

Розділ III. Електричні виміри та електровимірювальні прилади
Тема 3.1 «Електровимірювальні прилади: класифікація, позначення на шкалах»

Лекція 9

Похибки електровимірювальних приладів. Вимірювальні механізми різних систем.
Вимірювання електричних величин

Мета: оволодіти знаннями про електровимірювальні прилади.

Методи: словесний, практичний, наочний.

План:

1. Значення та особливості електричних вимірювань.
2. Класифікація електровимірювальних приладів.
3. Основні загальні вузли та деталі електровимірювальних приладів.
4. Прилади електромагнітної, магнітоелектричної та електродинамічної систем.
5. Будова і принцип дії фазометра. Вимірювання коефіцієнта потужності.
6. Цифрові вимірювальні прилади.
7. Методи електричних вимірювань

1. Значення та особливості електричних вимірювань.

Всякий технологічний процес включає вимірювання. Ця операція використовується в різних технологіях, майже в усіх виробничих процесах, у всіх галузях виробництва.

Вимірювання – це процес знаходження числового значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Результати вимірювання визначають числом та назвою одиниці вимірювання.

Особливість електричних вимірювань полягає в тому що:

1) органи чуття людини не можуть безпосередньо визначити електричні параметри. Тому покази електровимірювальних приладів - основа для визначення параметрів електричного кола та електричних пристосувань;

2) електричні вимірювання відрізняються простотою, високою надійністю, точністю і значною чутливістю. Виходячи з цього електричні вимірювання широко використовують для вимірювання неелектричних величин. Наприклад: температури, ваги, тиску, тощо. Застосування в сучасній промисловості автоматики та автоматизації виробничих процесів оснований на електричних вимірюваннях;

3) електровимірювання може здійснюватися з будь-якою швидкістю на будь-якій відстані.

2. Класифікація електровимірювальних приладів.

Електровимірювальними приладами називають електричні пристрої, призначені для вимірювання фізичних величин. Їх класифікують за такими ознаками:

1. За характером відліку:

1) Показуючі. Показчиком у таких пристроях стрілка (стрілочні прилади) або світловий показчик, а також цифрові прилади.

2) Самописи – спеціальні прилади, які автоматично записують вимірювану величину на паперову стрічку. Такі прилади широко використовують для автоматичного контролю та керування, технологічними процесами. Наприклад, прості самописи – барограф, термограф, апарат для записування кардіограми серця, витратоміри тощо.

3) Інтегруючі прилади дають можливість одержати сумарне значення вимірюваних величин протягом певного часу. Наприклад, лічильник електричної енергії.

2. За родом вимірюваної величини. Найпоширенішими серед них є прилади, що представлені в таблиці 1.

Таблиця 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)	Hz
Кут зсуву фаз	Фазометр	φ
Ємність	Фарадометр	F
Магнітний потік	Веберметр	Wb
Малі значення струму та напруги	Гальванометр	G

3. За призначенням та способом використання:

1) щитові (стаціонарні) для використання в нерухомому стані в розподільчих електрощитах та пультах керування енергосистемою тощо;

2) переносні (лабораторні) використовуються в будь-якому місці для різних лабораторних досліджень та експериментів з певною точністю.

4. За родом струму що використовується: постійного та змінного струму, постійного та змінного струму в одному приладі; трифазного змінного струму.

5. За класом точності. Ця класифікація здійснюється за ознакою – наскільки адекватні покази приладу дійсному значенню вимірюваної величини.

При електричних вимірюваннях допускаються похибки: – абсолютні та відносні.

Абсолютна похибка – це різниця між показом приладу і дійсним значенням вимірюваної величини: $\Delta A = A_{\text{вим}} - A_{\text{д}}$.

Величину обернену за знаком до абсолютної похибки називають поправкою приладу: $K = -\Delta A$.

Дійсне значення вимірної величини, на основі попередніх виразів:

$$A_{\text{д}} = A_{\text{вим}} + K$$

Абсолютна похибка не дає повного уявлення про точність процесу вимірювання, тому користуються поняттям відносної похибки. Вона визначається відношенням абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини:

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

Отже, чим більша вимірювана величина, тим менша відносна похибка. Наприклад, якщо $\Delta A = 0,5 \text{ А}$, то при вимірюванні сили струму $I_1 = 1 \text{ А}$ та $I_2 = 100 \text{ А}$ відносні похибки відповідно рівні:

$$\beta_1 = \frac{0,5}{1} 100\% = 50\%; \beta_2 = \frac{0,5}{100} 100\% = 0,5\%$$

Отже, при вимірюванні одним і тим же приладом відносна похибка на початку шкали на два порядки більша ніж у її кінці. Тобто, точнішим було вимірювання тоді, коли показчик знаходився у другій, правій, половині шкали приладу.

Для оцінки точності вимірювання приладу використовують так звану зведену похибку, яка визначається відношенням максимальної абсолютної похибки вимірювання до межі вимірювання, взятої у відсотках. Тобто:

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

Максимальне значення A_{max} ще називають номінальним значенням A_{nom} .

Для приладів з двосторонньою шкалою (таких, що мають нуль у середині шкали) номінальне, або граничне, значення приймається, як сума верхньої і нижньої меж вимірювання.

За клас точності приладу береться величина зведеної похибки, яка позначається на шкалі приладу. Розрізняють 8 класів точності приладів: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Ціна поділки визначається відношенням номінального значення цього приладу (межі вимірювання) до кількості поділок на його шкалі:

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

Номінальне значення найчастіше позначається біля клеми вмикання приладу або встановлюється на корпусі спеціальним перемикачем.

Властивість приладу реагувати на мінімальні зміни вимірюваної величини називають чутливістю. Вона визначається відношенням максимального лінійного переміщення покажчика приладу, вираженого в поділках шкали, до номінального значення вимірюваної величини (або чутливість приладу – це величина, обернена до ціни поділки): $S = \frac{N}{A_{\text{вим}}}$.

6. Залежно від зовнішньої температури та вологості повітря прилади поділяють на 3 групи (табл.2).

Таблиця 2

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

7. За ступенем захисту від дії зовнішніх магнітних та електричних полів прилади поділяють на три категорії:

1) Перша категорія – додаткова помилка не перевищує 0,5%.

2) Друга категорія – додаткова помилка не перевищує 1,0%.

3) Третя категорія – додаткова помилка не перевищує 2,5%.

8. За принципом дії електровимірювальні прилади поділяють на магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, феродинамічні, індукційні, електростатичні.

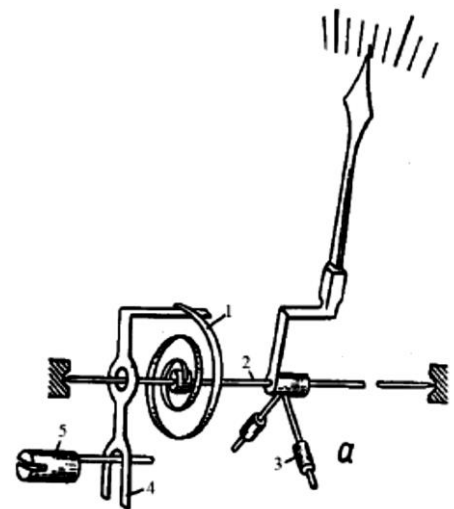
3. Основні загальні вузли та деталі електровимірювальних приладів.

Електровимірювальні прилади будь-якої системи складаються з вимірювального механізму, вимірного кола, що визначається призначенням приладу, пристосування для відліку вимірюваної величини, заспокоювача, пристрою для створення протидіючого моменту тощо.

Вимірювальний механізм – це електричний пристрій, що перетворює підведену електроенергію у механічну енергію обертання рухомої частини на деякий кут. Електроенергія при цьому споживається з вимірюваного електричного кола.

Пристосування для відліку фізичної величини складається з шкали та покажчика. Шкали можуть бути рівномірними – з однаковою відстанню між поділками та нерівномірними. Для кращого сприймання іноді використовують плоску дзеркальну пластину.

Покажчик може бути у вигляді звичайної стрілки або пучка світла «зайчика» з темною вертикальною рисочкою.



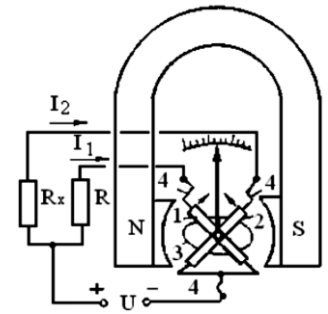
Мал. 1 Пристрій для створення протидіючого механічного обертового моменту аналогових приладів

Пристрій для створення протидіючого механічного моменту складається з осі 2, що вільно обертається в підп'ятниках; пружини 1, що власне і створює протидіючий механічний момент; коректора 5 та поводка коректора 4 (мал. 1).

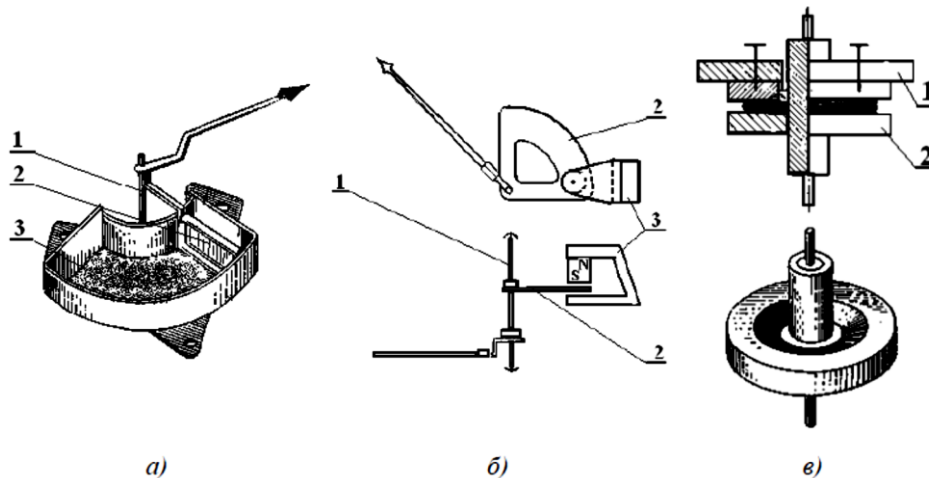
У приладах-логометрах протидіючий та обертовий моменти створюються електромагнітними силами. Кут відхилення залежить від співвідношення між струмами, що протікають по двох котушках, які з'єднані між собою під кутом 90° або 60° і розташованих між полюсами постійного магніту (мал. 2). Котушки ввімкнені зустрічно, а тому обертові моменти направлені у протилежних напрямках.

При відсутності струму в котушках, стрілка розташовується в будь-якому положенні, а не повертається на нульову поділку, як у приладах з механічною протидією.

Для того, щоб рухома частина швидше зупинялась, використовують заспокоювачі. Найпоширеніші серед них повітряні та магнітодинамічні, рідинні (мал. 3).



Мал. 2. Будова приладів логометричного типу



Мал. 3. Будова повітряного заспокоювача – а; магнітодинамічного заспокоювача – б; рідинного – в

Принцип дії повітряного заспокоювача зображено на мал. 3,а. На протилежному кінці покажчика (стрілки) легка пластинка (поршень), яка розташована у криволінійному циліндрі. При коливаннях стрілки, а отже і поршня, останній зазнає опору з боку повітря у замкненому об'ємі, що зумовлює швидке затухання коливань стрілки.

Магнітодинамічний заспокоювач – це алюмінієвий сегмент на осі, що розташований між полюсами постійного магніту. При коливаннях стрілки сегмент зазнає гальмування внаслідок дії магнітного поля постійного магніту на колові струми, що утворюються в алюмінієвій пластині.

Кожний прилад має корпус, клеми для з'єднання в електричному колі, коректор установлення стрілки приладу на нульову поділку, перемикачі для зміни межі вимірювання тощо.

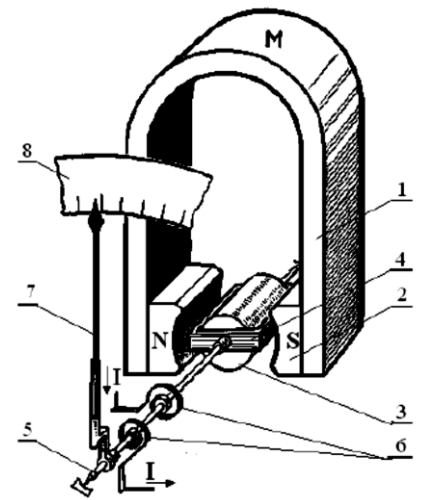
За принципом дії розрізняють такі найпоширеніші системи електровимірювальних приладів: магнітоелектрична, електромагнітна, електродинамічна, індукційна, електростатична та інші.

4. Прилади електромагнітної, магнітоелектричної та електродинамічної систем.

Прилад магнітоелектричної системи (мал. 4) 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.



Мал. 4. Прилад магнітоелектричної системи

При протіканні електричного струму в обмотці 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;

ω – 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} протидіє механічний момент сил M_{MEH} . На основі закону Гука:

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

Де: k – коефіцієнт пружності пружини;

λ – кут повороту рамки.

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

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

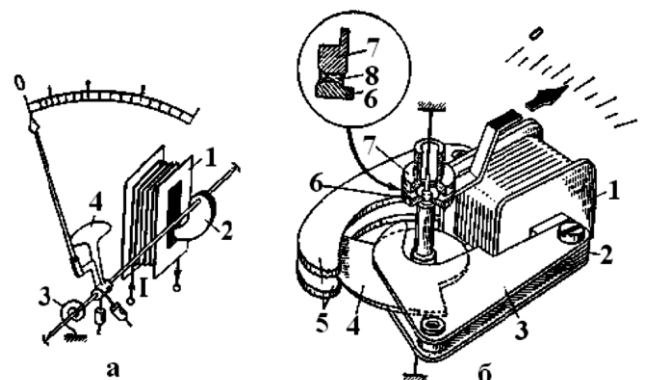
Де: Z – чутливість приладу.

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.

Прилади електромагнітної системи бувають з плоскою або круглою котушками (мал. 5, а, б). Принцип дії таких приладів базується на взаємодії магнітного поля котушки, що створюється вимірюваним струмом, зі стальним осердям, яке по міщене в це поле.



Мал. 5. Прилади електромагнітної системи: а) з плоскою котушкою; б) з круглою котушкою

Будова приладу з плоскою котушкою (мал. 5 а) простіша порівняно з приладами магнітоелектричної системи.

Основними деталями є плоска котушка 1, вісь 2, до якої кріпиться фігурне осердя, виготовлене з пермалою або магнітом'якої сталі, (рис. 5, а) пружина 3, яка створюють протидіючий механічний момент та постійний магніт-заспокоювач.

При протіканні вимірюваного електричного струму в котушці, створюється магнітне поле, яке втягує стальне фігурне осердя, завдяки чому виникає електромагнітний обертовий момент. Стрілка приладу зупиниться на поділці, коли електромагнітний момент зрівноважиться з механічним обертовим моментом пружини, яка спричиняє протидію.

На мал. 5, б зображено будову електромагнітного приладу із замкненим феромагнітним осердям. Принцип його дії аналогічний до попереднього, але магнітні силові лінії котушки 1 замикаються не через повітря, а через нерухомий магнітопровід 2, полюсні наконечники 3, рухоме осердя 4 та полюсні наконечники 5. При наявності струму в котушці осердя 4 втягується між полюсних наконечників 5, повертаючи вісь до якої кріпиться стрілка приладу.

При зміні напрямку струму в котушці змінюється полярність намагніченого осердя, тому напрям обертового моменту не змінюється. Отже такі прилади використовують для вимірювання як постійного так і змінного струмів. Вони мають певні переваги та недоліки порівняно з приладами інших систем.

Переваги: проста конструкція, надійність, мала собівартість, стійкість до перевантаження – прилад не виходить з ладу при $I_{\text{вим}} = 20I_{\text{ном}}$, придатні для вимірювання постійного та змінного струму.

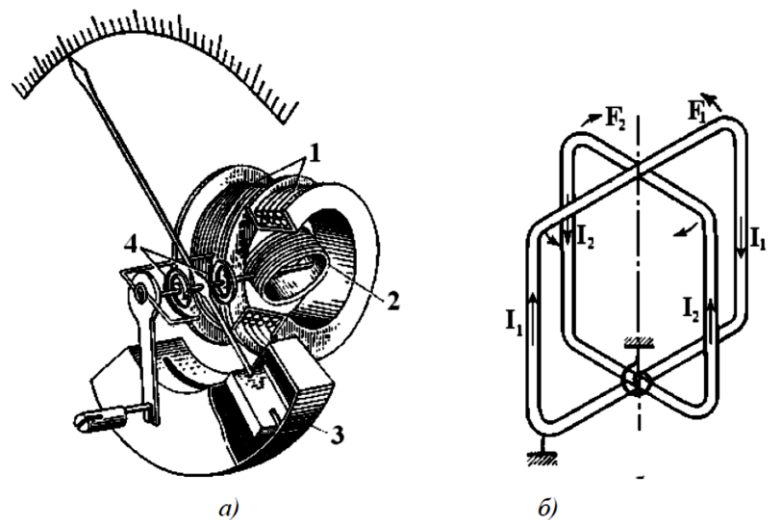
Недоліки: чутливість до зовнішніх полів (їх поміщають в металевий екрануючий корпус), нерівномірність шкали, велика власна споживана потужність 2-8 Вт, невисокий клас точності вимірювань 1,5 – 2,5.

Крім розглянутих вище приладів у електротехніці широко застосовують прилади електродинамічної системи. Відомо, що активну потужність споживачів обчислюють за формулою $P = UI$. Очевидно для вимірювання потужності потрібно мати прилад, який одночасно фіксує 2 параметри електричного кола – напругу і силу струму.

Такими приладами є ватметри електродинамічної системи. Принцип їх дії базується на взаємодії нерухомої та рухомої котушок, розташованих на нерухомій 1 та рухомій 2 рамочках, у яких протікає вимірюваний електричний струм (мал. 6). Рухома рамочка вільно обертається на осі.

Для створення протидіючого механічного обертового моменту до осі прикріплено дві спіральні пружини 4 та повітряний заспокоювач 3.

Нерухома котушка 1 (мал. 6) намотана товстим мідним проводом, має малий опір, вмикається в коло послідовно і її називають котушкою струму. Інша, рухома котушка, має великий опір R вмикається в коло паралельно і називається котушкою напруги. При протіканні вимірюваного струму в обох котушках, вони взаємодіють з силою Ампера.



Мал. 6. Прилад електродинамічної системи: а) будова; б) виникнення моментів сил при взаємодії котушок

На рухому котушку одночасно діє електричний обертальний момент та механічний момент сили з боку пружин. Зміна напрямку струму не впливає на напрям обертального моменту, тому що струм змінює свій напрям одночасно в обох котушках.

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

5. Будова і принцип дії фазометра. Вимірювання коефіцієнта потужності.

На основі електродинамічної системи побудовано прилад для вимірювання коефіцієнта потужності $\cos\varphi$, який називається фазометром.

Фазометр (мал. 7) складається з нерухомої котушки K , яку часто виготовляють із двох секцій і підключають до навантаження послідовно, та двох рухомих котушок K_1 і K_2 , жорстко з'єднаних між собою під певним кутом, розташованих між двома симетричними половинами нерухомої котушки струму.

Стрілка приладу та обидві рухомі котушки кріпляться на одній осі і мають змогу вільно обертатися. Котушки K_1 і K_2 вмикаються в коло паралельно. До того ж, до однієї із них послідовно вмикається активний опір R , до іншої – великий індуктивний опір X_L (мал. 8).

Протидіючої пружини в таких приладах немає і стрілка постійно обертається навколо осі, займаючи будь-яке положення. Під час вимірювань натискається кнопка, що замикає коло котушок і стрілка фіксує значення $\cos\varphi$.

Зсув фаз між струмом та напругою в колі навантаження визначається кутом повороту стрілки приладу, а тому ним можна вимірювати коефіцієнт потужності $\cos\varphi$.

Фізичну суть цього приладу можна пояснити таким чином: якщо по черзі від'єднувати рухомі котушки з послідовно ввімкненими відповідно активним або індуктивним опором, то одержимо не що інше як ватметр активної та реактивної потужності, але без протидіючого механічного моменту пружинних сил.

Якщо ж вмикати такий прилад в коло з активним навантаженням, то обертовий момент котушки з індуктивністю буде дорівнювати нулю, а котушки з індуктивним опором – максимальний. І, навпаки, якщо навантаження реактивне, то нулю дорівнюватиме обертовий момент котушки з активним опором.

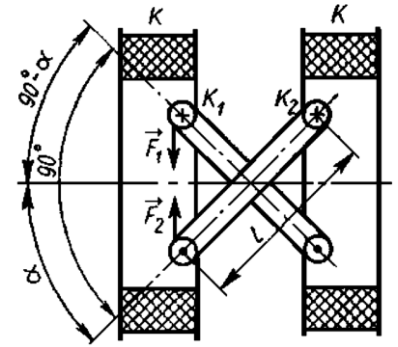
Переваги: високий клас точності (0,1-0,5), розраховані на постійний та змінний струми, рівномірність шкали ватметра.

Недоліки: чутливі до перевантаження, нерівномірна шкала вольтметра та амперметра, реагує на вплив зовнішніх полів, споживає відносно велику потужність, висока собівартість.

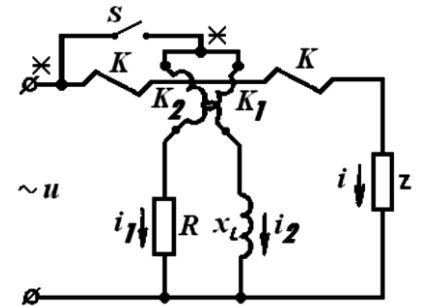
6. Лічильник індукційної системи. Вимірювання електричної енергії.

Електричну енергію спожиту протягом певного часу можна розрахувати за формулою $W = Pt = UI t \cos\varphi$. Очевидно для вимірювання електричної енергії необхідно мати прилад, який одночасно фіксує три параметри – силу струму, напругу і час.

Таким приладом є лічильник електричної енергії індукційної системи. Принцип дії такого лічильника базується на взаємодії змінного магнітного потоку з індукційним струмом, що збуджується магнітними потоками двох котушок, в легкому алюмінієвому диску, який має вісь обертання. Котушки такого приладу фіксують напругу і силу струму, а кількість обертів диска еквівалентно часу.

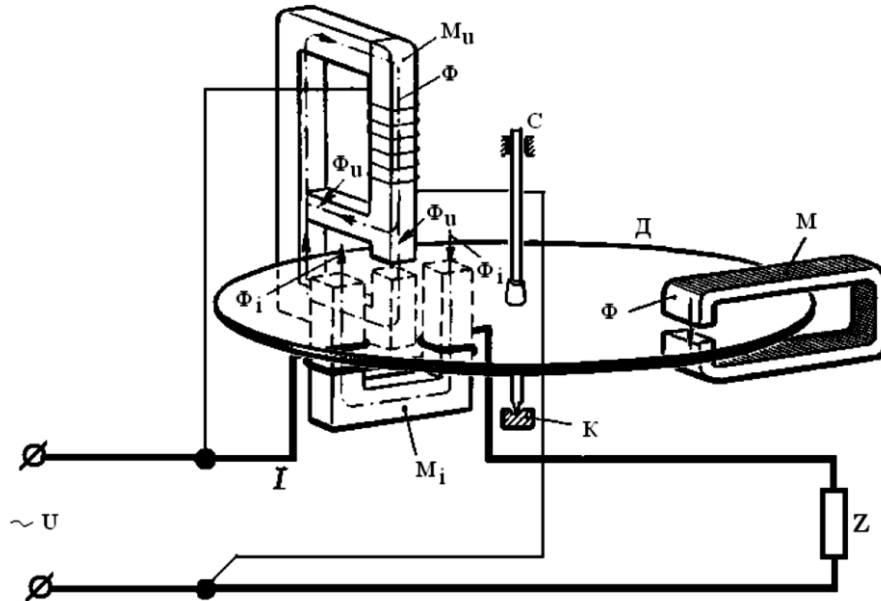


Мал. 7. Розташування котушок в приладах електродинамічної системи, розташованих між двома симетричними половинами нерухомої котушки струму.



Мал. 8. Будова фазометра

Схематично будову однофазного індукційного лічильника зображено на мал. 9. Легкий алюмінієвий диск Д має можливість вільно обертатися на осі С в підп'ятниках К. Диск з'єднаний з лічильним механізмом через черв'ячну передачу.



Мал. 9. Однофазний електричний лічильник індукційної системи

Біля краю диска розташовані два електромагніти M_i та M_u — котушки струму та напруги відповідно. Осердя магніту M_u має форму перевернутої літери Б і розташоване так, що магнітний потік замикається через повітря та алюмінієвий диск під кутом 90° .

Інший електромагніт M_i , що має U-подібну форму, розташований під диском так, що кінці магнітопроводу розташовані в одну лінію з кінцями магнітопроводу Б-подібного електромагніту. Магнітний потік Φ_i замикається через повітря, пронизуючи диск у двох місцях.

Котушка струму M_i , що розташована під диском має незначну кількість витків мідного дроту великої площі поперечного перерізу і вмикається послідовно до навантаження. Очевидно через неї проходить увесь струм навантаження. Інша котушка має велику кількість витків тонкого дроту. Вона ввімкнена паралельно до навантаження і фіксує спад напруги на споживачах.

Якщо у приладі вимкнути одну із котушок, то інша створюватиме змінний магнітний потік, і діюча сила стискатиме або розтягуватиме коловий індукційний струм у диску, а сам диск обертатися не буде. Тому, для обертання диска створюють магнітні потоки двома котушками. До того ж котушка напруги має великий індуктивний опір порівняно з її активним опором, а котушка струму має більше значення активного опору. Тому магнітні потоки, що ними створюються, зсунуті за фазою на кут 90° .

Обертальний момент, що діє на диск приладу прямо пропорційний величині споживаної активної складової потужності. Якщо електромережа навантажена лише індуктивним опором, то $\cos\varphi = 0$, обертальний момент теж дорівнює нулю і диск приладу стоятиме на місці.

Протидіючий момент чинитиме магнітний потік, що створює постійний магніт, при взаємодії з коловим струмом, який він індукуює в диску приладу.

Параметри електричного лічильника:

1. 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.

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

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

3. Величина обернена до номінальної сталої називається передаточним числом:
$$A_{\Pi} = \frac{1}{c_{\Pi}}.$$

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

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

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

6. Цифрові вимірювальні прилади.

Аналогові прилади, побудовані на явищі електромагнетизму, зі стрілочними або «зайчиковими» показчиками мають низку недоліків. Насамперед, вони не досить точні, мають відносно малий омичний опір (котушка струму в таких приладах має дуже малий опір), споживають відносно велику потужність та ін.

Останнім часом користуються електронними приладами при вимірюванні параметрів електричних кіл. Вони не мають тих вад, які притаманні аналоговим приладам.

Такі прилади мають значно вищі, у порівнянні з електромеханічним вимірювальним механізмом, входні опори. Наприклад, електронні вольтметри сягають 1 МОм у приладах широкого розповсюдження, а у спеціальних приладах до 1000 МОм.

Вони споживають мізерну потужність завдяки тому, що мають у своєму складі підсилювачі.

Нарешті, електронні прилади дають можливість представити виміряне значення у зручній цифровій формі, фіксувати час і виміряну величину у внутрішній пам'яті, передавати ці дані на комп'ютер для обробки даних вимірювань тощо.

Цифрові вимірювальні прилади широко використовуються у науково-дослідних лабораторіях, виробництві, лабораторіях, що займаються перевіркою та ремонтом приладів, автоматиці тощо.

Останнім часом широко розповсюджені комбіновані цифрові прилади, так звані мультиметри, які дозволяють вимірювати декілька параметрів: постійну та змінну напругу, постійний та змінний струм, частоту, інтервали часу, ємність конденсатора, температура інше.

7. Методи електричних вимірювань

Вимірювання струму та розширення меж вимірювання амперметра.

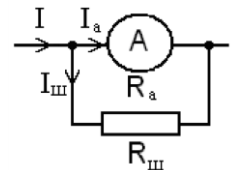
Для вимірювання сили струму в споживачеві, необхідно щоб через нього протікала така ж кількість електрики, що й через амперметр. Отже, прилад та навантаження повинні бути увімкнені послідовно.

Іншою необхідною умовою точності вимірювання сили струму є усунення впливу опору амперметра на параметри електричного кола, тому його опір повинен бути досить малим.

На практиці для вимірювання постійного струму використовують прилади магнітоелектричної системи, а прилади електромагнітної системи або цифрові – для вимірювання змінного і постійного струмів. Опір амперметрів близький до 0,1 - 0,2 Ом, а цифрових і того менший.

Для розширення меж вимірювання аналогових амперметрів паралельно до них приєднують шунти (мал. 10). Шунти використовують головним чином у колах постійного струму в приладах магнітоелектричної дії.

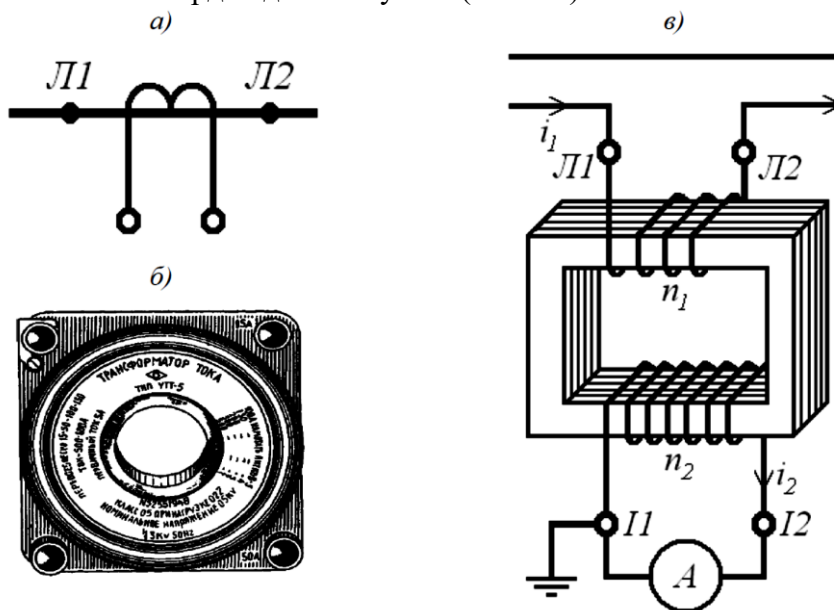
Шунти виготовляють з манганіну. У приладах розрахованих на вимірювання малих струмів (до 30 А) шунти поміщають у корпусах амперметрів, а для великих - використовують зовнішні шунти. Їх використовують головним чином у колах постійного струму тому, що в колах змінного струму вони споживають багато енергії. Для таких кіл використовують трансформатори струму.



Мал. 10. Схема вимірювання струму з шунтом

Принцип дії такого трансформатора подібний до звичайного силового трансформатора. Особливість конструкції полягає в тому, що первинна обмотка має мале число витків дроту великої площі поперечного перерізу. Тому спад напруги на первинній обмотці досить малий. Вторинна обмотка має більшу кількість витків тонкого дроту і на ній отримуємо вищу напругу при меншому струмові. Трансформатор працює фактично в режимі короткого замикання, так як амперметр має малий опір.

Широке використання отримали універсальні трансформатори струму УТТ-5, які складаються із залізного осердя і двох котушок (мал. 11).



Мал. 11. Розширення меж вимірювання амперметра за допомогою трансформатора струму: а – схематичне зображення; б – зовнішній вигляд; в – схема ввімкнення

Розширення меж вимірювання амперметра збільшується у стільки разів, числове значення якого дорівнює коефіцієнту трансформації $N = K$.

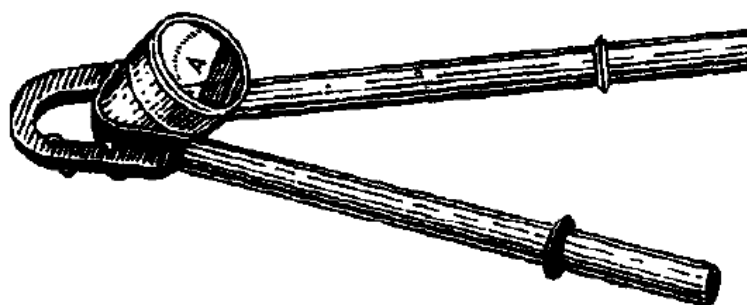
Вторинну обмотку трансформатора не можна залишати розімкнутою. При потребі заміни приладу її закорочують тому, що на її кінцях, при ввімкненому трансформаторі, появиться висока напруга, що небезпечна для людини. Номінальний вторинний струм завжди дорівнює 5А.

Серед переносних трансформаторів струму найзручнішими є вимірні кліщі (мал. 12). Точність їх не велика, проте вони надзвичайно зручні при користуванні.

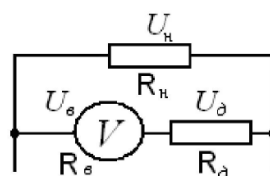
Вимірювання напруги та розширення меж вимірювання вольтметра.

Для вимірювання напруги між двома точками електричного кола використовують вольтметр, його вмикають паралельно до тієї ділянки кола, напругу на якій потрібно визначити. Щоб вольтметр не впливав на параметри кола, його опір повинен бути значно більшим опору тієї ділянки кола, паралельно до якої прилад увімкнутий.

При розширенні меж вимірювання вольтметра використовують додатковий опір, який вмикається послідовно до вимірювального приладу (мал. 13). Такими вольтметрами вимірюють напругу до 30 кВ. постійного та змінного струмів.



Мал. 12. Вимірні кліщі



Мал. 13. Схема для вимірювання напруги вольтметром з додатковим опором

Для вимірювання високих напруг, використовують трансформатори напруги. Принцип його дії такий же, що і в трансформатора струму. Різниця між ними в тому, що трансформатор напруги є понижувальним, і вмикається він у коло паралельно.

Вторинна обмотка трансформатора напруги завжди розімкнута, якщо до неї не вмикається вимірювальний прилад. В іншому разі може виникнути коротке замикання і трансформатор вийде з ладу.

Способи вимірювання опорів.

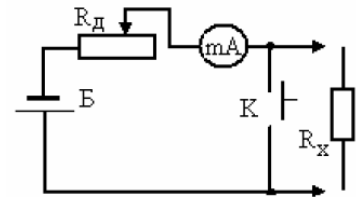
Вимірювання опорів має велике значення в електротехніці і здійснюється різними способами:

1. Вимірювання опорів за допомогою лінійки, мікрометра та таблиці питомих опорів здійснюють за формулою для розрахунку опорів: $R = \rho \frac{l}{S}$, де ρ - питомий опір провідника, l та S - довжина і площа поперечного перерізу провідника.

2. Опір провідника можна визначити за законом Ома, якщо відомі сила струму, що протікає по ньому та напруга на його клеммах. Для різних величин опорів використовують різні способи ввімкнення амперметра та вольтметра.

3. Вимірювання опору за допомогою омметра.

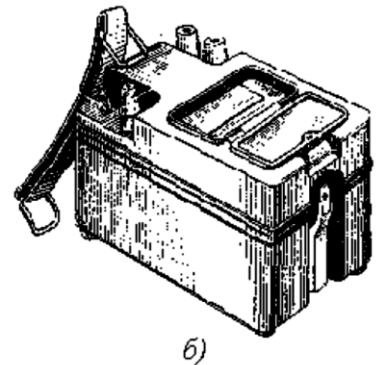
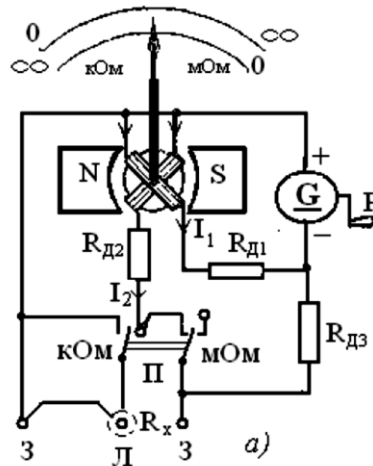
У приладі, зображеному схематично на мал. 14, використано вимірювальний механізм магнітоелектричної системи. До нього послідовно ввімкнено джерело струму E_1 та додатковий опір R_d . При замиканні електричного кола без резистора R_x стрілка гальванометра відхиляється до нульової поділки вліво. При короткому замиканні електричного кола (без резистора R_x) по гальванометру протікатиме максимальний струм і стрілка відхилиться на максимальну поділку шкали приладу. При вмиканні в коло резисторів сила струму буде залежати від їх опорів. Шкала градуйована в омах.



Мал. 14. Схематичне зображення принципу дії омметра

З часом ЕРС батареї зменшується, тому перед кожним вимірюванням натискають кнопку К і встановлюють стрілку на нуль.

4. Вимірювання опору за допомогою мегомметра. Для вимірювання дуже великих опорів, наприклад ізоляції обмоток приладів та електричних машин, опору між проводами тощо використовують мегомметри (мал. 15). Ними можна вимірювати опори до 100 МОм.



Мал. 15. Мегомметр: а – схематичне зображення; б - зовнішній вигляд.

Оскільки такими приладами вимірюють міцність ізоляції машин і інших пристроїв та апаратів високих напруг, то живленням для мегомметра мусить бути джерело такої ж напруги. Тому в мегометрі, на відміну від омметра, замість батареї постійного струму використовують маленькі генератори постійного струму з ручним приводом напругою в 500 В, 1000 В, 2000 В.

Для того, щоб прилад і його показ не залежав від напруги джерела (частоти обертання ручки або інших характеристик такого генератора) використовують логометричну будову.

Прилад складається з двох рамок-катушок, розташованих під кутом 90° в полі постійного магніту. У катушках протікають струми I_1 та I_2 і створюють протидіючі моменти. Покази таких приладів не залежать від зміни напруги джерела, так як напруга одна і та ж на обох катушках і її зміна викликає одночасну зміну струмів I_1 та I_2 . Тому протидіючі моменти змінюються в однаковій мірі.

Отже, кут на який повертається рухома рамка і прикріплена до неї стрілка залежить лише від співвідношення струмів у них і не залежить від джерела струму. Шкалу приладів градуують в омах, кілоомах та мегомах.

Знання, корисні для практики!

Найпоширенішим електровимірювальним приладом є лічильник електроенергії.

Лічильник електроенергії - електровимірювальний пристрій, що використовується для здійснення вимірювань спожитої електроенергії. Лічильники електроенергії ставлять в місцях, де існує необхідність відстеження споживання електроенергії, а також бажання заощадити гроші, за рахунок моніторингу та контролю витрат електрики.

Однотарифний і двотарифний лічильник

Прийнято розділяти на тарифні і багатотарифні лічильники. Тарифний здійснює облік щосекундного споживання, не розбиваючи його на інтервали по часу. Багатотарифний лічильник електроенергії (багатозонний) – дає можливість збирати свідчення за двома і більше тарифними зонами.

Двотарифний лічильник (електролічильник день-ніч) обліку електроенергії в сукупності з переходом більшої частини спожитої електрики в нічний час, дадуть відчутну економію коштів. Як відомо, нічний тариф на електроенергію в два рази дешевше денного, а тому ті, хто має вдома такі прилади як бойлери, кондиціонер, електрообігрівачі та ін. часто замислюються про скорочення витрат на електроенергію.

Однотарифний лічильник веде загальний облік споживання і, відповідно, не покаже, скільки ви витратили вночі, а скільки днем. Електролічильник день-ніч особливо актуальний для власників приватного сектора з великою кількістю електричного обладнання, насосів, котлів і т.д.

Однофазний і трифазний лічильник

- У чому ж полягає різниця між цими приладами?

Однофазний електролічильник використовується для ведення підрахунку і контролю споживаної електроенергії. Найчастіше за все установка приладу мається на увазі в місцях з дводротовою мережею, при звичайній напрузі 220 В. Трифазний лічильник здійснює ведення обліку споживаної електроенергії в трьох і чотирьох провідних мережах зі змінним струмом частотою 50 Гц, напруга в даному випадку становить 380 В. Саме в цій особливості і основна відмінність між цими пристроями.

- Де застосовуються одно- і трифазний лічильники?

Однофазний пристрій слід розміщувати у себе вдома, в офісі, гаражах або на дачі. Такі прилади відрізняються простотою експлуатації, а також нескладною конструкцією. Зняття показань з таких пристроїв не вимагає будь-яких зусиль. Лічильники електроенергії з однією фазою мають маркування «СТ».

Трифазні лічильники мають більш складну конструкцію. Вони знайшли застосування на підприємствах і промислових зонах, які часто споживають велику кількість електроенергії. Ці пристрої максимально точно відображають число споживання. Монтаж такого приладу здійснюється при відсутності нульового проводу. Якщо ж він присутній, перевага віддається вже чотиридротовому лічильнику.