

**Міністерство освіти і науки України  
Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного**

**НЕСТЕРЧУК Д.М.**

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

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК  
ДЛЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

*Рекомендовано Вченою радою  
факультету енергетики і комп'ютерних технологій  
Таврійського державного агротехнологічного університету  
імені Дмитра Моторного  
як навчальне видання для підготовки здобувачів  
ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141  
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

**Мелітополь  
2021**

УДК 006.91(075)+621.317.3 (075)

**H55**

*Дозвіл до впровадження та видання надано Вченою радою  
факультету енергетики і комп'ютерних технологій  
Таврійського державного агротехнологічного університету  
імені Дмитра Моторного  
(протокол № 9 від «26» травня 2021 р.)*

**Укладач:**

**Нестерчук Д.М.**, доцент кафедри «Електротехніка та електромеханіка імені професора В.В. Овчарова», Таврійський ДАТУ імені Дмитра Моторного

**Рецензенти:**

**Яковлєв Валерій Федорович**, к.т.н., професор кафедри енергетики та електротехнічних систем, Сумський національний аграрний університет

**Лобода Олександр Іванович**, к.т.н., старший викладач кафедри «Електроенергетика і автоматизації», Таврійський ДАТУ імені Дмитра Моторного

**Нестерчук Д.М.**

**H55 Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології:** навчально-методичний посібник для практичних занять. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2021. 170 с.

Навчально-методичний посібник для практичних занять з дисципліни «Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології» призначений для здобувачів ступеню вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» при підготовці до практичних занять на основі вивчення теоретичного матеріалу, виконання завдань з самостійної роботи за темами й самостійного опрацювання практичних завдань. Методичні рекомендації до практичних занять сприяють реалізації завдання «вчити вчитись» та надають здобувачам вищої освіти систематизованих відомостей як працювати над вивченням матеріалу та як користуватися засобами оволодіння навчальним матеріалом.

© Нестерчук Д.М.

© «Таврійський державний  
агротехнологічний університет», 2021

## ЗМІСТ

Передмова	4
Програма навчальної дисципліни	5
Методичні рекомендації до самостійної роботи	8
Завдання до практичних занять та методичні рекомендації:	10
- практичне заняття «Вивчення класифікації засобів вимірювань та принципів маркування приладів»	10
- практичне заняття «Вивчення метрологічних характеристик аналогових вимірювальних приладів»	26
- практичне заняття «Розрахунок похибок вимірювань»	37
- практичне заняття «Вивчення способів розширення границь вимірювань приладів»	50
- практичне заняття «Вивчення метрологічних характеристик цифрових вимірювальних приладів»	68
- практичне заняття «Дослідження методів вимірювання електричних величин»	78
- практичне заняття «Дослідження вимірювання магнітних величин електричними методами»	88
- практичне заняття «Дослідження вимірювання температури електричними методами»	104
- практичне заняття «Дослідження методів вимірювання неелектричних величин електричними методами»	122
Методичні рекомендації до контрольних заходів:	134
- загальні положення	134
- контрольні тести для самоаналізу	134
- перелік питань для підготовки екзамену з навчальної дисципліни	168

## ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Контрольно-вимірjuвальні прилади з основами метрології» - це дисципліна, що забезпечує формування знань та умінь при проведенні етапів вимірjuвань електричних, магнітних та неелектричних величин, а можливість їх вимірjuвання електричними засобами вимірjuвань й передачі вимірjuвальної інформації на відстань – все це надає зазначеним вимірjuванням особливу роль в метрології та метрологічній діяльності.

Навчально-методичний посібник для практичних занять з дисципліни «Контрольно-вимірjuвальні прилади з основами метрології» призначений для здобувачів ступеню вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» при підготовці до практичних занять на основі вивчення теоретичного матеріалу, виконання завдань з самостійної роботи за темами й самостійного опрацювання практичних завдань. Матеріал структурований за програмою вивчення дисципліни в розрізі 9 тем, при цьому охоплені усі практичні питання методології електричних вимірjuвань та опрацювання отриманих результатів досліджень. Структура кожної практичної роботи, їх зміст є методично обгрунтованими, а методичні рекомендації до практичних занять сприяють реалізації завдання «вчити вчитись», при цьому головне призначення яких – це надання здобувачам вищої освіти систематизованих відомостей по те, як необхідно працювати над вивченням матеріалу та як користуватися засобами оволодіння навчальним матеріалом. Матеріал посібника систематизований у два розділи: «Основи метрології та засоби вимірjuвальної техніки» та «Методи і засоби вимірjuвань електричних, магнітних та неелектричних величин». Лаконічність та доступність наведеного матеріалу дозволить користувачам без будь-яких зусиль усвідомити проблемний характер положень навчальної дисципліни, активізувати пізнавальну діяльність при вивченні дисципліни та оволодіти знаннями, уміннями й компетентностями, ефективно вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, які пов'язані з проблемами метрології і електричних вимірjuвань.

## ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна «Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології» (КВПзОМ) надає можливість майбутнім фахівцям використовувати засоби вимірювальної техніки в сукупності з відповідними методами електричних вимірювань в усіх галузях використання електротехнічних пристроїв в електроенергетиці та забезпечувати їх безаварійну роботу.

Метою навчальної дисципліни КВПзОМ є надання майбутнім фахівцям знань з теоретичних основ метрології та з теорії похибок вимірювань, а також практичних навичок з метрологічного забезпечення вимірювань електричних, магнітних і неелектричних величин та навичок з метрологічної перевірки засобів вимірювань при їх практичному використанні в електроенергетиці. Предметом навчальної дисципліни є отримання кількісної та якісної інформації щодо властивостей фізичних об'єктів та процесів, встановлення та застосування наукових та організаційних основ, правил та норм, які необхідні для досягнення єдності та потрібної точності вимірювань. Науковою основою навчальної дисципліни є метрологія, як наука. Технічною базою електричних вимірювань є електричні засоби вимірюваної техніки.

Оволодіння здобувачами вищої освіти знаннями, вміннями і здатностями (компетентностями) дозволить ефективно вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами метрології і електричних вимірювань.

В результаті вивчення дисципліни здобувачі повинні знати й розуміти теоретичні основи метрології та електричних вимірювань, а також мати навички здійснення відповідних вимірювань для вирішення професійних завдань.

Завданнями навчальної дисципліни КВПзОМ є: вивчення основних понять та означень метрології як науки; ознайомлення з загальними відомостями про метрологію як наукову основу сучасної вимірювальної техніки; ознайомлення з загальними положеннями та методологією державної метрологічної атестації засобів вимірювань; вивчення теорії похибок вимірювань та принци-

пів опрацювання результатів вимірювань; вивчення основ теорії та принципів побудови засобів електровимірювальної техніки, їх метрологічних характеристик; вивчення методів електричних вимірювань та засобів вимірювальної техніки для вимірювання електричних, магнітних та неелектричних величин.

В результаті навчання здобувачі набувають такі компетентності:

- *інтегральна* (набувають окремі складові): здатність розв'язувати спеціалізовані задачі та вирішувати практичні проблеми під час професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів фізики та інженерних наук і характеризуються комплексністю та невизначеністю умов

- *загальні (універсальні)* (набувають у повному обсязі): здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу (шляхом вивчення методів та засобів вимірювань електричних, магнітних та неелектричних величин); здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (шляхом виконання експериментальних досліджень на лабораторних заняттях і розв'язання завдань на практичних заняттях); здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (шляхом активної участі у заняттях: спілкування із викладачем та одногрупниками, оформлення звітів); здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (шляхом підготовки до занять та підсумкових модульних контролів); здатність працювати в команді (шляхом виконання експериментальних досліджень на лабораторних роботах в командах); здатність працювати автономно (шляхом виконання самостійної роботи); здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки (шляхом обробки результатів експериментальних досліджень на лабораторних заняттях і розв'язання завдань на практичних заняттях);

- *спеціальні (фахові)* (набувають окремі складові): здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами метрології, електричних вимірювань, роботою пристроїв автоматичного керування, релейного захисту та автоматики (шляхом засвоєння базових електротехнічних знань, вмінь та навичок); здатність вирішувати комплексні спеціа-

лізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних систем та мереж, електричної частини станцій і підстанцій та техніки високих напруг (шляхом засвоєння базових електротехнічних знань, вмінь та навичок, які пов'язані з проблемами електричних вимірювань. Структура навчальної дисципліни КВПЗОМ наведена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Структура навчальної дисципліни

Вид занять	Теми та питання занять	Години
<b>Змістовий модуль 1</b> «Основи метрології та засоби вимірювальної техніки»		
Лекційне заняття	Тема 1. Класифікація вимірювань, методів та засобів вимірювань; Тема 2. Засоби вимірювальної техніки	2
Лабораторне заняття	Дослідження метрологічних характеристик електровимірювальних приладів	2
<b>Практичне заняття</b>	Вивчення класифікації засобів вимірювань та принципів маркування приладів; Вивчення метрологічних характеристик аналогових вимірювальних приладів	2
Лабораторне заняття	Дослідження роботи вимірювального комплекту	2
<b>Практичне заняття</b>	Розрахунок похибок вимірювань	4
Лекційне заняття	Тема 3. Метрологічна повірка засобів вимірювальної техніки; Тема 4. Похибки вимірювань	2
Лабораторне заняття	Метрологічна повірка аналогового вольтметра методом безпосереднього порівняння зі зразковим приладом; Метрологічна повірка аналогового амперметра методом безпосереднього порівняння зі зразковим приладом	2
<b>Практичне заняття</b>	Вивчення способів розширення меж вимірювань приладів	2
Лабораторне заняття	Дослідження роботи вимірювального трансформатора струму	2
<b>Практичне заняття</b>	Вивчення способів розширення меж вимірювань приладів	4
Лекційне заняття	Тема 5. Вимірювальні перетворювачі, електромеханічні вимірювальні прилади, вимірювальні мости та компенсатори	2
Лабораторне заняття	Дослідження роботи вимірювального одинарного моста постійного струму	2

Продовження таблиці 1

Вид заняття	Теми та питання занять	Години
Лабораторне заняття	Вимірювання електричних величин цифровими вимірювальними приладами	2
<i><b>Практичне заняття</b></i>	Вивчення метрологічних характеристик цифрових вимірювальних приладів	2
<b>Змістовий модуль 2</b> <b>Методи і засоби вимірювань електричних, магнітних та неелектричних величин</b>		
Лекційне заняття	Тема 7. Вимірювання електричних величин	4
Лабораторне заняття	Вимірювання активної та реактивної потужності споживачів у трифазних колах змінного струму	2
<i><b>Практичне заняття</b></i>	Дослідження методів вимірювання електричних величин	2
Лабораторне заняття	Вимірювання коефіцієнту потужності у колах змінного струму при різних видах навантаження	2
<i><b>Практичне заняття</b></i>	Дослідження методів вимірювання електричних величин	2
Лекційне заняття	Тема 9. Вимірювання неелектричних величин електричними методами	2
Лабораторне заняття	Вимірювання індуктивності, взаємної індуктивності та ємності опосередкованими методами	2
<i><b>Практичне заняття</b></i>	Дослідження методів вимірювання магнітних величин електричними методами	2
Лабораторне заняття	Градуювання термоперетворювачів	2
<i><b>Практичне заняття</b></i>	Дослідження методів вимірювання температури	2
Лабораторне заняття	Дослідження оптичних перетворювачів	2
<i><b>Практичне заняття</b></i>	Дослідження методів вимірювання неелектричних величин електричними методами	2

## МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Самостійна робота студента – це вид розумової діяльності, за якої студент самостійно опрацьовує зміст теми навчальної дисципліни, виконує практичні завдання на основі знань, які отримані з навчальної літератури, на лекційних, лабораторних та практичних заняттях, тому це є специфічний вид навчання, го-



ловною метою якого є формування самостійності здобувача ступеня вищої освіти, формування його знань та умінь, який здійснюється безпосередньо через пізнання змісту навчальної дисципліни та застосування методів всіх видів навчальних занять.

Методичні рекомендації сприяють самостійній пізнавальній діяльності студентів, а саме: на основі вивчення і осмислення теоретичного матеріалу з навчальної дисципліни формуються знання, уміння й творче мислення та забезпечується підготовка здобувача до аудиторних занять.

Основними видами завдань до самостійної роботи здобувачів є:

- вивчення теоретичного матеріалу відповідно до програми навчальної дисципліни за конспектом лекцій та рекомендованою літературою;
- засвоєння основних понять та термінів;
- відповіді на контрольні запитання та тести;
- підготовка до практичних занять.

# ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ ТА МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

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

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

### **1. Методичні рекомендації та завдання для самостійної підготовки до роботи**

#### **1.1 Завдання для самостійної підготовки**

*Вивчити:*

- теоретичний матеріал за темою 1 «Класифікація вимірювань, методів та засобів вимірювань», пункт 1.5 «Класифікація засобів вимірювань за метрологічними характеристиками та принципи маркування приладів» [1, с.24-30, 2, с. 188-192, 3, с.147-151, 4, с.5-16];

- умовні графічні позначення на шкалах аналогових вимірювальних приладів;

- умовні літерні позначення на шкалах аналогових вимірювальних приладів.

*Ознайомитись з:* прикладами розв'язання типових практичних завдань, що наведені в пункті 5 роботи.

#### **1.2 Запитання та завдання для самопідготовки**

1. Що таке засоби вимірювальної техніки? Який засіб є робочий та зразковий? Наведіть приклади.

2. Яке призначення умовних графічних позначень на шкалах електровимірювальних приладів?

3. Які існують принципи маркування електровимірювальних приладів?

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

5. Для заданого приладу наведіть графічні умовні позначення, які необхідно нанести на його шкалу: вольтметр; тип Э8032-М1; границя вимірювання 500 В; клас точності 1,5; для кіл однофазного змінного струму; система приладу – електромагнітна; спосіб установки шкали – вертикальна; вимірювальне коло ізолюване від корпусу і випробуване під напругою 2,0 Кв; нормальна частота струму 50 Гц; умови експлуатації приладу – робота в сухих приміщеннях, що обігріваються.

### **1.3 Рекомендована література**

1. Нестерчук Д.М. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: конспект лекцій / Д.М. Нестерчук. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 256 с.

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

3. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 656 с.

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


## **2. Основні теоретичні відомості**

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

На шкалі приладу позначаються: марка приладу, заводський номер приладу, скорочене позначення одиниць вимірюваної величини, клас точності при-

ладу, умовне позначення роду струму та системи приладу, умовне позначення напруги випробування ізоляції та нормального положення приладу, а також позначення частоти струму або її меж для приладів змінного струму для кіл з не стандартною частотою струму, при яких гарантується точність показань приладу, ступінь захищеності від впливу магнітних та електричних полів. Крім перелічених, деякі прилади та допоміжні частини мають такі позначення, а саме, схема підключення приладу або допоміжної частини, коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів, опори та номінальні струми додаткових резисторів, номінальні значення струму та падіння напруги шунтів, коефіцієнт потужності.

Допускається у відповідності з технічними умовами ряд позначень наводити в експлуатаційній документації, в такому випадку на приладі повинен бу-

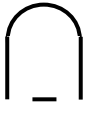
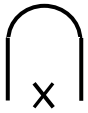
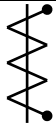
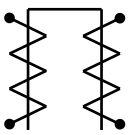
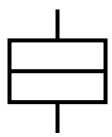
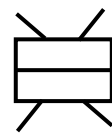
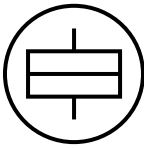

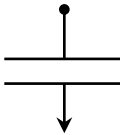
ти наведений на шкалі символ  «Увага! Прилад без інструкції не вмикати».

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

В залежності від принципу дії вимірювального механізму, а саме, від принципу перетворення електромагнітної енергії вимірювального сигналу в механічну енергію рухомої частини і виду функції перетворення, електромеханічні аналогові вимірювальні прилади поділяються на такі **системи**: *магнітоелектричну, електромагнітну, електродинамічну, феродинамічну, електростатичну та індукційну.*

Типи, структури та основні метрологічні характеристики електромеханічних аналогових вимірювальних приладів різних систем наведені в таблиці 2.1.

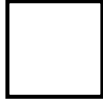


Таблиця 2.1 – Основні умовні позначення на шкалах аналогових приладів

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

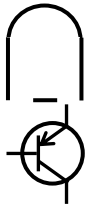





Продовження таблиці 2.1

Назва	Умовне позначення
- індукційний механізм	
<b>2. Позначення роду струму:</b>	
- постійний струм	
- змінний однофазний струм	
- постійний і змінний струм	
- трифазний змінний струм	
- трифазний змінний струм з асиметричним навантаженням	
<b>3. Позначення нормального положення шкали приладу:</b>	
- горизонтальне	
- вертикальне	
- установка шкали приладу під кутом (45...60...75°)	
<b>4. Екранування та захист:</b>	
- електростатичний екран	
- магнітний екран	

Продовження таблиці 2.1

Назва	Умовне позначення
- захист від зовнішніх магнітних полів	
- захист від зовнішніх електричних полів	
<b>5. Позначення класу точності:</b>	
- клас точності, який виражений у формі зведеної похибки	<b>0,5</b>
- клас точності, який виражений у формі відносної похибки	
- клас точності, який виражений у формі зведеної похибки (у відсотках від довжини шкали)	
- клас точності, який виражений у формі зведеної похибки (у відсотках від інтервалу вимірювань)	
<b>6. Міцність ізоляції вимірювального кола приладу:</b>	
- вимірювальне коло приладу ізольоване від корпусу і випробуване під напругою 2,0 кВ	
- вимірювальне коло приладу ізольоване від корпусу і випробуване під напругою 0,5 кВ	
- прилад випробуванню ізоляції не підлягає	
<b>7. Прилади з перетворювачами струму:</b>	
- магнітоелектричний прилад з випрямлячем	

Продовження таблиці 2.1

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

Умовна літерна позначка приладу за родом вимірюваної величини наноситься на лицьову сторону приладу – на шкалу – див. таблицю 2.2.



Таблиця 2.2 - Умовні літерні позначки приладів на шкалі приладу

Найменування приладу	Умовна літерна позначка
Амперметр	A
Вольтметр	V
Вольтамперметр	VA
Ватметр	W
Варметр	Var
Мікроамперметр	Ma
Міліамперметр	Ma
Мілівольтметр	Mv
Омметр	$\Omega$
Мегаомметр	M $\Omega$
Частотомір	Hz
Фазометр: що вимірює зсув фаз, що вимірює коефіцієнт потужності	$\varphi$ cos $\varphi$
Лічильник ампер-годин	Ah
Лічильник ват-годин	Wh
Лічильник вольт-ампер-годинника реактивний	Varh
Вольтметр із цифровим відліком	
Амперметр, рухлива частина якого відхиляється в обидва боки від нульової оцінки	
Осцилограф	

На рисунку 2.1 наведений приклад умовних позначень на шкалі аналогового приладу.

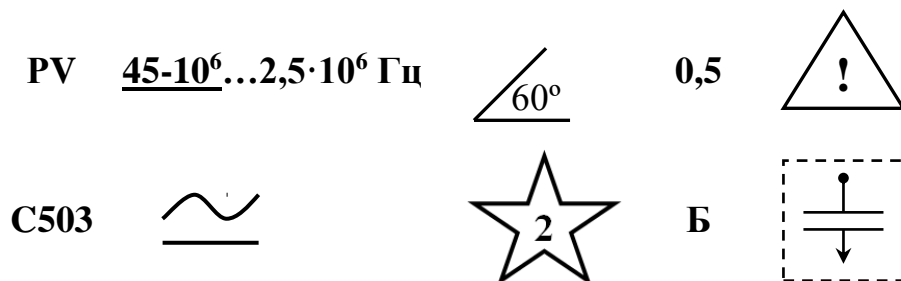


Рисунок 2.1 – Приклад умовних позначень на шкалі аналогового приладу

### 3. Програма роботи

1. Виконання завдання 1 згідно варіантів, які наведені в таблиці 1.

2. Виконання завдання 2 згідно варіантів, які наведені в таблиці 2.

3. Виконання завдання 3 згідно варіантів, які наведені в таблиці 3.

#### 4. Завдання та вихідні дані для розрахунків

Вибір варіантів завдань здійснюється за вказівкою викладача.

##### Завдання 1.

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

Таблиця 1 – Вихідні дані для виконання 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
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

## Продовження таблиці 1

Варіант	Завдання			
	№ відповіді	фізична величина	№ відповіді	електровимірювальний прилад
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
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
7	1	ємність	1	частотомір
	2	електричний заряд	2	куметр
	3	частота	3	тесламетр
	4	магнітна індукція	4	електрометр
	5	добротність котушки	5	фарадомір
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 реактивної енергії

## Завдання 2.

Складіть логічні пари відповідності електровимірювального приладу та його умовної літерної позначки, згідно варіантів, які наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Вихідні дані для виконання завдання 2

Варіант	Завдання			
	№ відповіді	електровимірювальний прилад	№ відповіді	умовне літерне позначення приладу
1	1	амперметр	1	Wb
	2	веберметр	2	A
	3	омметр	3	$\Omega$
	4	частотомір	4	Hz
	5	лічильник електроенергії	5	Wh
2	1	мілівольтметр	1	W
	2	фазометр, що вимірює коефіцієнт потужності	2	$\mu A$
	3	ватметр	3	$\cos \varphi$
	4	мегомметр	4	M $\Omega$
	5	мікроамперметр	5	mV
3	1	вольтамперметр	1	mA
	2	кіловатметр	2	mWb
	3	мілівольтметр	3	kW
	4	лічильник реактивної енергії	4	Varh
	5	міліамперметр	5	VA
4	1	вольтметр	1	$\varphi$
	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	mTл
	2	електромагнітний прилад	2	$\Omega$
	3	мілітесламетр	3	кA
	4	омметр	4	mV
	5	мілівольтметр	5	Э






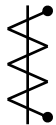



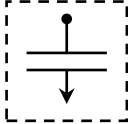

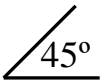

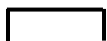
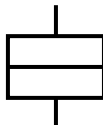


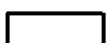
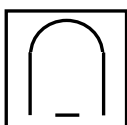

Продовження таблиці 2

Варіант	Завдання			
	№ відповіді	електровимірювальний прилад	№ відповіді	умовне літерне позначення приладу
5	1	кілоамперметр	1	mTл
	2	електромагнітний прилад	2	$\Omega$
	3	мілітесламетр	3	кА
	4	омметр	4	mV
	5	мілівольметр	5	Э
6	1	феродинамічний прилад	1	С
	2	електростатичний прилад	2	Р
	3	індукційний прилад	3	Н
	4	самописець	4	Д
	5	міри	5	И
7	1	міліамперметр	1	Д
	2	мегомметр	2	M $\Omega$
	3	частотомір	3	Wh
	4	лічильник активної електроенергії	4	mA
	5	електродинамічний прилад	5	Hz
8	1	мікроамперметр	1	Ч
	2	мілівеберметр	2	$\mu$ A
	3	варметр	3	С
	4	електростатичний прилад	4	Var
	5	електронний частотомір	5	mWb
9	1	фазометр, що вимірює фазовий кут	1	AVF
	2	вольтамперметр	2	$\phi$
	3	мультиметр	3	VA
	4	лічильник реактивної енергії	4	Varh
	5	вольтметр з цифровим відліком	5	






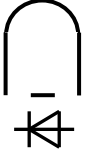

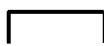

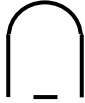




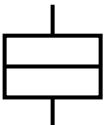


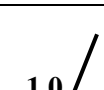

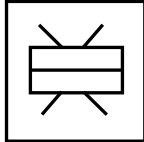



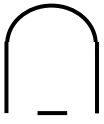
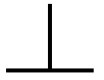

**Завдання 3.**

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



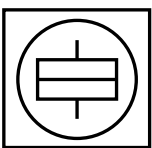


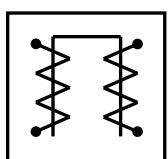

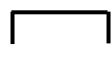
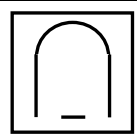

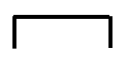


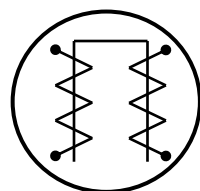

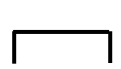
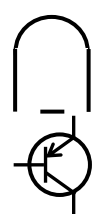

Таблиця 3 – Вихідні дані для виконання завдання 3

Варіант	Завдання					
1	Hz	50 Гц	1,5			
	Д126		$f_k = 45...55$ Гц	В		
2	РА	50 Гц	1,0			
	Э30		$I_k = 2,5$ А; 5 А	Б		
3	V		$U_k = 300$ В	1,0		
	С50		20MHz-5MHz- 10MHz	А		
4	W		45-65-150Hz			
	Д529	0,5	$U_k =$ 75; 150; 300 В $I_k = 2,5$ А; 5 А	А		
5	AV		$U_k = 75$ Mb; 0,5;1,0;5,0;10; 50;100 В			
	М321	1,5	$I_k = 0,005$ ; 0,05;0,1;1,0; 5,0;10 А	А		

Продовження таблиці 3

Варіант	Завдання					
6	$\varphi^0$		49-50-51 Hz			
	ЭЛ ФМ	1,5	$\varphi = 0 \dots 360^0$	Б		
7	Ц43 53	 2,5		$Pf$ 		$U_{к\sim} = 6; 15;$ $60; 150;$ $300; 600 \text{ В}$ $I_{к\sim} = 0,3;$ $0,6; 3; 15;$ $60;$ $300; 1500$ $\text{Ma}$
		— 1,5		$\Omega, \text{К}\omega,$ $\text{M}\Omega$ 		
8	W	 	$U_{к} = 75;$ $150; 300 \text{ В}$ $I_{к} = 2,5 \text{ A}; 5 \text{ A}$		0,2	45-500- 1500Hz
	Д529			A	0,5	1500- 3000Hz
9	$\text{Cos } \varphi$	 		інд. 1...0,2		Б
	Д510 М			ємн. 0,2...1		
10	V	1,5	—		$U_{к} = 250 \text{ В}$	
	М330		В			

Продовження таблиці 3

Варіант	Завдання					
11	Kw				250 В; 5 А	
	H354	1,5	50 Гц		$P_k =$ 0...2 кВт	
12	$\text{Cos } \varphi$ $\varphi^0$					$(0,5...1,0) \cdot I$ допуст.похибка $\pm 5^0$
	Э500	А			інд.; ємн.	$(0,2...0,5) \cdot I$ допуст.похибка $\pm 10^0$
13	M199	—		$R_{\text{внутр}} = 50 \text{ Ом}$	А	
	$\mu\text{Wb}$	1,5		$\Phi_k = 0...500$ мкВб		
14	ЭФ				Б	
	мікрофарадомір				1 $\mu\text{F}$ 2 $\mu\text{F}$	
15	ЭМ4305		50;150; 500 мТл	2,5		
	тесламетр		1500 мТл	4,0		

**5. Методичні рекомендації до виконання завдань**

**- завдання 1**

При формуванні відповіді необхідно скласти логічні пари відповідності фізичної величини та електровимірювального приладу, який її вимірює, а відповідь навести у вигляді: *сила струму (4) – амперметр (3)*.



## - завдання 2

При формуванні відповіді необхідно скласти логічні пари відповідності електровимірювального приладу та його умовної літерної позначки, а відповідь навести у вигляді: *напруга (4) – V (3)*.

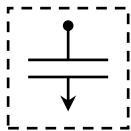
## - завдання 3

При формуванні відповіді необхідно навести умовні графічні та літерні позначення на шкалах заданого приладу та їх розшифровку.

Для прикладу виконана розшифровка умовних графічних та літерних позначень на шкалі заданого приладу (див. рисунок 2.1).

**PV** вольтметр

**C503** тип вольтметра



прилад електростатичної системи з захистом від зовнішніх електричних полів



для кіл постійного струму та для кіл однофазного змінного струму

**0,5** клас точності приладу



спосіб установки шкали приладу – під кутом  $60^{\circ}$

**45-10<sup>6</sup>...2,5·10<sup>6</sup> Гц**

розширений діапазон частоти  $45...2,5 \cdot 10^6$  Гц та номінальна частота  $45 \cdot 10^6$  Гц



вимірювальне коло приладу ізольоване від корпусу і випробуване під напругою  $2,0$  Кв

**Б**

робота в закритих приміщеннях при температурі повітря від мінус  $20^{\circ}\text{C}$  до плюс  $50^{\circ}\text{C}$  та при вологості до  $80\%$



Увага! Прилад без інструкції не вмикати

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

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

**1. Методичні рекомендації та завдання для самостійної підготовки до роботи**

**1.1 Завдання для самостійної підготовки**

*Вивчити:*

- теоретичний матеріал за темою 2 «Засоби вимірювань», пункт 2.4 «Характеристики засобів вимірювальної техніки» [1, с. 40-47, 2, с. 60-71, 3, с. 27-33, 4, с. 38-40, 5, с.17-23];
- означення «метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки», «не метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки»;
- означення «шкала приладу», «діапазон показань та діапазон вимірювань», «показ вимірювального приладу», «стала приладу». «ціна поділки», «чутливість приладу та його поріг чутливості», «клас точності приладу».

*Ознайомитись з:* прикладами розв'язання типових практичних завдань, що наведені в пункті 3 роботи.

**1.2 Запитання та завдання для самопідготовки**

1. Що таке засоби вимірювальної техніки (ЗВТ)?
2. Що таке технічні характеристики засобів вимірювальної техніки?
3. Які характеристики ЗВТ є метрологічними та неметрологічними характеристиками?
4. Які вам відомі основні характеристики для аналогових вимірювальних приладів?
5. Які вам відомі основні характеристики для цифрових вимірювальних приладів?

6. Охарактеризуйте такі означення, як «шкала приладу», «діапазон показань та діапазон вимірювань», «показ вимірювального приладу», «ціна поділки» та «стала приладу», «показ приладу» й «відлік».

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

8. Що таке чутливість ЗВТ та поріг чутливості?

9. Як пов'язані точність засобу вимірювань та його клас точності?

10. Що таке похибка вимірювального приладу?

### **1.3 Рекомендована література**

1. Нестерчук Д.М. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: конспект лекцій / Д.М. Нестерчук. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 256 с.

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

3. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 656 с.

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

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

## 2. Основні теоретичні відомості та рекомендації

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

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

*Метрологічними* є ті характеристики ЗВТ, які впливають на результат та точність вимірювання. *Нормованими метрологічними характеристиками* аналогових вимірювальних приладів є: діапазон вимірювань, клас точності, чутливість та поріг чутливості, стала та ціна поділки шкали, а також умови застосування.

Складовою частиною аналогового приладу є його *шкала* – це частина пристрою відліку у вигляді впорядкованої сукупності позначок разом з пов'язаною з нею певною послідовністю чисел. Позначкою шкали може бути риска або інший знак на шкалі, що відповідає одному або декільком значенням вимірюваної величини.

На рисунку 2.1 наведена структура шкали аналогового приладу – ватметра, яка наочно пояснює такі характеристики аналогового приладу, як діапазон показів, межі (границі) та діапазон вимірювань. Вказане на шкалі *початкове значення шкали*  $P_n$  є найменшим значенням вимірюваної величини активної потужності  $P$ , а вказане на шкалі *кінцеве значення шкали*  $P_k$  є найбільшим значенням вимірюваної величини  $P$ .

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

Частина діапазону показів засобу вимірювань, для якої границі допустимих похибок є нормованими, має назву *діапазон вимірювань*.

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

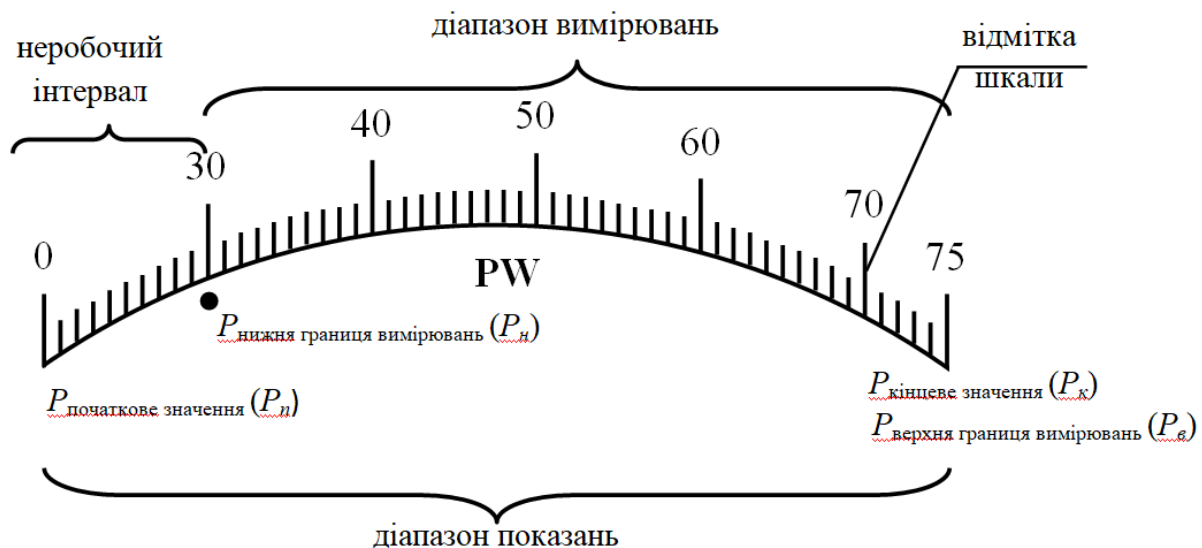


Рисунок 2.1 – Структура шкали аналогового ватметра

Верхня границя вимірювання  $X_v$  практично завжди збігається з верхньою границею показів  $X_k$  ЗВ, тобто  $X_v = X_k$ , а нижня границя вимірювання  $X_n$  не завжди збігається з початковим значенням шкали  $X_n$ , як видно з рисунку. Інтервал показів між позначками шкали  $X_n$  та  $X_n \in$  *неробочим* і не входить в діапазон вимірювань приладу. У таких випадках нижню границю вимірювання  $X_n$  приладу позначають спеціальною крапкою • на шкалі біля цифри.

Враховуючи усе вище наведене, визначаємо згідно рисунку 2.1:

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

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

**Відлік ( $N_v$ )** – це неіменоване абстрактне число, яке зчитане з пристрою відліку або одержане підрахунком послідовних позначок чи сигналів. Найбіль-

ше число, яке можна зчитати з пристрою відліку, має назву **максимальний відлік** ( $N_{B.max}$ ).

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

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

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

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

$$x = N_{\text{в}} \cdot C = N_{\text{под}} \cdot C_{\text{под}}. \quad (2)$$

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

*Розв'язання.*

Так як границя вимірювання приладу,  $U_k$ , дорівнює 600 В, а максимальний відлік,  $N_{B.max}$ , складає 150 поділок, тому за виразом (1) визначається стала

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

**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  $P_k = U_k \cdot I_k = 150V \cdot 5A = 750W$ , отже, стала ватметра дорівнює

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

**Чутливість ЗВТ** – це відношення зміни вихідного сигналу до зміни вхідного сигналу, що викликала цю зміну вихідного сигналу. Чутливість та стала приладу пов'язані між собою співвідношенням

$$S = \frac{1}{C} = \frac{N_{B.max}}{X_K} \quad (3)$$

Істотною характеристикою ЗВТ є *пори́г чу́тливості*, тобто найменша зміна вхідного сигналу, що викликає помітну зміну вихідного сигналу. Розмірність чутливості – це відношення розмірностей вихідного та вхідного сигналів, а поріг чутливості має розмірність вхідного сигналу.


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

В таблиці 2.1 наведені умовні позначення класів точності аналогових вимірювальних приладів з поясненням їх змісту.

Таблиця 2.1 – Умовні позначення класів точності аналогових вимірювальних приладів

Позначення класу точності		Форма похибки	Вираз для оцінювання границі допустимої основної похибки	Пояснення
на засобі вимірювання	в технічній документації			
<b>0,5</b>	клас точності 0,5	зведена	$\gamma = \frac{\Delta X}{X_H} \cdot 100\%;$ $\gamma = \pm 0,5\%$	нормоване значення $X_H$ визначено в одиницях вимірюваної фізичної величини
<b>1,5</b> ✓	клас точності 1,5	зведена	$\gamma = \frac{\Delta X}{X_H} \cdot 100\%;$ $\gamma = \pm 1,5\%$	нормоване значення $X_H$ приймається таким, що дорівнює довжині шкали або її частині

Продовження таблиці 2.1

Позначення класу точності		Форма похибки	Вираз для оцінювання границі допустимої основної похибки	Пояснення
на засобі вимірювання	в технічній документації			
	клас точності 2,5	відносна	$\delta = \pm 2,5\%$	безпосередня вказівка на границю допустимої основної похибки

Примітка до таблиці 1:

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

$$\Delta X = \pm \frac{\gamma \cdot X_K}{100\%}, \quad (4)$$

де  $X_K$  – верхня границя вимірювання приладу.

### 3. Програма роботи

1. Виконання завдання згідно варіантів, які наведені в таблиці 1.

### 4. Завдання та вихідні дані для розрахунків

Вибір варіантів завдання здійснюється за вказівкою викладача.

#### Завдання.

Визначити за даними таблиці 1 метрологічні характеристики заданого вимірювального приладу:

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



Таблиця 1 – Вихідні дані для завдання

№ варіанту	Прилад	Верхня границя вимірювання	$N_{B,max}$ поділ	Клас точності	Відлік, $N_0$ , 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 мА	75	0,5	55	
4	PW	75;150;300; 450;600 В; 2,5; 5,0 А	150	0,5	120	
5	PΩ	15; 30 Ом	30	2,5	20	
6	PкW	0...2 кВт	40	1,5	37	
7	РА	5; 10 А	100	1,0	90	
8	PV	150; 300 В	150	0,5	88	
9	мікро-фарадо мір	1,0 μF; 2,0 μF	100	1,0	96	
10	PWб	1,0; 2,5; 5,0; 10 мВб	100	$\gamma \leq 1,0$ $R_K=10 \Omega$ $\gamma \leq 2,5$ $R_K=20 \Omega$ $\gamma \leq 4,0$ $R_K=30 \Omega$	85	
Примітка до варіанту 10: $R_K$ – опір вимірювальної котушки приладу						
11	вар-метр	$U_K =$ 250; 375 В $I_K = 1 А$	100	0,5	81	
12	PAV	0,005;0,05; 0,1;1,0; 5,0; 10 А 75 мВ; 0,5; 1,0; 5,0; 10; 50; 100 В	50	1,5	44	

Продовження таблиці 1

№ варіанту	Прилад	Верхня границя вимірювання	$N_{B,max}$ поділ	Клас точності	Відлік, $N_6$ , поділ	Загальний вид шкали приладу
13	люкс-метр	0...300 лк	30	10	27	
		0...1000 лк	100		78	
14	РμА	0...200 мкА	50	1,0	44	
15	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	

**5. Методичні рекомендації до виконання завдання**

Для прикладу визначаються метрологічні характеристики вольтметра за вихідними даними, що наведені таблиці.

Таблиця - Вихідні дані для задачі-прикладу

Верхня границя вимірювання	$N_{B,max}$ поділ	Клас точності	Відлік, $N_6$ , поділ	Загальний вид шкали приладу
7,5; 15; 30; 75 В	75	1,0	66	

За результатами аналізу шкали та заданих вихідних даних визначені:

- початкове значення шкали,  $U_n$ , дорівнює 0 В;
- нижні границі вимірювання,  $U_{ni}$ , визначаються за виразом

$$U_{ni} = \frac{U_{Ki}}{N_{B,max}} \cdot N_{6\bullet}$$

де  $N_{\bullet}$  - спеціальна позначка на шкалі з спеціальною крапкою  $\bullet$  на шкалі біля цифри, яка позначає початок діапазону вимірювань;

$$U_{n1} = \frac{7,5}{75} \cdot 15 = 1,5B;$$

$$U_{n2} = \frac{15}{75} \cdot 15 = 3B;$$

$$U_{n3} = \frac{30}{75} \cdot 15 = 6B;$$

$$U_{n4} = \frac{75}{75} \cdot 15 = 15B;$$

- верхня границя вимірювання,  $U_{\kappa}$ , дорівнює верхній границі показів,  $U_{\kappa}$ , та дорівнюють 7,5 B; 15 B; 30 B; 75 B.

- діапазон показів становить 0...75 B;

- діапазон вимірювань становить 1,5...75 B.

- чутливість приладу для всіх можливих варіантів визначається за виразом та дорівнює

$$S_{Ui} = \frac{N_{B.max}}{U_{Ki}};$$

$$S_{U1} = \frac{75}{7,5} = 10 \text{поділ} / B;$$

$$S_{U2} = \frac{75}{15} = 5 \text{поділ} / B;$$

$$S_{U3} = \frac{75}{30} = 2,5 \text{поділ} / B;$$

$$S_{U4} = \frac{75}{75} = 1,0 \text{поділ} / B;$$

- стала приладу для всіх можливих варіантів визначається за виразом та дорівнює

$$C_{Ui} = \frac{1}{S_i};$$

$$C_{U1} = \frac{1}{10} = 0,1B / \text{поділ};$$

$$C_{U2} = \frac{1}{5} = 0,2B / \text{поділ};$$

$$C_{U3} = \frac{1}{2,5} = 0,4B / \text{поділ};$$

$$C_{U1} = \frac{1}{1} = 1B / \text{поділ};$$

- максимальна можлива абсолютна похибка приладу (для  $U_{K4} = 75 B$ ) визначається за виразом та дорівнює

$$\Delta U = \pm \frac{\gamma \cdot U_{K4}}{100\%};$$

$$\Delta U = \pm \frac{1,0 \cdot 75}{100\%} = \pm 0,75B;$$

- показ приладу (для  $U_{K4} = 75 B$ ) визначається за виразом та дорівнює

$$U_{вим} = C_{U4} \cdot N_{\epsilon};$$

$$U_{вим} = 1,0 \cdot 66 = 66B.$$

## РОЗРАХУНОК ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ

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

### **1. Методичні рекомендації та завдання для самостійної підготовки до роботи**

#### **1.1 Завдання для самостійної підготовки**

*Вивчити:*

- теоретичний матеріал за темою 4 «Похибки вимірювань», пункт 4.2 «Класифікація похибок вимірювань» [1, с. 62-70, 2, с. 89-119, 3, с. 42-67, 4, с.91-94, 5, с. 24-33]

- фактори, які впливають на процес формування похибок вимірювань;

- класифікацію похибок вимірювань та означення кожної похибки.

*Ознайомитись з:* прикладами розв'язання типових практичних завдань, що наведені в пункті 5 роботи.

#### **1.2 Запитання та завдання для самопідготовки**

1. Що таке похибка вимірювання?
2. Що таке істинне та дійсне значення фізичної величини та чому результат вимірювання відрізняється від істинного значення фізичної величини?
3. Що таке інструментальний фактор виникнення похибок вимірювання?
4. Що таке математичний фактор виникнення похибок вимірювання?
5. Що таке результат вимірювання?
6. Яка похибка вимірювання є абсолютною та відносною?
7. Яка похибка є інструментальною та методичною?
8. Які причини виникнення обчислювальних похибок?
9. Що таке сталі (систематичні) та випадкові похибки?
10. Які похибки є адитивними та мультиплікативними?
11. Які похибки є регулярними та прогресуючими?

### 1.3 Рекомендована література

1. Нестерчук Д.М. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: конспект лекцій / Д.М. Нестерчук. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 256 с.

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

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

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

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

### 2. Основні теоретичні відомості та рекомендації

*Точність вимірювання* є ступенем відповідності результату вимірювання істинним значенням вимірюваної величини та позитивною якісною ознакою вимірювання. Чим ближче результат вимірювання до істинного значення, тим точніше вимірювання і навпаки. Зазвичай точність вимірювання не має числового вираження, а є лише суто якісною характеристикою.

Існують причини виникнення похибок, відрізняючись своїми властивостями, вони по-різному впливають на результат вимірювання, а саме:

- недосконалість засобів, що використовують при вимірюваннях (інструментальний фактор);
- вплив зовнішніх умов на об'єкт та засоби вимірювань;
- недостатня кваліфікація експериментатора, що здійснює вимірювання;

- взаємний вплив засобів вимірювань та об'єкта;
- не збігання моделі вимірюваної величини та справжньої властивості об'єкта, розмір якої слід виміряти;
- недосконалість обчислювального алгоритму та обчислень при опрацюванні первинних результатів вимірювань для кінцевих результатів;
- неточні калібрування;
- часові зміни вимірювальної величини та властивостей ЗВТ;
- математичні спрощення (математичний фактор);
- втрати цифрових даних під час передавання та зберігання.

Для кількісної оцінки якості вимірювання застосовується **похибка результату вимірювання (похибка вимірювання)**, яка є відхиленням результату вимірювання  $x$  від істинного (дійсного) значення  $X_I$  ( $X_0$ ) вимірюваної величини

**Істинне значення фізичної величини** – це значення фізичної величини, яке ідеально відображає певну властивість об'єкту. Визначити істинне значення величини вимірюванням неможливо через обмежені властивості ЗВТ. Тому то відмічена неможливість визначення істинного значення є наслідком недосконалості відображення при вимірюваннях та є причиною неминучої похибки вимірювання. Для визначення похибки вимірювань істинне значення фізичної величини замінюють дійсним значенням величини.

**Дійсне значення фізичної величини** – це значення фізичної величини, яке знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинного значення, що може використовуватись замість істинного значення.

У загальному випадку похибка результату вимірювання містить **систематичну й випадкові** складові та навіть коли була введена **поправка** – це значення величини, що алгебраїчно додається до результату вимірювання з метою вилучення систематичної похибки.

Похибки класифікують за способом вираження; за причинами чи місцями виникнення; за характером зміни вимірюваної величини; за режимом виникнення; за характером поведінки у часі.

Розглянемо означення похибок вимірювань:

- **систематична похибка** – це складова похибки, що залишається сталою або прогнозовано змінюється у ряді вимірювань однієї й тієї ж величини;

- **випадкова похибка** – це складова похибки, що не прогнозовано (випадково) змінюється у ряді вимірювань однієї й тієї ж величини;

- **інструментальні похибки**, що зумовлені недосконалістю ЗВТ та залежністю їх властивостей від впливу зовнішніх умов. Така похибка присутня завжди, так як вимірювання неможливе без вимірювальних засобів;

- **методичні похибки** зумовлені методом вимірювання та вимірювального перетворення. Такі похибки пов'язані з невідповідними моделями вимірюваних об'єктів та їх величин, а виникають вони при взаємодії засобів вимірювальної техніки та об'єктів. На вибір моделі вимірюваної величини впливає мета вимірювання, яка встановлює потрібну точність вимірювання;

- причинами виникнення **обчислювальної похибки** можуть стати ефекти заокруглення та обчислювальні проблеми розв'язування вимірювальної задачі. Так як при проведенні вимірювань для отримання результату опрацьовують первинні результати спостережень за відповідними виразами, алгоритмами та залежностями, тому виконують певні обчислення. В залежності від складності вимірювальної задачі обчислення здійснюють за допомогою обчислювальних засобів різної складності: від олівця та паперу до калькулятора та обчислювальних комплексів. При обчисленні виконують заокруглення чисел, так й виникає похибка від заокруглень. Сам алгоритм розв'язування вимірювальної задачі є нестійким, так як при невеликих похибках у вихідних даних (тисячні чи сотні частки відсотка) результат розрахунку може містити похибку, яка дорівнює одиниці чи десяткам відсотків і навіть більше;

- **абсолютна похибка вимірювання** – це різниця між результатом вимірювання та істинним (дійсним) значенням вимірюваної величини;

- **відносна похибка вимірювання** – це відношення абсолютної похибки вимірювання до дійсного значення вимірюваної величини;



- **адитивні похибки** – це абсолютні похибки, які не залежать від значення вимірюваної величини, та які ніби то алгебраїчно додаються (від англ. *Add* – додавати) до вимірюваної величини;

- **мультиплікативні похибки** – це абсолютні похибки, які лінійно зростають чи зменшуються при збільшенні значення вимірюваної величини, а саме, є пропорційними до добутку (від англ. *Multiplication* – множення) певного коефіцієнту і значення вимірюваної величини;

- **сталі (систематичні) похибки** – це похибки, які упродовж здійснення вимірювального експерименту не змінюють свого значення, хоча воно може залишатися невідомим;

- **змінні похибки**, які поділяються на *прогресуючі, регулярні та випадкові*:

- *прогресуючі похибки* – це похибки, які упродовж здійснення вимірювального експерименту практично лінійно змінюють своє значення та мають назву *дрейфи*;

- *регулярні похибки* – це похибки, які під час виконання вимірювального експерименту змінюються регулярно, наприклад, періодично, і закон їх часової зміни може бути дослідженим, визначеним, і такі похибки можуть бути враховані;

- *випадкові похибки* – це похибки, що змінюються в часі нерегулярно, непередбачувано, а їх майбутні значення можна прогнозувати лише з певною часткою ймовірності.

Розрізняють *надмірні похибки й промахи*.

**Промахи** – це результати вимірювання, які мають надмірні похибки. Причиною промахів є несправність вимірювальних засобів, неправильні дії оператора, стрибкоподібні зміни напруги живлення.

**Надмірні похибки** – це похибки вимірювання, що суттєво перебільшують очікувані похибки. При оцінюванні результатів вимірювань промахи вилучаються із ряду багаторазових спостережень як аномальні результати вимірювань.

Похибки вимірювальної техніки за способом вираження поділяються на **абсолютні, відносні та приведені (зведені)**.

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

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

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

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

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

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

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

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

Клас точності на шкалі приладі вказується відповідним числом, а саме: 0,002; 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4; 6; 10.

Похибки ЗВ необхідно оцінювати, тобто визначати їх граничні значення за спеціальною методикою, суть якої полягає у визначенні граничного значення основної похибки ЗВТ, при цьому враховується спосіб нормування похибки та форми вираження класу точності.

Розглянемо основні випадки оцінювання основної похибки ЗВ:

- клас точності аналогового ЗВ виражений у формі допустимої зведеної основної похибки, позначається, як число, наприклад, **0,5**, й визначається за виразом

$$Кл.точн. = \pm \gamma_{ep} = \pm \frac{\Delta_{ep}}{X_H} \cdot 100\% = const, \quad (4)$$

де  $\Delta_{ep}$  – границі допустимої абсолютної основної похибки;

$X_H$  – нормоване значення.

При цьому границі допустимої абсолютної основної похибки визначаються за виразом

$$\Delta_{ep} = \pm \frac{\gamma_{ep} \cdot X_H}{100\%} = const, \quad (5)$$

а допустима відносна основна похибка дорівнює

$$\delta_{ep} = \pm \frac{\Delta_{ep}}{x_{вим}} \cdot 100\% = \pm \gamma_{ep} \cdot \frac{X_H}{x_{вим}} \cdot 100\%; \quad (6)$$

- клас точності аналогового ЗВ виражений у формі допустимої відносної основної похибки, позначається, як умовне позначення **1,0** й визначається за виразом

$$Кл._точн. = \delta_{ep} = \pm \frac{\Delta_{ep}}{x_{вим}} \cdot 100\% = const. \quad (7)$$

де  $\Delta_{ep}$  – границі допустимої абсолютної основної похибки;

$x_{вим}$  – значення вимірюваної величини

При цьому границі допустимої абсолютної основної похибки визначаються за виразом

$$\Delta_{zp} = \pm \frac{\delta_{zp} \cdot x_{вим}}{100\%} = const. \quad (8)$$

- клас точності цифрового ЗВ, який відображений двома числами  $c/d$ , де  $c$  – 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 ( $x_{вим} = 0$ ).

Границя основної зведеної похибки в кінці діапазону вимірювання цифрового приладу, якщо  $x_{вим} = X_K$ , визначається за виразом

$$c = \pm \frac{\Delta_{zp.K}}{X_K} \cdot 100\% = \gamma_{zp.K}. \quad (9)$$

Границя основної зведеної похибки на початку діапазону вимірювання, якщо  $x = 0$ , дорівнює

$$d = \pm \frac{\Delta_{zp.П}}{X_K} \cdot 100\% = \gamma_{zp.П}. \quad (10)$$

Границі допустимої абсолютної основної похибки визначаються за виразом

$$\Delta_{zp} = \pm \frac{d \cdot X_K + (c - d) \cdot x_{вим}}{100\%}, \quad (11)$$

при цьому допустима відносна основна похибка

$$\delta_{zp} = \pm \left[ c + d \cdot \left( \frac{X_K}{x_{вим}} - 1 \right) \right] \cdot 100\%. \quad (12)$$

**Приклад 1.** За допомогою аналогового амперметра класу точності **0,5** з границею вимірювання  $I_K = 10 \text{ A}$  були виконані два вимірювання струму і отримані відповідні покази  $I_{вим1} = 8,1 \text{ A}$  та  $I_{вим2} = 2,5 \text{ A}$ .

Визначити граничні значення основних абсолютної та відносної похибок для цих двох випадків і зробити висновок щодо точності виконаних вимірювань.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Істинне (дійсне) значення опору міру може знаходитися в інтервалі  $R = (10,00 \pm 0,02) \text{ Ом} = (9,98 \dots 10,02) \text{ Ом}$ .

**Приклад 3.** Показ цифрового вольтметра класу точності **0,05/0,02** з границею вимірювань  $U_K = 150 \text{ В}$  становить  $120 \text{ В}$ .

Знайти граничні значення відносної та абсолютної похибки вимірювання.

*Розв'язання.*

Граничне значення відносної похибки цифрового вольтметра визначається за формулою

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

а граничне значення абсолютної похибки цифрового вольтметра дорівнює

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

### 3. Програма роботи

1. Виконання завдання 1 згідно варіантів, які обираються за вказівкою викладача.

2. Виконання завдання 2 згідно варіантів, які обираються за вказівкою викладача.

### 4. Завдання та вихідні дані для розрахунків

#### Завдання 1.

##### Умова:

Амперметр, границя вимірювання якого дорівнює  $I_K = 10 \text{ А}$ , а клас точності якого  $\gamma_{ep} = 0,2$ , за результатами вимірювань сили струму показав значення сили струму  $(2 \cdot N) \text{ А}$ , де  $N$  – номер варіанту завдання від  $1 \dots 5$  за вказівкою викладача.

Вольтметр, границя вимірювання якого дорівнює  $U_K = 0 \dots 100 \text{ В}$ , а клас точності якого  $\gamma_{ep} = 0,5$ , за результатами вимірювань напруги показав значення

напруги ( $10 \cdot N$ )  $B$ , де  $N$  – номер варіанту завдання від 6...10 за вказівкою викладача.

Визначити величини:

- виміряного значення електричних величин за результатами вимірювань згідно варіанту;
- абсолютної похибки вимірювання електричних величин заданими приладами;
- дійсного значення електричних величин;
- відносної похибки процесу вимірювання електричних величин заданими приладами.

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

Таблиця 1 – Результати розрахунків похибок процесу вимірювання сили струму

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

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

Таблиця 2 – Результати розрахунків похибок процесу вимірювання напруги

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

## Завдання 2.

**Умова:** Під час проведення метрологічної повірки електродинамічного ватметра в  $i$  – тій поділці шкали з цифрою була отримана максимальна абсолютна похибка величиною  $0,2 \cdot (1+2 \cdot N) \text{ Вт}$ , де  $N$  – номер варіанту завдання від 1...15 за вказівкою викладача.

Границя вимірювання ватметра за напругою,  $U_k$ , дорівнює 150 В, а границя вимірювання ватметра за струмом,  $I_k$ , дорівнює 2,5 А, максимальний показ шкали приладу – 75 поділок.

Визначити:

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

Результати розрахунків згідно варіанту навести в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунків

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



## 5. Методичні рекомендації до виконання завдання

Для прикладу наведений розрахунок для завдання 1.

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

Результати вимірювань та розрахунків:

- виміряне значення напруги –  $142 \text{ В}$ ;
- абсолютна похибка вимірювання напруги визначається за формулою

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

- дійсне значення напруги дорівнює

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

- відносна похибка процесу вимірювання напруги визначається за формулою

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

отже, величина відносної похибки залежить від показу вольтметра.

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

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

**1. Методичні рекомендації та завдання для самостійної підготовки до роботи**

**1.1 Завдання для самостійної підготовки**

*Вивчити:*

- теоретичний матеріал за темою 5 «Вимірювальні перетворювачі, електромеханічні вимірювальні прилади, вимірювальні мости та компенсатори», пункт 5.1 «Вимірювальні перетворювачі електричних величин: резистивні перетворювачі; подільники напруги; вимірювальні трансформатори струму та напруги» [1, с.72-841, 2, с.139-167, с.186-223, с.228-252, 3, с. 78-99, 4, с. 132-178, 240-303, 5, с.152-282, 6, с.89-198, 7, с. 34-46];
- означення «вимірювальний перетворювач», «шунт», «додатковий резистор», «вимірювальний трансформатор», «вимірювальний трансформатор струму» та «вимірювальний трансформатор напруги»;
- схеми включення вимірювальних перетворювачів до електричних кіл.

*Ознайомитись з:* прикладами розв'язання типових практичних завдань, що наведені в пункті 5 роботи.

**1.2 Запитання та завдання для самопідготовки**

1. Що таке вимірювальний перетворювач?
2. Що таке шунт? Опишіть його конструктивні особливості.
3. Як аналітично визначаються опір однограничного шунта та опір багатограничного шунта?
4. Наведіть схеми включення однограничного та багатограничного шунтів до кіл постійного струму.

5. Що таке додатковий резистор? Опишіть його конструктивні особливості.
6. Як аналітично визначаються опір одногранного додаткового резистора та опір багатогранного додаткового резистора?
7. Наведіть схеми включення одногранного та багатогранного додаткового резистора до кіл постійного та синусоїдного струму.
8. Що таке вимірювальний трансформатор? Опишіть загальну конструкцію вимірювального трансформатора.
9. Охарактеризуйте призначення та конструкцію вимірювального трансформатора струму.
10. Охарактеризуйте призначення та конструкцію вимірювального трансформатора напруги.
11. Як аналітично визначаються номінальні коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів струму та напруги?
12. В яких режимах працюють вимірювальні трансформатори струму та напруги?
13. Опишіть принцип дії вимірювального трансформатора струму?
14. Опишіть принцип дії вимірювального трансформатора напруги?
15. Як схемах умовно позначаються вимірювальні трансформатори струму та напруги?
16. Наведіть схеми включення вимірювальних трансформаторів струму та напруги до кіл однофазного синусоїдного струму.

### **1.3 Рекомендована література**

1. Нестерчук Д.М. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: конспект лекцій / Д.М. Нестерчук. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 256 с.
2. Нестерчук Д.М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М. Нестерчук, С.О. Квітка, С.В. Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

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

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

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

6. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 656 с.

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

## **2. Основні теоретичні відомості та рекомендації**

**Вимірювальний перетворювач** (ВП) – це вимірювальний пристрій, що реалізує вимірювальне перетворення фізичної величини.

Вимірювальні перетворювачі поділяються на три групи:

- вимірювальні перетворювачі роду електричної величини – **шунти** та **додаткові резистори**;

- масштабні вимірювальні перетворювачі, в яких реалізоване масштабне вимірювальне перетворення електричної величини, тобто здійснюється зміна розміру електричної величини в задану кількість разів. До цієї групи належать **подільники напруги, вимірювальні трансформатори струму і напруги та вимірювальні підсилювачі**;

- вимірювальні перетворювачі роду струму – **вимірювальні перетворювачі середньовипрямлених, середньоквадратичних та амплітудних значень.**

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

Схеми включення однограничного та багатограничного шунтів подані на рисунку 2.1. Аналітично опір однограничного шунта визначається за виразом

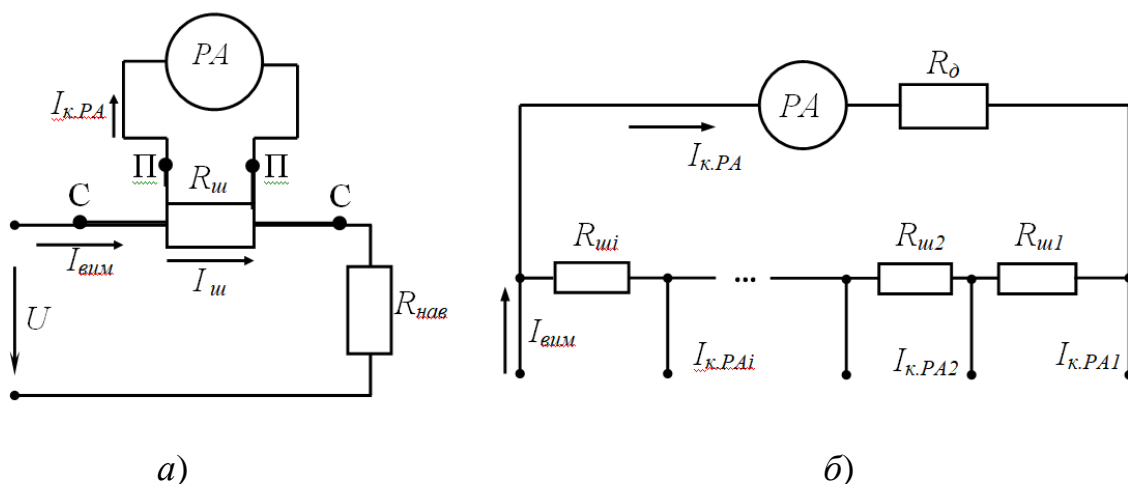
$$R_{ш} = \frac{R_{РА}}{\frac{I_{вим}}{I_{к.РА}} - 1} = \frac{R_{РА}}{p - 1}, \quad (1)$$

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

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

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

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



*a* – однограничний; *б* – багатограничний

Рисунок 2.1 – Схеми включення шунта

Опір багатограничного шунта визначається за виразом

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

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

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

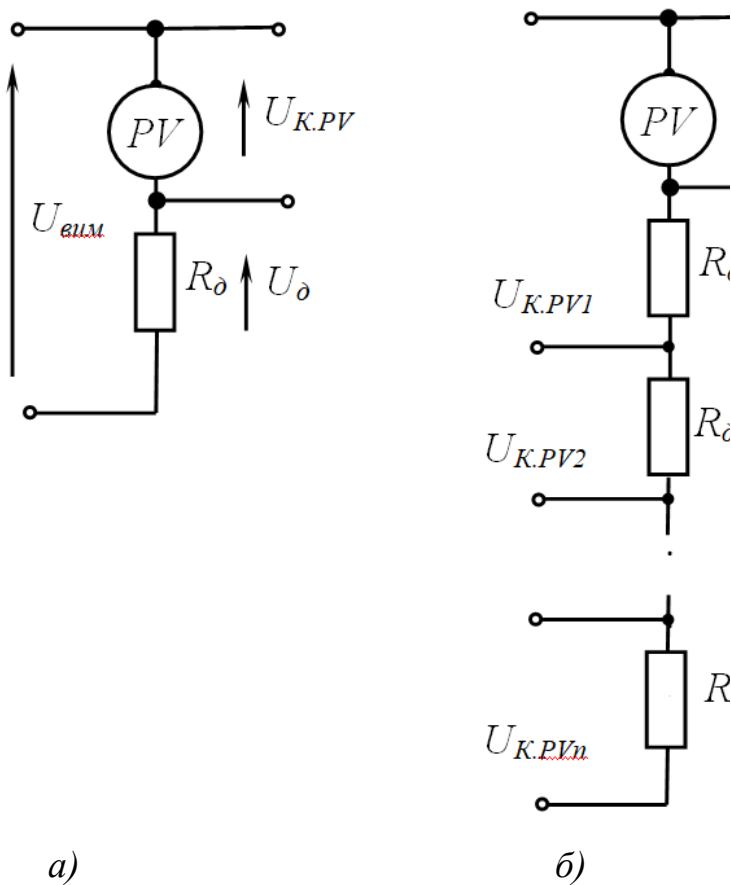
$$p_1 = \frac{I_{к.РА1}}{I_{к.РА}}; \quad p_2 = \frac{I_{к.РА2}}{I_{к.РА}}. \quad (4)$$

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

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

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

**Додатковий резистор** – це резистивний вимірювальний перетворювач напруги в струм, який вмикається послідовно з вимірювальним механізмом – рисунок 2.2, і який призначений для розширення границь вимірювань за напругою вольтметрів магнітоелектричної, електромагнітної та електродинамічної систем, а також приладів, що мають кола напруги: ватметрів, фазометрів.



*а* – однограничний; *б* – багатограничний

Рисунок 2.2 – Схеми включення додаткового резистора

Аналітично опір однограничного додаткового резистора визначається за виразом

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

де  $R_{PV}$  – внутрішній опір вольтметра, Ом;

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

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

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

Опір багатограничного додаткового резистора розраховується за формулою

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

Похибка внутрішнього додаткового резистора – це складова основної похибки приладу, частиною якого є додатковий резистор. Зовнішні додаткові резистори мають свій клас точності, що позначається одним числом  $c$ , яке вибирається зі стандартного ряду класу точності: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0, і що дорівнює границі допустимої відносної основної похибки додаткового резистора  $\delta_{\partial.zp}$  згідно формули

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

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

**Вимірювальний трансформатор** – це масштабний електромагнітний перетворювач, який призначений для точного перетворення (трансформації) струму чи напруги, для розширення границь вимірювання приладів, а також для захисту персоналу при вимірюваннях у колах високої напруги. У вимірювальній техніці застосовують *вимірювальні трансформатори струму (ВТС)* та *вимірювальні трансформатори напруги (ВТН)* для розширення границь вимірювань за струмом та за напругою відповідних вимірювальних приладів – амперметрів, вольтметрів, ватметрів, тощо, а також вони дозволяють гальванічно розділити частини вимірювального кола: коло високої напруги від кола вимірювального приладу.

Вимірювальні трансформатори містять дві ізольовані обмотки, які розміщені на феромагнітних осердях – рисунок 2.3. Первинна обмотка має число витків  $w_1$ , вторинна –  $w_2$ . Виводи первинної обмотки підключаються до вимірювальних кіл, а до затискачів вторинної обмотки підключають засоби вимірювання. Вторинні кола вимірювальних трансформаторів заземлюють для безпечної роботи обслуговуючого персоналу. Первинну обмотку вимірювального



трансформатора струму вмикають до вимірювального кола послідовно, а вимірювального трансформатора напруги – паралельно.

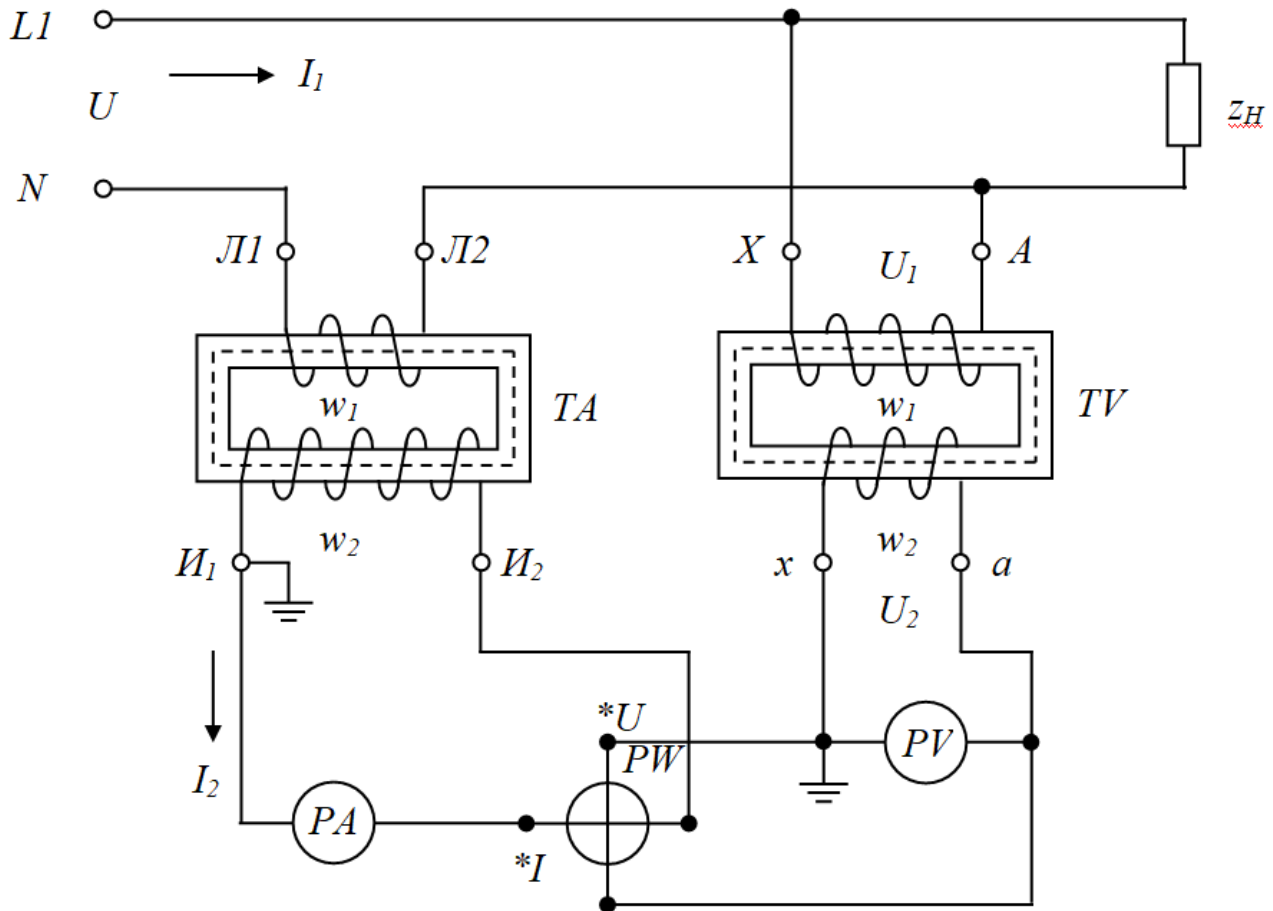
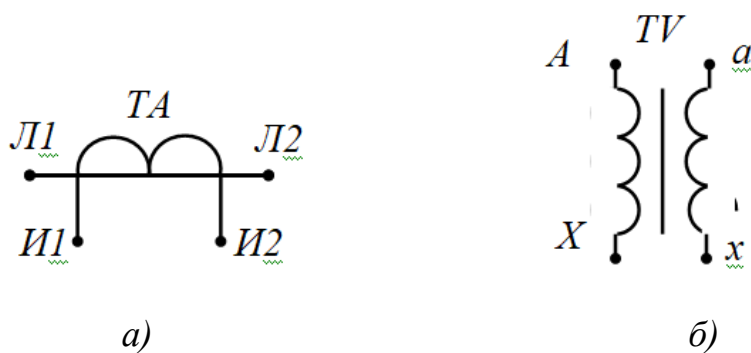


Рисунок 2.3 – Схеми включення вимірювальних трансформаторів струму (*TA*) та напруги (*TV*) до однофазного кола змінного струму

Для правильного вмикання вимірювальних трансформаторів їх затискачі мають спеціальні позначення – рисунок 2.4. На рисунку 2.4.а наведене умовне графічне позначення вимірювального трансформатора струму, а на рисунку 2.4.б – умовне графічне позначення вимірювального трансформатора напруги.

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



*a* – трансформаторів струму; *б* – трансформаторів напруги

Рисунок 2.4 – Умовні графічні позначення вимірювальних трансформаторів

**Вимірювальний трансформатор струму** – це масштабний вимірювальний перетворювач, який призначений для перетворення вимірюваних струмів в стандартні і, як наслідок, для розширення границь вимірювання амперметрів, обмоток струму ватметрів, лічильників електричної енергії та фазометрів у колах змінного струму. *Номинальний коефіцієнт трансформації ВТС* дорівнює відношенню номінального первинного струму,  $I_{1H}$ , до номінального вторинного струму,  $I_{2H}$ , згідно виразу

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

*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 *c*, яке вибирається зі стандартного ряду класу точності: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0.

Так як опір котушок амперметрів, обмоток струму ватметрів, лічильників електричної енергії, фазометрів невеликий, тому ВТС працюють в режимі, близькому до режиму короткого замикання, тому кількість приладів у вторинному колі ВТС повинна бути обмежена. Слід суворо слідкувати, щоб вторинна обмо-

тка при підключеній до мережі живлення первинній не залишалась розімкнутою, тому що:

- при розмиканні вторинного кола зникає зустрічний магнітний потік  $\Phi_2$ ;
- по осердю починає проходити великий змінний потік  $\Phi_1$ , який викликає появу великої ЕРС  $E_2$  (до тисячі вольт), так як вторинна обмотка має велику кількість витків;
- наявність такої ЕРС може призвести до пробоя ізоляції вторинної обмотки, що є небезпечним для обслуговуючого персоналу;
- великий магнітний потік  $\Phi_1$  призводить до появи великих вихрових струмів в магнітопроводі;
- магнітопровід починає нагріватися, починає руйнуватися ізоляція обмоток трансформатора.

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

Значення вимірюваного струму в первинному електричному колі,  $I_{1\text{кола}}$ , визначається за формулою

$$I_{1\text{кола}} = k_{IH} \cdot I_{2PA}, \quad (10)$$

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

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

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

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

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

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

Значення вимірюваної напруги в первинному електричному колі,  $U_{1\text{кола}}$ , визначається за формулою

$$U_{1\text{кола}} = k_{UH} \cdot U_{2PV}, \quad (12)$$

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

### 3. Програма роботи

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

### 4. Завдання та вихідні дані для розрахунків

#### Завдання 1.

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

Величини  $I_k$ ,  $R_{PmA}$ ,  $N_{max}$  для варіантів наведені в таблицях 1 та 2.

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

Варіант	Верхня границя вимірювання $I_k, mA$	Внутрішній опір, $R_{PmA}, \Omega$	Максимальний показ за шкалою $N_{в.мах}$ , поділки	Вимірювана величина сили струму, $I_{вим}, A$
1	5	48	50	0,05
2				0,1
3				1,0
4				2,5
5				5,0
6				10

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

Варіант	Верхня границя вимірювання $I_k, \mu A$	Внутрішній опір, $R_{P\mu A}, k\Omega$	Максимальний показ за шкалою $N_{в.мах}$ , поділки	Вимірювана величина напруги, $U_{вим}, V$
1	50	1,5	50	0,5
2				1,0
3				5,0
4				10
5				50
6				100

Визначити:

- величину опору шунта,  $R_{ш}$ , для вимірювання сили струму,  $I_{вим}$ , згідно варіанту (див. табл. 1) заданим міліамперметром;
- навести схему включення міліамперметра з шунтом до кола постійного струму для вимірювання струму;
- величини постійної та чутливості за струмом міліамперметра, який підключений до кола через шунт;
- величину опору додаткового резистора,  $R_d$ , для вимірювання напруги,  $U_{вим}$ , згідно варіанту (див. табл. 2) заданим міліамперметром;

- навести схему включення міліамперметра з додатковим резистором до кола постійного струму для вимірювання напруги;
- величини постійної та чутливості за напругою міліамперметра, який підключений до кола через додатковий резистор.

Результати розрахунків навести в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунків

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

## Завдання 2.

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

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 4.

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

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

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

4. Визначити первинні величини напруги,  $U_{1\text{кола}}$ , сили струму,  $I_{1\text{кола}}$ , активної потужності,  $P_{1\text{кола}}$  та витрати активної електроенергії,  $\Delta W_{1\text{кола}}$ , у електричному колі живлення споживача.

Таблиця 4 - Вихідні дані для розрахунків

Варіант	Вихідні дані					$k_{UH}$
	PA	PV	PW	PWh	$k_{UH}$	
<b>1</b>	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{6,max} = 100;$ $N_i = 90$	$U_K = 75 \text{ B};$ $N_{6,max} = 150;$ $N_i = 145$	$I_K = 5 \text{ A};$ $U_K = 75 \text{ B};$ $N_{6,max} = 75; N_i = 40$	$W_{max} = 750$ кВт·год $W_{кільк} = 950$ кВт·год	20/5	380/100
<b>2</b>	$I_K = 2,5 \text{ A};$ $N_{6,max} = 100;$ $N_i = 95$	$U_K = 150 \text{ B};$ $N_{6,max} = 150;$ $N_i = 140$	$I_K = 2,5 \text{ A};$ $U_K = 150 \text{ B};$ $N_{6,max} = 150;$ $N_i = 105$	$W_{max} = 70$ кВт·год $W_{кільк} = 200$ кВт·год	10/5	500/100
<b>3</b>	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{6,max} = 100;$ $N_i = 75$	$U_K = 300 \text{ B}$ $N_{6,max} = 150;$ $N_i = 140$	$I_K = 5 \text{ A};$ $U_K = 300 \text{ B};$ $N_{6,max} = 150;$ $N_i = 90$	$W_{max} = 100$ кВт·год $W_{кільк} = 330$ кВт·год	40/5	600/100
<b>4</b>	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{6,max} = 100;$ $N_i = 93$	$U_K = 75 \text{ B};$ $N_{6,max} = 150;$ $N_i = 60$	$I_K = 5 \text{ A};$ $U_K = 150 \text{ B};$ $N_{6,max} = 150; N_i = 35$	$W_{max} = 10$ кВт·год $W_{кільк} = 300$ кВт·год	80/5	$\frac{500}{380 / \sqrt{3}}$
<b>5</b>	$I_K = 5 \text{ A};$ $N_{6,max} = 100;$ $N_i = 53$	$U_K = 150 \text{ B};$ $N_{6,max} = 75;$ $N_i = 70$	$I_K = 5 \text{ A};$ $U_K = 150 \text{ B};$ $N_{6,max} = 150; N_i = 70$	$W_{max} = 20$ кВт·год $W_{кільк} = 480$ кВт·год	20/5	500/100

Продовження таблиці 4

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



## 5. Методичні рекомендації до виконання завдання

1. При виконанні завдання 1 для визначення величини опору шунта,  $R_{ш}$ , при вимірюванні сили струму у колі,  $I_{вим}$ , необхідно використовувати формулу (1) пункту 2 «Основні теоретичні відомості», а саме

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

при цьому внутрішній опір міліамперметра,  $R_{PmA}$ ,  $Ом$ , а також струм, який необхідно виміряти,  $I_{вим}$ ,  $A$ , та верхня границя вимірювання міліамперметра,  $I_{к.PmA}$ ,  $Ta$ , за умовою завдання наведені в таблиці 1 згідно варіанту. Коефіцієнт шунтування,  $p$  – це коефіцієнт, що показує в скільки разів необхідно розширити границю вимірювання міліамперметра, який згідно формули (1) дорівнює

$$p = \frac{I_{вим}}{I_{к.PmA}}.$$

2. При виконанні завдання 1 для визначення величини опору додаткового резистора,  $R_{\delta}$ , при вимірюванні напруги у колі,  $U_{вим}$ , необхідно використовувати формулу (6) пункту 2 «Основні теоретичні відомості», а саме

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

при цьому внутрішній опір міліамперметра,  $R_{PmA}$ ,  $Ом$ , а також його верхня границя вимірювання за струмом,  $I_{к}$ ,  $мкА$ , та напруга, яку необхідно виміряти,  $U_{вим}$ ,  $B$ , за умовою завдання наведені в таблиці 2 згідно варіанту.

3. Величину верхньої границі вимірювання вольтметра,  $U_{к.PV}$ ,  $B$ , слід визначити за величинами заданого внутрішнього опору міліамперметра,  $R_{PmA}$ ,  $Ом$ , верхньої границі вимірювання за струмом приладу,  $I_{к}$ ,  $мкА$ , згідно виразу

$$U_{к.PV} = R_{PmA} \cdot I_{к.PmA}. \quad (13)$$

Коефіцієнт шунтування,  $n$  – це коефіцієнт, що показує в скільки разів необхідно розширити границю вимірювання вольтметра, який згідно формули (6)

$$\text{дорівнює } n = \frac{U_{\text{вим}}}{U_{\text{к.РВ}}}.$$

4. Для визначення величини чутливості за струмом міліамперметра, який підключений до кола через шунт, слід використовувати вираз

$$S_I = \frac{N_{B.\text{max}}}{I_{\text{к.РmA}} \cdot p}, \quad (14)$$

де  $N_{B.\text{max}}$  – максимальний показ за шкалою, поділки, наведений в таблиці 1 згідно варіанту.

$I_{\text{к.РmA}} \cdot p$  - добуток, що характеризує збільшення верхньої границі вимірювання міліамперметра за струмом в  $p$ -разів.

5. Для визначення величини чутливості за напругою міліамперметра, який підключений до кола через додатковий резистор, слід використовувати вираз

$$S_U = \frac{N_{B.\text{max}}}{U_{\text{к.РВ}} \cdot n}, \quad (15)$$

де  $N_{B.\text{max}}$  – максимальний показ за шкалою, поділки, наведений в таблиці 2 згідно варіанту.

$U_{\text{к.РВ}} \cdot n$  - добуток, що характеризує збільшення верхньої границі вимірювання міліамперметра за напругою в  $n$ -разів.

6. При виконанні завдання 2 для визначення первинних величин напруги,  $U_1$ , та сили струму,  $I_1$ , у електричному колі живлення споживача необхідно використовувати вирази (12) та (10) відповідно, а саме

$$U_{1\text{кола}} = k_{UH} \cdot U_{2PV},$$

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

$$I_{1\text{кола}} = k_{IH} \cdot I_{2PA},$$

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

7. При визначенні величин активної потужності,  $P_I$  та витрати активної електроенергії,  $\Delta W_I$ , у електричному колі живлення споживача необхідно враховувати той факт, що ватметр та електронний лічильник містять у своєму складі:

- обмотку струму, яка до електричного кола підключається через вимірювальний трансформатор струму, якщо верхня границя вимірювання за струмом ватметра та лічильника менша, ніж струм споживача;
- обмотку напруги, яка до електричного кола підключається через вимірювальний трансформатор напруги, якщо верхня границя вимірювання за напругою ватметра та лічильника менша, ніж напруга живлення споживача.

Тому при розрахунку величин активної потужності,  $P_{1\text{кола}}$  та витрати активної електроенергії,  $\Delta W_{1\text{кола}}$ , у електричному колі живлення споживача необхідно використовувати вирази (16) та (17) відповідно

$$P_{1\text{кола}} = k_{UH} \cdot k_{IH} \cdot P_{2PW}, \quad (16)$$

де  $P_{2PW}$  – вимірювана активна потужність за показаннями ватметра;

$$\Delta W_{1\text{кола}} = k_{UH} \cdot k_{IH} \cdot \Delta W_{2PWh}, \quad (17)$$

де  $\Delta W_{2PWh}$  – вимірювана витрата активної електроенергії за показаннями електронного лічильника.

**Практичне заняття**  
**ВИВЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**  
**ЦИФРОВИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ**

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

**1. Методичні рекомендації та завдання для самостійної підготовки до роботи**

**1.1 Завдання для самостійної підготовки**

*Вивчити:*

- теоретичний матеріал за темою 6 «Цифрові вимірювальні прилади»;
- означення «цифрові вимірювальні прилади (ЦВП)», «аналого-цифрові перетворювачі»; «цифро-аналогові перетворювачі» [1, с.131-144, 2, с. 240-298, 3, с.216–263, 4, с.21-223, 5, с. 47-52];
- клас точності цифрового вимірювального приладу, умовні графічні позначення класу точності та розрахункові формули;
- основні функціональні вузли цифрових вимірювальних приладів;
- переваги цифрових вимірювальних приладів;
- види цифрових вимірювальних приладів

*Ознайомитись з:* прикладами розв'язання типових практичних завдань, що наведені в пункті 5 роботи.

**1.2 Запитання та завдання для самопідготовки**

1. На які різновиди, з точки зору функціонального призначення, поділяють цифрові засоби вимірювальної техніки?
2. Яке призначення цифрових засобів вимірювальної техніки?
3. Які основні переваги цифрових вимірювальних приладів?
4. Що таке аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) та цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП)?
5. Що таке цифрові вимірювальні системи?
6. Назвіть основні метрологічні характеристики аналого-цифрових перетворювачів та цифрових приладів.

### **1.3 Рекомендована література**

1. Нестерчук Д.М. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: конспект лекцій / Д.М. Нестерчук. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 256 с.

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

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

4. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 656 с.

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

### **2. Основні теоретичні відомості та рекомендації**

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

Залежно від виду вимірюваних величин ЦВП поділяються на: Залежно від виду вимірюваних величин ЦВП поділяються на: вольтметри постійного та змінного струму, амперметри змінного струму, вимірювачі частоти та інтервалу часу, омметри та мости постійного та змінного струму, комбіновані прилади – мультиметри, вимірювачі потужності, фазометри та спеціалізовані ЦВП, які

призначені для вимірювання температури, витрати, швидкостей та механічних напружень.

**Цифрові вимірювальні прилади (ЦВП)** – це вимірювальні прилади, в яких вимірювана величина автоматично в результаті квантування, дискретизації, порівняння та цифрового кодування і відповідних обчислень постає у цифровому коді. Це прилади, які застосовуються для вимірювань фізичних величин в промисловості, агропромисловому комплексі та наукових дослідженнях.

Переваги цифрових вимірювальних приладів: висока точність й швидкодія, автоматизація процесу вимірювання, видача цифрового коду, що дає змогу застосувати їх у сучасних системах автоматичного керування.

**Аналого-цифровий перетворювач (АЦП)** – це вимірювальний перетворювач, який призначений для автоматичного перетворення неперервної вимірюваної величини аналогового сигналу в пропорційну їй дискретну величину, яка зображена цифровим кодом. Під час такого перетворення здійснюється дискретизація та квантування вхідного сигналу й цифрове кодування вимірювальної інформації. *Дискретизація сигналу* – це заміна неперервної у часі величини її окремими вибірками, взятими в певні моменти часу. *Суть квантування* полягає у заміні неперервних значень сигналу в області його інтенсивності (рівня) квантованими (дозволеними) значеннями. Квантований номер, що відповідає вибірці вхідної величини у певний момент часу, зображується певним кодом і подається цифровим сигналом, який подається лише двома різними рівнями. Загалом АЦП не мають відлікових і (або) реєструвальних пристроїв і є базовою частиною складніших цифрових приладів або вимірювально-обчислювальних систем.

Як зазначено вище, під час аналого-цифрового перетворення виконується операція дискретизації вимірюваної величини в часі, при цьому в дискретизованому сигналі немає проміжних значень вхідного сигналу між мітками часу  $t_i$  та  $t_{i+1}$ , тому то може втрачатися вимірювальна інформація про проміжні значення сигналу, як наслідок, виникає похибка від дискретизації. Часовий інтер-

вал за сталим часом між почерговими вимірюваннями сигналу під час дискретизації має назву *періодом дискретизації сигналу*.

*Кодування результату* аналого-цифрового перетворення – це операція його подання за допомогою сукупності (кодових) символів вибраного алфавіту (системи числення), що здійснюється за однозначними правилами. Використовується числове кодування і для цифрових вимірювань – це є операція переведення числового значення заданої величини  $N_x$  в іншу систему числення, а результати подаються бінарними символами, тобто лише двома різними рівнями.

***Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП)*** – це вимірювальний перетворювач, який призначений для перетворення цифрового коду в аналогову величину. Принцип перетворення міститься в підсумовуванні усіх розрядних струмів (напруг), які зважені за двійковим законом та пропорційних значенню опорної напруги. При цьому підсумовуються тільки струми тих розрядів, значення яких дорівнюють логічній 1. У двійковому коді вага від розряду до розряду змінюється удвічі. ЦАП класифікуються за:

- видом вихідного сигналу: з струмовим виходом та виходом у вигляді напруги;
- за типом цифрового інтерфейсу: з послідовним вводом та паралельним вводом вхідного коду;
- за кількістю ЦАП на кристалі: одноканальні та багатоканальні;
- за швидкодією.

***Цифровими вимірювальними системами (ЦВС)*** є сукупність вимірювальних каналів, вимірювальних пристроїв та інших технічних засобів, об'єднаних для створення та аналізу сигналів цифрової вимірювальної інформації про декілька одно- чи різнорідних вимірюваних величин та інших видів інформації.

Нормованими метрологічними характеристиками для ЦВП є: кількість розрядів і значення одиниці найменшого розряду, які використовуються для оцінювання результатів вимірювань та встановлення параметрів якості виконаних вимірювань. Основною метрологічною характеристикою цифрових вимі-

рювальних приладів є значення одиниці найменшого розряду – це розмір одного кванта  $q$  цифрового засобу вимірювань, що відповідає різниці між двома сусідніми станами цифрового вихідного значення.

Показ для цифрових приладів визначається співвідношенням

$$x = N_x \cdot q, \quad (1)$$

де  $N_x$  – кількість кроків квантування (квантів) з розміром  $q$ , який відповідає одиниці молодшого розряду цифрового засобу вимірювань.

Стала цифрового засобу вимірювань збігається з ціною поділки і дорівнює розміру кроку квантування  $q$

$$C = C_{\text{под}} = q. \quad (2)$$

Для цифрових приладів клас точності на шкалі позначається записом, наприклад, 0,02/0,01. В технічній документації це позначення класу точності у вигляді  $c/d$ , де  $c$  – стале додатне число, характеризує границю основної зведеної похибки в кінці діапазону вимірювання ( $x_{\text{вим}} = X_K$ );  $d$  – стале додатне число, характеризує границю основної зведеної похибки на початку діапазону вимірювання ( $x_{\text{вим}} = 0$ ).

Границя основної зведеної похибки в кінці діапазону вимірювання цифрового приладу, якщо  $x_{\text{вим}} = X_K$ , визначається за виразом

$$c = \pm \frac{\Delta_{\text{зр.К}}}{x_K} \cdot 100\% = \gamma_{\text{зр.К}}. \quad (3)$$

Границя основної зведеної похибки на початку діапазону вимірювання, якщо  $x = 0$ , дорівнює

$$d = \pm \frac{\Delta_{\text{зр.П}}}{x_K} \cdot 100\% = \gamma_{\text{зр.П}}. \quad (4)$$



Границі допустимої абсолютної основної похибки визначаються за виразом

$$\Delta_{ep} = \pm \frac{d \cdot X_K + (c - d) \cdot x_{вим}}{100\%}, \quad (5)$$

при цьому допустима відносна основна похибка

$$\delta_{ep} = \pm \left[ c + d \cdot \left( \frac{X_K}{x_{вим}} - 1 \right) \right] \cdot 100\%. \quad (6)$$

### 3. Програма роботи

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

### 4. Завдання та вихідні дані для розрахунків

#### Завдання 1.

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

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 1.

Визначити:

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

Зробити висновок щодо точності процесу вимірювання напруги заданим цифровим вольтметром.

Таблиця 1 – Вихідні дані для завдання 1

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

**Завдання 2.**

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

Таблиця 2 – Паспортні дані цифрового універсального приладу

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

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

Таблиця 3 – Вихідні дані для завдання 2

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

Напруга	Сила струму	Опір постійному струму	Середня частота синусоїдних коливань
$(185,7+0,2 \cdot N), mV$	$(7,65+0,31 \cdot N), mA$	$(5,68+0,15 \cdot N), \kappa Om$	$(1060+5 \cdot N), Гц$
$(37,2+0,1 \cdot N), V$	$(0,63+0,01 \cdot N), A$	$(25367+0,1 \cdot N), Om$	$(778,5+2,5 \cdot N), \kappa Гц$

Оцінити точність роботи цифрового універсального приладу при вимірюванні заданих електричних величин та записати результати вимірювань.

Результати розрахунків навести в таблицю 4.

Таблиця 4 – Результати розрахунків

Варіант	Виміряна приладом електрична величина, $X_{вим}$		Обраний піддіпазон вимірювання, $X_k$ та клас точності, $c/d$	Похибка		Результат вимірювання, $(X_{вим} \pm \Delta)$
				відносна, $\delta, \%$	абсолютна, $\Delta$	
1	1	2	3	4	5	6
	$U$					
	$I$					
	$R$					
	$f$					

### 5. Методичні рекомендації до виконання завдань

1. При виконанні завдання 1 необхідно визначити граничні значення абсолютних похибок для першого та другого вимірювань за виразом (5).

2. Дійсне значення вимірюваної напруги за результатами першого та другого вимірювань представити у вигляді записів відповідно

$$U_{\partial 1} = U_{\text{вим1}} \pm \Delta U_{\text{зр.1}}; \quad U_{\partial 2} = U_{\text{вим2}} \pm \Delta U_{\text{зр.2}}.$$

3. Граничні значення відносної похибки для першого та другого вимірювань слід визначати за виразом (6).

4. Для виконання завдання 2 необхідно скористатись прикладом розрахунку для варіанту 30.

### Приклад розрахунку для завдання 2

За таблицею 3 визначаються величини, що вимірюються цифровим універсальним приладом, результати наведені в таблиці 4 в стовпчику (2).

За таблицею 2 обираються кінцеві піддіпазони вимірювання та класи точності для вимірювання електричних величин цифровим приладом, результати наведені в таблиці 4 в стовпчику (3).

Так як клас точності цифрового приладу наведений у вигляді дроби  $c/d$ , тому граничне значення відносної похибки вимірювань електричних величин визначається за виразом (6), а саме

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

а граничне значення абсолютної похибки вимірювань електричних величин визначається за виразом (5), а саме

$$\Delta_{\text{зр}} = \pm \frac{d \cdot X_K + (c - d) \cdot X_{\text{вим}}}{100\%}.$$

Результати розрахунків похибок вимірювань наведені в таблиці 4 в стовпчиках (4) та (5).

Результати розрахунку величин результатів вимірювань у вигляді запису  $(X_{\text{вим}} \pm \Delta)$  наведені в таблиці 4 в стовпчику (6).

Таблиця 4 – Результати розрахунків для варіанту 30

Варіант	Виміряна приладом електрична величина, $X_{вим}$		Обраний піддіапазон вимірювання, $X_k$ , та клас точності, $c/d$	Похибка		Результат вимірювання,
				відносна, $\delta$ , %	абсолютна, $\Delta$	
30	1	2	3	4	5	6
	$U$	191,7 мВ	1 В; 0,25/0,1	0,672	1,3 мВ	(191,7±1,3), мВ
		40,2 В	100 В; 0,25/0,1	0,4	0,16 В	(40,20±0,16), В
	$I$	16,95 мА	100 мА; 0,25/0,1	0,74	0,12 мА	(16,95±0,12), мА
		0,93 А	1000 мА; 0,5/0,2	0,52	0,005 А	(0,93±0,005), А
	$R$	10,18 кОм	100 кОм; 0,25/0,1	0,13	0,12 кОм	(10,18±0,12), кОм
		256,7 Ом	1 кОм; 0,25/0,1	0,54	1,4 Ом	(256,7±1,4), Ом
	$f$	1210 Гц	100 кГц; 0,02/0,01	0,09	1,0 Гц	(1210±1,0), Гц
		853,5 кГц	1000 кГц; 0,02/0,01	0,02	0,18 кГц	(853,5±0,18), кГц

**Практичне заняття**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ**  
**ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН**

**Мета:** набуття практичних навичок при розв'язанні практичних задач за темою «Вимірювання електричних величин».

**1.1. Методичні рекомендації та завдання для самостійної підготовки до роботи**

**1.1 Завдання для самостійної підготовки**

*Вивчити:*

- схеми вимірювань струму, напруги, активної потужності, реактивної потужності, коефіцієнту потужності, електричної енергії та параметрів електричних кіл прямими та опосередкованими методами;
- аналітичні вирази для визначення струму, напруги, активної потужності, реактивної потужності, коефіцієнту потужності електричної енергії та параметрів електричних кіл прямими та опосередкованими методами [1, с.147-202, 2, с.8-15, 3, с.117-166, 4, с. 285-364, 5, с. 53-62];

*Ознайомитись з:* прикладами розв'язання типових практичних завдань, що наведені в пункті 5 роботи.

**1.2 Запитання для самопідготовки**

1. Охарактеризуйте методи вимірювання струму у колах постійного та однофазного змінного струму.

2. Які вимірювальні перетворювачі застосовуються для розширення діапазону вимірювання амперметрів при вимірюваннях у колах постійного та однофазного змінного струму?

3. Наведіть схеми вимірювання струму у колах постійного та однофазного змінного струму.

4. Охарактеризуйте методи вимірювання напруги у колах постійного та однофазного змінного струму, а також .у трифазних колах змінного струму при симетричному та несиметричному характері навантаження.

5. Які вимірювальні перетворювачі застосовуються для розширення діапазону вимірювання вольтметрів при вимірюваннях у колах постійного та однофазного змінного струму, а також .у трифазних колах змінного струму?

6. Наведіть схеми вимірювання напруги у колах постійного та однофазного змінного струму, а також .у трифазних колах змінного струму?

7. Охарактеризуйте методи вимірювання активної потужності в однофазних та трифазних колах змінного струму.

8. Охарактеризуйте методи вимірювання реактивної потужності в трифазних колах змінного струму.

9. Який метод необхідно обрати для одночасного вимірювання активної та реактивної потужності в трифазному трипровідному колі змінного струму при симетричному характері навантаження? Як аналітично визначаються активна та реактивна потужність трифазного трипровідного кола за вище обраним методом?

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

11. Охарактеризуйте засоби та методи для вимірювання коефіцієнту потужності в трифазних колах змінного струму.

12. Поясніть чому електронний лічильник активної електричної енергії необхідно вмикати до однофазного кола змінного струму через вимірювальні трансформатори струму та напруги?

13 Охарактеризуйте методи вимірювання активного опору постійного струму. Наведіть аналітичні вирази для визначення активного опору постійного струму за запропонованими методами.

14. Охарактеризуйте опосередковані методи вимірювання індуктивності котушки та ємності конденсатора. Наведіть аналітичні вирази для визначення активного опору постійного струму за запропонованими методами.

### **1.3 Рекомендована література**

1. Нестерчук Д.М. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: конспект лекцій / Д.М. Нестерчук. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 256 с.

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

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

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

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

### **2. Основні теоретичні відомості та рекомендації**

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

Одержання необхідної вимірювальної інформації з мінімальними матеріальними і часовими витратами вимагає ретельної підготовки та здійснення експерименту при вимірюванні фізичних електричних величин. Фактично під час вимірювання розв'язується вимірювальна задача, яка складається з трьох осно-



вних етапів – підготовка експерименту, його виконання та опрацювання його результатів.

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

Так як зміст теоретичного матеріалу щодо методів вимірювання електричних величин, має дуже великий об'єм, тому то наведення такої інформації в змісті практикуму є недоцільним.

Тому при підготовці до практичного заняття студентів необхідно самостійно вивчити теоретичний матеріал, посилення на який наведено в пункті «1.1. Методичні рекомендації та завдання для самостійної підготовки до роботи» даного практичного заняття.

### **3. Програма роботи**

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

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

**Формування умови:** Згідно обраного варіанту за змістом таблиці 1 студентом обираються вихідні дані та формується умова задачі.

Пояснення щодо літерних позначень вихідних даних наведені в таблиці 2.

Завдання:

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

Таблиця 1 – Вихідні дані для завдання 1

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

Продовження таблиці 1

Варіант	Електричне коло	Амперметр РА			Вольтметр РV			Ватметр РW1			Ватметр РW2			Вимірювана електрична величина
		$I_K$	$N_{6,max}$	$N_i$	$U_K$	$N_{6,max}$	$N_i$	$P_{K1}$	$N_{6,max}$	$N_i$	$P_{K2}$	$N_{6,max}$	$N_i$	
7	однофазне коло змінного струму	5 А	100 поділ	80 поділ	300 В	150 поділ	42 поділ	-	-	-	-	-	$M_{1,2}, \Gamma_H$	
8	трифазне коло змінного струму	-	-	-	-	-	-	300 Вт	150 поділ	90 поділ	300 Вт	150 поділ	125 поділ	$P_{\text{кола}}, \text{Вт};$ $Q_{\text{кола}}, \text{Вар}$
9	трифазне коло змінного струму	5 А	100 поділ	80 поділ	300 В	150 поділ	110 поділ	750 Вт	75 поділ	70 поділ	-	-	$\text{Cos } \varphi_{\text{кола}}$	
10	трифазне коло змінного струму	-	-	-	-	-	-	1500 Вт	100 поділ	75 поділ	1500 Вт	100 поділ	70 поділ	$\text{Cos } \varphi_{\text{кола}}$
11	трифазне коло змінного струму	5 А	100 поділ	60 поділ	300 В	150 поділ	140 поділ	1500 Вт	150 поділ	110 поділ	-	-	$I_L, \text{А};$ $U_L, \text{В};$ $P_{\text{кола}}, \text{Вт}$	
12	трифазне коло змінного струму	-	-	-	-	-	-	1500 Вт	150 поділ	95 поділ	1500 Вт	150 поділ	135 поділ	$Q_{\text{кола}}, \text{Вар}$

Продовження таблиці 1

Варіант	Електричне коло	Амперметр РА			Вольтметр РV			Ватметр РW1			Ватметр РW2			$k_{WH}$	$k_{UH}$	Вимірювана електрична величина		
		$I_K$	$N_{e,max}$	$N_i$	$U_K$	$N_{e,max}$	$N_i$	$P_{K1}$	$N_{e,max}$	$N_i$	$P_{K2}$	$N_{e,max}$	$N_i$					
13	однофазне коло змінного струму	5 А	100 поділ	8	-	-	-	75 поділ	54 поділ	-	-	-	50/5	-	$I_L, A;$ $P_L, Вт$			
14	однофазне коло змінного струму	-	-	-	300 В	150 поділ	134 поділ	75 поділ	68 поділ	-	-	-	-	380/100	$U_L, В;$ $P_L, Вт$			
15	трифазне коло змінного струму	-	-	-	-	-	-	150 поділ	95 поділ	3000 В <sub>т</sub>	150 поділ	135 поділ	20/5	-	$Q_{кола}, Вар$			
16	трифазне коло змінного струму	-	-	-	-	-	-	150 поділ	112 поділ	3000 В <sub>т</sub>	150 поділ	85 поділ	100/5	600/100	$P_{кола}, Вт$			
17	однофазне коло змінного струму	Однофазний електронний лічильник активної енергії РWh											10/5	380/100	$\Delta W_{e,кВт\cdot год}$			
		$W_{max} = 180 \text{ кВт}\cdot\text{год}$			$W_{e,кВт\cdot год} = 620 \text{ кВт}\cdot\text{год}$													

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

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

Продовження таблиці 2

Варіант	Величини, що задані за умовою завдання	Вимірювана електрична величина
8	$P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра PW1, <i>Вт</i> ; $P_{K2}$ – границя вимірювання ватметра PW2, <i>Вт</i> ; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, <i>поділок</i> ; $N_i$ – показ приладу, <i>поділок</i>	одночасне вимірювання як активної потужності усього кола, $P_{кола}$ , <i>Вт</i> , так й реактивної потужності усього кола, $Q_{кола}$ , <i>Вар</i>
9	$U_K$ – границя вимірювання вольтметра, <i>В</i> ; $I_K$ – границя вимірювання амперметра, <i>А</i> ; $P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра, <i>Вт</i> ; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, <i>поділок</i> ; $N_i$ – показ приладу, <i>поділок</i>	$\cos \varphi_{кола}$ – коефіцієнт потужності трифазного кола змінного струму
10	$P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра PW1, <i>Вт</i> ; $P_{K2}$ – границя вимірювання ватметра PW2, <i>Вт</i> ; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, <i>поділок</i> ; $N_i$ – показ приладу, <i>поділок</i>	$\cos \varphi_{кола}$ – коефіцієнт потужності трифазного кола змінного струму
11	$U_K$ – границя вимірювання вольтметра, <i>В</i> ; $I_K$ – границя вимірювання амперметра, <i>А</i> ; $P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра, <i>Вт</i> ; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, <i>поділок</i> ; $N_i$ – показ приладу, <i>поділок</i>	$I_L$ – величина лінійного (фазного) струму, <i>А</i> ; $U_L$ – величина лінійної напруги, <i>В</i> ; $P_{кола}$ – активна потужність трифазного кола змінного струму, <i>Вт</i>
12	$P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра PW1, <i>Вт</i> ; $P_{K2}$ – границя вимірювання ватметра PW2, <i>Вт</i> ; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, <i>поділок</i> ; $N_i$ – показ приладу, <i>поділок</i>	реактивна потужність усього кола, $Q_{кола}$ , <i>Вар</i>
13	$I_K$ – границя вимірювання амперметра, <i>А</i> ; $P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра, <i>Вт</i> ; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, <i>поділок</i> ; $N_i$ – показ приладу, <i>поділок</i> ; $k_{IH}$ – номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора струму	$I_1$ – сила струму в однофазному колі змінного струму, <i>А</i> ; $P_1$ – активна потужність в однофазному колі змінного струму, <i>Вт</i>

Продовження таблиці 2

Варіант	Величини, що задані за умовою завдання	Вимірювана електрична величина
14	$U_K$ – границя вимірювання вольтметра, $B$ ; $P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра, $Bm$ ; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, <i>поділок</i> ; $N_i$ – показ приладу, <i>поділок</i> ; $k_{UH}$ – номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора напруги	$U_1$ – напруга в однофазному колі змінного струму, $B$ ; $P_1$ – активна потужність в однофазному колі змінного струму, $Bm$
15	$P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра $PW1$ , $Bm$ ; $P_{K2}$ – границя вимірювання ватметра $PW2$ , $Bm$ ; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, <i>поділок</i> ; $N_i$ – показ приладу, <i>поділок</i> ; $k_{IH}$ – номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора струму	реактивна потужність усього кола, $Q_{кола}, Var$
16	$P_{K1}$ – границя вимірювання ватметра $PW1$ , $Bm$ ; $P_{K2}$ – границя вимірювання ватметра $PW2$ , $Bm$ ; $N_{в.мах}$ – максимальний відлік за шкалою приладу, <i>поділок</i> ; $N_i$ – показ приладу, <i>поділок</i> ; $k_{IH}$ – номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора струму ТА; $k_{UH}$ – номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора напруги TV	активна потужність усього кола, $P_{кола}, Bm$
17	$W_{поч}$ – показання лічильника на початку звітнього періоду, $кВт \cdot год$ ; $W_{кінь}$ – показання лічильника наприкінці звітнього періоду, $кВт \cdot год$ ; $k_{IH}$ – номінальний коефіцієнт трансформації ТА; $k_{UH}$ – номінальний коефіцієнт трансформації TV	$\Delta W_a$ – витрата електроенергії за звітній період, $кВт \cdot год$

**Практичне заняття**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ**  
**МАГНІТНИХ ВЕЛИЧИН ЕЛЕКТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ**

**Мета:** набуття практичних навичок при розв'язанні практичних задач за темою «Вимірювання магнітних величин електричними методами».

**1.1. Методичні рекомендації та завдання для самостійної підготовки до роботи**

**1.1 Завдання для самостійної підготовки**

*Вивчити:*

- теоретичний матеріал за темою 8 «Вимірювання магнітних величин електричними методами» [1, с.203-216, 2, с.177-194, 3, с.422-430, 4, с. 63-74];
- схеми вимірювань магнітних величин прямими та опосередкованими електричними методами;
- аналітичні вирази для визначення магнітних величин прямими та опосередкованими електричними методами

*Ознайомитись з:* прикладами розв'язання типових практичних завдань, що наведені в пункті 3 роботи.

**1.2 Запитання для самопідготовки**

1. Охарактеризуйте класифікацію методів та засобів для вимірювання магнітних величин електричними методами.
2. Поясніть принцип дії індукційного перетворювача магнітного потоку при застосуванні вимірювальної котушки.
3. Поясніть принцип дії диференціального ферозонда.
4. Поясніть принцип феромодуляційного тесламетра.
5. Поясніть принцип дії ЯРМ-тесламетра за методом вільної ядерної прецесії.
6. Поясніть суть індукційно-імпульсного методу визначення магнітних петель гістерезису.
7. Поясніть суть методу ватметра для вимірювання питомих магнітних втрат.



8. Які існують методи для вимірювання магнітного потоку в постійних та в змінних магнітних полях?

9. Поясніть принцип дії гальваномагніторекombінаційних перетворювачів.

10. Опишіть принцип дії гальваномагнітних перетворювачів та магніторезистивних перетворювачів.

### 1.3 Рекомендована література

1. Нестерчук Д.М. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: конспект лекцій / Д.М. Нестерчук. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 256 с.

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

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

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

### 2. Основні теоретичні відомості та рекомендації

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

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

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

де  $S$  – площа контуру, через який проходить магнітний потік  $\Phi$ ;  
 - намагнічувальна сила,  $A$

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

де  $I$  – струм, що протікає в замкнутому контурі з кількістю витків  $w$ ,  $A$ ;  
 $L$  – довжина середньої лінії магнітного потоку.

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

При вимірюванні магнітних величин електричними методами здійснюється перетворення магнітних величин в електричні, які зручні для вимірювань. Перетворювачі магнітних величин в електричні будуються на основі явищ електромагнітної індукції, ядерного магнітного резонансу, гальваномагнітного ефекту, в яких сукупність магнітних величин пов'язана з вихідними електричними величинами суворими функціональними залежностями.

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

Для вимірювання індукції магнітного поля використовуються спеціальні вимірювальні прилади – **тесламетри**. Сучасна практика потребує вимірювань параметрів сталих магнітних полів індукцією від  $10^{-16} Tл$  до одиниць і навіть декількох десятків  $Tл$ , а також змінних – від  $10^{15} \dots 10^{-14} Tл$  до декількох  $Tл$  в діапазоні частот від часток  $Гц$  до десятків  $МГц$ . Перетворювачі в таких приладах – це **перетворювачі Холла**, які розглянемо більш детально. Принцип дії перетворювачів Холла полягає у виникненні на гранях провідної пластини – рисунок 2.1, поперечної ЕРС  $E_x$ , поміщеної в магнітне поле перпендикулярно до вектора

магнітної індукції  $B$ , за умови, що в поздовжньому напрямі по ній протікає струм  $I$ .

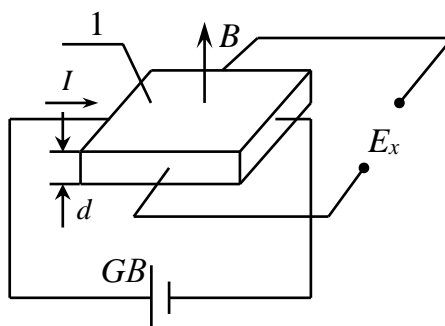


Рисунок 2.1 – Схема підключення перетворювача Холла для вимірювання магнітної індукції

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

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

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

$I$  – струм;

$B$  – магнітна індукція;

$d$  – товщина пластини.

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

Для вимірювання магнітної індукції та напруженості магнітного поля призначений *метод амперметра та вольтметра*, який є найпростішим методом визначення *динамічних характеристик магнітних матеріалів*, тобто характеристик у змінному магнітному полі.

Вимірювання здійснюються за схемою, що наведена на рисунку 2.2. На зразок із досліджуваного магнітного матеріалу намотують дві обмотки: намагнічувальну із кількістю витків  $w_1$  і вимірювальну із кількістю витків  $w_2$ . Через намагнічувальну обмотку від звукового генератора ЗГ пропускають намагнічувальний струм  $I$ , значення якого вимірюють амперметром. Вольтметром  $PVI$  вимірюють ЕРС  $e_2(t)$  вторинної обмотки. Якщо активний опір намагнічувальної котушки  $w_1$  великий, то намагнічувальний струм  $I$  та напруженість магнітного поля  $H$  практично синусоїдні, а індукція  $B$  – несинусоїдна. За допомогою амперметра середньоквадратичних значень вимірюються середньоквадратичні значення намагнічувального струму  $I$ , а амплітудне значення напруженості магнітного поля  $H_m$  визначається за виразом

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

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

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

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

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

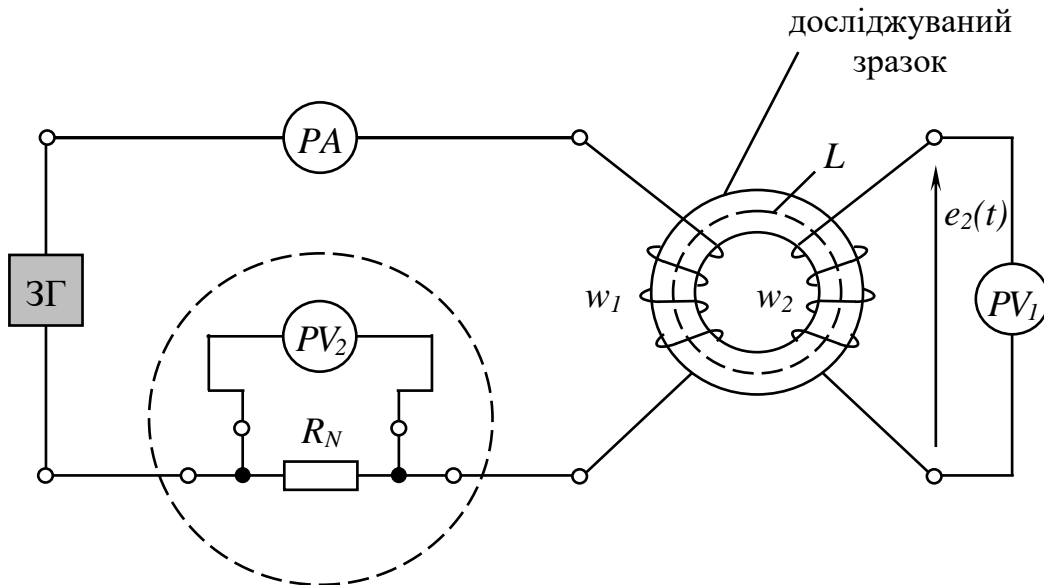


Рисунок 2.2 – Схема вимірювання магнітної індукції та напруженості магнітного поля за методом амперметра та вольтметра

Якщо активний опір намагнічувальної обмотки малий, то практично забезпечується режим синусоїдної магнітної індукції, а напруженість магнітного поля буде несинусоїдною. У такому разі амплітудне значення напруженості магнітного поля,  $H_m$ , знайдене за виразом (4), може істотно (на 8...10 %) відрізнятися від істинного значення максимальної напруженості. Точніше максимальне значення напруженості можна встановити за показами вольтметра  $PV_2$ , який вимірює спад напруги на зразковому резисторі  $R_N$ , при цьому

$$H_m = \frac{w_1 \cdot I_m}{L} = \frac{w_1}{L} \cdot \frac{U_m}{R_N}. \quad (6)$$

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

$$B_m = \frac{E}{4 \cdot f \cdot w_2 \cdot S \cdot k_\phi}, \quad (7)$$

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

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

Під час перемагнічування феромагнітного матеріалу змінним струмом наявна втрата потужності, яка зумовлена втратами на гістерезис і вихрові струми, які загалом мають назву *феромагнітні втрати*. Такі втрати можна виміряти за допомогою ватметра (амперметр і вольтметр використовуються для контролю струму та напруги, які подаються на ватметр) – рисунок 2.3.

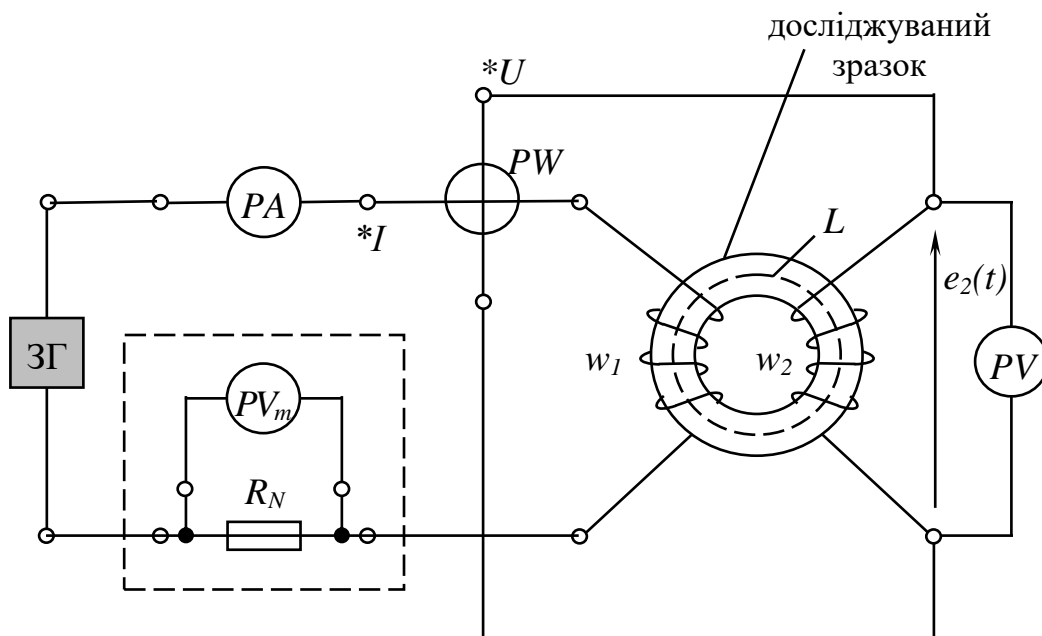


Рисунок 2/3 – Схема вимірювання феромагнітних втрат за допомогою ватметра

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

Потужність феромагнітних втрат дорівнює

$$P_{BTP} = P_{PW} \frac{w_1}{w_2}. \quad (8)$$

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

$$P_{BTP} = P_{PW} \cdot \frac{w_1}{w_2} - U^2 \cdot \left( \frac{1}{R_{PV}} + \frac{1}{R_{PWU}} \right), \quad (9)$$

де  $U$  – показ вольтметра,  $B$ ;

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

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

### 3. Програма роботи

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

### 4. Завдання та вихідні дані для розрахунків

#### Завдання 1

**Умова:** Для вимірювання магнітного потоку застосовується веберметр, вимірювальна котушка якого має один виток.

Опір вимірювальної котушки та основні метрологічні характеристики веберметрів наведені в таблиці 1 згідно варіантів.

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

Таблиця 1 – Вихідні дані для завдання 1

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

## Завдання 2

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

Оцінити відносну,  $\delta_{B.гр}$ , %, та абсолютну  $\Delta_{B.гр}$ , мТл, похибки вимірювання заданої магнітної індукції заданим тесламетром.

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 2.



Таблиця 2 – Вихідні дані для завдання 2

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

### Завдання 3

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

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Вихідні дані для завдання 3

Варіант	$B_x$ , мТл	$I$ , А	$R_x$ , $\text{м}^3/\text{А}\cdot\text{с}$	$d$ , мм	Варіант	$B_x$ , мТл	$I$ , А	$R_x$ , $\text{м}^3/\text{А}\cdot\text{с}$	$d$ , мм
1	0,2	2,0	0,01	1,0	6	0,8	3,5	0,02	0,6
2	0,5	2,0	0,01	1,0	7	1,0	5,0	0,02	0,5
3	1,2	2,0	0,01	1,0	8	0,5	1,0	0,02	0,3
4	0,7	3,0	0,02	0,5	9	1,0	4,0	0,01	1,0
5	0,6	4,0	0,02	0,5	10	1,1	2,5	0,01	0,9

Визначити величину напруги  $U_x, B$ , яка виникає на бічних гранях пластини, якщо через дві інші грані пластини проходить струм величиною  $I, A$ , а величина постійної Холла  $R_x, m^3/A \cdot c$  наведена в таблиці 3.

#### Завдання 4

##### Умова:

1. Для визначення динамічних характеристик феромагнетиків (електротехнічна сталь та пермалой марки 50НХС) за методом амперметра та вольтметра необхідно вибрати вимірювальні прилади для реалізації названого методу вимірювання.

2. Для визначення феромагнітних втрат феромагнетиків (електротехнічна сталь та пермалой марки 50НХС) за методом ватметра, амперметра та вольтметра необхідно вибрати вимірювальні прилади для реалізації названого методу вимірювання, а також визначити граничне значення основної похибки ватметра.

Вихідні дані для умов 1 та 2 наведені в таблиці 4. Метрологічні характеристики вимірювальних приладів наведені в таблицях 5, 6, 7.

Таблиця 4 – Вихідні дані для умови

Вихідні дані	Варіант			
	1	2	3	4
Режим синусоїдної напруженості магнітного поля				
Матеріал зразка	електротехнічна сталь			
Амплітудне значення магнітної індукції, $B_m, Tл$	1,2	1,5	1,5	0,5
Амплітудне значення напруженості магнітного поля, $H_m, A/m$	150	200	100	50
Довжина середньої лінії магнітного потоку у зразку, $L, м$	0,22	0,3	0,16	0,14
Площа поперечного перерізу зразку, $S, м^2$	$12 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$10 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Кількість витків намагнічувальної котушки, $w_1$	110	1000	100	100
Кількість витків вимірювальної котушки, $w_2$	110	700	110	200
Частота мережі, $Гц$	50	50	50	50

Продовження таблиці 4

Вихідні дані	Варіант			
	5	6	7	8
Режим синусоїдної магнітної індукції магнітного поля				
Матеріал зразка	пермалой марки 50НХС			
Амплітудне значення магнітної індукції, $B_m, Tл$	1,0	1,0	1,1	1,4
Амплітудне значення напруженості магнітного поля, $H_m, A/м$	35	50	30	80
Довжина середньої лінії магнітного потоку у зразку, $L, м$	0,4	0,2	0,1	0,35
Площа поперечного перерізу зразку, $S, м^2$	$2 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$10^{-3}$
Кількість витків намагнічувальної котушки, $w_1$	600	500	400	700
Кількість витків вимірювальної котушки, $w_2$	600	500	400	600
Частота мережі, $Гц$	50	50	50	50

Таблиця 5 – Метрологічні характеристики амперметрів

Метрологічні характеристики	Прилад		
	міліамперметр	амперметр	міліамперметр
Тип приладу	Д5054/4	Д5054/4-Д5054/3	Д5014/4
Клас точності	0,1	0,1	0,2
Границя вимірювання	5-10-25-50-100-200 $Ta$	0,5-1-2,5-5-10 $A$	5-10-25-50-100-200 $Ta$
Внутрішній опір приладу, $Om$	150-300-50-20-15-8	1,5-0,5-0,2-0,075-0,03	150-320-55-23-15-8,8
Розширений діапазон частоти та номінальна частота, $Гц$	<u>45...500...1500</u>	<u>45...500...1500</u>	<u>45...1000...3000</u>

Таблиця 6 – Метрологічні характеристики вольтметрів

Метрологічні характеристики	Прилад				
	вольтметр середньовипрямлених значень			вольтметр середньоквадратичних значень	
Тип приладу	Ф5053			Ф584	
Клас точності	1,5	1,0	0,5	1,0	0,5
Границя вимірювання	1 $T_v$	3 $T_v$	10-30-100-300 $T_v$	1-3 $T_v$	10-30-100-300 $T_v$
Внутрішній опір приладу, $\Omega$	10 $M\Omega$			10 $M\Omega$	
Розширений діапазон частоти та номінальна частота, $Гц$	<u>40...10<sup>5</sup>...4·10<sup>6</sup></u>			10... <u>50...10<sup>5</sup>...10<sup>7</sup></u>	

Таблиця 7 – Метрологічні характеристики ватметрів

Метрологічні характеристики	Прилад		
	Д5056/1	Д5016/4	Д5004/2
Клас точності	0,1	0,2	0,5
Границя вимірювання за струмом, $A$	5; 10	0,1; 0,2	2,5; 5
Границя вимірювання за напругою, $B$	30; 75; 150; 300; 450; 600	30; 75; 150; 300; 450; 600	30; 75; 150; 300; 450; 600
Розширений діапазон частоти та номінальна частота, $Гц$	<u>45...65...500</u>	<u>45...65...100</u>	<u>45...65...500</u>
Максимальний відлік, поділок	150	150	150

### 5. Методичні рекомендації до виконання завдань

1. При виконанні завдання 1 необхідно за варіантом обрати значення вимірюваного магнітного потоку,  $\Phi_x$ ,  $мкВб$ , зі стовпчика 1 таблиці 1.

За значенням заданого вимірюваного магнітного потоку зі стовпчика 2 таблиці 1 необхідно обрати верхню границю вимірювання веберметра,  $\Phi_k$ ,  $мкВб$ ,. Наприклад,  $\Phi_x = 35 мкВб$ , а  $\Phi_k = 50 мкВб$ , як найбільш близьке значення.

2. Для визначення значення абсолютної похибки веберметра необхідно скористатися загальною формулою, в яку при розв'язанні задачі 1 слід внести літерні позначення величин згідно умови завдання

$$\Delta X = \pm \frac{\gamma \cdot X_k}{100\%},$$

де  $\Delta X$  – абсолютна похибка приладу;

$X_k$  – верхня границя вимірювання приладу;

$\gamma$  – клас точності приладу, %.

Для визначення значення відносної похибки вимірювання магнітного потоку веберметром необхідно скористатися загальною формулою, в яку при розв'язанні задачі 1 слід внести літерні позначення величин згідно умови завдання

$$\delta_{зв} = \frac{\Delta X}{X_o} \cdot 100\% = \frac{\Delta X}{X_x \pm \Delta X} \cdot 100\%,$$

де  $\delta_{зв}$  – відносна похибка приладу;

$X_o$  – дійсне значення вимірюваної фізичної величини;

$X_x$  – виміряне значення фізичної величини.

3. При виконанні завдання 2 слід скористатися методичними рекомендаціями для розв'язання завдання 1.

4. При виконанні завдання 3 слід скористатися співвідношенням (3), яке наведене в пункті 2 «Основні теоретичні відомості» практичної роботи, це дозволить визначити величину напруги  $U_x, B$ , яка виникає на бічних гранях пластини, якщо через дві інші грані пластини проходить струм величиною  $I, A$ , при заданій величині постійної Холла  $R_x, м^3/A \cdot c$ .

5. Для розв'язання завдання 4 необхідно ознайомитись з прикладом розрахунку.

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

**Розв'язання.**

1. Так як режим синусоїдної напруженості магнітного поля, тому діюче значення струму визначається з виразу (4)

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

2. Для вище зазначеного режиму величина ЕРС  $e_2(t)$  визначається з виразу (5)

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

3. Значення потужності феромагнітних втрат визначається за виразом

$$P_{\text{ВТР}} = I \cdot E_{\text{сеп}} \cdot k_{\phi} \cdot \cos\varphi_x,$$

де  $k_{\phi}$  – коефіцієнт форми кривої ЕРС (для синусоїди  $k_{\phi} = 1,11$ );

$\cos\varphi_x$  – коефіцієнт потужності електричного кола;  $\cos\varphi_x \leq 0,6$ ;

$$P_{\text{ВТР}} = 0,049 \cdot 20 \cdot 1,11 \cdot 0,6 = 0,65 \text{ Вт.}$$

4. Вибір приладів згідно завдання:

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

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

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

5. Граничне значення основної похибки ватметра визначається за виразом

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

**Практичне заняття**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ**  
**ЕЛЕКТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ**

**Мета:** набуття практичних навичок при розв'язанні практичних задач за темою «Методи та засоби вимірювання температури».

**1.1. Методичні рекомендації та завдання для самостійної підготовки до роботи**

**1.1 Завдання для самостійної підготовки**

*Вивчити:*

- означення «контактні методи вимірювання температури», «безконтактні методи вимірювання температури», «терморезистивні вимірювальні перетворювачі (терморезистори)», «термоелектричні вимірювальні перетворювачі (термопари)»;
- явища, які є основою принципу дії терморезистивних вимірювальних перетворювачів та термоелектричних вимірювальних перетворювачів;
- аналітичні вирази для визначення похибок при вимірюванні температури терморезистивними вимірювальними перетворювачами;
- аналітичні вирази для визначення похибок при вимірюванні температури термоелектричними вимірювальними перетворювачами [1, с.144-158, 2, с.236-244, 3, с.515-525, 3, с.356-358, 5, с.75-87].

*Ознайомитись з:* прикладами розв'язання типових практичних завдань, що наведені в пункті 5 роботи.

**5.3 Запитання для самопідготовки**

1. Що таке тепловий первинний вимірювальний перетворювач?
2. Які теплові перетворювачі належать до генераторних, а які – до параметричних?
3. Які теплові перетворювачі належать до контактних теплових перетворювачів, а які – до безконтактних?
4. Що таке терморезистивний вимірювальний перетворювач (терморезистор)? Яке явище є основою принципу дії терморезистора?



5. Опишіть конструктивні особливості металевих терморезисторів.
6. Опишіть конструктивні особливості напівпровідникових терморезисторів.
7. Які аналітичні вирази описують характеристики градування металевих та напівпровідникових терморезисторів?
8. Що таке термоелектричний перетворювач (термопара)? Який ефект є основою принципу дії термопари?
9. Опишіть конструктивні особливості термопар. Розшифруйте типи термопар.
10. Який аналітичний вираз описує характеристику градування термопари?
11. Які вторинні прилади використовуються у комплекті з термопарою, а які у комплекті з терморезистором?
12. Складіть алгоритм визначення похибок вимірювання температури терморезистивними термометрами.
13. Складіть алгоритм визначення похибок вимірювання температури термоелектричними термометрами.

### **1.3 Рекомендована література**

1. Нестерчук Д.М. Методи і засоби вимірювань електричних та неелектричних величин: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 206 с.
2. Нестерчук Д.М. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: конспект лекцій / Д.М. Нестерчук. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 256 с.
3. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С.Поліщук, М.М.Дорожовець, В.О.Яцук, В.М.Ванько, Т.Г.Бойко; за ред. Проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2012. – 544 с.

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

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

## **2. Основні теоретичні відомості та рекомендації**

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

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

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

**Терморезистори** – це теплові параметричні перетворювачі, принцип дії яких оснований на властивості речовини змінювати свій опір при зміні температури. Для вимірювання температури терморезистор необхідно помістити в середовище, температуру якого необхідно виміряти. Чутливими елементами таких перетворювачів є провідники та напівпровідники.

Терморезистори з провідниковими металевими чутливими елементами мають назву **термометри опору**, а матеріалами для їх виготовлення є платина, мідь та нікель. Існують термометри опору трьох типів: термоопори платинові (ТОП), термоопори мідні (ТОМ) і термоопори нікелеві (ТОН). Конструктивно ТОП – це перетворювач, чутливий елемент, якого виконаний зі стрічкової платини, навитої на трубчастий ізоляційний каркас із спеціального скла. Для захисту від механічних пошкоджень перетворювач покритий захисною оболонкою.

Конструктивно ТОМ – це перетворювач, чутливий елемент якого виконаний як безкаркасна обмотка з мідного ізолюваного дроту та зверху покрита фторопластовою плівкою. Для забезпечення потрібної механічної міцності обмотку поміщають у тонкостінну металеву гільзу та засипають керамічним порошком і герметизують.

Характеристика градування для мідних термоопорів має вигляд

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

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

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

Характеристика градування для платинових термоопорів має вигляд

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

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

$A, B$  – температурні коефіцієнти опору;

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

Коефіцієнт перетворення (чутливість) термоопору в діапазоні температур визначається за формулою

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

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

Принцип дії термоелектричних перетворювачів оснований на явищі термоелектричного ефекту Зеебека, суть якого полягає у виникненні термо-ЕРС у колі, що містить два різнорідних провідника або напівпровідника, які мають назву **термоелектроди**, якщо температура місця з'єднання електродів (робочий кінець перетворювача) і температура вільних (холодних) кінців неоднакові. Чу-

тливий елемент термоелектричного перетворювача, тобто пару термоелектродів, має назву *термопара*. Матеріалами термоелектродів термопар є сплави хромелю, копелю, алюмелю, вольфрамренію, платинородію, а також платина, мідь і залізо. Назва термоелектродів визначає назву самого термоперетворювача, наприклад, перетворювач типу ТХА має електроди з хромелю та алюмелю.

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

Розглянемо теоретичні положення щодо визначення похибок вимірювання температури термоопорами.

Похибка,  $\Delta\Theta_x$ , вимірювання температури,  $\Theta_x$ , термоопорами та вторинним приладом (автоматичний міст або цифровий вимірювальний прилад) має такі складові

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

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

Похибка,  $\Delta\Theta_{TP}$ , має дві складові – інструментальну і методичну. Граничне значення похибки  $\Delta\Theta_{TP.гр}$  основної інструментальної похибки термоопору, зумовлене відхиленням його дійсної статичної характеристики перетворення від *номінальних статичних характеристик перетворення* (НСХП), наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Границі допустимих відхилень характеристик перетворення термоопорів від НСХП

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

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

При використанні автоматичного моста граничне значення його основної похибки,  $\Delta\Theta_{ВП.зр}$ , розраховується за формулою

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

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

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

Допустиме значення основної абсолютної похибки,  $\Delta R_{зр}$ , вимірювального моста визначається за виразом

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

де  $R_{норм} = R_{\Theta_K} - R_{\Theta_{П}}$  - нормоване значення опору, яке дорівнює різниці опорів терморезисторів, що відповідають кінцевій,  $\Theta_K$ , та початковій,  $\Theta_{П}$ , температу-

рам, Ом. Значення номінальних статичних характеристик перетворення термоопорів типу ТОП та ТОМ в залежності від температури наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Номінальні статичні характеристики перетворення термоопорів типу ТОП та ТОМ в залежності від температури

$\Theta, ^\circ\text{C}$	-200	0	50	100	200	500	700	900	1000
$R_\Theta,$	Платиновий (ТОП) термоопір								
$O_M$	0,1731	1,000	1,1971	1,3910	1,7703	2,8376	3,4893	4,0933	4,6505
$R_\Theta,$	Мідний (ТОМ) термоопір								
$O_M$	0,1216	1,000	1,2140	1,4280	1,8558	-	-	-	-

Чутливість термоопору,  $S_{TP}$ , визначається за виразом

$$S_{TP} = \left( \frac{\Delta R_\Theta}{\Delta \Theta} \right), \quad (6)$$

де  $\Delta \Theta = \Theta_2 - \Theta_1$  – приріст температури навколо точки  $\Theta_x, ^\circ\text{C}$ ;

$\Delta R = R_{\Theta_1} - R_{\Theta_2}$  – приріст опору термоопору, Ом (визначається за таблицею 2.2).

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

$$\Delta \Theta_{ВП.зр} = \pm \frac{\delta_{ВП.зр} \cdot \Theta_X}{100}. \quad (7)$$

де  $\delta_{ВП.зр}$  – граничне значення відносної похибки цифрового вимірювального приладу

$$\delta_{ВП.зр} = \pm \left[ c + d \left( \frac{\Theta_K}{\Theta_X} - 1 \right) \right]. \quad (8)$$

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

Розглянемо теоретичні положення щодо визначення похибок вимірювання температури термоелектричними термометрами.

Похибка,  $\Delta\Theta_X$ , вимірювання температури,  $\Theta_X$ , за допомогою термопари та вторинного приладу (автоматичний компенсатор або цифровий вимірювальний прилад) має такі складові згідно виразу

$$\Delta\Theta_X = \Delta\Theta_{ТП} + \Delta\Theta_{ТЕП} + \Delta\Theta_{ВП}, \quad (9)$$

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

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

таблиці 2.2 в залежності від номінальних статичних характеристик перетворення (НСХП) термопар.

Таблиця 2.2 – Границі допустимих відхилень характеристик перетворення термоелектричних перетворювачів від НСХП

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

Похибка,  $\Delta\Theta_{ТЕП.зр}$ , зумовлена відхиленням термо-ЕРС термоелектричних проводів від номінального значення, а її граничне значення визначається за виразом

$$\Delta\Theta_{ТЕП.зр} = \pm \frac{\Delta E_{ТЕП.зр}}{S_{ТЕП}}, \quad (10)$$

де  $\Delta E_{ТЕП.зр}$  - границя допустимого відхилення термо-ЕРС термоелектричних проводів від номінального значення статичної характеристики,  $Mb$ . Значення визначається за даними таблиці 2.3.

$S_{ТЕЕ}$  - чутливість термоелектричних проводів,  $Mb/^{\circ}C$ .



Таблиця 2.3 - Технічні характеристики стандартних термоелектричних проводів (ТЕП)

Тип ПВП	Додатковий термоелектрод		Від'ємний термоелектрод		Позначення проводу	Значення термо-ЕРС, $Mb$ , при $\Theta_p = 100^\circ C$ $\Theta_{\text{вiл.кинц.}} = 0^\circ C$	Границя допустимого відхилення, $\Delta E_{TEП.зр}$ , $Mb$
	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	$\pm 0,20$

За даними таблиці 2.3 чутливість термоелектричних проводів,  $S_{TEП}$ , визначається за виразом

$$S_{TEП} = \frac{E_{TEП}}{\Theta_p - \Theta_{\text{вiл.кинц.}}} \quad (11)$$

Похибка показу вторинного приладу,  $\Delta\Theta_{ВП}$ , складається з його основної та додаткових інструментальних похибок. При використанні автоматичного компенсатора граничне значення його основної похибки,  $\Delta\Theta_{ВП.зр}$ , розраховується за формулою

$$\Delta\Theta_{ВП.зр} = \pm \frac{\Delta U_{зр}}{S_{ТП}} \quad (12)$$

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

$S_{ТП}$  - чутливість термоелектричного перетворювача,  $Mb/^\circ C$ .

Допустиме значення основної абсолютної похибки автоматичних компенсаторів,  $\Delta U_{zp}$ , визначається за формулою

$$\Delta U_{zp} = \pm \frac{\gamma \cdot U_{норм}}{100\%}, \quad (13)$$

де  $U_{норм} = |E_{\Theta_K} - E_{\Theta_{II}}|$  – нормоване значення, яке дорівнює різниці термо-ЕРС термоелектричного перетворювача, які відповідають кінцевій,  $\Theta_K$ , та початковій,  $\Theta_{II}$ , температурам діапазону вимірювань компенсатора, *Мв*, за даними таблиці 2.4.

Чутливість термоелектричного перетворювача,  $S_{ТП}$ , визначається за формулою

$$S_{ТП} = \frac{\Delta E_{ТП}}{\Delta \Theta}, \quad (14)$$

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

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

Таблиця 2.4 – НСХП термоелектричних перетворювачів

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

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

$$\Delta\Theta_{ВП.зр} = \pm \frac{\delta_{ВП.зр} \cdot \Theta_X}{100}, \quad (15)$$

де  $\delta_{ВП.зр}$  – граничне значення відносної похибки цифрового вторинного приладу;

$$\delta_{ВП.зр} = \pm \left[ c + d \left( \frac{\Theta_K}{\Theta_X} - 1 \right) \right]. \quad (16)$$

### 3. Програма роботи

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

### 4. Завдання та вихідні дані для розрахунків

#### Завдання 1

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

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

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

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

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

Оцінити похибку вимірювання температури заданим термоопором в комплекті зі вторинним приладом. Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 2.

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

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

## Завдання 2

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

Визначити:

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

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 3.

Результати розрахунків навести в таблицю 4.

Таблиця 3 – Вихідні дані для завдання 2

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

Таблиця 4 – Результати розрахунків

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

## 5. Методичні рекомендації до виконання завдань

1. Для розв'язання завдання 1 (варіанти 1 та 2) необхідно ознайомитись з розв'язанням прикладу 1.

### Приклад 1.

Оцінити похибку вимірювання температури  $\Theta_x = 500 ^\circ C$  за допомогою автоматичного компенсатора КСП2 класу точності 0,5 з діапазоном вимірювання від  $0 ^\circ C$  до плюс  $800 ^\circ C$  в комплекті з термоелектричним перетворювачем (термопарою) типу ТХА класом допуску 2.

*Розв'язання.*

- згідно таблиці 2.2, що наведена в пункті 2 «Основні теоретичні відомості та рекомендації», граничне значення похибки термоелектричного перетворювача (термопари) типу ТХА класу допуску 2 при температурі 500 °С визначається за формулою

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

- граничне значення похибки,  $\Delta\Theta_{ТЕП.зр}$ , термоелектричних проводів перетворювача (термопари) типу ТХА визначається за формулою (10), а саме

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

при цьому, за таблицею 2.3 значення  $\Delta E_{ТЕП}$  дорівнює  $\pm 0,15$  Мв, а значення чутливості термоелектричних проводів визначається за формулою (11) та дорівнює

$$S_{ТЕП} = \frac{E_{ТЕП}}{\Theta_P - \Theta_{вил.кінець}} = \frac{4,10}{100 - 0} = 0,041 \text{ мВ} / ^0 C,$$

тому

$$\Delta\Theta_{ТЕП.зр} = \pm \frac{\Delta E_{ТП.зр}}{S_{ТЕП}} = \pm \frac{0,15}{0,041} = \pm 3,66^0 C;$$

- допустиме значення основної абсолютної похибки компенсатора,  $\Delta U_{зр}$ , визначається за формулою (13) та дорівнює

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

де  $U_{норм}$  – нормоване значення визначається за даними таблиці 2.4 та дорівнює

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

- чутливість термоелектричного перетворювача,  $S_{ТП}$ , визначається за даними таблиці 2.4, за формулою (14) та дорівнює

$$S_{ТП} = \left( \frac{\Delta E_{ТП}}{\Delta \Theta} \right) = \frac{E_{600} - E_{400}}{600 - 400} = \frac{24,902 - 16,395}{200} = 0,0425 \text{ МВ/}^{\circ}\text{С}.$$

- граничне значення похибки,  $\Delta \Theta_{ВП.зр}$ , автоматичного компенсатора буде дорівнювати

$$\Delta \Theta_{ВП.зр} = \pm \frac{\Delta U_{зр}}{S_{ТП}} = \frac{0,166}{0,0425} = \pm 3,9 \text{ }^{\circ}\text{С}.$$

- результуюча похибка,  $\Delta \Theta_{Х.зр}$ , вимірювання температури  $\Theta_X = 500 \text{ }^{\circ}\text{С}$  визначається за формулою (9) та дорівнює

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

2. Для розв'язання завдання 1 (варіанти 3...5) необхідно ознайомитись з розв'язанням прикладу 1, при цьому в умові зазначено, що у якості вторинного приладу застосовується цифровий вторинний прилад. Тому для визначення граничного значення похибки цифрового вторинного приладу,  $\Delta \Theta_{ВП.зр}$ , необхідно використовувати вирази (15) та (16), а саме

$$\Delta \Theta_{ВП.зр} = \pm \frac{\delta_{ВП.зр} \cdot \Theta_X}{100};$$

$$\delta_{ВП.зр} = \pm \left[ c + d \left( \frac{\Theta_K}{\Theta_X} - 1 \right) \right].$$

3. Для розв'язання завдання 1 (варіанти 8...10) необхідно ознайомитись з розв'язанням прикладу 2.

**Приклад 2.** Оцінити похибку вимірювання температури  $\Theta_X = 700 \text{ }^{\circ}\text{С}$  за допомогою цифрового вимірювального приладу типу ЦР7701-05 класу точності 0,1/0,05 з діапазоном вимірювання від мінус  $50 \text{ }^{\circ}\text{С}$  до плюс  $1000 \text{ }^{\circ}\text{С}$  в комплекті з платиновим термоопором класом допуску В.

### Розв'язання

- згідно таблиці 2.1, що наведена в пункті 2 «Основні теоретичні відомості та рекомендації», граничне значення похибки термоопору ТОП класу допуску В при температурі 700 °С визначається за формулою

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

- граничне значення похибки  $\Delta\Theta_{ВП.зр}$  цифрового приладу обчислюється за формулою

$$\Delta\Theta_{ВП.зр} = \pm \frac{\delta_{ВП.зр} \cdot \Theta_X}{100},$$

при цьому

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

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

- результуюча похибка,  $\Delta\Theta_{X.зр}$ , вимірювання температури  $\Theta_X = 700^{\circ}C$  розраховується та дорівнює  $\Delta\Theta_{X.зр} = \pm(\Delta\Theta_{ТО.зр} + \Delta\Theta_{ВП.зр}) = \pm(3,9 + 1,2) = \pm 5,1^{\circ}C$ .

4. Для розв'язання завдання 1 (варіанти 6 та 7) необхідно ознайомитись з прикладом 2, при цьому в умові зазначено, що у якості вторинного приладу застосовується автоматичний вимірювальний міст. Тому для визначення граничного значення похибки автоматичного вимірювального моста,  $\Delta\Theta_{ВП.зр}$ , необхідно використовувати вирази (4)...(6), а саме

$$\Delta\Theta_{ВП.зр} = \pm \frac{\Delta R_{зр}}{S_{ТО}};$$

$$\Delta R_{зр} = \pm \frac{\gamma \cdot R_{норм}}{100\%},$$



де  $R_{\text{норм}} = R_{\Theta_K} - R_{\Theta_{II}}$  – нормоване значення опору, яке визначається за даними таблиці 2.2.

$$S_{TO} = \left( \frac{\Delta R_{\Theta}}{\Delta \Theta} \right),$$

де  $\Delta \Theta = \Theta_2 - \Theta_1$  – приріст температури навколо точки  $\Theta_x$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta R = R_{\Theta_1} - R_{\Theta_2}$  – приріст опору терморезистора,  $\text{Ом}$  (визначається за таблицею 2.2).

5. Для розв’язання завдання 3 необхідно використовувати вирази, що описують характеристики градуювання термоопорів, а саме  
- для мідних термоопорів характеристика градуювання має вигляд

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

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

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

- для платинових термоопорів характеристика градуювання має вигляд

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

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

$A, B$  – температурні коефіцієнти опору;

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

## Практичне заняття 9

### ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН ЕЛЕКТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Мета: набуття практичних навичок при розв'язанні практичних задач за темою «Вимірювання неелектричних величин електричними методами».

#### **1.1. Методичні рекомендації та завдання для самостійної підготовки до роботи**

##### **1.1 Завдання для самостійної підготовки**

*Вивчити:*

- загальні положення вимірювань неелектричних величин електричними методами;
- означення «параметричні вимірювальні перетворювачі», «генераторні вимірювальні перетворювачі»,
- явища, які є основою принципу дії параметричних вимірювальних перетворювачів;
- явища, які є основою принципу дії генераторних вимірювальних перетворювачів;
- суть методів вимірювання механічних величин та рівня речовин;
- суть методів вимірювання витрати рідин і газів [1, с.121-143, 2, с.219-253, 3, с.448-498, 4, с.330-359, 5, с.88-98].

*Ознайомитись з:* прикладами розв'язання типових практичних завдань, що наведені в пункті 5 роботи.

##### **1.2 Запитання для самопідготовки**

1. Охарактеризуйте загальні положення вимірювань неелектричних величин електричними засобами.

2. Які вимірювальні перетворювачі неелектричних величин є параметричними?

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

4. Які вимірювальні перетворювачі неелектричних величин є генераторними?

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

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

7. Розкрийте суть методів та охарактеризуйте засоби вимірювання температури.

8. Розкрийте суть методів та охарактеризуйте засоби вимірювання витрати рідин і газів.

### **1.3 Рекомендована література**

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

2. Нестерчук Д.М. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: конспект лекцій / Д.М. Нестерчук. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 256 с.

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

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

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

## 2. Основні теоретичні відомості та рекомендації

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

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

Це зумовлює наявність *первинного вимірювального перетворювача (ПВП)* в структурі засобу вимірювання неелектричних величин, що здійснює попереднє перетворення досліджуваної неелектричної величини у функціонально пов'язану з нею електричну величину, *вторинного вимірювального приладу (ВВП)*, а також *пристроїв їх спряження* – лінії зв'язку вимірювальні підсилювачі, пристрої гальванічної розв'язки вимірювальних кіл, пристрої коригування похибок.

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

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

Узагальнена структурна схема електричного приладу для вимірювань неелектричних величин наведена на рисунку 2.1.

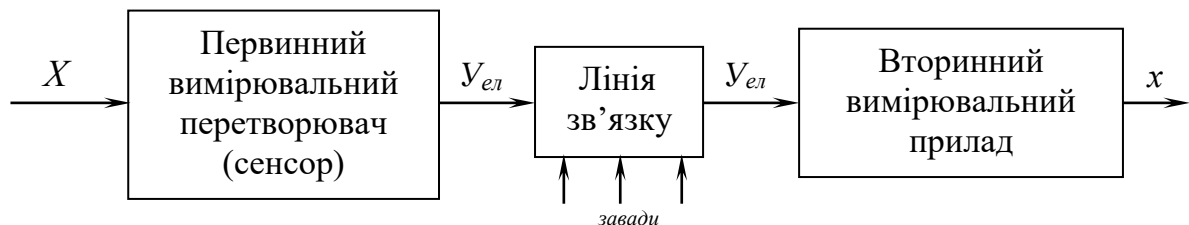


Рисунок 2.1 – Узагальнена структурна схема електричного приладу для вимірювання неелектричних величин

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

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

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

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

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

*Висновок:* вимірювання неелектричних величин фактично зводиться до вимірювання електричних величин: струму, напруги, ЕРС, опору, ємності, індуктивності, частоти, інтервалу часу, фази, з якими вимірювані неелектричні величини пов'язані відомими функціональними залежностями. Електричні величини вимірюють аналоговими і цифровими вторинними вимірювальними приладами. У ВВП над електричним сигналом може здійснюватись додаткові операції: підсилення до необхідного рівня, лінеаризація функції перетворення і корекція похибок ПВП та реєстрація. Важливою задачею при вимірюваннях неелектричних величин є передача інформації від ПВП до ВВП по лінії зв'язку, на яку впливають завади і можуть внести істотну похибку в результат вимірювання. В самій ЛЗ виникають втрати вимірювальної інформації. При малих рівнях вихідних сигналів ПВП прилад містить вимірювальні підсилювачі, які можуть бути суміщені з перетворювачами. При передачі сигналів на значні відстані (до десятків та до сотень кілометрів) використовуються телевимірювальні інформаційні системи.

### 3. Програма роботи

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

### 4. Завдання та вихідні дані для розрахунків

#### Завдання 1

**Умова:** Розрахувати та побудувати залежності (більш, ніж 5 точок) сили струму,  $I$ ,  $mA$ , та чутливості,  $S$ ,  $n\Phi/mm$ , ємнісного перетворювача переміщення від зміни величини повітряного зазору,  $\delta$ , який змінюється в діапазоні  $0,2...2$   $mm$  під дією неелектричної величини – лінійного переміщення  $x$ .

Схема підключення ємнісного перетворювача до кола змінного струму наведена на рисунку 1.

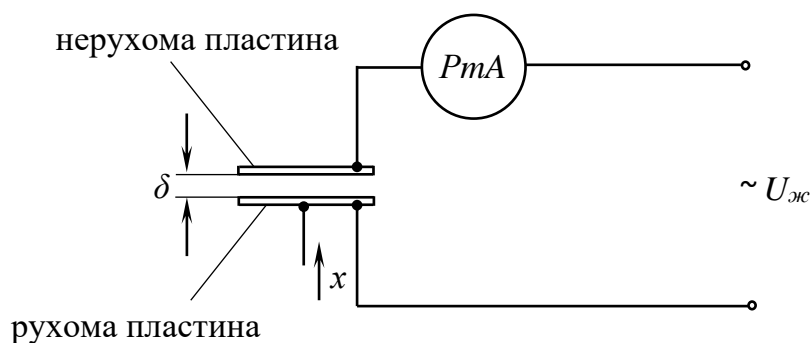


Рисунок 1 – Схема підключення ємнісного перетворювача до кола змінного струму

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

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для виконання завдання 1

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

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

Таблиця 2 – Результати розрахунків

Варіант	$\delta, мм$	$I, мF$	$S, нФ/мм$
1	0,2		
	0,4		
	0,6		
	0,8		
	1,0		
	1,4		
	1,8		
	2,0		



## Завдання 2

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

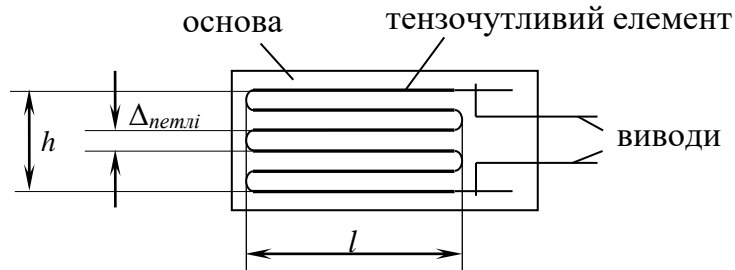


Рисунок 2 – Конструкція тензоперетворювача

Визначити параметри тензоперетворювача:

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

Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Вихідні дані для виконання завдання

Варіант	Опір навантаження, $R_H, \text{кОм}$	Розміри перетворювача, мм			Питома площа поверхні охолодження, $S_{\text{шт}}, \text{см}^2/\text{Вт}$	Кількість активних плечей моста, $K$
		$h$	$l$	$d$		
1	2,0	6,9	10	0,03	2	1
2	2,2	7,5			5	
3	2,5	8,1			2	2
4	2,1	8,7			5	
5	2,6	9,3			2	4
6	2,7	10,5	5			
7	3,2	11,1	15	0,05	2	2
8	3,0	7,9			5	
9	3,7	9,1			2	4
10	4,0	9,5			5	

Результати розрахунків навести в таблиці 4.

Таблиця 4 – Результати розрахунків

Варіант	$\Delta_{\text{нетлі}}, \text{мм}$	$S, \text{м}^2$	$R_{\text{ТП}}, \text{Ом}$	$U, \text{В}$	$K_M$	$P, \text{Вт}$
1						

### Завдання 3

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

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

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

## 5. Методичні рекомендації до виконання завдань

1. Для розв'язання завдання 1 необхідно ознайомитись з розв'язанням прикладу 1.

### Приклад 1.

**Умова:** Розрахуйте силу струму та чутливість ємнісного перетворювача для вимірювання механічних величин, якщо повітряний зазор  $\delta_3$  між рухомим та нерухомим електродами дорівнює 1 мм, площа електродів  $F$  перетворювача дорівнює  $250 \text{ см}^2$ , діелектрична постійна повітря  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ .

Обґрунтуйте вплив на струм ємнісного перетворювача частоти  $f = 50 \text{ кГц}$  напруги мережі живлення, якщо  $U = 127 \text{ В}$ .

*Розв'язання.*

1. Струм, що протікає через перетворювач, визначається за виразом та дорівнює

$$I = 2\pi \cdot f \cdot U \cdot C, \quad (1)$$

де  $C$  – ємність перетворювача,  $\Phi$ ;

так як

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot F}{\delta_3}, \quad (2)$$

тоді

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

2. Чутливість ємнісного перетворювача визначається за виразом та дорівнює

$$S = \frac{C}{\delta} = \frac{\varepsilon_0 \cdot F}{\delta^2}; \quad (3)$$

$$S = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,025}{(1 \cdot 10^{-3})^2} = 221 n\Phi / \text{мм}$$

2. Для розв'язання завдання 1 необхідно ознайомитись з розв'язанням прикладу 2.

### Приклад 2.

**Умова:** Розрахуйте параметри тензоперетворювача для вимірювання механічних величин, який виконаний з константової проволочки діаметром,  $d$ , з довжиною,  $l$ , та шириною,  $h$ .

Визначити параметри тензоперетворювача:

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

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

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

Визначення параметрів тензоперетворювача:

1. Кількість петель перетворювача дорівнює

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

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

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

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

3. Напряга живлення мостової схеми:

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

4. Статична чутливість моста  $K_M$  дорівнює

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

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

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

# МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО КОНТРОЛЬНИХ ЗАХОДІВ

## Загальні положення

Під час проведення практичних занять перевіряються знання студентів та рівня їх підготовки, при цьому виставляється оцінка за:

- систематичність та активність роботи;
- самостійну роботу студентів, яка є невід'ємною частиною матеріалу, який вивчається на аудиторному занятті.

За умов не виконання змісту практичного занять студент зобов'язаний його відпрацювати під керівництвом викладача та захистити у час, який передбачений графіком консультацій викладача.

Поточний контроль здійснюється на кожному практичному занятті у вигляді тестового контролю за темою заняття та практичного письмового контролю.

За підсумками поточного контролю за змістовий модуль 1 та змістовий модуль 2 студент отримує по 15 балів відповідно. Результати поточного контролю відображаються в електронному журналі обліку успішності студентів з навчальної дисципліни.

Контроль самостійної роботи студента (СРС) здійснюється на кожному практичному занятті методом тестового контролю, так за СРС1 студент отримує 10 балів, за СРС2 - 10 балів.

Підсумковий модульний контроль 1 (ПМК1) та підсумковий модульний контроль 2 (ПМК2) є складовими кредитно-модульної системи організації навчального процесу, завданням яких є контроль й оцінювання знань та умінь, а також практичних навичок, набутих під час вивчення відповідних змістових модулів (ЗМ1 та ЗМ2) дисципліни. За ПМК1 та ПМК2 студент отримує по 10 балів.

Вивчення навчальної дисципліни завершується екзаменом (кількість балів 30), який проводиться у письмовій формі з усним поясненням за завданнями екзаменаційного білету, після чого визначається остаточна оцінка за складання екзамену, загальна максимальна кількість балів за семестр - 100.

### Контрольні тести для самоаналізу

#### 1. Тести до практичного заняття

#### за темою «Вивчення класифікації засобів вимірювань та принципів маркування приладів»

1. Складіть логічні пари.

Якими літерами позначаються прилади за родом вимірюваної величини? {

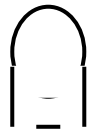
- |                  |      |
|------------------|------|
| 1.мікроамперметр | 5.μA |
| 2.частотомір     | 6.Hz |
| 3.ватметр        | 7.MΩ |
| 4.мегаомметр     | 8.W  |

3. Складіть логічні пари.

Якими літерами позначаються тип, назва приладу та спосіб створення обертального моменту електромеханічного вимірювального приладу? {

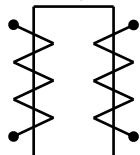
- |                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 1.магнітоелектричний          | 5.И |
| 2.електромагнітний            | 6.Д |
| 3.електро – та феродинамічний | 7.Э |
| 4.індукційний                 | 8.М |

4.Оберіть вірне найменування умовного позначення на шкалі приладу



- 1.електродинамічний прилад
- 2.електромагнітний прилад
- 3.феродинамічний прилад
- 4.магнітоелектричний прилад

5.Оберіть вірне найменування умовного позначення на шкалі приладу



- 1.електромагнітний логометр
- 2.феродинамічний логометр
- 3.магнітоелектричний логометр
- 4.індукційний прилад

6.Оберіть вірне найменування умовного позначення на шкалі приладу



- 1.трифазний змінний струм
- 2.постійний струм
- 3.однофазний змінний струм
- 4.клас точності приладу

7. Оберіть вірне найменування умовного позначення на шкалі приладу



- 1.напруга випробування 0,5 кВ
- 2.прилад випробуванню міцності ізоляції не підлягає
- 3.напруга випробування 4 кВ
- 4.напруга випробування 2 кВ

8. Складіть логічні пари відповідності фізичної величини та електровимірювального приладу, який її вимірює.

- |                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| 1.магнітна індукція     | 6.фарадомір      |
| 2.коефіцієнт потужності | 7.ампервольтметр |
| 3.струм та напруга      | 8.варметр        |
| 4.ємність               | 9.тесламетр      |
| 5.реактивна потужність  | 10.фазометр      |

9. Оберіть вірне найменування умовного позначення на шкалі приладу



- 1.феродинамічний механізм логометричний
- 2.електродинамічний механізм логометричний
- 3.електромагнітний механізм логометричний
- 4.магнітоелектричний механізм логометричний

10.Складіть логічні пари відповідності електровимірювального приладу та його умовного літерного позначення.

- |                           |       |
|---------------------------|-------|
| 1.кілоамперметр           | 6.Э   |
| 2.електромагнітний прилад | 7.кА  |
| 3.мілітесламетр           | 8.mT  |
| 4.омметр                  | 9.Ω   |
| 5.мілівольтметр           | 10.mV |



## 2. Тести до практичного заняття за темою

### «Вивчення метрологічних характеристик аналогових вимірювальних приладів»

1. Які характеристики засобів вимірювальної техніки є метрологічними? {

1. характеристики, які впливають на результат та точність вимірювання
2. характеристики, які відображають властивості та функціонування засобів вимірювальної техніки
3. характеристики, які описують функціональний взаємозв'язок між вихідною та вхідною фізичними величинами
4. характеристики, за якими оцінюють точність засобів вимірювальної техніки

2. Що таке стала вимірювального приладу?

1. це різниця значень вимірюваної величини, що відповідає відстані між двома найближчими позначками шкали
2. це інтервал значень вимірюваної величини, який обмежений початковим і кінцевим значеннями шкали приладу
3. це найбільше число, яке можна зчитати з пристрою відліку
4. це відношення границі вимірювання приладу або максимального значення багатозначної міри до максимального показу приладу }

3. Доповніть відповідь.

Здатність засобу вимірювальної техніки зберігати свої характеристики у заданих межах за певних умов експлуатації упродовж заданого часу має назву ...

1. роботоздатність засобу вимірювальної техніки
2. економічність засобу вимірювальної техніки
3. відмова засобу вимірювальної техніки
4. надійність засобу вимірювальної техніки

4. Визначити сталу вольтметра, В/поділку, з границею вимірювання 600 В і з максимальним відліком 150.

1. 150
2. 600
3. 4,0
4. 0,25

5. Визначити величину чутливості амперметра, поділка/А, з границею вимірювання 10 А і з максимальним відліком 100.

1. 10
2. 0,1
3. 10
4. 100

6. Визначити показ ватметра, Вт, стала якого дорівнює 5 Вт/поділку, якщо за положенням стрілочного покажчика на шкалі встановлено, що відлік дорівнює 70.

1. 350
2. 70
3. 0,2
4. 5

7. Визначити показ омметра, Ом, границя вимірювання якого дорівнює 30 Ом, максимальний відлік – 15, при вимірюваннях стрілочний покажчик зупинився на позначці шкали «11».

1. 30
2. 2,0
3. 22
4. 0,5

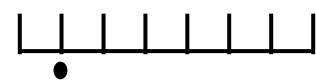
8. Яку назву має значення вимірюваної величини, яке відтворене шкалою вимірювального приладу і подане сигналом вимірювальної інформації?

1. максимальний показ приладу
2. показ вимірювального приладу
3. відлік
4. границя вимірювань приладу

9. Мікрофарадомір має такі метрологічні характеристики: верхня границя вимірювання ємності дорівнює 1,0 та 2,0  $\mu\text{F}$ , максимальний відлік за шкалою приладу дорівнює 100 поділок, клас точності – 1,0.

0 20 100

Загальний вид шкали приладу наведена на рисунку.



Визначити показ приладу,  $\mu\text{F}$ , якщо відлік за шкалою дорівнює 95 поділок, при цьому верхня границя вимірювання ємності дорівнює 2,0  $\mu\text{F}$ .

1. 1,9
2. 2,0
3. 0,5
4. 1,0

10. Верхня границя мілівеберметра дорівнює 10 мВб, максимальний відлік за шкалою приладу дорівнює 100 поділок, клас точності – 2,5.

Визначити максимальну можливу абсолютну похибку приладу, мВб.

1. 2,5
2. 10
3. 0,25
4. 0,1

### **3. Тести до практичного заняття за темою**

#### **«Розрахунок похибок вимірювань»**

1. Що таке відхилення результату вимірювання від істинного (дійсного) значення вимірюваної величини?

1. точність вимірювання
2. результат вимірювання
3. відносна похибка
4. похибка вимірювання

2. Визначити величину похибки процесу вимірювання температури, якщо результат вимірювання дорівнює  $37,1^{\circ}\text{C}$ , істинне значення дорівнює  $37,4^{\circ}\text{C}$  {

1. плюс  $0,3^{\circ}\text{C}$
2.  $37,4^{\circ}\text{C}$
3. мінус  $0,3^{\circ}\text{C}$
4.  $37,1$

3. Визначити величину похибки процесу вимірювання частоти цифровим частотоміром, якщо результат вимірювання дорівнює 49,8 Гц, дійсне значення дорівнює 50 Гц.

1. мінус 0,2 Гц
2. 50 Гц
3. плюс 0,2 Гц
4. 0 Гц

4. Що таке складова похибки, що не прогнозовано (випадково) змінюється у ряді вимірювань однієї й тієї ж величини?

1. систематична похибка
2. випадкова похибка
3. відносна похибка
4. інструментальна похибка

5. Що таке абсолютна похибка вимірювань?

1. це різниця між результатом вимірювання та істинним значенням вимірюваної величини
2. це відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірювальної величини
3. це значення, яке ідеальним чином відображає властивість даного об'єкту, як в кількісному, так й якісному відношенні
4. це приблизна оцінка істинного значення величини, яка знайдена шляхом вимірювання

6. Яка похибка є відносною похибкою?

1. така похибка, яка дорівнює різниці між результатом вимірювання та істинним значенням вимірювальної величини
2. це значення, яке знайдене експериментально та настільки наближене до істинного, що для даної цілі воно може бути використане замість нього
3. це приблизна оцінка істинного значення величини, яка знайдена шляхом вимірювання
4. така похибка, яка дорівнює відношенню абсолютної похибки до виміряного значення та виражена у відсотках

7. Визначити, в якому випадку буде досягнута вища точність вимірювання струму 2,5 А, якщо для вимірювання використовувались два аналогові амперметри: РА1 класу точності 0,5 з границею вимірювання 5,0 А, РА2 класу точності 0,1 з границею вимірювання 10 А.

1. при застосуванні обох амперметрів
2. при застосуванні першого амперметра
3. при застосуванні другого амперметра
4. при застосуванні цифрового амперметра

8. Доповніть вислів.

При виявленні систематичних похибок на основі аналізу нормованих метрологічних характеристик ЗВТ та умов вимірювань можна встановити причини і рівень ..... похибок.

1. прогресуючих
2. регулярних
3. інструментальних
4. методичних

9. Оберіть дві вірні відповіді.

Визначити величини абсолютної та відносної похибок вимірювань сили струму, якщо результат вимірювання струму дорівнює 10,5 мА, істинне значення струму дорівнює 10,3 мА

1. плюс 0,2 мА
2. 1,9%
3. мінус 0,2 мА
4. 1,85%

10. Яку назву має складова похибки, що залишається сталою або прогнозовано змінюється у ряді вимірювань однієї й тієї ж величини? {

1. систематична похибка
2. випадкова похибка
3. відносна похибка
4. інструментальна похибка

#### 4. Тести до практичного заняття за темою

##### «Вивчення способів розширення границь вимірювань приладів»

1. Яку назву має резистивний вимірювальний перетворювач, який призначений для розширення меж вимірювання магнітоелектричних приладів за струмом?

1. вимірювальний трансформатор напруги
2. вимірювальний трансформатор струму
3. додатковий резистор
4. шунт

2. За яким аналітичним виразом визначається опір однограничного шунта?

1. 
$$k_{IH} = \frac{I_{1H}}{I_{2H}}$$

2. 
$$R_o = R_{PV} \cdot \left( \frac{U_{вим}}{U_{К.PV}} - 1 \right) = R_{PV} \cdot (n - 1)$$

3. 
$$R_{ш1} = R_{PA} \cdot \frac{p_1}{p_1 - 1} \cdot \left( \frac{1}{p_1} - \frac{1}{p_2} \right); R_{ш2} = R \cdot \frac{p_1}{(p_1 - 1) \cdot p_2}$$

4. 
$$R_{ш} = \frac{R_{PA}}{\frac{I_{вим}}{I_{К.PA}} - 1} = \frac{R_{PA}}{p - 1}$$

3. Який резистивний вимірювальний перетворювач напруги в струм призначений для розширення меж вимірювань за напругою вольтметрів магнітоелектричної, електромагнітної та електродинамічної систем, а також приладів, що мають кола напруги: ватметрів, фазометрів?

1. вимірювальний трансформатор напруги
2. вимірювальний трансформатор струму
3. додатковий резистор
4. шунт

4. За яким аналітичним виразом визначається опір однограничного додаткового резистора?

$$1. k_{IH} = \frac{I_{1H}}{I_{2H}}$$

$$2. R_{\delta} = R_{PV} \cdot \left( \frac{U_{вим}}{U_{К.PV}} - 1 \right) = R_{PV} \cdot (n - 1)$$

$$3. R_{ш1} = R_{PA} \cdot \frac{p_1}{p_1 - 1} \cdot \left( \frac{1}{p_1} - \frac{1}{p_2} \right); R_{ш2} = R \cdot \frac{p_1}{(p_1 - 1) \cdot p_2}$$

$$4. R_{ш} = \frac{R_{PA}}{\frac{I_{вим}}{I_{К.PA}} - 1} = \frac{R_{PA}}{p - 1}$$

5. Оберіть дві вірні відповіді.

Електродинамічний ватметр має такі метрологічні характеристики:

- границя вимірювання за напругою 75 В; границя вимірювання за струмом 5 А;
- внутрішній опір обмотки напруги ватметра 10 кОм;
- внутрішній опір обмотки струму ватметра 0,015 Ом.

Визначити величини опорів, Ом, додаткового резистора та шунта для розширення границі вимірювання ватметра за напругою в 8 разів, а границі вимірювання за струмом в 2 рази. {

1. 0,015
2. 80
3. 0,0075
4. 70

6. Масштабний вимірювальний перетворювач, призначений для перетворення вимірюваних струмів в стандартні і, як наслідок, для розширення границь вимі-

рювання амперметра, обмотки струму ватметра, індукційного лічильника та фазометра на змінному струмі, має назву ...

1. додатковий резистор
2. вимірювальний трансформатор напруги
3. шунт
4. вимірювальний трансформатор струму

7. В яких умовах працює вимірювальний трансформатор струму?

1. в умовах, які наближені до холостого ходу
2. в умовах перенавантаження
3. в умовах, які наближені до короткого замикання
4. в звичайних умовах

8. Як аналітично визначається номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора струму?

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

2. 
$$K_I = \frac{I_1}{I_2}$$

3. 
$$K_{IH} = \frac{I_{1H}}{I_{2H}} \approx \frac{w_1}{w_2}$$

4. 
$$K_I = \frac{w_1}{w_2}$$

9. Чому повинна дорівнювати величина сили струму в однофазному колі змінного струму, якщо амперметр до кола включений через вимірювальний трансформатор струму 10/5, а показ приладу дорівнює 4,0 А?

1. 5 А
2. 10 А
3. 8 А
4. 2 А

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

1. стандартний ряд номінальних первинних струмів вимірювальних трансформаторів струмів
2. номінальний вторинний струм вимірювальних трансформаторів струмів
3. клас точності приладу
4. стандартний ряд номінальних первинних струмів вимірювальних трансформаторів напруги

11. В яких умовах працює вимірювальний трансформатор напруги?

1. в умовах, які наближені до холостого ходу
2. в умовах перенавантаження
3. в звичайних умовах
4. в умовах, які наближені до короткого замикання

12. Доповніть відповідь.

Масштабний вимірювальний перетворювач, який застосовують для розширення границь вимірювань за напругою вольтметрів, обмоток напруги ватметрів, лічильників електричної енергії, фазометрів на змінному струмі, має назву ...

1. додатковий резистор
2. вимірювальний трансформатор напруги
3. вимірювальний трансформатор струму
4. шунт

13. Як аналітично визначається номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора напруги?

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

$$2. K_I = \frac{I_1}{I_2}$$

$$3. K_I = \frac{w_1}{w_2}$$

$$4. K_{IH} = \frac{I_{1H}}{I_{2H}} \approx \frac{w_1}{w_2}$$

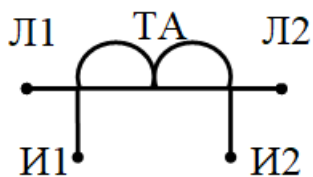
14. До однофазного кола змінного струму через вимірювальні трансформатори струму 10/5 і напруги 500/100 підключений феродинамічний ватметр з грани-



цею вимірювання за струмом 5 А та з границею вимірювання за напругою 300 В, зі шкалою на 150 поділок. Визначити активну потужність, кВт, однофазного кола змінного струму, якщо показ приладу дорівнює «70».

1. 7,0
2. 0,7
3. 0,5
4. 1,4

15. Що зображене на рисунку?



1. позначення вимірювального трансформатора напруги на схемах електричних принципів
2. позначення шунта на схемах електричних принципів
3. позначення вимірювального трансформатора струму на схемах електричних принципів
4. позначення додаткового резистора на схемах електричних принципів

16. Яку назву має наведений чисельний ряд 100; 127; 150; 220; 380; 500; 1000; 2000; 3000; ... 750000 В?

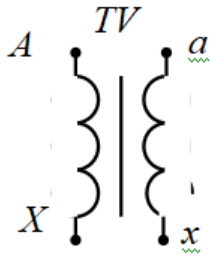
1. стандартний ряд номінальних первинних струмів вимірювальних трансформаторів струмів
2. номінальний вторинний струм вимірювальних трансформаторів струмів
3. клас точності приладу
4. стандартний ряд номінальних первинних струмів вимірювальних трансформаторів напруги

17. Оберіть дві вірні відповіді.

Визначити номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора напруги та очікуване показання вольтметра у вторинному колі при вимірюванні напруги, якщо її орієнтовне значення дорівнює 490 В.

1. 500/100
2. 98 В
3. 2450
4. 1000/100

18. Що зображено на рисунку?



1. позначення вимірювального трансформатора напруги на схемах електричних принципів
2. позначення шунта на схемах електричних принципів
3. позначення вимірювального трансформатора струму на схемах електричних принципів
4. позначення додаткового резистора на схемах електричних принципів

**5. Тести до практичного заняття за темою**  
**«Вивчення метрологічних характеристик цифрових**  
**вимірювальних приладів»**

1. Яку назву мають прилади, в яких під час вимірювання здійснюється автоматичне перетворення неперервної вимірюваної величини в дискретну з подальшою індикацією результату вимірювання у цифровій формі?
  1. аналогові вимірювальні прилади
  2. електронні вимірювальні прилади
  3. цифрові вимірювальні прилади
  4. вторинні вимірювальні прилади
2. Які вимірювальні перетворювачі призначені для автоматичного перетворення неперервної вимірюваної величини аналогового сигналу в пропорційну їй дискретну величину у вигляді цифрового коду?
  1. вхідний аналоговий перетворювач
  2. інтерфейс
  3. цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП)
  4. аналого-цифровий перетворювач (АЦП)
3. Які вимірювальні перетворювачі призначені для перетворення цифрового коду в аналогову величину?
  1. цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП)
  2. обчислювальний пристрій (ОП)

3. інтерфейс

4. аналого-цифровий перетворювач (АЦП)

4. Які вимірювальні перетворювачі призначені для автоматичного перетворення неперервної вимірюваної величини аналогового сигналу в пропорційну їй дискретну величину у вигляді цифрового коду?

1. вхідний аналоговий перетворювач

2. інтерфейс

3. цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП)

4. аналого-цифровий перетворювач (АЦП)

5. Що таке заміна неперервної у часі величини її окремими вибірками, взятими в певні моменти часу в цифровому вимірювальному приладі?

1. дискретизація сигналу

2. квантування сигналу

3. кодування результату вимірювання

4. цифрове кодування

6. Доповніть відповідь.

При роботі цифрового вимірювального приладу здійснюється заміна неперервних значень сигналу або ..... в області його інтенсивності (рівня) квантованими (дозволенними) значеннями.

1. дискретизація сигналу

2. квантування сигналу

3. кодування результату вимірювання

4. цифрове кодування

7. Яку назву має сталий часовий інтервал між почерговими вимірюваннями сигналу під час дискретизації?

1. інтервал часу аналого-цифрового перетворення сигналу

2. період дискретизації сигналу

3. кодування результату вимірювання

4. цифровий код

8. Що таке операція подання результату аналого-цифрового перетворення за допомогою сукупності (кодових) символів вибраного алфавіту (системи числення), що здійснюється за однозначними правилами?

1. дискретизація сигналу
2. квантування сигналу
3. кодування
4. вимірювання
9. Доповніть відповідь.

9. Сукупність правил, які встановлюють значення кожного елемента залежно від його місця у кодовій комбінації та її довжини - це .....

1. тетрада
2. нормальний код
3. цифровий код
4. інтерфейс

10. За яким аналітичним виразом визначається відносна похибка цифрового вимірювального приладу?

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

$$2. \Delta X_{ep} = \pm \frac{d \cdot X_K + (c - d) \cdot X_{вим}}{100\%}$$

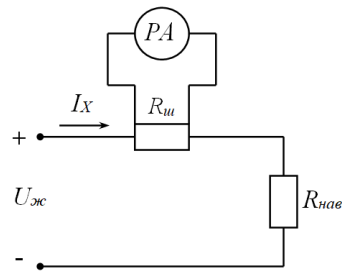
$$3. \delta_X = \pm \gamma_{ep} \cdot \frac{X_K}{X_{вим}}$$

$$4. \Delta_{3B} = X_{3B} - X_I$$

## 6. Тести до практичного заняття за темою

### «Дослідження методів вимірювання електричних величин»

1. Яке вимірювання характеризує наведений аналітичний вираз  $I_X = I_{PA} = C_{PA} \cdot N_{PA}$ ?
1. пряме вимірювання струму аналоговим амперметром
  2. опосередковане вимірювання струму аналоговим амперметром
  3. пряме вимірювання напруги аналоговим вольтметром
  4. вимірювання струму компенсаторами постійного струму



2. Оберіть вірне найменування наведеної схеми

1. схема прямого вимірювання постійного струму амперметром
2. схема вимірювання постійного струму амперметром із зовнішнім шунтом
3. схема прямого вимірювання напруги вольтметром
4. схема вимірювання напруги вольтметром із зовнішнім додатковим резистором

3. Яке вимірювання характеризує наведений аналітичний вираз  

$$U_X = U_{PA} \cdot n = C_{PV} \cdot n \cdot N_{PV} \text{ ?}$$

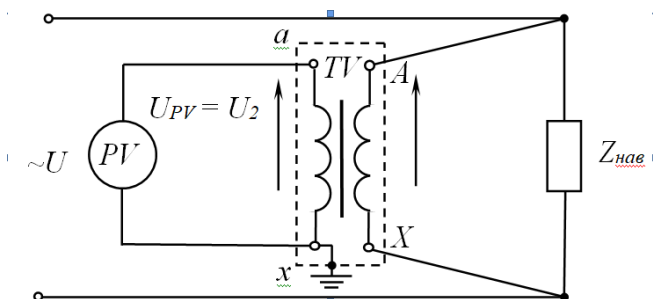
1. пряме вимірювання напруги аналоговим вольтметром
2. опосередковане вимірювання струму аналоговим амперметром
3. пряме вимірювання напруги аналоговим вольтметром
4. вимірювання напруги вольтметром із зовнішнім додатковим резистором

4. Яке вимірювання характеризує наведений аналітичний вираз  

$$I_X = I_{PA} \cdot k_{IH} = I_{PA} \cdot \frac{I_{1H}}{I_{2H}} \text{ ?}$$

1. пряме вимірювання струму аналоговим амперметром
2. опосередковане вимірювання струму аналоговим амперметром
3. вимірювання струму однофазному колі змінного струму аналоговим амперметром із вимірювальним трансформатором струму
4. вимірювання струму амперметром із зовнішнім шунтом

5. Яке призначення наведеної схеми?



1. вимірювання струму аналоговим амперметром
2. вимірювання напруги аналоговим амперметром

3. вимірювання струму однофазному колі змінного струму аналоговим амперметром із вимірювальним трансформатором струму
4. вимірювання напруги в однофазному колі змінного струму вольтметром із вимірювальним трансформатором напруги

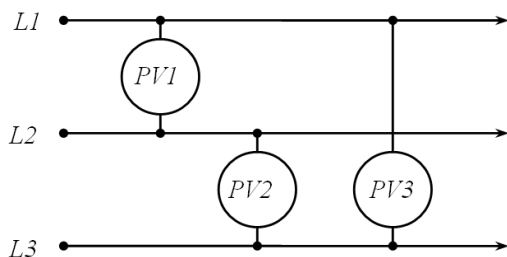
6. Який метод вимірювання необхідно обрати для вимірювання лінійних струмів в трифазному трипровідному колі змінного струму при симетричному характері навантаженні?

1. метод одного амперметра
2. метод трьох амперметрів
3. метод двох амперметрів
4. метод трьох амперметрів, які включені через два вимірювальних трансформатора струму

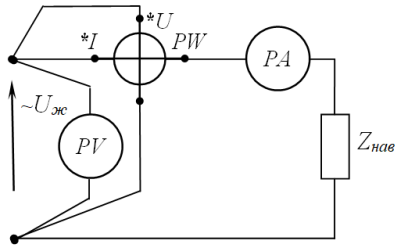
7. Який метод вимірювання необхідно обрати для вимірювання лінійної напруги в трифазному три провідному колі змінного струму при несиметричному навантаженні?

1. метод трьох вольтметрів
2. метод одного вольтметра
3. метод двох вольтметрів
4. метод трьох вольтметрів, які включені через два вимірювальних трансформатора напруги

9. Поясніть призначення методу вимірювання напруги за допомогою трьох вольтметрів, які включені за такою схемою



1. схема вимірювання лінійної напруги в трифазному трипровідному колі при несиметричному характері споживачів
2. схема вимірювання фазної напруги в трифазному трипровідному колі при несиметричному характері споживачів
3. схема вимірювання лінійної напруги при симетричному характері споживачів
4. схема вимірювання лінійних струмів в трифазному трипровідному колі при несиметричному характері споживачів



10. Яке призначення наведеної схеми?

1. опосередковане вимірювання активної потужності «правильне вимірювання струму» у колах постійного струму
2. схема прямого вимірювання активної потужності ватметром «правильне вимірювання напруги» у однофазних колах змінного струму
3. схема прямого вимірювання активної потужності ватметром «правильне вимірювання струму» у однофазних колах змінного струму
4. схема опосередкованого вимірювання активного опору «правильне вимірювання струму» у колах постійного струму

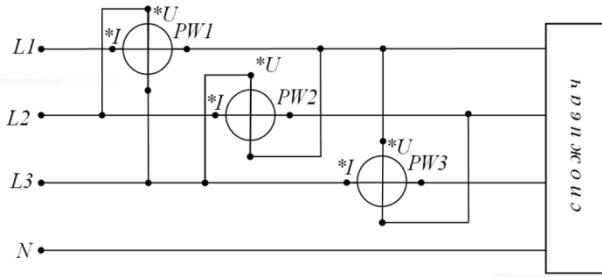
11. Оберіть вірний аналітичний вираз, який описує схему вмикання ватметра до однофазного кола змінного струму через вимірювальні трансформатори струму та напруги.

1.  $P = P_{PW} \cdot k_{IH} = C_{PW} \cdot N_{PW} \cdot k_{IH}$
2.  $P = P_{PW} \cdot k_{UH} = C_{PW} \cdot N_{PW} \cdot k_{UH}$
3.  $P = P_{PW} \cdot k_{IH} \cdot k_{UH} = C_{PW} \cdot N_{PW} \cdot k_{IH} \cdot k_{UH}$
4.  $P_{PW} = C_{PW} \cdot N_{PW} = \frac{U_{K.PW} \cdot I_{K.PW} \cdot \cos \varphi_{H.PW}}{N_{PW \max}} \cdot N_{PW}$

12. Як аналітично визначається активна потужність трифазного чотири провідного кола при несиметричному характері споживачів?

1.  $P = P_{PW} \cdot k_{IH} \cdot k_{UH} = C_{PW} \cdot N_{PW} \cdot k_{IH} \cdot k_{UH}$
2.  $P_{\text{кола}} = (P_{PW1} + P_{PW2} + P_{PW3}) \cdot k_{IH}$
3.  $P_{\text{кола}} = P_{PW1} + P_{PW2} + P_{PW3}$
4.  $P_{\text{кола}} = P_{PW1} + P_{PW2}$

13. Яке призначення наведеної схеми?



1. схема вимірювання реактивної потужності трифазних споживачів методом трьох ватметрів
2. схема вимірювання активної потужності трифазних споживачів методом трьох ватметрів
3. схема вимірювання коефіцієнту потужності трифазного кола змінного струму
4. схема одночасного вимірювання як активної так й реактивної потужності трифазного кола змінного струму

14. Експериментатору необхідно виміряти реактивну потужність ватметром в трифазному чотири провідному колі за методом трьох ватметрів.

Складіть логічні пари відповідності підключення струмових кіл ватметрів та кіл напруги до кола.

- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. PW1 струмове коло підключене до фази В | 4. коло напруги до фаз С та А |
| 2. PW2 струмове коло підключене до фази А | 5. коло напруги до фаз В та С |
| 3. PW3 струмове коло підключене до фази С | 6. коло напруги до фаз А та В |

15. До однофазного кола змінного струму підключений феродинамічний ватметр, дві котушки якого розраховані на струм 5 А та на напругу 150 В, зі шкалою на 150 поділок, через вимірювальні трансформатори струму 10/5 і напруги 500/100. Визначте активну потужність кола, Вт, якщо відлік приладу дорівнює 45 поділок.

1. 2250
2. 225
3. 450
4. 1125

16. Який метод необхідно обрати для одночасного вимірювання як активної, так й реактивної потужності в трифазному трипровідному колі при несиметричному та симетричному характері споживачів?

1. метод двох ватметрів
2. метод трьох ватметрів
3. метод одного ватметра
4. метод ватметра, амперметра і вольтметра



17. Які вимірювальні прилади застосовуються для вимірювання електричної енергії в трифазних колах змінного струму?

1. частотоміри
2. варметри
3. ватметри
4. індукційні та електронні лічильники

18. За яким аналітичним виразом визначається дійсна витрата активної електроенергії за поточний період при безпосередньому підключенні однофазного індукційного лічильника до однофазного кола змінного?

1.  $\Delta W = k_{IH} \cdot k_{UH} \cdot (W_{кінц} - W_{почат})$
2.  $\Delta W = W_{кінц} - W_{почат}$
3.  $\Delta W = k_{IH} \cdot (W_{кінц} - W_{почат})$
4.  $\Delta W = k_{UH} \cdot (W_{кінц} - W_{почат})$

19. За яким аналітичним виразом визначається дійсна витрата активної електроенергії за поточний період при підключенні однофазного індукційного лічильника до однофазного кола змінного струму через вимірювальні трансформатори струму та напруги?

1.  $\Delta W = k_{IH} \cdot k_{UH} \cdot (W_{кінц} - W_{почат})$
2.  $\Delta W = W_{кінц} - W_{почат}$
3.  $\Delta W = k_{IH} \cdot (W_{кінц} - W_{почат})$
4.  $\Delta W = k_{UH} \cdot (W_{кінц} - W_{почат})$

20. Однофазний електронний лічильник активної електроенергії увімкнений до однофазного кола змінного струму через вимірювальні трансформатори струму з  $k_{IH} = 50/5$  і напруги з  $k_{UH} = 500/100$ .

На початку місяця були зареєстровані такі показання: 1800 кВт·год, в кінці місяця – 1900 кВт·год. Визначити дійсну витрату електроенергії, кВт·год, за звітний період.

1. 5000
2. 1100
3. 11000
4. 5500

21. Які вимірювальні прилади застосовуються для вимірювання кута зсуву фаз між струмом та напругою однофазних та трифазних споживачів у частотному діапазоні 20...10000 Гц?

1. електронні та цифрові фазометри
2. ватметр, вольтметр, амперметр

3. електронний осцилограф

4. аналогові електромеханічні фазометри

22. Як аналітично визначається кут зсуву фаз між напругою та струмом однофазного споживача за методом амперметра, вольтметра, ватметра?

1. 
$$\varphi = \arccos \frac{P_{PW}}{U_{PV} \cdot I_{PA}}$$

2. 
$$\varphi = \arctg \sqrt{3} \cdot \frac{P_{PW2} - P_{PW1}}{P_{PW1} + P_{PW2}}$$

3. 
$$\varphi = 360 \cdot \frac{\Delta t}{T} = \frac{180}{I_m} \cdot I_0 = k \cdot I_0$$

4. 
$$k_{\varphi.cер} = \cos \varphi_{сер} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_P}{W_a}\right)^2}}$$

23. Як аналітично визначається середнє значення коефіцієнта потужності за показами лічильників активної та реактивної енергії? {

1. 
$$\varphi = \arccos \frac{P_{PW}}{U_{PV} \cdot I_{PA}}$$

2. 
$$\varphi = \arctg \sqrt{3} \cdot \frac{P_{PW2} - P_{PW1}}{P_{PW1} + P_{PW2}}$$

3. 
$$\varphi = 360 \cdot \frac{\Delta t}{T} = \frac{180}{I_m} \cdot I_0 = k \cdot I_0$$

4. 
$$k_{\varphi.cер} = \cos \varphi_{сер} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_P}{W_a}\right)^2}}$$

24. За яким аналітичним виразом визначається величина індуктивності котушки індуктивності, як елемента електричних кіл за методом амперметра, вольтметра та ватметра?

1. 
$$Z_X = \frac{U_{PV}}{I_{PA}} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

2. 
$$R = \frac{P_{PW}}{I_{PA}^2}$$

$$X = U_{PV} \cdot \sqrt{\frac{1}{I_{PA}^2} - \frac{U_{PV}^2}{P_{PW}^2}}$$

3.

$$4. L_X = \frac{X}{\omega} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot I_{PA}^2} \cdot \sqrt{U_{PV}^2 \cdot I_{PA}^2 - P_{PW}^2}$$

25. За яким аналітичним виразом визначається величина ємності конденсатора, як елемента електричних кіл за методом амперметра, вольтметра та ватметра?

$$1. Z_X = \frac{U_{PV}}{I_{PA}} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

1.

$$2. R = \frac{P_{PW}}{I_{PA}^2}$$

2.

$$3. X = U_{PV} \cdot \sqrt{\frac{1}{I_{PA}^2} - \frac{U_{PV}^2}{P_{PW}^2}}$$

3.

$$4. C_X = \frac{1}{\omega \cdot X} = \frac{I_{PA}^2}{2\pi \cdot f} \cdot \frac{1}{\sqrt{U_{PV}^2 \cdot I_{PA}^2 - P_{PW}^2}}$$

4.

26. За яким аналітичним виразом визначається величина взаємної індуктивності двох котушок за методом амперметра, вольтметра і ватметра?

$$1. k_{36} = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_2}{U_1} \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2},$$

1.

$$2. M_{1,2} = \frac{E_2}{\omega \cdot I_1} = \frac{U_{PV}}{2\pi \cdot f \cdot I_{PA}}$$

2.

$$3. M_{1,2} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_{y3}}{I_{y3}}\right)^2 - \left(\frac{P_{y3}}{I_{y3}^2}\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{U_{зучм}}{I_{зучм}}\right)^2 - \left(\frac{P_{зучм}}{I_{зучм}^2}\right)^2}}{4 \cdot \omega}$$

3.

$$4. L_X = \frac{X_L}{2\pi \cdot f_0} = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f_0^2 \cdot C_N}$$

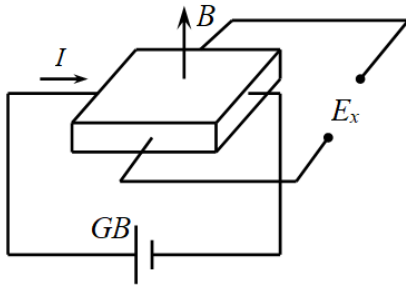
4.

## 7. Тести до практичного заняття за темою

### «Дослідження вимірювання магнітних величин електричними методами»

1. Доповніть відповідь. Вимірювальні перетворювачі, входною величиною яких є магнітна величина – це ...
  1. датчики
  2. вторинні вимірювальні прилади
  3. первинні вимірювальні перетворювачі
  4. магнітовимірювальні перетворювачі
2. До яких магнітовимірювальних перетворювачів належать індукційні, феромодуляційні, гальваноманітні та квантові перетворювачі?
  1. до електромагнітних перетворювачів
  2. до механічних перетворювачів
  3. до оптичних перетворювачів
  4. до перетворювачів магнітного потоку
3. Принцип дії яких перетворювачів оснований на наведені ЕРС при зміні магнітного потоку, що пронизує витки вимірювальної котушки?
  1. феромодуляційних перетворювачів
  2. гальваноманітних перетворювачів
  3. квантових перетворювачів
  4. індукційних перетворювачів
4. Принцип дії яких перетворювачів оснований на використанні зміни магнітної проникності феромагнетика, намагнічуваного змінним магнітним полем, при одночасній дії на нього постійного магнітного поля, напруженість якого вимірюється?
  1. феромодуляційних перетворювачів
  2. гальваноманітних перетворювачів
  3. індукційних перетворювачів
  4. квантових перетворювачів
5. Оберіть дві вірні відповіді.  
Які фізичні явища (ефекти) є основою принципу дії гальваноманітних перетворювачів?
  1. атомні, ядерні та електронні резонансні явища
  2. явище електромагнітної індукції
  3. ефект Холла
  4. ефект Гаусса

6. Схема якого магнітовимірювального перетворювача наведена на рисунку?



1. магніторезистивного перетворювача
2. квантового перетворювача
3. перетворювача Холла
4. індукційного перетворювача

7. Яка область застосування перетворювачів Холла?

1. для вимірювання магнітної індукції як постійних, так й змінних магнітних полів у широкому діапазоні частот
2. для вимірювального перетворення магнітної індукції постійних і змінних магнітних полів у діапазоні 0,3...10 Тл в змiну електричного опору
3. для вимірювань магнітної індукції слабких магнітних полів
4. для вимірювання сталого магнітного потоку

8. Яке призначення веберметра?

1. вимірювання періодично змінного магнітного потоку
2. вимірювання феромагнітних втрат
3. вимірювання магнітної індукції
4. вимірювання сталого магнітного потоку індукційно-імпульсним методом

9. За яким аналітичним виразом визначається амплітудне значення змінного магнітного потоку? {

1. 
$$\alpha = S_{\phi} \int_0^{\tau} e_x(t) dt = S_{\phi} \cdot w \cdot \Phi_x$$

2. 
$$\Phi_m = \frac{E}{4f \cdot w \cdot k_{\phi x}}$$

3. 
$$e_x(t) = -\frac{d\psi}{dt} = -W \frac{d\Phi_x}{dt}$$

4. 
$$B_m = \frac{E_{cep}}{4 \cdot f \cdot w_2 \cdot S}$$

10. Для вимірювання сталого магнітного потоку застосовується веберметр, основні метрологічні характеристики якого: границя вимірювання дорівнює 50 мкВб, клас точності 2,5.

Оцінити абсолютну похибку вимірювань, мкВб.

1. 1,25
2. 50
3. 2,5
4. 0

11. Яке призначення тесламетра з перетворювачем Холла?

1. для вимірювання періодично змінного магнітного потоку
2. для вимірювання феромагнітних втрат
3. для вимірювання магнітної індукції
4. вимірювання сталого магнітного потоку індукційно-імпульсним методом

12. Який метод застосовується для вимірювання динамічних характеристик магнітних матеріалів?{

1. індукційно-імпульсний метод
2. метод амперметра та вольтметра
3. метод вільної ядерної прецесії
4. феромодуляційний метод

13. Як аналітично визначається потужність феромагнітних втрат за методом ватметра з урахуванням поправки для виключення похибки методу?

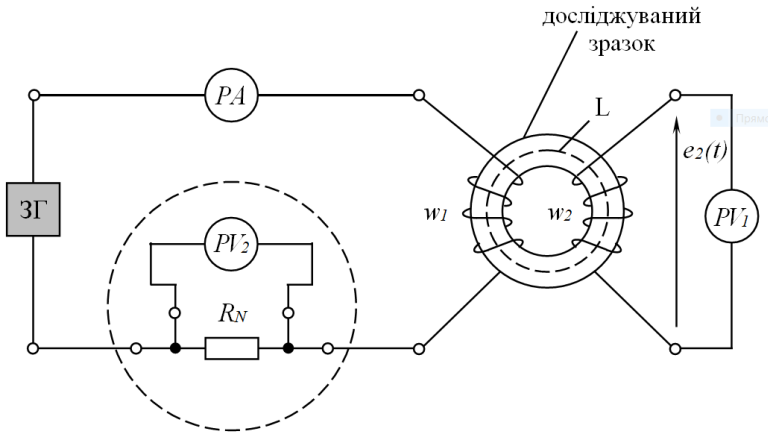
1. 
$$P_{BTP} = P_{PW} \cdot \frac{w_1}{w_2} - U^2 \cdot \left( \frac{1}{R_{PV}} + \frac{1}{R_{PWU}} \right)$$

2. 
$$H_m = \frac{w_1 \cdot I \cdot \sqrt{2}}{L}$$

3. 
$$P_{BTP} = P_{PW} \frac{w_1}{w_2}$$

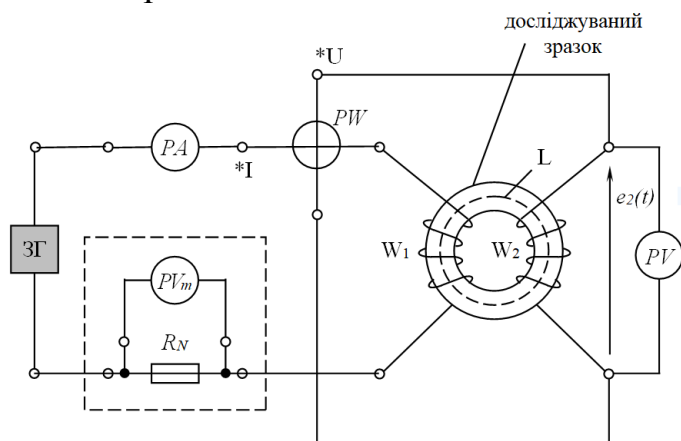
4. 
$$B_m = \frac{E_{cep}}{4 \cdot f \cdot w_2 \cdot S}$$

14. Яке призначення наведеної схеми?



1. для визначення магнітних характеристик матеріалів індукційно-імпульсним методом
2. для визначення динамічних характеристик феромагнетиків методом амперметра та вольтметра
3. для визначення магнітних характеристик матеріалів квазістатичним методом
4. для визначення магнітних характеристик матеріалів за допомогою ферометра

15. Яке призначення наведеної схеми?



1. для визначення магнітних характеристик матеріалів індукційно-імпульсним методом
2. для визначення динамічних характеристик феромагнетиків методом амперметра та вольтметра
3. для визначення магнітних характеристик матеріалів квазістатичним методом
4. для вимірювання феромагнітних втрат за допомогою ватметра

16. Розрахуйте величини чутливості мілівеберметра, якщо межа вимірювання приладу дорівнює 5 мВб та 10 мВб, а кількість поділок на шкалі приладу – 100.

1. 10 поділ/мВб
2. 0,05 мВб/поділ та 10 поділ/мВб
3. 20 поділ/мВб та 10 поділ/мВб
4. 20 поділ/мВб

## 8. Тести до практичного заняття за темою

### «Дослідження вимірювання температури електричними методами»

1. Доповніть відповідь. Вимірювання, при якому безпосередньо у середовище, температуру якого вимірюється, вноситься тепловий первинний вимірювальний перетворювач, має назву ....

1. контактне вимірювання температури об'єкту
2. безконтактне вимірювання температури об'єкту
3. вимірювання із застосуванням термоперетворювача опору
4. вимірювання із застосуванням терморезистора

2. Доповніть відповідь. Вимірювання, при якому температура об'єкта визначається на основі дистанційного вимірювання параметрів теплового випромінювання за допомогою пірметрів, має назву ....

1. контактне вимірювання температури об'єкту
2. безконтактне вимірювання температури об'єкту
3. вимірювання із застосуванням термоперетворювача опору
4. вимірювання із застосуванням терморезистора

3. Оберіть дві вірні відповіді. Які вторинні вимірювальні прилади застосовуються при вимірюваннях температури об'єкту в комплекті з термоперетворювачами опору?

1. пірметричні мілівольтметри
2. автоматичні компенсатори
3. цифрові мультиметри
4. автоматичні вимірювальні мости

4. Оберіть три вірні відповіді. Які вторинні вимірювальні прилади застосовуються при вимірюваннях температури об'єкту в комплекті з терморезисторами?

1. пірметричні мілівольтметри
2. автоматичні компенсатори
3. цифрові вимірювальні прилади
4. автоматичні вимірювальні мости
5. неврівноважений вимірювальний міст

5. За яким аналітичним виразом визначається граничне значення основної похибки вимірювання температури об'єкту при використанні цифрового вторинного приладу?



$$1. \quad \Delta\Theta_{ТЕП.сп} = \pm \frac{\Delta E_{ТП.сп}}{S_{ТЕЕ}}$$

$$2. \quad \Delta\Theta_{ВП.сп} = \pm \frac{\Delta R_{сп}}{S_{ТО}}$$

$$3. \quad \Delta\Theta_{ВП.сп} = \pm \frac{\delta_{\Theta.сп} \cdot \Theta_X}{100}$$

$$4. \quad \Delta\Theta_X = \Delta\Theta_{ТП} + \Delta\Theta_{ТЕП} + \Delta\Theta_{ВП}$$

6. За яким аналітичним виразом визначається похибка вимірювання температури за допомогою термоперетворювача опору та вторинного приладу? {

$$1. \quad \Delta\Theta_X = \Delta\Theta_{ТО} + \Delta\Theta_{ВП}$$

$$2. \quad \Delta\Theta_{ВП.сп} = \pm \frac{\Delta R_{сп}}{S_{ТО}}$$

$$3. \quad \Delta\Theta_{ВП.сп} = \pm \frac{\delta_{\Theta.сп} \cdot \Theta_X}{100}$$

$$4. \quad \Delta\Theta_X = \Delta\Theta_{ТП} + \Delta\Theta_{ТЕП} + \Delta\Theta_{ВП}$$

7. За яким аналітичним виразом визначається похибка вимірювання температури за допомогою термопари та вторинного приладу?

$$1. \quad \Delta\Theta_X = \Delta\Theta_{ТО} + \Delta\Theta_{ВП}$$

$$2. \quad \Delta\Theta_{ВП.сп} = \pm \frac{\Delta R_{сп}}{S_{ТО}}$$

$$3. \quad \Delta\Theta_{ВП.сп} = \pm \frac{\delta_{\Theta.сп} \cdot \Theta_X}{100}$$

$$4. \quad \Delta\Theta_X = \Delta\Theta_{ТП} + \Delta\Theta_{ТЕП} + \Delta\Theta_{ВП}$$

8. Розрахуйте граничне значення похибки мідного термоперетворювача опору при вимірюванні температурі 85°C, якщо границі допустимих відхилень від номінальних статичних характеристик перетворення перетворювача дорівнюють  $0,5 + 0,0065 \cdot |\Theta|$ .

1. 1,0525°C      2. 1,0°C      3. 0,525°C

## 9. Тести до практичного заняття за темою

### «Дослідження методів вимірювання неелектричних величин електричними методами»

1. Особливістю вимірювання неелектричних величин електричними методами є те, що вимірювальна неелектрична величина попередньо перетворюється за допомогою вимірювальних перетворювачів у пропорційну їй електричну величину, яка потім вимірюється відомими методами та засобами вимірювань?

1. вірно
2. не вірно

2. Доповніть відповідь.

Засіб вимірювання, який призначений для вироблення сигналу електричної інформації, у формі, яка зручна для передачі, обробки, подальшого перетворення та зберігання, але цей сигнал не піддається безпосередньому сприйняттю спостерігачем, має назву ...

1. вторинний вимірювальний прилад
2. генераторний первинний вимірювальний перетворювач
3. параметричний первинний вимірювальний перетворювач
4. первинний вимірювальний перетворювач

3. Доповніть відповідь.

Вимірювальний прилад, який оброблює, перетворює електричну інформацію, яка надходить з первинного вимірювального перетворювача, а також надає візуальну інформацію щодо неелектричної вимірюваної величини, має назву ...

1. вторинний вимірювальний прилад
2. генераторний первинний вимірювальний перетворювач
3. параметричний первинний вимірювальний перетворювач
4. цифровий вимірювальний прилад}

4. Оберіть дві вірні відповіді.

Як поділяються первинні вимірювальні перетворювачі за принципом дії?

1. генераторні
2. параметричні
3. п'єзоелектричні
4. теплові

5. Що таке активний (генераторний) первинний вимірювальний перетворювач?
1. перетворювач, у якому вимірювальна неелектрична величина перетворюється у різні параметри електричних кіл – опір, ємність, індуктивність та частоту
  2. перетворювач, у якому вимірювальна неелектрична величина перетворюється у пропорційну ЕРС або силу струму
  3. засіб вимірювання, який призначений для вироблення сигналу електричної інформації, у формі, яка зручна для передачі, обробки, подальшого перетворення та зберігання, але цей сигнал не піддається безпосередньому сприйняттю спостерігачем
  4. вимірювальний прилад, який оброблює, перетворює електричну інформацію, яка надходить з первинного вимірювального перетворювача, а також надає візуальну інформацію щодо неелектричної вимірюваної величини

6. Доповніть відповідь.

Первинний перетворювач, у якому вимірювальна неелектрична величина перетворюється у різні параметри електричних кіл – опір, ємність, індуктивність та частоту, має назву ...

1. активний (генераторний) первинний вимірювальний перетворювач
2. пасивний (параметричний) первинний вимірювальний перетворювач
3. тепловий генераторний вимірювальний перетворювач
4. оптичний первинний вимірювальний перетворювач

7. Складіть логічні пари відповідності найменування параметричного вимірювального перетворювача та його характеристики градування.

$$L = 2 \cdot \mu_0 \cdot \omega^2 \cdot S \cdot \frac{\Delta \delta}{\delta} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{\Delta \delta}{\delta}\right)^2}$$

1. реостатний перетворювач

6.

2. перетворювач контактного опору

7.

$$\Delta R = \frac{k \cdot R}{l} \cdot \Delta l$$

3. тензорезистор

8.

$$R_t = R_0 \cdot \left(1 + \alpha \cdot T_{\text{середовища}}\right)$$

4. термометр опору

9.

$$R_{\text{вих}} = f(x) = \frac{R_{\text{П}}}{l} \cdot x$$

5. диференціальний індуктивний перетворювач

10.

$$R_{\text{вих}} = R_0 \cdot \left(1 + \frac{k}{P_x}\right)$$

8. Складіть логічні пари відповідності найменування параметричного вимірювального перетворювача та його характеристики градування.

1. термістор

$$11. R_t = Ae^{\frac{B}{T}}$$

2. фоторезистор

$$12. G = \Phi \cdot a$$

3. ємнісний перетворювач

$$13. C = f(d) = \varepsilon_0 \varepsilon \cdot S \cdot \frac{1}{d}$$

4. індуктивний перетворювач

$$14. L = \frac{w^2}{R_M} = \frac{w^2}{R_{M.M} + \frac{2 \cdot \delta}{\mu_0 \cdot S}}$$

5. кондуктометричний перетворювач

$$15. R = \frac{K_{\Gamma}}{\gamma}$$

9. Які параметричні перетворювачі є резистивними?

1. це перетворювачі, в яких вихідною величиною є приріст електричного опору
2. це перетворювачі, які виконані у вигляді реостата, повзунок якого переміщується під дією вхідної неелектричної величини
3. це перетворювачі, які побудовані на залежності перехідного опору між стиковими електропровідними елементами від зусиль їх стискання або деформації
4. це параметричні перетворювачі, принцип дії яких оснований на явищі тензо-ефекту

10. Які параметричні перетворювачі є перетворювачами контактного опору?

1. це перетворювачі, в яких вихідною величиною є приріст електричного опору
2. це перетворювачі, які виконані у вигляді реостата, повзунок якого переміщується під дією вхідної неелектричної величини
3. це перетворювачі, які побудовані на залежності перехідного опору між стиковими електропровідними елементами від зусиль їх стискання або деформації
4. це параметричні перетворювачі, принцип дії яких оснований на явищі тензо-ефекту

11. Які параметричні перетворювачі є тензорезистивними перетворювачами (тензорезисторами)?

1. це параметричні перетворювачі, принцип дії яких оснований на явищі тензо-ефекту
2. це перетворювачі, в яких вихідною величиною є приріст електричного опору

3. це перетворювачі, які виконані у вигляді реостата, повзунок якого переміщується під дією вхідної неелектричної величини
4. це електрохімічні перетворювачі, які базуються на використанні залежності їх опору від складу і концентрації електроліту

12. Які параметричні перетворювачі є терморезисторами?

1. це фотоелектричні перетворювачі, принцип дії яких оснований на явищі внутрішнього фотоефекту
2. це електрохімічні перетворювачі, які базуються на використанні залежності їх опору від складу і концентрації електроліту
3. це перетворювачі, в яких вихідною величиною є приріст електричного опору
4. це теплові перетворювачі, принцип дії яких оснований на властивості речовини змінювати свій опір при зміні температури

13. Які параметричні перетворювачі є фоторезисторами?

1. це фотоелектричні параметричні перетворювачі, принцип дії яких оснований на явищі внутрішнього фотоефекту
2. це електрохімічні перетворювачі, які базуються на використанні залежності їх опору від складу і концентрації електроліту
3. це перетворювачі, в яких вихідною величиною є приріст електричного опору
4. це електричні конденсатори, ємність яких змінюється внаслідок зміни під дією вимірюваної неелектричної величини відстані між електродами, площі перекриття електродів або діелектричної проникності середовища, що міститься між електродами

14. Які параметричні перетворювачі є ємнісними перетворювачами?

1. це фотоелектричні параметричні перетворювачі, принцип дії яких оснований на явищі внутрішнього фотоефекту
2. це електрохімічні перетворювачі, які базуються на використанні залежності їх опору від складу і концентрації електроліту
3. це перетворювачі, в яких вихідною величиною є приріст електричного опору
4. це електричні конденсатори, ємність яких змінюється внаслідок зміни під дією вимірюваної неелектричної величини відстані між електродами, площі перекриття електродів або діелектричної проникності середовища, що міститься між електродами

15. Складіть логічні пари відповідності найменування генераторного вимірювального перетворювача та його характеристики градування

1. 
$$e = -B_3 \cdot l \cdot \frac{dx}{dt}$$

5. індукційний перетворювач

2. 
$$U = f(F) = \frac{d_{11}}{C} \cdot F$$

6. п'єзоелектричний перетворювач

3. 
$$U_2 = f(\delta) = \omega \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot \mu_0 \cdot S \cdot I_{3\sigma} \cdot \frac{1}{2\delta}$$

7. трансформаторний перетворювач

4. 
$$F \rightarrow \sigma \rightarrow \mu \rightarrow R_M \rightarrow L$$

8. магнітопружний перетворювач

16. Складіть логічні пари відповідності найменування генераторного вимірювального перетворювача та його характеристики градування

1. 
$$E_m = \alpha \cdot (\Theta_{\text{середовища}} - \Theta_{\text{візн.кінців}})$$

4. термопара

2. 
$$I_\Phi = f(\Phi_C) = S_{\text{інт}} \cdot \Phi_C$$

5. електровакуумний фотоелемент

3. 
$$\sigma_u = \varepsilon_0 \cdot E = \frac{\sigma}{1 + \frac{\varepsilon \cdot S}{\varepsilon_0 \cdot l}}$$

6. електретний перетворювач

17. Доповніть відповідь. Первинні вимірювальні перетворювачі, в яких вхідна неелектрична величина перетворюється у вихідний сигнал, який має енергетичні властивості, має назву ...

1. індукційні генераторні
2. теплові генераторні
3. параметричні
4. генераторні

18. Які генераторні перетворювачі є індукційними?

1. це перетворювачі, принцип роботи яких ґрунтується на використанні явища електромагнітної індукції
2. це перетворювачі, принцип дії яких оснований на явищах прямого та зворотного п'єзоєфектів
3. це перетворювачі трансформаторного типу, у яких під дією вхідної величини змінюється взаємна індуктивність між його обмотками, що призводить до зміни вихідної напруги

4. це феромагнітне осердя з однією або з двома обмотками, до якого прикладене механічне зусилля (напруження), яке призводить до зміни магнітної проникності  $\mu$ , відповідно, до зміни індуктивності котушки індуктивності

19. Які генераторні перетворювачі є п'єзоелектричними?

1. це перетворювачі, принцип роботи яких ґрунтується на використанні явища електромагнітної індукції
2. це перетворювачі, принцип дії яких оснований на явищах прямого та зворотного п'єзоєфектів
3. це перетворювачі трансформаторного типу, у яких під дією вхідної величини змінюється взаємна індуктивність між його обмотками, що призводить до зміни вихідної напруги
4. це феромагнітне осердя з однією або з двома обмотками, до якого прикладене механічне зусилля (напруження), яке призводить до зміни магнітної проникності  $\mu$ , відповідно, до зміни індуктивності котушки індуктивності

20. Які генераторні перетворювачі є трансформаторними?

1. це перетворювачі трансформаторного типу, у яких під дією вхідної величини змінюється взаємна індуктивність між його обмотками, що призводить до зміни вихідної напруги
2. це перетворювачі, принцип роботи яких ґрунтується на використанні явища електромагнітної індукції
3. це перетворювачі, принцип дії яких оснований на явищах прямого та зворотного п'єзоєфектів
4. це фотоелектричні перетворювачі, в основу принципу дії яких покладено явище зовнішнього фотоєфекту

21. Які генераторні перетворювачі є магнітопружними?

1. це перетворювачі з феромагнітним осердем з однією або з двома обмотками, до якого прикладене механічне зусилля (напруження), що призводить до зміни магнітної проникності  $\mu$ , відповідно, до зміни індуктивності котушки індуктивності
2. це перетворювачі, принцип роботи яких ґрунтується на використанні явища електромагнітної індукції
3. це перетворювачі, принцип дії яких оснований на явищах прямого та зворотного п'єзоєфектів

4. це перетворювачі трансформаторного типу, у яких під дією вхідної величини змінюється взаємна індуктивність між його обмотками, що призводить до зміни вихідної напруги

22. Які генераторні перетворювачі є електретними?

1. це постійні наелектризовані діелектрики із різнойменними полюсами, що мають зовнішнє електричне поле, та які тривало зберігають поляризацію після віддалення зовнішнього електричного поля, та створюють в навколишньому просторі електричне поле

2. це фотоелектричні перетворювачі, в основу принципу дії яких покладено явище зовнішнього фото ефекту

3. це перетворювачі трансформаторного типу, у яких під дією вхідної величини змінюється взаємна індуктивність між його обмотками, що призводить до зміни вихідної напруги

4. це діоди, в яких на внутрішню поверхню скляного балону нанесено фотокаод у вигляді тонкого шару речовини, з якого відбувається фотоemisія

23. Який генераторний перетворювач є термоелектричними перетворювачем (термопарою)?

1. це фотоелектричні перетворювачі, в основу принципу дії яких покладено явище зовнішнього фото ефекту

2. це теплові перетворювачі, принцип дії яких оснований на властивості речовини змінювати свій опір при зміні температури

3. це перетворювачі трансформаторного типу, у яких під дією вхідної величини змінюється взаємна індуктивність між його обмотками, що призводить до зміни вихідної напруги

4. це теплові перетворювачі, принцип дії яких ґрунтується на явищі термоелектричного ефекту Зеєбека

24. Які генераторні перетворювачі є електровакуумними фотоелементами?

1. це діоди, в яких на внутрішню поверхню скляного балону нанесено фотокаод у вигляді тонкого шару речовини, з якого відбувається фотоemisія

2. це перетворювачі, принцип роботи яких ґрунтується на використанні явища електромагнітної індукції

3. це феромагнітне осердя з однією або з двома обмотками, до якого прикладене механічне зусилля (напруження), яке призводить до зміни магнітної проникності і, відповідно, до зміни індуктивності котушки індуктивності



4. це фотоелектричні параметричні перетворювачі, принцип дії яких оснований на явищі внутрішнього фотоефекту

### **Перелік питань для підготовки екзамену з навчальної дисципліни**

#### **Змістовий модуль 1 «Основи метрології та засоби вимірювальної техніки»**

1. Основні терміни в галузі метрологічної діяльності.
2. Загальна класифікація вимірювань.
3. Принципи і методи вимірювань.
4. Класифікація засобів вимірювань за метрологічними характеристиками та принципи маркування приладів.
5. Засоби вимірювань, їх види та класифікаційні ознаки.
6. Характеристики засобів вимірювальної техніки.
7. Мета і види метрологічної повірки засобів вимірювальної техніки
8. Методи метрологічної повірки засобів вимірювальної техніки.
9. Фактори, які впливають на процес формування похибок вимірювань.
10. Класифікація похибок вимірювань.
11. Вимірювальні перетворювачі електричних величин - резистивні перетворювачі.
12. Вимірювальні перетворювачі електричних величин - вимірювальні трансформатори струму та напруги
13. Вимірювальні перетворювачі електричних величин - подільники напруги.
14. Магнітоелектричні вимірювальні прилади.
15. Електромагнітні вимірювальні прилади.
16. Електродинамічні та феродинамічні вимірювальні прилади.
17. Електростатичні вимірювальні прилади.
18. Індукційні вимірювальні прилади.
19. Вимірювальні мости та вимірювальні компенсатори.
20. Класифікація цифрових вимірювальних приладів.
21. Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) та цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП)
22. Цифрові прилади для вимірювання електричних величин.
23. Класи точності аналогових та цифрових приладів: основні положення, графічне позначення, стандартний ряд класу точності.

#### **Змістовий модуль 2 «Методи і засоби вимірювань електричних, магнітних та неелектричних величин»**

1. Вимірювання струму в електричних колах. Схеми вимірювань.
2. Вимірювання напруги в електричних колах. Схеми вимірювань.
3. Вимірювання активної потужності в електричних колах. Схеми вимірювань.

4. Вимірювання реактивної потужності в електричних колах. Схеми вимірювань.
5. Вимірювання електричної енергії в електричних колах. Схеми вимірювань.
6. Вимірювання коефіцієнта потужності в електричних колах. Схеми вимірювань
7. Вимірювання частоти. Схеми вимірювання.
8. Вимірювання параметрів елементів електричних кіл змінного струму.
9. Вимірювальні перетворювачі магнітних величин.
10. Вимірювання магнітного потоку.
11. Вимірювання магнітної індукції та напруженості магнітного поля.
12. Вимірювання феромагнітних втрат.
13. Параметричні вимірювальні перетворювачі: резистивні; ємнісні; індуктивні перетворювачі.
14. Генераторні вимірювальні перетворювачі: індукційні; п'єзоелектричні; трансформаторні; магнітопружні; електретні; термоелектричні; фотоелектричні перетворювачі
15. Методи та засоби вимірювання температури.