

Змістовий модуль 6. Електричні вимірювання.
Тема № 6. Електричні вимірювання та вимірювальні прилади.

План лекції

1. Класифікація вимірювальних приладів.
2. Прилади магнітоелектричної системи.
3. Прилади електромагнітної системи.
4. Прилади електродинамічної систем.
5. Вимірювання опорів.

1. Класифікація вимірювальних приладів і погрішності вимірів

Для контролю режиму електричних кіл доводиться вимірювати ряд фізичних величин: струм, напругу, потужність, енергію. У ланцюгах змінного струму крім цього вимірюють також частоту, зрушення по фазі й контролюють форму кривої напруги й струму.

Вимірювання - знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Технічні засоби, які служать для виміру електричних величин, називаються *електровимірювальними приладами*.

Від вимірювальних приладів, застосовуваних в електричних колах, насамперед потрібно, щоб вони не вносили помітних викривлень у режим ланцюга. Тому електровимірювальні прилади повинні споживати мінімальну потужність і не виявляти істотного впливу на опір ланцюга.

Прилади, показання яких є безперервними функціями вимірюваних величин, називають *аналоговими* (у них відлік значення вимірюваної величини проводиться по шкалі). Вимірювальні прилади, що автоматично виробляють дискретні сигнали вимірювальної інформації, що й дають показання в цифровій формі, називають *цифровими*.

Отримане з досліду значення вимірюваної величини може відрізнятись від її дійсного значення. Це може бути обумовлене конструктивними недоліками приладу, недосконалістю технології його виготовлення, а також впливом різних зовнішніх факторів. Різниця між показанням приладу X й дійсним значенням вимірюваної величини X_0 називається **абсолютною погрішністю** вимірювального приладу:

$$\Delta = X - X_0. \quad (1)$$

Відносна погрішність виміру δ визначає **точність виміру**, виражається звичайно у відсотках до дійсного значення X_0 , але через те, що відхилення X від X_0 порівняно малі, то можна вважати, що

$$\delta = \frac{\Delta}{X_0} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta}{X} \cdot 100\% \quad (2)$$

Оскільки величина X при вимірюванні може набувати будь-яких значень в межах від 0 до X_N , де X_N - верхня межа діапазону виміру приладу (номінальне значення), то оцінити **точність приладу** за значенням абсолютної або відносної погрішності неможливо. Тому було введено поняття **приведеної погрішності**

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \quad (3)$$

Значення приведеної погрішності, виражене у відсотках: $\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%$, визначає **клас точності** приладу. По ступеню точності показань, що даються, електровимірювальні прилади діляться на класи, позначувані відповідно числами: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 і 4, що визначають максимальну погрішність приладу у відсотках при повному відхиленні покажчика.

Електровимірювальні прилади класифікують із цілого ряду ознак. Наведемо лише деякі з них:

1. За видом вимірюваної величини. Класифікація в цьому випадку проводиться по найменуванню одиниці вимірюваної величини. На шкалі приладу пишуть повне його найменування або початкову латинську букву одиниці вимірюваної величини, наприклад, амперметр - A , вольтметр - V , ватметр - W і т.д. До умовної букви найменування приладу може бути додане позначення кратності основної одиниці: міліампер - mA , кіловольт - kV , мегават - MW і т. д.



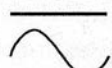


2. За фізичним принципом дії вимірювального механізму приладу, тобто за способом перетворення електричної енергії в механічну дію рухливої частини приладу (табл. 1).

Таблиця 1. Умовні позначки, що вказують принцип дії вимірювального механізму приладу

Тип приладу	Умовні позначки
Магнітоелектричний	
Випрямний з магнітоелектричним механізмом	
Електромагнітний	
Електродинамічний	
Феродинамічний	
Індукційний	
Термоелектричний	

3. За родом вимірюваного струму. Ця класифікація дозволяє визначити, у ланцюгах якого струму можна застосовувати даний прилад (табл. 2).

Таблиця 2. Умовні позначки, що вказують рід струму, для якого призначений прилад

Род тока	Условные обозначения
Постоянный	
Переменный (однофазная система)	
Постоянный и переменный	
Трёхфазная система (общее обозначение)	
Трёхфазная система (при несимметричной нагрузке фаз)	

Якщо на приладі не зазначений діапазон робочих частот, виходить, він призначений для роботи в установках із частотою 50 Гц.

4. За класом точності. Клас точності приладу є його узагальненою характеристикою. Відносна погрішність, що допускається, менше в точках шкали, найближчих до номінального значення.

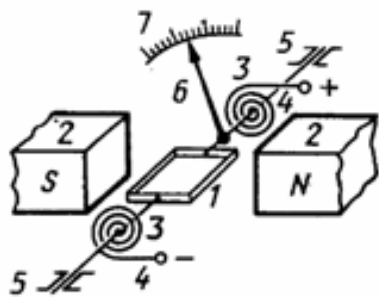
На шкалі електровимірювального приладу відзначаються вимірювана їм фізична величина, клас точності приладу, рід струму, для якого прилад призначений, робоче положення (вертикальне або горизонтальне), величина напруги, при якій випробовувалася ізоляція приладу, система приладу. Наприклад, прилад М42101, зображений на мал. 2, являє собою кілоамперметр постійного струму класу точності 1,5, вертикального розташування, ізоляція випробувана напругою 2 кВ, магнітоелектричної системи (таблиця 3):

Таблиця 3. Позначення на шкалі вимірювального приладу, зображеного на мал. 2

Найменування приладу	Тип (вимірювана фізична величина)	Клас точності приладу	Рід вимірюваного струму	Робоче положення	Напруга випробування ізоляції	Система приладу
М42101	кілоамперметр	1,5	постійний	вертикальне	2 кВ	магнітоелектрична
М42101	кА	1,5	—	⊥	☆2	⏏

2. Прилади магнітоелектричної системи

Принцип дії приладів магнітоелектричної системи заснований на взаємодії рамки зі струмом з магнітним полем постійного магніту (мал. 1).



Мал. 1. До принципу дії приладу магнітоелектричної системи



Мал. 2. Кілоамперметр магнітоелектричної системи

Полюсні наконечники магніту 2 служать для створення однорідного магнітного поля, у якому може повертатися навколо своєї осі 5 легка алюмінієва рамка 1, яка містить обмотку. Вимірюваний струм, при підключенні приладу через клеми 4, проходить у рамку через спіральні пружини 3, які одночасно служать для створення протидіючого моменту.

При протіканні струму через рамку виникають сили, що створюють обертальний момент, який у міру її повороту врівноважується механічним протидіючим моментом, створюваним пружинами.

Кут повороту α стрілки 6 магнітоелектричного приладу пропорційний струму I в рамці й шкала 7 такого приладу рівномірна (k - постійна приладу).

$$\alpha = kI .$$

Механізм магнітоелектричного приладу звичайно використовується для виготовлення *гальванометра* й *амперметра* (мал. 2). Але струм, проходячи по обмотці рамки, створює на ній спадання напруги $U = IR$, рівне напрузі, прикладеній до приладу, і кут повороту стрілки буде пропорційний цій напрузі:

$$\alpha = kI = k \frac{U}{R} = cU$$

($c = const$). Звідси випливає, що магнітоелектричний механізм можна використовувати й для виготовлення *вольтметра*. Через те, що опір вольтметра повинний бути досить великим, у *вольтметрі магнітоелектричної системи послідовно з обмоткою рамки включають додатковий резистор з великим опором*. Міняючи величину додаткового резистора, можна зменшувати або збільшувати межу виміру напруги.

*Якщо магнітоелектричний прилад використовують для виміру порівняно великих струмів, то паралельно рамці присьднують резистор, називаний **шунтом***. У цьому випадку через вимірювальний прилад іде тільки частина вимірюваного струму, і межа виміру по струму розширюється.

Магнітоелектричні прилади придатні тільки для виміру в ланцюгах постійного струму. При включенні їх у ланцюг змінного струму застосовують перетворювальні пристрої (випрямлячі, термоелектричні перетворювачі і т.д.).

Магнітоелектричні прилади мають високу точність і чутливість, рівномірну шкалу, низьку сприйнятливості до змін температури навколишнього середовища й зовнішніх магнітних полів, мале споживання енергії. Недоліки таких приладів - придатність тільки для постійних струмів (для змінних струмів потрібні додаткові пристрої), велика чутливість до перевантажень, складність конструкції й висока вартість.

3. Прилади електромагнітної системи

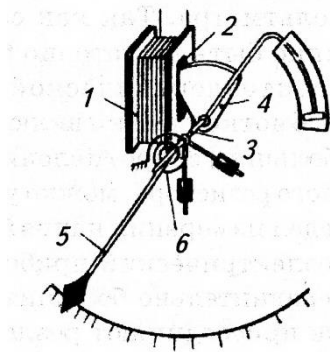
Принцип дії приладів електромагнітної системи заснований на взаємодії магнітного поля котушки, створеного вимірюваним струмом, зі сталевим сердечником, поміщеним у це поле (мал. 3).

При протіканні вимірюваного струму через котушку 1 у її плоскій щілині 2 створюється магнітне поле. Поза котушкою на агатових підп'ятниках встановлена вісь 3 з ексцентрично укріпленим сердечником 4 з магнітом'якої (з малою коерцитивною силою й великою магнітною проникністю) сталі й стрілкою 5. Магнітне поле котушки намагнічує сердечник і втягує його усередину, повертаючи тим самим вісь зі стрілкою приладу. Цьому повороту перешкоджає спіральна пружина, що закручується, 6, що створює протидіючий момент.

На відміну від приладів магнітоелектричної системи **в приладів електромагнітної системи кут відхилення стрілки α пропорційний квадрату струму I** (c - постійна приладу):

$$\alpha = cI^2, \quad (4)$$

тому **шкала електромагнітного приладу нерівномірна** (мал. 4).



Мал. 3. До принципу дії приладу електромагнітної системи



Мал. 4. Амперметр змінного струму електромагнітної системи

Міняючи форму сердечника і його розташування в котушці, можна одержати майже рівномірну шкалу, починаючи з 20 % від верхньої межі вимірів. При менших значеннях вимірюваної величини електромагнітні

прилади недостатньо чутливі й початкова частина шкали вважається неробочою.

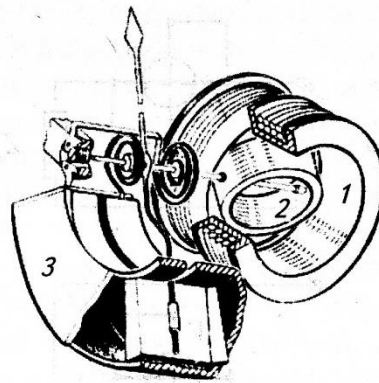
Напрямок відхилення стрілки приладу не залежить від напрямку струму в котушці, тому що при зміні напрямку струму одночасно міняється напрямок вектора магнітної індукції усередині котушки й у сердечнику, а характер їх взаємодії (притягання) залишається колишнім. Цей же висновок випливає з вираження (4), у яке значення струму входить у квадраті. Отже, **ці прилади придатні для вимірів у ланцюгах і постійного, і змінного струму**. У ланцюзі змінного струму вони вимірюють діюче значення. Електромагнітні прилади застосовуються і як **амперметри**, і як **вольтметри**. В останньому випадку обмотка виконується більшим числом витків тонкого мідного дроту.

Перевагами електромагнітних приладів є простота конструкції, невисока вартість, придатність для постійного й змінного струму, здатність витримувати великі перевантаження, можливість безпосереднього включення амперметрів на великі струми, а також придатність для застосування як щитових приладів. Недоліки: нерівномірність шкали, низька чутливість, порівняно велике власне споживання енергії, висока чутливість до впливу зовнішніх магнітних полів.

4. Прилади електродинамічної систем

Принцип дії приладів електродинамічної системи засновано на механічній взаємодії двох котушок зі струмом (мал. 5). Нерухлива котушка 1 складається із двох секцій (для створення однорідного поля) і навивається звичайно товстим дротом. Усередині нерухливої міститься легка рухлива котушка 2, жорстко скріплена з віссю й стрілкою. Рухлива котушка включається у вимірюваний ланцюг через спіральні пружини, що створюють протидіючий момент. Прилад також містить повітряний заспокоювач 3.

При проходженні струму по котушках створюються два магнітні поля, які прагнуть повернути рухливу котушку в положення, у якому енергія всього механізму була б мінімальною.



Мал. 5. До принципу дії приладу електродинамічної системи

Кут відхилення стрілки приладу електродинамічної системи пропорційний добутку струмів у котушках:

$$\alpha = kI_1I_2, \quad (5)$$

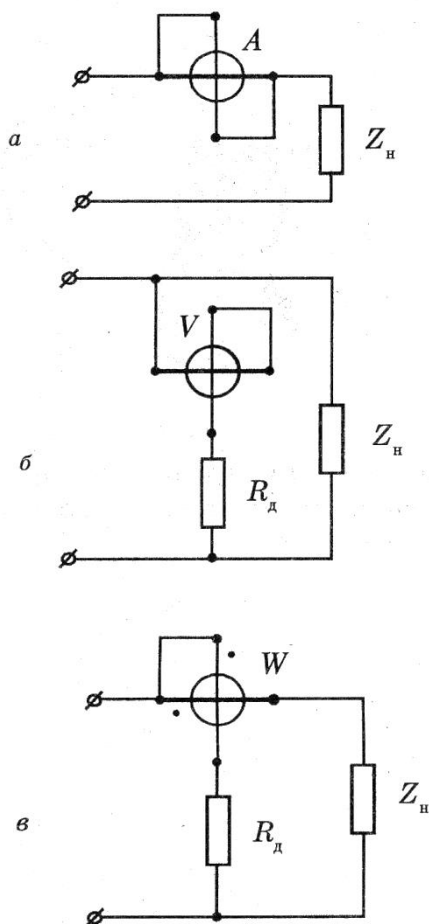
де k - постійна даного приладу.

Електродинамічні прилади можна використовувати й для **змінного струму**, бо напрямки струмів в обох котушках змінюються на протилежні одночасно, і тому напрямок повороту рухливої котушки залишається незмінним.

Електродинамічні прилади використовуються як вольтметри, амперметри й головним чином як ватметри.

При використанні електродинамічного приладу як амперметра обмотки обох котушок з'єднують паралельно (мал. 6, а), як вольтметра - послідовно одна з одною і з додатковим резистором R_D (мал. 6, б).

Шкали електродинамічних вольтметрів і амперметрів нерівномірні, тому що струми в обох котушках пропорційні одній і тій самій вимірюваній величині.



Мал. 6. Використання електродинамічного приладу в якості:
(а) амперметра; (б) вольтметра; (в) ватметра

При використанні електродинамічного приладу в якості ватметра (мал. 6, в) обмотку нерухливої котушки включають у ланцюг послідовно, а обмотку рухливої котушки - паралельно затискачам приймача. Отже, відповідно до формули (5) кут повороту стрілки пропорційний добутку IU , тобто потужності, споживаній навантаженням, причому шкала електродинамічного ватметра рівномірна.

Напрямок відхилення рухливої системи приладу залежить від взаємного напрямку струмів у котушках. Тому для правильного включення обмоток їх затискачі маркують. У так званих «генераторних» затискачів обмоток (затискачів, до яких слід приєднувати проведення з боку джерела живлення) ставиться знак *. На електричних схемах їх позначають точками.

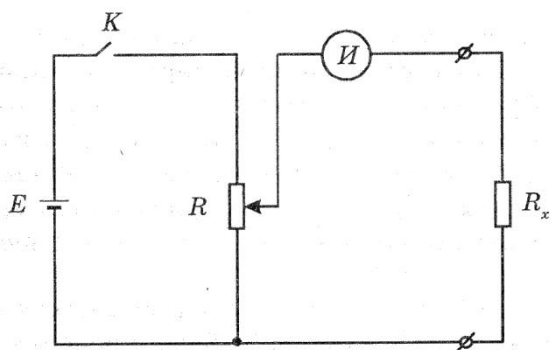
До переваг електродинамічних приладів належать точність і придатність для вимірювань в ланцюгах постійного й змінного струму. Недоліками є нерівномірна шкала, велика чутливість до перевантажень (через наявність струмоведучих пружин) і залежність від зовнішніх магнітних полів.

У ланцюгах змінного струму за допомогою електродинамічного ватметра можна вимірювати як активну, так і реактивну потужність.

5. Вимірювання опорів

Опори різних елементів електричних кіл змінюються в дуже широкому діапазоні. Опори умовно можна розділити на малі (до 1 Ом), середні (від 1 Ом до 100 кОм) і більші (більш 100 кОм). Для виміру опорів використовують наступні методи: *непрямий* (за допомогою амперметра й вольтметра, з наступним обчисленням опору), *безпосередньої оцінки й порівняння* (за допомогою мостів і потенціометрів).

Для безпосереднього виміру опорів застосовують *омметри* - прилади, у яких шкала проградуєрована в омах. Звичайно омметр - прилад, що поєднує в одному корпусі міліамперметр магнітоелектричної системи, джерело живлення (батарейку) і додатковий резистор R , що обмежує струм (мал. 7).



Мал. 7. До принципу дії омметра



Мал. 8. Омметр



Мал. 9. Мегаомметр

Через те, що малому опорі відповідає великий струм (і навпаки), то для знаходження положення нульового поділу на шкалі замикають ключ K і переміщенням движка резистора R домагаються найбільшого відхилення стрілки. Це положення стрілки відповідає нульовому поділу шкали. Потім, підключаючи відомі опори, градуують шкалу в омах. Відлік по такій шкалі ведеться справа ліворуч, а через те, що за законом Ома між струмом і опором існує обернено пропорційна залежність, то шкала омметра нерівномірна (мал. 8). Вона сильно стиснута в кінці, відповідному до великих опорів.

Для виміру великих опорів (опору ізоляції електричних машин, апаратів, приладів і електричної мережі напругою до 1000 В) застосовуються *мегаомметри* (мал. 9). Омметри з електровимірювальним механізмом дозволяють вимірювати опори, що не перевищують декількох тисяч Мом. Для виміру великих опорів використовуються електронні омметри (тераомметри).

Питання для самоконтролю

1. Що таке абсолютна погрішність електровимірювального приладу?
2. Що таке клас точності електровимірювального приладу?
3. Які умовні позначки ϵ на шкалі електровимірювального приладу?
4. Опишіть пристрій і принцип дії магнітоелектричного електровимірювального приладу.
5. Опишіть пристрій і принцип дії електромагнітного електровимірювального приладу.
6. Опишіть пристрій і принцип дії електродинамічного електровимірювального приладу.
7. Як потрібно з'єднати обмотки електродинамічного приладу, щоб використовувати його як амперметр, як вольтметр?
8. Як улаштований омметр?
9. Чому в омметра нульовий поділ шкали перебуває праворуч?

Список літератури

1. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учеб. пособие для неэлектротехн. спец. техникумов. – М.: Высш. шк., 2005. – §§ 11.1 – 11.15 (с. 318 – 357).
2. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники: учеб. пособие. – 15-е изд., стереотипное – Ростов н/Д: Феникс, 2013. – §§6.1 – 6.7, 6.9 (с. 140 – 163, 165 - 167).

3. Славинский А.К., Туревский И.С. Электротехника с основами электроники: учебное пособие. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. – глава 5, §§ 5.1 – 5.7 (с. 107 – 126).