

Міністерство освіти і науки України
Чернігівський промислово-економічний коледж
Київського національного університету технологій та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з НР

_____С.В.Бондаренко

_____2016 р.

**Методичне забезпечення
лекційного курсу з дисципліни
Електричні вимірювання
для студентів III курсу
спеціальності 5.05070104 «Монтаж і експлуатація
електроустаткування підприємств і цивільних споруд»**

Уклав

В.В. Олійник

Розглянуто на засіданні
циклової комісії
спеціальних електротехнічних дисциплін
Протокол № 1 від 30.08. 2016 року

Голова циклової комісії

В.В. Олійник

Лекція №1

Тема: Вступ. Метрологія – наука про вимірювання.

Мета: оволодіти знаннями про основи вимірювання

Методи: словесний, практичний, наочний

План

- 1 Основні поняття і визначення в метрології
- 2 Основні фізичні величини
- 3 Вимірювання фізичних величин

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

- 1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982
- 2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.
- 3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.
- 4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987
- 5 Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989
- 6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Основні поняття і визначення в метрології

Вимірювання є предметом вивчення *метрології* — науки про вимірювання. Кожна наука, і метрологія зокрема, ґрунтується на системі понять. Поняття — це одиниця думки. Поняття науки — це основа її мови. Вихідним поняттям метрології є поняття про *фізичну величину*. Об'єктам матеріального світу притаманні різноманітні фізичні властивості.

Фізична величина — це властивість, спільна у відношенні, якісному для багатьох фізичних об'єктів, і індивідуальна в кількісному для кожного з них. Отже, фізичні величини розрізняють щодо кількісного й якісного відношень. Якісний бік визначає *рід* фізичної величини, тобто те, що дану фізичну величину відрізняє від іншої фізичної величини (наприклад, електричний струм від напруги), а кількісний — визначає «розмір» (наприклад, фізичні об'єкти характеризуються електричним опором, який у кожного об'єкта свій).

Кількісний вміст властивості, що характеризується поняттям «фізична

величина», у даному об'єкті називається **розміром фізичної величини**. Розмір фізичної величини визначається у процесі вимірювання.

Фізичні величини характеризують різні властивості фізичних об'єктів і тому не ізольовані одна від одної, а взаємно пов'язані. Взаємозв'язок між різними фізичними величинами є предметом вивчення фізики. Наприклад, закон Ома встановлює взаємозв'язок між такими фізичними величинами, як електричний струм, напруга й опір. На підставі законів фізики можна виражати одні фізичні величини через інші.

Отже, можна побудувати систему фізичних величин, у якій усі фізичні величини поділяються на основні та похідні величини.

Основними називаються фізичні величини, прийняті незалежними в даній системі від інших фізичних величин.

Похідні — це фізичні величини, що входять до системи і визначаються через основні фізичні величини.

Уперше систему фізичних величин запропонував К.Ф.Гаусс у 1832 р. У нашій країні, як і в багатьох інших, діє міжнародна система фізичних величин (СІ).

2 Основні фізичні величини

Основними фізичними величинами у системі СІ є такі:

довжина, час, маса, електричний струм, термодинамічна температура, кількість речовини, сила світла. Крім основних величин, до системи СІ входять дві **додаткові** величини: плоский і тілесний кут.

Одиниця фізичної величини — це значення величини, розмір якої приймається за одиницю.

У системі СІ для основних фізичних величин прийнято такі одиниці: маси — кілограм (**кг**); довжини — метр (**м**); часу — секунда (**с**); електричного струму — ампер (**А**); термодинамічної температури — кельвін (**К**); сили світла — кандела (**кд**); кількості речовини — моль (**моль**). Одиниці додаткових фізичних величин: плоского кута — радіан; тілесного кута — стерadian.

Одиниці найбільш уживаних похідних фізичних величин електромагнетизму такі: напруги — вольт (**В**), потужності — ват (**Вт**), електричного опору — ом (**Ом**), магнітного потоку — вебер (**Вб**) та інші.

Одиниці фізичних величин, які вводяться незалежно від системи одиниць, називаються **позасистемними одиницями**. Вони тривалий час ще традиційно застосовуються, звичні у користуванні. Це такі одиниці, як кіловат-година, градус Цельсія, міліметр ртутного стовпчика тощо.

У системі СІ одиниці фізичних величин, названі на честь великих учених, прийнято позначати з великої літери.

3 Вимірювання фізичних величин

Інформацію про властивості фізичних об'єктів, тобто про фізичні величини, можна отримати тільки в результаті вимірювання.

Згідно з Державним стандартом України (ДСТУ 2681-94), **вимірювання** — це

знаходження значень **фізичних** величин дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Спеціальні технічні засоби, за допомогою яких здійснюється вимірювання, називаються *засобами вимірювання*.

Результат вимірювання називають значення фізичної величини, знайдене внаслідок її вимірювання. Результат вимірювання завжди виражається іменованим числом, тобто добутком числового значення величини й одиниці фізичної величини, наприклад **результат вимірювання** струму — 5А.

Результат вимірювання завжди відрізняється від *істинного значення* фізичної величини, **тобто значення, яке** Ідеально відображає властивість **фізичного об'єкта**. Виходячи з цього, ідеальне значення фізичної величини неможливо визначити експериментальне, але **можна наближатися до нього**, підвищуючи якість вимірювання. Для характеристики вимірювання користуються поняттям «дійсне значення фізичної величини».

Дійсне значення фізичної величини — значення, знайдене дослідним шляхом за допомогою зразкових засобів вимірювання і настільки близьке до істинного, що в даному конкретному вимірюванні його можна використати замість істинного.

Вимірювання — це експериментальний процес, і тому **результат** вимірювання завжди **відрізняється від істинного значення фізичної** величини. Відхилення результату вимірювання від істинного значення фізичної величини називається похибкою вимірювання,

Складну багато етапну процедуру, якою є вимірювання, можна поділити на окремі вимірювальні операції, що здійснюються над однією або кількома фізичними величинами. Вимірювальними операціями є:

- відтворення фізичних величин;
- порівняння фізичних величин;
- вимірювальне перетворення фізичних величин.

Відтворення фізичної величини — вимірювальна операція, яка полягає у створенні фізичної величини заданого розміру із заданою точністю. Вимірювальний пристрій, який реалізує цю вимірювальну операцію, називається мірою.

Порівняння фізичних величин — вимірювальна операція над двома однорідними фізичними величинами для виявлення співвідношення між розмірами цих фізичних величин, результатом якої є логічний висновок «більше», «менше» або «дорівнює». Вимірювальну операцію порівняння фізичних величин реалізує вимірювальний пристрій — компаратор.

Відтворення та порівняння фізичних величин є обов'язковими операціями для будь-якого вимірювання.

Вимірювальне перетворення. Оскільки фізичні величини взаємно пов'язані між собою, то є можливість здійснити вимірювальну операцію для перетворення однієї фізичної величини (вхідної) в іншу фізичну величину (вихідну).

Залежно від наявності в процедурі вимірювання операції вимірювального перетворення роду фізичної величини вимірювання поділяються на прямі і непрямі. У прямих вимірюваннях вимірювана фізична величина і відтворена мірою —

однорідні, а в непрямих — різнорідні.

У свою чергу непрямі вимірювання поділяються на опосередковані, сукупні та сумісні.

В опосередкованому вимірюванні фізична величина визначається за допомогою вимірювального перетворення (аналогового чи цифрового) результатів вимірювання однієї або кількох фізичних величин-аргументів відповідно до відомої залежності між ними. Наприклад, електричний опір елемента електричного кола визначають за результатами прямих вимірювань струму й напруги на цьому елементі згідно із законом Ома:

$$R=U/I.$$

Сукупні вимірювання здійснюють, якщо однорідні величини пов'язані системою рівнянь. Вимірювану величину визначають, розв'язуючи систему рівнянь, у які входять результати вимірювання інших однорідних величин. У сумісних вимірюваннях системою рівнянь пов'язані не однорідні, а різнорідні фізичні величини.

Фізичні закономірності, покладені в основу вимірювання, становлять принцип вимірювання.

Методом вимірювання називають сукупність прийомів використання принципу і засобів вимірювання. Методи вимірювання поділяються на методи безпосереднього оцінювання й методи порівняння з мірою.

У методі безпосереднього оцінювання значення вимірюваної величини визначається безпосередньо за показами вимірювального приладу-Методи порівняння з мірою у свою чергу поділяються на такі методи: нульовий, диференціальний, заміщення й збігу. У нульовому методі різницю між вимірювальною величиною і відомою величиною зводять до нуля, що фіксується високочутливим приладом — нуль-індикатором. У диференціальному методі вимірюється різниця між вимірюваною і відомою величиною. У методі заміщення на вхід вимірювального приладу по чергово подається величина вимірювана і відома у методі збігу вимірюють різницю між вимірюваною величиною і величиною, відтвореною мірою за збігом відміток шкали або періодичних сигналів.

За особливістю алгоритму вимірювання розрізняють методи зіставлення й методи зрівноважування. Методами зіставлення вимірювання здійснюють за один прийом, паралельно з використанням усіх засобів вимірювання одночасно. Методами зрівноважування вимірювання здійснюють за кілька прийомів, послідовно, і з неминучими втратами часу.

Лекція №2

Тема: Міри електричних величин.

Мета: оволодіти знаннями про одиниці вимірювання, міри електричних одиниць

Методи: словесний, практичний, наочний

План

- 1 Основні поняття
- 2 Міра струму — струмові ваги
- 3 Міра е. р. с. — нормальний елемент (НЕ)
4. Міра електричного опору
- 5 Міра ємності

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

- 1Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982
- 2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.
- 3Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. —М.: Радио и связь, 1985.
- 4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. —Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987
- 5Атамальян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1989
- 6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. — М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Основні поняття

Засіб виміру, що забезпечує відтворення і збереження одиниці з метою передачі її розміру іншим засобам виміру і виконане по особливій специфікації, називається еталоном.

У залежності від призначення еталони поділяють на державної, первинної, вторинні, еталонів-копії, еталони порівняння і робітники еталони. Робочі еталони - це еталони, призначені для передачі розміру одиниці зразковим засобам виміру або найбільш точним робочим засобам виміру.

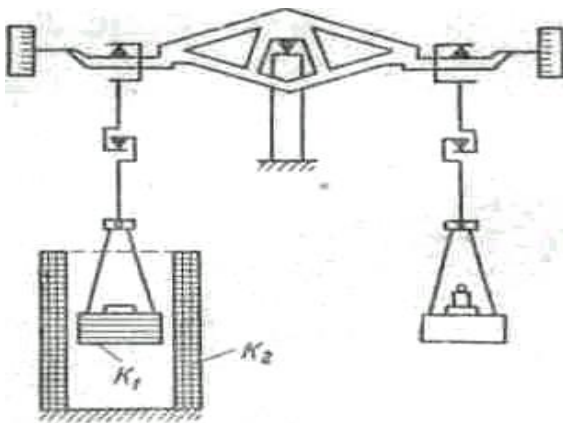
У СРСР еталони зберігались у Всесоюзному науково - дослідницькому інституті метрології (ВНИИМ) ім. Д. И. Менделєєва або в лабораторіях органів Державної (або відомчої) метрологічної служби.

2 Міра струму — струмові ваги

Струмові (мал. 1) мають коромисло, на одному плечі якого підвішена рухлива котушка K_1 . Послідовно з нею з'єднана нерухома котушка K_2 .

При проходженні струму по котушках K_1 і K_2 виникає сила їхньої електродинамічної взаємодії, що врівноважується еталонними гирями, що навантажуються на друге плече коромисла.

Виходячи з даного вище визначення одиниці сили струму і геометричних розмірів котушок підраховується значення сили взаємодії між котушками при м мулі струму 1А. Навантаживши друге плече вантажем знайденого розрахункового значення, регулюють силу струму в котушках до одержання рівноваги, при якому сталий струм має значення 1 А.

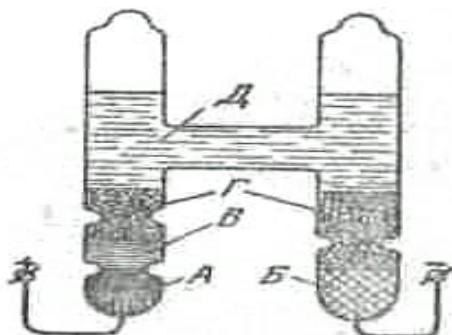


Мал.1 Струмові ваги

Струмові ваги забезпечують похибку до 0,001%.

3 Міра е. р. с. — нормальний елемент (НЕ)

Нормальний елемент складається з запаяного скляного Н-подібної судини (мал. 2). Позитивним електродом А служить ртуть, що заповнює нижню частину однієї лотви судини, негативним електродом Б - амальгама кадмію ($\text{Cu} - 12\%$, $\text{Hg} - 88\%$), розташована в нижній частині іншої галузі судини. Над позитивним електродом розташована паста - деполяризатор У (суміш кристалів сірчаноокислого кадмію - $\text{CdSO}_4 + 8/3 \text{H}_2\text{O}$ і сірчаноокислі закиси ртуті Hg_2SO_4). Над пастою і негативним електродом розташовані кристали сірчаноокислого кадмію - Г. Електролітом служить водний розчин сірчаноокислого кадмію - Д.



Мал. 2. Нормальний елемент.

Електрорушійна сила елемента в залежності від температури визначається по формулі

$$E_t = [E_{20} - 0,0000406 (t - 20^0)]$$

де E_t - э.д. с. при температурі t ;

E_{20} - э.д. с. при 20°C .

Значення е.р.с. наприклад, для елементів класу точності 0,005 (ДСТ 1954-64) при $+20^{\circ}\text{C}$ складає 1,0185 - 1,0187 В, а для класу 0,02-1,0186 - 4,0194В.

Припустима зміна е.р.с. за рік для елементів класу 0,005 складає 50 мкВ, а для класу 0,02-200 мкВ.

Внутрішній опір НЭ дорівнює 500 - 1500 Ом. Граничний припустимий струм для елементів класу 0,006 складає 1 мка, а для класу 0,02 10 мка.

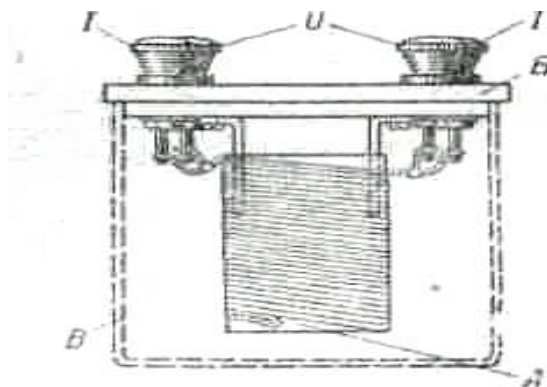
Нормальні елементи не слід застосовувати при температурах нижче $+5^{\circ}\text{C}$ і вище $+30^{\circ}\text{C}$; їх не можна перевертати, піддавати поштовхам і струсам, а також допускати неоднакове нагрівання або охолодження галузей.

Елементи класів 0,001 і 0,002 застосовуються для особливо точних метрологічних робіт і для перевірки елементів класу 0,005, що застосовуються для перевірки приладів високої точності і при точних лабораторних вимірах. При менш точних технічних вимірах застосовуються елементи класу 0,02.

4. Міра електричного опору

Міри електричного опору - зразкові резистори або зразкові котушки опору. Точність вимірювальних резисторів (катушок опору) визначається за ДСТ 6864-69, що поділяє них на класи: 0,0005; 0,001; 0,002; 0,005;

0,01; 0,02 і 0,05. Цифра класу точності катушки позначає найбільшу припустиму погрішність, тобто виражене у відсотках відношення різниці між номінальним м., і дійсним м значеннями міри до номінального значення її, зазначеному на резисторі.



Мал.3. Міра електричного опору

Вимірювальні резистори виготовляються з манганінового дроту або стрічки. Манганін -

сплав: Cu - 84%, Ni-4% і Mn - 12%. Він володіє малим температурним коефіцієнтом опору ($0,00001 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$), великим питомим опором ($0,45 \text{ Ом-мм}^2 \text{ м}$) і

малої термо-ЕРС. при контакті з міддю (2 мкВ на 1 °С).

На мал. 1-3 показаний пристрій однієї з котушок опору. На латунний або порцеляновий циліндр А

накладено біфілярна (виконана в два проводи) обмотка, на кінцях якої розташовані дві пари затисків І і U, укріплені на ебонітовій панелі Б, до якої кріпиться кожух котушки В.

В інших конструкціях обмотка кріпиться на циліндричному каркасі, що припаюється до кожуха з внутрішньої сторони. Розташуванням обмотки між кожухом і каркасом досягається захист її від впливу навколишнього середовища.

Струмовими затисками І (мал. 3) резистор включається в коло струму, затиски II, називані потенційними, призначені для виміру напруги на опорі резистора.

Зразкові резистори виготовляються на номінальні опори 0,00001; 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1; 100; 1 000; 10 000; 100 000 Ом.

Набір резисторів, укладених у загальний кожух і з'єднаних за визначеною схемою, називається магазином резисторів або опорів. Вони застосовуються замість зразкових котушок і для регулювання струму. Магазины резисторів по точності поділяються на класи: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0. Зразкові котушки і магазини резисторів повинні мати можливо менші власні індуктивність і ємність. На мал. 1-5 показана еквівалентна електрична схема з обліком тільки власної індуктивності котушки, а на мал. 1-6 враховується також власна ємність. При малих L і 3 опір котушки на змінному струмові близько до величини r (опору її на постійному струмі), тому що мало реактивний опір x .

Зменшення реактивного опору котушки x досягається застосуванням спеціальних способів намотування котушок.

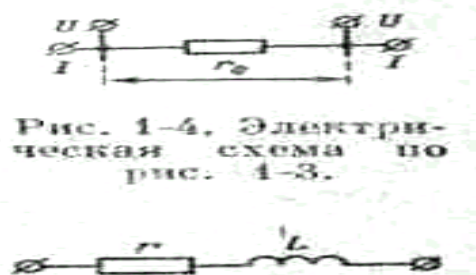
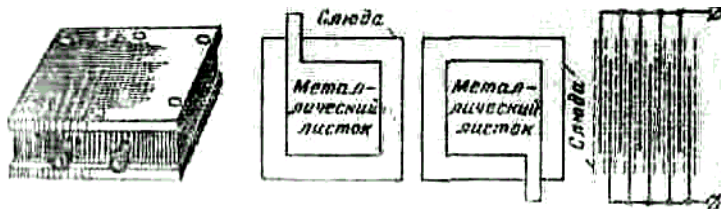


Рис. 1-4. Электрическая схема по рис. 1-3.

Мал. 4 Електричні схеми

5 Міра ємності

Міри ємності - це зразкові конденсатори з відомою постійною або перемінною ємністю. Ємність конденсатора повинна можливо менше змінюватися в залежності від часу, температури, частоти й інших факторів. Конденсатор повинний володіти малими діелектричними втратами і великим опором ізоляції. До якості зразкових використовуються повітряні і слюдяні конденсатори.



Мал. 5. Міра ємності

Повітряні конденсатори виконуються з плоскими або циліндричними електродами, вони мають малу ємність від 0,001 мкФ і практично не мають діелектричні втрати.

Слюдяні конденсатори (мал. 5) складаються з ряду металевих пластин, ізольованих слюдяними прокладками. Парні пластини з'єднані з одним, а непарні з іншим затиском конденсатора. Тангенс кута втрат слюдяних конденсаторів порядку 10^{-4} , похибка їх складає $\pm (0,01 - 0,5)\%$.

Лекція №3

Тема: Узагальнена структурна схема вимірювального механізму. Електромагнітний вимірювальний механізм.

Мета: оволодіти знаннями про будову, принцип дії вимірювальних механізмів

Методи: словесний, практичний, наочний

План

1 Узагальнена структурна схема вимірювального механізму.

2 Будова, принцип дії, області застосування електромагнітного вимірювального механізму.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982

2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.

3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.

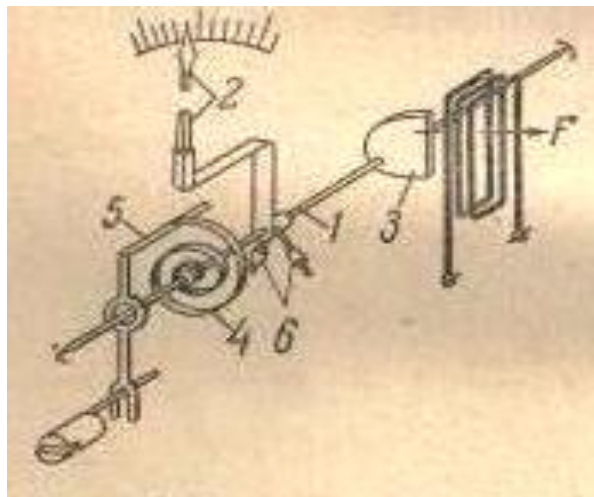
4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987

5 Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Узагальнена структурна схема вимірювального механізму.

У більшості приладів вимірювальний механізм має вісь 1 (мал. 1), заточені кінці якої (керни) розташовуються в опорах - підп'ятниках. На осі зміцнюється вказівна стрілка - показчик 2, один кінець спіральної пружини 4 і робочий елемент 3, що у даному випадку являє собою сталевий сердечник, а в інших механізмів - котушку, диск і т. д. Другий кінець пружини кріпиться на повідці коректора 5, що дає можливість перед виміром установити стрільцеві приладу на нульовому розподілі шкали. Грузинки в призначені для зрівноважування рухливої частини щодо осі обертання, для того щоб центр ваги її збігався з віссю.



Мал. 1 Вимірювальний механізм

У залежності від принципу дії вимірювального механізму (приладу), т. е, фізичного принципу, покладеного в основу одержання обертаючого Моменту, вимірювальні механізми (прилади) поділяють на наступні системи: магнітоелектрична, електромагнітна, електродинамічна, індукційна, тепла, електростатична і вібраційна. Наприклад, у магнітоелектричній системі обертаючий момент створюється взаємодією магнітного поля постійного магніту й електричного струму; в електромагнітній системі момент створюється взаємодією магнітного поля, створеного струмом і сердечником з феромагнітного матеріалу;

у тепловій системі використовується тепла дія струму. Кожній системі вимірника властиві визначені властивості, а отже, визначена область застосування.

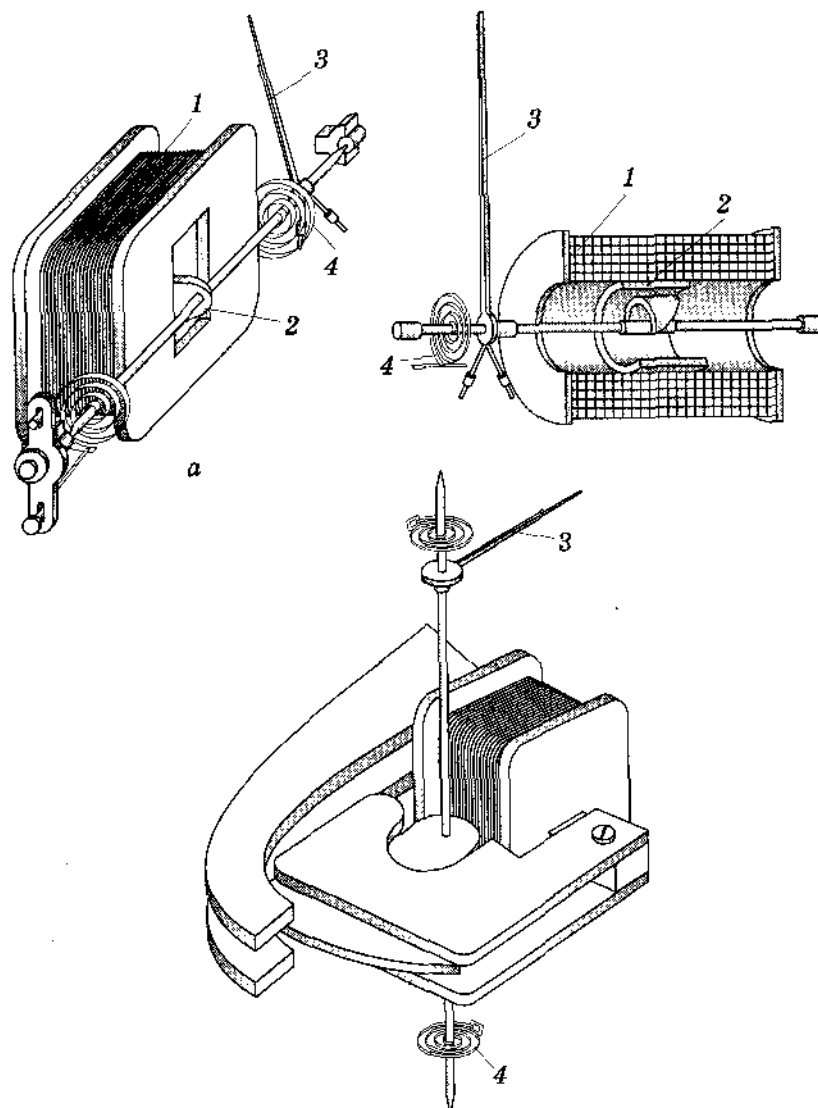
Деякі вимірювальні механізми застосовуються разом з вимірювальними перетворювачами, наприклад з термоперетворювачем, що перетворює перемінний струм у постійний; з випрямним напівпровідниковим перетворювачем; з електронним перетворювачем і ін. Пристрій, що складається з вимірювального механізму і перетворювача, одержує істотно нові, відмінні від вимірника властивості і нові області застосування, унаслідок чого ДСТ 1845-59 деяким з таких пристроїв привласнив назви систем, наприклад термоелектричної - складається з магнітоелектричного вимірника і термоперетворювача; випрямної - складається з магнітоелектричного вимірника і напівпровідникового випрямного перетворювача; електронної - складається з магнітоелектричного або електростатичного вимірника

й електронного перетворювача.

2 Будова, принцип дії, області застосування електромагнітного вимірювального механізму.

Прилади електромагнітної системи застосовуються для вимірювання постійних і змінних струмів і напруги, а також для вимірювання частоти і кута зсуву фаз у колах змінного струму.

Електромагнітний прилад (мал. 2) складається: з котушки 1 із щілиноподібним отвором; феромагнітного осердя 2, несиметрично закріпленого на осі; стрілки 3, прикріпленої до осі; спіральної пружини 4, яка створює момент протидії.



Мал.. 2 Види вимірювальних механізмів

Дія електромагнітного приладу ґрунтується на взаємодії магнітного поля котушки з рухомим феромагнітним осердям.

Внаслідок цієї взаємодії осердя втягується в котушку і рухома вісь повертається на деякий кут під дією обертального моменту, який пропорційний квадрату струму:

$$M = k_M \cdot I^2.$$

Момент протидії пружини прямо пропорційний куту повороту осі, на якій закріплена стрілка і осердя

$$M_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} \cdot \alpha.$$

Стрілка зупиняється, коли моменти врівноважуються:
 $M = M_{\text{пр}}$. Тоді кут повороту, на який відхилилася стрілка,

$$\alpha = \frac{k_M}{k_{\text{пр}}} \cdot I^2$$

пропорційний квадрату струму, і тому шкала електромагнітних приладів нерівномірна.

У амперметрів електромагнітної системи котушка виготовляється з невеликою кількістю витків проводу, що має великий поперечний переріз (для зменшення опору котушки).

У вольтметрів, навпаки, котушка виготовляється з тонкого проводу 0,08...0,1 мм і має велику кількість витків (2000...10000).

До переваг електромагнітних приладів належать їхня простота, дешевизна, надійність, здатність витримувати короткочасні навантаження, а також придатність для вимірювання в колах змінного й постійного струму.

Недоліками приладів електромагнітної системи є порівняно низька точність, нерівномірність шкали, досить велика споживана потужність, залежність показів від частоти та впливу зовнішніх магнітних полів.

Лекція №4

Тема: Схеми вмикання амперметра і вольтметра. Шунти і додаткові опори

Мета: оволодіти знаннями про будову, принцип дії, межі розширювання вимірювальних механізмів

Методи: словесний, практичний, наочний

План

1. Призначення і застосування і застосування шунтів.
2. Призначення і застосування і застосування додаткових опорів

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

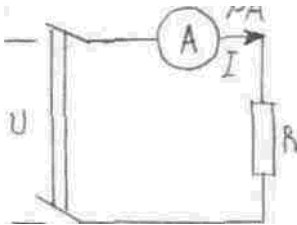
Плакати, картки, проектор.

Література:

- 1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982
- 2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.
- 3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.
- 4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987
- 5 Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989
- 6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1. Призначення і застосування і застосування шунтів.

Сила струму в електричних колах вимірюється за допомогою приладів, які називаються амперметрами. Для визначення сили струму на будь-якій ділянці кола потрібно, щоб увесь струм цієї ділянки проходив через вимірювальний механізм амперметра. Це значить, що прилад повинен бути ввімкнений в розсічення цієї ділянки кола, тобто послідовно з навантаженням.

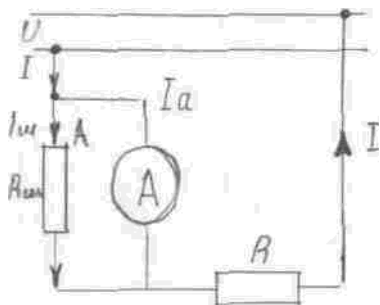


Щоб вмикання амперметра не впливало помітно на загальний опір кола й не змінювало істотно струм у ньому, струмоведучі частини приладу повинні мати дуже малий опір. Для вимірювання постійного струму придатні амперметри магнітоелектричної, електромагнітної та електродинамічної систем, а змінного струму-електромагнітної, електродинамічної та індукційної систем,

З розглянутих вище приладів тільки амперметри електромагнітної системи можуть вимірювати струм до 300 А. У приладів інших систем струмоведучі частини розраховано на проходження дуже малих струмів. Особливо це стосується амперметрів магнітоелектричної системи, де допускається струм не більше 10 мА. Зрозуміло, що такі прилади великого практичного застосування мати не можуть.

Для збільшення меж вимірюваного постійного струму застосовуються шунти, а змінного-вимірювальні трансформатори струму.

Розглянемо спосіб розширення меж вимірювання постійного струму за допомогою шунта. Шунт це дуже малий опір, який вмикається в коло послідовно з навантаженням. Амперметр приєднується до шунта паралельно. В точці А струм розгалужується на струм шунта $I_{ш}$ і струм амперметра I_a .



$$R_{ш} = \frac{R_a}{p-1}, \text{ тобто } R_{ш} - \text{опір шунта};$$

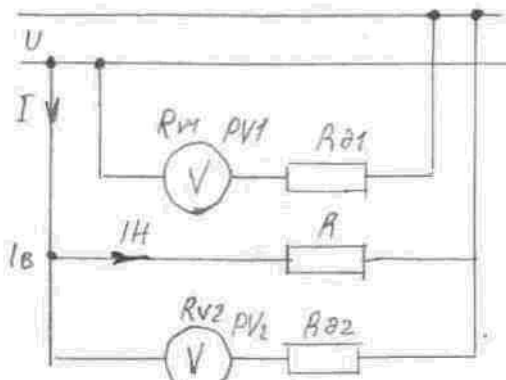
R_a – опір рамки приладу;

p – шунтуючий множник, який показує в скільки разів вимірює мий струм більше за струм вимірювального механізму, або в скільки разів розширюється межа вимірювання струму.

Шунт розраховується на струм, який становить велику частину струму I . Через амперметр проходить тільки невелика частина струму I . Оскільки при змінах струму в колі це співвідношення залишається незмінним, шкалу амперметра можна градуювати на весь струм кола. Градування провадиться за допомогою еталонного амперметра. Шунти виготовляються з манганіну, який має цінну властивість сталості опору при змінах температури.

Шунти на малі струми монтуються всередині амперметра; при великих струмах використовуються виносні шунти. На змінному струмі через великі спотворення показів приладу шунти не застосовуються.

2. Призначення і застосування і застосування додаткових опорів Напруга в електричних колах вимірюється за допомогою приладів, які називаються вольтметрами. Щоб виміряти напругу між будь-якими двома точками кола, треба приєднати до них вольтметр. На малюнку вольтметр РV1- вимірює напругу між проводами мережі, а вольтметр РУ2- напругу на затискачах навантаження К, для чого перший приєднано паралельно мережі, а другий - паралельно навантаженню Р.



Як впливає з малюнка, струм I в точці А розгалужується на струм навантаження I_n і струм вольтметра I_v , тобто з приєднанням до затискачів

навантаження R вольтметра PV_2 загальний струм мережі збільшився на величину I_v . Щоб він практично залишився незмінним, треба, щоб струм I_v був дуже малим. Цього можна досягти лише при дуже великому опорі R_{pv_2} струмоведучої частини вольтметра PV_2 / кілька тисяч Ом/.

Досягти такого опору струмоведучої частини вольтметра неможливо. Тому послідовно з вольтметром майже завжди вмикають додатковий опір, виготовлений з манганіну. Цей опір розширяє межі вимірювання напруги, а також робить покази вольтметра незалежними від температури.

$$R_0 = R_n(p - 1) \quad , \text{де } R_0 - \text{опір додаткового резистору};$$

R_n – опір приладу;

p - показує в скільки разів необхідно збільшити межу вимірювання напруги.

Як відомо, в амперметрі кут відхилення рухомої частини залежить від сили струму, який проходить через його струмоведучу частину, а сила цього струму від навантаження.

У вольтметрі ж сила струму в струмоведучій частині залежить від прикладеної до затискачів напруги. Отже, кут відхилення рухомої частини вольтметра, тобто покази приладу, будуть пропорційні напрузі.

Опір котушки вольтметра залежить від температури. Це значить, що при коливаннях останньої струм у струмоведучій частині змінюватиметься незалежно від прикладеної напруги, тобто покази вольтметра при різних температурах навколишнього середовища не будуть однаковими. Корисна дія великого додаткового опору з манганіну тут позначається в тому, що порівняно з ним коливання невеликого опору котушки вольтметра не впливають істотно на покази приладу. Конструктивно додаткові опори невеликих розмірів розміщуються під кожухом вольтметра, а великих - установлюються поза приладом.

Для вимірювання напруги постійного струму з розглянутих систем у вольтметрах застосовуються всі, крім індукційної, а для вимірювання напруги змінного струму всі, крім магнітоелектричної. При вимірюванні великих напруг змінного струму використовуються вимірювальні трансформатори напруги, до яких приєднуються вольтметри.

Лекція №5

Тема: Компенсаційні та мостові схеми вимірювання.

Мета: оволодіти знаннями про будову, принцип дії, компенсаційних та мостових схем вимірювання

Методи: словесний, практичний, наочний

План

- 1 Компенсаційні схеми вимірювання
- 2 Мостові схеми вимірювання.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

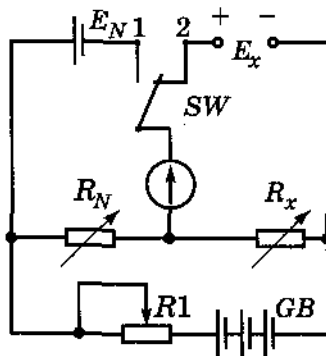
Література:

- 1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982
- 2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.
- 3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.
- 4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987
- 5 Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989
- 6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Компенсаційні схеми вимірювання

Для проведення вимірювань з високими вимогами щодо точності і чутливості застосовують компенсатори (потенціометри) постійного струму. Компенсатори постійного струму реалізують метод порівняння з мірою.

Структура компенсатора постійного струму наведена на мал. 1 де:



Мал.. 1 Компенсаційна схема

E_N — нормальний елемент, ЕРС якого стабільна і відома з високою точністю. Нормальний елемент є мірою ЕРС у складі даного засобу вимірювання;

R_N — зразковий резистор, значення опору якого вибирається залежно від робочого струму компенсатора і температури;

R_X — резистор, значення опору якого відомо з великою точністю і може змінюватися ступенями відповідно до десяткової системи числення;

GB — робоче джерело, призначене для створення робочого струму в резисторах

R_X, R_N ;

R1 — резистор, за допомогою якого встановлюють необхідний робочий струм.

Вимірювання невідомої напруги U_x здійснюється за два етапи. На першому етапі встановлюється значення робочого струму за

допомогою резистора R1. Для цього перемикач необхідно поставити в позицію 1. Опір R1 плавно змінюють доти, поки гальванометр не покаже нуль, тобто ЕРС зрівноважується напругою. У такому разі виконується рівність з

$$E_N = I \cdot R_N,$$

якої випливає, що

$$I = E_N / R_N.$$

На другому етапі вимірювання перемикач переводять у позицію 2 і вимірювану напругу U_x зрівноважують напругою на резисторі R_x , змінюючи ступенями опір R_x . Зрівноважування здійснюється послідовно, крок за кроком, починаючи від найстаршої декади і закінчуючи наймолодшою, коли гальванометр покаже нуль. Тоді

$$U_x = I \cdot R_x = E_N \cdot R_x / R_N.$$

Таким чином, вимірювана напруга визначається через ЕРС нормального елемента E_N і співвідношення опорів R_x , R_N ; які також мають велику стабільність і відомі з великою точністю. ЕРС робочого джерела і R1 мають бути стабільними короткотермінове — тільки впродовж вимірювання.

2 Мостові схеми вимірювання.

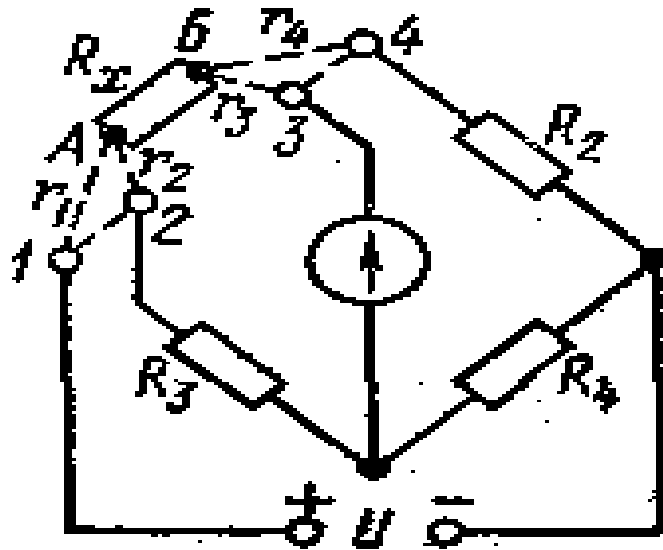
Одинарні мости. Для виміру середніх опорів ($10\text{--}10^6$ Ом) застосовують одинарні мости, виконані за схемою мал. 2. Після зрівноважування моста результат виміру визначають за допомогою вираження. У широкодіапазонних одинарних мостах плече порівняння (R_3) виготовляють у виді багато декадного магазину опорів. Плечі відносин (R_2 , R_3) виконують у виді штепсельних магазинів опору, що можуть мати 10, 100, 1000 і 10000 Ом.

Нижня межа вимірів цих мостів обмежується впливом на результат виміру опорів контактів і сполучних проводів. Верхня межа вимірів обмежується впливом опору ізоляції. Застосування мір захисту від впливу струмів витoku дозволяє збільшити верхня межа вимірів моста.

Для зменшення впливу опору контактів і сполучних проводів використовують схему одинарного моста з чотирма затисками підключення досліджуваного об'єкта (див. мал. 2). У цьому випадку при вимірі опорів, великих 10 Ом, точку А резистора R_x з'єднують із затиском 2, а точку Б з затиском 3; затиски 1 і 2, а також затиски 3 і 4 з'єднують між собою перемичками, тобто в цьому випадку здійснюється звичайне двухзатискне включення об'єкта R_x . При вимірі опорів, менших 10 Ом, здійснюють чотиризатискне включення. Для цього перемички між затисками 1 і 2, а також між 3 і 4 знімають, а точку А резистора R_x з'єднують із затисками 1 і 2, точку Б - із

затисками 3 і 4.

У цьому випадку вплив опорів проводів і контактів ($m1-g4$) практично виключається, якщо $R_2 \gg r_4$, $R_3 \gg r_2$. Дійсно, проводи і контакти, що мають опори $m1$ і $m3$, включені в діагоналі моста і тому не впливають на умову рівноваги моста. Вплив $m2$ і $g4$ виключається за умовою



Лекція №6

Тема: Вимірювальні трансформатори струму і напруги

Мета: оволодіти знаннями про будову, принцип дії, вимірювальних трансформаторів

Методи: словесний, практичний, наочний

План

- 1 Будова принцип дії вимірювального трансформатору струму
- 2 Будова принцип дії вимірювального трансформатору напруги

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

- 1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982
- 2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.
- 3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.
- 4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987

5 Атамальян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

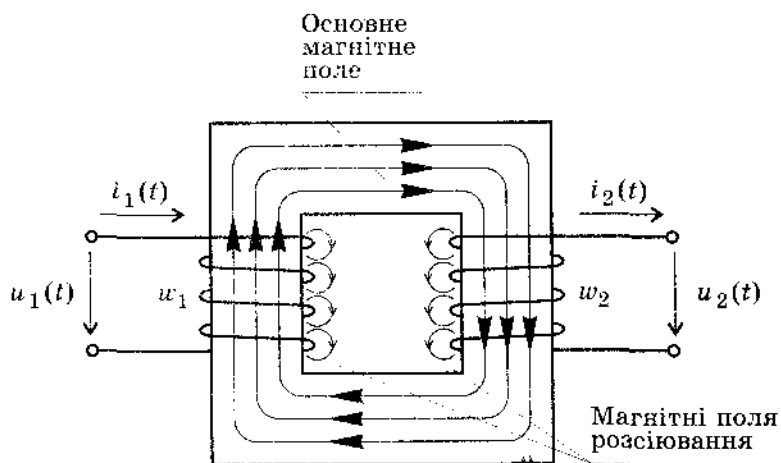
1 Будова принцип дії вимірювального трансформатору струму

Вимірювальними трансформаторами струму і напруги, називаються трансформатори струму й напруги, які мають нормовані метрологічні характеристики і застосовуються як масштабні вимірювальні перетворювачі. На відміну від силових трансформаторів, вимірювальні трансформатори мають бути малої потужності, щоб забезпечити високі метрологічні характеристики.

Вимірювальні трансформатори струму і напруги застосовуються для розширення діапазону вимірювання струмів і напруги у таких галузях, як електроенергетика, системи енергопостачання, електротранспорт тощо. Крім того, вимірювальні трансформатори створюють електричну ізоляцію між вимірювальними приладами і електричними високовольтними колами, що значно підвищує безпечну роботу обслуговуючого персоналу, оскільки прилади ввімкнені в обмотку низької напруги і заземлені.

Вимірювальні трансформатори струму й напруги складаються із замкнутого магнітопроводу, на якому намотані й електричне ізольовані одна від одної первинна і вторинна обмотки з кількістю витків w_1 , w_2 (мал. 1). Магнітопроводи вимірювальних трансформаторів виготовляють із спеціальних сортів електротехнічної сталі з домішкою кремнію або із залізо-нікелевих сплавів типу пермалоя тороїдальної (кільцевої) чи прямокутної форм. Обмотки виконують проводом в ізоляції.

Принцип дії вимірювальних трансформаторів. Дія силових і вимірювальних трансформаторів ґрунтується на однакових принципах.



Мал. 1 Принцип дії трансформатору

Якщо первинну обмотку вимірювального трансформатора ввімкнути в електричну мережу, струм або напруга якої підлягає вимірювальному перетворенню, а вторинну обмотку приєднати до вимірювального приладу, то у первинній і вторинній обмотках проходитимуть змінні синусоїдні струми. Змінні струми створюють в обмотках магніторушійні сили. Під дією цих сил у трансформаторі збуджується змінне магнітне поле, яке можна умовно поділити на три складові:

основне магнітне поле, магнітні лінії якого розміщені в межах магнітопроводу і зчеплені як з усіма витками первинної, так і з усіма витками вторинної обмоток;

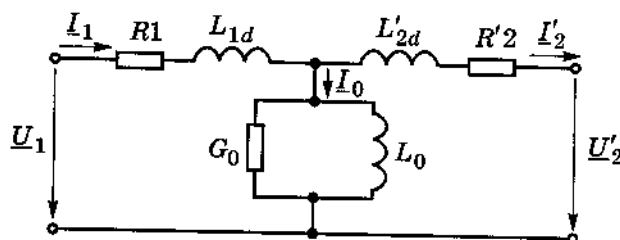
магнітні поля розсіювання первинної та вторинної обмоток, магнітні лінії яких частково розміщені в магнітопроводі, а частково — поза його межами і зчеплені з частиною витків, відповідно, первинної і вторинної обмоток.

Під дією змінного основного магнітного поля в первинній і вторинній обмотках, відповідно до закону електромагнітної індукції, наводяться електрорушійні сили $e_1(t)$, $e_2(t)$.

Первинна обмотка працює як споживач електричної енергії, тому електрорушійна сила первинної обмотки спрямована проти прикладеної напруги і обмежує струм первинної обмотки. Вторинна обмотка працює як джерело електричної енергії, тому електрорушійна сила $e_2(t)$ спричинює струм $i_2(t)$ і визначає його амплітуду.

Магнітні поля розсіювання також наводять електрорушійні сили розсіювання у первинній і вторинній обмотках.

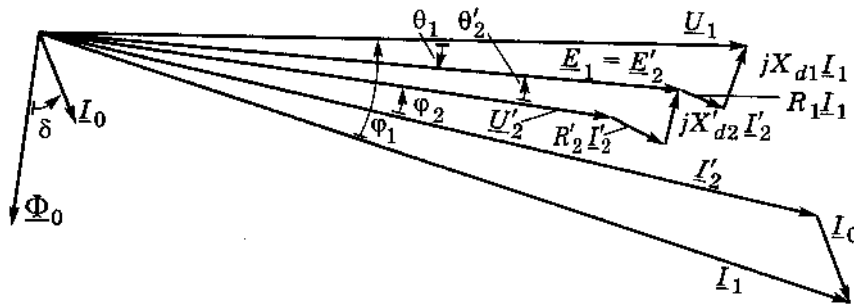
Під дією змінних магнітних полів у магнітопроводі наводяться електрорушійні сили, що спричинюють так звані вихрові струми, або струми Фуко. Це призводить до втрат енергії на нагрівання. Друга складова втрат енергії в магнітопроводі спричинена перемагнічуванням феромагнітного магнітопроводу під дією магнітних полів обмоток. Втрати енергії призводять до зсуву фаз між основним магнітним потоком і намагнічувальним струмом на кут ρ , який називається кутом магнітних втрат.



Мал. 2 Схема заміщення

Електромагнітні процеси в трансформаторі відображені на схемі заміщення трансформатора (мал. 2). Схемі заміщення трансформатора відповідає векторна діаграма струмів і напруг трансформатора (мал. 3).

Користуючись схемою заміщення і векторною діаграмою, можна записати співвідношення між основними фізичними величинами трансформатора.



Мал. 3 Векторна діаграма

2Будова принцип дії вимірювального трансформатору напруги

Вторинна обмотка трансформаторів напруги приєднується до вимірювальних перетворювачів або приладів з високим входним опором (вольтметри, паралельні кола ватметрів та лічильників енергії тощо), тому струм у вторинній обмотці незначний і трансформатори напруги працюють в режимі, близькому до режиму холостого ходу.

Трансформатори струму працюють в режимі, близькому до режиму короткого замикання, оскільки первинна обмотка вмикається в розрив досліджуваного кола і працює в режимі заданого струму, а вторинна — до вимірювальних приладів (амперметрів, послідовних кіл ватметрів та лічильників електричної енергії) або перетворювачів (шунтів) з незначним входним опором.

Метрологічні характеристики вимірювальних трансформаторів. Вимірювальні трансформатори як вимірювальні масштабні перетворювачі характеризуються коефіцієнтами перетворення або чутливістю:

$$S_U = U_2 / U_1; \quad S_I = I_2 / I_1.$$

Як прийнято, трансформатори характеризуються не коефіцієнтом перетворення, а коефіцієнтом трансформації'.

$$k_U = U_1 / U_2; \quad k_I = I_1 / I_2.$$

Для вимірювальних трансформаторів струму й напруги нормується номінальний коефіцієнт трансформації, який визначається через відношення кількості витків первинної і вторинної обмоток

$$k_{\text{ном}} = E_1 / E_2 = w_1 / w_2.$$

Коефіцієнт трансформації реального вимірювального трансформатора визначається через комплексні входню $\underline{U}_1$ і вихідну $\underline{U}_2$ напруги і є комплексною величиною:

$$\underline{k} = \underline{U}_1 / \underline{U}_2.$$

Відхилення реального коефіцієнта трансформації від номінального зумовлює комплексну похибку коефіцієнта трансформації, яка для вимірювальних трансформаторів напруги визначається як

$$\underline{\lambda}_U = \frac{k_{U\text{ном}} \underline{U}_2 - \underline{U}_1}{\underline{U}_1} = f_U + j\delta_U,$$

а для вимірювального трансформатора струму як

$$\underline{\lambda}_I = \frac{k_{I\text{ном}} \underline{I}_2 - \underline{I}_1}{\underline{I}_1} = f_I + j\delta_I.$$

Лекція №7

Тема: Призначення, будова, принцип дії реєструючих приладів.

Мета: оволодіти знаннями про будову, принцип дії самопишучих приладів

Методи: словесний, практичний, наочний

План

- 1 Загальні відомості про прилади
- 2 Області застосування

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

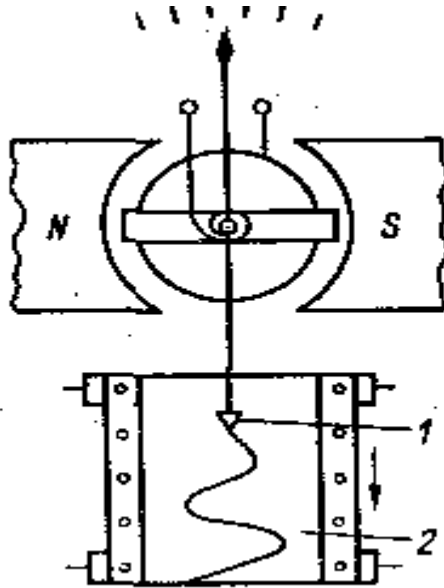
Література:

- 1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982
- 2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.
- 3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. – М.: Радио и связь, 1985.
- 4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987
- 5 Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989
- 6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Загальні відомості про прилади

У залежності від структурної схеми самописні вимірювальні прилади поділяються на двох груп; прилади прямого Перетворення (з розімкнутою схемою) і прилади перетворення, що врівноважує, (із замкнутою схемою).

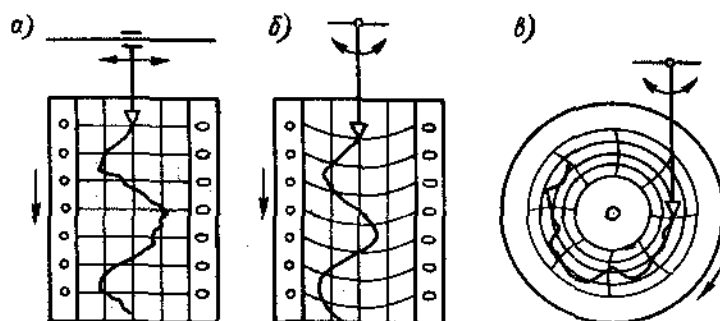
У самописних приладах прямого перетворення застосовують електромеханічні вимірювальні механізми, оснащені



Мал. 1 схема приладу

пристроями реєстрації показань у формі діаграми (мал.1). Орган, що реєструє, 1 (звичайне перо спеціальної конструкції) фіксує чорнилом зміни вимірюваної величини у функції часу на діаграмному папері, що рухається, (носії) 2.

Діаграмний папір для самописних приладів випускається у формі стрічки і диска (мал. 2). Стрічка має звичайно по краях отвору (перфорації), у які входять штифти обертового валика стрічкопротягувального механізму, що повідомляє паперові поступальний рух. Діскова діаграма обертається разом з металевим диском, на якому вона закріплена. Стрічкопротягувальний механізм і металевий диск приводяться в рух синхронним електродвигуном. Швидкість переміщення папера встановлюється в залежності від швидкості зміни вимірюваної величини. Швидкість переміщення дискової діаграми звичайно невелика - за добу один оборот. Цей вид діаграм зручно застосовувати для запису повільно змінюються величин. Паперові стрічки (довжина стрічки в рулоні 5-100 м) використовують при тривалих спостереженнях вимірюваних величин, На діаграмному папері нанесений координатна сітка. Коли реєструє орган робить прямолінійне переміщення, координатна сітка виконується в прямокутних координатах (мал. 2. а), при кутовому переміщенні - у криволінійних координатах (рис, 2, б и в).



Мал. 2 Види діаграм

Запис у прямокутних координатах більш зручна, тому що при цьому полегшується обробка діаграм (автоматична розшифровка, планиметрирование). Однак оскільки покажчик і перо електромеханічного вимірювального механізму рухаються по дузі, то перехід до запису в прямокутних координатах вимагає застосування пристрою для випрямлення запису.

Наявність пишучого пристрою у виді пера значно підвищує тертя, випробовуване рухливою частиною приладу. Тому для зменшення погрішності від тертя в самописних приладах застосовують вимірювальні механізми з порівняно великим обертаючим моментом (0,5-1,0 мН·м). Такий момент мають магнітоелектричні і ферродинамічні вимірювальні механізми.

2 Області застосування

Магнітоелектричні вимірювальні механізми застосовують у самописних вольтметрах і амперметрах, призначених для роботи в ланцюгах постійного струму, а магнітоелектричні логометри в сполученні з напівпровідниковими випрямителями й іншими елементами - у частотомірах для запису частоти в ланцюгах перемінного струму. Ферродинамічні вимірювальні механізми використовують у самописних приладах для ланцюгів перемінного струму: у вольтметрах, амперметрах, ваттметрах.

Для одночасної реєстрації декількох вимірюваних величин мають багатоканальні самописні прилади, що складаються з декількох (по числу вимірюваних величин) електромеханічних вимірювальних механізмів і органів, що реєструють, і один загальний стрічкопротягувальний механізм. Многоканальний прилад ДО208-з призначений для одночасної реєстрації п'яти електричних сигналів постійного струму у функції часу.

Для реєстрації малих струмів і напруг у самописних приладах установлюють вимірювальний підсилювач, включений між входними затискачами приладу і вимірювальним механізмом. Такий підсилювач при незначному споживанні потужності від вимірюваного ланцюга забезпечує необхідний обертаючий момент вимірювального механізму. Самописні прилади з вимірювальними підсилювачами при найбільшій чутливості мають верхні межі вимірів струму 10 мка, напруги 1 мВ (прилади типу Н399, Н3009).

Самописні прилади, що випускаються промисловістю, відносяться, в основному, до приладів класу точності 1,0-2,5. Погрішність реєстрації часу звичайно $\pm 0,5\%$, Час установлення показань не перевищує 2 с. Частотний діапазон приладів не нормується. Частота, що практично допускається, регистрируемых величин не перевищує 1 Гц.

В останні роки одержали поширення швидкодіючі самописні прилади, що дозволяють реєструвати сигнали, що змінюються з частотою до 150 Гц. Значне розширення робочого діапазону частот досягнуто шляхом удосконалення конструкції вимірювального механізму, застосуванням відповідних способів реєстрації, а також застосуванням електронних підсилювачів сигналу і спеціальних

електричних схем для корекції динамічних погрешностей. Відмінними рисами таких приладів є: відсутність шкал для візуального відліку показань, порівняно вузьке по ширині поле запису (не більш 50 мм), наявність спеціальних вимірювальних механізмів з великим обертаючим моментом (0.2- 0.3 Н-м). У приладах застосовують магнітоелектричні й електромагнітні (поляризовані) вимірювальні механізми; використовується запис на теплочувствительной паперові, чорнильний пір'яний запис, запис на папері під копірку. Вітчизняною промисловістю освоєний серійний випуск швидкодіючих самописних приладів з чорнильним записом у криволінійній системі координат (прилади типів Н338, Н3021 і ін.).

Лекція №8

Тема: Будова, принцип дії, електронних генераторів, омметрів

Мета: оволодіти знаннями про будову, принцип дії електронних генераторів, омметрів

Методи: словесний, практичний, наочний

План

1 Електронні генератори

2 Електронні омметри

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982

2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.

3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. – М.: Радио и связь, 1985.

4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987

5 Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Електронні генератори

Генератором вимірювального сигналу називається засіб вимірювання, призначений для генерації сигналів заданої форми (параметри сигналів відомі із заданою точністю). Сигнали вимірювальних генераторів використовуються як тестові для перевірки режимів роботи вимірювальних та електронних приладів.

За формою вихідних сигналів вимірювальні генератори поділяються на генератори сигналів синусоїдних, імпульсних і спеціальної форми. Вихідна частота може змінюватися плавно або дискретно. Останнім часом широко застосовуються універсальні вимірювальні генератори, які генерують як сигнали стандартної (синусоїдна, прямокутна, трикутна тощо), так і сигнали довільної форми, які встановлює користувач,

Діапазон частот генератора визначається коефіцієнтом перекриття, який дорівнює відношенню максимальної частоти до мінімальної. Коефіцієнт перекриття залежить від конструкції" коливальних систем, застосованих в генераторі, і від структури генератора. На низьких і високих частотах коливальні системи виконуються як електричні кола із зосередженими параметрами R, L, C. На надвисоких частотах як коливальні системи використовуються відрізки коаксіальних ліній або об'ємні резонатори, параметри яких змінювати досить складно.

Точність встановлення частоти таких генераторів визначається за якістю шкальних пристроїв і механізмів приводів для зміни частоти. Вимірювальні генератори загального застосування оснащуються заздалегідь градуйованими шкалами, і частота генератора вводиться в межі шкали за допомогою елементів налагодження.

Абсолютна похибка встановлення частоти для генераторів, як правило, виражається формулою

$$\Delta = \pm(\delta f + \Delta_a),$$

де δ — відносна мультиплікативна похибка, яка домінує на верхніх частотах, Δ_a — абсолютна адитивна похибка, яка домінує на нижніх частотах.

Стабільність частоти є однією з найважливіших характеристик вимірювальних генераторів. У генераторів з плавною зміною частоти нестабільність виникає внаслідок зміни геометричних розмірів елементів коливальних контурів, електричних параметрів елементів і деталей, напруги живлення, впливу навантаження генератора,

Для підвищення стабільності частоти застосовують низку технологічних, конструктивних і схемотехнічних заходів. Це дає змогу знизити нестабільність генераторів з плавною зміною частоти до $10_{-3}..10_{-4}$. Щоб знизити нестабільність до $10^{-6}...10^{-7}$, застосовують кварцову стабілізацію частоти.

Форма вихідного сигналу підтримується у генераторів синусоїдного сигналу застосуванням глибокого зворотного зв'язку. Отримання і збереження заданої форми імпульсів забезпечується формувальними каскадами і широкосмуговими підсилювачами з лінійними частотними і фазовими характеристиками.

Діапазон зміни вихідного сигналу забезпечується подільниками і атенюаторами. Для дослідження і налагодження високочутливих приладів вихідну напругу генератора необхідно змінювати у діапазоні 100 і більше децибел.

Розглянуті вище генератори синусоїдного сигналу та імпульсні генератори призначені для вимірювання та контролю невеликої кількості параметрів.

Донедавна такі генератори задовольняли вимоги, які ставилися рівнем розвитку промисловості. Останнім часом, у зв'язку з бурхливим розвитком техніки, впровадженням новітніх технологій різко зросли вимоги до точності, динамічного і частотного діапазону, функціональних можливостей генераторів сигналу.

Застосування сучасних аналогових та цифрових мікросхем високого ступеня інтеграції, мікропроцесорів дає можливість створити генератори сигналів, які б задовольняли зростаючі вимоги. Сучасні універсальні генератори сигналів створюють в основному за структурою функціональних генераторів і синтезаторів сигналів.

Функціональні генератори базуються на принципі формування імпульсу за допомогою заряду і розряду конденсатора від стабільного джерела струму.

У синтезаторах вихідний сигнал формується за рахунок перетворення сигналу опорного кварцового генератора. Перетворення сигналу здійснюється за допомогою подільників частоти, перемножувачів частоти, частотних перетворювачів (модуляторів). Комбінуючи вихідні сигнали таких перетворювачів, можна синтезувати сигнал з частотою в окремих точках широкого частотного діапазону з дискретністю до часток герца.

Сучасні універсальні генератори сигналів — це складні вимірювальні комплекси, до складу яких входять аналогові і цифрові мікросхеми високого рівня інтеграції, мікропроцесори, засоби відображення інформації.

Зокрема, застосування мікропроцесорів допомагає створювати генератори сигналів з великою кількістю режимів роботи і видів сигналів, високими метрологічними характеристиками та забезпечує оперативне введення і відображення інформації, керування параметрами сигналів і режимами роботи за заданою програмою, самодіагностику приладу.

Вимірювальний генератор з мікропроцесорним керуванням не має традиційних органів керування і установки параметрів, а введення і відображення інформації здійснюється за допомогою алфавітно-цифрового дисплея та клавіатури. Введення параметрів, програм і даних здійснюється в діалоговому режимі. При цьому висвічується назва вибраного параметра, після чого оператор за допомогою клавіатури набирає його значення.

Генератор генерує сигнал основних форм: синусоїдної, прямокутної, трикутної, пилоподібної. Крім цих основних, сучасні генератори можуть генерувати сигнал довільної форми, яка задається оператором. Для цього передбачена пам'ять, в яку заносяться ординати бажаної форми сигналу.

Сучасні генератори генерують сигнал в частотному діапазоні від мікрогерців до сотень мегагерців. У них передбачено режим періодичної зміни частоти сигналу у часі за лінійним та логарифмічним законом. Зміна частоти здійснюється програмне за допомогою електронних засобів. Крім того, забезпечене програмне керування границями зміни частоти, періодом, швидкістю. У деяких моделях генераторів можлива ступінчаста зміна частоти.

У більшості сучасних універсальних генераторів передбачається режим модуляції

сигналу: амплітудної, частотної, фазової тощо. Вбудований мікропроцесор дає змогу програмне керувати режимами і параметрами модуляції.

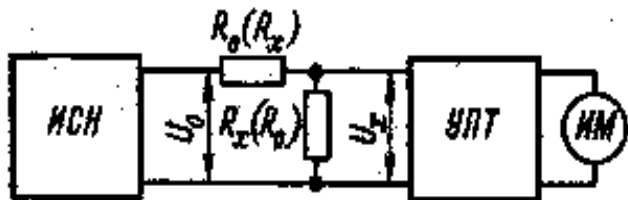
Крім генерації неперервного періодичного сигналу необхідної форми, у багатьох моделях сучасних генераторів сигналу є режим генерації одиноких імпульсів заданої форми або заданої кількості однакових імпульсів. Момент генерації сигналу задається програмне поданням спеціального синхроімпульсу.

2 Електронні омметри

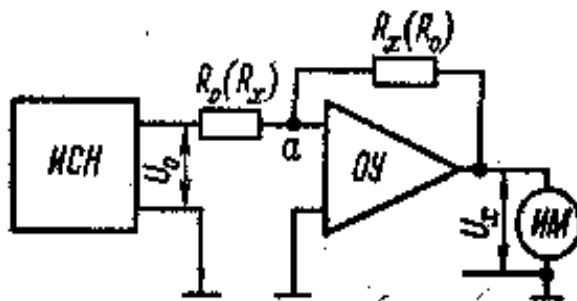
Ці прилади мають широкий діапазон вимірюваних опорів (10^{-4} - 10^{17} Ом) і досить прості в експлуатації. Точність таких омметрів, як правило, невисока: приведена погрішність складає одиниці відсотків і збільшується до 10-15 % при вимірі особливо великих опорів ($R > 10^{12}$ Ом). У залежності від діапазону вимірів їх називають омметрами, міліомметрами, тераомметрами або мегомметрами.

В основі роботи електронних омметрів лежить перетворення вимірюваного опору у функціонально зв'язане з ним напруга постійного струму, що подається на магнітоелектричний вимірювальний механізм; при цьому шкала вимірювального механізму градуїрується в одиницях опору. Найбільше поширення одержали схеми омметрів, зображені на мал. 1 і 2, де ДСН - джерело стабільної напруги U_0 , ППС - підсилювач постійного струму; ОП - операційний підсилювач. ВМ - вимірювальний механізм. R_x - вимірюваний опір; R_0 - відомий опір; U_x - напруга, функціонально зв'язане з вимірюваним опором R_x . Можливі два варіанти включення R_x і R_0 показані на малюнках без дужок (1-й варіант) і з дужками (2-й варіант).

В омметрах, побудованих за схемою мал. 1а, використовується ППС із великим вхідним опором $R_{вх}$. Тому, зневажаючи шунтуючим впливом $R_{вх}$, маємо $\alpha = \kappa U_x = \frac{\kappa U_0 R_x}{R_0 + R_x}$ - для 1-го варіанта і $\alpha = \kappa U_x = \frac{\kappa U_0 R_0}{R_0 + R_x}$ для 2-го варіанта включення R_x і R_0 , де α - кут відхилення рухливої частини ВМ, κ - коефіцієнт перетворення ППС омметрах,



Мал. 1. Схеми омметрів



Мал. 2. Схеми омметрів

побудованих за схемою мал. 1, використовується ВМ.

З формул видно, що в широкому діапазоні вимірюваних опорів шкала таких омметрів нерівномірна з діапазоном показань відповідно $0-\infty$ і $\infty-0$.

Для підвищення точності відлічування весь діапазон вимірів омметра розбивають на піддіапазони, кожному з яких відповідає своє значення опору R_0 . Цим досягається зміна ціни розподіл шкали для тих самих значень R_x . Переключенням R_0 вибирають найбільше зручну шкалу для відлічування показань у необхідному діапазоні вимірів.

Для зменшення погрішностей вимірів, викликаних нестабільністю роботи окремих вузлів приладу, особливо УПТ, у таких омметрах передбачають регулювання "Установка нуля" при замкнутах вхідних затискачах ($R_x=0$) і "Установка ∞ " при розімкнутих затискачах ($R_x \rightarrow \infty$). Ці регулювання здійснюють шляхом зміни коефіцієнта перетворення підсилювача й установки "нуля" його вихідного сигналу.

Розглянута схема знайшла застосування в комбінованих приладах, зокрема в універсальних вольтметрах, у яких підсилювач постійного струму використовується для виміру як напруги, так і опору. Так, універсальний вольтметр В7-17 має діапазони вимірів опорів 10 Ом - 1000 Мом; основна похибка приладу не перевищує $\pm 2.5\%$.

В омметрах, побудованих за схемою мал. 2, застосований операційний підсилювач, у колі негативного зворотного зв'язку якого включений резистор $R_x(R_0)$. Операційний підсилювач-підсилювач постійного струму з великим коефіцієнтом підсилення k і великим вхідним опором. Тому потенціал точки a , обумовлений як $\frac{U_x}{k}$, і вхідний струм підсилювача практично дорівнюють нулеві. Отже, струми протікаючи через резистори R_x і R_0 , рівні і справедливі співвідношення $\frac{U_0}{R_0} = \frac{U_x}{R_x}$ або $\frac{U_0}{R_x} = \frac{U_x}{R_0}$ в залежності від схеми включення R_x і R_0

Для 1-го варіанта включення $U_x = \frac{U_0 R_x}{R_0}$ і, отже, $\alpha = \frac{S_U U_0 R_x}{R_0}$, де S_U - чутливість

ВМ. Така схема включення краща, оскільки омметр має рівномірну шкалу. Верхня межа вимірів у таких омметрах змінюють шляхом підключення резисторів R_0 різних опорів. Така схема використовується в електронному омметрі Е6-10, що має діапазон вимірів 10 Ом - 1000 Мом і клас точності 2,5.

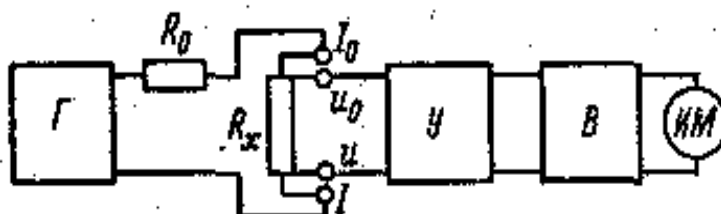
У тераомметрах при вимірі великих опорів ($R_x > 10^6 - 10^{12}$ Ом) використання 1-го варіанта схеми мал. 2 приводить до істотного росту погрішності. Це обумовлено тим, що при обмеженні вихідної напруги U_x , обумовленого характеристиками ОП. для великих R_x , необхідно установлювати великі опори R_0 , забезпечити необхідну точність яких досить важко..

Крім того, струми, що протікають через R_0 і R_x , у цьому випадку виявляються настільки малими, що стають порівнянними з вхідними струмами підсилювача і струмами витоку. Тому знаходить застосування 2-й варіант включення R_0 і R_x (на схемі в дужках). Шкала такого тераомметра нерівномірна, оскільки $\alpha = \frac{S_U U_0 R_0}{R_x}$. Для

підвищення точності в таких схемах мається можливість збільшувати струм, що протікає через R_x , шляхом збільшення U_0 (до сотень вольтів) і застосовувати менші

опори R_0 . Розглянута схема використовується в тераомметрах Е6-14 з діапазоном вимірів 10^7 — 10^{17} Ом. класами точності 4-10 у залежності від межі вимірів.

Вимір малих опорів (до 10^{-4} Ом) виробляється електронними міліомметрами. При вимірі таких опорів виникають труднощі зв'язані з впливом порівнянних за значенням опорів контактів і сполучних проводів, а також контактних термо-ерс. Міліомметри (мал.3) працюють за принципом, аналогічному роботі омметра, зображеного на мал.1.



Мал.. 3 Міліомметр

Однак для виключення впливу термо-ерс виміри виробляються на перемінному струмі, вироблюваному генератором Г. Застосування перемінного струму дозволяє використовувати підсилювач У перемінного струму з великим коефіцієнтом підсилення, що підвищує чутливість приладу при вимірі малих опорів. Вихідний сигнал підсилювача випрямляється випрямлячем В і подається на магнітоелектричний вимірювальний механізм ВМ.

Для зменшення впливу опорів контактів і сполучних проводів резистор R_x включають по чотирьох провідній схемі, при якій струм до резистора підводиться по одній парі проводів (затиски I_0 й I), а напруга, пропорційна вимірюваному опоріві, знімається з іншої пари проводів (затиски U_0 й U). Як приклад можна вказати міліомметр Е6-15, що має діапазон вимірів опорів 10-4- 102 Ом і приведену погрішність $\pm 1,5$ %.

Лекція №9

Тема: Будова, принцип дії, електронних вольтметрів.

Мета: оволодіти знаннями про будову, принцип дії електронних генераторів, омметрів

Методи: словесний, практичний, наочний

План

- 1 Електронні аналогові вольтметри.
- 2 Вольтметри змінного струму.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982

2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.

3Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.

4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987

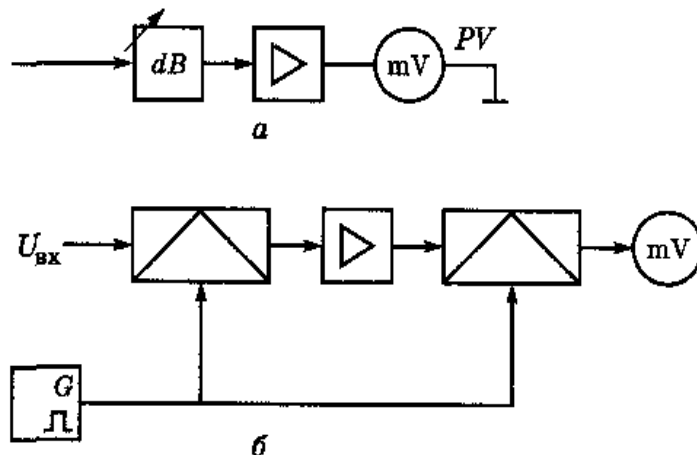
5Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Електронні аналогові вольтметри.

Засоби вимірювання, вихідний сигнал яких є неперервною функцією вимірюваної величини, а перетворення сигналу вимірювальної інформації здійснюється електронними пристроями, належать до електронних аналогових засобів вимірювання. Електронні вольтметри становлять значну частину аналогових електронних вимірювальних приладів. Застосування електронних пристроїв у вимірювальних приладах збільшило функціональні можливості і значно поліпшило метрологічні характеристики: точність, чутливість, діапазон вимірювання електронних засобів вимірювання порівняно з електромеханічними. У цих приладах напруга підсилюється і перетворюється за допомогою вимірювальних аналогових перетворювачів у постійний струм, який вимірюється приладом магнітоелектричної системи -

Електронні вольтметри мають високу чутливість, широкий діапазон (від десятків нановольт до десятків кіловольт), великий вхідний опір (понад 1 МОм), широкий частотний діапазон. Вони можуть бути з прямим або із зрівноваженим перетворенням. За родом струму поділяються на вольтметри постійного та змінного струмів.



Мал.. 1 Вольтметр постійного струму

Вольтметри, постійного струму складаються з таких основних частин (рис. 1, а): вхідного багатоступеневого подільника напруги, за допомогою якого можна змінювати діапазон вимірювальної напруги; підсилювача постійного струму, коефіцієнт підсилення якого можна змінювати ступенями; магнітоелектричного вимірювального механізму, призначеного для вимірювання постійного струму.

Послідовне з'єднання подільника напруги дає можливість зробити вольтметр високочутливим і багатодіапазонним.

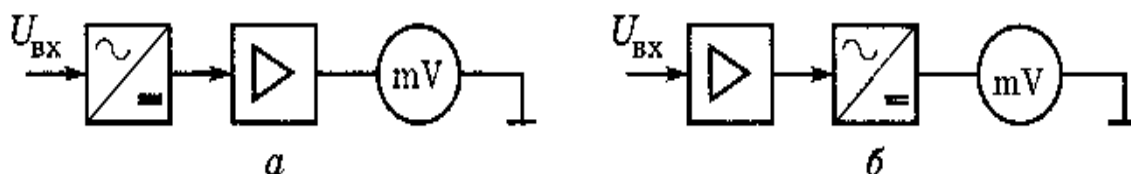
Характеристики вольтметра обмежуються такими недоліками, як нестабільність коефіцієнта підсилення і так званий «дрейф нуля».

Для усунення цих недоліків і підвищення чутливості вольтметрів застосовують підсилювач постійного струму, побудований за структурою МДМ (модуляція-демодуляція).

Принцип дії підсилювача постійного струму з МДМ (рис. 1, б) такий. Вимірюваний сигнал надходить на модулятор, який є аналоговим вимикачем з електронним керуванням моменту вмикання і вимикання сигналом з генератора. Таким чином, на виході модулятора будуть імпульси з частотою генератора і амплітудою, що дорівнює значенню вхідної напруги. Далі ці імпульси підсилюються підсилювачем змінного струму, у якого відсутній «дрейф нуля», і подаються на демодулятор. Демодулятор виділяє середнє значення імпульсів, яке пропорційне вхідній напрузі і вимірюється магнітоелектричним приладом.

2 Вольтметри змінного струму.

Електронні вольтметри змінного струму складаються з таких частин (рис. 2);



Мал. 2 Вольтметр змінного струму

вимірювального перетворювача змінного струму в постійний; підсилювача; магнітоелектричного вимірювального механізму.

Вольтметри змінного струму можуть мати дві структури. У вольтметрах першої структури (рис. 2, а) вимірювальний сигнал надходить на вимірювальний перетворювач, потім підсилюється підсилювачем постійного струму і вимірюється магнітоелектричним приладом. Завдяки малій інерційності перетворювачів вольтметри з такою структурою мають широкий частотний діапазон. Однак зазначені вище недоліки підсилювача постійного струму обмежують чутливість таких вольтметрів.

У вольтметрах другої структури (рис. 2, б) вимірюваний сигнал спочатку

підсилюється підсилювачем змінного струму, а потім перетворюється в сигнал постійного струму. Такі вольтметри мають високу чутливість, але частотний діапазон обмежується інерційністю підсилювача змінного струму.

Вимірювальні перетворювачі змінного струму в постійний поділяються на такі види:

- амплітудний;
- середнього значення;
- діючого значення.

Постійна напруга на виході вимірювального перетворювача прямо пропорційна відповідно амплітудному, середньому чи діючому значенню змінної напруги на вході. Залежно від типу вимірювального перетворювача вольтметри змінної напруги також поділяються на вольтметри амплітудних, середніх та діючих значень.

У перетворювача із закритим входом на вході стоїть конденсатор, який не пропускає постійної складової вимірюваної напруги. Він заряджається тоді, коли додатна вхідна напруга перевищує від'ємну напругу на конденсаторі. До резистора К прикладена напруга, значення якої дорівнює сумі вхідної напруги та напруги на конденсаторі. Напруга на конденсаторі дорівнює додатному амплітудному значенню. За допомогою фільтра виділяється середнє значення змінної напруги на резисторі К, що становить амплітудне значення вимірюваного сигналу.

Вольтметри середнього значення мають випрямні перетворювачі змінного струму у постійний. Шкала таких вольтметрів градується в діючих значеннях.

За визначенням, діюче значення напруги — це середнє за період значення квадрата напруги. Тому у вольтметрах діючого значення вимірювальний перетворювач обов'язково має у своєму складі квадратор. Найчастіше як квадратори використовують термоелектричний перетворювач та квадратор з кусково-лінійною апроксимацією параболи.

Слід зазначити, що останнім часом у зв'язку з бурхливим розвитком мікроелектроніки і мікропроцесорної техніки багато аналогових електронних приладів, насамперед частотоміри, фазометри, вольтметри, витісняються цифровими приладами, точність яких значно перевищує точність аналогових приладів.

Лекція № 10

Тема: Будова, принцип дії, електронно-променевого осцилографа

Мета: оволодіти знаннями про будову, принцип дії електронно-променевого осцилографа

Методи: словесний, практичний, наочний

План

- 1 Будова, принцип дії, електронно-променевого осцилографа
- 2 Основні характеристики

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982

2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.

3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.

4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987

5 Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Будова, принцип дії, електронно-променевого осцилографа

Електронно-променеві (електронні) осцилографи призначені для візуального спостереження, вимірювання та реєстрації електричних сигналів. Осцилограми сигналів мають велику інформативність і дають можливість під час аналізу сигналів виявляти складні закономірності, розпізнавати природу досліджуваних явищ, вимірювати параметри неперервних, імпульсних, періодичних і неперіодичних сигналів у широкому діапазоні частот.

Сучасні осцилографи, оснащені пристроями для керування й автоматизації процесу вимірювання (контролерами) на базі мікропроцесорів, аналого-цифровими й цифро-аналоговими перетворювачами, являють собою багатофункціональні вимірювальні комплекси, здатні вимірювати характеристики і параметри складних електрорадіотехнічних пристроїв.

Для візуалізації, аналізу, вимірювання й порівняння характеристик і параметрів одночасно кількох сигналів призначені багатопроменеві (здебільшого двопроменеві) осцилографи.

Останнім часом у деяких сучасних осцилографах передбачено, крім традиційних функцій зображення сигналів, функції вимірювання частоти, струму, напруги, опору (осцилограф-мультиметр).

Основними структурами осцилографа (Мал..1) є:

електронно-променева трубка (ЕПТ) зі схемами фокусування променя, керування променем та високого живлення;

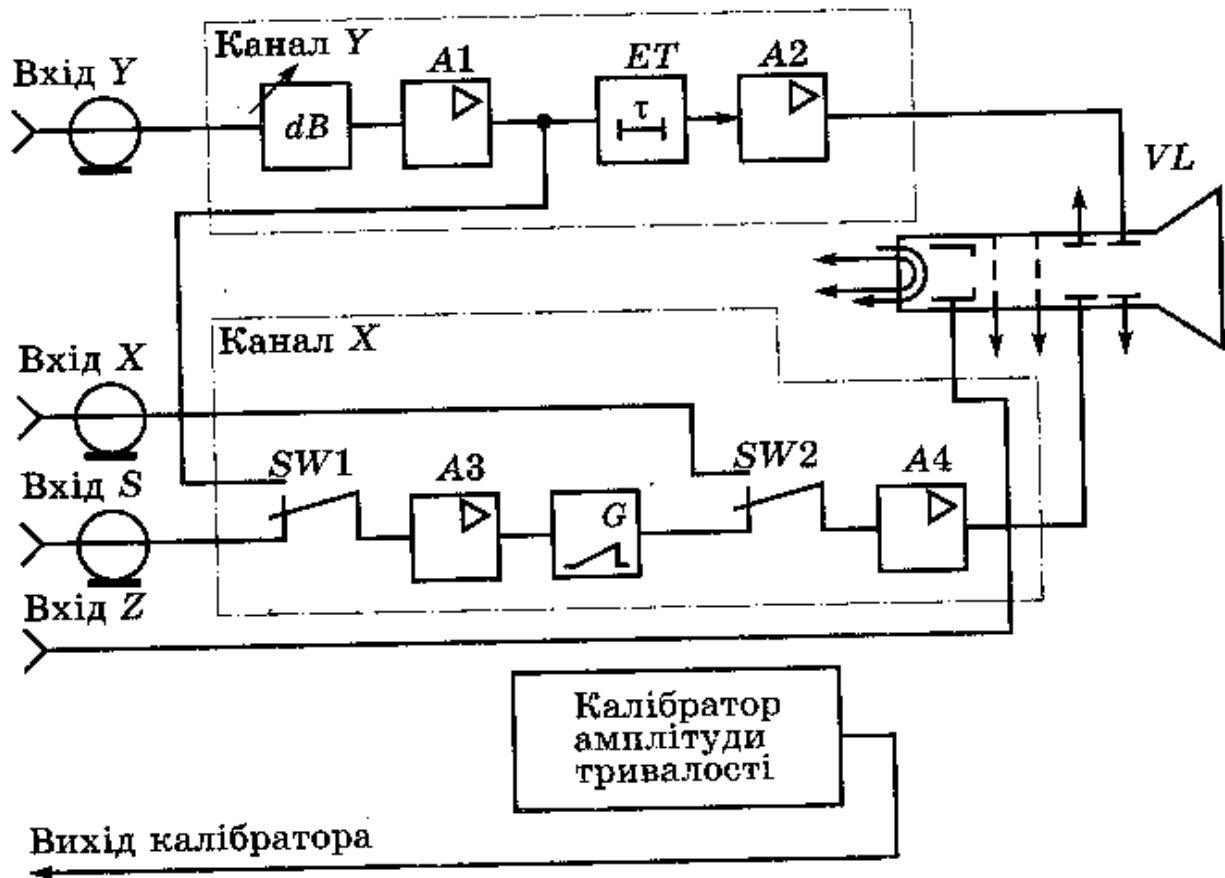
канал вертикального відхилення (канал У);

канал горизонтального відхилення (канал Х);

канал керування яскравістю променя (канал 2).

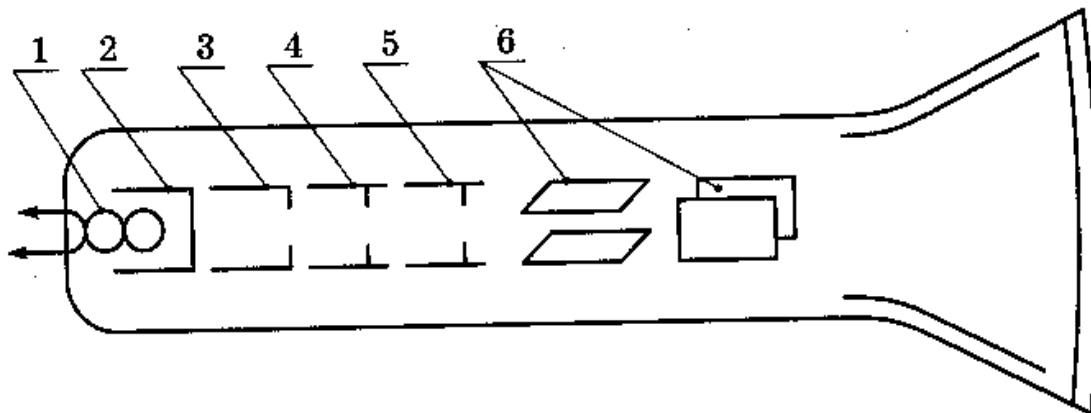
До складу осцилографа входять також калібратор амплітуди і тривалості та

синхронізатор.



Мал. 1 Структурна схема ЕПО.

Електронно-променева трубка. Скляний балон електронно-променевої трубки виготовляється у формі колби (рис.2), у якій утворено високий вакуум. Електронний прожектор, або електронна гармата, складається з підігрівного катода, модулятора або керівного електрода та анодів, які фокусують електронний промінь на екрані. Підігрівний катод-2 нікельовий



Мал. 2 Електронно - променева трубка
циліндр, у середині якого розміщено вольфрамовий підігрівник 1. На торцевій

частині катода із зовнішнього боку нанесено оксидний шар, що забезпечує емісію електронів у бік екрана. Катод оточений керівним електродом (модулятором) 3, який виготовляється у вигляді металевого циліндра з отвором у торці і призначений для регулювання густини електричного променя. На модулятор подається негативний відносно катода потенціал і електрони, що вилітають з катода й спрямовуються в бік модулятора, під дією електричного поля між катодом і модулятором змінюють напрямок свого руху, відхиляючись до осі променя.

Зі збільшенням негативного потенціалу модулятора частина електронів набуде великого відхилення і не пройде крізь отвір, тобто, змінюючи потенціал модулятора, можна регулювати густину променя та яскравість світної плями на екрані.

Для подальшого фокусування променя призначені аноди 4 та 5, Обидва вони циліндричні з діафрагмою для обмеження поперечного перерізу променя. У першого фокусувального анода позитивний потенціал відносно катода становить 200...500В. Під дією сил електричного поля першого анода електронний промінь стискується (фокусується). Другий анод, прискорювальний, розміщений на певній відстані від першого на осі трубки і перебуває під позитивним потенціалом 1000...,2000В відносно катода. Між двома анодами виникає електричне поле, потрапивши в яке електрони відхиляються до осі променя й набувають прискорення у напрямі руху до екрана 7,

Екран електронно-променевої трубки покритий спеціальною сумішшю (люмінофором), яка світиться під дією ударів електронів (тобто коли сфокусований промінь потрапляє у певну точку екрана, ця точка починає світитися). Для виготовлення люмінофорів використовують оксиди цинку, берилійового цинку, суміш сульфату цинку із сульфатом кадмію тощо. Ці матеріали мають післясвітіння — вони продовжують світитися певний час після припинення дії електронного променя.

Частина енергії електронного променя перетворюється у світлову у вигляді світної плями діаметром менше за 1 мм. Решта енергії передається електронам екрана, зумовлюючи вторинну емісію. Вторинні електрони вловлюються провід

ним графітним шаром (аквадагом), який частково покриває внутрішню циліндричну й конічну частини колби і з'єднаний з другим анодом.

Відхильні пластини 6 призначені для відхилення електронного променя від осі у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Перша пара пластин відхиляє електронний промінь у вертикальній площині й називається вертикальними відхильними пластинами, а друга — у горизонтальній площині і називається горизонтальними відхильними пластинами. За допомогою системи відхильних пластин можна здійснити довільний рух променя, розклавши його на вертикальну і горизонтальну складову.

Електронно-променеві трубки з магнітним керуванням мають у своєму складі катод, модулятор та перший анод такої самої будови й призначення, що й у трубки з електронним керуванням. Роль другого анода виконує аквадаг. Для фокусування променя призначена спеціальна фокусувальна котушка. Відхильна система скла-

дається з двох пар відхильних котушок, осі яких взаємно перпендикулярні.

До основних характеристик електронно-променевих трубок належать чутливість, смуга пропускання, тривалість післясвітіння, робоча площа екрана та інші характеристики.

2 Основні характеристики

Чутливість трубки S визначається відхиленням I променя на екрані, спричиненим напругою U , прикладеною до відхильних пластин:

$$S = \frac{l}{U}.$$

Здебільшого чутливість трубок знаходиться в межах (0,5...5) мм/В. Зі збільшенням частоти чутливість трубок зменшується. Верхньою частотою смуги пропускання трубки вважається частота, на якій чутливість трубки зменшується у $\sqrt{2}$ раз (на 3дБ) порівняно з чутливістю трубки на нижніх частотах. У більшості електронно-променевих трубок верхня частота дорівнює близько 100 МГц.

Тривалість післясвітіння характеризується інтервалом часу від моменту припинення дії електронного променя до моменту, коли яскравість зображення зменшиться до 1 % від початкової яскравості. Щоб полегшити спостереження короткотривалих поодиноких або повільних сигналів, застосовують трубки з тривалим післясвітінням (більшим за 0,1с). Спеціальні запам'ятовуючі трубки дають змогу зберігати зображення сигналів на термін від кількох хвилин до кількох діб.

Робоча площа екрана визначається діаметром трубки. Колір зображення визначається типом люмінофора. Найбільшого поширення знайшли трубки із зеленим світінням. Для фотографування осцилограм більш прийнятні трубки з блакитним світінням.

Канал вертикального відхилення (канал Y). Канал вертикального відхилення складається з вхідного подільника напруги, вхідного підсилювача, лінії затримки, вихідного підсилювача.

Вхідний подільник напруги забезпечує високий вхідний опір осцилографа в широкому діапазоні частот і служить для узгодження вихідного опору джерела вимірюваного сигналу і вхідного опору підсилювача (рис 3). Для забезпечення можливості аналізу змінної складової сигналу з невеликою амплітудою за наявності великої постійної складової вхідний сигнал подається на вхід через розділовий конденсатор C_p .

Для зменшення залежності коефіцієнта ділення подільника напруги від частоти паралельно резисторам подільника вмикають конденсатори з таким розрахунком, щоб сталі часу $\tau_1 = R_1 \cdot C_1$; $\tau_2 = R_2 \cdot C_2$ були однаковими: $\tau_1 = \tau_2$, тоді $R_1 \cdot C_1 = R_2 \cdot C_2$.

Вхідну напругу підводять до осцилографа за допомогою коаксіального кабелю, ємність якого залежно від довжини становить 50...150пФ і додається до вхідної ємності осцилографа. Це призводить до збільшення спотворень сигналу і до

зменшення смуги пропускання осцилографа. Щоб

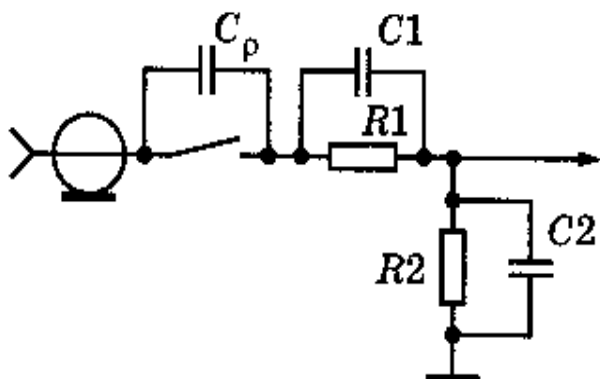


Рис. 9.3

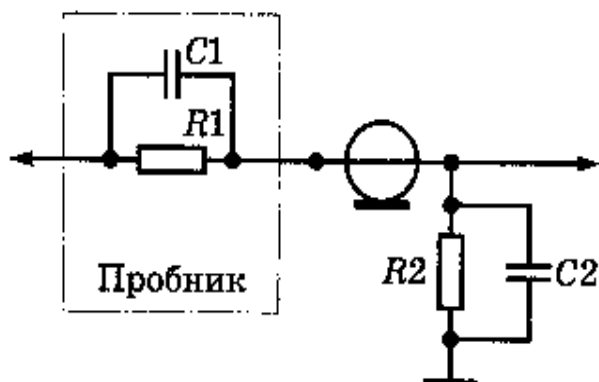


Рис. 9.4

зменшити негативний вплив ємності кабелю, застосовують додатковий подільник напруги (атенюатор), розміщений у виносному пробнику, який через зонд довжиною кілька сантиметрів вмикається безпосередньо у потрібну точку електричного кола (рис.4),

Якщо тривалість фронтів досліджуваних імпульсів сумірна із затримкою сигналу в з'єднувальному кабелі, то для уникнення відбивання електромагнітних коливань від кінців хвильовий опір кабелю необхідно узгоджувати на вході і виході,

Основне підсилення досліджуваного сигналу здійснюється попереднім підсилювачем каналу вертикального відхилення. Підсилювач будують за схемою балансного (диференціального) підсилювача. Крім основної функції — підсилення, підсилювач виконує ще деякі допоміжні функції: плавну зміну коефіцієнта підсилення, балансування постійної складової, перетворення сигналу із несиметричного відносно землі у симетричний.

Лінія затримки забезпечує затримку досліджуваного сигналу відносно початку розгортки, що дає змогу спостерігати передній фронт імпульсу.

Вихідний підсилювач каналу забезпечує підсилення сигналу до значення, необхідного для відхилення променя в межах екрана,

Канал горизонтального відхилення (канал X). До складу каналу входить генератор розгортки, вихідний підсилювач, пристрій синхронізації і запускання розгортки.

Генератор розгортки призначений для формування пилкоподібних імпульсів, необхідних для відхилення електронного променя по горизонталі, пропорційно часу. Генератор розгортки має три режими роботи: автоколивальний, очікувальний і одноразової

розгортки.

Автоколивальний режим призначений для відображення періодичних імпульсних і синусоїдних сигналів. Сигнали зовнішньої або внутрішньої синхронізації надходять на генератор і забезпечують кратність частоти розгортки частоті сигналу.

Очікувальний режим використовується для відображення короткотривалих імпульсів низької частоти. Генератор у цьому режимі знаходиться у стані готовності до робочого ходу розгортки. Як тільки імпульс запуску є на вході,

починається робочий хід розгортки. Після закінчення робочого ходу генератор знову переходить на режим очікування нового робочого ходу. Яскравість зображення імпульсу на екрані пропорційна частоті імпульсів.

Режим одноразової розгортки призначений для запам'ятовування чи фотографування окремих поодиноких імпульсів. Генератор розгортки знаходиться у стані готовності до запуску. Натискуванням кнопки «Пуск» генератор запускається черговим імпульсом.

Щоб отримати зображення більшого масштабу, у багатьох осцилографах передбачений режим «розтягування» у часі. Це досягається збільшенням коефіцієнта підсилення вихідного підсилювача каналу X у певну кількість разів. Яскравість зображення у такому разі зменшується.

Часто необхідно спостерігати частину імпульсу, яка з'являється значно пізніше за початок розгортки. Для цього використовують дві розгортки: повільну, яка дає змогу спостерігати весь імпульс і вибрати на ньому за допомогою спеціальної позначки потрібну ділянку сигналу, і швидку, яка запускається дещо раніше вибраної ділянки і тим самим забезпечує зображення більшого масштабу.

У більшості осцилографів поряд з режимом розгортки у часі використовується режим відхилення (режим -X-Y) досліджуваного сигналу по горизонталі, аналогічно тому, як це виконується у каналі Y. Цей режим використовується для дослідження залежності одного сигналу від

іншого, наприклад для дослідження вольт-амперних характеристик пристроїв.

Вихідний підсилювач каналу «X» за призначенням і будовою аналогічний вихідному підсилювачу каналу Y-

Пристрій синхронізації і запускання розгортки призначений для забезпечення стійкого зображення на екрані осцилографа. Для цього початок робочого ходу має точно збігатися з однією і тією самою характерною точкою досліджуваного сигналу. У автоколивальному режимові цей процес прив'язування початку розгортки до початку сигналу називається синхронізацією, а при очікувальному та разовому запуску — запуском розгортки. Для забезпечення синхронізації і запуску розгортки пристрій синхронізації генерує імпульс з крутим фронтом в момент часу, коли вхідний сигнал досягає заданого рівня. Цим імпульсом коригується тривалість зворотного ходу розгортки або її запуск.

Канал керування яскравістю променя (канал 2), або керування струмом електронного променя, служить для встановлення яскравості зображення на екрані трубки. Регулювання виконується як вручну (змінюючи напругу на модуляторі), так і за допомогою підсилювача, на вхід якого подають зовнішній або внутрішній сигнали і підсвічують важливі їх ділянки. Основне призначення каналу 2 полягає у підсвічуванні робочого ходу розгортки, для чого під час робочого ходу на вхід підсилювача подається прямокутний імпульс підсвічування, що створюється генера-

тором розгортки і після підсилення подається на модулятор трубки.

Калібратор амплітуди, і тривалості — це спеціальний генератор, як правило, прямокутних коливань у формі меандра, амплітуда і тривалість яких відомі із заданою точністю. Маючи на екрані зображення такого еталонного сигналу, можна за допомогою регулювальних пристроїв встановлювати необхідні параметри осцилографа.

Принцип дії осцилографа полягає у перетворенні досліджуваних електричних сигналів у видиме зображення (осцилограму) на екрані електронно-променевої трубки. Сигнал вимірювальної інформації подається на вхід У каналу вертикального відхилення. Подільник напруги разом з вхідним і вихідним підсилювачем забезпечують широкий діапазон амплітуд досліджуваних сигналів. Коефіцієнт подільника напруги, а також коефіцієнт підсилення можна змінювати в широких межах ступенями. Пропорційна амплітуді сигнал з вихідного підсилювача надходить на пластини вертикального відхилення електронно-променевої трубки. Відхилення променя по вертикалі прямо пропорційне амплітуді змінного сигналу А:

$$y = k \cdot A.$$

Коефіцієнт пропорційності залежить від коефіцієнта подільника напруги і коефіцієнтів підсилення вхідного і вихідного підсилювача і має низку фіксованих значень. За допомогою перемикача на передній панелі осцилографа можна вибрати і встановити будь-яке фіксоване значення коефіцієнта пропорційності k . Значення коефіцієнта підсилення проградуєвані за напругою яка припадає на одну вертикальну поділку (позначенню « вольт/поділку »).

Синхронізатор. Щоб отримати на екрані зображення сигналу, розгорнутого за часом, на горизонтальні пластини електронно-променевої трубки потрібно подавати напругу, яка лінійно зростає з плином часу. Така пилоподібна напруга формується генератором розгортки, підсилюється підсилювачем каналу Х і подається на горизонтальні пластини.

Зображення періодичного сигналу на екрані осцилографа буде стійким у тому разі, коли тривалість розгортки кратна періоду сигналу. Для досягнення цієї кратності служить синхронізатор, за допомогою якого можна змінювати тривалість розгортки.

Синхронізатор працює в режимі «внутрішня синхронізація», якщо він «запускається» імпульсами досліджуваного сигналу. В режимі «зовнішня синхронізація» синхронізатор запускається імпульсами зовнішнього сигналу, який подається на вхід синхронізатора.

Зміни тривалості розгортки в широких межах виконують ступенями. Перемикач, на якому проградуєвана горизонтальна шкала осцилографа, знаходиться на передній панелі.

Для підвищення точності вимірювання горизонтальну й вертикальну шкали осцилографа необхідно періодично

калібрувати за допомогою калібратора напруги і калібратора тривалості.

Для спостереження, реєстрації та вимірювання параметрів одноразових

сигналів чи сигналів з великим періодом повторення призначені запам'ятовуючі осцилографи, зображення на яких може зберігатися довгий час (до кількох годин).

Коефіцієнт відхилення (m_U) — це відношення напруги вхідного сигналу U_x до відхилення променя l_x , спричинене цією напругою, тобто: $m_u = \frac{U_x}{l_x}$. У найбільш поширених осцилографах коефіцієнт відхилення знаходиться у діапазоні 50 мкВ/поділку... 10В В/поділку. Коефіцієнт відхилення — це параметр, обернений до чутливості осцилографа S_U за напругою:

$$S_U = l_x / U_x = 1 / m_U.$$

Смуга пропускання — це діапазон частот, в межах якого коефіцієнт відхилення зменшується не більше, ніж 3дБ (у 0,707 раза) порівняно з коефіцієнтом відхилення на деякій середній (опорній) частоті. Для низькочастотних осцилографів смуга пропускання знаходиться в межах від нуля до 5 МГц; для універсальних осцилографів верхня частота діапазону досягає десятків мегагерц, для високо-частотних — сотень мегагерц.

Час наростання перехідної характеристики (τ) — час, упродовж якого промінь проходить від 0,1 до 0,9 усталеного значення, якщо на вхід осцилографа діє стрибок напруги.

Коефіцієнт розгортки (m_t) — відношення інтервалу часу Δt до відхилення променя під дією напруги розгортки за цей час: $m_t = \frac{\Delta t}{l_x}$. Сучасні осцилографи мають широкий діапазон коефіцієнтів розгортки від сотих часток мікросекунд на поділку до одиниць секунд на поділку.

Лекція №11

Тема: Цифро-аналогові (ЦАП) і аналого-цифрові (АЦП) перетворювачі

Мета: оволодіти знаннями про будову, принцип дії ЦАП і АЦП

Методи: словесний, практичний, наочний

План

- 1 Основні поняття про АЦП
- 2 Основні поняття про ЦАП

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982

2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.

3Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.

4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987

5Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Основні поняття про АЦП

Для узгодження цифрових пристроїв вимірювання і керування, що працюють з інформацією, представленою у двійковому коді, з датчиками і виконавчими пристроями, що мають аналогові відповідно вихідні і вхідні сигнали, застосовують ЦАП і АЦП.

ІМС ЦАП як правило являють собою резистивні матриці, елементи яких мають співвідношення опорів дільника напруги $R-2R-4R-8R-16R$ і т.д. (застосовують рідко, бо технологічно важко виконувати точні значення великих опорів, що відповідають старшим розрядам) або співвідношення опорів дільника струмів $R-2R$. Також до ІМС зазвичай входять транзисторні (частіше на польових МОН-транзисторах) ключі, що забезпечують вмикання потрібної комбінації резисторів за сигналами двійкового коду.

Матриця $R-2R$ підмикається до операційного підсилювача (ОП), утворюючи з ним інвертуючий підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення. Вхідним сигналом підсилювача є опорна напруга, яка визначає величину напруги, що відповідає молодшому двійковому розряду.

У результаті кожному значенню двійкового коду на входах керування ЦАП відповідає деяке значення напруги на виході ОП.

АЦП може бути побудований на основі ЦАП, лічильника імпульсів і компаратора. Спрощена структурна схема такого АЦП наведена на рис. 8.15.

Цикл перетворення аналогового сигналу, представленого у вигляді напруги U_a , у двійковий код складається з наступних операцій.

Напруга U подається на вхід пристрою - один з входів компаратора K . Сигнал з виходу компаратора дозволяє роботу генератора імпульсів $ГІ$.

Сигнал $Пуск$ встановлює нульовий стан і дозволяє роботу лічильника імпульсів $ЛІ$, який починає заповнюватися імпульсами $ГІ$.

Код з виходу $ЛІ$ подається на цифрові входи $ЦАП$ (входи керування ключами). У результаті з виходу $ЦАП$ ступінчато зростаюча напруга надходить на другий вхід компаратора. Після досягнення цієї напругою значення U_m компаратор забороняє роботу генератора, а на виході $ЛІ$ маємо код, що відповідає величині U .

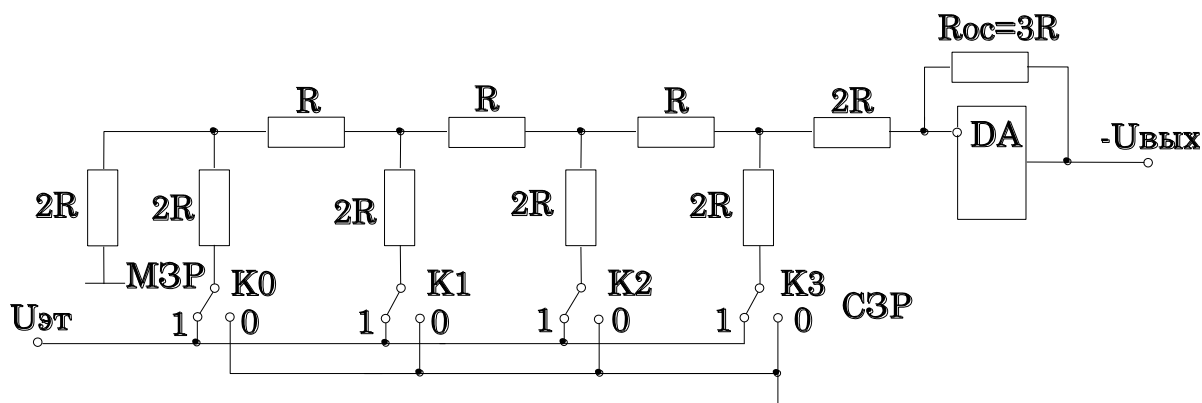
```

graph TD
    Input((Вхід)) -- "U_вых" --> K[K]
    K --> CA[ЦАП]
    CA --> LP[ЛП]
    LP --> P[П]
    P --> L[Л]
    L -- "Вихідний код" --> Output((Вихідний код))
    Output --> LP
    Start((Пуск)) --> LP
    Allow[Дозвіл роботи] --> LP

```

2 Цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП)

- 1). З двійково зваженою резистивною сіткою R-2R-4R-8R...;
- 2). С резистивною сіткою R-2R.



Переваги ЦАП: всього два номінали R.

Оскільки ланцюжок резисторів R-2R є лінійним ланцюгом, те її роботу можна проаналізувати методом суперпозиції, тобто внесок у вихідну напругу від кожного ключа розглядається незалежно від інших ланцюгів. Остаточно усі внески від

кожного розряду суммируються для одержання $U_{\text{вих}}$.

Лекція №12

Тема: Будова, принцип дії, цифрових вольтметрів

Мета: оволодіти знаннями про будову, принцип дії цифрових приладів

Методи: словесний, практичний, наочний

План

1 Загальні положення.

2 Будова, принцип дії, цифрових вольтметрів.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982

2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.

3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. – М.: Радио и связь, 1985.

4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987

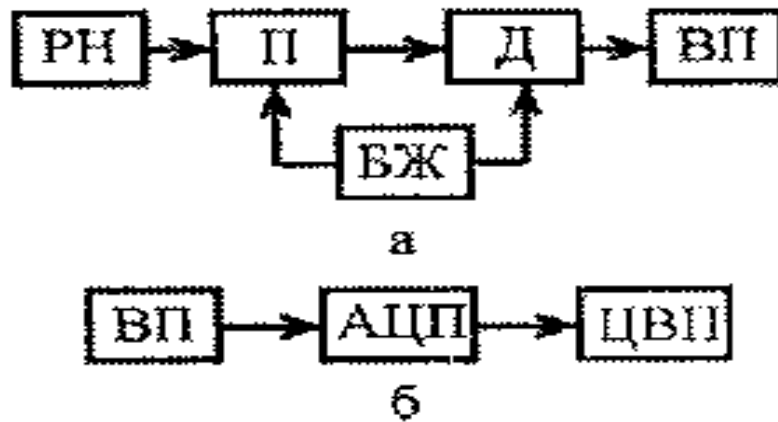
5 Атамальян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Загальні положення.

Найбільшу групу електронних приладів складають електронні вольтметри, призначені для вимірювання постійної, змінної й імпульсної напруги. За способом відліку розрізняють аналогові (стрілочні) і цифрові прилади такого типу. Основними перевагами електронних вольтметрів є висока чутливість, що регулюється в широких межах, великий вхідний опір і мале споживання електроенергії, широкий діапазон частот та ін.

Приблизні структурні схеми електронних вольтметрів наведені на рис. 1. У приладі аналогового типу (рис.1,а) основними елементами є розподільник напруги РН, підсилювач П, випрямляч-детектор Д (не обов'язковий), вимірювальний прилад



Мал. 1. Структурна схема

ВП стрілочного типу, блок живлення БЖ, У цифровому вольтметрі, як правило, присутні три головні функціональні вузли (рис.1,б): вхідний пристрій ВП (наприклад, розподільник напруги), аналого-цифровий перетворювач АЦП, цифровий відліковий пристрій ЦВП.

2 Будова, принцип дії, цифрових вольтметрів.

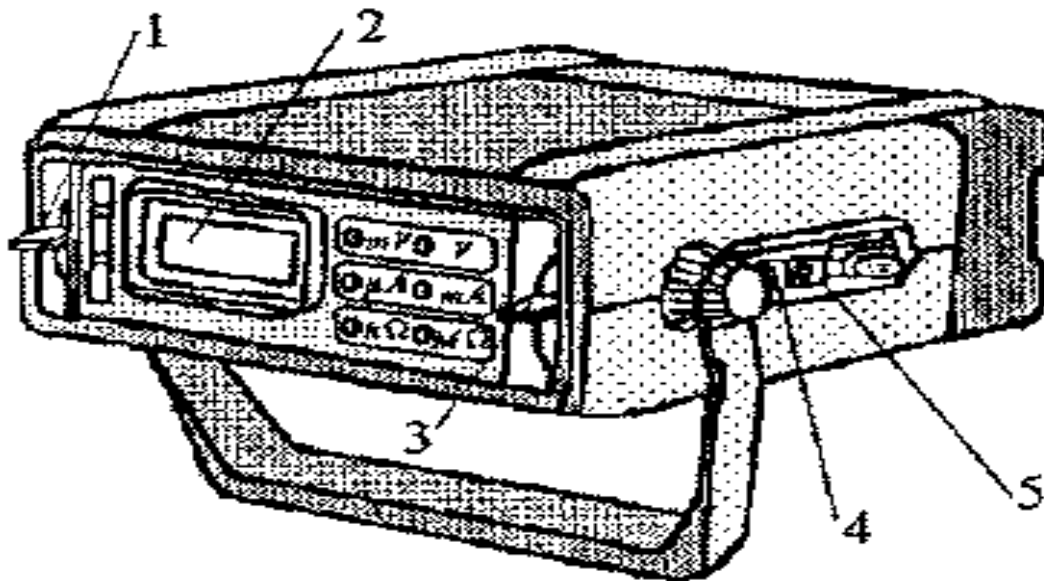
Цифрові вольтметри, порівняно з аналоговими, є складнішими за побудовою, що впливає на їхню надійність і вартість, крім того, вони видають інформацію в дискретній формі. Однак це компенсується вищими точністю і швидкодією, зручнішою формою реєстрації інформації. Цифрові електронні вольтметри дозволяють також автоматизувати процес вимірювання, можуть використовуватися в комплексі з ЕОМ для контролю і керування технологічними процесами, дають можливість, поряд з постійними і періодичними, вимірювати також імпульсні напруги.

Електронні прилади обох типів, укомплектовані вимірювальними шунтами або іншими перетворювачами, стають універсальними приладами, які можна також використовувати для вимірювання струмів і опорів.

Одним із прикладів цього є універсальний цифровий вольтметр В7-35. Зовнішній вигляд приладу подано на рис. 10.11, Прилад призначається для вимірювання напруг і струмів у колах постійного і змінного струмів і опору постійному струму з індикацією результатів вимірювання в цифровій формі на табло 2 і з автоматичним вибором границі вимірювань.

Вибір виду вимірювань проводять вручну перемикачами, розташованими на передній панелі вольтметра.

Перемикач роду роботи 1 має положення: - ~ вимірювання сигналів



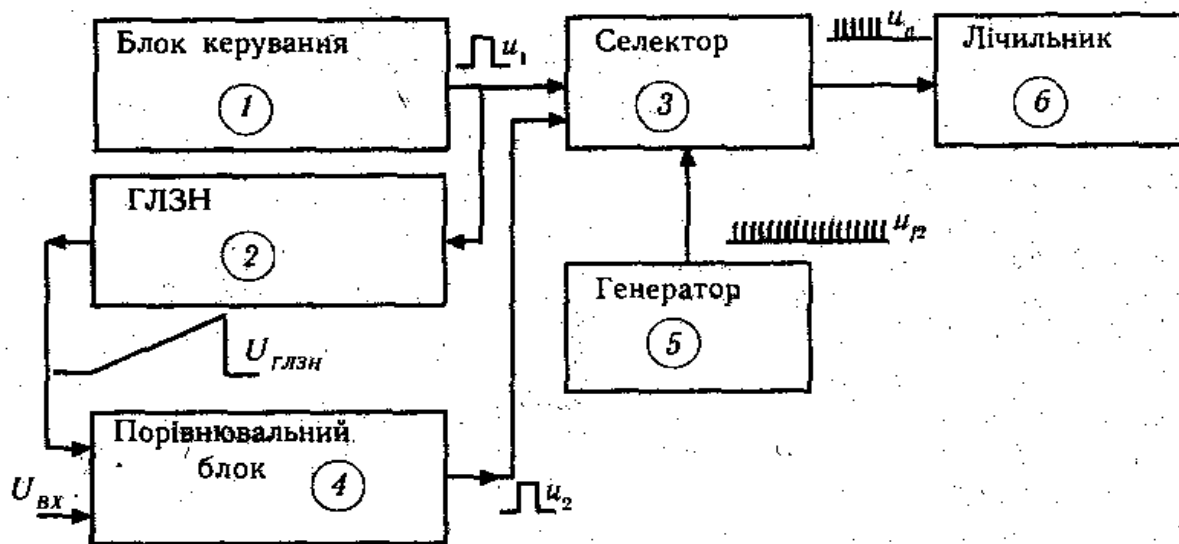
Мал. 2. Цифровий вольтметр

постійного струму; «~» — вимірювання сигналів змінного струму діапазоні частот від 20 Гц до 20 кГц; «ВЧ» — вимірювання напруг змінного струму в діапазоні частот від 20 кГц до 100 МГц.

Перемикач роду величин 3 має положення: «mV-V» — вимірювання напруг; « μ A-mA» — вимірювання струмів; «k Ω -M Ω » — вимірювання опорів.

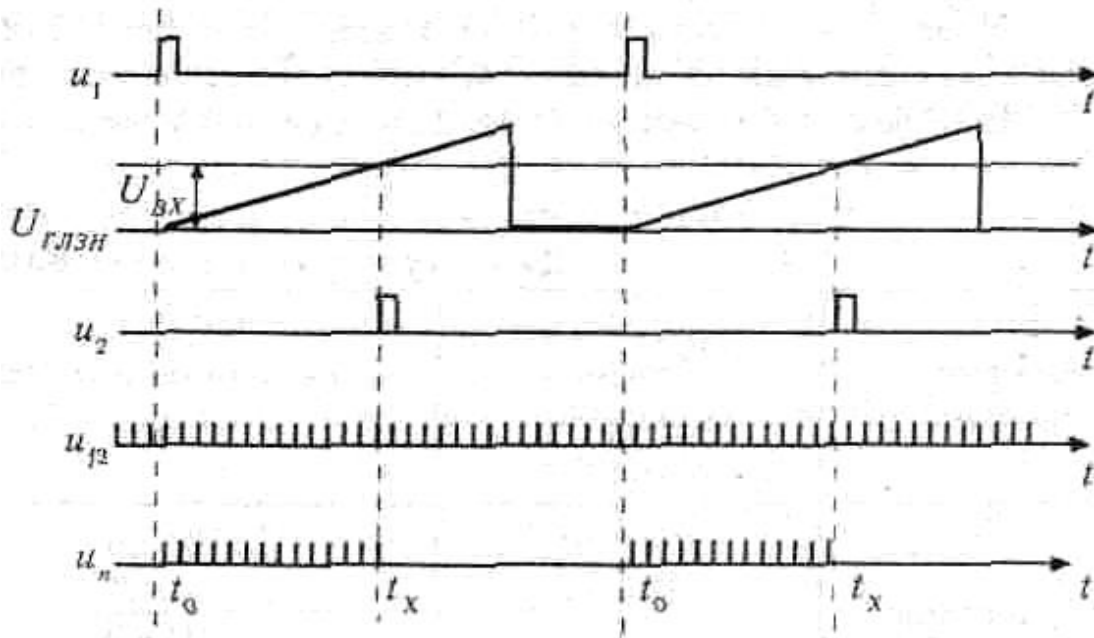
Для проведення вимірювань необхідно: увімкнути живлення вольтметра і дати йому прогрітися; установити перемикачі 1 і 3 необхідні положення; за допомогою з'єднаних проводів джерел вимірювального сигналу підключити до гнізд "ВХІД" 4 і «*» 5 в боковій стінці приладу, після чого зробити вимірювання за допомогою відліку показів на табло 2.

На рис. 3 показана структурна схема цифрового вольтметра, а на рис. 4 часові



Мал. 3 Структурна схема цифрового вольтметра
діаграми вихідних напруг блоків структурної системи.

Сумісну роботу блоків цифрового вольтметра синхронізує блок керування 1, на виходах якого генеруються з частотою f_1 імпульси напруги u_1 , які водночас запускають генератор лінійно зростаючої напруги (ГЛЗН) 2 і селектор 3. В момент $t_0 = 0$ отримання імпульсу y , на вході, ГЛЗН формує на своєму виході лінійно зростаючу напругу $u_{\text{ГЛЗН}} = St$, яка подається на вхід



Мал. 4 Часові діаграми

порівняльного блока 4. Одночасно селектор сполучає вихід генератора лічильних імпульсів 5 з входом лічильника імпульсів 6, який починає лічення Імпульсів генератора. Частота лічильних Імпульсів генератора — f_2 . Через деякий час t_x після поступлення імпульсу напруги u_1 напруга на виході ГЛЗН стає рівною вимірюваній напрузі $u_{\text{вх}}$. Порівнювальний блок 4 формує у цей момент імпульс напруги u_2 , на вході селектора 3, який припиняє зв'язок між генератором імпульсів 5 та їх лічильником 6. В момент, коли напруга

$$U_{\text{вх}} = u_{\text{ГЛЗН}} = t_x \cdot S,$$

S — крутизна переднього фронту імпульсів ГЛЗН. Кількість імпульсів генератора n , яка на цей момент часу поступила на вхід лічильника 6

$$n = t_x \cdot f_2 = f_2 \cdot U_{\text{вх}} / S,$$

пропорційна вимірюваній напрузі. Надалі кількість імпульсів n , накопичена лічильником, перетворюється спеціальним пристроєм у десяткове число, яке висвітлюється на цифровому табло.

Оскільки частота f_2 велика і її легко стабілізувати, а незмінність крутизни S забезпечується цифровим способом з великою точністю, похибка перетворення

вхідної напруги $U_{\text{вх}}$ у кількість імпульсів n , що прийшли до лічильника δ , може бути дуже малою (0,01--0,002) %. Чутливість такого вольтметра може бути збільшена у 10-1000 разів за допомогою вхідного підсилювача.

Цифрові вимірювальні прилади знаходять широке застосування у науково-дослідних лабораторіях, підприємствах, що займаються перевіркою та ремонтом приладів, на промислових підприємствах. Найбільш поширені цифрові вольтметри постійного та змінного струму з діапазоном вимірюваних напруг від 1 мкВ до 1000 В. Широко розповсюджені і комбіновані цифрові прилади, так звані мультиметри, які дозволяють вимірювати постійну та змінну напругу, постійний та змінний струм, частоту, інтервали часу, параметри R, L, C та інше.

Лекція №13

Тема: Вимірювання струму і напруги в колах постійного струму, в колах однофазного змінного струму промислової частоти, в колах трифазного змінного струму промислової частоти.

Мета: оволодіти знаннями про методи та способи вимірювання струму та напруги

Методи: словесний, практичний, наочний

План

- 1 Вимірювання струму і напруги в колах постійного струму
- 2 Вимірювання струму і напруги в колах однофазного змінного струму промислової частоти.
- 3 Вимірювання струму і напруги колах трифазного змінного струму промислової частоти.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

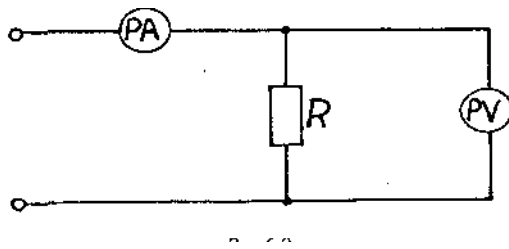
Література:

- 1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982
- 2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.
- 3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.
- 4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987
- 5 Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989
- 6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Вимірювання струму і напруги в колах постійного струму

Промисловість випускає різноманітні прилади для вимірювання струму, напруги, потужності, опору, ємності, частоти, коефіцієнта зсуву фаз, електричної енергії тощо.

Вимірювання струмів і напруг. Для вимірювання струму в колах постійного і змінного струму використовують амперметри, які вмикають послідовно з навантаженням (Мал.1). Для вимірювання відносно малих значень струмів використовують міліамперметри, мікроамперметри і гальванометри. Точність вимірювання струму амперметром тим більша, чим менше значення опору матиме його обмотка.



Мал. 1 Схеми вмикання приладів

Для вимірів амперметром струмів більших від тих, на які він розрахований, паралельно до нього вмикають опір, який називають шунтом. Опір шунта менше опору обмотки амперметра, тому по обмотці буде протікати менший струм. Шунт треба розраховувати для кожного конкретного випадку.

Струми і напруги, що приходить вимірювати, досить різні по модулі, формі кривої миттєвих значень і частоті. Різними можуть бути вимоги і до точності вимірів. Різноманітні й умови, у яких виробляються виміри. Тому різноманітні прилади і методи вимірів струмів і напруг.

Постійні струми від 1 мкА до 6 кА і напруги від 1 мВ до 1,5 кВ звичайно вимірюють приладами магнітоелектричної системи, що представляють собою вимірювальні механізми тієї ж системи із шунтом або додатковим опором. Амперметри і вольтметри зазначеної системи виготовляються класів точності 0,1 - 2,5. Велика точність вимірів постійних струмів і напруги (погрішність до 0,01%) досягається застосуванням компенсаційних методів і цифрових вольтметрів.

Постійні струми і напруги менше 1 мкА або 1 мВ вимірюються магнітоелектричними гальванометрами або гальванометричними підсилювачами, а більше 6 кА або 1,5 кВ - із застосуванням трансформаторів постійного струму. Великі постійні струми порядку кілоАмпер можна вимірювати також вимірювальними пристроями з датчиками Холу. У високовольтних колах постійного струму для виміру напруги застосовуються також вольтметри електростатичної системи з номінальною напругою до 100 кВ.

У низьковольтних (до 500 В) колах змінного струму ; промислової частоти (50 Гц) вимір невеликих і середніх струмів (10^{-2} - $2 \cdot 10^{-2}$ А) і напруги (10^{-2} - $5 \cdot 10^2$ В)

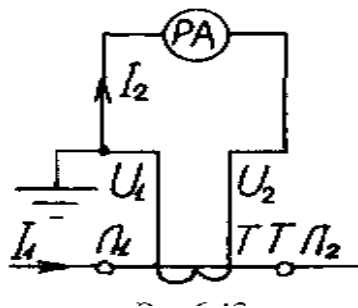
виробляється приладами безпосередньої оцінки різних систем, розглянутих у гл. 3. Вибір системи визначається граничним значенням вимірюваної величини, точністю, умовами вимірів і властивостями системи.

При вимірах низкою і середньої точності застосовують прилади електромагнітної системи відповідно класів 1,5-2,5 або 0,2-0,5. Велику точність забезпечують прилади електродинамічної системи класів 0,1 і 0,2.

Якщо при вимірі напруги енергія споживання вольтметра повинна бути мала, то застосовуються електростатичні або випрямні вольтметри.

Середні і великі перемінні струми вимірюють амперметрами, що включаються через вимірювальні трансформатори струму, а малі перемінні струми - термоелектричними, випрямними, електронними і вібраційними гальванометрами. Компаратор - це прилад порівняння, заснований на застосуванні вимірювального перетворювача, на який однаково впливають перемінні і постійні електричні величини. Установивши рівність вимірюваної змінної величини з постійної, останню, а отже, і першу можна визначити з високою точністю, наприклад, за допомогою компенсатора постійного струму.

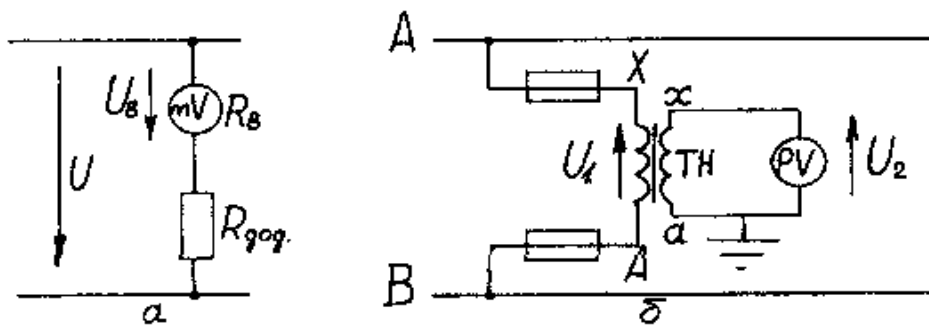
2 Вимірювання струму і напруги в колах однофазного змінного струму промислової частоти.



Мал. 2 Вимірювання великих струмів

Для вимірювання відносно великих струмів використовують трансформатори струму (рис. 2). На їх основі створені так звані вимірювальні кліщі, за допомогою яких можна вимірювати струм від 20 до 1000 А без розриву проводів.

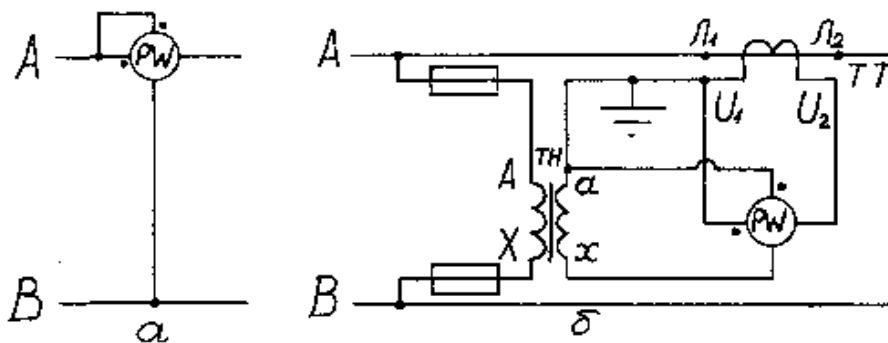
Для вимірювання напруги використовують вольтметри, які вмикають паралельно навантаженню (див. рис. 3). Точність виміру напруги тим більша, чим більше значення матиме опір обмотки вольтметра. В багатьох випадках обмотку вольтметрів розраховують на кілька вольт, а послідовно з нею вмикають внутрішній додатковий опір, який монтують безпосередньо у корпусі приладу.



Мал. 3 . Вимірювання великих напруг

Точними можна вважати електронні вольтметри, які мають також високу чутливість, дуже мале споживання електроенергії, але такі прилади дуже складні, мають відносно велику вартість і потребують допоміжного джерела живлення. Щоб збільшити межі виміру вольтметрів застосовують зовнішні додаткові резистори або вимірювальні трансформатори (рис.4). Додаткові резистори вмикають послідовно з обмоткою вольтметра.

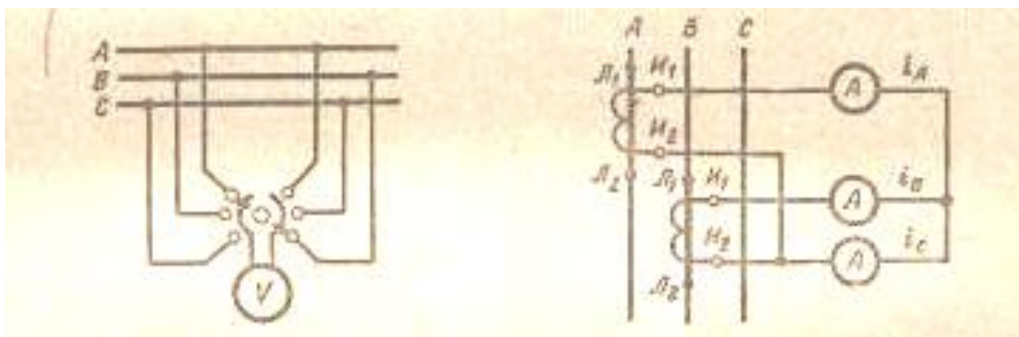
Ціна поділки амперметрів і вольтметрів розраховується діленням струму або напруги, на які вони розраховані, на кількість поділок шкали.



Мал. 4 Схеми вмикання ватметрів

3 Вимірювання струму і напруги в колах трифазного змінного струму промислової частоти.

У трифазних ланцюгах у більшості випадків обмежуються виміром одного з лінійних струмів і одного з лінійних напруг, причому виміри виробляються так само, як і в однофазних ланцюгах. У ланцюгах низької напруги для виміру трьох лінійних напруг іноді застосовується один вольтметр із перемикачем (мал. 5).

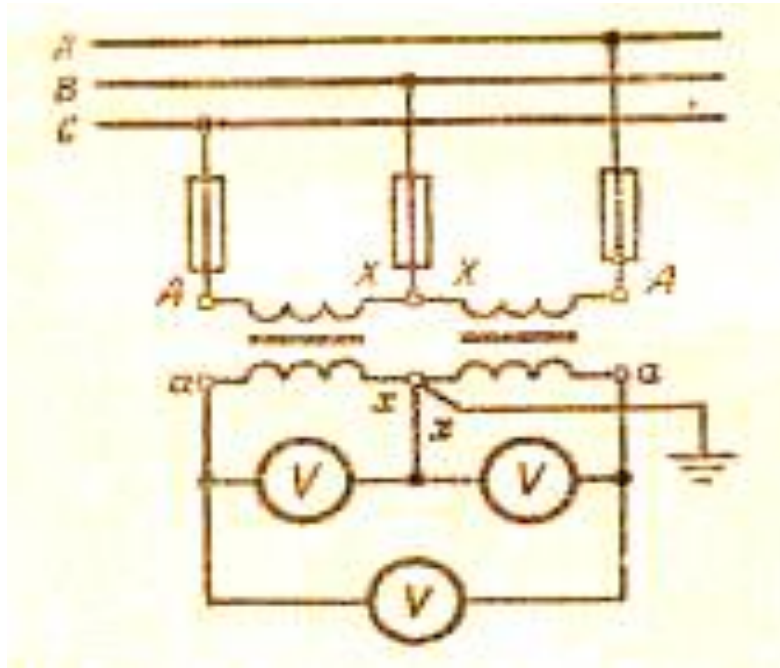


Мал 5 Схема вмикання вольтметра. Мал 6 Схема вмикання амперметра

Для виміру трьох лінійних струмів у трифазній трьохпровідній мережі з застосуванням трансформаторів струму досить мати два трансформатори (мал. 6). Це випливає з властивості суми лінійних $i_a + i_b + i_c = 0$

Таким чином, сума двох лінійних струмів дорівнює третьому лінійному струмові, узятому зі зворотним знаком,

Для виміру трьох лінійних напруг трифазної трьохпровідної мережі з застосуванням трансформаторів.



Мал. 7 Вимірювання напруги трьома вольтметрами

напруги досить двох трансформаторів, що безпосередньо впливає з властивостей суми лінійних напруги: $u_{AB} + u_{BC} + u_{CA} = 0$

Таким чином, сума двох лінійних напруги дорівнює третій лінійній напрузі, узятому зі зворотним знаком.

Для оцінки змінних струмів і напруги використовують поняття:

1) діючого (ефективного) значення, обумовленого виразом.

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad \text{или} \quad U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt};$$

2) амплітудного або максимального значення I_m і U_m - найбільшими з миттєвих значень за період;

3) середнього значення за полуперіод

$$I_{\text{ср}} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} i \, dt \text{ и } U_{\text{ср}} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u \, dt.$$

При величині, що синусоїдально змінюється, коефіцієнти форми кривій $K_f=1,1$ і амплітуди $K_a=1,41$ мають визначені постійні значення, тому, виміривши одне з трьох зазначених вище значень вимірюваної величини, легко визначити інші.

При несинусоїдальній кривій вимірюваної величини вольтметри (амперметри) різних систем поведуться по-різному; 1) у приладів електромагнітної, електродинамічної, електростатичної, термоелектричної і частково електронної систем кут повороту визначається діючим значенням вимірюваної величини; 2) у приладів випрямної і частково електронної систем кут повороту визначається середнім значенням вимірюваної величини; 3) в амплітудних вольтметрів електронної системи - максимальним значенням вимірюваної величини,

На шкалах усіх вольтметрів і амперметрів наносяться діючі значення вимірюваної величини при синусоїдальній формі кривої.

Таким чином, при несинусоїдальних величинах у залежності від того, яке значення необхідно визначити, варто вибирати прилад відповідної групи, тобто системи, інакше отримані результати можуть виявитися неправильними.

Лекція № 14

Тема: Прилади і методи вимірювання активного опору.

Мета: оволодіти знаннями про методи та способи вимірювання опору

Методи: словесний, практичний, наочний

План

1 Вимірювання опорів методом порівняння

2 Особливості вимірювання малих і великих опорів

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982

2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.

3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.

4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987

5Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Вимірювання опорів методом порівняння

Для вимірювання опору використовуються різні засоби вимірювання: електромеханічні, електронні та цифрові амперметри з попереднім перетворенням опору в напругу, струм, часовий інтервал та інші фізичні величини; одинарні або подвійні мости. Широко застосовуються також опосередковані методи вимірювання.

Вимірювання опорів за допомогою магнітоелектричного вимірювального механізму здійснюється з попереднім вимірювальним перетворенням опору або в струм (рис. 1, а) або в напругу (рис. 1, б). У першому випадку вихідна величина I_x вимірювального перетворювача з вхідною величиною R_x знаходиться у такій залежності (за законом Ома):

$$I_x = E/(R_x + R_A), \quad (1)$$

де R_A — опір магнітоелектричного амперметра. У другому випадку — залежність між вихідною величиною U_x і вхідною R_x описується формулою

$$U_x = \frac{E/R_{\text{дод}}}{1/R_x + 1/R_V + 1/R_{\text{дод}}}, \quad (2)$$

де $R_{\text{дод}}$ — опір додаткового резистора; R_V — опір магнітоелектричного вольтметра.

Аналіз формул (1) і (2) показує, що залежність між R_x та I_x , а також між R_x та U_x нелінійна, тому шкала цих приладів, проградуєованих в одиницях опору, нерівномірна. Крім того, точність вимірювання опору залежить від стабільності електрорушійної сили джерела і від стабільності опорів R_A , $R_{\text{дод}}$, R_V .

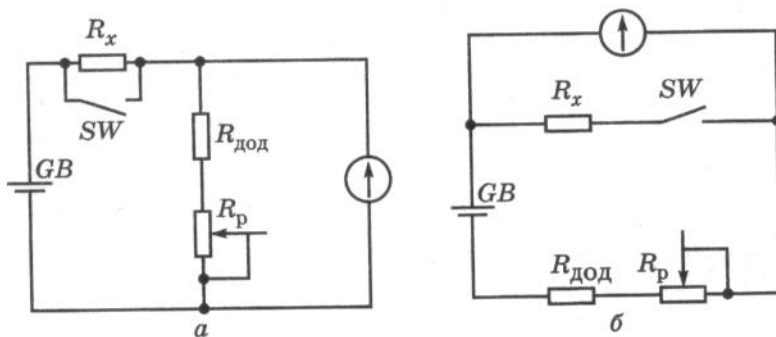


Рис. 1 Схеми омметрів

Для усунення впливу нестабільності електрорушійної сили на результат вимірювання застосовують логометричний магнітоелектричний механізм, у якому, на відміну від звичайного магнітоелектричного механізму, момент протидії

створюється не пружним елементом, а за допомогою додаткової рамки, яка жорстко скріплена з основною рамкою і створює момент протидії (рис. 3). Моменти, створені рамками, протилежно спрямовані, тому рівновага настає за умови рівності моментів. Кут відхилення рухомої частини залежить від співвідношення струмів у рамках. Якщо послідовно одній обмотці

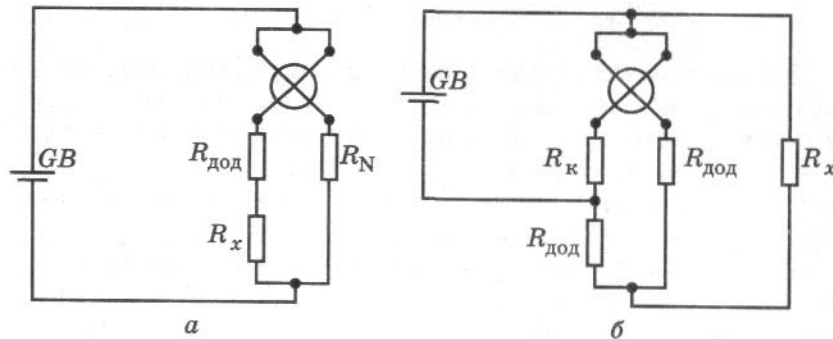


Рис. 2 Схеми логометрів

увімкнути відомий опір R_N , а послідовно другій — вимірюваний опір R_x то кут відхилення рухомої частини залежить від співвідношення опорів: R_x/R_N . Схему, зображену на рисунку 3, а, доцільно застосовувати для вимірювання малих опорів, а на рисунку 3, б - великих опорів.

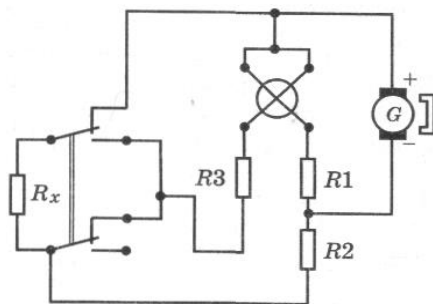


Рис. 4 Схема з використанням генератора

Оскільки результат вимірювання не залежить від напруги живлення, то живлення омметрів з логометричним вимірювальним механізмом здійснюється від генератора з ручним приводом, який входить до складу приладу (рис.4).

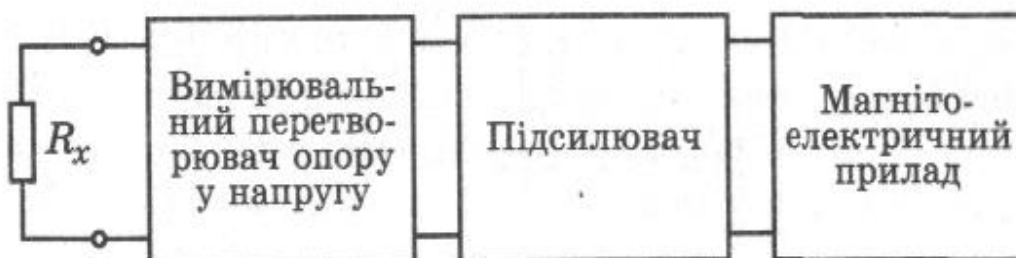


Рис. 5 Структурна схема приладу

Такі прилади застосовуються для вимірювання великих опорів, насамперед опору ізоляції, і називаються мегомметрами.

Омметри та мегомметри на основі магнітоелектричного механізму мають невисоку точність і невеликий діапазон вимірювання. Для розширення діапазону вимірювання і підвищення точності застосовують електронні омметри, в яких застосовують попередній вимірювальний перетворювач опору у напругу і подальше підсилення цієї напруги (рис.5). До складу електронного вольтметра входять ті ж самі пристрої (за винятком перетворювача опору в напругу), що і до складу електронного вольтметра, тому доцільно виготовляти комбіновані прилади, які придатні до вимірювання напруги, струмів, опорів та інших фізичних величин.

Якщо до складу електронного омметра ввести аналого-цифровий перетворювач, то матимемо цифровий омметр, структуру якого наведено на рисунку 6. Цифровий омметр має кращі метрологічні характеристики, ніж аналоговий.

2 Особливості вимірювання малих і великих опорів

При вимірі малих опорів, наприклад обмоток електричних машин і трансформаторів або коротких проводів, можливий вплив опорів сполучних проводів і перехідних опорів контактів на результат виміру.

Перехідним опором, або опором на контактах, називають опір, що зустрічає електричний струм при переході з одного провідника на інший. Перехідний опір залежить від поверхні зіткнення, від її характеру і стану: гладкої або шорсткуватої, чистої або забруднена, нарешті, від щільності зіткнення і сили натискання. Для оцінки впливу сполучних проводів і контактів на погрішність виміру малих опорів використовують схеми мал. 6 і 7. У першій схемі позначимо показання вольтметра U'_v і амперметра I_A . При цьому шуканий опір

$$r'_x = U'_v / I_A = r_x + 2r_{np} + 2r_k,$$

яке являє собою суму дійсного значення - шуканого опору r_x , опору двох сполучних проводів $2r_{np}$ і перехідний опори двох контактів $2r_k$.

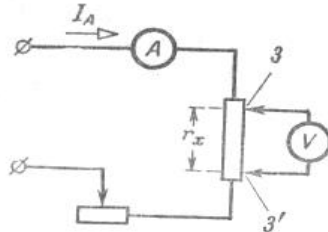
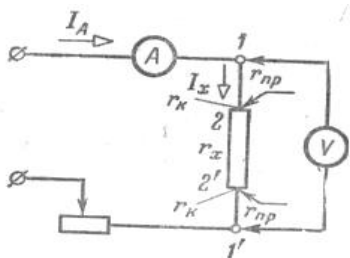


Рис.6. Неправильна схема вмикання для виміру малих опорів амперметром і вольтметром
Рис.7. Правильная схема соединения для измерения малых сопротивлений амперметром и вольтметром.

Зменшення шуканого опору викликає збільшення відносної погрішності

виміру, обумовленої опором сполучних проводів і опором контактів.

Приєднавши вольтметр до крапок 2 і 2' (мал. 6), тобто до токових затисків, яким вимірюваний опір включений у ланцюг струму, одержимо інше значення шуканого опору

$$r'_x = U''_V / I_A = r_x + 2r_k,$$

яке менше r'_x на величину опору сполучних проводів.

Приєднавши вольтметр до точок 3, 3' (мал. 7), тобто до потенційних затисків, розташованих між токовими затисками, знайдемо третє значення шуканого опору

$$r''_x = U'''_V / I_A = r_x,$$

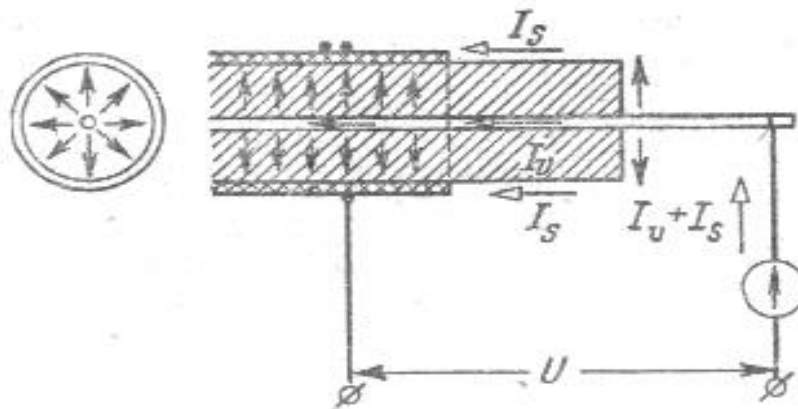


Рис.8 Поверхневий і об'ємний струм у кабелі

яке дорівнює дійсному значенню шуканого опору, тому що вольтметр вимірює дійсне значення напруги на шуканому опорі між його потенційними затисками.

Застосування двох пар затисків, токовому і потенційних при вимірі малих опорів, є основним прийомом для усунення впливу сполучних проводів і перехідних опорів на результат виміру.

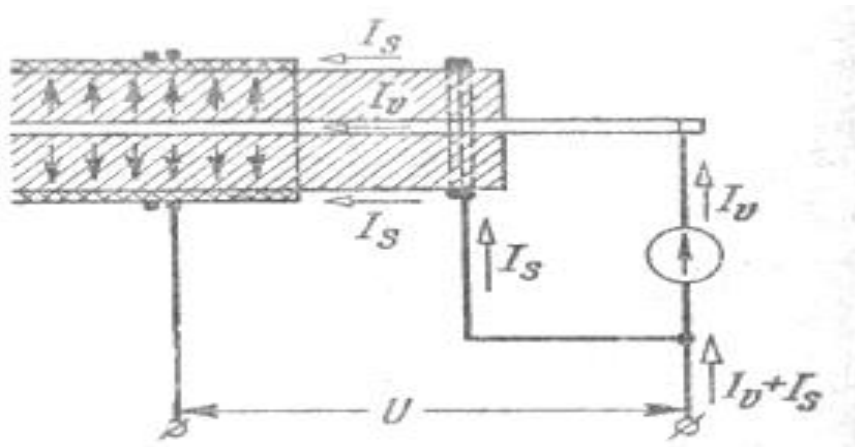


Рис.9 Поверхневий і об'ємний струм у кабелі

При вимірі опорів провідників з малою електричною провідністю, що ізолюють матеріалів і виробів з них необхідно вважатися з факторами, що впливають на значення їхнього опору. Так, при зміні температури електрокартона від 20 до 40°C електрична провідність його змінюється в 13 разів. При зміні вологості повітря від 10 до 60% поверхневий електричний опір порцеляни змінюється в 30 разів. Крім температури і вологості, на значення опору впливають рід струму і випробувана напруга, тривалість дії його і т.п..

При вимірі великих опорів необхідно враховувати наявність об'ємних і поверхневих електричних опорів. Наприклад, при вимірі опору ізоляції кабелю гальванометром (мал. 6) він може показати: а) об'ємний струм I_v , що йде від жили до оболонки кабелю через обсяг ізоляції його; б) поверхневий струм I_s , що йде від жили до його оболонки по поверхні ізолюючого шару.

Для усунення впливу поверхневої провідності при вимірі об'ємного електричного опору на ізолюючий шар накладають екран - охоронний виток дроту, що з'єднують, як зазначено на мал. 4. При цьому струм I_s піде крім гальванометра.

На мал. 9 дана схема для визначення об'ємного питомого електричного опору матеріалу - пластини А. Під дією напруги U , прикладеного до електродів Б-Б, через гальванометр проходить струм обумовлений об'ємним опором пластини А. Кільце В є екраном.

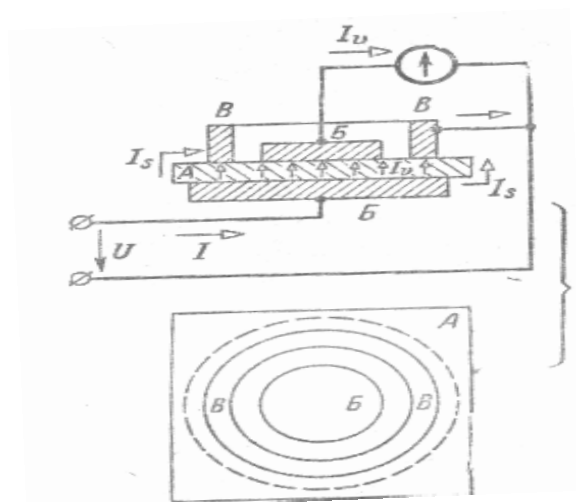


Рис. 10. Вимір об'ємного опору твердого діелектрика.

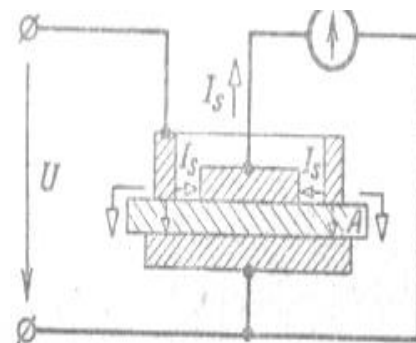


Рис. 11. Вимір поверхневого опору твердого діелектрика.

Схема для визначення поверхневого питомого електричного опору матеріалу А дана на мал. 6.

При вимірі великих опорів необхідно перевіряти опір ізоляції самої вимірювальної установки, тому що інакше через гальванометр може проходити струм, обумовлений опором цієї ізоляції.

Лекція №15

Тема: Вимірювання опору ізоляції пристроїв.

Мета: оволодіти знаннями про методи та способи вимірювання опору

Методи: словесний, практичний, наочний

План

- 1 Вимірювання опору двох провідної лінії
- 2 Вимірювання опору трьохпровідної лінії
- 3 Вимірювання опору лінії під напругою

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

- 1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982
- 2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.
- 3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. – М.: Радио и связь, 1985.
- 4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987
- 5 Атамальян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989
- 6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Вимірювання опору двох провідної лінії

Кожну електричну мережу можна розглядати послідовно з'єднаних ділянок, що складається з ряду, одиничної довжини, а опір ізоляції - состоящим з ряду паралельно з'єднаних між собою опорів ізоляції одиничних ділянок (мал. 6-29). Таким чином, електричну мережу можна замінити еквівалентною схемою, у якій між проводами і між проводами і землею включені еквівалентні опори.

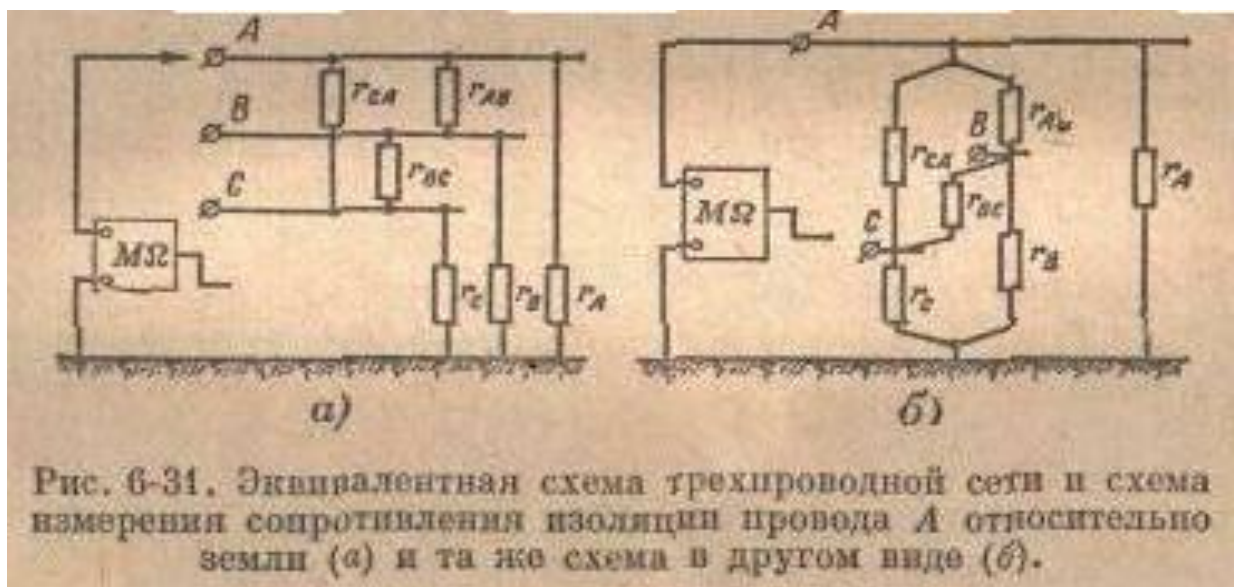
Ізоляція різних електричних установок легко піддається зміні й ушкодженню; тому за станом ізоляції установки, за опором ізоляції необхідно стежити протягом усього часу експлуатації.

Відповідно до Правил пристрою електроустановок (ПУЭ) потрібно: 1) випробувати опір ізоляції освітлювальних і силових електропроводок мегомметром з напругою 1 000 В; 2) найменший опір ізоляції повинен бути не нижче 0,5 Мом; 3) опір ізоляції при знятих плавких вставках вимірювати на ділянці між суміжними запобіжниками або за останнім запобіжником між будь-яким проводом і землею, а також між двома будь-якими проводами.



Для виміру опору ізоляції установки, що не знаходиться під робочою напругою, приймачі енергії від'єднуються (на мал. 6-30 вони не показані). Для виміру опору Γ_A (ізоляції проводу А щодо землі) один затиск мегомметра приєднується до випробуваного проводу, а інший його затиск - до землі.

При цьому в результаті виміру буде знайдений еквівалентний опір розгалуження двох галузей: однієї



Γ_A и второй $\Gamma_B + \Gamma_{AB}$. Это найденное сопротивление Γ_{3A} будет или меньше сопротивления Γ_A или равно ему, если $\Gamma_B + \Gamma_{AB} = \infty$. В общем случае $\Gamma_{3A} \leq \Gamma_A$.

Измеряя аналогично сопротивление Γ_B между проводом В и землей и Γ_{AB} между проводами А и В, определим наименьшие значения сопротивлений Γ_B и Γ_{AB} .

2 Вимірювання опору трьохпровідної лінії

Для виміру опору ізоляції проводу А трьохпровідної установки щодо землі один затиск мегомметра приєднують до проводу А, а другий - до землі (мал. 6-31). У цьому випадку буде обмірюваний еквівалентний опір Γ_{3A} двох рівнобіжних галузей, однієї Γ_A і другий, що складається з п'яти опорів. Як було показано, $\Gamma_{3A} \leq \Gamma_A$.

Вимірюючи аналогічно опору між проводом В и землею, між проводом С и

землею і між проводами АВ, ВР і СА, можна визначити найменші значення опорів $\Gamma_B, \Gamma_C, \Gamma_{AB}, \Gamma_{BC}$ і Γ_{CA} .

Якщо приймачі енергії приєднані до електричної мережі, то три проводи установки будуть з'єднані між собою малими (у порівнянні з опором

Если приемники энергии присоединены к электрической сети, то три провода установки будут соединены между собой малыми (по сравнению с сопротивлением



ізоляції) опорами приймачів, і, отже, опору ізоляції проводів щодо землі Γ_A, Γ_B і Γ_C (мал. 6-32) з'єднані між собою паралельно. У цьому випадку має, зміст робити вимір опору ізоляції між одним із проводів і землею, причому результат виміру наступний:

$$\Gamma_{из} = \Gamma_A \Gamma_B \Gamma_C / (\Gamma_A \Gamma_B + \Gamma_B \Gamma_C + \Gamma_C \Gamma_A).$$

Если при включенных приемниках энергии значение $\Gamma_{из}$ задовольняє вимозі ПУЭ, то тим більше вона задовольнить цим вимогам при отсоединенных приймачах енергії.

Для виміру опору ізоляції установки, що знаходиться під робочою напругою U , вимірюють вольтметром напруга U , напруга U_A між проводом А и землею і напруга U_B між проводом В и землею (мал. 6-33).

Уключивши вольтметр між проводом А и землею (положення перемикача А) і позначивши r_B - опір вольтметра, можна написати вираження струму, що йде через r_B - опір ізоляції проводу В:

$$I_1 = \frac{U - U_A}{r_B} = \frac{U}{r_B + \frac{r_A r_C}{r_A + r_C}},$$

Включивши вольтметр между проводом В и землею (положение переключателя В), можно написать выражение струму, Що протікає через Γ_A — опір ізоляції проводу А :

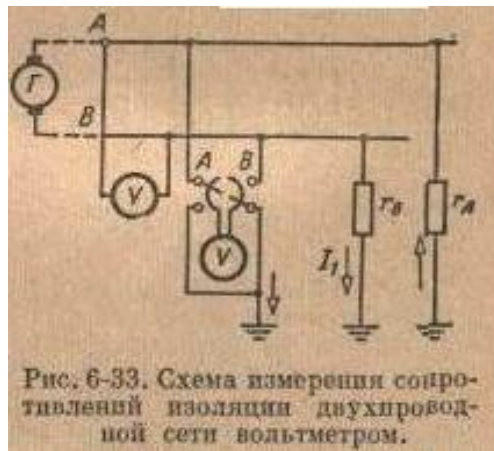
$$I_2 = \frac{U - U_B}{r_A} = \frac{U}{r_A + \frac{r_B r_V}{r_B + r_V}}$$

$$r_A = r_V (U - U_A - U_B) / U_B$$

$$r_B = r_V (U - U_A - U_B) / U_A$$

Якщо опір $r_A \gg r_V$ то при перемиканні, встановленому в положенні А (рис. 6-33), вольтметр буде з'єднано послідовно з опором r_B :

$$r_B = r_V (U / U_A - 1).$$



Аналогічно, якщо $r_B \gg r_V$, то при перемикачі і положенні В, вольтметр буде з'єднано послідовно з опором r_A

$$r_A = r_V (U / U_B - 1).$$

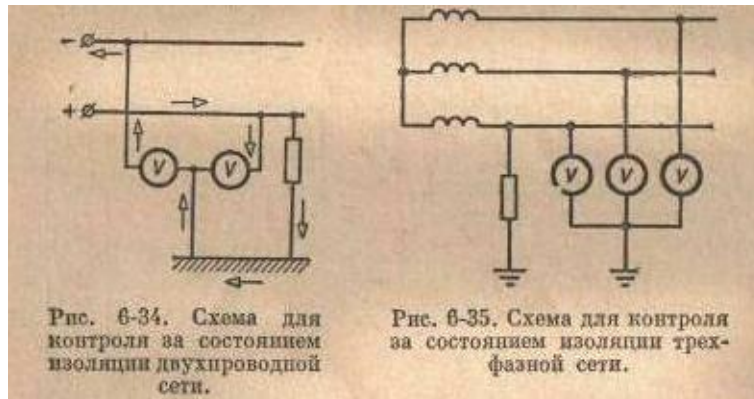
Таким чином, показання вольтметра, включеного між проводом і землею, при постійній напрузі мережі залежать тільки від опору ізоляції другого проводу. Тому на шкалі вольтметра можна нанести ділення, що дають значення опору.

3 Вимірювання опору лінії під напругою

Контроль за станом ізоляції в двопровідних мережах можна здійснити за допомогою вольтметрів (рис. 6-34). При нормальному стані ізоляції кожен з вольтметрів покаже напругу, рівну половині напруги мережі.

Зменшення опору ізоляції одного з проводів викличе зменшення показань вольтметра, підключеного до цього проводу, і збільшення показань другого вольтметра внаслідок зменшення еквівалентного опору між зажимами першого вольтметра і розподілу напруги мережі пропорційно со-протівленням.

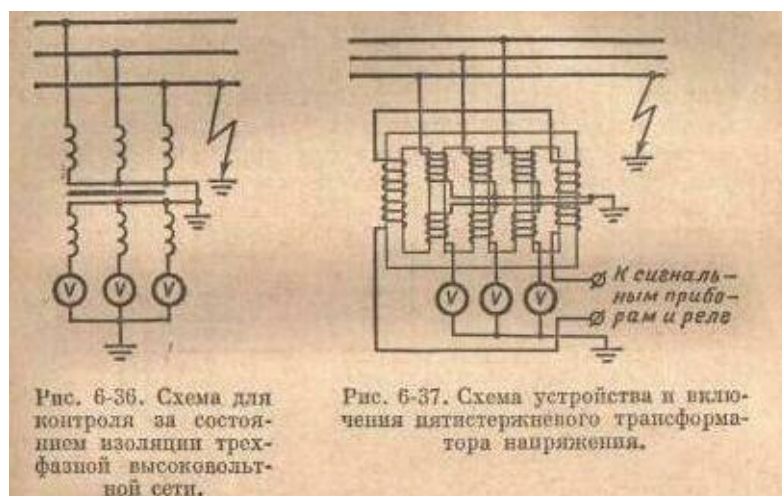
Для контролю за ізоляцією в трифазних мережах при-меняються три вольтметра (рис. 6-35). При справній ізоляції всіх трьох проводів



вольтметри показують однакові фазні напруги. При зменшенні опору ізоляції одного з проводів, наприклад першого, показання першого вольтметра зменшується, так як зменшиться різниця потенціалів між першим проводом і землею. У той же час показання інших вольтметров зростуть. При зменшенні опору ізоляції першого проводу до нуля показання першого вольтметра дорівнюватиме нулю, а другий і третій вольтметри покажуть лінійні напруги.

У трифазних колах з незаземленої нейтраллю при напрузі вище 1 кВ для контролю за ізоляцією використовуються вольтметри з трьома однофазними трансформаторами напруги (рис. 6-36) або з одним пятистержневим трансформатором (рис. 6-37). Тристержневі трансформатори для цієї мети не придатні, тому що при заземленні однієї з фаз первинна обмотка цієї фази трансформатора буде замкнута накоротко, а дві інші будуть перебувати під лінійними напругами, внаслідок чого створюються несприятливі умови для роботи трансформатора.

У пятистержневому трансформаторі при заземленні однієї з фаз магнітні потоки двох інших фаз трансформатора замкнуться через додаткові стержні трансформатора, не викликаючи неприпустимого нагрівання трансформатора. До обмоткам, накладеним на додаткові стрижні, приєднуються реле і сигнальні прилади, що приходять в дію бреші заземленні однієї з фаз установки.



Лекція №16

Тема: Вимірювання індуктивності, взаємної індуктивності, ємності

Мета: оволодіти знаннями про методи та способи вимірювання індуктивності, взаємної індуктивності, ємності.

Методи: словесний, практичний, наочний

План

- 1 Метод амперметра-вольтметра
- 2 Метод ватметра
- 3 Вимірювання ємності на змінному струмові

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

- 1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982
- 2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.
- 3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.
- 4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987
- 5 Атамальян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989
- 6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Метод амперметра-вольтметра

Вимірюючи струм I в котушці і напругу U на її затисках, можна визначити її повний опір

$$z = U / I = \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2},$$

а потім і індуктивність

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{z^2 - r^2} \quad (1)$$

Активний опір котушки і кутова частота струму $\omega = 2\pi f$ повинні бути відомі, а форма кривої напруги повинна бути практично синусоїдальною.

Точність виміру цим методом низька через підсумовування погрешностей показань приладів.

2 Метод ватметра

Використовуючи показання приладів (мал. 2), визначаємо активний опір котушки $r = P/I^2$. Потім по (1) обчислюємо шукану індуктивність.

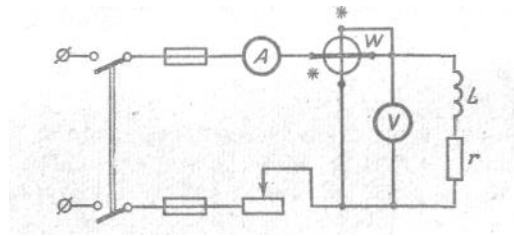


Рис. 2. Схема для измерения индуктивности амперметром, вольтметром и ваттметром.

Или, заменив в (1) величину r , получим:

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{z^2 - \left(\frac{P}{I^2}\right)^2} = \frac{1}{\omega I^2} \sqrt{U^2 I^2 - P^2} \quad (2)$$

Точность измерения этим методом также низкая.

3 Вимірювання ємності на змінному струмові

а) Метод амперметра и вольтметра

Зневажаючи втратами в діелектрику конденсатора, ємність його можна визначити методом амперметра и вольтметра.

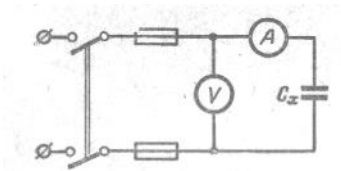
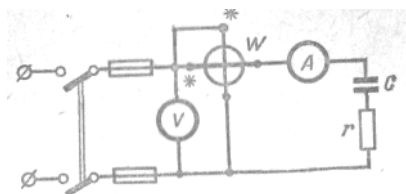


Рис. 3 Схема для измерения емкости амперметром и вольтметром

Вимірявши струм і напругу (мал. 3) і знаючи частоту змінного струму, ємність можна визначити по формулі

$$C = I / (\omega U) \quad (3)$$

При вимірі ємності цим методом напруга повинна бути синусоїдальним, тому що в протилежному випадку за рахунок вищих гармонік може відбутися значне перекручування кривої струму, що може привести до великих погрешностей виміру.



б) Метод ваттметра

Определив по показанию приборов (рис. 4) ток, напряжение и

Рис. 4 Схема для измерения емкости амперметром, вольтметром и ваттметром.

мощность, можно вычислить сначала активное сопротивление $r = P/I^2$, полное сопротивление цепи $z = U/I = \sqrt{r^2 + [1/(\omega C)]^2}$, а затем и искомую емкость:

$$C = 1/(\omega \sqrt{z^2 - r^2})$$

Мощность потерь в конденсаторе

$$P = UI \cos \varphi = I^2 \frac{1}{\omega C} \operatorname{tg} \sigma,$$

откуда тангенс угла потерь

$$\operatorname{tg} \sigma = \frac{P}{I^2 \frac{1}{\omega C}} = \frac{P \omega C}{I^2} \quad (4).$$

Точність вимірів при цьому методі така ж або трохи вище, ніж у попередніх.

Вимір ватметром потужності втрат у конденсаторах не завжди можливо внаслідок її малості. Тому частіше користуються мостовими методами вимірів ємності.

Лекція №17

Тема: Методи вимірювання потужності в одно і трьохфазних колах

Мета: оволодіти знаннями про методи та способи вимірювання потужності

Методи: словесний, практичний, наочний

План

- 1 Вимірювання в однофазних колах
- 2 Вимірювання в трифазних колах при несиметричному навантаженні
- 3 Вимірювання в трифазних колах при симетричному навантаженні

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

- 1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982
- 2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.
- 3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.
- 4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987

5 Атамальян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Вимірювання в однофазних колах

Активна потужність вимірюється прямими методами за допомогою електромеханічних, електронних, цифроаналогових та цифрових ватметрів, принцип дії яких розглянуто в попередньому розділі.

Донедавна активна потужність вимірювалася в основному, за невеликим винятком, електродинамічними ватметрами, клас точності яких сягав 0,1 у частотному діапазоні до 5 000 Гц.

Останнім часом різке зростання вимог до точності, діапазону вимірювання, частотного діапазону, з одного боку, і розвитком електронних і цифрових вимірювальних пристроїв на основі інтегральних мікросхем та мікропроцесорів, з другого боку, спричинили поступове витіснення електродинамічних ватметрів із галузей їх традиційного використання.

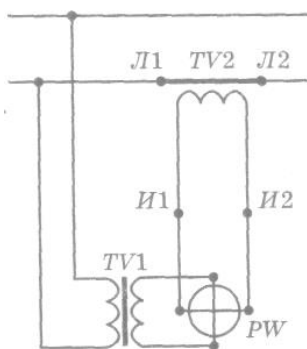


Рис. 1

Схема увімкнення ватметра. Ватметр з будь-якою структурою має два входи і, відповідно, дві пари затискачів (полюсів) — одна пара полюсів призначена для підведення напруги і друга пара полюсів — для підведення струму. Вхід напруги вмикається в електричне коло паралельно споживачеві, а вхід струму -- послідовно споживачеві. Зміна напрямку струму на будь-якому з двох входів призводить до зміни знака результату вимірювання. Тому один із затискачів (полюсів) кожної пари позначається спеціальним знаком («генераторні» затискачі) для правильного увімкнення з боку джерела живлення.

Похибка взаємодії. Послідовна і паралельна частина ватметра споживають енергію, що спотворює режим роботи електричного кола і призводить до методичної похибки, або похибки взаємодії.

Для розширення діапазону вимірювання ватметрів застосовують вимірювальні перетворювачі напруги (додаткові опори), вимірювальні трансформатори напруги та струму (шунти) і вимірювальні трансформатори струму.

На рисунку 1 наведено схему увімкнення ватметра з трансформаторами

напруги TV1 та струму TV2. Похибка вимірювання у такому разі складається з похибки ватметра та похибок вимірювальних трансформаторів напруги і струму.

2 Вимірювання в трифазних колах при несиметричному навантаженні

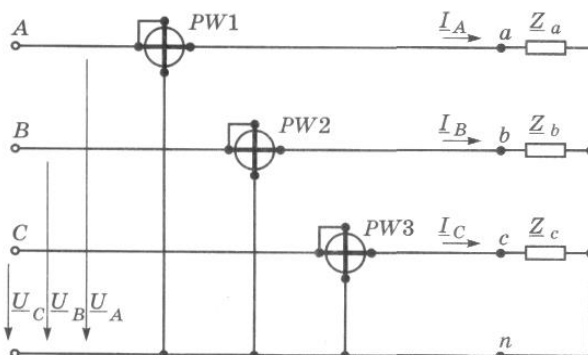


Рис. 2

Активну потужність трифазного несиметричного споживача, який живиться від чотирипровідної мережі, вимірюють трьома ватметрами, увімкненими за схемою, наведеною на рисунку 2. Кожен з ватметрів вимірює активну потужність однієї фази, тому активна потужність трифазного споживача дорівнює сумі показів ватметрів:

$$P = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C = P_{w1} + P_{w2} + P_{w3} \quad (1)$$

Якщо трифазний споживач живиться від трипровідної мережі (рис.3), то виконують штучну нульову точку, увімкнувши три додаткових резистора R1, R2, R3, які з'єднані разом з паралельними вітками ватметрів, що мають опори R_A, R_B, R_C, симетричною зіркою: $R_1 + R_A = R_2 + R_B = R_3 + R_C$. Активна потужність такого трифазного споживача дорівнює сумі показів ватметрів і обчислюється за формулою (1).

Активну потужність несиметричного трифазного споживача, з'єданого зіркою чи трикутником, який живиться від трипровідної мережі, можна визначити за показами двох ватметрів, увімкненими за схемами, наведеними на рисунку 4. Миттєва потужність трифазного несиметричного споживача дорівнює сумі миттєвих потужностей усіх трьох фаз:

$$p(t) = u_A(t)i_A(t) + u_B(t)i_B(t) + u_C(t)i_C(t) \quad (2)$$

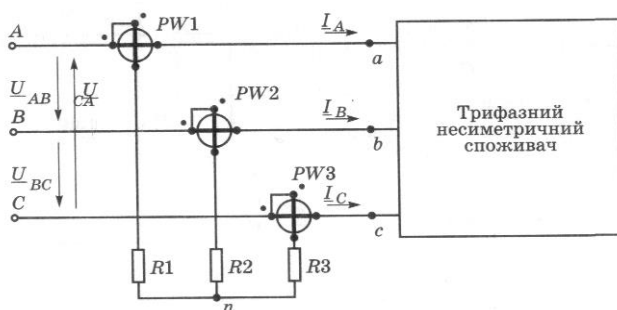
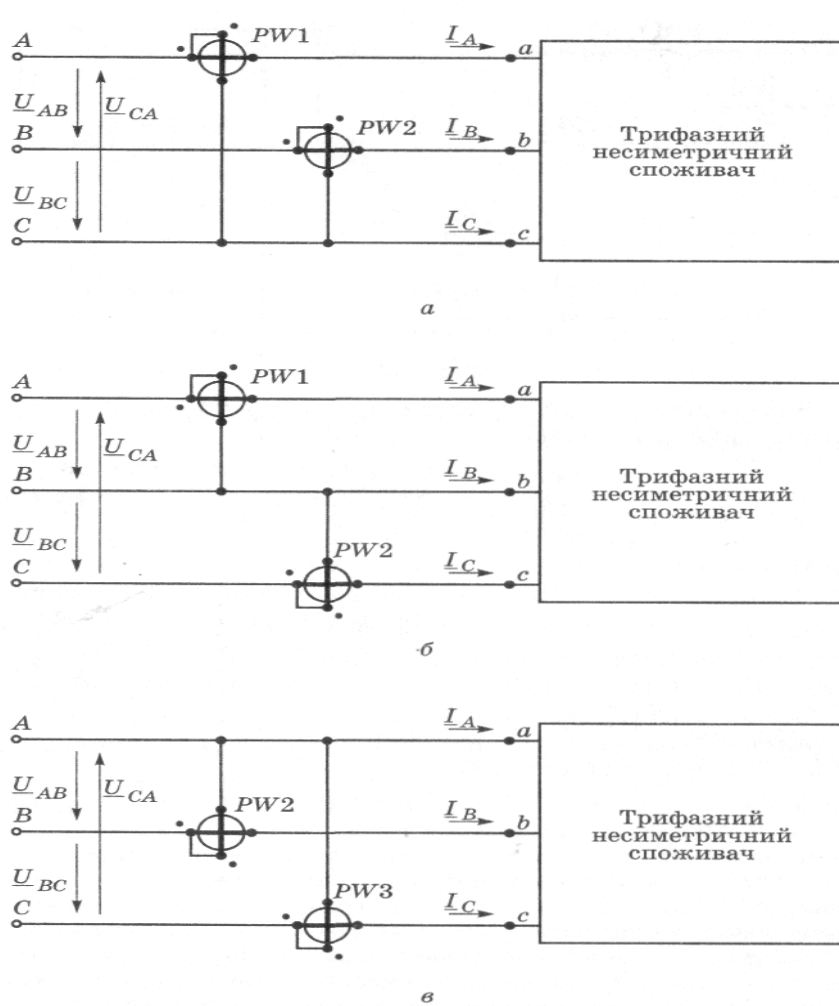


Рис. 3

Виразивши лінійні напруги $U_{AB}(t)$, $U_{BC}(t)$, $U_{CA}(t)$ через фазні $u_A(t)$, $u_B(t)$, $u_C(t)$:

$$\begin{aligned} U_{AB}(t) &= u_A(t) - u_B(t); \\ U_{BC}(t) &= u_B(t) - u_C(t), \\ U_{CA}(t) &= u_C(t) - u_A(t) \end{aligned} \quad (3)$$



і враховуючи перший закон Кірхгофа:

Рис. 4

$$i_A(t) + i_B(t) + i_C(t) = 0, \quad (4)$$

миттєву потужність можна подати у вигляді:

$$p(t) = U_{AC}(t)I_A(t) + u_{BC}(t)I_B(t) = U_{AB}(t)I_A(t) + U_{CB}(t)I_C(t) = U_{BA}(t)I_B(t) + U_{CA}(t)I_C(t) \quad (5)$$

Якщо перейти від миттєвих значень до середніх, то отримаємо вираз для активної потужності трифазного несиметричного споживача:

$$\begin{aligned} P &= U_{AB} I_A \cos \varphi_1 + U_{BC}(t) I_B \cos \varphi_2 = U_{AB} I_A \cos \varphi_1 + U_{CB} I_C \cos \varphi_3 = \\ &= U_{BA} I_B \cos \varphi_1 + U_{CA} I_C \cos \varphi_1 = P_{W1} + P_{W2} \end{aligned} \quad (6)$$

Отже, для визначення активної потужності трифазного несиметричного споживача необхідно алгебраїчно додати покази ватметрів. Слід зазначити, що знаки показів ватметрів можуть бути різними і залежатимуть від характеру навантаження.

3 Вимірювання в трифазних колах при симетричному навантаженні

Якщо трифазний споживач симетричний, тобто повні опори і співвідношення реактивного і активного опорів усіх трьох фаз однакові, то активну потужність такого споживача можна визначити за показами одного ватметра,

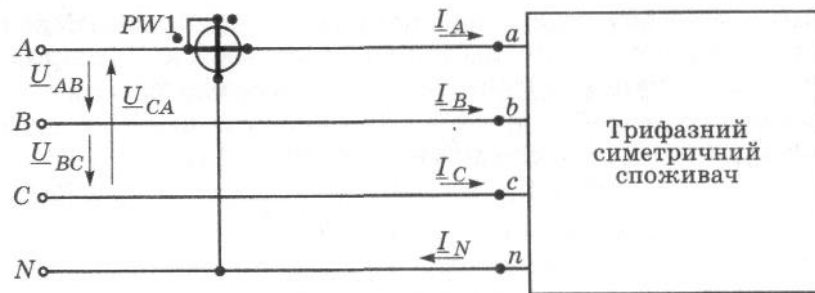


Рис. 5

увімкненого у будь-яку фазу трифазної чотирипровідної системи (рис.2). Покази ватметра, увімкненого за схемою, наведеною на рисунку, дорівнюють

$$P_w = U_A I_A \cos \varphi_A = U_\Phi I_\Phi \cos \varphi_\Phi \quad (1)$$

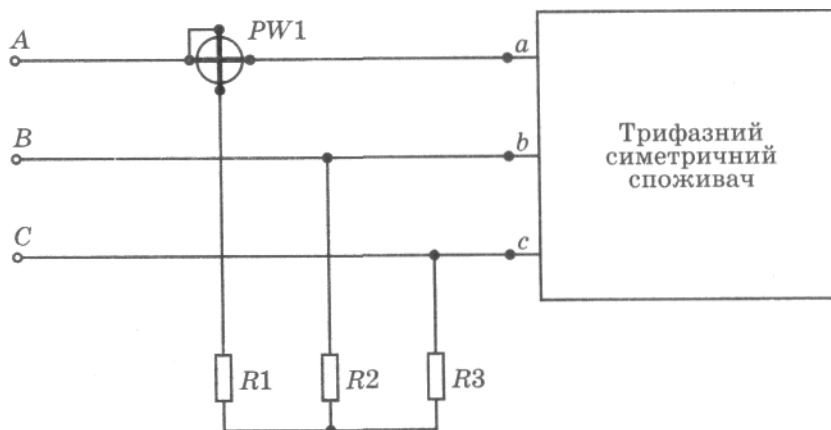
Потужність симетричного трифазного споживача, з'єднаного зіркою, що живиться від чотирипровідної мережі, становитиме:

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C = 3 U_\Phi I_\Phi \cos \varphi_\Phi = 3 P_w \quad (2)$$

Таким чином, вимірювши потужність одним ватметром у будь-якій з трьох фаз, активну потужність трифазного симетричного споживача визначаємо, збільшивши покази ватметра втричі (2).

Якщо трифазний споживач живиться від трипровідної мережі (рис. 5), то виконують штучну нульову точку, увімкнувши три додаткових резистори

Рис. 6



$$P = 3 U_\Phi I_\Phi \cos \varphi_\Phi = 3 P_w \quad (3)$$

Вимірювання потужності одним, двома або трьома приладами застосовується в основному в лабораторних умовах. У промислових умовах застосовуються трифазні ватметри і лічильники, у яких в одному приладі об'єднано на одній осі два або три однофазні вимірювальні механізми.

Лекція №18

Тема: Вимірювання реактивної потужності.

Мета: оволодіти знаннями про методи та способи вимірювання потужності

Методи: словесний, практичний, наочний

План

1 Вимірювання реактивної потужності у трифазних колах

2 Вимірювання реактивної потужності у високовольтних колах

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982

2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.

3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. – М.: Радио и связь, 1985.

4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987

5 Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Вимірювання реактивної потужності у трифазних колах

Реактивна потужність характеризує інтенсивність обміну енергією між генератором і споживачем, і для однофазного споживача обчислюється за формулою

$$Q=UI\sin\varphi.$$

У трифазних мережах реактивна потужність трифазного споживача дорівнює сумі реактивних потужностей усіх трьох фаз і визначається:

для споживача, з'єднаного зіркою, за формулою

$$Q=U_A I_A \sin\varphi_A + U_B I_B \sin\varphi_B + U_C I_C \sin\varphi_C,$$

для споживача, з'єднаного трикутником, за формулою

$$Q=U_{AB} I_{AB} \sin\varphi_{AB} + U_{BC} I_{BC} \sin\varphi_{BC} + U_{CA} I_{CA} \sin\varphi_{CA}.$$

Реактивну потужність вимірюють за допомогою: ватметрів активної потужності, увімкнених за спеціальними схемами; ватметрів активної потужності з додатковими

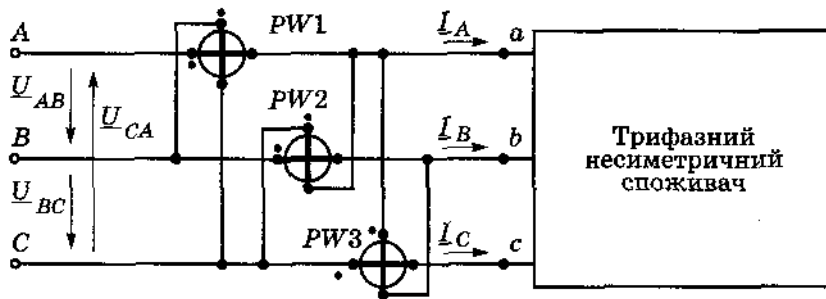


Рис. 6.40

елементами; спеціальних вимірювальних приладів реактивної потужності (варметрів).

Реактивну потужність несиметричного трифазного споживача, що живиться від трипровідної або чотирипровідної мережі, вимірюють трьома ватметрами, увімкненими за схемою, наведеною на рисунку 6.40.

Покази ватметрів дорівнюють:

$$P_{W1} = U_{BC} I_A \cos(90^\circ - \varphi_A) = U_{BC} I_A \sin \varphi_A = \sqrt{3} U_\phi I_A \sin \varphi_A;$$

$$P_{W2} = U_{CA} I_B \cos(90^\circ - \varphi_B) = U_{CA} I_B \sin \varphi_B = \sqrt{3} U_\phi I_B \sin \varphi_B;$$

$$P_{W3} = U_{AB} I_C \cos(90^\circ - \varphi_C) = U_{AB} I_C \sin \varphi_C = \sqrt{3} U_\phi I_C \sin \varphi_C.$$

Сума показів ватметрів

$$P_{W1} + P_{W2} + P_{W3} = \sqrt{3}(Q_1 + Q_2 + Q_3) = \sqrt{3}(Q),$$

звідки реактивна потужність дорівнює:

$$Q = (P_{W1} + P_{W2} + P_{W3}) / \sqrt{3}.$$

Вимірювання реактивної потужності трьома приладами застосовується в основному в лабораторних умовах. У промислових умовах застосовуються трифазні прилади, в яких в одному приладі об'єднано на одній осі три однофазні вимірювальні механізми.

Якщо два ватметри увімкнуті за схемою, наведеною на рисунку 6.41, а, то можна за показами цих ватметрів визначити реактивну потужність несиметричного трифазного споживача.

Враховуючи розміщення векторів струму і напруги на векторній діаграмі (рис. 6.41, б), сума показів ватметрів дорівнює

$$\begin{aligned} P_{W1} + P_{W2} &= U_{BC} I_A \cos(90^\circ - \varphi_A) + U_{AB} I_C \cos(90^\circ - \varphi_C) = \\ &= \sqrt{3} U_\phi (I_A \sin \varphi_A + I_C \sin \varphi_C). \end{aligned}$$

Якщо споживач симетричний

$$I_A = I_B = I_C = I_\phi; \quad \varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi_\phi,$$

то сума показів двох ватметрів дорівнює

$$P_{W1} + P_{W2} = 2\sqrt{3} U_\phi I_\phi \sin \varphi_\phi = (2/\sqrt{3}) Q.$$

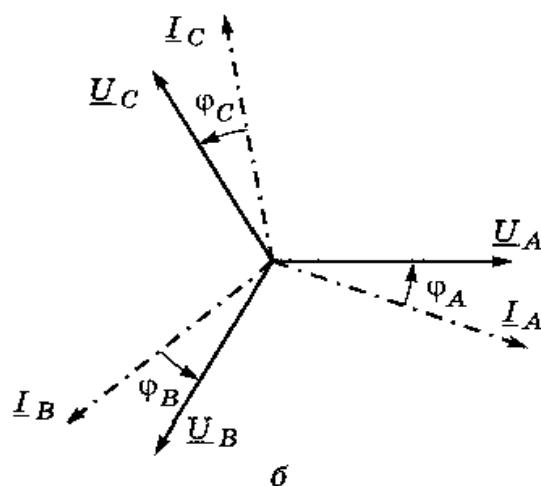
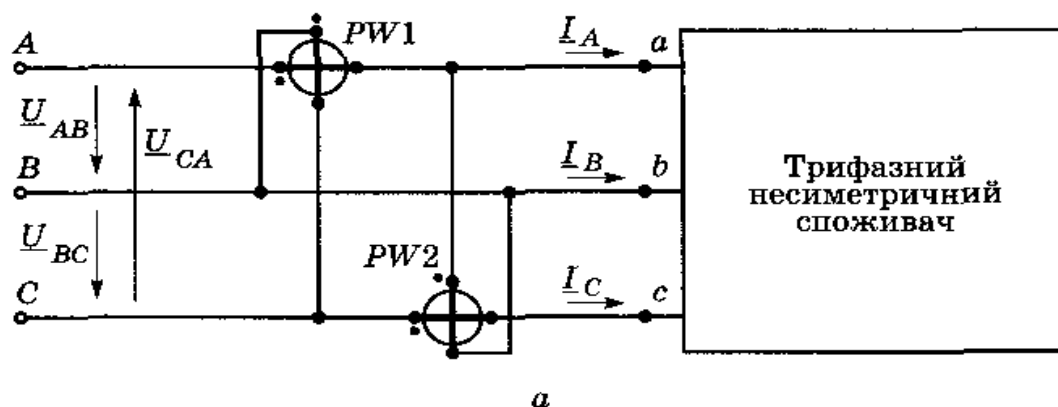


Рис. 6.41

Отже, реактивну потужність трифазного симетричного споживача можна визначити за показами двох ватметрів:

$$Q = \left(\sqrt{3}/2\right)(P_{W1} + P_{W2}).$$

Слід зазначити, що і для несиметричного споживача формула (6.102) залишається справедливою.

Якщо за допомогою трьох додаткових резисторів R_1 , R_2 , R_3 , з'єднаних разом з паралельними вітками ватметрів, що мають опори R_A , R_B , симетричною зіркою ($R_1 + R_A = R_2 + R_B = R_3$), утворити штучну нейтральну точку, то реактивну потужність несиметричного трифазного споживача можна визначити за показами **двох ватметрів** зі штучною нейтральною точкою, увімкнених за схемою, наведеною на рисунку 6.42, а.

для вимірювання реактивної

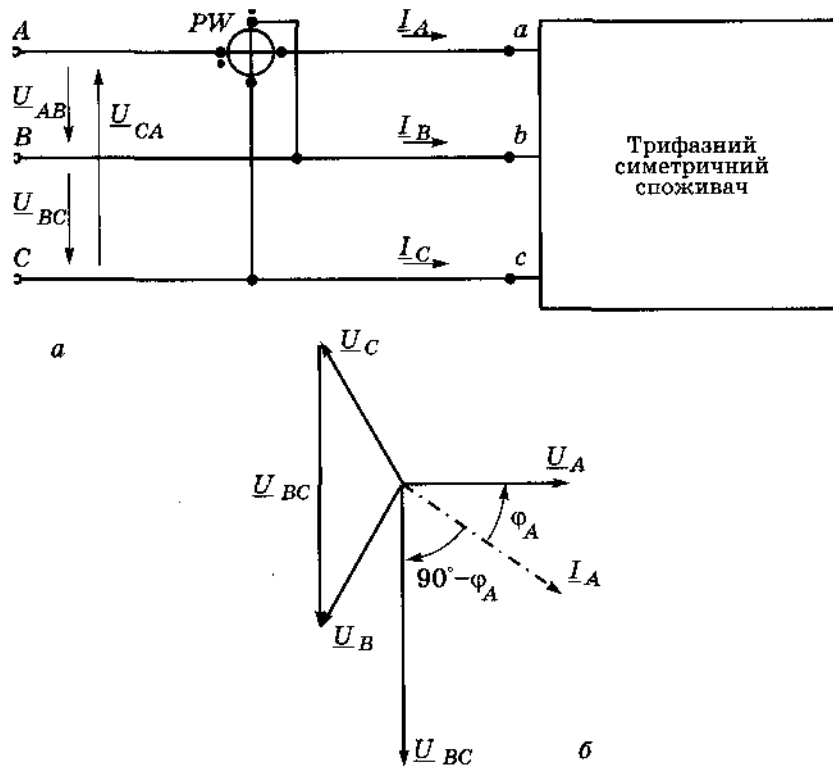


Рис. 6.43

Потужності достатньо одного ватметра, увімкненого за схемою, наведеною на рисунку 6.43, й.

Враховуючи розміщення векторів струмів та напруг за векторною діаграмою (рис. 6.43, б), показ ватметра дорівнюватиме:

$$P_W = U_{BC} I_A \cos(90^\circ - \varphi_A) = \sqrt{3} U_\phi I_\phi \sin \varphi_\phi = (1/\sqrt{3}) Q.$$

Отже, реактивну потужність симетричного споживача можна визначити за формулою

$$Q = \sqrt{3} P_W.$$

2 Вимірювання реактивної потужності у високовольтних колах

Для того, щоб ватметром можна було б вимірювати реактивну потужність, необхідно зсунути струм у паралельній вітці ватметра на кут $90^\circ - \varphi$ відносно напруги. Для цього послідовно з паралельною віткою ватметра вмикають котушку з індуктивністю L і опором R_2 , а саму паралельну вітку ватметра шунтують опором R_1 , (рис. 6.44, а).

Враховуючи розміщення векторів струмів та напруг на векторній діаграмі (рис. 6.44, б), показ ватметра дорівнює:

$$P_W = c I_H I_V \cos(90^\circ - \varphi) = k_W U I_H \sin \varphi = k_W Q \quad 1$$

Таким чином, проградувавши ватметр в одиницях реактивної потужності, можна використовувати цей прилад для її вимірювання.

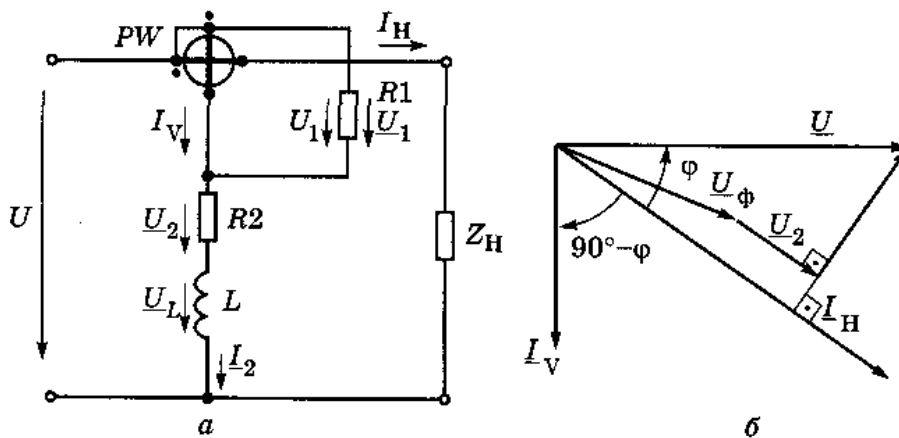


Рис. 6.44

Лекція №19

Тема: Індукційний однофазний лічильник активної електричної енергії.

Мета: оволодіти знаннями про методи та способи вимірювання електричної енергії

Методи: словесний, практичний, наочний

План

1Будова, принцип дії, схеми вмикання однофазного лічильника

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

- 1Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982
- 2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.
- 3Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.
- 4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987
- 5Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989
- 6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

Електрична енергія, що споживається за інтервал часу i , визначається через активну потужність за формулою

$$W = Pt \quad (6.110)$$

Пристрої для вимірювання електричної енергії називаються лічильниками електричної енергії,

Лічильник електричної енергії, відповідно до алгоритму (6.110), складається (рис. 6.45) з вимірювального перетворювача активної потужності і інтегратора, тобто накопичувача активної потужності за інтервал часу t .

У електронних вимірювальних перетворювачах активної потужності вихідною величиною є електрична величина (здебільшого напруга), яка перетворюється в частоту імпульсів за допомогою додаткового частотного перетворювача. Далі імпульси надходять, як правило, на кроковий електродвигун і перетворюються на кут повороту.

В електромеханічних, зокрема індукційних, вимірювальних перетворювачах активної потужності вихідною величиною є кутова швидкість обертання диска. За допомогою черв'ячної передачі обертання диска передається на механічний лічильний механізм кількості обертів, який являє собою механічний багатоступінчастий редуктор, аналогічний годинниковому механізму.

Слід зазначити, що інтегратор (накопичувач) виконує роль пам'яті, основною вимогою до якої є збереження показів у разі аварійного чи профілактичного вимикання.

Важливо підкреслити, що велику кількість видів вимірювальних перетворювачів активної потужності стало можливим реалізувати тільки з розвитком мікро електроніки, зокрема з появою інтегральних аналогових і цифрових мікросхем. До цього часу для вимірювання й обліку електроенергії застосовувалися здебільшого (за деякими винятками) електромеханічні індукційні лічильники. Широко застосовуються вони і дотепер, причому їх кількість тільки у побутовій сфері становить десятки мільйонів. Поступово вони витісняються прогресивними електронними і цифровими лічильниками електроенергії, побудованими на основі сучасних інтегральних мікросхем високого ступеня інтеграції і мікропроцесорів.

Основними частинами індукційного лічильника електричної енергії є електромагніт напруги, електромагніт струму, постійний магніт, легкий алюмінієвий диск, який може вільно обертатися на осі, черв'ячна передача та лічильний механізм (рис. 6.46).

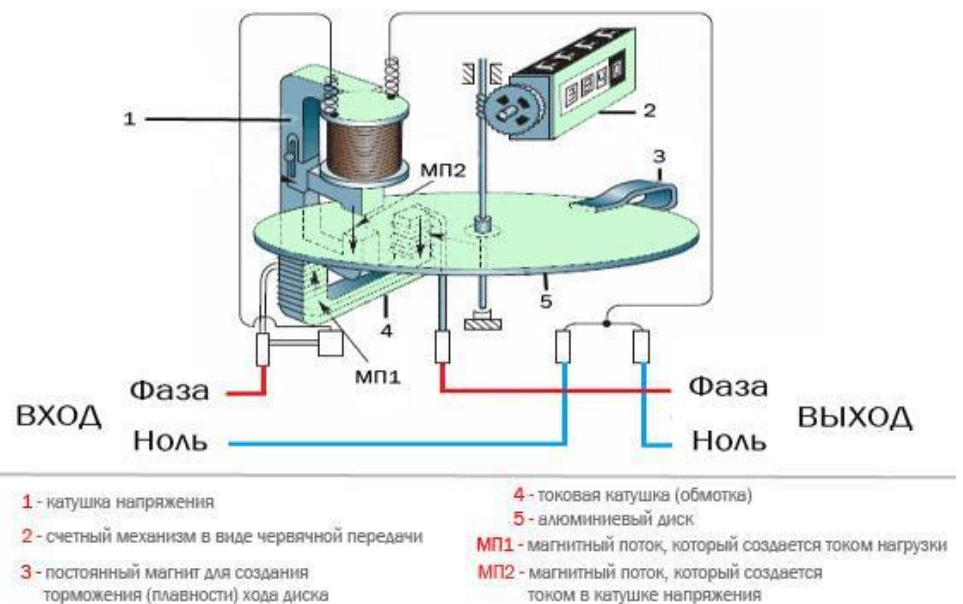
Електромагніт напруги складається з магнітопроводу і обмотки, виконаної тонким мідним проводом в ізоляції з великою кількістю витків. Обмотка напруги вмикається паралельно



Рис.1. Однофазний індукційний електролічильник

Лічильники з обертовим диском знайомі практично кожному. Це ті, за прозорою панеллю яких є обертове колесо. Напевно багато хто не раз спостерігали за швидкістю його обертання - чим вище швидкість, тим більше витрата енергії. А показання лічильника позначаються цифрами на спеціальних барабанах.

Принцип роботи таких лічильників полягає в наступному. В електричному лічильнику є 2 котушки (рис. 2 - 1 та 4 покажчики) - котушка напруги (служить обмежувачем змінного струму, перешкодою для перешкод тощо, створює магнітний потік, співрозмірний напрузі) і струмова котушка (створює змінний магнітний потік,



співрозмірний струму).

Рис.2. Принцип роботи індукційного лічильника

Магнітні потоки, створювані котушками, проникають крізь алюмінієвий диск (рис.2, показчик 5). При цьому потоки, які створює струмова котушка, пронизують диск кілька разів за рахунок своєї U-образної форми. Як наслідок, з'являються електроємні сили, які і обертають диск.

Далі вісь диска взаємодіє з рахунковим механізмом у вигляді черв'ячної (зубчастогвинтовий) передачі (Рис. 3), яка передає необхідні сигнали і інформацію на цифрові барабани. Чим вище крутний момент диска, тим вище потужність подається сигналу (крутний момент рівнозначний потужності мережі), а значить і витрата електроенергії більше.



Рис.3. Черв'ячна передача

Коли потужність подається електромагнітного сигналу знижується, в дію приходить постійний магніт гальмування (Рис.2, показчик 3). Він і вирівнює коливання частоти обертання диска за рахунок взаємодії з вихровими потоками. Магніт створює електроємні сили, зворотний крученню диска. Це змушує диск знизити швидкість або взагалі зупинитися.

Ця група лічильників найбільш дешева і проста. Широко використовувалися індукційні електролічильники в радянський час (і по нинішній час у більшості в квартирах встановлені саме такі прилади). Але поступово на зміну їм приходять електронні лічильники за рахунок ряду недоліків індукційних приладів. Наприклад, індукційний електролічильник не може зняти показання автоматично, а також у свідченнях часто присутня похибка.

Переваги і недоліки індукційних лічильників

Переваги

- ☐ Надійні у використанні
- ☐ Багаторічний термін експлуатації лічильника
- ☐ Незалежність від перепадів електроенергії
- ☐ Дешевше електронних
- ☐ Недоліки
- ☐ Клас точності достатньо низький - 2,0; 2,5
- ☐ Практично відсутня захищеність від розкрадання електричної енергії
- ☐ Висока власне споживання струму
- ☐ При малих навантаженнях зростає похибка (чим менше клас точності, тим більше похибка)
- ☐ При обліку декількох типів електроенергії (активної і реактивної) виникає необхідність використання декількох приладів обліку енергії
- ☐ Енергооблік ведеться в одному напрямку
- ☐ Великі габарити приладів

Електронні електролічильники



Рис.4. Електронний електролічильник

Ці прилади трохи дорожче індукційних, але на сьогоднішній день це найбільш вигідні та пріоритетні у використанні лічильники. Вони мають більш високий клас точності і дозволяють враховувати многотарифність.

Електронні електролічильники працюють за рахунок перетворення вхідного аналогового сигналу з датчика струму в цифровий код, рівнозначний споживаній потужності. Цей код відправляється розшифровуватися на спеціальний мікроконтролер. Після чого на дисплей (або цифровий барабан) виводиться кількість витраченої електроенергії.

Найголовніша складова цих лічильників - це мікроконтролер. Саме він виробляє аналіз сигналу і розраховує кількість витраченої електроенергії. А також передає інформацію на виводять, електромеханічні пристрої і дисплей.

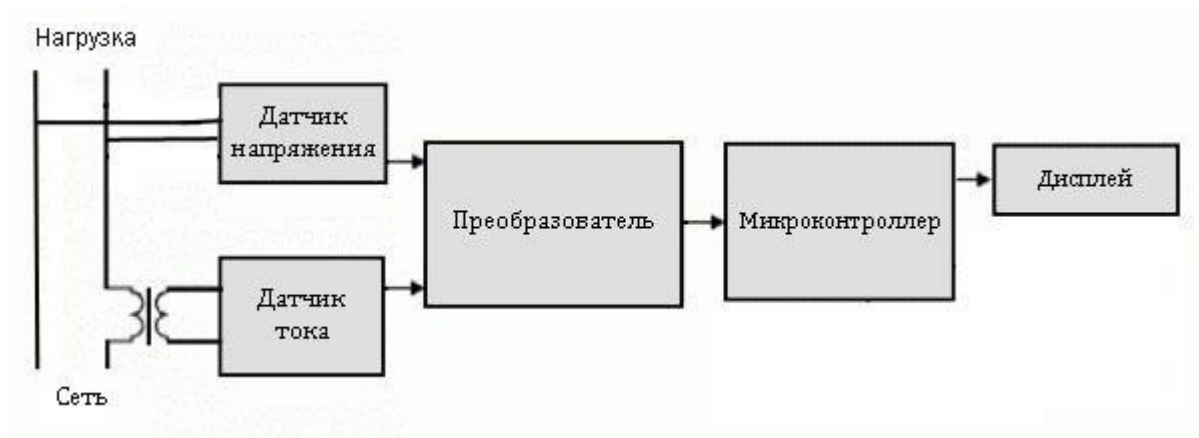


Рис.5. Принцип роботи електронного електролічильника

Сам прилад складається з корпусу, трансформатора струму перетворювача сигналу і тарифікаційного модуля. Якщо ж розбирати більш докладно, до складу лічильника входять ще й:

- РК-дисплей (або цифровий барабан)
- джерело вторинного живлення (перетворює змінну напругу)
- мікроконтролер (прораховує вхідні імпульси, розраховує витрачається електроенергію, обмінюється даними з іншими вузлами та схемами лічильника)
- перетворювач (перетворює аналоговий сигнал в цифровий з подальшим перетворенням його в імпульсний сигнал, рівнозначний споживаній енергії)
- супервізор (формує сигнал скидання при перебої з харчуванням, виводить аварійний сигнал при зниженні вхідної напруги)
- пам'ять зберігає дані про електроенергію)
- телеметричний вихід (приймає імпульсний сигнал про енергоспоживання)
- годинник реального часу (відраховують поточний час і дату)
- оптичний порт (зчитує показання лічильника, а також програмує його)

Переваги та недоліки електронних електролічильників

Переваги

- ☐ Клас точності - від 1,0 - високий
 - ☐ Многотарифність (2)
 - ☐ Досить одного лічильника при обліку декількох типів електричної енергії
 - ☐ Енергооблік ведеться в 2 напрямках
 - ☐ Ведуть вимірювання якості та обсягу потужності
 - ☐ Зберігають дані обліку електроенергії
 - ☐ Дані легко доступні
 - ☐ У разі розкрадання електроенергії здійснюється фіксація несанкціонованого доступу
 - ☐ Можливість дистанційно знімати показники
 - ☐ Можливе застосування при автоматизованому технічному обліку і контролю обліку електроенергії (АСТУЭ і АСКОЕ)
 - ☐ Тривалий термін метрологічного інтервалу (РКК)
- ### Недоліки
- ☐ Малі за розміром
 - ☐ Дуже чутливі до перепадів напруги
 - ☐ Дорожче індукційних
 - ☐ Досить складно відремонтувати

Маркування на електролічильника

Крім видів лічильників існує ще кілька нюансів, які слід знати. На будь-якому електролічильнику є певна маркування, умовно обозначаючися літерами та цифрами.



Рис.6. Позначення на електролічильнику

Позначення Пояснення

З Тип пристрою (лічильник)

А, Р Вид обліковується енергії (активна енергія/реактивна енергія)

Про Однофазний лічильник

3, 4 Число фазових проводів в мережі (чотирипровідна/трипровідна)

У Універсальність

І Тип вимірювальної системи (індукційний лічильник). Далі може стояти тризначне число, яке означає конструктивне виконання лічильника (конструкція лічильника може бути індукційної або електронній).

Т Тип лічильника в тропічному виконанні

П, М Тип виконання (прямоточний - якщо немає підключення до трансформатора/модернізований). Далі можуть бути такі скорочення, як «380/220 17А, 2001», що означає робочі напруги в проводах, максимальний потік струму і рік виготовлення. Також в кінці напису може стояти заводський номер.

Що стосується класу точності електролічильника, то за цими параметрами визначається точність показань витраченої електроенергії. В квартирах, як правило, встановлені лічильники класу 2,0, але можуть бути і вище. Що це означає? А те, що ваш електролічильник може врахувати на 2% більше або менше електроенергії від своєї власної потужності. Або простіше кажучи - похибка лічильника. Чим менше цифра, тим менше похибка. В цілому, в побутових умовах досить електролічильника класу 2,0. Більш високі класи точності необхідні скоріше на підприємствах, де потрібна велика потужність енергії.

Отже, на сьогоднішній день ми можемо себе не обмежувати у виборі електролічильників. Кожен з них має свої певні особливості та функції. У цій статті ми розібрали основні особливості цих приладів та принципи їх роботи, що допоможе вам зорієнтуватися в різноманітті вибору

Лекція №20

Тема: Вимірювання активної енергії в трифазному колі

Мета: оволодіти знаннями про методи та способи вимірювання електричної енергії

Методи: словесний, практичний, наочний

План

1 Трьохелементний лічильник електричної енергії

2 Двухелементний лічильник електричної енергії

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982

2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.

3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. – М.: Радио и связь, 1985.

4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987

5 Атамальян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Трьохелементний лічильник електричної енергії

На промислових підприємствах, де електропостачання виконується за трифазною системою, користуються *трифазними лічильниками* (а іноді — кількома однофазними).

Будову трифазних лічильників показано на схемах рис. 10.3. З чотирьох, наведених на цьому рисунку, схем, видно, що рухомі частини трифазних лічильників можуть бути одно-, дво- і тридисковими (рис. 10.3, *а* — *г*). Найпростіший і найкомпактніший з них — однодисковий, у якого на один диск водночас діють два пристрої, створюючи магнітні потоки та обертові моменти (див. рис. 10.1).

Далі кожний з цих пристроїв будемо називати "елемент". У кожного з цих елементів є два магнітопроводи (верхній і нижній) з відповідними обмотками. Обмотки верхніх магнітопроводів будемо вважати обмотками напруги, а нижніх — обмотками струму. Обидва елементи в цьому лічильнику взаємодіють з одним і тим самим диском. Для запобігання взаємному впливові елементів, їх розміщують

якомога далі один від одного. Найкраще, щоб це було діаметрально протилежно. Але й у цьому разі струми, що створюються ними у диску, розтікаючись по

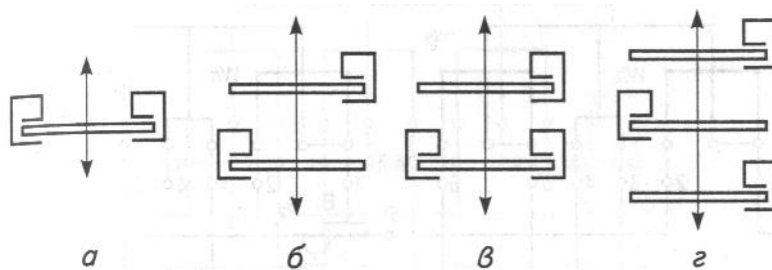


Рис. 10.3

Схеми будови трифазних лічильників: а — однодисковий, двохелементний; б — дводисковий, двохелементний; в — дводисковий, трьохелементний; г — тридисковий, трьохелементний

ньому, все ж впливають один на одного і створюють похибку. Регулювальними органами, які є на елементах лічильника, цей вплив частково компенсують ще на заводі-виготовлювачі, змінюючи величину обертових моментів, створюваних елементами. Але ця компенсація діє тільки за певного порядку черговості фаз напруг трифазної системи. Тому, перед встановленням і підімкненням двохелементного трифазного лічильника до мережі необхідно за допомогою фазопоказчика визначити порядок чергування фаз напруг мережі й приєднувати обмотки струмів і напруг саме на ті фази, які вказано на приєднувальних контактах лічильника. Зазначимо, що лічильник може обертатися в потрібному напрямі й у разі недотримання рекомендованого порядку чергування фаз, але при цьому точність його показань не гарантується.

Якщо лічильник виконано з двома дисками, як показано на рис. 10.3, б, взаємний вплив елементів виключено і на останнє застереження можна не зважати.

На рис. 10.4 показано схеми приєднання *трифазних двохелементних лічильників* як прямо у мережу, якщо у контрольованому колі величини споживаних струмів не перевищують величини номінального струму приладу, так і з застосуванням вимірювальних трансформаторів струму. Звичайно, у цьому разі номінальний вторинний струм трансформаторів струму має відповідати номінальному струму лічильника.

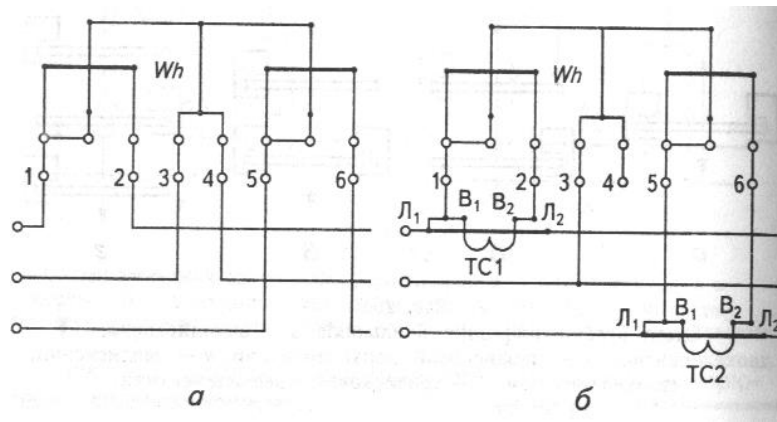


Рис. 10.4

Схеми вмикання трифазних двохелементних лічильників:

***а* — пряме; *б* — за допомогою вимірювальних трансформаторів струму**

Двохелементні трифазні лічильники добре працюють у мережах з однаковими напругами між фазними проводами мережі. При наявності неоднакових лінійних напруг неминучі похибки. Величини струмів, що протікають по лінійних проводах, не обов'язково повинні бути однаковими.

Для вимірювань енергії при наявності несиметрії напруг і струмів у трифазній мережі слід користуватися *трифазними ' трьохелементними лічильниками*, виконаними згідно з конструктивними схемами, наведеними на рис. 10.3, *в, г*. У схемах рис. 10.5 кожен з елементів лічильника створює обертовий момент, пропорційний потужності, споживаної однією з фаз навантаження. Загальний же момент, що діє на рухому частину лічильника, пропорційний потужності, споживаної всім трифазним колом, контрольованим лічильником. Тому і величина енергії, виміряної лічильником, у цьому випадку дорівнює величині енергії, споживаної всім колом.

У чотирипровідних трифазних системах з якою завгодно несиметрією напруг і струмів енергія може вимірюватися трьома лічильниками, ввімкненими так, як показано на рис. 10.6, *б*.

В обох випадках загальну величину споживаної енергії знаходять як суму енергій, визначених за показаннями двох

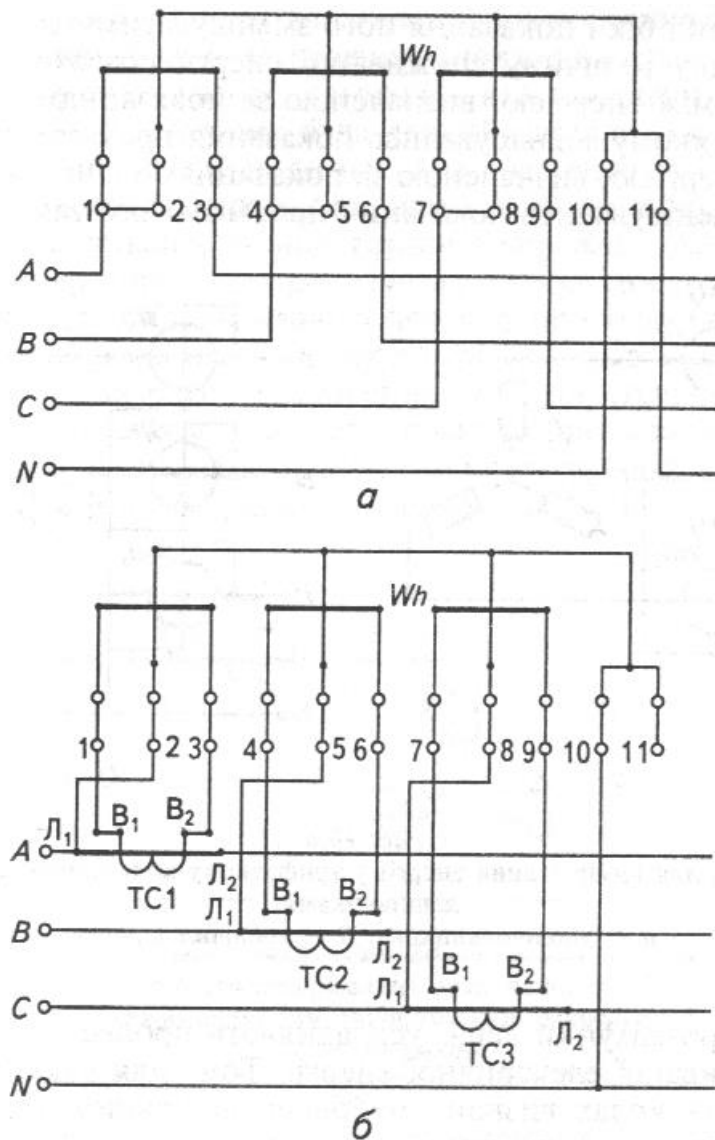


Рис. 10.5

Схеми вмикання трифазних трьохелементних лічильників:

***a* — пряме для вимірювань у колі з несиметричним навантаженням;**

***б*—за допомогою трансформаторів струму**

лічильників, якщо вимірювання проводять вмиканням згідно зі схемою рис. 10.6, *a*, і трьох лічильників, якщо їх було ввімкнено за схемою, зображеною на рис. 10.6, *б*. Зауважимо, що при вимірюваннях за схемою рис. 10.6, *a* якщо величина коефіцієнта потужності споживача енергії буде меншою, ніж 0,5, один із лічильників обертатиметься у зворотний бік і показання його зменшуватимуться. В цьому випадку величину споживаної енергії розраховують як різницю між енергією, визначеною за показаннями лічильника, на якому збільшувались показання протягом певного часу, і енергією, визначеною за показаннями лічильника, на якому зменшувались показання протягом того самого часу.

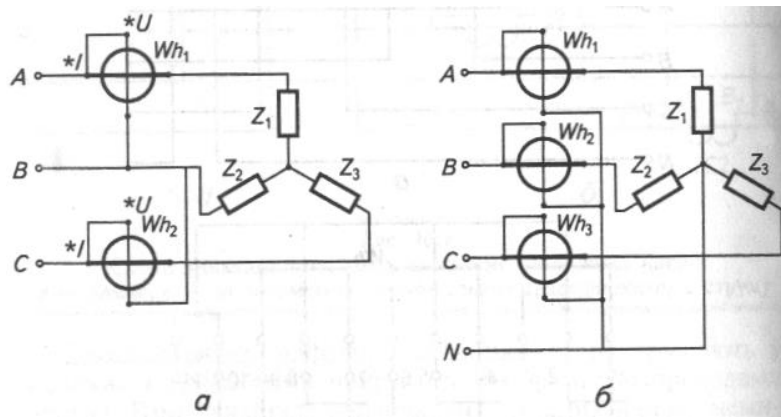


Рис. 10.6

Схеми для вимірювання енергії у трифазному колі однофазними лічильниками:
а — дволічильникова; б — трилічильникова

Такі розрахунки дещо ускладнюють процес вимірювання споживаної електричної енергії. Тому для вимірювань у трифазних колах визнано найбільш доцільним користуватися трифазними лічильниками.

Лекція № 21

Тема: Вимірювання реактивної енергії в трифазному колі.

Мета: оволодіти знаннями про методи та способи вимірювання електричної енергії

Методи: словесний, практичний, наочний

План

- 1 Будова, принцип дії лічильника реактивної енергії.
- 2 Вимірювання реактивної енергії у високовольтних мережах

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

- 1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982
- 2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.
- 3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.
- 4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987
- 5 Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

1 Будова, принцип дії лічильника реактивної енергії.

Важливим показником доцільного використання електричної енергії є співвідношення між кількістю активної енергії, що була беззаперечно споживана споживачем, і кількістю реактивної енергії, яка протягом кожного періоду змінного струму була деякий час споживана з мережі, а потім повернута до неї. Але хоча енергія і була повернута до мережі, струм, при якому енергію забирали і повертали, викликав додаткові втрати в мережах, трансформаторах і генераторах. Це призводить до необхідності дещо завищувати площу поперечного перерізу проводів та загальні розміри генерувального та перетворювального обладнання, що збільшує витрати на створення та експлуатацію вказаного обладнання. Тому енергопостачальні організації контролюють величину реактивної потужності та зважають на її величину при розрахунках зі споживачами.

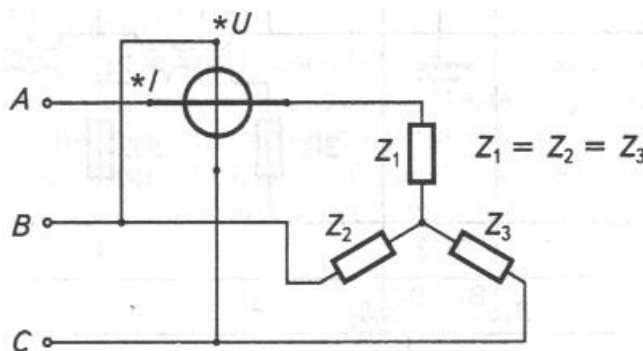


Рис. 10.7

Схема для вимірювання реактивної енергії у трифазному симетричному колі однофазним лічильником

У однофазних споживачів (наприклад, у побутових), звичайно на величину реактивної потужності не зважають і її не вимірюють. Тому однофазні лічильники реактивної енергії у цьому підручнику не розглядаються. Розглянемо лише вимірювання реактивної енергії у трифазних колах за допомогою лічильників, які за будовою майже не відрізняються від лічильників активної енергії. Відмінність полягає лише у схемі вмикання їхніх обмоток при вимірюваннях.

Необхідно, щоб при споживанні чисто активної потужності у трифазному колі показання лічильника реактивної енергії не змінювали б свої величини, тобто щоб рухома частина приладу не оберталася.

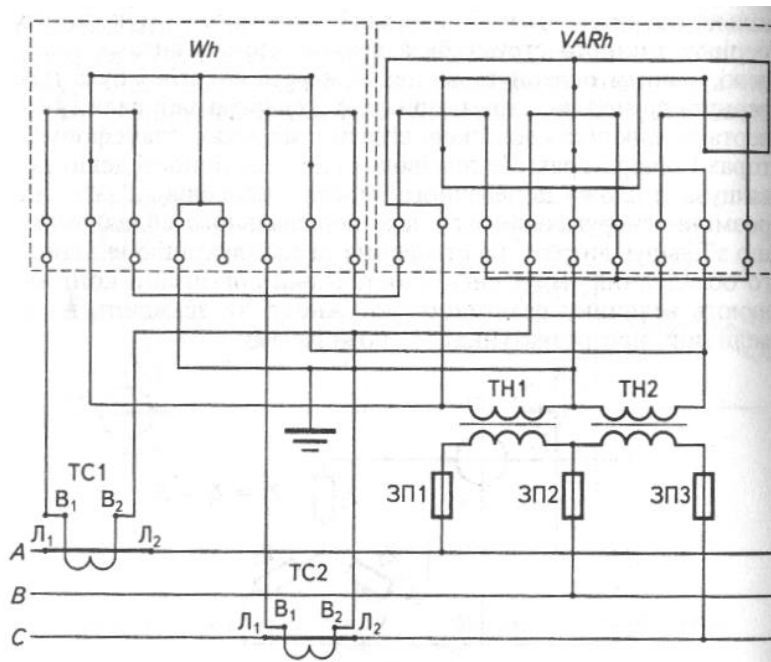


Рис. 10.8

Схема для вимірювання енергії у трифазному колі лічильниками активної і реактивної енергії з вимірювальними трансформаторами струму і напруги

У симетричному трифазному колі таке можливо при застосуванні однофазного лічильника з обмоткою струму, ввімкненою в одну фазу (наприклад, у першу), і обмоткою напруги, ввімкненою на дві інші фази (на другу й третю) так, як це зображено на рис. 10.7. Звичайно, передавальне число від осі рухомої частини цього приладу до механічного лічильника має відрізнятися від передавального числа такого самого за струмом і напругою однофазного лічильника активної енергії. Відмітною повинна бути і обмотка напруги такого лічильника, бо її ввімкнено на лінійну напругу. При вимірюванні ж активної енергії цю обмотку було ввімкнено на фазну напругу, на яку її й було розраховано.

На підприємстві, де контролюється витрата активної енергії та необхідно контролювати коефіцієнт потужності, користуються одразу двома трифазними лічильниками. Один із них вимірює споживання активної енергії, а інший — реактивної. Схему сумісного вмикання цих приладів через вимірювальні трансформатори струму і напруги, як це буває необхідним, коли і струм, і напруга у мережі не відповідають номінальним струмам і напругам приладів, наведено на рис. 10.8.

При використанні вимірювальних трансформаторів ТН1, ТН2, ТС1, ТС2, показання лічильників слід помножити на добуток коефіцієнтів трансформації цих трансформаторів (якщо на табличках лічильників немає напису, що вони придатні до вимірювань саме з такими трансформаторами, які є у схемі).

Величину середнього коефіцієнта потужності, який за синусоїдальних напруги та струму вважають рівним косинусові кута зсуву фаз, розраховують на основі показань обох лічильників за один і той самий час. Спочатку розраховують середнє значення тангенса кута зсуву фаз:

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{наб}} = \frac{W_p}{W_a},$$

де W_p — вимірювана величина реактивної енергії;

W_a — виміряна величина активної енергії.

За визначеним тангенсом кута зсуву фаз розраховують середній коефіцієнт потужності за певний час:

$$\cos\varphi_{\text{ср}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\varphi_{\text{ср}}}}.$$

• *Власне коефіцієнт потужності — це добуток косинуса кута зсуву фаз на коефіцієнт спотворення синусоїди. Але у зв'язку з тим, що на енергетичних підприємствах спотворення синусоїд напруги і струму у більшості випадків досить малі і величина цього коефіцієнта близька до одиниці, величину косинуса кута зсуву фаз ототожнюють з величиною коефіцієнта потужності.*

Лекція №22

Тема: Вимірювання коефіцієнта потужності, кута зсуву фаз

Мета: оволодіти знаннями про методи та способи вимірювання коефіцієнта потужності, кута зсуву фаз

Методи: словесний, практичний, наочний

План

1 Вимірювання коефіцієнта потужності.

2 Вимірювання кута зсуву фаз.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982

2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.

3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. — М.: Радио и связь, 1985.

4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина. — 6-е изд., перераб. и доп. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987

5 Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1989

6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. — М.: Энергоатомиздат, 1985

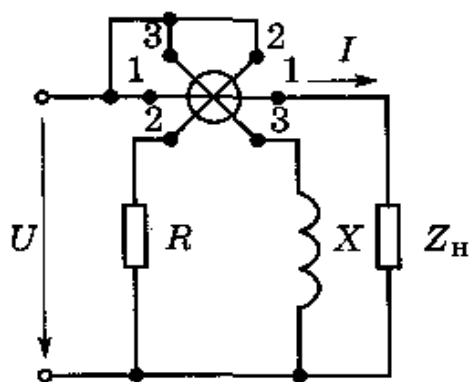


Рис. 8.13

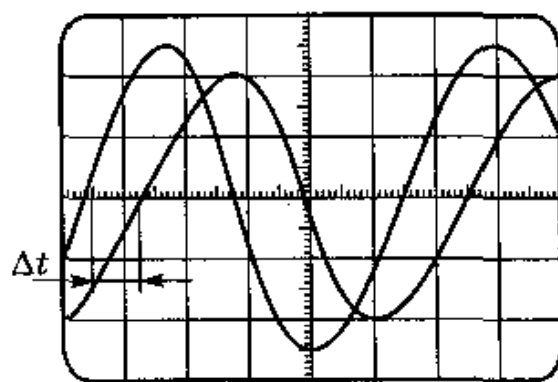


Рис. 8.14

Вимірювання різниці фаз між двома сигналами можна здійснити за допомогою двоканального, або двопробного осцилографа.

Лінійна розгортка. Якщо на один канал осцилографа подати сигнал $u_1(t) = U_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1)$, а на другий — $u_2(t) = U_{2m} \sin(\omega t + \varphi_2)$, вибрати масштаби на вертикальних осях так (рис. 8.14), щоб зображення обох сигналів займало майже весь екран, синхронізувати розгортку від одного з сигналів, прийнятого за опорний, то можна візуально зняти покази з екрана інтервалу часу Δt між характерними однойменними точками (наприклад, точками перетину горизонтальної осі при зростанні сигналів) осцилограм. Знявши також покази з екрана періоду коливань T , можна визначити різницю фаз сигналів:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \Delta t \frac{2\pi}{T}. \quad (8.33)$$

Режим X-Y осцилографа. У цьому режимі на вхід каналу X подається сигнал $u_1(t)$, а на вхід каналу Y — сигнал $u_2(t)$. Якщо масштаб на обох осях вибрати таким чином, щоб зображення амплітуд обох сигналів було однаковим, то на екрані осцилографа створюється зображення еліпса (рис. 8.15). Знявши з екрана покази довжини відрізків AB і CD , різницю фаз між сигналами $u_1(t)$ і $u_2(t)$ можна визначити за формулою

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{l_{AB}}{l_{CD}}. \quad (8.34)$$

Якщо, наприклад, за допомогою одного вольтметра виміряти середні квадратичні напруги U_1 , U_2 сигналів,

Схему *електродинамічного фазометра* з логометричним механізмом наведено на рисунку 8.13. Логометричний електродинамічний механізм складається з однієї нерухомої котушки 1-1 і двох жорстко скріплених під певним кутом (90° , 60° , 30°) рухомих катушок 2-2 і 3-3.

Кут відхилення рухомої частини механізму залежить від відношення струмів рухомих катушок. У нерухомій катушці проходить струм споживача. Катушки рухомої частини увімкнені під напругу споживача, причому послідовно одній рухомій катушці увімкнено резистор з опором R , а послідовно другій — катушку з індуктивним опором X . Параметри електричних кіл дібрані таким чином, що струми I_1 та I_2 мають певний зсув фаз, наприклад 60° . Рухомі катушки мають бути жорстко скріплені під таким само просторовим кутом 60° . Для обертальних моментів рухомих катушок справедливі такі вирази:

$$\begin{aligned} M_1 &= k_1 I \cdot I_1 \cos(60^\circ - \varphi) \cos \alpha; \\ M_2 &= k_2 I \cdot I_2 \cos \varphi \cos(60^\circ - \alpha). \end{aligned} \quad (8.31)$$

Моменти M_1 і M_2 спрямовані назустріч один одному і рухома частина займе положення рівноваги, якщо $M_1 = M_2$. Струми I_1 , I_2 і конструктивні коефіцієнти k_1 , k_2 виконуються рівними один одному, тоді з умови рівноваги

$$\frac{\cos(60^\circ - \varphi)}{\cos \varphi} = \frac{\cos(60^\circ - \alpha)}{\cos \alpha}, \quad (8.32)$$

звідки $\alpha = \varphi$.

Таким чином, відхилення рухомої частини α у кутових градусах дорівнюватиме різниці фаз φ в електричних градусах. Шкала може бути проградуйована або в градусах (рівномірна шкала), або в значеннях $\cos \varphi$ (нерівномірна шкала).

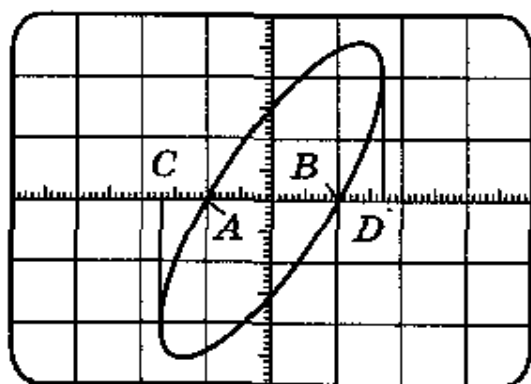


Рис. 8.15

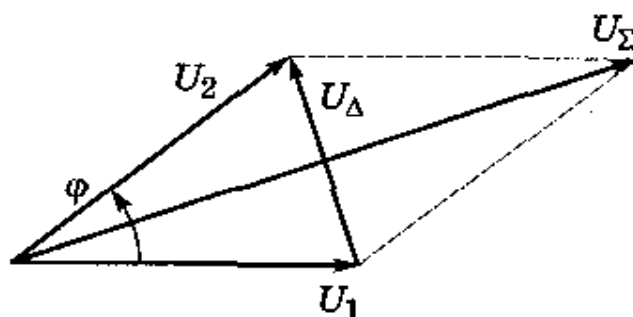


Рис. 8.16

а також сумарну U_{Σ} або різницеву U_{Δ} напругу, то **різницю фаз сигналів $u_1(t)$ і $u_2(t)$ можна визначити**, користуючись векторною діаграмою напруг (рис. 8.16), за показами трьох вольтметрів:

$$\begin{aligned} \varphi &= \arccos \left(\frac{U_{\Sigma}^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2} \right); \\ \varphi &= \arccos \left(\frac{-U_{\Delta}^2 + U_1^2 + U_2^2}{2U_1U_2} \right). \end{aligned} \quad (8.35)$$

Ці вирази значно спрощуються, якщо амплітуди імпульсів зробити однаковими ($U_1=U_2=U$):

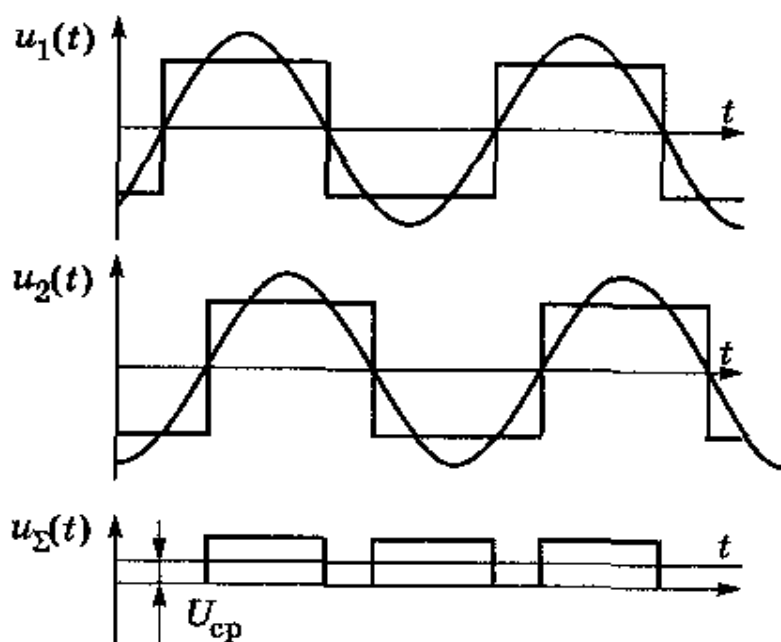


Рис. 8.17

$$\begin{aligned}\varphi &= \arccos \left(\frac{U_{\Sigma}^2}{2U^2} - 1 \right) ; \\ \varphi &= \arccos \left(1 - \frac{U_{\Delta}^2}{2U^2} \right) .\end{aligned}\tag{8.36}$$

Різновидом цього методу є метод перетворення напруг з синусоїдною формою у прямокутну форму (рис. 8.17).

Лекція №23

Тема: Вимірювання магнітних величин

Мета: оволодіти знаннями про методи та способи вимірювання магнітних величин

Методи: словесний, практичний, наочний

План

1 Балістичний гальванометр

2 Визначення напруженості магнітного поля з використанням ефекта Холла

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982

2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.

3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.

4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987

5 Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Балістичний гальванометр

Вимір магнітної індукції можна виконати, використовуючи процес виміру магнітного потоку . При однорідному полі і витках вимірювальної котушки,

розташованих перпендикулярно векторові магнітної індукції, маємо $B = \Phi/S$, або, одержуємо;

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{C_{\phi}}{S_{\text{ви.к.}}} \alpha \quad (1)$$

По балістичному викиду α гальванометра знаходять значення магнітної індукції.

Для вимірювання напруженості постійного магнітного поля використовують балістичний гальванометр (флюксметр) з вимірювальною катушкою. При вмиканні чи вимиканні струму, який збуджує дослідне, в яке розміщена вимірювальна котушка, буде балістичний викид.

$$\Phi_{\text{ви.к.}} = \psi = C_{\phi} \alpha \quad (2)$$

Якщо напруженість поля по всьому перерізу вимірювальної котушки однакова, то

$$\psi = \mu_0 H S_{\text{ви.к.}},$$

а напруженість поля

$$H = \psi / (\mu_0 S_{\text{ви.к.}}),$$

где μ_0 — магнітна стала.

Замінив ψ його виразом із (2), отримаємо:

$$H = \frac{C_{\phi}}{\mu_0 S_{\text{ви.к.}}} \alpha = \frac{C_{\phi}}{k} \alpha \quad (3)$$

Значення напруженості поля H потребує значень постійних C_{ϕ} і k .

Для визначення постійної котушки k її поміщають в магнітне поле, напруженість якого H можна розрахувати

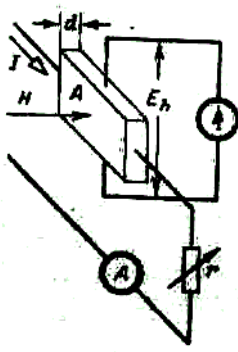
$$k = \frac{C_{\phi}}{H} \alpha \quad (4)$$

При випробуванні феромагнітних матеріалів напруженість поля в зразку можна визначити по напруженості поля на його поверхні

2 Визначення напруженості магнітного поля з використанням ефекта Холла

Пластина А (рис.1) з напівпровідникового матеріалу (германій, сурьмістий індій та ін.) Розташована в постійному магнітному полі перпендикулярно вектору напруженості поля H .

Якщо в платівці буде проходити струм, напрямок якого перпендикулярно напруженості поля, то виникає е. р. с., напрямок якої перпендикулярно як вектору напруженості поля, так і напрямку струму. Ця е. р. с., називається е. р. з. Холла,



звідки напруженість поля

$$e_h = \frac{R_h}{d} i H,$$

$$H = e_h \frac{d}{R_{hi}}, \quad (5)$$

ГДЕ R_h — постійна Холла, залежить від матеріала пластинки; d — товщина пластинки.

Таким чином, вимірявши е. д. з. Холла можна визначити напруженість магнітного поля.

Зонди Холла застосовуються також для вимірювання інших величин: великих струмів, магнітної індукції. Вітчизняною промисловістю випускається вимірювач магнітної індукції Е11-3 (ІМІ-3) з датчиком Холла.

Лекція №24

Тема: Державна система забезпечення єдності вимірювань.

Мета: оволодіти знаннями про державну систему забезпечення єдності вимірювань

Методи: словесний, практичний, наочний

План

- 1 Метрологічне забезпечення єдності вимірювань
- 2 Державні та міждержавні стандарти
- 3 Значення єдності вимірювань

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, проектор.

Література:

- 1 Электрические измерения. Под ред. В.Н. Малиновского М.; Энергоиздат, 1982
- 2 Попов В.С. Электротехнические измерения. Учебник для техникумов. М., “Энергии”, 1968.
- 3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов. –М.: Радио и связь, 1985.
- 4 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов. Под ред. Е. М. Душина.- 6-е изд., перераб. и доп. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987

5 Атамальян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

1 Метрологічне забезпечення єдності вимірювань

Єдність вимірювань — стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в одиницях вимірювань, а характеристики похибок або невизначеності вимірювань відомі із заданою ймовірністю та не виходять за встановлені границі

Аналіз порівняно простих методів вимірювань показує, що похибки результатів вимірювань залежать значною мірою від засобів вимірювань, їх стану, класу точності, кваліфікації і підготовки персоналу тощо. Досягнути високої точності вимірювань неможливо без забезпечення одноманітності засобів виміральної техніки, тобто такого їх стану, коли вони проградуєвані у прийнятих одиницях, а їх метрологічні характеристики відповідають нормам. Засоби вимірювань мають бути своєчасно відремонтовані, повірені у метрологічних установах і мати належне обслуговування. Крім того, на точність вимірювань значною мірою впливають методи вимірювань, зовнішні чинники, фізіологічний стан спостерігача та багато інших факторів.

При використанні сучасних складних методів вимірювання засоби вимірювань не завжди визначають сумарну похибку вимірювань, оскільки на похибку більше впливають недосконалість методу вимірювання, помилки експериментатора та зміна умов проведення вимірювання. Тому важливо забезпечити одноманітність засобів вимірювань, єдність вимірювань, умови проведення експерименту, а також чітко визначити мету та послідовність опрацювання результатів експерименту за допомогою ЕОМ.

Також, важливими є вироблення і дотримання правил, що регламентують порядок підготовки, проведення і опрацювання результатів вимірювань (правила законодавчої метрології), встановлення еталонної бази і комплексу зразкових засобів вимірювань для передачі розміру одиниць фізичних величин від еталонів зразковим і робочим засобам вимірювань (повірочні схеми) та організація контролю за виконанням правил і норм законодавчої метрології та своєчасною повіркою і атестацією. Таким чином, забезпечення єдності вимірювань як діяльності, спрямованої на досягнення і підтримку єдності вимірювань в Україні є досить складним і відповідальним завданням, яке й визначає головний зміст метрології і метрологічних служб держави. Виходячи з цього, *метрологічне забезпечення* — це встановлення і застосування метрологічних норм і правил, а також розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності і потрібної точності вимірювань всіх засобів виміральної техніки в державі. Науковою основою метрологічного забезпечення є *метрологія* — наука про вимірювання, про методи та засоби забезпечення єдності вимірювань і способи досягнення потрібної точності^[2].

Технічними основами метрологічного забезпечення є: система державних одиниць фізичних величин, система передачі розмірів одиниць фізичних величин від еталонів усім засобам вимірювань, система розробки, постановки на виробництво і випуску в обіг робочих засобів вимірювань необхідної точності для промисловості, система обов'язкових державних і відомчих повірок або метрологічної атестації засобів вимірювань, система стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, система стандартних довідкових даних про фізичні константи та властивості речовин і матеріалів тощо.

Організаційною основою метрологічного забезпечення є метрологічний контроль і нагляд з боку відповідних служб. Державний метрологічний контроль і нагляд (ДМКН) здійснюється Державною метрологічною службою, яку очолює Держспоживстандарт України, а метрологічний контроль і нагляд здійснюється метрологічними службами центральних органів виконавчої влади, та метрологічними службами підприємств і організацій.

Загальні правила і норми метрологічного забезпечення встановлюються стандартами державної системи забезпечення єдності вимірювань. Остання є комплексом установлених стандартами взаємопов'язаних правил, положень, вимог і норм, які визначають організацію і методiku проведення робіт для оцінки та забезпечення єдності і точності вимірювань.

Єдність вимірювань досягається на основі стандартизації:

- одиниць фізичних величин;
- державних еталонів і повірочних схем;
- методів і засобів повірки засобів вимірювань;
- нормування метрологічних характеристик;
- норм точності вимірювань;
- способів вираження і форм представлення результатів вимірювань та показників точності вимірювань;
- методик проведення вимірювань;
- методик оцінки достовірності й форми представлення даних про властивості речовин і матеріалів;
- вимог до зразків складу і властивостей речовин та матеріалів;
- організації і порядку проведення державних випробувань, повірки, метрологічної атестації засобів вимірювань, метрологічної експертизи, нормативно-технічної, проектної, конструкторської і технологічної документації.

•

2 Державні та міждержавні стандарти

Перелік основних нормативних документів, що регламентують забезпечення єдності вимірювань в Україні:

- ДСТУ 3561.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення.

- ДСТУ 3561.1-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Похідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні поняття, назви та позначення.

- ДСТУ 3561.2-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Фізичні сталі та характеристичні числа.

- ДСТУ 3215-95 Метрологія. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення.

- ДСТУ 3400-2000 Метрологія. Державні випробування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення і розгляду результатів.

- ДСТУ 2708-99 Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення.

- ДСТУ 3989-2000 Метрологія. Калібрування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення та оформлення результатів.

- ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерения.

- ГОСТ 8.010-90 ГСИ. Методика выполнения измерений.

- МИ 1317-86 ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.

3 Значення єдності вимірювань

Дотримання єдності вимірювань полягає в регламентованому процесі виготовлення та експлуатації засобів вимірювальної техніки і робить позитивний вплив у різноманітних галузях, а саме: підвищує точність результатів вимірювань, а значить і достовірність наукових досліджень; забезпечує економію матеріальних цінностей і ресурсів; сприяє (хоча і непрямым чином) зростанню якості продукції, ефективності виробництва, розвитку медицини, військової справи, охорони довкілля, тощо.