ватметра на i -тій позначці шкали з числовим значенням було зафіксовано максимальну абсолютну похибку, що становить:

$$2 \cdot (1 + 2 \cdot N) [\text{Вт}]$$

де N — номер варіанта завдання (визначається викладачем у межах від 1 до 15).

Характеристики ватметра:

- верхня границя вимірювання за напругою: $U_K = 150\text{В}$
- верхня границя вимірювання за струмом: $I_K = 2,5\text{А}$
- максимальний показ шкали: 75 поділок

Необхідно визначити:

- Вимірне значення активної потужності згідно з обраним варіантом.



- Абсолютну похибку вимірювання відповідно до наведеного виразу.
 - Інтервал істинного значення активної потужності з урахуванням похибки.
 - Зведена похибка за результатами метрологічної повірки:
 - Клас точності приладу за результатами повірки: обчислюється як зведена похибка, округлена до найближчого стандартного значення.
 - Відносну похибку процесу вимірювання активної потужності, що розраховується за формулою : $24 \cdot N$
- Результати всіх розрахунків подати у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - 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 активної потужності, $P_0, Вт$															
Зведена похибка ватметра, $\gamma_P, \%$															
Відносна похибка вимірювання активної потужності, $\delta_P, \%$															

3.4. Критерії оцінювання та вимоги до оформлення звітів

Звіт має бути оформлений відповідно до вимог щодо оформлення технічної документації на аркушах формату А4. До складу звіту повинні входити:


1. Титульна сторінка.
2. Назва та мета лабораторної роботи.
3. Постановка завдання.
4. Заповнені відповідні таблиці, виконані необхідні розрахунки.
5. Висновки

Таблиця 3.5 - Критерій оцінювання

Кількість балів	Критерій оцінювання
5	Повна відповідність оцінці 4 бали, також ініціативність студента у роботі над проблемою, логічність та структурованість вербальної відповіді під час навчальної дискусії, здатність комунікувати у команді та під впливом негативних факторів, у т.ч. під тиском викладача та/або групи, вміння вести дискусію та бути критичним та самокритичним;
4	Всі дослід/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів повний та обґрунтований, звіт оформлений акуратно;
3	Дослід/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів неповний, або звіт оформлений неохайно;
2	У дослід/розрахунках присутні певні помилки, або аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно;
1	<i>У дослід/розрахунках присутні певні помилки, аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно.</i>
0	Здобувач(ка) був(ла) відсутнім на практичних заняттях та не завантажив(ла) звіт (сертифікат) в Moodle

3.5 Питання для самоперевірки

1. Що розуміють під терміном точність вимірювання і як вона характеризується?
2. Яке визначення має похибка вимірювання та як вона впливає на результат?
3. Що таке абсолютна похибка та відносна похибка результатів вимірювання?
4. Які основні причини виникнення похибок під час проведення вимірювань?
5. Як класифікуються похибки засобів вимірювальної техніки?
6. Розкрийте зміст понять:
 - абсолютна похибка засобу вимірювань,
 - відносна похибка,
 - приведена (зведена) похибка,
 - клас точності.
7. У чому полягає нормування похибок засобів вимірювальної техніки (ЗВТ)?
8. Мілівольтметр має рівномірну шкалу з нульовою позначкою в її центрі та 50 поділками. Границі вимірювання: $U_H = -150\text{мВ}$, $U_B = +150\text{мВ}$.
 - Побудуйте графічне зображення шкали.
 - Визначте ціну поділки, абсолютну похибку, приведену похибку градування шкали.
 - Розрахуйте чутливість приладу.
9. Електромагнітний вольтметр має межу вимірювання 300 В. Під час повірки на позначках 50; 100; 150; 200; 250; 300 В зафіксовано покази цифрового вольтметра: 43; 95; 154; 198; 251; 299,5 В.
 - До якого класу точності належить вольтметр, якщо нормується абсолютна похибка?



– Побудуйте графік залежності абсолютної похибки на кожній позначці. Ватметр має межі вимірювання: $U_K = 150\text{В}$, $I_K = 5\text{А}$, максимальний відлік шкали — 150 поділок, гранична абсолютна похибка — $\pm 2,5\text{Вт}$. Визначте клас точності приладу. – Розрахуйте відносну похибку, якщо зафіксовано значення активної потужності 500 Вт.

3.6 Перелік рекомендованих джерел

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

2. Дорожовець М. М., Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А. Основи метрології та вимірювальної техніки: підручник: у 2 т. / за ред. Б. Стадника. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. 656 с.

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

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4. ВИВЧЕННЯ СПОСОБІВ РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРЮВАНЬ ПРИЛАДІВ

Мета роботи: Сформувати практичні навички використання вимірювальних перетворювачів — шунтів, додаткових резисторів, а також вимірювальних трансформаторів струму і напруги — з метою розширення меж вимірювання електровимірювальних приладів

4.1 Основні теоретичні відомості та рекомендації

Вимірювальний перетворювач (ВП) — це спеціалізований пристрій, призначений для здійснення вимірювального перетворення однієї фізичної величини в іншу, з метою подальшої обробки або відображення результатів вимірювання.

Залежно від функціонального призначення, вимірювальні перетворювачі поділяються на три основні групи:

Перетворювачі роду електричної величини — забезпечують зміну роду електричного сигналу, наприклад, перетворення струму у напругу або навпаки. До них належать *шунти* та *додаткові резистори*.

Масштабні вимірювальні перетворювачі — здійснюють масштабне перетворення, тобто змінюють значення електричної величини у задану кількість разів. Прикладами є *подільники напруги, вимірювальні трансформатори струму та напруги, вимірювальні підсилювачі*.

Перетворювачі роду струму — реалізують вимірювання за середньо-випрямленим, середньоквадратичним або амплітудним значенням струму.

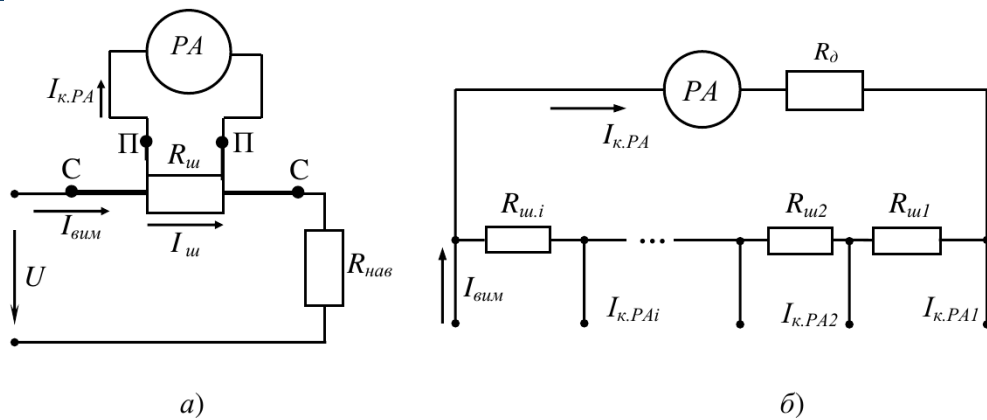
Шунт — це резистивний вимірювальний перетворювач, призначений для розширення меж вимірювання магнітоелектричних приладів за струмом. Конструктивно шунт складається з резистора з чотирма виводами:

струмові затискачі «С» підключаються послідовно до кола вимірюваного струму;

потенціальні затискачі «П» — підключаються паралельно до вимірювального механізму приладу магнітоелектричної системи з внутрішнім опором $R_{\text{ВМ}}$.

У більшості випадків такий прилад працює в режимі мілівольтметра, тому шунт фактично виконує функцію перетворювача струму в напругу.

Схеми підключення однограничного та багатограничного шунтів наведено на рисунку 4.1.



а - однограничний; б - багатограничний

Рисунок 4.1 – Схеми включення шунта

Аналітично опір однограничного шунта розраховується за формулою

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_{PA}}{\frac{I_{\text{вим}}}{I_{\text{к.ПА}}} - 1} = \frac{R_{PA}}{p - 1},$$

де R_{PA} - внутрішній опір амперметра, Ом;

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

$I_{\text{к.ПА}}$ - верхня границя вимірювання амперметра, А;

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

Опір багатограничного шунта розраховується за формулою

$$R_{\text{ш1}} = R_{PA} \cdot \frac{p_1}{p_1 - 1} \cdot \left(\frac{1}{p_1} - \frac{1}{p_2} \right),$$

$$R_{\text{ш2}} = R_{PA} \cdot \frac{p_1}{(p_1 - 1) \cdot p_2},$$

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

$$p_1 = \frac{I_{\text{к.ПА1}}}{I_{\text{к.ПА}}}; p_2 = \frac{I_{\text{к.ПА2}}}{I_{\text{к.ПА}}}.$$

Похибка шунта є складовою частиною основної похибки електровимірювального приладу, якщо шунт входить до його конструкції у вигляді внутрішнього елемента.

У випадку використання зовнішнього шунта, він характеризується власним класом точності, який позначається одиничним числовим значенням sss . Це значення вибирається з установленого стандартного ряду

класів точності: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5. Число відповідає граничному значенню допустимої відносної основної похибки шунта, яка виражається у відсотках і визначає рівень точності перетворення струму в напругу у вимірювальному колі $\delta_{ш.гр}$

$$\delta_{ш.гр} = \pm \frac{\Delta R_{ш.гр}}{R_{ш.н}} \cdot 100\% = \pm c\%,$$

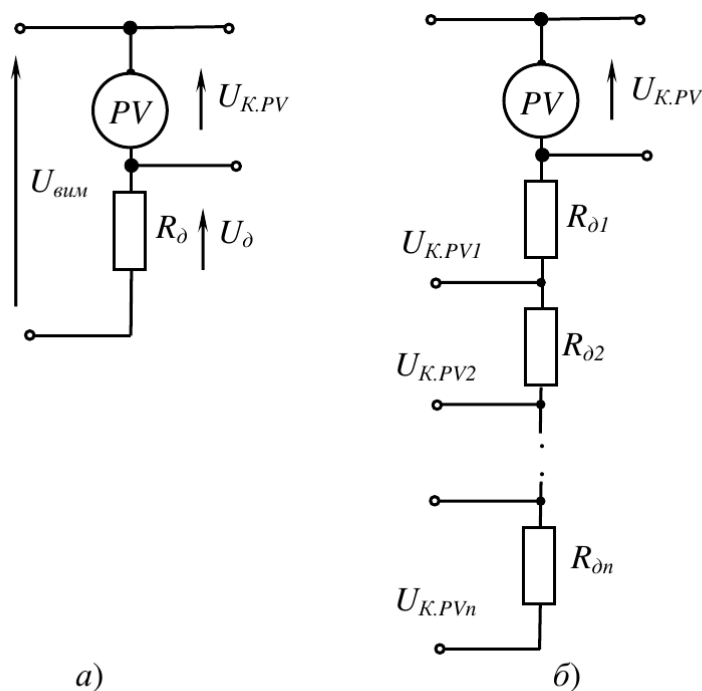
де $\Delta R_{ш.гр}$ - границя допустимої абсолютної похибки шунта, Ом.

Додатковий резистор — це резистивний вимірювальний перетворювач, що здійснює перетворення напруги в струм. Він підключається послідовно з вимірювальним механізмом приладу (див. рисунок 4.2) та застосовується з метою розширення меж вимірювання за напругою.

Додаткові резистори використовуються у складі:

- вольтметрів магнітоелектричної, електромагнітної та електродинамічної систем,
- а також у приладах, що мають кола напруги, таких як ватметри, фазометри тощо.

Використання додаткового резистора дозволяє вимірювальному приладу працювати з більшими значеннями напруги без зміни конструкції основного вимірювального механізму.



а – однограничний; б – багатограничний

Рисунок 4.2- Схеми включення додаткового резистора

Аналітично опір однограничного додаткового резистора розраховується за формулою

$$R_{д} = R_{PV} \cdot \left(\frac{U_{\text{вим}}}{U_{\text{к.рв}}} - 1 \right) = R_{PV} \cdot (n - 1),$$

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

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

$U_{\text{к.рв}}$ - верхня границя вимірювання вольтметра, А;

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

Опір багатограничного додаткового резистора розраховується за формулою

$$R_{д1} = \frac{U_{\text{вим1}} - I_{PV} \cdot R_{PV}}{I_{PV}}; R_{д2} = \frac{U_{\text{вим2}} - U_{\text{вим1}}}{I_{PV}}.$$

Похибка додаткового резистора є складовою частиною основної похибки приладу, у конструкцію якого він вбудований як внутрішній елемент.

У разі використання зовнішнього додаткового резистора, він має власний клас точності, що позначається одним числовим значенням. Це значення обирається зі стандартного ряду класів точності: 0,01;0,02;0,05;0,1;0,2;0,5;1,0. Зазначене значення sss відповідає граничному значенню відносної основної похибки додаткового резистора $\delta_{д.гр}$, яка розраховується за відповідною формулою (див. далі у тексті).

$$\delta_{д.гр} = \pm \frac{\Delta R_{д.гр}}{R_{д.н}} = \pm c\%,$$

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

Вимірювальний трансформатор — це масштабний електромагнітний перетворювач, призначений для точного перетворення (трансформації) струму або напруги з метою:

- розширення меж вимірювання електровимірювальних приладів;
- забезпечення електробезпеки персоналу під час роботи з високовольтними колами;
- гальванічного розділення кола високої напруги від кола вимірювального приладу.

У вимірювальній техніці використовують два типи трансформаторів:

- вимірювальні трансформатори струму (ВТС) — для роботи з амперметрами, ватметрами тощо;
- вимірювальні трансформатори напруги (ВТН) — для вольтметрів, фазометрів, ватметрів тощо.

Ці пристрої дозволяють приладам здійснювати вимірювання у колах, де рівні струму або напруги перевищують допустимі значення для безпосереднього підключення.

Конструктивно вимірювальні трансформатори складаються з двох ізольованих обмоток, розміщених на загальному феромагнітному осерді (див. рисунок 4.3):

- первинна обмотка має кількість витків w_1 і підключається безпосередньо до вимірюваного кола;
- вторинна обмотка з числом витків w_2 підключається до електровимірювального приладу.

Для забезпечення безпеки вторинні кола обов'язково заземлюються.

Спосіб підключення трансформаторів до вимірювального кола залежить від їх типу:

- вимірювальні трансформатори струму вмикаються послідовно в коло струму;
- вимірювальні трансформатори напруги підключаються паралельно до вимірюваного електричного кола.

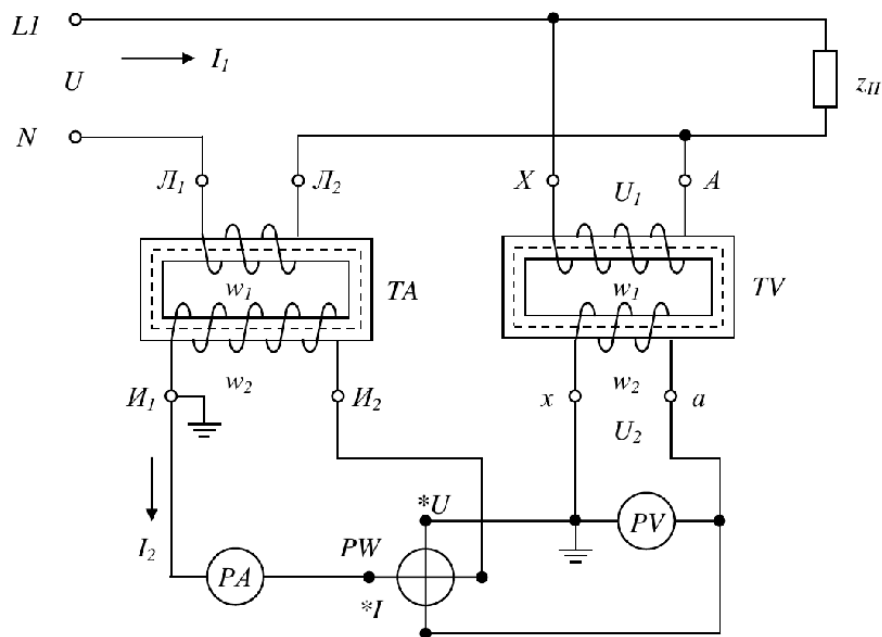


Рисунок 4.2 - Схеми включення вимірювальних трансформаторів струму (ТА) та напруги (ТВ) до однофазного кола змінного струму

Для забезпечення правильного підключення вимірювальних трансформаторів струму та напруги їхні затискачі мають стандартизовані умовні позначення, що наведені на рисунку 4.4.

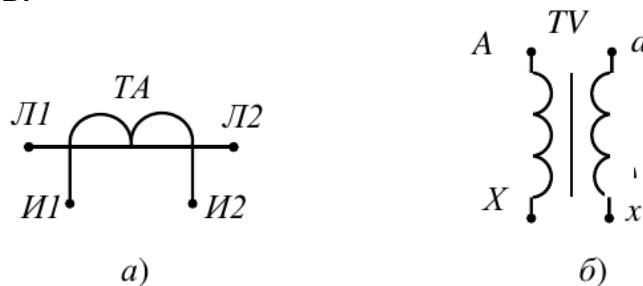
- На рисунку 4а подано умовне графічне позначення вимірювального трансформатора струму.

- На рисунку 4б зображено умовне графічне позначення вимірювального трансформатора напруги.

Позначення обмоток виконуються відповідно до встановлених норм:

- У вимірювального трансформатора струму:
 - первинна обмотка позначається великими літерами:
 - «Л1» — початок обмотки,
 - «Л2» — кінець обмотки;
 - вторинна обмотка — літерами:
 - «И1» — початок,
 - «И2» — кінець.
- У вимірювального трансформатора напруги:
 - первинна обмотка позначається великими літерами:
 - «А» — початок,
 - «Х» — кінець;
 - вторинна обмотка — малими літерами:
 - «а» — початок,
 - «х» — кінець.

Такі позначення дозволяють правильно виконати підключення трансформаторів до вимірювальних кіл та забезпечити коректне функціонування приладів.




a – трансформаторів струму; *б* - трансформаторів напруги

Рисунок 4.3 - Умовні графічні позначення вимірювальних трансформаторів

Вимірювальний трансформатор струму (ВТС) — це масштабний електромагнітний перетворювач, призначений для перетворення вимірюваних струмів у стандартні значення. Його використання дозволяє:

- розширити межі вимірювання амперметрів,
- забезпечити узгодження з обмотками струму ватметрів,
- підключати лічильники електричної енергії та фазометри у колах змінного струму.

ВТС є важливим елементом у вимірювальних системах змінного струму, особливо у високострумівих або високовольтних ланцюгах, де пряме підключення приладів є неможливим або небезпечним.



Номинальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора струму визначається як відношення номінального струму первинної обмотки $I_{1Н}$ до номінального струму вторинної обмотки $I_{2Н}$:

$$k_{IH} = \frac{I_{1Н}}{I_{2Н}} = \frac{w_2}{w_1}.$$

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

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

Оскільки електричний опір обмоток струму амперметрів, ватметрів, лічильників електричної енергії та фазометрів є відносно малим, вимірювальні трансформатори струму (ВТС) працюють у режимі, близькому до режиму короткого замикання. Це обумовлює обмеження на кількість приладів, які допускається одночасно підключати до вторинного кола ВТС.

Важливо суворо дотримуватись правила: не допускається розмикання вторинного кола ВТС, якщо його первинна обмотка підключена до кола живлення. Порушення цього правила створює низку серйозних наслідків:

- У разі розриву вторинного кола зникає протидіючий магнітний потік Φ_2 , що компенсує основний потік.
- В осерді трансформатора починає циркулювати повний магнітний потік Φ_1 , який не обмежений струмом навантаження, як у нормальному режимі.
- Внаслідок великої кількості витків у вторинній обмотці виникає значна ЕРС E_2 , яка може досягати сотень або навіть тисяч вольт.
- Така надвисока ЕРС може призвести до пробоя ізоляції вторинної обмотки, що несе небезпеку для обслуговуючого персоналу.
- Потужний магнітний потік Φ_1 викликає інтенсивні вихрові струми у магнітопроводі, що веде до його перегрівання.
- Надмірне тепловиділення призводить до руйнування ізоляції обмоток та, як наслідок, виходу трансформатора з ладу.

Таким чином, вторинне коло ВТС повинно бути завжди замкненим, або навантаженим, навіть у випадку, коли прилад на час виведений з експлуатації.

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

$$I_{\text{кола}} = k_{IH} \cdot I_{2.PA},$$

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

Вимірювальний трансформатор напруги (ВТН) — це масштабний електромагнітний перетворювач, призначений для перетворення високої напруги у стандартне значення, яке є придатним для безпечного вимірювання. ВТН застосовуються для:

- розширення меж вимірювання вольтметрів,
- забезпечення узгодження з колами напруги ватметрів,
- підключення лічильників електричної енергії та фазометрів у

колах змінного струму.

Використання ВТН дає змогу вимірювальним приладам працювати в високовольтних колах без загрози для приладу та обслуговуючого персоналу, забезпечуючи гальванічне розділення між вимірювальним колом та приладом.

Номинальний коефіцієнт трансформації ВТН визначається як відношення номінальної напруги первинної обмотки U_{1H} до номінальної напруги вторинної обмотки U_{2H} :

$$k_{UH} = \frac{U_{1H}}{U_{2H}} = \frac{w_1}{w_2}.$$

Номинальне значення первинної напруги ВТН вибирають зі стандартного ряду: $U_{1H} = 100; 127; 150; 220; 380; 500; 1000; 2000; 3000; \dots 750000\text{В}$, а номинальні 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 s , яке вибирається зі стандартного ряду класу точності: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 10.

Характерною особливістю вимірювального трансформатора напруги (ВТН) є те, що прилади, які підключаються до його вторинного кола, мають високий внутрішній опір. Завдяки цьому вторинне коло ВТН навантажене слабо, і сам трансформатор працює в режимі, наближеному до холостого ходу.

ВТН застосовуються у вимірювальних колах у випадках, коли величина вимірюваної напруги перевищує межу прямого вимірювання вольтметра, ватметра або іншого електровимірювального приладу. Таким чином, вони виконують функцію масштабного перетворювача, що дозволяє здійснювати точні та безпечні вимірювання у високовольтних електричних колах.

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

$$U_{\text{кола}} = k_{UH} \cdot U_{2.PV},$$

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

4.2 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.

4.3 Завдання та вихідні дані для розрахунків

Вибір варіантів завдання здійснюється за вказівкою викладача.

Завдання 1.

Умова: Магнітоелектричний міліамперметр, який має:

- верхню границю вимірювання I_K ,
- внутрішній опір R_{PmA} ,
- максимальне значення показу шкали N_{max} ,

використовується для вимірювання в колі постійного струму. Підключення приладу здійснюється через масштабні вимірювальні перетворювачі: шунт та додатковий резистор.

Значення параметрів I_K , R_{PmA} , N_{max} визначаються згідно з індивідуальним варіантом, який вказується викладачем та наведений у таблицях 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 - 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 $N_{v,max}$, 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 4.2 - 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

Необхідно визначити:

1. Опір шунта $R_{ш}$, необхідний для забезпечення вимірювання сили струму I відповідно до індивідуального варіанта (див. табл. 4.1), за допомогою заданого магнітоелектричного міліамперметра.
 2. Побудувати схему підключення міліамперметра із шунтом до кола постійного струму для вимірювання сили струму.
 3. Розрахувати значення сталої та чутливості за струмом для міліамперметра, підключеного через шунт.
 4. Опір додаткового резистора R_d , необхідний для вимірювання напруги U згідно з індивідуальним варіантом (див. табл. 4.1), тим самим міліамперметром.
 5. Побудувати схему підключення міліамперметра з додатковим резистором до кола постійного струму для вимірювання напруги.
 6. Розрахувати значення сталої та чутливості за напругою для міліамперметра, підключеного через додатковий резистор.
- Результати всіх розрахунків подати в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Результати розрахунків

Варіант	Опір шунта $R_{ш}$, Ом	Опір додаткового резистора R_d , 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 проведення вимірювань електричних величин в однофазному колі змінного струму оператор має у своєму розпорядженні комплект електровимірювальних приладів:

- амперметр P_A — для вимірювання сили струму,
- вольтметр P_V — для вимірювання напруги,
- ватметр P_W — для вимірювання активної потужності,
- електронний лічильник P_{Wh} — для обліку активної електричної енергії.

Усі прилади підключені до електричного кола через вимірювальні трансформатори струму та напруги, які виконують функцію масштабних перетворювачів, забезпечуючи безпечно та точно вимірювання параметрів у колах із високими значеннями струму та напруги.

Вихідні дані для виконання розрахункового завдання наведено в таблиці 4.4.

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

2. Розробити принципову схему підключення вимірювальних приладів до однофазного кола змінного струму з використанням вимірювальних трансформаторів струму та напруги.

3. Розрахувати вторинні вимірювані величини, а саме:

- напругу U_2 В,
- силу струму I_2 А,
- активну потужність P_2 Вт,

4. витрати активної електричної енергії ΔW_2 Вт · год згідно зі схемою, розробленою у п.2.

5. Визначити первинні (реальні) величини у колі живлення споживача, з урахуванням коефіцієнтів трансформації трансформаторів:

- напругу U_1 В,
- силу струму I_1 А,
- активну потужність P_1 Вт ,
- витрати активної електроенергії ΔW_1 Вт · год.

Таблиця 4.4. -Вихідні данні задання 2

Варіант	Вихідні данні				
	PA	PV	PW	PWh	кш
1	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{g, \text{max}} = 100;$ $N_I = 90$	$U_K = 75 \text{ B};$ $N_{g, \text{max}} = 150;$ $N_I = 145$	$I_K = 5 \text{ A};$ $U_K = 75 \text{ B};$ $N_{g, \text{max}} = 75; N_I = 40$	$W_{\text{max}} = 750$ кВт·год $W_{\text{сбук}} = 950$ кВт·год	20/5 380/100
2	$I_K = 2,5 \text{ A};$ $N_{g, \text{max}} = 100;$ $N_I = 95$	$U_K = 150 \text{ B};$ $N_{g, \text{max}} = 150;$ $N_I = 140$	$I_K = 2,5 \text{ A};$ $U_K = 150 \text{ B};$ $N_{g, \text{max}} = 150;$ $N_I = 105$	$W_{\text{max}} = 70$ кВт·год $W_{\text{сбук}} = 200$ кВт·год	10/5 500/100
3	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{g, \text{max}} = 100;$ $N_I = 75$	$U_K = 300 \text{ B};$ $N_{g, \text{max}} = 150;$ $N_I = 140$	$I_K = 5 \text{ A};$ $U_K = 300 \text{ B};$ $N_{g, \text{max}} = 150;$ $N_I = 90$	$W_{\text{max}} = 100$ кВт·год $W_{\text{сбук}} = 330$ кВт·год	40/5 600/100
4	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{g, \text{max}} = 100;$ $N_I = 93$	$U_K = 75 \text{ B};$ $N_{g, \text{max}} = 150;$ $N_I = 60$	$I_K = 5 \text{ A};$ $U_K = 150 \text{ B};$ $N_{g, \text{max}} = 150; N_I = 35$	$W_{\text{max}} = 10$ кВт·год $W_{\text{сбук}} = 300$ кВт·год	80/5 $\frac{500}{380 / \sqrt{3}}$
5	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{g, \text{max}} = 100;$ $N_I = 53$	$U_K = 150 \text{ B};$ $N_{g, \text{max}} = 75;$ $N_I = 70$	$I_K = 5 \text{ A};$ $U_K = 150 \text{ B};$ $N_{g, \text{max}} = 150; N_I = 70$	$W_{\text{max}} = 20$ кВт·год $W_{\text{сбук}} = 480$ кВт·год	20/5 500/100

Продовження Таблиця 4.4

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

4.4. Критерії оцінювання та вимоги до оформлення звітів

Звіт має бути оформлений відповідно до вимог щодо оформлення технічної документації на аркушах формату А4. До складу звіту повинні входити:


1. Титульна сторінка.
2. Назва та мета лабораторної роботи.
3. Постановка завдання.
4. Заповнені відповідні таблиці, виконані необхідні розрахунки.
5. Висновки

Таблиця 4.5 - Критерій оцінювання

Кількість балів	Критерій оцінювання
5	Повна відповідність оцінці 4 бали, також ініціативність студента у роботі над проблемою, логічність та структурованість вербальної відповіді під час навчальної дискусії, здатність комунікувати у команді та під впливом негативних факторів, у т.ч. під тиском викладача та/або групи, вміння вести дискусію та бути критичним та самокритичним;
4	Всі досліді/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів повний та обґрунтований, звіт оформлений акуратно;
3	Досліді/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів неповний, або звіт оформлений неохайно;
2	У досліді/розрахунках присутні певні помилки, або аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно;
1	У досліді/розрахунках присутні певні помилки, аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно.
0	Здобувач(ка) був(ла) відсутнім на практичних заняттях та не завантажив(ла) звіт (сертифікат) в Moodle

4.5 Питання для самоперевірки

1. Поясніть, чому шунт, додатковий резистор, а також вимірювальні трансформатори струму та напруги відносяться до масштабних вимірювальних перетворювачів.
2. Опишіть конструктивну будову вимірювальних трансформаторів струму та напруги.
3. У яких режимах роботи функціонують вимірювальні трансформатори та які причини обумовлюють ці режими?
4. За якими аналітичними виразами визначаються:
 - опір шунта;
 - опір додаткового резистора?
5. Що називають номінальним коефіцієнтом трансформації вимірювального трансформатора струму? Яким чином він обчислюється?



6. Опишіть схему підключення вимірювального трансформатора струму до електричного кола змінного струму разом з вимірювальним приладом.

7. Що таке номінальний коефіцієнт трансформації трансформатора напруги? Який аналітичний вираз використовується для його визначення?

8. Опишіть схему включення вимірювального трансформатора напруги до кола змінного струму з вимірювальним приладом.

9. Які трансформатори струму та напруги доцільно обрати для вимірювання в однофазному колі змінного струму, якщо напруга живлення становить 450 В, а навантаження споживає струм 6 А?

4.6 Перелік рекомендованих джерел

1. Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т., Грабко В. В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник. Херсон: Олдіплюс, 2013. 538 с.

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

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

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Мета роботи: Сформувати практичні навички застосування електричних методів для вимірювання температури, а також оволодіти методикою використання відповідних засобів вимірювальної техніки у лабораторних умовах.

5.1 Основні теоретичні відомості та рекомендації

Температура як фізична неелектрична величина може визначатися за допомогою контактних та безконтактних методів вимірювання.

- Безконтактний метод базується на реєстрації теплового випромінювання об'єкта. У цьому випадку вимірювання здійснюються дистанційно за допомогою пірометрів, які визначають температуру на основі спектральних характеристик теплової енергії, що випромінюється об'єктом.

- Контактний метод передбачає введення теплового первинного вимірювального перетворювача безпосередньо в середовище, температура якого підлягає вимірюванню. Вихідний сигнал перетворювача є функціональною залежністю від температури.

До основних теплових первинних вимірювальних перетворювачів належать:

- терморезистивні перетворювачі (терморезистори),
- термоелектричні перетворювачі (термопари).

Терморезистори — це параметричні теплові перетворювачі, принцип дії яких ґрунтується на залежності електричного опору матеріалу від температури. Для виконання вимірювання терморезистор вводять у середовище, температуру якого необхідно визначити. Чутливими елементами терморезисторів можуть бути:


- провідникові матеріали (платина, мідь, нікель),
- напівпровідникові матеріали.

Вимірювальні перетворювачі з провідниковими чутливими елементами мають назву термометрів опору, які класифікуються за матеріалом чутливого елемента на:

- платинові термоопори (ТОП),
- мідні термоопори (ТОМ),
- нікелеві термоопори (ТОН).

Конструкція ТОП: Чутливий елемент виготовляється зі стрічкової платини, намотаної на ізоляційний трубчастий каркас, як правило, зі спеціального скла. Для захисту від механічних впливів термоопір розміщується у захисній оболонці.

Конструкція ТОМ: Чутливий елемент представлений безкаркасною обмоткою з мідного ізольованого дроту, покритою фторопластовою плівкою. Для забезпечення механічної міцності обмотка вміщується в



тонкостінну металеву гільзу, заповнену керамічним порошком, після чого пристрій герметизується.

Характеристика градування для мідних термоопорів має вигляд

$$R_{\theta} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \theta_{\text{середовища}}),$$

де R_0 – опір мідного чутливого елемента при температурі $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, Ом;
 α – температурний коефіцієнт опору, $\alpha = 4,33 \cdot 10^{-3}\text{ }1/^{\circ}\text{C}$.

Характеристика градування для платинових термоопорів має вигляд

$$R_{\theta} = R_0 \cdot (1 + A \cdot \theta_{\text{середовища}} + B \cdot \theta_{\text{середовища}}^2)$$

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


$$S_{\text{ТО}} = \frac{\Delta R_{\theta i}}{\Delta \theta_i}.$$

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

Принцип роботи термоелектричних перетворювачів ґрунтується на термоелектричному ефекті Зеєбека. Суть цього явища полягає у виникненні термо-ЕРС (електрорушійної сили) в електричному колі, утвореному двома різнорідними провідниками або напівпровідниками (так званими термоелектродами), якщо температура їх місця з'єднання (робочого кінця) і вільних (холодних) кінців є різною.

Комбінація двох таких термоелектродів формує чутливий елемент перетворювача, який називається термопарою. Для виготовлення термоелектродів використовують різні матеріали та сплави, зокрема:

- хромель,
- копель,
- алюмель,
- вольфрам-рений,
- платина,
- платиноводій,
- мідь,
- залізо.



Назва термопари визначається матеріалами її електродів, наприклад: термоелектричний перетворювач типу ТХА виготовлений із хромелю та алюмелю.

Особливості використання терморезисторів.

Під час використання терморезистивних перетворювачів у вимірвальних схемах необхідно враховувати вплив вимірвального струму, який може викликати додаткове нагрівання чутливого елемента, що спричиняє похибки вимірювання температури.

Для обробки сигналів з терморезисторів у якості вторинних вимірвальних приладів застосовуються:

- зрівноважені та незрівноважені мостові схеми (включаючи автоматичні мости),
- логометри,
- цифрові вимірвальні прилади.

Похибка вимірювання температури термоопорами.

Загальна похибка температурного вимірювання $\Delta\theta_x$, здійсненого за допомогою термоопору у поєднанні з вторинним приладом (наприклад, автоматичним мостом або цифровим вольтметром), має декілька складових, що будуть детально розглянуті далі.

$$\Delta\theta_x = \Delta\theta_{\text{ТР}} + \Delta\theta_{\text{ВП}},$$

де $\Delta\theta_{\text{ТР}}, \Delta\theta_{\text{ВП}}$ - відповідно похибки термоопору та вторинного приладу, °С.

Загальна похибка температурного вимірювання, позначена як $\Delta\theta_{\text{ТР}}$, складається з двох основних компонентів:

- інструментальної похибки,
- методичної похибки.

Граничне значення основної інструментальної похибки термоопору, що позначається $\Delta\theta_{\text{ТР}}$, визначається відхиленням фактичної (дійсної) статичної характеристики перетворення термоопору від його нормованої статичної характеристики перетворення (НСХП).

Значення $\Delta\theta_{\text{ТР}}$ для різних типів термоопорів наведено у таблиці 5.1.

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

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

$$\Delta\theta_{\text{ВП.гр}} = \pm \frac{\Delta R_{\text{гр}}}{S},$$

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

S - чутливість термоопору, Ом/ °С.

Таблиця 5.1 - Границі допустимих відхилень характеристик перетворення термоопорів від НСХП

Тип термоопору	Клас допуску	Діапазон температур, °C	Границі допустимих відхилень від НСХП, $\pm \Delta\theta_{TP,sp}$, °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 $

Допустима основна зведена похибка моста дорівнює

$$\gamma_{гр} = \pm \frac{\Delta R_{гр}}{R_{норм}} \cdot 100\%.$$

При використанні цифрового вторинного приладу граничне значення його основної похибки $\Delta\theta_{ВП,гр}$ визначають за формулою

$$\Delta\theta_{ВП,гр} = \pm \frac{\delta_{\theta_{гр}} \cdot \theta_X}{100}.$$

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

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


$$\Delta\theta_{TP,гр} = \pm(0,4 + 0,005|\theta_X|) = \pm(0,4 + 0,005 \cdot 700) = \pm 3,9^\circ\text{C}.$$

2. Граничне значення похибки $\Delta\theta_{ВП,гр}$ цифрового приладу обчислюється

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

$$\Delta\theta_{ВП,гр} = \pm \frac{\delta_{\theta_{гр}} \cdot \theta_X}{100} = \pm \frac{0,17 \cdot 700}{100} = \pm 1,2^\circ\text{C}.$$

3. Результуюча похибка $\Delta\theta_{X,гр}$ вимірювання температури $\theta_X = 700$ °C розраховується та дорівнює $\Delta\theta_{X,гр} = \pm(\Delta\theta_{TP,гр} + \Delta\theta_{ВП,гр}) = \pm(3,9 + 1,2) = \pm 5,1^\circ\text{C}.$



Термоелектричні термометри (термопари) застосовуються для вимірювання температури у широкому діапазоні — від $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+2200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

У процесі вимірювання:

- робочий кінець термопари розташовується безпосередньо в середовищі, температура якого підлягає контролю;
- вільні (холодні) кінці термоелектродів з'єднуються з вторинним вимірювальним приладом за допомогою спеціальних термоелектродних проводів, виготовлених з тих самих матеріалів, що й електроди термопари, для виключення додаткових термо-ЕРС.

У складі вимірювальної системи, разом із термопарою, як вторинні прилади використовуються:

- пірометричні мілівольтметри,
- автоматичні компенсатори,
- цифрові електровимірювальні прилади.

Оцінювання похибки вимірювання температури термопарами.

Загальна похибка температурного вимірювання $\Delta\theta_X$, виконаного за допомогою термопари у поєднанні з вторинним приладом (наприклад, автоматичним компенсатором або цифровим приладом), має декілька складових,

$$\Delta\theta_X = \Delta\theta_{\text{ТП}} + \Delta\theta_{\text{ТЕП}} + \Delta\theta_{\text{ВП}},$$

де $\Delta\theta_{\text{ТП}}$, $\Delta\theta_{\text{ТЕП}}$, $\Delta\theta_{\text{ВП}}$ - відповідно похибки термопари, термоелектричних проводів та вторинного приладу, $^{\circ}\text{C}$.

Загальна похибка вимірювання температури за допомогою термопари, позначена як $\Delta\theta_{\text{ТП}}$, складається з двох основних компонентів:

1. Інструментальної похибки, яка виникає внаслідок відхилення фактичної статичної характеристики перетворення термопари від її нормованої статичної характеристики.

2. Методичної похибки, зумовленої різницею між температурою робочого кінця термоелектричного перетворювача θ_p та власне вимірюваною температурою θ_X .

Величина методичної похибки залежить від умов теплообміну між чутливим елементом (робочим кінцем) перетворювача та середовищем, у якому здійснюється вимірювання. Щоб зменшити цю похибку, на практиці застосовують спеціальні конструктивні рішення, а також забезпечують максимально ефективно теплове контактування термопари із середовищем, з метою вирівнювання температур θ_p та θ_X .

Граничне значення основної інструментальної похибки $\Delta\theta_{\text{ТР.гр}}$ для різних типів термопар визначається за аналітичними формулами, за даними наведеними в таблиці 2.

Похибка обумовлена відхиленням термо-ЕРС термоелектричних проводів від номінального значення і її граничне значення можна знайти за формулою

$$\Delta\theta_{\text{ТЕП.гр}} = \pm \frac{\Delta E_{\text{ТП.гр}}}{S_{\text{ТЕЕ}}}$$

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

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

Таблиця 5.2 - Границі допустимих відхилень характеристик перетворення термоелектричних перетворювачів від НСХП

Тип перетворювача	Клас допуску	Діапазон температур, °С	Границі допустимих відхилень від НСХП, $\pm \Delta\theta_{\text{ТП.гр}}$, °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	$0,7 + 0,005 \cdot \Theta$

При використанні автоматичного компенсатора граничне значення його основної похибки $\Delta\theta_{\text{ВП}}$ розраховується за формулою

$$\Delta\theta_{\text{ВП.гр}} = \pm \frac{\Delta U_{\text{гр}}}{S}$$

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

S - чутливість термоелектричного перетворювача, мВ/ °С.

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

Таблиця 5.3 - Технічні характеристики стандартних ТЕП

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

Допустима основна зведена похибка автоматичних компенсаторів визначається за формулою

$$\gamma_{\text{гр}} = \pm \frac{\Delta U_{\text{гр}}}{U_{\text{норм}}} \cdot 100\%.$$

Чутливість термоелектричного перетворювача визначається за формулою

$$S = \frac{\Delta E_{\text{ТП}}}{\Delta \theta},$$

де $\Delta \theta = \theta_2 - \theta_1$ - приріст температури відносно точки θ_x , $^\circ\text{C}$;

$\Delta E_{\text{ТП}} = E_{\theta_2} - E_{\theta_1}$ - відповідний приріст термо-ЕРС термоелектричного перетворювача, мВ.

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

Таблиця 5.4 - НСХП термоелектричних перетворювачів

Температура робочого кінця, Θ_p , $^\circ\text{C}$		-200	-50	0	20	200	400	500
термо-ЕРС, E_{Θ_p} , при $\Theta_{\text{від.кінц.}} = 0^\circ\text{C}$	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, Θ_p , $^\circ\text{C}$		600	700	800	1000	1100	1200	1400
термо-ЕРС, E_{Θ_p} , при $\Theta_{\text{від.кінц.}} = 0^\circ\text{C}$	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 $\Delta\theta_{\text{ВП.гр}}$ визначають за формулою

$$\Delta\theta_{\text{ВП.гр}} = \pm \frac{\delta_{\theta.\text{гр}} \cdot \theta_{\text{X}}}{100}.$$

Приклад 2 Оцінити похибку вимірювання температури $\theta_{\text{X}} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ за допомогою автоматичного компенсатора КСП2 класу точності 0,5 з діапазоном вимірювання від $0 \text{ }^\circ\text{C}$ до плюс $800 \text{ }^\circ\text{C}$, 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 $500 \text{ }^\circ\text{C}$ визначаємо за формулою

$$\Delta\theta_{\text{ТР.гр}} = \pm 0,0075 \cdot \theta_{\text{X}} = \pm 0,0075 \cdot 500 = \pm 3,75^\circ\text{C}.$$

2. Граничне значення похибки $\Delta\theta_{\text{ТЕП.гр}}$ термоелектричних проводів перетворювача типу ТХА визначаємо за формулою

$$\Delta\theta_{\text{ТЕП.гр}} = \pm \frac{\Delta E_{\text{ТП.гр}}}{S_{\text{ТЕЕ}}},$$

при цьому,

$$S_{\text{ТЕЕ}} = \frac{E_{\text{ТЕП}}}{\theta_{\text{P}} - \theta_{\text{Віл.кінц}}} = \frac{4,10}{100 - 0} = 0,041 \text{ мВ}/^\circ\text{C};$$

$$\Delta\theta_{\text{ТЕП.гр}} = \pm \frac{\Delta E_{\text{ТП.гр}}}{S_{\text{ТЕЕ}}} = \pm \frac{0,15}{0,041} = \pm 3,66^\circ\text{C}.$$

3. Допустиме значення основної абсолютної похибки компенсатора дорівнює

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

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

4. Чутливість термоелектричного перетворювача визначаємо

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

5. Граничне значення похибки $\Delta\theta_{\text{ВП.гр}}$ автоматичного компенсатора буде дорівнювати

$$\Delta\theta_{\text{ВП.гр}} = \pm \frac{\Delta U_{\text{гр}}}{S_{\text{ТП}}} = \frac{0,166}{0,0425} = \pm 3,9^\circ\text{C}.$$

6. Результуюча похибка $\Delta\theta_{\text{X.гр}}$ вимірювання температури $\theta_{\text{X}} = 500^\circ\text{C}$

$$\Delta\theta_{\text{X.гр}} = \pm (\Delta\theta_{\text{ТР.гр}} + \Delta\theta_{\text{ТЕП.гр}} + \Delta\theta_{\text{ВП.гр}}) = \pm (3,75 + 3,66 + 3,9) = \pm 11^\circ\text{C}.$$

5.2 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.

5.3 Завдання та вихідні дані для розрахунків

Вибір варіантів завдання здійснюється за вказівкою викладача.

Завдання 1

Умова: Вимірювання температури Θ_x , °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 5.5.

Таблиця 5.5 - Вихідні дані для завдання 1 (для варіантів 1...5)

Варіант	Θ_x , °C	Термопара	Вторинний прилад			
		тип	Назва	Тип	Клас точності	Діапазон вимірювань, °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 Θ_x , °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 5.6.

Таблиця 5.6 - 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 00С має опір $R_0 = 100\text{м}$, а платиновий ТОП50П при температурі 0°С має опір $R_0 = 500\text{м}$. 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 5.7. Результати розрахунків навести в таблицю 5.8.

Таблиця 5.7 - 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	$\Theta_1, ^\circ\text{C}$	$\Theta_2, ^\circ\text{C}$	$\Theta_3, ^\circ\text{C}$
1		34	87	125	6		30	105	215
2		61	156	178	7		200	303	113
3		124	175	90	8		145	180	550
4		138	120	81	9		271	337	409
5		162	30	205	10		467	530	220

Таблиця 5.8 - Результати розрахунків

Варіант	Термоперетворювач опору мідний ТОМ10М	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	$S_{ТОМ}$, Ом/°С	Варіант	Термоперетворювач опору платиновий ТОП50П	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	$S_{ТОП}$, Ом/°С	
1						6						
2						7						
3						8						
4						9						
5						10						

5.4. Критерії оцінювання та вимоги до оформлення звітів

Звіт має бути оформлений відповідно до вимог щодо оформлення технічної документації на аркушах формату А4. До складу звіту повинні входити:

1. Титульна сторінка.
2. Назва та мета лабораторної роботи.
3. Постановка завдання.
4. Заповнені відповідні таблиці, виконані необхідні розрахунки.
5. Висновки

Таблиця 5.9 - Критерій оцінювання

Кількість балів	Критерій оцінювання
5	Повна відповідність оцінці 4 бали, також ініціативність студента у роботі над проблемою, логічність та структурованість вербальної відповіді під час навчальної дискусії, здатність комунікувати у команді та під впливом негативних факторів, у т.ч. під тиском викладача та/або групи, вміння вести дискусію та бути критичним та самокритичним;
4	Всі дослід/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів повний та обґрунтований, звіт оформлений акуратно;
3	Дослід/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів неповний, або звіт оформлений неохайно;
2	У дослід/розрахунках присутні певні помилки, або аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно;
1	У дослід/розрахунках присутні певні помилки, аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно.
0	Здобувач(ка) був(ла) відсутнім на практичних заняттях та не завантажив(ла) звіт (сертифікат) в Moodle

5.5 Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення теплового первинного вимірювального перетворювача.
2. Які теплові перетворювачі класифікуються як генераторні, а які – як параметричні?
3. Наведіть приклади контактних та безконтактних теплових перетворювачів.
4. Що таке терморезистор? Який фізичний ефект лежить в основі його принципу дії?
5. Охарактеризуйте конструктивні особливості терморезисторів, виготовлених із металевих провідників.
6. Опишіть конструкцію напівпровідникових терморезисторів.
7. Що таке термоелектричний перетворювач (термопара)? Який фізичний ефект визначає його функціонування?
8. Які конструктивні особливості термопар забезпечують точність та надійність вимірювань?
9. Запишіть аналітичне рівняння, яке описує градувальну характеристику термопари.
10. Наведіть аналітичний вираз, що описує градувальну характеристику терморезистора.
11. Які вторинні вимірювальні прилади застосовуються в парі з термопарами? Які — з терморезисторами?
12. Розробіть алгоритм визначення похибки температурного вимірювання терморезистивним термометром.
13. Розробіть алгоритм визначення похибки температурного вимірювання термоелектричним термометром (термопарою).

5.6 Перелік рекомендованих джерел

1. Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т., Грабко В. В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник. Херсон: Олдіплюс, 2013. 538 с.
2. Дорожовець М. М., Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А. Основи метрології та вимірювальної техніки: підручник: у 2 т. / за ред. Б. Стадника. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. 656 с.
3. Нестерчук Д. М., Квітка С. О., Галько С. В. Методи і засоби вимірювань електричних та неелектричних величин: навчальний посібник. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. 206 с.



Навчально-методичне видання

Шрамко Юрій Юрійович

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Метрологія та електричні вимірювання»

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції