

Міністерство освіти і науки України
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
Фізико-технічний факультет
Кафедра фізики та астрономії

Лабораторна робота № 1

**ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПУ ДІЇ І ОСНОВНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ**

м. Івано-Франківськ

Теоретичні відомості.

Електровимірювальний прилад— це сукупність засобів, за допомогою яких здійснюється вимірювання певної електричної величини.

В приладах безпосередньої оцінки вимірювана величина визначається стрілочним або цифровим способом відліку, або з допомогою світлового «зайчика» на градуйованій шкалі. Це— амперметри, вольтметри, ватметри, омметри, гальванометри.

До приладів порівняння належать численні компенсатори, електровимірювальні містки, електронні вольтметри. В них вимірювана величина визначається порівнянням з відомою однорідною величиною.

Для вимірювання електричних величин в приладах безпосередньої оцінки використовують фізичні явища, на основі яких створюються обертальний момент і наступне переміщення рухливої системи приладу. Обертальний момент утворюється внаслідок взаємодії постійного магніту і струму в котушці, магнітного поля котушки з струмом і феромагнетиком, взаємодії магнітних полів котушок з струмами, взаємодії заряджених тіл. Залежно від використовуваного в приладі принципу взаємодії розрізняють такі системи електровимірювальних приладів: магнітоелектричну, електромагнітну, електродинамічну, індукційну, електростатичну, термоелектричну, детекторну, вібраційну. Прилади різних систем реагують на різні значення вимірюваної величини (середні, діючі, амплітудні і т. д.).

Якість електровимірювальних приладів визначається чутливістю, похибками вимірювання, реагуванням на зовнішні електричні і магнітні поля та зміну температури, межами вимірювань, тривалістю щодо перевантажень тощо.

Чутливістю електровимірювальних приладів називають фізичну величину, яка вимірюється відношенням лінійного або кутового зміщення покажчика приладу $\Delta\alpha$ до зміни вимірюваної величини Δx , яка зумовила це зміщення:

$$S = \Delta\alpha / \Delta x.$$

Величина $C = 1/S$, обернена до чутливості, дістала назву ціни поділки приладу.

Для характеристики точності електровимірювальних приладів використовують так звані *зведені похибки*

$$\gamma_{\text{зв}} = (\pm \Delta x / x_{\text{н}}) 100 \%,$$

Δx - абсолютна похибка вимірюваної величини; x_n — верхня межа вимірювань (шкали) приладу (його номінальне значення).

Електровимірювальні прилади відповідно до величини їх зведеної похибки поділяються на вісім класів точності: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4. За покажчиком класу точності, нанесеним на шкалу вимірювального приладу, визначають абсолютну похибку вимірювання:

$$\Delta x = \gamma_{зв} x_n / 100.$$

Прилади класів точності 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 використовуються, головним чином, для точних лабораторних вимірювань і називаються *прецизійними*; прилади класів 1,0; 1,5; 2,5; 4 мають назву *технічних*.

Прилади магнітоелектричної системи складаються з двох основних частин: постійного магніту і котушки, що має вигляд рамки. Принцип дії цих приладів заснований на взаємодії, сильного магнітного поля постійного магніту з слабким магнітним полем рамки, по якій проходить вимірюваний струм. Схему струмовимірювача магнітоелектричної системи зображено на рис.

1. Магнітна система вимірювального механізму складається з сильного постійного магніту 4 з високо-коерцитивної сталі, магнітопроводу 3, полюсних наконечників 5 і нерухомого осердя 7. Магнітопровід, полюсні наконечники і осердя виготовляються з м'яких магнітних матеріалів. Полюсні наконечники і циліндр дають змогу в малому зазорі між ними дістати однорідне радіальне магнітне поле. Між полюсними наконечниками і осердям розміщується рухома рамка (котушка) 6 що являє собою легенький алюмінієвий каркас прямокутної форми, на який намотано тонкий мідний або алюмінієвий дріт діаметром від 0,03 до 0,2 мм. За рамкою з обох боків скріплені півосі 8. Ця система забезпечує вільне обертання рамки навколо осердя, а отже, і відхилення скріпленої з нею стрілки 1 відносно шкали. Струм до рамки підводиться через затискачі 2 і дві спіральні пружини 9, які створюють протидіючий момент.

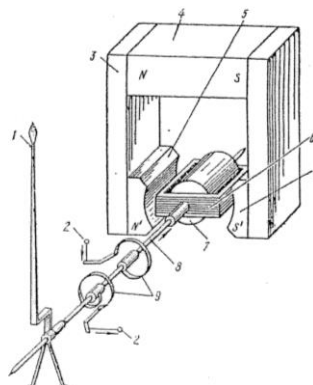


Рис.1

При проходженні струму I через рамку на неї діє обертальний момент

$$M_1 = [p_m \cdot B]; \quad M_1 = nISB \sin \alpha = K_1 I,$$

де $p_m = nIS$ — магнітний момент струму; α — кут між p_m і B , в даному випадку дорівнює $\pi/2$; n — кількість витків рамки; B — магнітна індукція; S — площа рамки; K_1 — коефіцієнт пропорційності. Цей момент зрівноважується протидіючим моментом деформації спіральних пружин при повертанні рамки на кут φ , тобто

$$M_2 = K_2 \varphi,$$

де K_2 — стала деформації крутіння пружини. Якщо $M_1 = M_2$, стрілка струмовимірювача фіксується на якійсь поділці шкали. Тоді $K_1 I = K_2 \varphi$, звідки

$$\varphi = \frac{K_1}{K_2} I = KI. \quad (a)$$

Отже, кут повороту рамки пропорційний силі струму. Коефіцієнт пропорційності K залежить від конструкції приладу.

З рівняння (а) безпосередньо випливає, що амперметр магнітоелектричної системи придатний для вимірювань тільки постійного струму і його шкала є рівномірною. Чутливість приладів цієї системи підвищується при збільшенні K_1 і зменшенні K_2 .

Перевагами магнітоелектричних приладів є: висока чутливість (відомі мікроамперметри з струмом повного відхилення 0,01 мкА); можливість виготовлення високоточних приладів (класів точності 0,05; 0,1; 0,2); мале споживання електричної енергії (10^{-5} — 10^{-6} Вт у рамках і до кількох десятків ват разом з вимірювальною схемою).

Недоліки цих приладів: порівняно складна будова, чутливість до перевантажень, можливість вимірювання тільки постійних струмів. Завдяки високій чутливості магнітоелектрична система

використовується для побудови гальванометрів.

Гальванометрами називають високочутливі прилади, які мають неградуйовану шкалу. Ціна поділки шкали визначається експериментально або за паспортом приладу. Діапазон вимірюваних струмів досить широкий: від 10^{-5} до 10^{-11} А. Найбільш поширеними є гальванометри магнітоелектричної системи з рухливою рамкою, наприклад, типу М21 (рис.2). Безкаркасна рамка 4 підвішена на пружній нитці. Струм I подається через металеву стрічку 1 і підвіс 3. Кут повороту рамки вимірюється оптичним методом за допомогою дзеркальця 2

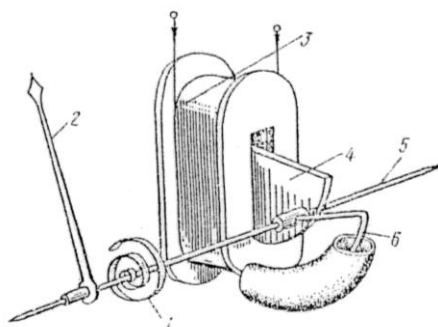
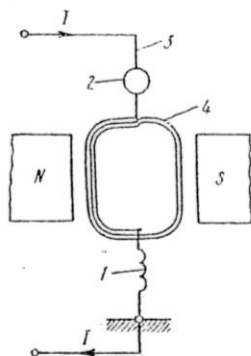


Рис. 2, 3.

і шкали. На дзеркальце від лампи спрямовують вузький світловий пучок, який після відбивання падає на шкалу з міліметровими поділками у вигляді світлового «зайчика». Шкала встановлюється на відстані 1—2 м від дзеркальця паралельно йому. При повертанні рамки і дзеркальця «зайчик» переміщується вздовж шкали.

Прилади електромагнітної системи складаються з плоскої або круглої нерухомої котушки, на яку намотаний мідний провід, і рухливого осердя, виготовленого з м'яких магнітних матеріалів (електротехнічна сталь, пермалой). Принцип дії приладів цієї системи заснований на взаємодії магнітного поля котушки, по якій проходить струм, з рухливим феромагнітним осердям (рис. 3). Вимірюваний струм I , що проходить по котушці 3, створює магнітне поле. В це поле втягується осердя у вигляді сталеної пластинки 4, закріпленої на осі 5. Намагніченість осердя і саме магнітне поле котушки пропорційні струму, отже, обертальний момент пропорційний квадрату струму:

$$M_1 = k_1 I^2,$$

де k_1 — коефіцієнт пропорційності, який залежить від конструкції приладу.

Протидіючий момент M_2 створюється пружиною 1. Він

пропорційний куту повороту рухливої частини приладу:

$$M_2 = k_2 \varphi,$$

де k_2 — коефіцієнт пропорційності, який залежить від пружних властивостей пружини.

Для швидкого заспокоєння рухливої частини приладу і стрілки 2 застосовують повітряні демпфери (заспокоювачі 6). Демпфер — це камера, в якій рухається алюмінієвий поршень. При повороті осердя поршень зазнає опору повітря.

Рівновага рухливої частини приладу визначається рівністю протилежно напрямлених моментів: $M_1 - M_2$. Звідси

$$\varphi = k I^2, \text{ де } k = k_1 / k_2.$$

Отже, шкала електромагнітного приладу нерівномірна, квадратична. Із зміною напрямку струму змінюється як напрям магнітного поля, так і намагніченість осердя. Отже, прилади цієї системи застосовуються для вимірювань постійного і змінного струмів. В останньому випадку воші реагують на діюче значення змінного струму. Їх використовують також для вимірювання напруги в електричному колі. Завдяки простоті конструкції, механічній міцності і стійкості до перевантажень прилади широко застосовують у техніці. Недоліки приладів електромагнітної системи: нерівномірність шкали (частково її можна поліпшити добором певної форми осердя), менша точність порівняно з магнітоелектричними приладами, залежність показів від зовнішніх магнітних полів (через малі власні магнітні поля котушки). Для зменшення впливу зовнішніх магнітних полів прилади покривають металевими кожухами або виготовляють астатичними (з двома котушками, ввімкненими послідовно; напрям обмоток і струмів задається таким, що їхні магнітні потоки стають однаковими за величиною і протилежними за напрямом).

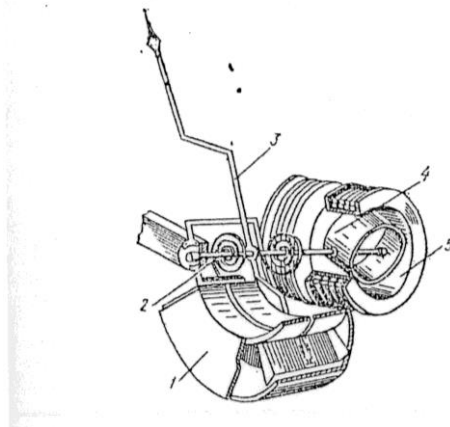


Рис. 4

відзначаються тим, що їхня дія ґрунтується на взаємодії магнітних полів двох взаємодіючих котушок (рис. 4) 5 нерухома і складається з двох послідовно з'єднаних котушок, між якими є зазор. В ньому розміщується вісь обертання рухомої безкаркасної котушки 4\ з віссю скріплена) стрілка-показчик 3 з алюмінієвою пластинкою повітряного демпфера 1. На осі також закріплені ізолювано кінці двох спіральних пружин 2, які призначені для підведення вимірюваної сили струму і створення протидіючого моменту. Власне магнітне поле котушок мале, тому для захисту їх від впливу зовнішніх полів застосовують екранування або прилади виготовляють астатичними.

Котушки в приладах електродинамічної системи залежно від призначення їх з'єднуються послідовно або паралельно. Якщо котушки приладу з'єднати паралельно, то його можна використовувати як амперметр (нерухома котушка при цьому виконує роль шунта). Якщо обидві котушки з'єднати послідовно і приєднати до них послідовно додатковий опір, то прилад може використовуватись як вольтметр. У ватметрах нерухома котушка вмикається в коло струму послідовно, а рухома котушка з додатковим опором—паралельно споживачам енергії.

У першому наближенні обертальний момент M_1 при взаємодії котушок пропорційний струмам в них I_1 і I_2 :

$$M_1 = k_1 I_1 I_2,$$

де k_1 —коефіцієнт пропорційності, який залежить від конструкції і розміщення котушок. Протидіючий момент M_2 створюється пружинами. Він пропорційний куту повороту котушки:

$$M_2 = k_2 \varphi,$$

де k_2 — коефіцієнт пропорційності, який залежить від пружних властивостей пружин.

Якщо $M_1 = M_2$ то стрілка-показчик приладу стане в положення рівноваги. Позначивши k_2/k_1 через k матимемо

$$\varphi = k I_1 I_2.$$

Якщо котушки з'єднати послідовно, то $\varphi = k I^2$. Отже, шкала приладу нерівномірна. Добором конструкції котушок можна зменшити нерівномірність шкали.

Прилади електродинамічної системи мають свої переваги: їх

можна застосовувати для вимірювань в колах постійного і змінного струмів, відзначаються вони високою точністю, зумовленою відсутністю в котушках металевих частин. Недоліки приладів цієї системи: низька чутливість, вплив зовнішніх магнітних полів на точність показів приладу, чутливість до перевантажень, нерівномірність шкали (крім ватметра).

Прилади індукційної системи характеризуються тим, що принцип їхньої дії ґрунтується на взаємодії вихрових індукційних струмів в рухомій частині приладу (алюмінієвий диск, насаджений на вертикальну вісь) із змінними магнітними потоками нерухомих електромагнітів (один з електромагнітів має обмотку з товстого ізолюваного дроту, яка є обмоткою струму і вмикається в коло послідовно з навантаженням; другий електромагніт має обмотку з тонкого ізолюваного дроту, яка є обмоткою напруги і вмикається в коло паралельно навантаженню). Серед приладів індукційної системи широке застосування мають лічильники електричної енергії змінного струму.

Прилади електростатичної системи побудовані на принципі взаємодії рухомих і нерухомих електрично заряджених пластин. У всіх електростатичних механізмах при переміщенні рухомої частини змінюється електроємність між пластинами внаслідок зміни їх активної площі або відстані між ними. Електростатичні прилади використовуються головним чином для вимірювання напруги в колах постійного і змінного струмів в широкому діапазоні частот. Наприклад, вітчизняні лабораторні електростатичні вольтметри С95 класу 1,5 мають межі вимірювання від 30 В до 3 кВ. Покази їх при частоті 10 МГц відрізняються від показів при постійному струмі не більш як на 1,5 %.

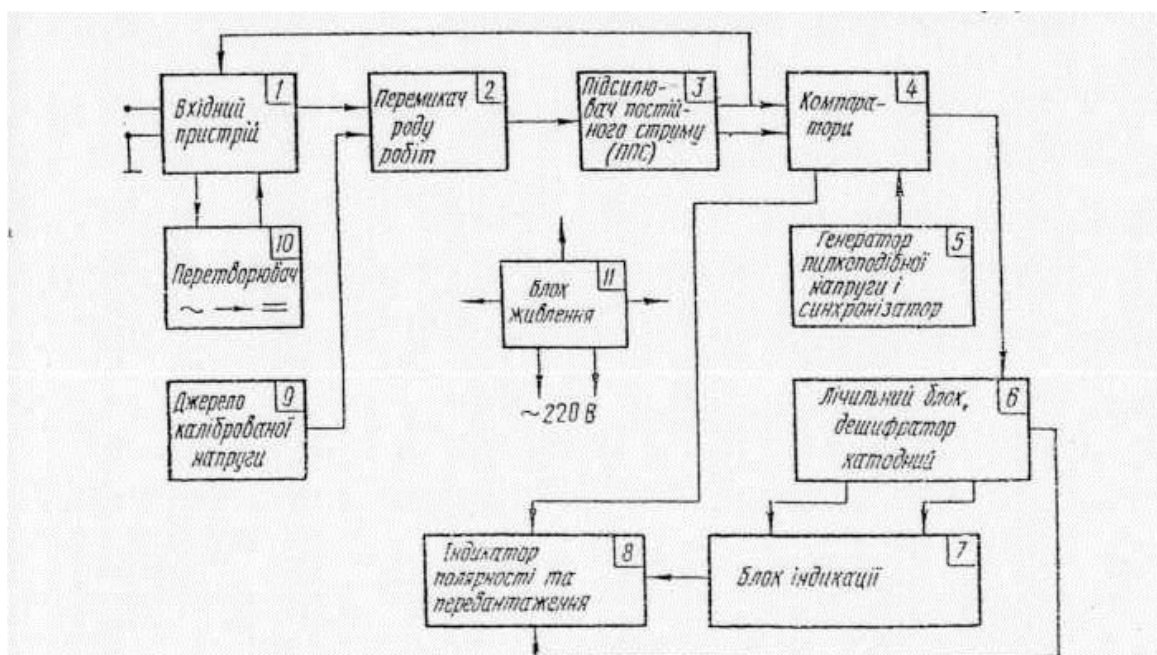
Прилади електронної системи (електронні вольтметри) являють собою поєднання вимірювальної схеми, яка містить електронні лампи або напівпровідникові прилади, і вимірювального механізму магнітоелектричної або електростатичної системи. Прилади електронної системи використовуються для вимірювання в радіоелектронних схемах напруг і частот значних діапазонів. Для них характерні великі входні опори (1 — 10 МОм і більше), тому їх широко застосовують для вимірювання напруги високоомних малопотужних джерел.

Цифрові прилади невідомої величини, що вимірюється, визначають в дискретно-цифровій формі за допомогою цифрових індикаторів. Цифрові прилади мають ряд переваг над звичайними, основні з яких: висока точність; швидкість вимірювання, об'єктивність і повна автоматизація процесу вимірювання, можливість передачі результатів на відстані тощо. Поряд з цим є і певні недоліки: складність схеми, порівняно великі габарити, менша надійність, ніж звичайних. Найбільш поширеними цифровими приладами є цифрові

вольтметри.

Універсальні цифрові вольтметри, призначені для автоматичного вимірювання сталої і змінної напруг, струму та активних опорів. Широко застосовуються в електроніці, для наукових, ремонтних і регламентних робіт та для перевірки приладів нижчого класу точності.

Спрощену структурну схему універсального цифрового вольтметра зображено на рис. 5. Вимірювана напруга постійного або змінного струму подається на вхідні гнізда пристрою 1. У вхідному пристрої постійна напруга за допомогою дільника приводиться до номінального значення (наприклад, для вольтметра В7-16 до 1 В; ВК7—10А (1 до 10 В), а далі надходить на вхід підсилювача постійного струму 3 (ППС). Змінна напруга приводиться до номінального значення, перетворюється на постійну (блок 10) і надходить до ППС. Перемикач роду робіт 2 ставиться в положення, що відповідає вимірюваній величині. Сигнал із гнізда для вимірювання активного опору R безпосередньо передається на вхід блока ППС. Вимірювання опору здійснюється шляхом перетворення в пропорційну напругу постійного струму. Сигнали із ППС подаються до блока 4, що складається з двох компараторів (сигнального та нульового), кожен з яких має два входи. На перші входи компараторів подається пилоподібна напруга з блока 5, на другий вхід сигнального компаратора подається вихідна напруга з блоків ППС (другий вхід нульового компаратора заземлений). В компараторі також формується імпульс, який подається до лічильного блока 6. Імпульси з блока 6 надходять через спеціальний пристрій до блока індикації 7, на якому



зосереджується кінцева інформація.

Полярність постійної напруги, яка вимірюється, визначається знаком «+» або « - » , який засвічується на лицьовій панелі приладу (блок 8).

При переході на вимірювання змінного струму засвічується знак При перевищуванні вимірюваною величиною межі вимірювання засвічується знак перевантаження «П». Залежно від положення перемикача «Род работы» на блоці індикації 8 відповідно висвічується розмірність фізичної величини , наприклад - $mV/$, V , Ω . Блок 9 використовується для контрольних перевірок готовності цифрового вольтметра до проведення відповідних вимірювань. Блок живлення 11 виробляє ряд напруг і забезпечує нормальну роботу всіх вузлів приладу.

Для правильної і ефективної організації електричних вимірювань слід передусім докладно ознайомитись з основними характеристиками електровимірювальних приладів на їхніх шкалах.

В табл. 1 наведено деякі умовні позначення на шкалах електровимірювальних приладів.

Таблиця 1. Умовні позначення на шкалах електровимірювальних приладів

Позначення принципу дії приладу	Умовне позначення
Магнітоелектричний з рухомою рамкою	
Магнітоелектричний з рухомим магнітом	
Логометр магнітоелектричний	
Електромагнітний	
Електродинамічний	
Індукційний	
Вібраційний	
Електростатичний	
<i>Додаткові позначення</i>	
Термоперетворювач неізолюваний	
Термоперетворювач ізолюваний	
Перетворювач електронний у вимірювальному колі	
Випрямляч напівпровідниковий	
Напруга випробувальна 500 В	
Напруга випробувальна, більша за 500 В, наприклад, 2 кВ	
Посилання на відповідний документ	
Резистор	
Екран електростатичний	

Продовження табл. 1.

Позначення принципу дії приладу	Умовне позначення
Екран магнітний	
Зажим для заземлення	
Коректор	
Клас точності, %, при нормуванні похибки від межі вимірювання, наприклад, 1,5 %	1,5
Клас точності, %, при нормуванні похибки від довжини шкали, наприклад, 1,5 %	
Струм змінний однофазний	
Струм постійний	
Струм постійний і змінний	
Струм трифазний змінний	
Горизонтальне положення приладу	
Вертикальне положення приладу	
Положення приладу під кутом 60°	