

**Міністерство освіти і науки України  
Державний вищий навчальний заклад  
«Донбаський державний педагогічний університет»**

# **МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

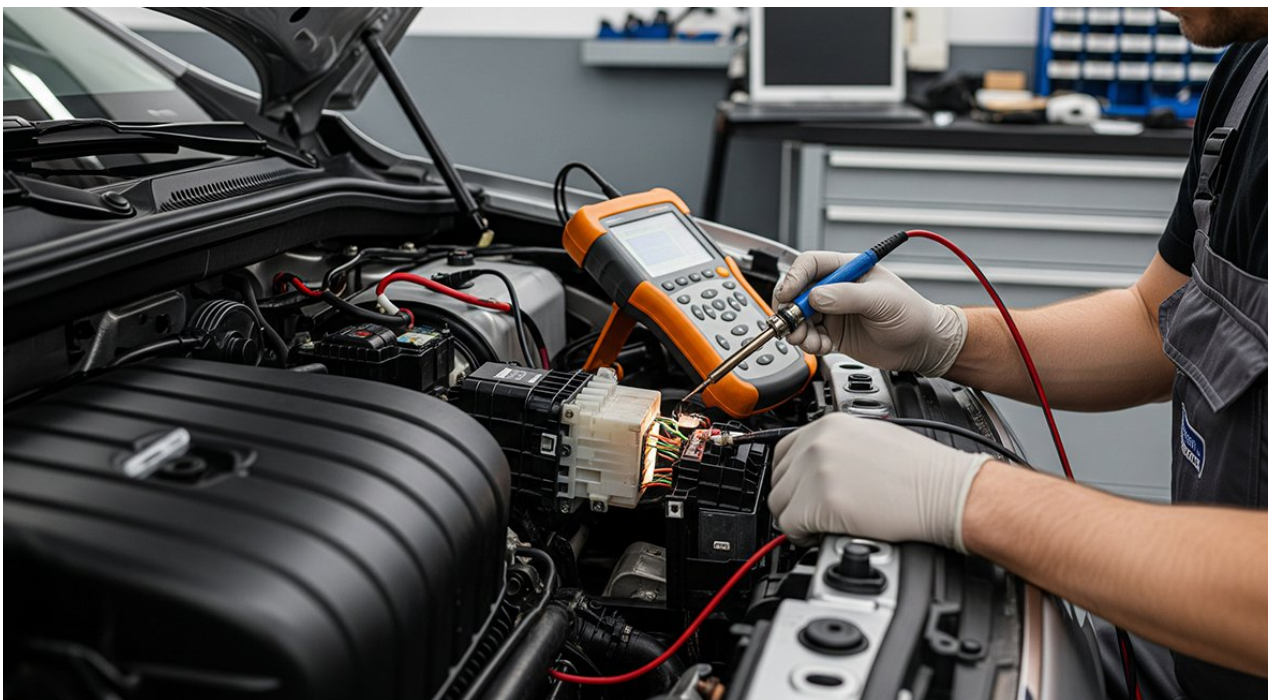
**до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни**

**«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА»**

**для студентів спеціальності**

**A5 Професійна освіта (за спеціалізаціями)**

**Спеціалізація A5.38 Професійна освіта (Транспорт)  
Електронне видання**



**Слов'янськ – Дніпро 2025**

Затверджено та рекомендовано до впровадження вченою радою Державного вищого навчального закладу «Донбаський державний педагогічний університет» «28» серпня 2025 р., протокол № 1

### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

**Стешенко Володимир Васильович** – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри теорії і практики технологічної та професійної освіти ДВНЗ «Донбаський державний педагогічний університет»;

**Фатальчук Сергій Дмитрович** – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри педагогіки вищої школи Державного вищого навчального закладу «Донбаський державний педагогічний університет».

Методичні рекомендації до лабораторних робіт з дисципліни «Електротехніка та електроніка» для студентів спеціальності А5.38 «Професійна освіта (Транспорт)» [Електронний ресурс] / Уклад.: В.І. Бондаренко, Дніпро: ДВНЗ «ДДПУ», 2025. 44 с.

У методичних рекомендаціях до лабораторних робіт розглянуто методику виконання лабораторних робіт з курсу «Електротехніка та електроніка» для студентів спеціальності А5.38 Професійна освіта (Транспорт).

Зміст рекомендацій спрямований на формування системного розуміння основних законів і принципів електротехніки та електроніки, особливостей будови, функціонування та дослідження електричних і електронних кіл, а також елементної бази сучасних електронних пристроїв.

Лабораторні роботи структуровано відповідно до робочої програми дисципліни та орієнтовано на поєднання теоретичних знань із практичними навичками, зокрема на формування вмінь проводити вимірювання електричних величин, аналізувати режими роботи електричних кіл, працювати з вимірювальними приладами та оцінювати результати експериментальних досліджень.

Методичні розробки призначені для підготовки студентів до лабораторних занять, поглиблення засвоєння теоретичного матеріалу, розвитку аналітичного мислення та формування практичних умінь застосовувати отримані знання під час дослідження електричних і електронних процесів.

Методичні рекомендації до лабораторних робіт з дисципліни «Електротехніка та електроніка» можуть бути використані як під час аудиторних занять, так і в процесі самостійної роботи студентів, а також рекомендацій викладачам для організації та проведення лабораторного практикуму з дисципліни.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Лабораторна робота №1. Електровимірювальні прилади.....	7
Лабораторна робота №2. Передача електричної енергії.....	30
Тестові завдання.....	42
ЛІТЕРАТУРА.....	44

## ВСТУП

Електротехніка та електроніка є важливими галузями сучасної науки і техніки, що вивчають явища, пов'язані з електричними та електромагнітними процесами, принципи створення, функціонування та використання електричних і електронних пристроїв. Ці галузі знань відіграють ключову роль у розвитку промисловості, транспорту, енергетики, зв'язку, автоматизації виробництва та багатьох інших сфер діяльності людини.

Особливого значення електротехніка та електроніка набувають у машинобудуванні, де вони широко застосовуються в системах керування технологічними процесами, електроприводах верстатів і виробничого обладнання, системах автоматизації, робототехніці, діагностиці та контролі технічного стану машин. Сучасні машини та транспортні засоби оснащуються великою кількістю електронних систем, що забезпечують ефективність, надійність, безпеку та економічність їх роботи.

Історія розвитку електротехніки пов'язана з відкриттями видатних учених. Основи електричних явищ були закладені у XVIII–XIX століттях у працях Алесандро Вольты, Андре-Марі Ампера, Майкла Фарадея, Георга Ома та Джеймса Клерка Максвелла, які сформулювали фундаментальні закони електромагнетизму. Подальший розвиток електротехніки пов'язаний із створенням електричних машин, систем передачі електроенергії та електричного освітлення. Значний внесок у розвиток електроенергетики зробив Нікола Тесла, який розробив системи змінного струму та багатофазні електричні машини.

На початку XX століття розпочався інтенсивний розвиток електроніки, пов'язаний зі створенням електронних ламп, а згодом — напівпровідникових приладів, таких як діоди, транзистори та інтегральні мікросхеми. Це стало основою для розвитку комп'ютерної техніки, автоматизованих систем керування та сучасних електронних пристроїв.

Сьогодні електротехніка та електроніка є фундаментом для розвитку високотехнологічних виробництв, цифрових систем керування, електромобілів, робототехніки та інтелектуальних технічних систем. Тому їх вивчення є необхідним для підготовки фахівців технічного та інженерно-педагогічного профілю, здатних ефективно застосовувати сучасні технології у професійній діяльності.

Курс «Електротехніка та електроніка» формує в студентів базові знання про електричні кола, електричні машини, напівпровідникові прилади, електронні схеми та принципи їх роботи. Вивчення дисципліни сприяє формуванню практичних навичок роботи з електротехнічним обладнанням, вимірювальними приладами та сучасними електронними системами.

**Метою навчальної дисципліни є:** формування у здобувачів уявлення щодо фізичних процесів в електричних колах і електронних пристроях; набуття навиків засвоєння сучасних методів аналізу та розрахунку електричних кіл та елементів електронних пристроїв.

Вивчення курсу спрямоване на формування наступних *професійних компетентностей*:

**ІК.** Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в професійній освіті, що передбачає застосування певних теорій і методів педагогічної науки та інших наук відповідно до спеціалізації і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

**ЗК 05.** Здатність приймати обґрунтовані рішення.

**ЗК 06.** Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

**ЗК 07.** Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

**СК 01.** Здатність застосовувати освітні теорії та методології у педагогічній діяльності.

**СК 05.** Здатність використовувати сучасні інформаційні технології та спеціалізоване програмне забезпечення та інтегрувати їх в освітнє середовище.

**СК 07.** Здатність аналізувати ефективність проектних рішень, пов'язаних з підбором, експлуатацією, удосконаленням, модернізацією технологічного обладнання та устаткування галузі/сфери відповідно до спеціалізації.

**СК 08.** Здатність використовувати відповідне програмне забезпечення для вирішення професійних завдань у галузі професійної освіти та автомобільного транспорту.

**СК 11.** Здатність використовувати у професійній діяльності основні положення, методи, принципи фундаментальних та прикладних наук.

**СК 12.** Здатність виконувати розрахунки технологічних процесів в галузі.

**СК 13.** Здатність управляти комплексними діями/проектами, відповідати за прийняття рішень у непередбачуваних умовах та професійний розвиток здобувачів освіти і підлеглих.

**СК 14.** Здатність збирати, аналізувати та інтерпретувати інформацію (дані) відповідно до спеціалізації.

**ПК 1.** Здатність розв'язувати типові спеціалізовані задачі, пов'язані з вибором матеріалів, виконанням необхідних розрахунків, конструюванням технічних об'єктів у предметній галузі (відповідно до спеціалізації).

**ПК 2.** Здатність до аналізу результатів розрахунків, вимірювань та спостережень в предметній галузі.

**ПК 4.** Здатність пояснювати з використанням наочності та сучасних інформаційних технологій будову та функціонування об'єктів автомобільного транспорту, їх систем та окремих елементів, технологічні процеси з їх технічного обслуговування, діагностування та ремонту.

**ПК 7.** Здатність самостійно виконувати трудові процеси на виробництві згідно фаху.

*Програмні результати навчання:*

**ПРН 10.** *Знати* основи психології, педагогіки, а також фундаментальних і прикладних наук (відповідно до спеціалізації) на рівні, необхідному для досягнення інших результатів навчання, передбачених стандартом та освітньою програмою.

**ПРН 16.** *Знати* основи і розуміти принципи функціонування технологічного обладнання та устаткування галузі (відповідно до спеціалізації).

**ПРН 17.** *Виконувати* розрахунки, що відносяться до сфери професійної діяльності.

**ПРН 18.** *Розв'язувати* типові спеціалізовані задачі, пов'язані з вибором матеріалів, виконанням необхідних розрахунків, конструюванням, проектуванням технічних об'єктів у предметній галузі (відповідно до спеціалізації).

Метою лабораторних робіт з дисципліни «Електротехніка та електроніка» є закріплення та поглиблення теоретичних знань студентів шляхом виконання практичних досліджень електричних та електронних кіл, формування навичок роботи з електровимірювальними приладами, вивчення принципів роботи електротехнічних і електронних елементів та пристроїв, а також розвиток умінь аналізувати результати експериментальних досліджень і робити обґрунтовані висновки.

У процесі виконання лабораторних робіт студенти набувають практичного досвіду складання електричних схем, проведення вимірювань електричних величин, дослідження режимів роботи електричних кіл та інтерпретації отриманих результатів. Це сприяє формуванню професійних компетентностей, необхідних для подальшої діяльності у сфері транспорту, машинобудування та технічної освіти.

Особлива увага приділяється формуванню навичок безпечної експлуатації електрообладнання та дотриманню вимог охорони праці.

Методичні вказівки містять мету кожної лабораторної роботи, короткі теоретичні відомості, перелік необхідного обладнання та приладів, послідовність виконання завдань, контрольні питання для самоперевірки, а також вимоги до оформлення звіту. Виконання лабораторних робіт передбачає активну самостійну роботу студентів, аналіз отриманих результатів і формулювання обґрунтованих висновків.

## Лабораторна робота №1

### ТЕМА: Електровимірювальні прилади.

- **Мета роботи:** ознайомитися з основними видами електровимірювальних приладів та їх призначенням; вивчити будову, принцип дії та умовні позначення електровимірювальних приладів; сформувати практичні навички вимірювання основних електричних.

#### Обладнання та матеріали:

- джерело змінної та постійної напруги (лабораторний стенд ЛЄС - 5);
- амперметр;
- вольтметр;
- омметр або мультиметр;
- реостат або змінний резистор;
- набір постійних резисторів;
- вимикач (ключ);
- з'єднувальні провідники;
- схеми електричних кіл та методичні вказівки до лабораторної роботи.

#### 1. Порядок виконання роботи.

1. Ознайомитися з лабораторним стендом та електровимірювальними приладами, що використовуються під час виконання роботи (амперметр, вольтметр, омметр або мультиметр).

2. Вивчити призначення, будову та умовні позначення електровимірювальних приладів на електричних схемах.

3. Ознайомитися з технічними характеристиками приладів: межами вимірювання, ціною поділки шкали та класом точності.

4. Зібрати електричне коло для вимірювання сили струму згідно зі схемою, підключивши амперметр послідовно до кола.

5. Увімкнути джерело живлення та виміряти силу струму в електричному колі. Результати записати в таблицю.

6. Зібрати електричне коло для вимірювання напруги, підключивши вольтметр паралельно до ділянки кола.

7. Провести вимірювання напруги та занести отримані результати до таблиці.

8. Оформити звіт та опрацювати контрольні питання.

## Теоретичні відомості

1. Ознайомитися з лабораторним стендом ЛЕС – 5 та електровимірювальними приладами, що використовуються під час виконання роботи (амперметр, вольтметр, омметр або мультиметр тощо) (рис.1.1).



Рис.1.1. Лабораторний стенд ЛЕС-5 з електровимірювальними приладами.

Електровимірювальні прилади — це електричні пристрої, призначені для вимірювання різних фізичних величин. Їх класифікують за кількома основними ознаками.

### **1. За характером відліку результатів вимірювання:**

1. **Показуючі прилади.** У таких приладах результат вимірювання відображається за допомогою покажчика. Це може бути стрілка на шкалі (стрілочні прилади), світловий індикатор або цифровий дисплей у сучасних електронних приладах.

2. **Самописні прилади.** Це спеціальні пристрої, які автоматично реєструють зміну вимірюваної величини у вигляді графіка на паперовій стрічці або іншому носії інформації. Такі прилади широко застосовуються для автоматичного контролю та керування технологічними процесами. Прикладами простих самописних приладів є барограф, термограф, апарат для запису електрокардіограми, витратоміри тощо.

3. **Інтегруючі прилади.** Ці прилади призначені для визначення сумарного значення вимірюваної величини за певний проміжок часу. Типовим прикладом є лічильник електричної енергії, який обчислює загальну кількість спожитої електроенергії.

2. **За родом вимірюваної величини.** За цією ознакою електровимірювальні прилади поділяють залежно від того, яку фізичну величину вони вимірюють. Найбільш поширені типи приладів наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Вимірювана електрична величина	Назва приладу	Умовне позначення приладу
Струм	Амперметр, міліамперметр, мікрометр	$A, mA; \mu A$
Напруга, ЕРС	Вольтметр, мілівольтметр, кіловольтметр	$V; mV; kV$
Опір	Омметр, кілоомметр, мегомметр	$\Omega; k\Omega; M\Omega$
Потужність	Ватметр, кіловатметр, Варметр	$W; kW; Var$
Енергія	Лічильники активної та реактивної енергії	$Wh; kWh; Varh$
Частота змінного струму	Частотомір (герцметр)	$Hr$
Кут зсуву фаз	Фазометр	$\varphi$
Ємність	Фарадометр	$F$
Магнітний потік	Веберметр	$Wb$
Малі значення струму та напруги	Гальванометр	$G$

### 3. За призначенням і способом використання:

1. **Щитові (стаціонарні) прилади.** Такі прилади призначені для встановлення на електрощитах, пультах керування та в розподільчих пристроях. Вони працюють у стаціонарних умовах і використовуються для постійного контролю параметрів електричних мереж та обладнання.

2. **Переносні (лабораторні) прилади.** Ці прилади застосовуються під час лабораторних робіт, налагодження обладнання та проведення різних експериментальних досліджень. Вони мають зручну конструкцію для переміщення і забезпечують необхідну точність вимірювань у різних умовах.

### 4. За родом струму:

Електровимірювальні прилади поділяють залежно від виду струму, для вимірювання якого вони призначені:

- прилади **постійного струму**;
- прилади **змінного струму**;

- **універсальні прилади**, що можуть працювати як у колах постійного, так і змінного струму;
- прилади для **трифазних кіл змінного струму**.

### 5. За класом точності.

Класифікація за класом точності характеризує ступінь відповідності показів приладу дійсному значенню вимірюваної величини. Чим менше значення класу точності, тим вища точність вимірювання.

Під час електричних вимірювань можливі похибки, основними з яких є **абсолютна та відносна похибки**.

**Абсолютна похибка** — це різниця між показом вимірювального приладу та дійсним значенням вимірюваної величини:

$$\Delta A = A_{\text{вим}} - A_{\text{д}};$$

або обернену за знаком до абсолютної похибки називають поправкою приладу:

$$K = -\Delta A. \quad A_{\text{д}} = A_{\text{вим}} + K$$

Абсолютна похибка не дає повного уявлення про точність вимірювань, оскільки вона не враховує величину самого вимірюваного параметра. Тому для більш об'єктивної оцінки точності застосовують **відносну похибку**.

**Відносна похибка** визначається як відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини:

$$\beta = \frac{\Delta A}{A_{\text{д}}} 100\%$$

Для оцінювання точності вимірювального приладу також використовують **зведену похибку**. Вона визначається як відношення максимальної абсолютної похибки вимірювання до межі вимірювання приладу та виражається у відсотках.

Зведена похибка обчислюється за формулою:

$$\gamma = \frac{\Delta A_{\text{max}}}{A_{\text{max}}} 100\%$$

Максимальне значення вимірюваної величини  $A_{\text{max}}$  також називають номінальним значенням приладу  $A_{\text{ном}}$ .

Для вимірювальних приладів із двосторонньою шкалою (у яких нульове значення розташоване посередині шкали) номінальне або граничне значення визначають як суму верхньої та нижньої меж вимірювання.

Клас точності приладу визначається значенням його зведеної похибки, яке зазвичай зазначається на шкалі приладу. Існує кілька стандартних класів точності електровимірювальних приладів: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Чим менше числове значення класу точності, тим вища точність вимірювального приладу.

**Ціна поділки шкали** визначається як відношення номінального значення приладу (межі вимірювання) до кількості поділок на його шкалі:

$$C_H = \frac{A_H}{N}$$

де:

- (C) — ціна однієї поділки шкали;
- (A<sub>H</sub>) — номінальне значення (межа вимірювання) приладу;
- (n) — кількість поділок на шкалі приладу.

Ціна поділки показує, **якому значенню вимірюваної величини відповідає одна поділка шкали приладу.**

Залежно від зовнішньої температури та вологості повітря прилади поділяють на 3 групи (табл.1.2).

Таблиця 1.2

Група	Температура, °C	Відносна вологість
А	Від +10 до +35	80%
Б	Від -20 до +50	80%
В	Від -40 до +60	98%

За ступенем захисту від впливу зовнішніх магнітних та електричних полів електровимірювальні прилади поділяють на три категорії:

1. Перша категорія – додаткова похибка, спричинена дією зовнішніх полів, не перевищує 0,5 %.
2. Друга категорія – додаткова похибка не перевищує 1,0 %.
3. Третя категорія – додаткова похибка не перевищує 2,5 %.

Такий поділ характеризує ступінь захищеності приладів від впливу сторонніх електромагнітних полів, які можуть спотворювати результати вимірювань.

За принципом дії електровимірювальні прилади поділяють на такі основні типи: магнітоелектричні; електромагнітні; електродинамічні; феродинамічні; індукційні; електростатичні.

Кожен із зазначених типів приладів має власний принцип роботи та застосовується для вимірювання різних електричних величин у колах постійного або змінного струму.

Лабораторний стенд — це спеціалізований робочий майданчик, що містить: джерело живлення (постійного або змінного струму); набір резисторів, конденсаторів, котушок індуктивності; з'єднувальні провідники та клеми; вимірювальні прилади

**Лабораторний стенд ЛСС-5** призначений для виконання лабораторних робіт з електротехніки та електроніки, а також для вивчення принципів роботи електричних кіл і електровимірювальних приладів.

Стенд дає змогу студентам досліджувати основні електричні параметри, виконувати вимірювання струму, напруги, потужності та опору, а також ознайомлюватися з методами збирання та аналізу електричних схем.

За допомогою лабораторного стенда ЛСС-5 можливо виконувати такі вправи:

- досліджувати роботу електричних кіл постійного та змінного струму;
- вивчати принципи дії та характеристики електровимірювальних приладів;
- проводити вимірювання основних електричних величин;
- складати та аналізувати електричні схеми різної складності;
- закріплювати теоретичні знання з курсу електротехніки на практиці.

Стенд має: блок розподільчий, блок живлення, блок трифазного трансформатора, блок лампових реостатів, блок конденсаторів, блок опорів.

## **2. Вивчити призначення, будову та умовні позначення електровимірювальних приладів на електричних схемах.**

Амперметр — це прилад для вимірювання сили струму, що складається з магнітоелектричного механізму (рис. 1.2) (постійний магніт, рухома рамка зі стрілкою, пружина) або цифрового дисплея з датчиком (рис.1.3). Він має дуже низький внутрішній опір і підключається до кола послідовно. Для розширення діапазону використовують шунт, додатковий опір, що підключається паралельно для вимірювання великих струмів.



Рис. 1.2. Електровимірювальні прилади.

### **Типи амперметрів**

#### **1. Магнітоелектричні амперметри.**

Мають рухома котушку, розташовану в полі постійного магніту. Струм, що проходить через котушку, створює власне магнітне поле, яке

взаємодіє з полем магніту, змушуючи котушку обертатися. Кут відхилення стрілки пропорційний силі струму, що дозволяє вимірювати його значення.

## 2. Індукційні амперметри

Працюють на принципі електромагнітної індукції. Містять металевий диск або інший провідний елемент, який обертається у змінному магнітному полі, створюваному струмом. Кут обертання диска прямо пропорційний інтенсивності струму.

## 3. Детекторні амперметри

Використовують магнітні властивості для визначення сили струму. Часто застосовують гальваноманітні або холлові датчики, які реагують на магнітне поле навколо провідника і перетворюють його на вимірювану електричну величину.

## 4. Електродинамічні амперметри

Схожі на магнітоелектричні, але замість постійного магніту використовується друга котушка для створення магнітного поля. Це дозволяє вимірювати як постійний, так і змінний струм.

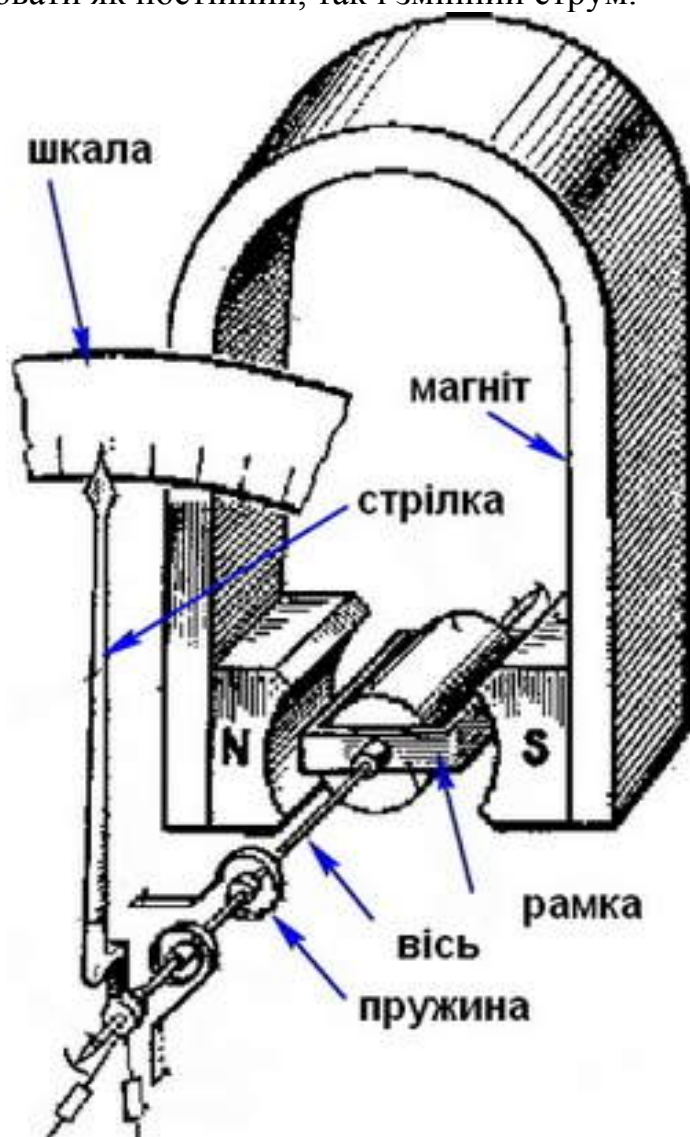


Рис. 1.3. Будова амперметра

**Основні правила використання амперметра.**

1. **Послідовне підключення:** амперметр завжди підключають послідовно з елементом кола, через який вимірюють струм.

2. **Правильна полярність:** клему «+» під'єднують до позитивного полюса джерела, «-» – до негативного.

3. **Наявність споживача струму:** амперметр не можна підключати до кола без навантаження, оскільки це може спричинити коротке замикання та пошкодження приладу.

Прилад магнітоелектричної системи (рис.1.3) складається з нерухомої та рухомої частин. Нерухому частину складає підковоподібний магніт  $M$  з полюсними наконечниками  $N$  та  $S$ . Стальний барабан  $1$  разом з постійним магнітом утворюють однорідне магнітне поле у повітряному зазорі між полюсними наконечниками і стальним барабаном.

Рухома частина приладу складається з осі або двох півосей  $O-O^1$ , легенької алюмінієвої рамки  $3$ , прикріпленої до осі. На рамку намотана котушка з тонкого мідного дроту діаметром  $0,02 - 0,2$  мм.

Через пружини  $5$ , що створюють протидіючий механічний обертовий момент, до котушки  $3$  підводиться вимірюваний струм. Унаслідок взаємодії магнітного поля постійного магніту зі струмом в котушці, виникає обертовий момент, тому рамка повертається на величину кута, пропорційного силі струму. При протіканні електричного струму в обмотці магнітоелектричної системи приладу, на рамку діє обертовий електромагнітний момент чисельно рівний:

$$M_{EM} = Fd = BI\omega d = CI$$

де:  $B$  – магнітна індукція поля створеного постійним магнітом;

$I$  – сила струму в котушці;  $\omega$  – кількість витків котушки;  $d$  – діаметр траєкторії обертання діючої частини рамки.

Так як магнітна індукція, кількість витків у рамці, довжина діючої частини рамки та її ширина постійні, то добуток цих величин позначили літерою  $C$ . Отже, обертовий момент, що діє на рамку зі струмом з боку магнітного поля, прямо пропорційний силі струму.

Електромагнітному обертовому моменту  $M_{EM}$  протедіє механічний момент сил  $M_{MECH}$ . На основі закону Гука:

$$M_{MECH} = -k\lambda$$

де:  $k$  – коефіцієнт пружності пружини;  $\lambda$  – кут повороту рамки.

Стрілка приладу зупиниться при умові, що:  $M_{MECH} = M_{EM}$  або  $k\lambda = CI$ .

Звідси:

$$\lambda = \frac{C}{k} I = ZI$$

де:  $Z$  – чутливість приладу.

З виразу  $\lambda = ZI$  випливає те, що кут повороту рамки прямо пропорційний силі струму в котушці приладу, а це означає, що його шкала вимірювань по всій довжині рівномірна. Прилади цієї системи мають певні переваги та недоліки при їх використанні.

Переваги: рівномірна шкала, на точність вимірювань не впливають зовнішні поля, мало споживає енергії, високий клас точності приладу (близько 0,1).

Недоліки: призначені лише для вимірювання параметрів кіл постійного струму, висока чутливість до перевантаження, значна собівартість.

Вольтметр — це прилад для вимірювання напруги (рис.1.2), що складається з вимірювального механізму (аналогового або цифрового), додаткового високого опору (для зменшення впливу на коло) та корпусу. Він підключається паралельно до ділянки колу, де вимірюється напруга, забезпечуючи точність за рахунок великого власного опору. Принцип роботи: той самий, що й амперметра (рис.1.3), але послідовно з рамкою включено великий додатковий резистор з великим опором (5...50 кОм і більше), а шкала проградуєвана у вольтах.

Ватметр — це електровимірювальний прилад, призначений для вимірювання електричної потужності в електричних колах постійного або змінного струму. Потужність вимірюється у ватах (Вт). Ватметр показує, яку кількість електричної енергії споживає або виробляє електричний пристрій за одиницю часу.

Ватметри застосовують для:

- вимірювання активної потужності електричних кіл;
- контролю роботи електричних машин, двигунів, генераторів;
- дослідження електричних процесів у лабораторіях;
- перевірки енергоспоживання електроприладів.

Найпоширенішим є електродинамічний ватметр, принцип роботи якого базується на взаємодії магнітних полів двох котушок (рис.1.4):

1. Струмова котушка (нерухома)
  - вмикається послідовно в електричне коло;
  - через неї протікає струм навантаження.
2. Напругова котушка (рухома)
  - підключається паралельно до навантаження;
  - через неї проходить струм, пропорційний напрузі.

Взаємодія магнітних полів цих котушок створює обертальний момент який відхиляє стрілку приладу. Кут відхилення стрілки пропорційний активній потужності кола.

Основні частини ватметра

Конструкція ватметра складається з таких елементів:

- нерухома струмова котушка;
- рухома напругова котушка;
- стрілочний механізм;
- шкала вимірювання;
- затискачі для підключення до кола;
- пружини, що створюють протидіючий момент.

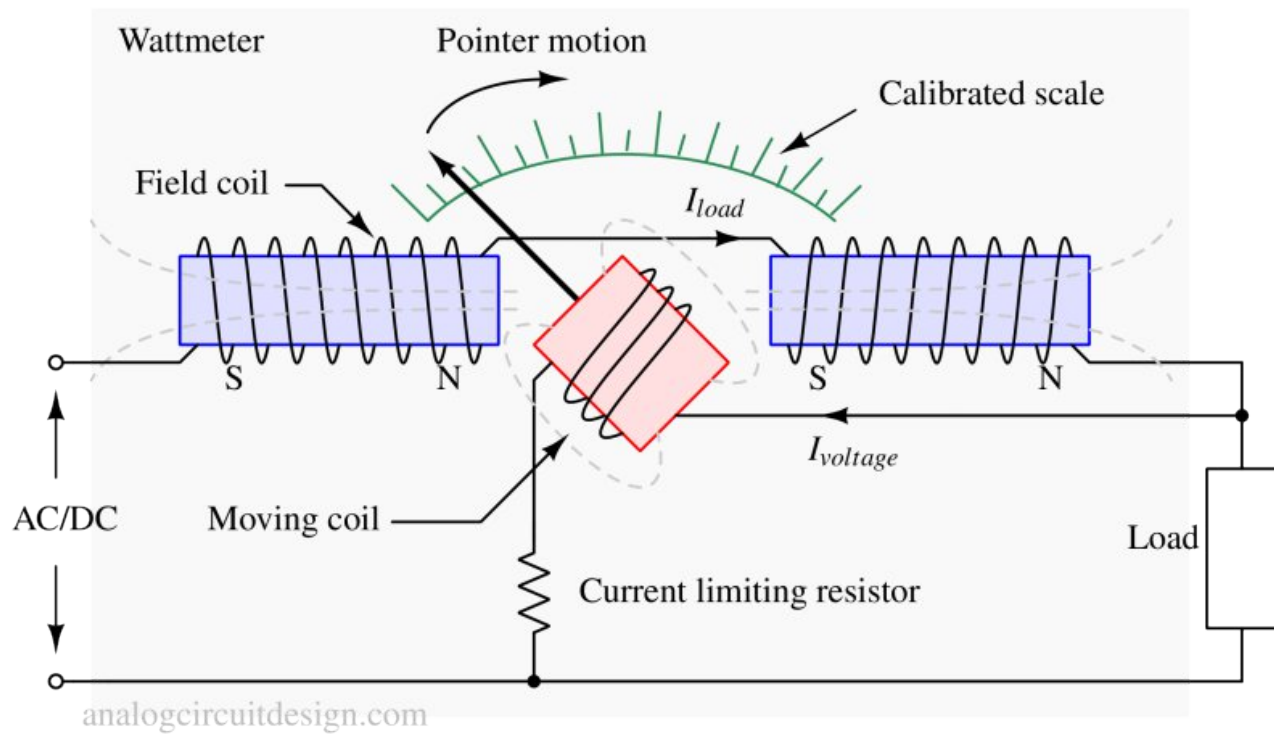


Рис.1.4. Схема устаткування приладів електродинамічної системи, як працюють на основі взаємодії магнітних полів двох котушок зі струмом.

Розрізняють кілька видів ватметрів:

Електродинамічні — найпоширеніші в лабораторіях.

Феродинамічні — використовуються у вимірювальних системах змінного струму.

Індукційні — застосовуються в енергетичних лічильниках.

Цифрові ватметри — сучасні прилади з електронною індикацією.

Переваги та недоліки

Переваги:

висока точність вимірювання активної потужності;  
 можливість роботи в колах змінного і постійного струму;  
 простота конструкції.

Недоліки:

чутливість до зовнішніх магнітних полів;  
 відносно складне підключення;  
 похибки при малих коефіцієнтах потужності.

Прилад цієї системи можна використовувати для вимірювання постійного та змінного значень струму, напруги, активної складової потужності та коефіцієнту потужності

**Електровимірювальний комплект К-50** використовується для навчання та проведення лабораторних робіт з вимірювання електричних величин у трифазних мережах, а також для ознайомлення з принципами роботи електровимірювальних приладів (рис.1.1).

Склад комплекту:

1. Трифазний лічильник К-50 – для обліку спожитої електроенергії у трифазній мережі 380 В.

2. Амперметр – для вимірювання сили струму в окремих фазах.
3. Вольтметр – для вимірювання фазної та лінійної напруги.
4. Ватметр – для визначення активної потужності у трифазному колі.

Особливості використання:

- Амперметр підключається послідовно до кола.
- Вольтметр підключається паралельно до ділянки кола.
- Ватметр встановлюється згідно зі схемою трифазної мережі для точного визначення потужності.
- Лічильник К-50 може вести облік електроенергії у трьох або чотирьох провідних мережах.

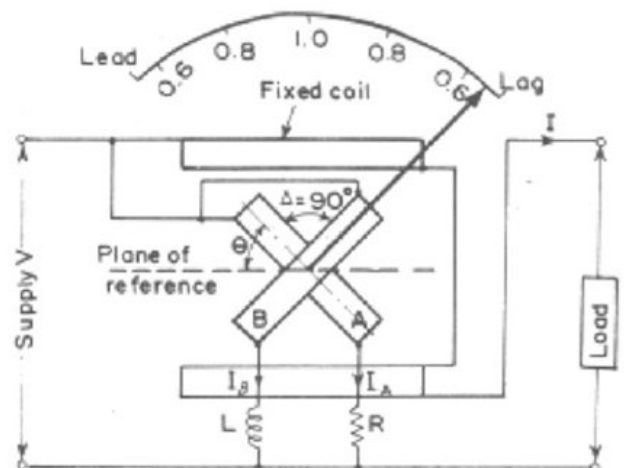
Технічні характеристики:

- Напруга: 380 В
- Частота: 50 Гц
- Клас точності: 1,0–2,5
- Комплект оснащений захисними елементами для безпечного використання у навчальних лабораторіях.

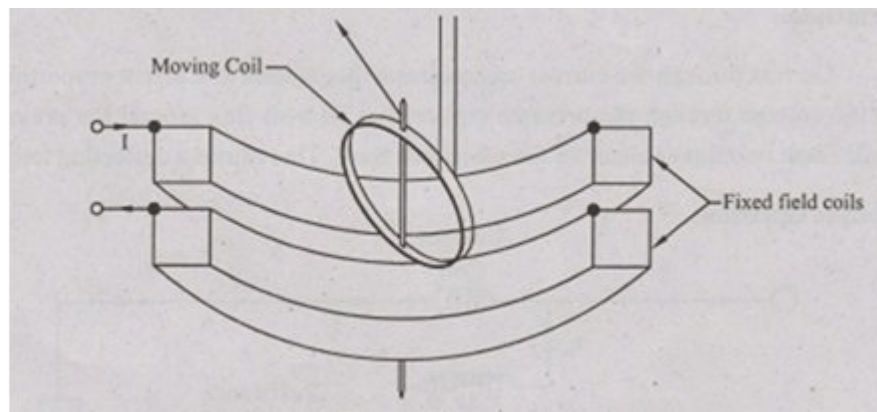
**Фазометр** – прилад, побудований на основі електродинамічної системи для вимірювання коефіцієнта потужності  $\cos\varphi$ , що характеризує ефективність використання електричної енергії в колах змінного струму і визначається співвідношенням між активною та повною потужністю (рис.1.5 а,б, в).



а)



б)



в)

Рис. 1.5. Електровимірювальний прилад – фазометр:

а) зовнішній вигляд фазометра;

б) принципова схема ;

в) принци дії.

Фазометр (рис. 1.5. б) складається з нерухомої котушки (К), яку часто виконують із двох секцій і вмикають у коло послідовно з навантаженням.

Між двома симетричними половинами цієї котушки розміщені дві рухомі котушки (К1) та (К2), жорстко з'єднані між собою під певним кутом (рис.1.5. в).

Стрілка приладу та обидві рухомі котушки закріплені на спільній осі і можуть вільно обертатися.

Котушки (К1) і (К2) підключаються до кола паралельно. При цьому:

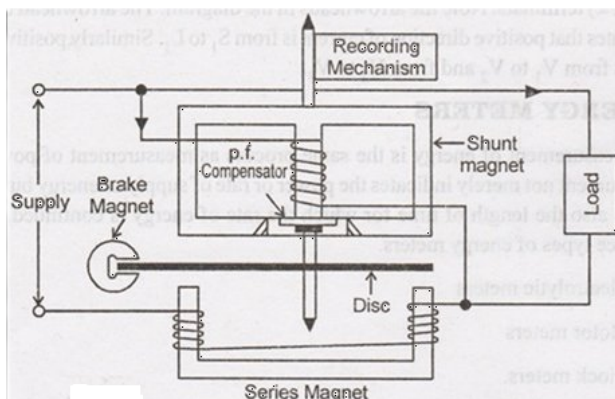
- до однієї з них послідовно вмикають активний опір (R);
- до іншої — великий індуктивний опір (X L).

Завдяки різним опорам струми в цих котушках мають різні фазові зсуви, унаслідок чого виникають електродинамічні моменти, що повертають систему котушок. Положення стрілки встановлюється відповідно до значення кута зсуву фаз між струмом і напругою, тобто показує значення коефіцієнта потужності.

Фазометри широко застосовують під час лабораторних досліджень електричних кіл змінного струму, а також для контролю режимів роботи електроустановок.

Лічильники електричної енергії – призначені для вимірювання споживчої електричної енергії. Електрична енергія є однією з основних величин, що характеризує роботу електричних установок і споживання електроенергії. Електричну енергію спожиту протягом певного часу можна розрахувати за формулою  $W = Pt = UI t \cos\varphi$ . Одиницею вимірювання електричної енергії в системі СІ є джоуль (Дж), однак на практиці найчастіше використовують кіловат-годину (кВт·год).

У колах змінного струму найпоширенішими є індукційні лічильники електричної енергії. Принцип їх роботи ґрунтується на взаємодії магнітних полів струмової та напругової котушок, унаслідок чого виникає обертовий момент, який приводить у рух алюмінієвий диск. Швидкість обертання диска пропорційна потужності навантаження, а кількість обертів відповідає спожитій електричній енергії (рис. 1.6 а,б,в).



а)



б)

Рис. 1.6. Однофазний електричний лічильник індукційної системи:

а) принципова схема роботи індукційного лічильника;

б) зовнішній вигляд індукційного лічильника;

Індукційний лічильник електричної енергії

Індукційний лічильник електричної енергії призначений для вимірювання кількості електричної енергії, спожитої електроприймачами в колах змінного струму. Він належить до інтегруючих електровимірювальних приладів, оскільки визначає сумарну енергію за певний проміжок часу.

Основними елементами індукційного лічильника є:

- струмова котушка, яка вмикається послідовно з навантаженням;
- котушка напруги, що підключається паралельно до мережі;
- алюмінієвий диск, який обертається під дією електромагнітних полів;
- постійний магніт, що створює гальмівний момент;
- лічильний механізм, який підраховує кількість обертів диска.

Під час проходження струму через котушки утворюються змінні магнітні поля, які індукують вихрові струми в алюмінієвому диску. У результаті виникає обертовий момент, що приводить диск у рух. Швидкість обертання диска пропорційна потужності навантаження, а кількість обертів відповідає кількості спожитої електричної енергії, яка відображається на лічильному механізмі в кіловат-годинах (кВт·год).

У сучасних системах обліку дедалі ширше використовують електронні (цифрові) лічильники, які забезпечують вищу точність вимірювання, можливість дистанційного зчитування показників і зберігання даних про

споживання електроенергії.

Таким чином, вимірювання електричної енергії є важливим для контролю та обліку споживання електроенергії, а також для аналізу ефективності роботи електричних установок.

#### Параметри електричного лічильника:

Дійсна стала величина лічильника  $C = \frac{W}{N} = \frac{Pt}{N}$ , де  $W$  - дійсне значення спожитої енергії за час одного повного повороту диска, визначена за допомогою контрольних приладів;  $N$  - кількість обертів диска;  $t$  - час, протягом якого диск здійснив обертів;  $P$  - споживана потужність.

Номинальна постійна лічильника – це кількість енергії, що фіксує лічильний механізм за час одного повороту диска. Вона вираховується за даними паспорта приладу:

$$C_{\Pi} = \frac{1000 \cdot 3660}{N}$$

Величина обернена до номінальної сталої називається передаточним числом:

$$A_{\Pi} = \frac{1}{C_{\Pi}}$$

Відносна похибка лічильника розраховується за таким виразом:  $\beta = \frac{C_{\Pi} - C}{C_{\Pi}} 100\%$ .

Чутливість лічильника  $\delta = \frac{I_{min}}{I_{НОМ}} 100\%$ ;  $\delta = \frac{P_{min}}{P_{НОМ}} 100\%$ , де:  $I_{min}$  - мінімальний струм, при якому працює лічильник при номінальному значенні напруги в електромережі;  $I_{НОМ}$  - номінальний струм приладу.

Самохід приладу – поворот диску (більше одного повного повороту) без навантаження в електричному колі.

**Цифрові вимірювальні прилади** – це електровимірювальні пристрої, які відображають результати вимірювань у числовому вигляді на цифровому дисплеї, на відміну від класичних стрілочних чи самописних приладів.

Основні переваги цифрових приладів:

- Висока точність – похибка значно менша, ніж у аналогових приладів.
- Простота зчитування показів – результат відображається безпосередньо у числовій формі.
- Можливість обробки та збереження даних – цифрові прилади можуть передавати дані на комп'ютер або в систему дистанційного обліку.
- Додаткові функції – вимірювання миттєвих, середніх, мінімальних і максимальних значень величин, підключення до комп'ютера для аналізу результатів.

Принцип дії цифрових приладів:

1. Вхідна величина (струм, напруга, опір) перетворюється в аналоговий сигнал.
2. Потім сигнал надходить на аналогово-цифровий перетворювач

(АЦП), який формує цифровий код, пропорційний величині сигналу.

3. Цей код відображається на цифровому дисплеї або обробляється мікропроцесором для виконання додаткових розрахунків.

Приклади цифрових вимірювальних приладів:

- цифрові мультиметри;
- цифрові ватметри;
- цифрові частотоміри;
- цифрові лічильники електроенергії.

Цифрові прилади широко застосовуються як у лабораторних дослідженнях, так і в промислових системах обліку та контролю електроенергії, оскільки вони дозволяють отримати швидкі та точні вимірювання.

Електровимірювальні прилади відіграють важливу роль у машинобудуванні та автоелектриці, оскільки дозволяють контролювати параметри електричних кіл і забезпечують безпечну та ефективну роботу електричних систем.

Основні напрямки застосування:

1. Діагностика та контроль електричних систем автомобілів
  - Вимірювання напруги акумулятора, струму зарядки, опору обмоток стартерів і генераторів.
  - Контроль роботи систем запалювання, світлотехніки та електронних блоків керування (ECU).
  - Виявлення несправностей у проводці та електропристроях автомобіля.
2. Тестування електромоторів та генераторів
  - Вимірювання струму та напруги в електричних двигунах на стендах.
  - Оцінка ефективності роботи генераторів, електродвигунів і систем регулювання напруги.
3. Контроль електричних схем у виробництві та сервісному обслуговуванні
  - Використання цифрових мультиметрів, фазометрів, ватметрів, амперметрів і вольтметрів для перевірки правильності підключення та роботи електронних блоків.
  - Перевірка коефіцієнта потужності і енергоспоживання електроприводів на виробничих лініях.
4. Лабораторні дослідження та стендові випробування
  - На навчальних та дослідницьких стендах (наприклад, ЛСС-5) здійснюють вимірювання напруги, струму, опору, потужності, електричної енергії та коефіцієнта потужності, що дозволяє студентам і інженерам набувати практичних навичок.

Переваги використання електровимірювальних приладів у машинобудуванні та автоелектриці:

- підвищення надійності електричних систем;
- контроль та оптимізація споживання електроенергії;
- забезпечення безпеки обслуговування та експлуатації

електропристроїв;

- можливість точного діагностування несправностей без демонтажу обладнання.

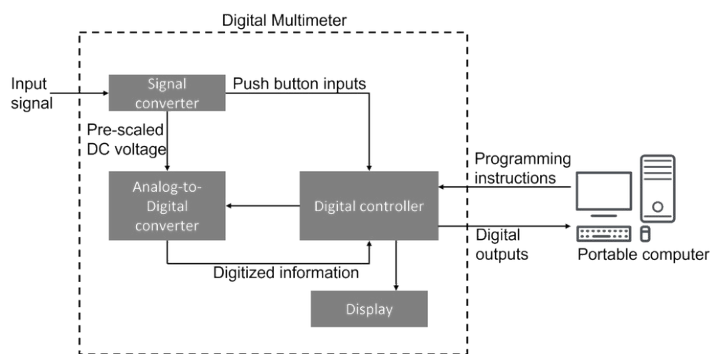
**Сучасний мультиметр** – це універсальний електровимірювальний прилад, який поєднує в собі функції вольтметра, амперметра, омметра, а часто й інших приладів (частотомір, ємність, температура, тестування діодів тощо) (рис.1.7).

Основні компоненти сучасного цифрового мультиметра:

1. Корпус та дисплей
  - Міцний корпус забезпечує захист приладу від механічних пошкоджень.
  - Цифровий дисплей (LCD або OLED) відображає вимірювані значення у числовому вигляді; у деяких моделях є підсвітка для роботи у темряві.
2. Селектор режимів (поворотний або кнопковий)
  - Дозволяє обирати тип вимірювання: напруга, струм, опір, частота, температура тощо.
  - Забезпечує захист входів приладу від неправильного підключення до кола.
3. Вхідні гнізда для щупів
  - Приєднуються вимірювальні щупи (червоний і чорний).
  - Часто є окремі гнізда для вимірювання струму та вольтметричних вимірювань для безпеки користувача.
4. Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП)
  - Приймає аналоговий сигнал від щупів і перетворює його у цифровий код для відображення на дисплеї.
  - В сучасних приладах використовується високоточний АЦП, що забезпечує низьку похибку та широкий діапазон вимірювань.
5. Мікропроцесор / контролер
  - Обробляє цифровий сигнал, обчислює значення фізичної величини, виконує калібрування та керує дисплеєм.
  - Забезпечує додаткові функції: фіксацію максимумів і мінімумів, середнє значення, тестування елементів, індикацію помилок.
6. Внутрішні вимірювальні резистори, шунти та захисні елементи
  - Забезпечують поділ напруги, обмеження струму та захист АЦП і користувача.
  - Високоякісні мультиметри мають внутрішні предохранники та термозахист.
7. Додаткові функції
  - Підсвітка дисплея, звуковий сигнал при короткому замиканні, автоматичне відключення для економії батареї.
  - USB або Bluetooth для передачі даних на комп'ютер або мобільний пристрій.

Сучасні мультиметри бувають як ручні портативні, так і стаціонарні лабораторні, що дозволяє їх використовувати як у польових умовах, так і для

досліджень на стендах і виробництві.



**Однотарифні та двотарифні лічильники електроенергії.** Лічильники електроенергії поділяються на однотарифні та багатотарифні (рис.1.7). Однотарифний лічильник веде загальний облік спожитої електроенергії, не розділяючи її за часом доби. Такий прилад показує лише сумарне споживання, не даючи можливості визначити, скільки електроенергії витрачено вдень, а скільки вночі.

Багатотарифний лічильник, або двотарифний «день-ніч», дозволяє вести облік споживання за двома тарифними зонами. Це дає можливість економити кошти, оскільки нічний тариф зазвичай вдвічі дешевший за денний. Використання такого лічильника особливо вигідне для приватних будинків і дач, де вночі працюють бойлери, електрообігрівачі, кондиціонери та інші електроприлади. Таким чином, двотарифний лічильник допомагає оптимізувати витрати на електроенергію та контролювати її споживання в різні періоди доби.

Однофазний лічильник використовується для обліку електроенергії у дводровових мережах з напругою 220 В. Він призначений для домашніх умов, офісів, гаражів та дач і відрізняється простотою монтажу та експлуатації. Зняття показів з такого приладу не потребує складних дій, а маркується він зазвичай символом «СТ».

Трифазний лічильник застосовується для обліку електроенергії у трьох- або чотирипровідних мережах змінного струму напругою 380 В. Такі прилади використовуються на підприємствах та у промислових зонах, де споживання електроенергії значне. Трифазні лічильники забезпечують точний облік електроенергії і можуть монтуватися як у трьохпровідній, так і у чотирипровідній мережі, залежно від наявності нульового проводу. Вони мають більш складну конструкцію, але дозволяють максимально точно відображати споживання електроенергії.

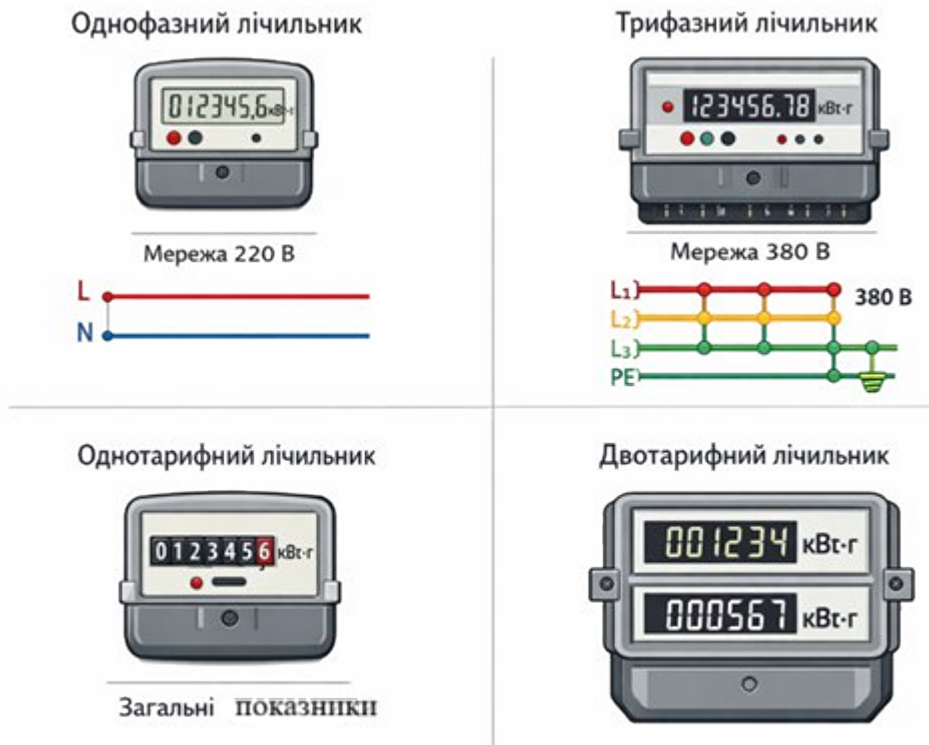


Рис.1.7. Різновиди лічильників електричної енергії.

#### Техніка безпеки при проведенні лабораторної роботи

1. Підготовка до роботи
  - Перевірити справність лабораторного обладнання, приладів та проводів.
  - Переконатися у наявності ізоляції на всіх проводах та захисних пристроях.
  - Ознайомитися з принципом дії і будовою приладів перед початком роботи.
2. Правила роботи з електричним струмом
  - Виконувати підключення приладів тільки при вимкненому живленні.
  - Не торкатися відкритих контактів під час подачі напруги.
  - Не перевантажувати прилади струмом, який перевищує їх номінальні характеристики.
3. Порядок дій під час вимірювань
  - Підключати лічильники та вимірювальні прилади у відповідності з схемою.
  - Використовувати щупи і проводи з ізоляцією, не допускати їх перекручування та пошкодження.
  - Стежити за правильним полярним підключенням приладів.
4. Поведінка в лабораторії
  - Не торкатися відкритих металевих частин приладів мокрими руками.
  - Не дозволяти ігри або необережні дії поблизу електрообладнання.

- Дотримуватися чистоти робочого місця, не розміщувати зайві предмети поруч з приладами.

5. Дії у разі аварійної ситуації

- При появі диму, запаху гару або іскріння — негайно вимкнути живлення.

- Повідомити викладача або лабораторного керівника про несправності.

- Не намагатися усунути серйозні несправності самостійно.

6. Після закінчення роботи

- Вимкнути живлення, від'єднати прилади від мережі.

- Привести в порядок робоче місце, прибрати проводи та щупи.

- Оформити результати роботи у звіті відповідно до вимог лабораторної.

### **Оформити звіт та опрацювати контрольні питання.**

Вимоги до оформлення звіту лабораторної роботи

1. Титульна сторінка

- Назва навчального закладу та кафедри.

- Назва лабораторної роботи.

- ПІБ студента, група, дата виконання.

2. Мета роботи

- Чітко зазначити основну мету: ознайомлення з електровимірювальними приладами, їх будовою, принципом дії та порядком проведення вимірювань.

3. Список використаних приладів та обладнання

- Перерахувати всі прилади: амперметр, вольтметр, омметр або мультиметр, джерело живлення, лабораторний стенд.

- Вказати технічні характеристики приладів: межі вимірювання, ціна поділки шкали, клас точності.

4. Порядок виконання роботи

- Коротко описати, як збиралося електричне коло для вимірювання сили струму та напруги.

- Пояснити підключення амперметра послідовно та вольтметра паралельно.

5. Результати вимірювань

- Таблиці з результатами вимірювання сили струму та напруги.

- При необхідності – графічне зображення схеми кола.

- Вказати одиниці вимірювання та точність отриманих даних.

6. Обробка результатів та розрахунки

- Якщо застосовувалися формули для перевірки точності або похибки вимірювань – обов'язково зазначити розрахунки.

7. Висновки

- Оцінити точність проведених вимірювань.

- Підсумувати, які прилади використовувалися та які навички набуті.

8. Контрольні питання
- Відповісти на всі контрольні питання, зазначені у методичних вказівках.

#### 8. Контрольні питання.

1. Що таке електровимірювальний прилад і яку функцію він виконує?
2. Назвіть основні класифікації електровимірювальних приладів.
3. Чим відрізняються однотарифний та двотарифний лічильники електроенергії?
4. У яких випадках доцільно застосовувати двотарифний лічильник?
5. Яка різниця між однофазним та трифазним лічильником?
6. Де застосовують однофазні лічильники, а де трифазні?
7. Що таке коефіцієнт потужності і як його вимірюють?
8. Які типи похибок допускаються при електричних вимірюваннях і як вони визначаються?
9. Назвіть принципи дії основних типів електровимірювальних приладів (магнітоелектричні, електродинамічні, індукційні та ін.).
10. Які основні правила техніки безпеки під час роботи з електровимірювальними приладами в лабораторних та дистанційних умовах?

### Тестові завдання

1. Що таке електровимірювальний прилад?
  - a) Пристрій для перетворення енергії
  - b) Пристрій для вимірювання фізичних величин ✓
  - c) Пристрій для регулювання напруги
  - d) Пристрій для накопичення електроенергії
2. Який прилад вимірює силу струму?
  - a) Вольтметр
  - b) Амперметр ✓
  - c) Омметр
  - d) Ватметр
3. Який прилад вимірює напругу?
  - a) Амперметр
  - b) Вольтметр ✓
  - c) Ватметр
  - d) Лічильник
4. Однотарифний лічильник показує:
  - a) Споживання по днях
  - b) Споживання по ночах
  - c) Загальне споживання ✓
  - d) Споживання за фазами
5. Двотарифний лічильник дозволяє:
  - a) Вимірювати струм
  - b) Облік споживання у двох тарифних зонах ✓
  - c) Підключатися лише до однофазної мережі
  - d) Вимірювати напругу
6. Основна різниця між однофазним та трифазним лічильником полягає у:
  - a) Типі струму
  - b) Кількості фаз мережі ✓
  - c) Ціні поділки
  - d) Напрузі одного фази
7. Для вимірювання активної потужності у трифазному колі використовується:
  - a) Амперметр
  - b) Вольтметр
  - c) Ватметр ✓
  - d) Омметр
8. Амперметр підключається:
  - a) Паралельно до ділянки кола
  - b) Послідовно до кола ✓
  - c) Під будь-яким способом
  - d) Через лічильник
9. Вольтметр підключається:
  - a) Послідовно

- b) Паралельно ✓
  - c) Серійно
  - d) Через амперметр
10. Що визначає клас точності приладу?
- a) Межу вимірювання
  - b) Наскільки покази приладу відповідають дійсному значенню ✓
  - c) Ціну поділки шкали
  - d) Напругу мережі
11. Максимальна напруга трифазної мережі для навчального стенду К-50 складає:
- a) 220 В
  - b) 380 В ✓
  - c) 110 В
  - d) 440 В
12. Який прилад дозволяє вимірювати коефіцієнт потужності?
- a) Фазометр ✓
  - b) Амперметр
  - c) Вольтметр
  - d) Омметр
13. Яка основна перевага двотарифного лічильника?
- a) Простота конструкції
  - b) Можливість економити за рахунок нічного тарифу ✓
  - c) Вимірює напругу точніше
  - d) Працює лише в однофазній мережі
14. Трифазний лічильник застосовують:
- a) У квартирах з однією фазою
  - b) На підприємствах і промислових об'єктах ✓
  - c) Лише в офісах
  - d) Для вимірювання напруги 220 В
15. Що відображає однотарифний лічильник?
- a) Тільки денне споживання
  - b) Тільки нічне споживання
  - c) Загальне споживання електроенергії ✓
  - d) Споживання за фазами

### **Рекомендована література до лабораторної роботи**

1. Бурик М. П., Спінул Л. Ю., Лободзинський В. Ю., Перетятко Ю. В., Ілліна О. О. Теоретичні основи електротехніки. Лабораторний практикум: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 96 с.
2. Михайленко В. В., Троценко Є. О., Скринник О. М., Чуняк Ю. М. Електротехніка і електроніка. Лабораторний практикум: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 53 с.

## Лабораторна робота №2

### ТЕМА: Передача електричної енергії.

**Мета роботи:** ознайомитися з основними принципами передачі електричної енергії на відстань; вивчити будову та принцип дії трансформаторів, ліній електропередач і розподільних мереж; провести розрахунки втрат енергії, напруги та струму при передачі електроенергії.

### Обладнання та матеріали

- Лабораторний стенд ЛЄС – 5.
- Трансформатори (підвищувальні та понижувальні).
- Амперметри, вольтметри, ватметри.
- З'єднувальні дроти, вимикачі та запобіжники.

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з технологією, що забезпечує передачу електричної енергії від місць вироблення до місць споживання.
2. Ознайомитися з лабораторним стендом та приладами, що будуть використовуватися під час роботи (трансформатори, амперметри, вольтметри, ватметри).
3. Вивчити принцип роботи трансформатора та його схеми підключення в лінію електропередачі.
4. Ознайомитися з технічними характеристиками приладів: межі вимірювання, ціна поділки шкали, клас точності.
5. Провести дослідження холостого ходу та короткого замикання трансформатора. Увімкнути джерело живлення та провести вимірювання:
  - Напруги на первинній та вторинній обмотках трансформатора.
  - Сили струму в колі первинної та вторинної обмоток.
  - Активної потужності за допомогою ватметра.
6. Оформити результати вимірювань у таблиці та зробити висновки.
7. Опрацювати контрольні питання до лабораторної роботи.

1. Ознайомитися з технологією, що забезпечує передачу електричної енергії від місць вироблення до місць споживання.

Передавання електроенергії здійснюється за допомогою електричних мереж, до складу яких входять перетворювальні пристрої, лінії електропередавання (повітряні або кабельні) та розподільні установки (рис.2.1). Необхідність передавання електроенергії на значні відстані зумовлена тим, що її виробництво відбувається на великих електростанціях із потужними агрегатами, тоді як споживання здійснюється численними малопотужними електроприймачами, розташованими далеко від джерел генерації. Концентрація генерувальних потужностей дозволяє зменшити відносні витрати на будівництво електростанцій і знизити собівартість виробленої електроенергії. Водночас розміщення електростанцій залежить від наявності енергоресурсів, їх типу та запасів, природних умов, а також можливості роботи в складі єдиної енергосистеми. У результаті такі станції часто розташовуються на значній відстані від основних центрів споживання, що підвищує роль ефективного передавання електроенергії. Ефективність передавання електроенергії є одним із ключових чинників стабільної роботи електроенергетичних систем, які охоплюють великі території.

### **Історичний розвиток**

Можливість передавання електроенергії на відстань уперше була продемонстрована у 1720-х роках Стівеном Греєм, який передав електричний заряд по шовковому проводу на відстань до 800 футів. До кінця XIX століття електроенергія використовувалася переважно поблизу місць її виробництва, що обмежувало використання природних ресурсів. Із розвитком електричного освітлення виникла потреба у передаванні електроенергії на великі відстані, особливо до великих міст. У 1873 році було здійснено передавання енергії між генератором і двигуном постійного струму на відстань 2 км. Подальші дослідження показали можливість передавання енергії на більші відстані, однак супроводжувалися значними втратами. Важливим етапом стало відкриття залежності втрат енергії від напруги: зі збільшенням напруги втрати зменшуються. Це привело до створення трансформаторів, які дозволили підвищувати та знижувати напругу в процесі передавання. Значний прорив відбувся у 1891 році, коли було реалізовано передавання електроенергії трифазним змінним струмом на відстань 175 км із високим коефіцієнтом корисної дії. Це стало основою для широкого впровадження трифазних систем. На початку XX століття також розглядалися системи передавання постійного струму, проте вони мали суттєві технічні обмеження, зокрема складність перетворення напруги для споживачів. У результаті перевага була надана системам змінного струму.

### **Подальший розвиток технологій**

Упродовж ХХ століття розвиток електропередачі характеризувався зростанням рівнів напруги, потужностей та довжини ліній. Основною метою було зменшення втрат електроенергії, що досягалося шляхом підвищення напруги. Спочатку підвищення напруги обмежувалося технічними можливостями ізоляторів. Із появою підвісних ізоляторів стало можливим значне збільшення напруги, що дозволило будувати високовольтні лінії електропередавання.

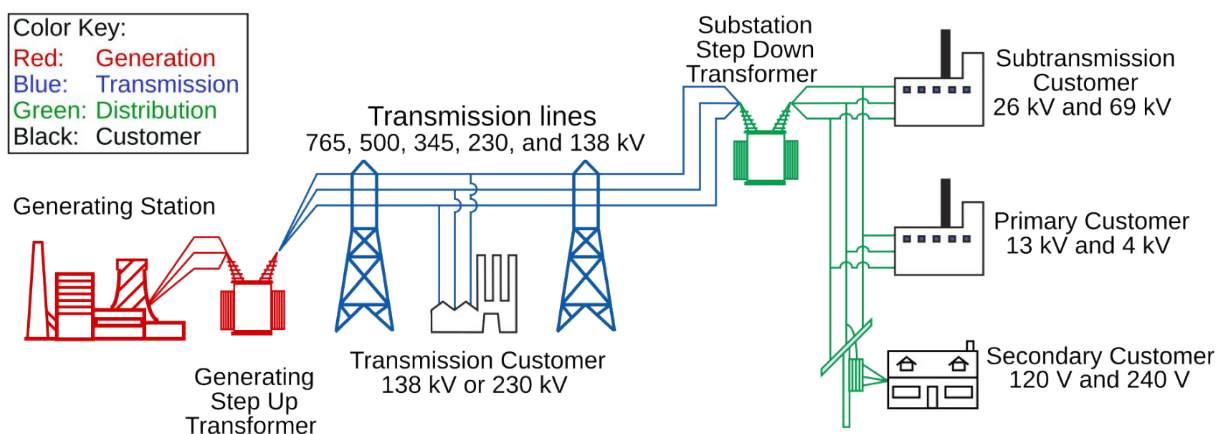


Рис.2.1.Схема передовання електричної енергії на відстань.

Пропускна спроможність лінії електропередавання (ЛЕП) — це максимальна потужність. Вона визначається такими факторами, як переріз провідників, довжина лінії та клас напруги. При цьому підвищення напруги є одним із найефективніших способів збільшення пропускної спроможності, оскільки вищі рівні напруги забезпечують передування більшої потужності на значні відстані.

2. Ознайомитися з лабораторним стендом та приладами, що будуть використовуватися під час роботи (трансформатори, амперметри, вольтметри, ватметри).

Лабораторний стенд ЛЄС-5 призначений для виконання лабораторних робіт з електротехніки та електроніки, а також для вивчення принципів роботи електричних кіл і електровимірювальних приладів. Стенд дає змогу студентам досліджувати основні електричні параметри, виконувати вимірювання струму, напруги, потужності та опору, а також ознайомлюватися з методами збирання та аналізу електричних схем (рис.2.2).



Рис.2.2. Лабораторний стенд ЛЕС-5 з електровимірювальними приладами.

3. Вивчити принцип роботи трансформатора та його схеми підключення в лінію електропередачі.

Трансформатор використовується для підвищення або пониження напруги змінного струму при передачі електричної енергії на відстань без зміни частоти (рис.2.3).

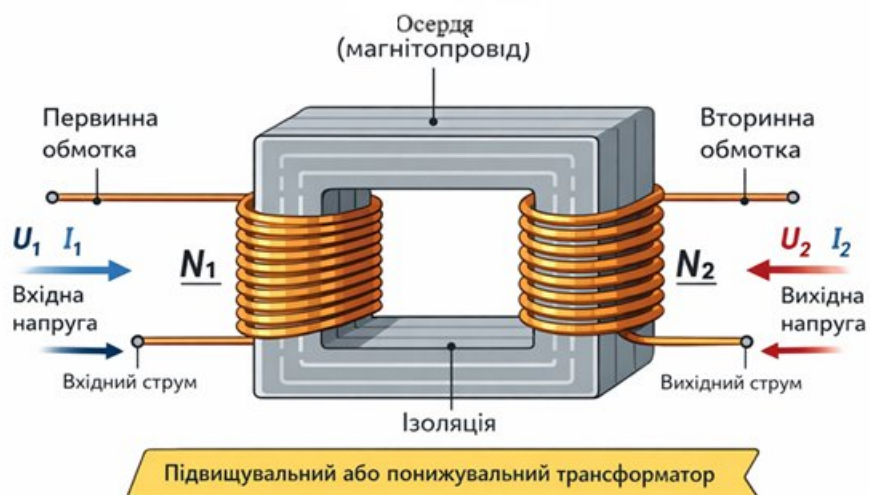


Рис.2.3. Схема будови трансформатора

Будова:

осердя – магнітопровід із сталевих пластин, через який проходить магнітний потік.

1. Первинна обмотка – котушка, до якої підключається джерело змінного струму.
2. Вторинна обмотка – котушка, з якої знімається електрична енергія для навантаження.
3. Ізоляція – забезпечує електробезпеку між обмотками та сердечником.

Принцип дії:

- Змінний струм у первинній та вторинній обмотках створює ЕРС змінний магнітний потік у осерді магнітопровіду, яка визначається за формулами:

$$E_1 = 4,44f\Phi_m W_1 \text{ та } E_2 = 4,44f\Phi_m W_2 :$$

де:  $\Phi_m$  - амплітуда магнітного потоку;

$f$  – частота змінного струму;

$W_1$  та  $W_2$  кількість витків первинної та вторинної обмоток.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} = K,$$

Коефіцієнт  $K = n_2 / n_1$  є коефіцієнт трансформації. При  $K > 1$  трансформатор називається підвищувальним  $K < 1$  –понижуючим. Написані співвідношення, строго кажучи, описують лише ідеальний трансформатор, у якому немає розсіювання магнітного потоку і відсутні втрати енергії на нагрівання провідників. Ці втрати можуть бути пов'язані з наявністю активного опору самих обмоток і виникненням індукційних струмів (струмів Фуко) у сердечнику. Відношення  $R_{екв} = U_1 / I_1$  можна розглядати як еквівалентний активний опір первинної обмотки, коли вторинна обмотка навантажена на опір  $R_n$ . Таким чином, трансформатор «трансформує» не лише напругу і струми, але і опори. У сучасній техніці знайшли широке використання трансформатори різних конструкцій. У радіотехнічних пристроях використовуються невеликі, малопотужні трансформатори, що мають звичайне декілька обмоток (що знижують або підвищують напругу джерела змінного струму). У електротехніці часто застосовуються так звані трифазні трансформатори, призначені для одночасного підвищення або пониження трьох напруг, з сувом по фазі одна відносно одної на кути  $120^\circ$ . В технічних характеристиках трансформатора вказані його основні параметри (рис.2.4.):

### ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРА

Параметр	Значення
1. Тип трансформатора	Однофазний, понижувальний, лабораторний
• Номінальній напруга обмоток (U1/U2):	• U1 = 220 В (первинна обмотка)
• U1 = 220 В (первинна обмотка)	• U2 = 12 В (вторинна обмотка)
• Номінальна потужність (S):	• 300 ВА (0,3 кВА)
• Кількість витків первинної (вторинної) обмотки	• N1 = 2200 витків
• Коефіцієнт трансформації (k = N2/N1)	• 0,0545
• Клас точності (u2):	• 1,0 (похибка ±1%)
• Номінальний струм первинної обмотки (фазовка)	• I1 = 1,36 А
• Спосіб охолодження	• Повітряне (АО)
• Частота струму (f):	• Природне охолодження без вентилятора
• Вхідні та вихідні підключення	• Регулятор напруги: 0–250 В (для лабораторного встановлення)

Рис.2.4. Технічні характеристики трансформатора.

1. Тип трансформатора
  - Однофазний або трифазний.
  - Підвищувальний або понижувальний.
  - Лабораторний (для навчальних стендів) або промисловий.
2. Номінальні напруги
  - Напруга первинної обмотки (U1) (В).
  - Напруга вторинної обмотки (U2) (В).
3. Номінальна потужність
  - Вказується у вольт-амперах (ВА) або кіловольт-амперах (кВА).
  - Показує максимально допустиме навантаження трансформатора без перегріву.
4. Кількість витків обмоток
  - Первинна (N1) і вторинна (N2).
  - Відношення (N2/N1) визначає коефіцієнт трансформації ( $k = U2/U1$ ).
5. Клас точності
  - Визначає, наскільки напруга на вторинній обмотці відповідає теоретично розрахованій.
  - Наприклад, 0,5; 1,0; 1,5 тощо.
6. Номінальний струм
  - Струм первинної (I1) і вторинної (I2) обмотки.
  - Залежить від номінальної потужності та напруги: ( $I = P/U$ ).
7. Спосіб охолодження
  - Повітряне (АО)
  - Масляне (МО)
  - Без охолодження (для малопотужних лабораторних трансформаторів).
8. Частота струму
  - Найчастіше 50 Гц для побутових та навчальних трансформаторів.
9. Вхідні та вихідні підключення
  - Тип клем, порядок підключення та наявність регуляторів напруги.

Ось основні схеми з'єднання трансформатора в лінію електропередачі для лабораторного та навчального використання:

## Однофазний трансформатор

Підключення до лінії:

- Первинна обмотка – підключається до джерела змінного струму (наприклад, до мережі 220 В).
- Вторинна обмотка – підключається до навчального навантаження (лампи, резистор, амперметр, вольтметр).

Принцип дії: Змінна напруга первинної обмотки створює магнітний потік у сердечнику, який індукуює напругу у вторинній обмотці. Напруга на вторинній обмотці визначається співвідношенням кількості витків: ( $U_2/U_1 = N_2/N_1$ ).

Трифазний трансформатор (рис.2.5).

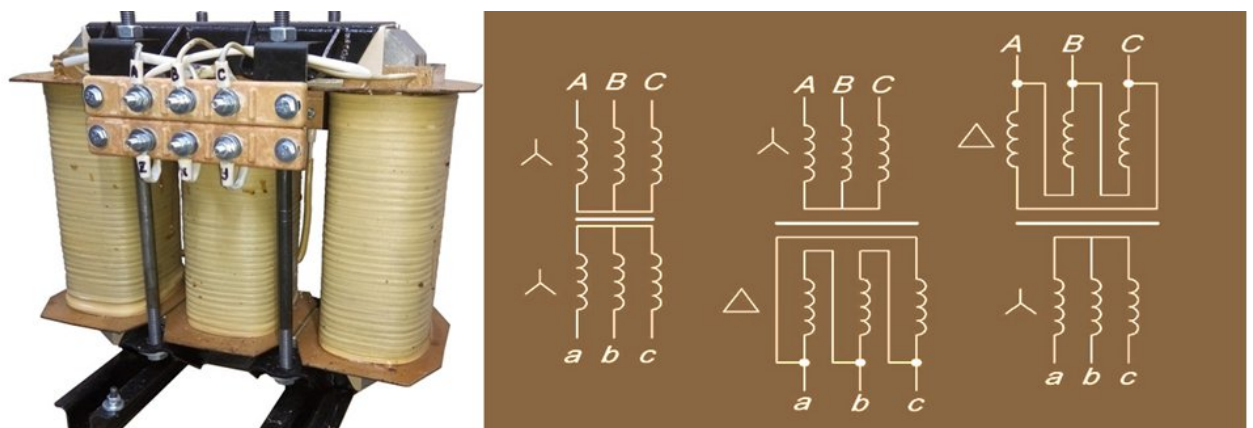


Рис.2.5. Схеми з'єднання трифазного трансформатора.

Підключення до трифазної лінії:

- Зірка (Y) – об'єднання кінців обмоток у спільну точку (нейтраль). Використовується для пониження напруги.
- Трикутник (Δ) – об'єднання обмоток у замкнуту петлю. Використовується для підключення до промислових мереж.

Типові варіанти:

- Y/Y – первинна і вторинна обмотки зіркою, використовується для передачі на великі відстані.
- Δ/Y – первинна трикутником, вторинна зіркою, використовується для пониження напруги на підстанціях.
- Y/Δ – первинна зіркою, вторинна трикутником, рідше використовується в промислових мережах.

Провести дослідження холостого ходу та короткого замикання трансформатора. Увімкнути джерело живлення та провести вимірювання:

- Напруги на первинній та вторинній обмотках трансформатора.

○

$$I_{1\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{U_{1\text{НОМ}}}; I_{2\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{U_{2\text{НОМ}}},$$

- де  $S_{\text{НОМ}}$  – повна номінальна потужність.

- або струму в колі первинної та вторинної обмоток.

- Активної потужності за допомогою ватметра.

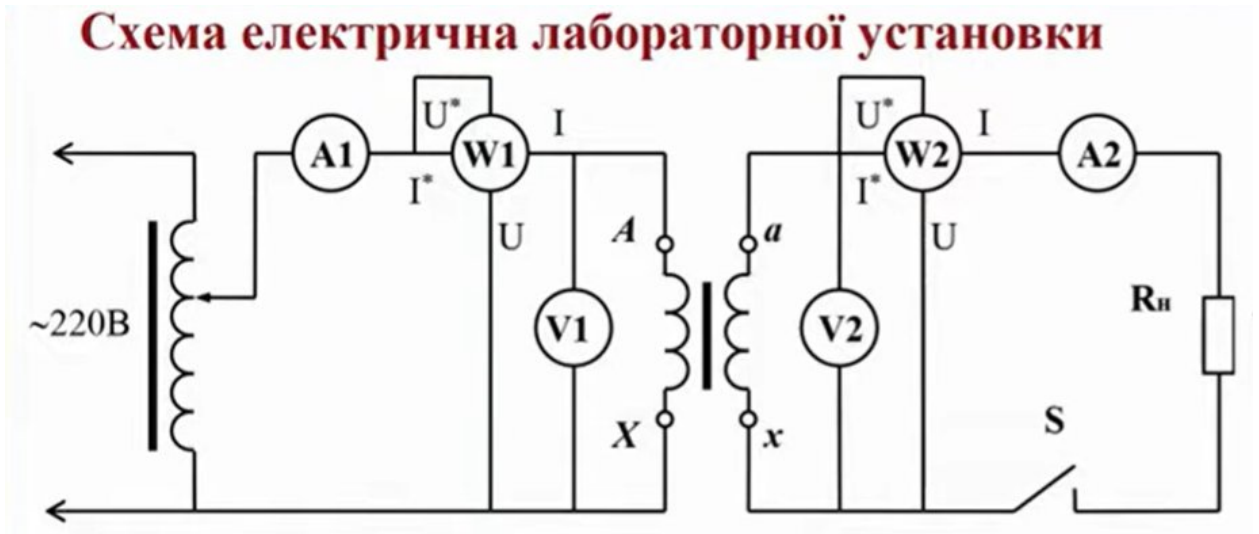


Рис. 2.6. Схема установки дослідження трансформатора: режим холостого ходу та під навантаженням

- Оформити результати вимірювань у таблиці та зробити висновки.

Таблиця 1

Дослідження холостого ходу трансформатора

Дані спостережень				Результати обчислень		
$U_{1.0}$	$I_{1.0}$	$P_{1.0}$	$U_{2.0}$	$K_{1,2}$	$I_{1.0}/I_{1N}$	$\cos\varphi_{1.0}$
<i>B</i>	<i>A</i>	<i>Bm</i>	<i>B</i>			

Таблиця 2

Дослідження трансформатора під навантаженням

Дані спостережень			Результати обчислень			
$U_{1K}$	$I_{1N}$	$P_{1K}$	$\cos\varphi_{1K}$	$r_K$	$Z_K$	$X_K$
<i>B</i>	<i>A</i>	<i>Bm</i>		<i>Ом</i>	<i>Ом</i>	<i>Ом</i>

## Дослід короткого замикання трансформатора

Дані спостережень			Результати обчислень			
$U_{1к}$	$I_{1н}$	$P_{1к}$	$\cos\varphi_{1к}$	$r_k$	$Z_k$	$X_k$
<i>B</i>	<i>A</i>	<i>Вт</i>		<i>Ом</i>	<i>Ом</i>	<i>Ом</i>

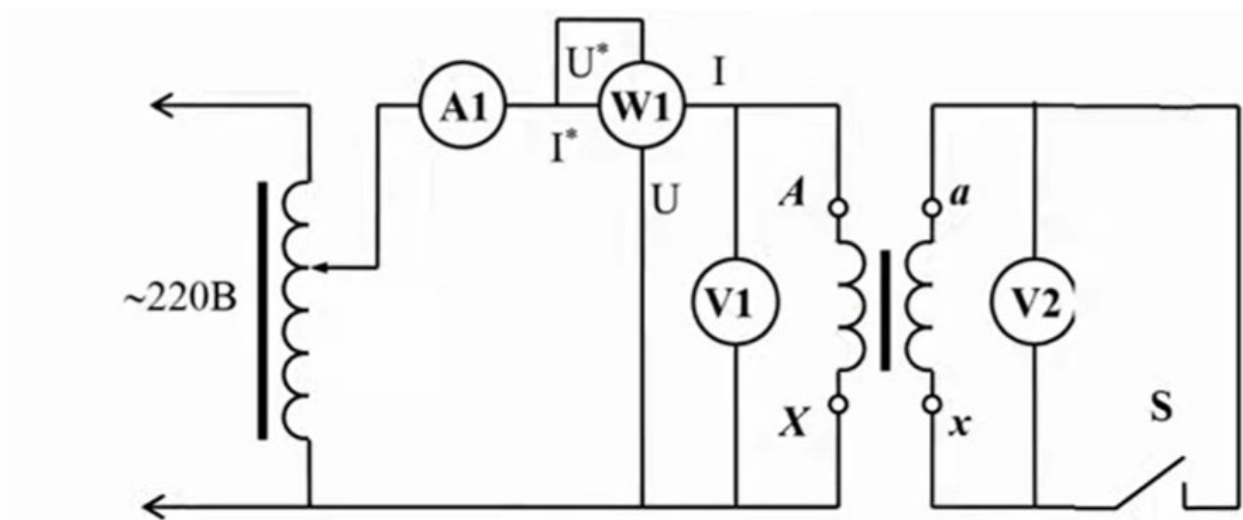


Рис. 2.7. Схема установки дослідження трансформатора: режим короткого замикання.

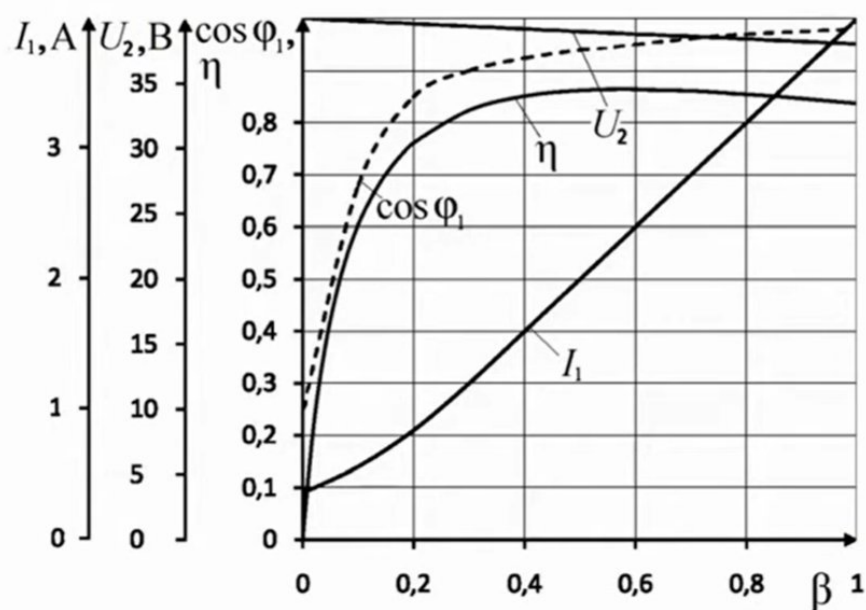


Рис. 2.8. Робочі характеристики трансформатора

## Вимоги до звіту лабораторної роботи

### Титульна сторінка

- Назва навчального закладу, кафедри та дисципліни.
- Тема лабораторної роботи.
- Прізвище, ім'я студента, група, дата виконання.
- 2. Мета роботи
  - Коротко описати основну мету: дослідження трансформаторів, їхніх характеристик та схем підключення для передачі електричної енергії.
- 3. Обладнання та матеріали
  - Лабораторний стенд, трансформатор(и), амперметри, вольтметри, ватметр, джерело живлення, навчальні навантаження.
- 4. Теоретична частина
  - Принцип роботи трансформатора.
  - Основні схеми підключення в лінію електропередачі (однофазне, трифазне – зірка, трикутник).
    - Основні технічні характеристики трансформатора та вимірювальних приладів: межі вимірювання, ціна поділки шкали, клас точності.
- 5. Порядок виконання роботи
  - Ознайомлення зі стендом та приладами.
  - Вивчення принципу роботи та схем підключення трансформатора.
  - Дослідження холостого ходу та короткого замикання:
    - Вимірювання напруги на первинній та вторинній обмотках.
    - Вимірювання сили струму в колах первинної та вторинної обмоток.
    - Вимірювання активної потужності за допомогою ватметра.
- 6. Результати вимірювань
  - Оформити в таблицях усі проведені вимірювання.
  - Обов'язково вказати одиниці вимірювання та похибки приладів.
- 7. Обробка результатів
  - Обчислення коефіцієнта трансформації, потужності навантаження, та інших необхідних величин.
    - Порівняння результатів із теоретичними значеннями.
- 8. Висновки
  - Основні спостереження та отримані результати.
  - Висновки про роботу трансформатора та точність вимірювань.
- 9. Контрольні питання
  - Опрацювати всі контрольні питання до лабораторної роботи (10 запитань).
- 10. Додатки (за потреби)
  - Схеми підключення.
  - Графіки, діаграми, фотографії експерименту.

### Контрольні запитання

1. Що таке трансформатор і яке його основне призначення?
2. Назвіть основні елементи будови трансформатора та поясніть їх призначення.
3. Як визначається коефіцієнт трансформації трансформатора?
4. Які типи трансформаторів існують за фазністю та призначенням?
5. Поясніть різницю між підвищувальним і понижувальним трансформатором.
6. Що таке номінальна напруга і номінальна потужність трансформатора?
7. Як впливає кількість витків обмоток на напругу вторинної обмотки?
8. Поясніть призначення ізоляції в трансформаторі.
9. Назвіть основні схеми підключення трифазного трансформатора до мережі і в чому їх відмінності.
10. Як визначається ефективність передачі електричної енергії через трансформатор?

### Тестові завдання

1. Яке призначення трансформатора?
  - a) Змінювати частоту струму
  - b) Підвищувати або понижувати напругу ✓
  - c) Зберігати електроенергію
  - d) Вимірювати силу струму
2. Який параметр трансформатора визначає співвідношення напруг первинної та вторинної обмоток?
  - a) Клас точності
  - b) Кількість витків обмоток ✓
  - c) Потужність
  - d) Струм
3. Однофазний трансформатор підключають до:
  - a) Однієї фази мережі ✓
  - b) Трьох фаз одночасно
  - c) Лінії з нульовим проводом лише
  - d) Навантаження постійного струму
4. Трифазний трансформатор може мати схему підключення:
  - a) Лінія-зірка ✓
  - b) Паралель-серія
  - c) Послідовна-паралель
  - d) Ом-Вольт
5. Коефіцієнт трансформації ( $k = U_2/U_1$ ) визначається:
  - a) Потужністю трансформатора
  - b) Напругою навантаження
  - c) Відношенням витків вторинної та первинної обмотки ✓
  - d) Класом точності
6. Який параметр трансформатора показує його максимально допустиме навантаження?
  - a) Напруга
  - b) Потужність ✓
  - c) Струм
  - d) Частота
7. Для чого застосовують лабораторний трансформатор?
  - a) Для передачі електроенергії на великі відстані
  - b) Для навчальних експериментів і демонстрацій ✓
  - c) Для живлення будинків
  - d) Для вимірювання опору
8. У чому відмінність між підвищувальним і понижувальним трансформатором?
  - a) Кількість фаз
  - b) Відношення напруг ( $U_2/U_1$ ) ✓
  - c) Потужність
  - d) Частота

9. Який елемент трансформатора забезпечує шлях для магнітного потоку?
- a) Обмотка
  - b) Сердечник ✓
  - c) Ізоляція
  - d) Клеми
10. Що показує клас точності трансформатора?
- a) Наскільки фактична напруга відповідає теоретичній ✓
  - b) Максимальну потужність
  - c) Кількість фаз
  - d) Тип охолодження
11. Лабораторний трансформатор підключають до:
- a) Постійного струму
  - b) Змінного струму ✓
  - c) Тільки трифазної мережі
  - d) Лінії постійного і змінного струму
12. При підключенні трифазного трансформатора “зіркою” нейтраль:
- a) Не підключена
  - b) Об’єднує кінці обмоток ✓
  - c) З’єднує первинну та вторинну обмотку
  - d) Використовується для вимірювань
13. Для чого потрібна ізоляція в трансформаторі?
- a) Зменшення магнітного потоку
  - b) Для безпечного розділення обмоток і сердечника ✓
  - c) Збільшення потужності
  - d) Регулювання напруги
14. Як визначається напруга на вторинній обмотці трансформатора?
- a) Через номінальний струм
  - b) Через співвідношення витків обмоток ✓
  - c) Через частоту струму
  - d) Через тип ізоляції
15. Трифазний трансформатор  $\Delta/Y$  зазвичай використовують для:
- a) Побутових квартир
  - b) Промислових мереж із пониженням напруги ✓
  - c) Лабораторних експериментів
  - d) Вимірювання струму

### **Рекомендована література до лабораторної роботи**

1. Бурик М. П., Спінул Л. Ю., Лободзинський В. Ю., Перетятко Ю .В., Ілліна О. О. Теоретичні основи електротехніки. Лабораторний практикум: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 96 с.
2. Дружинін В.А., Толюпа С.В., Бойко Ю.М. Електротехніка та електроніка: навч. посіб. Київ: КНУ імені Тараса Шевченка, 2024. 85 с.

## Рекомендована література

### Основна

1. Бурик М. П., Спінул Л. Ю., Лободзинський В. Ю., Перетятко Ю. В., Ілліна О. О. Теоретичні основи електротехніки. Лабораторний практикум: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 96 с.
2. Дружинін В.А., Толюпа С.В., Бойко Ю.М. Електротехніка та електроніка: навч. посіб. Київ: КНУ імені Тараса Шевченка, 2024. 85 с.
3. Кузик Р.І. В. Синтез енергоформуєчого керування електротехнічними комплексами із застосуванням декомпозиції: дис... докт. філ.141.14/ Національний ун-т «Львівська політехніка». Львів, 2024.198 с.
4. Кравченко І. М., Остапущенко О. П. Електротехніка та електроніка. Електричні машини : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт: навч.посіб. Київ : КНУБА, 2024. 52 с.
5. Михайленко В. В., Троценко Є. О., Скринник О. М., Чуняк Ю. М. Електротехніка і електроніка. Лабораторний практикум: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 53 с.

### Допоміжна

1. Андрусенко С.І. Оцінка ефективності інвестицій в підприємства автомобільного сервісу. Для студентів спеціальностей 274 «Автомобільний транспорт», 015 «Професійна освіта (транспорт)». Київ : НТУ, 2021. 54 с.

## Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. Затверджені стандарти вищої освіти. URL: <https://cutt.ly/fkZ2SnO>
2. Концепція розвитку освіти України на період 2015–2025 років: проєкт. URL: <http://old.mon.gov.ua/ua/pr-viddil/1312/1390288033/1414672797/>
3. Про вищу освіту: Закон України № 1556-VII від 1 лип. 2014 р. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>
4. Про затвердження переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти: постанова Кабінету Міністрів України № 266 від 29 квіт. 2015 р. URL: <http://old.mon.gov.ua/ua/pr-viddil/1312/1421144886/1424935774/>
5. Про наукову і науково-технічну діяльність: Закон України №848-VIII від 16.10.2021 р. URL: <https://cutt.ly/okZ28R8>