

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.

**Методичні вказівки щодо організації
самостійної роботи студентів III курсу
з дисципліни Електричні вимірювання
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

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №1

Тема: Основні поняття про засоби вимірювання

Мета: Вивчити поняття електричної міри та засоби вимірювання

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Основні поняття про засоби вимірювання електричних величин

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

Питання для самоконтролю.

1 Пояснити поняття засоби вимірювання

2 Перерахуйте основні міри електричних величин

3 Поняття вимірювального пристрою

4 Основні характеристики електро-вимірювальних пристроїв

1 Основні поняття про засоби вимірювання електричних величин

Засобами вимірювання електричних величин називають технічні пристрої, які використовуються при вимірюваннях і які мають задані метрологічні характеристики.

Найчастіше до засобів вимірювання відносять: міри, вимірювальні перетворювачі, вимірювальні прилади та установки.

Міра призначена для відтворення фізичної величини заданого значення.

До основних *мір* електричних величин відносять міри: е. р. с, електричного опору, індуктивності, електричної ємності та інші. Набори мір називають магазинами . Міри вищого класу називаються зразковими. Вони призначені для перевірки градування робочих мір і вимірювальних приладів.

Вимірювальні перетворювачі призначені для створення електричного сигналу в формі, зручній для передачі, наступного перетворення, опрацювання та зберігання, але в такій, що не сприймаються безпосередньо.

Розрізняють перетворювачі електричних величин в електричні – шунти, додаткові опори, подільники напруги та інші., а також перетворювачі неелектричних величин в електричні – первинні перетворювачі.

Вимірювальні пристрої призначені для створення сигналів в формі, яка доступна для безпосереднього спостереження.

До них відносять, наприклад, амперметр, вольтметр, ватметр та інші.

Електровимірювальна установка уявляє собою сукупність мір, вимірювальних перетворювачів і пристроїв, які знаходяться в одному місці і призначені для утворення сигналів в формі, зручній для безпосереднього спостереження. Всі засоби вимірювання, зокрема електровимірювальні прилади, можна класифікувати за такими признаками: за видом отриманої інформації, за методом вимірювання, за способом подачі та реєстрації інформації.

За видом отриманої інформації електровимірювальні пристрої поділяють на пристрої для вимірювання електричних (струм, напруга, потужність та інші.) і неелектричних (температура, тиск, вологість та інші) величин ; за методом вимірювання – на пристрої безпосередньої оцінки (амперметр, вольтметр тощо) та пристрої порівняння (вимірювальні мости і компенсатори); за способом подачі вимірювальної інформації – на аналогові та дискретні (цифрові).

Аналогові вимірювальні пристрої, в свою чергу, можуть бути електромеханічними та електронними.

Основними характеристиками електро – вимірювальних пристроїв є:

похибка, варіація показань, чутливість, потужність, що споживається, час встановлення показань та надійність.

Варіація показань приладу – найбільша різниця показань приладу при одному і тому ж значенні вимірювальної величини.

Вона визначається при плавному підході стрілки до вибраної відмітки шкали при русі стрілки один раз від початкової, а другий раз від кінцевої відмітки. Причиною варіації є, як правило, тертя в опорах рухомої частини приладу.

Чутливість S приладу – відношення приросту переміщення показника Δa до приросту вимірювальної величини Δx :

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

Якщо чутливість постійна (шкала рівномірна) , то її можна визначити як

$$S = a / x.$$

Величина, зворотна чутливості ($C = 1/ S$) , називається ціною поділки приладу. Вона дорівнює числу одиниць вимірювальної величини, що припадають на одну поділку шкали .

Наприклад, при $S = 10$ поділок / В постійна $C = 0,1$ В / поділку.

Потужність, що споживається – потужність, яку споживає прилад при ввімкненні його в коло.

В результаті цього змінюється режим роботи кола, а це приводить до збільшення похибок вимірювання. Тому незначне споживання енергії є перевагою приладу.

Час встановлення показань – проміжок часу з моменту ввімкнення вимірювальної величини до моменту, коли укажчик займе положення, що відрізняється від значення, що встановлюється, не більше як на 1,5 %.

Час встановлення показань для більшості аналогових вимірювальних пристроїв складає не більше 4 с.

Надійність – здатність електровимірювальних приладів зберігати задані характеристики при визначених умовах роботи на протязі заданого часу. Кількісною мірою надійності є середній час безвідмовної роботи приладу .

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №2

Тема: Умовні позначення на щитках приладів

Мета: Вивчити умовні позначення на вимірювальних приладах

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Основні умовні позначення на циферблатах аналогових електровимірювальних приладів
- 2 Приклад на щитку

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Поділ приладів по роду вимірювальної величини.
- 2 Позначення систем приладів.
- 3 Додаткові позначення по виду перетворювача.
- 4 Додаткові позначення по захисту від полів.

1 Основні умовні позначення на циферблатах аналогових електро-вимірювальних приладів

Назва	Умовне позначення
1. Рід Струму	
- постійний струм	—
- змінний однофазний струм	~
- постійний і змінний струм	⌒
- трифазний змінний струм	≡
2. Нормальне положення приладу	
- горизонтальне	┌
- вертикальне	└
- під певним кутом (наприклад, під кутом 60°)	/60°
- прилад можна застосовувати в робочому діапазоні кутів від 45° до 75°	/45...60...75°
3. Міцність ізоляції (вимірювальне коло приладу ізольоване від його корпусу і випробуване при нарузі)	
- 500 В	☆
- більше ніж 500 В (наприклад, 2 кВ)	☆2
- прилад випробуванню ізоляції не підлягає	☆0
4. Клас точності, виражений у формі	
- зведеної похибки	0,5
- зведеної похибки (у відсотках від довжини шкали)	0,5
- відносної похибки за одночленною формулою	(0,5)
5. Позначення системи вимірювального механізму приладу	
- магнітоелектричний (звичайний і логометричний)	⌒ ⊗
- електромагнітний (звичайний і логометричний)	⌒ ⊕
- електродинамічний (звичайний і логометричний)	⊕ ⊖

- феродинамічний (звичайний і логометричний)	
- електростатичний	
- індуктивний (звичайний і логометричний)	
- випрямний	
- термоелектричний	
6. Перетворювач змінного струму в постійний	
- випрямляч напівпровідниковий	
- випрямляч електромеханічний	
- термоперетворювач ізольований	
- термоперетворювач неізольований	
7. Екран	
- електростатичний	
- магнітний	
8. Додаткові елементи вимірювального кола	
- шунт	
- додатковий резистор	
- додаткова індуктивність	
- затискач для заземлення	
9. Частотний діапазон	
- нормальний (підкреслений)	<u>45...100...1500 Гц</u> <u>45...100 Гц</u>
- робочий	100...1500 Гц

2 Приклад на щитку

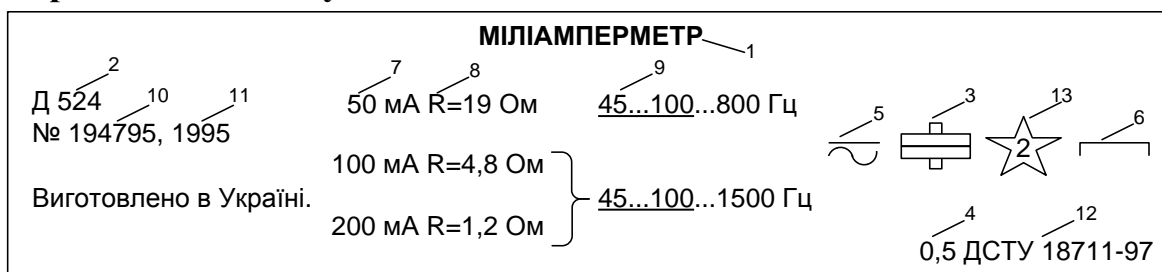


Рисунок 7 - Умовні позначення на циферблаті аналогового електровимірювального

приладу : 1 — назва приладу; 2 — тип приладу; 3 — система вимірювального механізму; 4 — клас точності приладу; 5 — рід струму (постійний, змінний); 6 — робоче положення; 7 - границі вимірювання; 8 — внутрішній опір; 9 — частотний діапазон; 10 — заводський номер; 11 — рік виготовлення; 12 — державний стандарт, якому відповідає прилад; 13 — напруга випробовування ізоляції приладу (у цьому приладі — 2 кВ)

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №3

Тема: Міри електричного опору і ємності

Мета: Вивчити поняття електричної міри опору та ємності

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1. Міра електричного опору.
2. Міра електричної ємності.

Література:

- 1 Електрические 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
- 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

Питання для самоконтролю.

- 1 Пояснити поняття міри електричного опору
- 2 Пояснити поняття міри електричної ємності

1Міра електричного опору

Як міри електричного опору використовують *зразкові котушки опору*, які виконують на основі резисторів з манганінового дроту чи стрічки.

Манганін — це сплав міді, марганцю й нікелю з домішкою алюмінію та заліза. Він має досить високий питомий електричний опір (0,47...0,48 Ом • ммУм), зовсім малий температурний коефіцієнт опору і малу тер-мо-ЕРС у з'єднанні з міддю (1 мкВ/К).

Високий питомий опір дає можливість виконати котушку з малою довжиною намотаного проводу. Малий температурний коефіцієнт опору забезпечує незначну зміну опору при зміні температури в місці вимірювань і незначну за- і лежність опору котушки від величини струму.

Незначна термо-ЕРС у з'єднанні з міддю дає можливість вмикати котушку в які завгодно вимірювальні схеми, де з'єднання зроблено звичайним мідним дротом, без побоювання того, що у місцях з'єднання під дією чи то місцевої температури

довкілля, чи то нагріву їх струмом з'являться неконтрольовані термо-ЕРС, які призведуть до появи похибки у вимірюваннях.

Для порівняння зауважимо, що питомий електричний опір манганіну у 25 разів більший за питомий опір міді, температурний коефіцієнт електричного опору манганіну майже у 140 разів менший, ніж у міді, термо-ЕРС у з'єднанні манганін—мідь десь у 40...50 разів менша, ніж у з'єднанні міді з константаном.

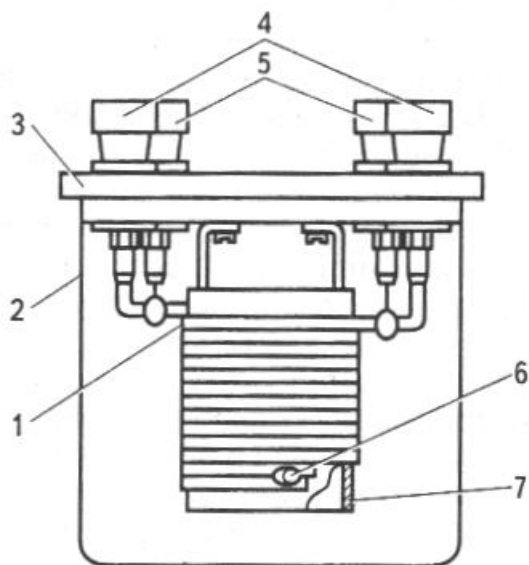


Рис. 3.2
Зразкова котушка опору

Будову *зразкової котушки опору* показано на рис. 3.2, Ізольований манганіновий провід чи стрічку 7 намотано на металевий чи керамічний каркас 7, жорстко закріплений на ізоляційній основі 3, до якої також прикріплено захисний металевий кожух 2, два контактні затискачі 4 для вмикання котушки в коло струму і два контактні затискачі 5 для приєднання котушки до кола виміру напруги. Наявність у котушки чотирьох затискачів необхідна для вилучення з кола вимірювання напруги контактного опору затискачів, по якому протікає робочий струм котушки. Номінальним опором котушки вважається той, що знаходиться між місцями приєднання затискачів 5 до проводу, який намотано на каркас 7.

У більшості зразкових котушок ізольований провід 1 намотано на каркас у дві паралельні гілки (біфілярно), причому початкові частини цих гілок приєднано до затискачів 4 і 5, а кінці 6 з'єднані разом. Переносячи точки лютування кінцевої частини вказаних гілок, підганяють опір зразкової котушки до його номінального значення. Котушки номінального опору від 0,001 до 100 000 Ом виробляють з класами точності 0,01 та 0,02.

Клас точності котушки опору відповідає допустимому відхиленню (у відсотках) дійсного значення опору котушки від номінального значення її опору, за винятком котушок з класами точності 0,0005...0,01, для яких клас точності показує найбільшу величину зміни опору котушки за один рік, виражену у відсотках від номінального значення опору.

Всі зразкові котушки опору придатні до вмикання в коло постійного струму, але не всі вони придатні до роботи в колах змінного струму, де повний опір буде

відрізнятися від їхнього активного опору через вплив залишкових індуктивностей і ємностей. Досвід показує, що такі котушки за їхніх малих номінальних опорів усе ж таки мають деяку залишкову індуктивність, яка при вмиканні котушок у кола змінного струму робить їхній повний опір більшим за номінальний. Стосовно котушок з великими номінальними опорами, то за наявності біфілярних обмоток, завдяки міжвитковим ємностям, активний опір котушки дещо шунтується цими ємностями, через що повний опір таких котушок дещо менший за їхній номінальний опір.

2 Зразкові міри ємності

Зразкові міри ємностей виконують як конденсатори постійної ємності з повітряним чи твердим діелектриком (переважно слюдяним). У разі необхідності використання багатозначних мір ємності застосовують повітряні конденсатори змінної ємності або магазини ємностей з конденсаторами, що мають твердий діелектрик.

Зовнішній вигляд магазину ємностей наведено на рис. 3.7. Третій затискач тут з'єднано з корпусом магазину. Його необхідно підімкнути до заземлення. Щоб зменшити рівень перешкод, які можуть впливати на точність

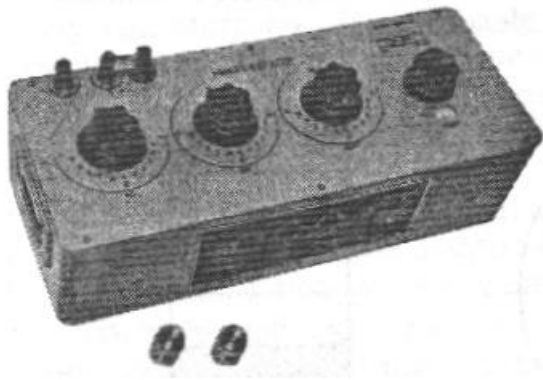


Рис. 3.7
Магазин ємностей

вимірювань, у схемі, до якої буде приєднано магазин ємностей, бажано заземлювати і один із затискачів ємності магазину.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №4

Тема: Основні характеристики вимірювальних приладів

Мета: Вивчити основні характеристики вимірювальних приладів

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Чутливість електровимірювального приладу.
- 2 Ціна поділки шкали приладу
- 3 Клас точності

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
- 7 Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989
- 8 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

Питання для самоконтролю.

- 1 Пояснити поняття чутливості електровимірювального приладу.
- 2 Пояснити поняття ціна поділки шкали приладу
- 3 Пояснити поняття клас точності

З розвитком науки і техніки електричних вимірювань неодмінно підвищуються вимоги до якості електровимірювальних приладів. Перша основна вимога, що ставиться до всіх електричних вимірювальних приладів, полягає в тому, щоб вмикання їх якнайменше впливало на режим в даному електричному колі. Друга вимога ставиться до чутливості і точності, що їх дає прилад. Третя вимога – це незалежність дії і показу приладу від зовнішніх умов (температури, магнітного або електричного поля і т. ін.).

1 Чутливість електровимірювального приладу.

Під чутливістю S електровимірювального приладу розуміють відношення лінійного або кутового переміщення покажчика (стрілки) $d\alpha$ до зміни величини dx , яка вимірюється, і зумовила це переміщення:

$$S = \frac{d\alpha}{dx} .$$

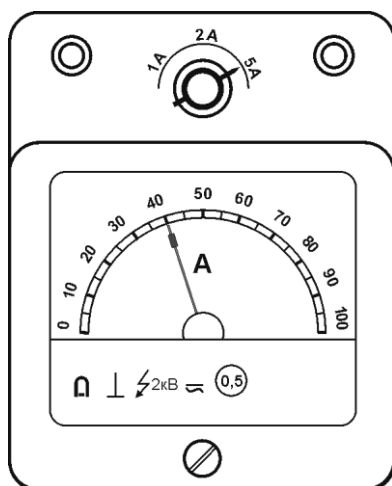


Рис.1.12

Розмірність чутливості залежить від характеру вимірюваної величини: чутливість приладу до струму, чутливість приладу до напруги і т.д. Наприклад, якщо стрілка міліамперметра відхилилась на одну поділку при протіканні через нього струму величиною $0,5 \text{ mA}$, то чутливість буде: $S = 1 / 0,5 = 2 \text{ под/мА}$.

2 Ціна поділки шкали приладу.

Перед початком проведення електричних вимірювань необхідно визначити ціну поділки шкали приладу, тобто, *значення вимірюваної електричної величини, що викликає відхилення стрілки (вказівника) приладу на одну поділку*. В загальному випадку ціна поділки є різницею значень вимірюваної величини для двох сусідніх поділок шкали. Ціна поділки залежить від верхньої і нижньої межі вимірювання приладу і від числа поділок шкали. Особливо це треба мати на увазі тоді, коли використовується при вимірюванні прилад, в якого верхня межа вимірювань має декілька значень (рис. 1.12).

Наприклад, в електричне коло ввімкнено амперметр, верхня межа якого встановлена на 5А (рис. 1.12), а шкала приладу має 100 поділок, то ціна поділки такого приладу дорівнює:

$$G = \frac{5}{100} = 0,05 \frac{\text{А}}{\text{под}}$$

Чутливість приладу в даному випадку дорівнюватиме:

$$S = \frac{1}{G} = \frac{1}{0,05} = 20 \frac{\text{под}}{\text{А}}$$

3 Клас точності. Однією з важливих характеристик електровимірювального приладу є клас точності, який необхідно знати при визначенні похибки вимірюваної величини. Залежно від ступеня точності показів електровимірювального приладу поділяються на сім класів, що позначаються відповідно числами: **0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0**. Клас точності приладу вказується на його шкалі числом, вміщеним всередині кола. Наприклад, клас точності приладу, показаного на рисунку 1.12, дорівнює 0,5.

Клас точності приладу, це задане у відсотках відношення допустимої основної абсолютної похибки приладу в робочій частині шкали до верхньої межі вимірювального приладу. Основною похибкою називається похибка при нормальних умовах роботи приладу (певна температура, нормальне положення приладу, відсутність магнітних і електричних полів і т.д.). Причинами основної похибки є тертя в опорах рухомої частини приладу, неточність градування і нанесення шкали і т.д.). Робочою частиною у випадку рівномірної шкали є вся шкала, для нерівномірної – від 25% до 100% від верхньої межі шкали.

Для знаходження основної відносної похибки, заданої у відсотках, необхідно величину класу точності помножити на відношення верхньої межі вимірювання до значення вимірюваної величини. Наприклад, якщо амперметр з класом точності 0,5 і верхньою межею 5А показує 2,0А (рис. 1.12), то основна відносна похибка дорівнює:

$$\delta I = 0,5 \cdot \frac{5}{2,0} = 1,25\%$$

Враховуючи, що $\delta I = \frac{\Delta I}{I} \cdot 100\%$, де ΔI – максимальна абсолютна похибка, I – виміряна величина, то абсолютна похибка в приведеному випадку становитиме:

$$\Delta I = \frac{1,25\% \cdot 2,0}{100\%} = \pm 0,025\text{А}$$

Ця абсолютна похибка має місце при будь-якому показі струму даним приладом. В той же час відносна похибка в різних ділянках шкали, тобто для різних показів приладу, має різне значення, причому, при наближенні показів приладу до

початку шкали відносна похибка збільшується. Наприклад, якщо амперметр, що розглядався у вище наведеному прикладі, дає відлік 0,5А, то основна відносна похибка буде вже дорівнювати:

$$\delta I = 0,5 \cdot \frac{5}{0,5} = 5\%$$

Звідси випливає, що користуватися початковою частиною шкали приладу небажано. Тому для одержання точніших вимірювань рекомендується користуватися такими приладами, щоб шукана вимірювана величина була близькою до номінального (граничного) показу їх шкали. Наприклад, якщо необхідно виміряти струм, величина якого біля 2,5А, то при наявності двох амперметрів з однаковим класом точності і з верхньою межею у одного 10А, а в другого – 3А, доцільніше для більшої точності вимірювань використати амперметр з верхньою межею 3А. Цю вимогу задовольняють прилади, що мають кілька меж вимірювань.

Додаткові похибки електровимірювальних приладів, які залежать від зміни температури, частоти струму, положення приладу, впливу зовнішніх магнітних полів, не повинні перевищувати значення класу точності.

Таким чином, для розглянутого вище прикладу (показ амперметра дорівнює 2,5А), загальна відносна похибка, що складається з основної і додаткової, не повинна перевищувати 2%.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №5

Тема: Магнітоелектрична вимірювальна система

Мета: Вивчити будову, принцип дії магнітоелектричної вимірювальної системи

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Будова, принцип дії магнітоелектричної вимірювальної системи.

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

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

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

Питання для самоконтролю.

1 Пояснити будову, принцип дії магнітоелектричної вимірювальної системи

1 Магнітоелектрична система.

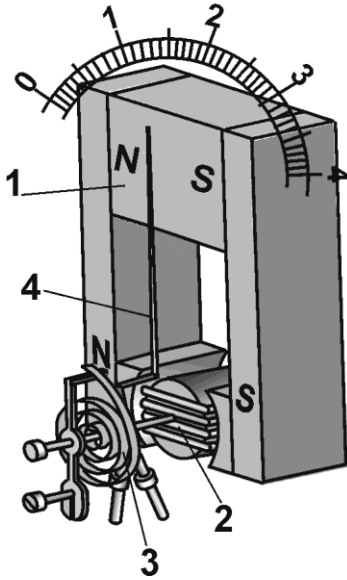


Рис. 1.1

Принцип дії приладів магнітоелектричної системи ґрунтується на дії магнітного поля постійного магніту на рухому котушку, по якій протікає струм, величину якого необхідно виміряти. Схема будови такого приладу приведена на рис. 1.1. Магнітне поле створюється сильним постійним магнітом підковоподібної форми. До ніжок цього магніту прикріплені полюсні наконечники (N, S), які вгнутими циліндричними поверхнями обернені один до одного. Між цими наконечниками нерухомо закріплено залізний циліндр дещо меншого радіуса. Цей циліндр служить магнітопроводом, і тим самим зменшує втрати

магнітного поля між полюсними наконечниками.

У невеликому повітряному щілині між залізним циліндром і полюсними наконечниками може вільно обертатися на осі котушка 2, яка охоплює залізний циліндр. Котушка складається з алюмінієвого каркаса прямокутної форми, на якому намотана тонка дротина. На осі котушки закріплена стрілка 4, кінець якої переміщується над шкалою з поділками. Взаємодія струму, що проходить по обмотці котушки, і магнітного поля в повітряній щілині зумовлює виникнення обертового моменту, під дією якого котушка намагається обертатися на осі. Момент протидії створюють дві спіральні пружини 3, які закручені в протилежні сторони і одночасно служать для підведення струму. При пропусканні постійного струму через котушку, за рахунок взаємодії струму з магнітним полем магніту котушка буде обертатись навколо осі до тих пір, поки момент протидії пружин, який зростає із збільшенням кута повороту котушки, не стане рівним обертовому моменту. Оскільки момент протидії пружин пропорційний до кута закручування, то кут відхилення котушки і з'єднаної з нею стрілки буде пропорційний силі струму, що протікає по котушці.

Лінійна залежність між струмом і кутом відхилення стрілки дає можливість зробити шкалу приладу рівномірною. Через те, що каркас рухомої котушки виготовлений з алюмінію, тобто, з провідника, то при русі в магнітному полі індукційні струми, що виникають у ньому створюють гальмівний момент, який обумовлює швидке заспокоєння стрілки.

Прилади магнітоелектричної системи використовують для вимірювань тільки у колах постійного струму. Постійний струм необхідно пропускати через котушку в одному визначеному напрямі. Прилади, які мають такі властивості, називаються поляризованими і мають на своїх затискачах позначення “+” і “-“. Якщо дивитися на прилад зі сторони шкали, то знак “+” ставиться біля правого затискача (клеми). При вмиканні приладу в коло до цього затискача підводять провідник від додатного затискача джерела струму. Ця вимога не стосується приладів, в які мають нульову поділку посередині шкали.

До переваг приладів магнітоелектричної системи відносяться:

- а) висока чутливість і точність показів;
- б) нечутливість до зовнішніх магнітних полів;
- в) мале споживання енергії;
- г) рівномірність шкали;
- д) аперіодичність (стрілка швидко встановлюється на певній поділці шкали практично без коливань).

До недоліків приладів цієї системи можна віднести:

- а) можливість проводити вимірювання тільки в колі постійного струму;
- б) чутливість до перевантажень.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №6

Тема: Електродинамічна вимірювальна система

Мета: Вивчити будову, принцип дії електродинамічної вимірювальної системи

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Будова, принцип дії електродинамічної вимірювальної системи.

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Пояснити будову, принцип дії електродинамічної вимірювальної системи
- 2 Переваги і недоліки системи

1 Електродинамічна система.

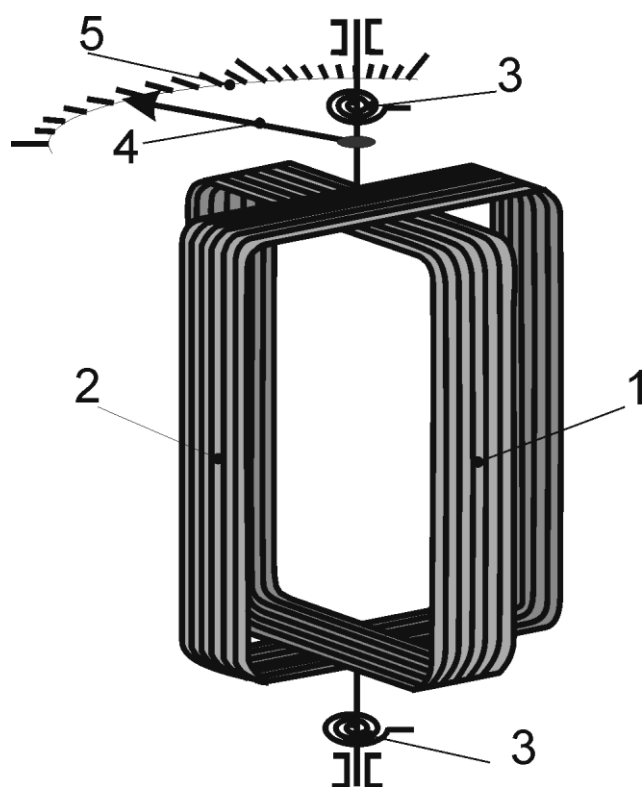


Рис. 1.3

Будову приладу електромагнітної системи видно із схематичного рисунка 3.

Всередині нерухомо закріпленої котушки 1 може обертатись на осі рухома котушка 2, до якої жорстко прикріплена стрілка 4, що переміщається над шкалою 5. Момент протидії створюється двома спіральними пружинами 3, як і в приладах магнітоелектричної системи. Струм, який необхідно виміряти, проходить через обидві котушки. В результаті взаємодії магнітного поля нерухомої котушки 1 і струму в рухомій створюється обертовий момент, під впливом якого рухома котушка буде намагатись повернутися так, щоб

площина її витків встановилась паралельно до площини витків нерухомої котушки, а їх магнітні поля співпадали б за напрямом. Цьому протидіють пружинки 3, внаслідок чого рухома котушка встановиться в такому положенні, коли обертовий момент буде дорівнювати протидіючому.

Котушки в приладах електродинамічної системи, в залежності від призначення, можуть бути з'єднані між собою як паралельно, так і послідовно. Якщо котушки приладу з'єднати паралельно, то такий прилад може бути використаний як амперметр. Якщо котушки з'єднати послідовно і приєднати до них додатковий опір, то такий прилад може бути використаний як вольтметр.

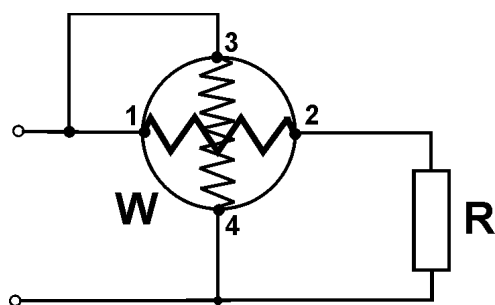


Рис. 1.4

При зміні напрямку струму в обох котушках напрям обертового моменту не

змінюється. Тому прилади електродинамічної системи можуть використовуватись як для вимірювань на постійному, так і на змінному струмах. Аперіодичність в цих приладах, аналогічно як і в електромагнітних, досягається при допомозі повітряного заспокоювача.

При вимірюванні в електричному колі потужності, що споживається з електричної мережі, широко використовується електродинамічний ватметр. Схема вмикання ватметра в електричне коло приведена на рис

Він має дві котушки: нерухому **1-2** (рис.1.4), яка має невелике число витків з товстого дроту, і вмикається послідовно з тією ділянкою кола, в якій необхідно виміряти споживану потужність; і рухому котушку **3-4**, яка має велику кількість витків з тонкого дроту, і розміщена на осі всередині нерухомої котушки. На цій же осі закріплена стрілка, поршень повітряного заспокоювача і дві спіральні пружинки, які служать для створення протидіючого моменту і підведення струму до рухомої котушки. Рухома котушка вмикається в електричне коло паралельно до цієї ділянки, де вимірюється споживана потужність. Для збільшення опору рухомої котушки послідовно з нею в приладі ввімкнено додатковий опір R_d .

В даному випадку сила взаємодії між котушками, а, значить, і кут обертання рухомої котушки пропорційні силі струму в нерухомій котушці і напрузі на затискачах рухомої котушки, тобто, пропорційні потужності, що споживається в електричному колі. Отже, відхилення рухомої частини приладу пропорційне потужності і тому шкалу приладу можна проградувати у ватах. З цього також випливає, що на відміну від електродинамічних амперметрів і вольтметрів, ватметр цієї системи має рівномірну шкалу. Схема вмикання ватметра в електричне коло приведена на рис.4.

Переваги приладів електродинамічної системи:

- а) можливість проводити вимірювання у колах постійного струму і змінного струму;
- б) достатня точність.

Недоліки приладів електродинамічної системи:

- а) нерівномірність шкали амперметрів і вольтметрів цієї системи;
- б) чутливість до зовнішніх магнітних полів;
- в) велика чутливість до перевантажень;
- г) висока ціна цих приладів.

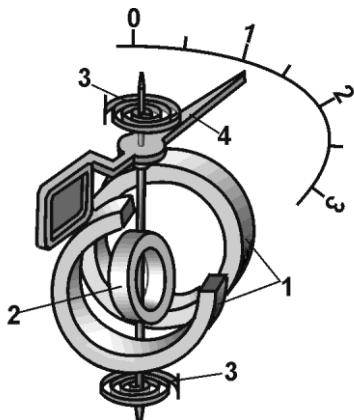


Рис. 1.5

Електродинамічні амперметри і вольтметри використовуються, головним чином, як контрольні прилади при вимірюваннях у колах змінного струму. Для вимірювання постійного струму такі прилади використовувати недоцільно, оскільки вони дорожчі від магнітоелектричних і не мають в порівнянні з ними жодних переваг.

Є електродинамічні прилади, що складаються з трьох котушок (Рис. 1.5): двох нерухомих 1 і однієї рухомої 2, сполученої з легенькою алюмінієвою стрілкою 4. Котушка 2 обертається всередині двох нерухомих. По котушках 1 проходить струм однакового напрямку, а по рухомій 2 – у напрямі, перпендикулярному до згаданого. Чим більший іде струм, тим на більший кут повертається рухома котушка, розкручуючи спіральні пружинки 3, які створюють протидіючий момент. Ці ж пружинки за відсутності струму повертають рухома котушку і сполучену з нею стрілку у вихідне положення. Шкала цих приладів теж є нерівномірною.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №7

Тема: Індукційна вимірювальна система

Мета: Вивчити будову, принцип дії індукційної вимірювальної системи

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Будова, принцип дії індукційної вимірювальної системи.

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

Питання для самоконтролю.

1 Пояснити будову, принцип дії індукційної вимірювальної системи

2 Переваги і недоліки системи

1. Індукційна система.

Будова приладів індукційної системи заснована на взаємодії струмів, що індукуються в рухомій частині приладу, з магнітними потоками нерухомих електромагнітів. Схематичне зображення такого приладу приведене на рис. 1.7.

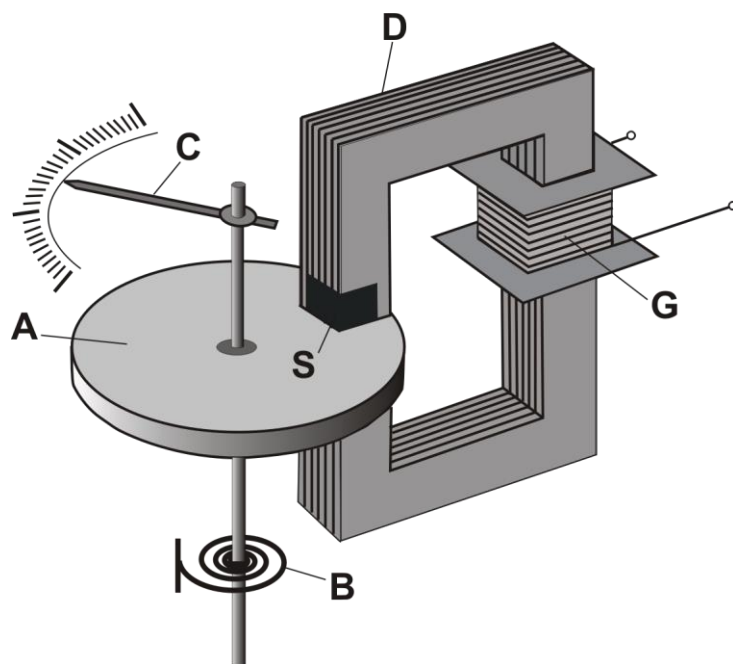


Рис. 1.7

Алюмінієвий диск **A** жорстко скріплений з віссю, на якій закріплена пружина **B** і стрілка **C**. Цей диск може переміщатися в повітряній щілині електромагніту **D** з обмоткою **G**. Частина поверхонь обох полюсів електромагніту прикривається мідними або алюмінієвими пластинками **S**, тобто, ці пластинки виконують роль електромагнітних екранів. Змінний струм, що проходить по обмотці котушки **G**,

створює магнітний потік, який екранами розділяється на два потоки, зсунуті між собою за фазою на деякий кут. Внаслідок цього на диск буде діяти обертовий момент.

До індукційної системи відносяться електричні лічильники змінного струму. Використовуються також і ватметри цієї системи. Щодо амперметрів і вольтметрів індукційної системи, то вони мають дуже обмежене використання.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №8

Тема: Електростатична вимірювальна система

Мета: Вивчити будову, принцип дії електростатичної вимірювальної системи

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Будова, принцип дії електростатичної вимірювальної системи.

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Пояснити будову, принцип дії індукційної вимірювальної системи
- 2 Переваги і недоліки системи

1. Електростатична система.

Будова приладів цієї системи заснована на взаємодії двох або декількох електрично заряджених провідників. Під дією сил електростатичного поля рухомі провідники **2** переміщуються відносно нерухомих провідників **1** (рис. 1.10).

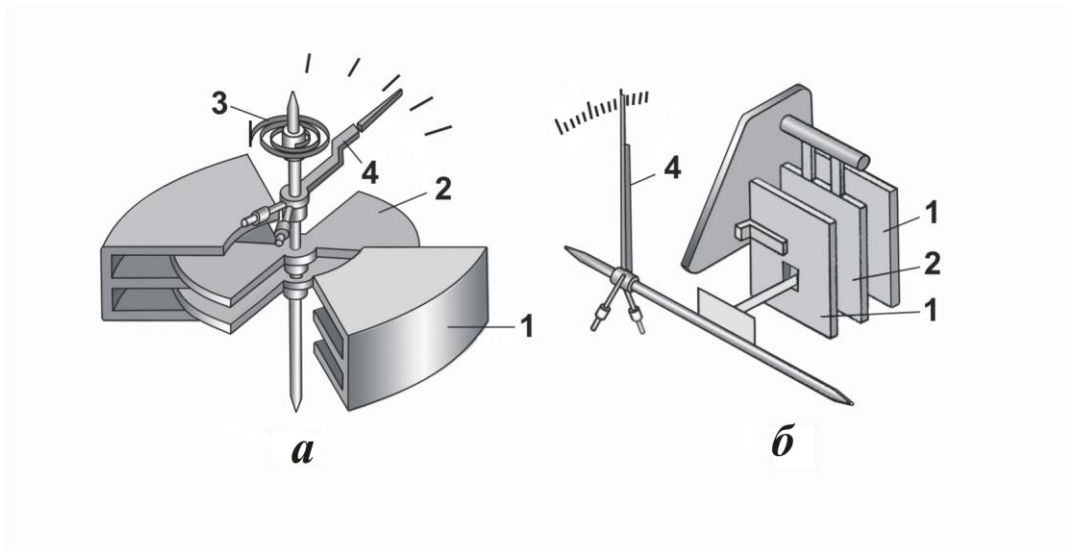


Рис.1.10

Рухомі провідники жорстко закріплені на осі обертання, на якій закріплена стрілка 4, що переміщається над шкалою. Електростатичні прилади служать, як правило, вольтметрами для безпосереднього вимірювання високих напруг

З описуваного нижче принципу дії приладів електростатичної системи видно, що на противагу приладам всіх інших систем відхилення рухливої частини в цих приладах залежить не від величини струму, що проходить через них, а від однієї лише напруги, прикладеної до їхніх затискачів. Із сказаного вище, випливає, що із приладів електростатичної системи можуть виготовлятися тільки вольтметри. Пристрій їх забезпечує можливість вимірювати напруги як постійного струму, так і змінного до дуже високих частот (близько 40 МГц). Електростатичні вольтметри володіють двома своєрідними й досить коштовними властивостями, а саме:

відсутністю власного споживання потужності при вимірах постійної напруги й дуже малим споживанням при вимірі змінної напруги; здатністю вимірювати високі напруги змінного струму без застосування вимірювальних трансформаторів. Перша властивість забезпечила застосування електростатичних вольтметрів у радіовимірювальній практиці, в області ультрависоких частот, де застосовувані лампові вольтметри не дають такої точності, як електростатичні. Друга властивість - можливість безпосередньо вимірювати високі напруги - дає економічний ефект, тому що високовольтні трансформатори є досить дорогими. Крім того, при технічних вимірах електростатичні вольтметри нічим не уступають вольтметрам інших систем. Однак необхідно відзначити, що в цей час виготовляються головним чином лабораторні вольтметри, призначені в основному для вимірювання напруг у ланцюгах високої частоти.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №9

Тема: Конструктивні елементи вимірювальних механізмів

Мета: Вивчити конструктивні елементи вимірювальних механізмів

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Загальні вузли й деталі приладів.

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Призначення і застосування видів шкал.
- 2 Призначення і застосування видів систем заспокоєння.
- 3 Особливості будови різних систем.

1 Загальні вузли й деталі приладів.

Корпус приладу захищає вимірювальний механізм від зовнішніх впливів, наприклад, від влучення в нього пилу, в окремих випадках - води й газів. Виконується частіше всього з пластмаси. Може бути основою, на якій збирається весь прилад (рис.2).

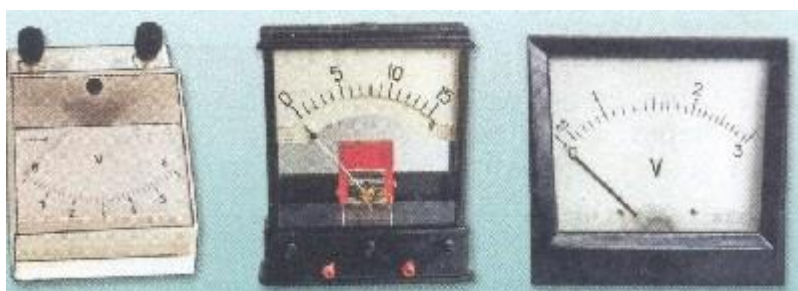


Рисунок 2 – Загальний вигляд приладів

Для визначення числового значення вимірюваної величини прилади мають відлікові пристрої, що складаються зі шкали та покажчика. Шкала являє собою пластину, що має білу поверхню із чорними відмітками, що відповідають певним значенням вимірюваної величини.

Покажчик являє собою стрілку, що переміщується над шкалою, жорстко скріплену з рухливою частиною приладу. Застосовується також світловий спосіб відліку: на рухливій частині закріплюється дзеркальце, освітлюване спеціальним освітлювачем. Промінь світла, відбитий від дзеркальця, попадає на шкалу й фіксується на ній, наприклад, у вигляді світлової плями з темною ниткою посередині. Світловий відлік дозволяє істотно збільшити чутливість приладу за рахунок того, що:

- кут повороту відбитого променя вдвічі більше кута повороту дзеркальця
- довжину променя можна зробити досить великою.

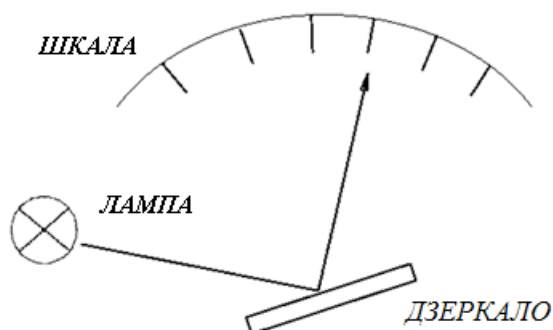


Рисунок 3 – Світловий покажчик

Спосіб установки рухливої частини визначається вибором елементів, що створюють протидіючий момент. Застосовується установка на опорах (при використанні спіральних пружин), на растяжках і на підвісі.

Установка на опорах складається з кернів і підп'ятників.. Керн - вісь із сталльної проволочи.

Підп'ятник - опора під керн, виготовлена з каменю агата або корунду, дуже довговічних, термовлагостійких матеріалів, що не бояться агресивних середовищ. Основний недолік цього методу установки - тертя в опорах, що викликає похибки, особливо на початковій стадії руху рухливої частини.

Протидіючий момент створюється однією або двома спіральними пружинами, виконаними з олов'яно-цинкової бронзи.

Пружини служать також для підведення струму до рухливих рамок.

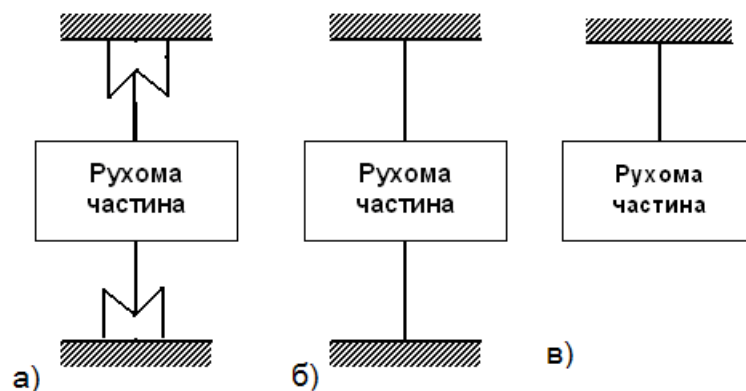


Рисунок 4 – Схеми кріплення рухомої частини ВП

Установка на растяжках найпоширеніша в приладах. Растяжки являють собою дві тонкі стрічки із бронзового, платино-серебряного або кобальтового сплавів, на яких підвішується рухлива частина ВМ. При використанні растяжек відсутнє тертя в опорах, полегшується рухлива система, підвищується вибросікість. Растяжки використовуються також для підведення струму та створення протидіючого моменту. Звичайно довжина растяжек менш 20 мм, товщина $n \cdot 10^{-2}$ мм, ширина 0,1...0,3 мм.

Установку рухливої частини на підвісі використовують в особливо чутливих приладах (гальванометрах).

Рухлива частина підвішується на тонкій металевій або кварцевій нитці. Струм у рамку рухливої частини підводять через нитку підвісу або спеціальні безмоментні тоководи із золота або срібла..

При транспортуванні рухливу частину закріплюють за допомогою арретира.

Необхідний ступінь заспокоєння досягається в приладах шляхом застосування спеціальних пристроїв називаних заспокоювачами. Вони бувають:

Магнітоіндукційні - момент заспокоєння створюється в результаті взаємодії полів постійного магніту і вихрових струмів, що виникають у металевих деталях, що рухаються, які являють собою алюмінієвий диск або короткозамкнений виток з мідного дроту, установлені на рухливій частині

Їхніми перевагами є простота конструкції, зручність регулювання. Застосовуються в тих випадках, коли поле гальмового магніту не впливає на показання приладу (малюнок 6.2,а).

Повітряний заспокоювач представляє собою камеру, у якій переміщується легке алюмінієве крило, що жорстко пов'язане з рухливою частиною вимірювального механізму. При переміщенні воздуха із однієї камери у іншу через зазор (між крилом та камерою) гальмується рух крила і коливання рухомої частини бистро затухають. Повітряний заспокоювач слабший за магнітоіндукційний.

Рідинний заспокоювач при коливаннях рухомої частини або її окремих деталей у в'язкій рідині з ними коливається безпосередньо дотичний та прилиплий до поверхні шар рідини, тоді як більш удалені шари залишаються у спокої.

Заспокоювачі кожного типа мають свої переваги та недоліки. Так, повітряний та рідинний заспокоювачі не створюють електричних та магнітних, що впливають на показання приладів, але відносно складні у виготовленні та регулюванні. Магнітоіндукційні прості та легко регулюються, але можуть використовуватися тільки тоді, коли поля, що ними створюються не впливають на результати вимірів.

Коректор призначен для установки стрілки у нульове положення, із якого по різним причинам вона може відхилитися.

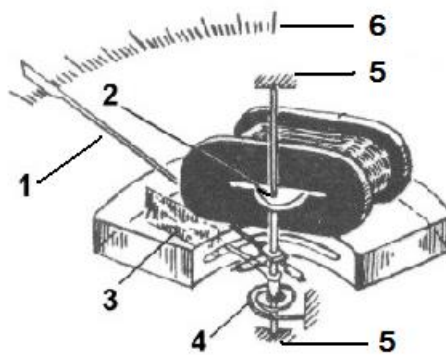


Рисунок 5 – Конструкція вимірювального механізму: 1- покажчик, 2 – вісь (кern), 3 – повітряний заспокоювач, 4 пружина, що створює протидіючий момент, 5 - підп'ятник, 6 – шкала.

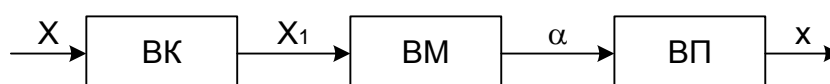


Рисунок 6 – Структура електромеханічних АВП: ВК – вимірювальне коло, ВМ – вимірювальний механізм, ВП – відліковий пристрій.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №10

Тема: Гальванометри вимірювальних систем

Мета: Вивчити будову, принцип дії гальванометра

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Будова , принцип дії магнітоелектричної системи.
- 2 Будова , принцип дії вібраційної системи.

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Пояснити будова , принцип дії магнітоелектричної системи.
- 2 Пояснити будова , принцип дії вібраційної системи.

1 Будова , принцип дії магнітоелектричної системи.

Для вимірювання дуже малих струмів, напруг і кількостей електрики (заряду) використовують дзеркальні гальванометри. В переважній більшості випадків дзеркальні гальванометри є приладами магнітоелектричної системи, у яких рухома частина виготовлена дуже легкою і закріплена не на осі, що повертається в підшипниках, а підвішена на дуже тонкій пружній металевій дротині. Будова такого гальванометра схематично показана на рис. 1.11

На пружній металевій нитці **A**, закріплена рухома котушка **B**, що може повертатися між полюсами сильного постійного магніту **NS**. Металева нитка одночасно підводить струм до одного з кінців котушки. Другий кінець котушки приєднаний до тонкої пружинки **C**, яка, в свою чергу, з'єднана з відповідним затискачем приладу. Котушка може обертатись навколо нерухомого циліндра **E**, який використовують для зменшення магнітного опору. На рухомій частині гальванометра закріплюють невелике дзеркальце **D**, при допомозі якого проводять відлік кута відхилення системи.

З теорії методу дзеркал і шкали відомо, що коли дзеркальце повертається на кут α , то світловий зайчик **K** відхилиться по шкалі **L** на величину **a** (рис. 1.11,б), яку визначають із співвідношення:

$$a = dtg(2\alpha),$$

де **a** – відлік по шкалі;

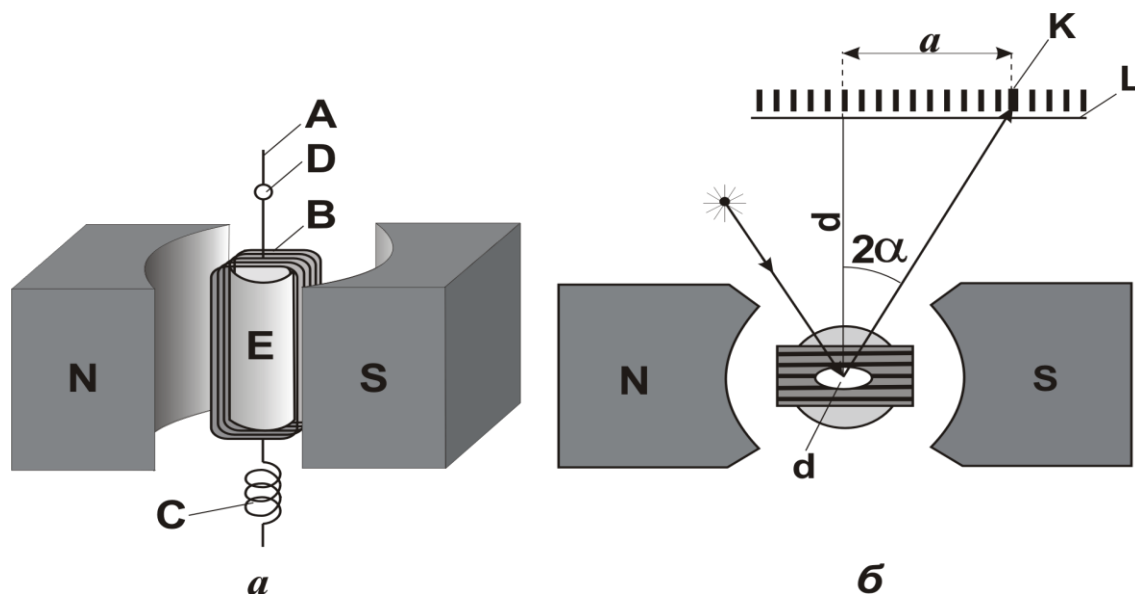


Рис. 1.11

d – відстань від дзеркала до шкали;

α – кут повороту рухомої частини (дзеркальця).

Як вже згадувалось вище, гальванометри призначені для вимірювання малих струмів та малих напруг. Їх чутливість, тобто, величина струму, що відповідає одній поділці шкали, лежить в межах $10^{-4} \div 10^{-10}$, а в деяких випадках навіть 10^{-14} А.

Якщо необхідно виміряти малу кількість електрики (заряду), що протікає за невеликий проміжок часу (долі секунди), то використовують балістичний гальванометр. Від звичайного дзеркального гальванометра він відрізняється тим, що його рухома частина має значно більший момент інерції. Тому період коливань балістичного гальванометра знаходиться в межах $10 \div 20$ секунд, тоді як у звичайного гальванометра він дорівнює декілька секунд.

Наявність достатньо великого періоду коливань приводить до того, що імпульс струму, якщо він короткочасний, припиняється раніше, ніж рухома частина встигне відхилитись від положення рівноваги на помітний кут. При виконанні цієї умови можна записати:

$$q = C_B \cdot \alpha$$

тобто, кількість електрики **q**, що протікає через обмотку гальванометра, пропорційна куту відхилення його рухомої частини. Величина C_B називається балістичною сталою гальванометра, яка чисельно дорівнює величині електричного заряду, який протікаючи через котушку гальванометра, зумовлює максимальне відхилення світлового зайчика на 1 мм шкали, яка знаходиться від дзеркальця на відстані 1 м.

На закінчення цього параграфу додамо, що умовні позначення різних систем електровимірювальних приладів, що подано в нижченаведеній таблиці 1, вказуються на шкалі відповідного приладу.

2 Будова , принцип дії вібраційної системи.

Робота цих приладів ґрунтується на явищі резонансу, який виникає при співпаданні власної частоти коливань рухомої частини приладу з частотою змінного струму. Прилади цієї системи в основному використовуються як герцметри, тобто, як прилади для вимірювання частоти струму. Герцметр, або інакше частотомір, складається з електромагніта **1** (рис.1.9,а), що живиться струмом, частоту якого необхідно виміряти. Перед полюсами розміщено залізний якір **2**, кінець якого з'єднаний з планкою **3**. Ця планка одночасно є основою ряду тонких сталевих пластинок – язичків **4**, що мають різну частоту власних коливань. При проходженні струму через обмотку якір здійснює коливання і разом з ним коливаються язички. При цьому з найбільшою амплітудою буде коливатись той язичок, частота якого дорівнює подвоєній частоті змінного струму. Значення вимірювальної частоти визначається за амплітудою язичків, що коливаються, як показано на рис.1.9,б.

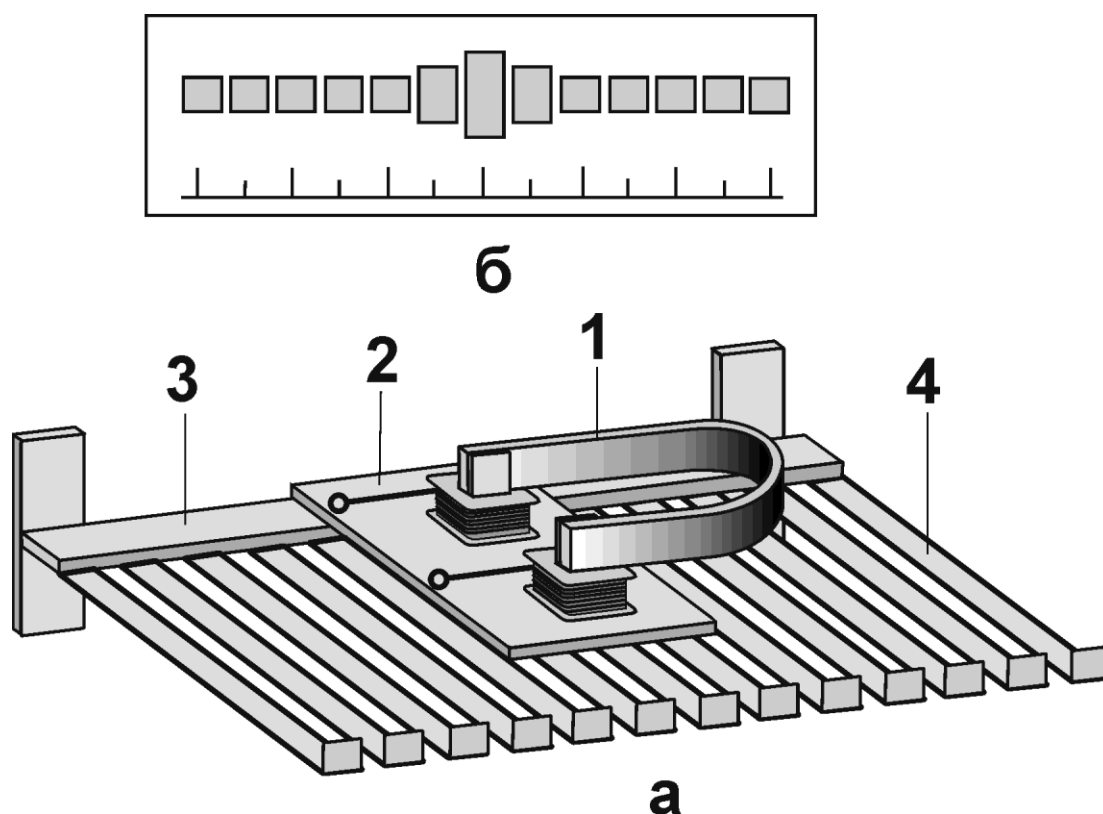


Рис. 1.9

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №11

Тема: Прилади випрямляючої та термоелектричної системи

Мета: Вивчити будову, принцип дії вимірювальних систем

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Будова , принцип дії випрямляючої системи.

2 Будова , принцип дії термоелектричної системи.

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Пояснити будова , принцип дії випрямляючої системи.
- 2 Пояснити будова , принцип дії термоелектричної системи.

1 Теплові прилади. Як вказує сама назва, у цих приладах використано теплову дію струму. Основною частиною в цих приладах є тонка дротинка, що витримує високу температуру (переважно її виготовляють із сплаву срібла і платини), закріплена в двох тачках **A** і **B** (рис. 1.6). До середини цієї дротинки припаяна металева нитка **EF**, яка відтягується тонкою шовковою ниткою **CD**, перекинutoю через коліщатко **R**. Другий кінець цієї нитки прикріплений до сталеві пружини **K**, яка створює натяг нитки. До коліщатка прикріплена легенька стрілка **N**, кінець якої переміщається по шкалі **S**. Якщо проходить струм по дротинці **AB**, то вона видовжується внаслідок нагрівання її струмом, і пружина, відтягуючи металеву нитку **EF**, приводить до обертання коліщатка **R** і, тим самим, до відхилення стрілки **N**. Оскільки кількість теплоти, що виділяється струмом, пропорційна квадрату сили струму, то приладами теплової системи можна вимірювати як постійний, так і змінний струм. По цій же причині шкала теплових приладів нерівномірна. Слабким

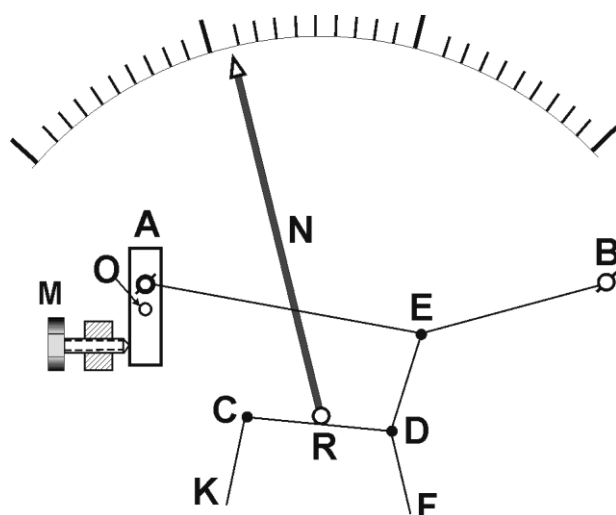


Рис. 1.6

місцем цих приладів є те, що положення стрілки на шкалі залежить від навколишньої температури. Тому перед початком роботи необхідно за допомогою спеціального пристрою **M** (рис. 1.6) встановити стрілку на нульову поділку шкали.

Позитивні якості приладів теплової системи:

- а) можливість вимірювань як на постійному, так і на змінному струмах;
- б) незалежність показів від частоти і форми кривої змінного струму;
- в) нечутливість до зовнішніх магнітних полів.

До недоліків теплових приладів можна віднести:

- а) нерівномірність шкали;
- б) наявність теплової інерції, в зв'язку з тим необхідно вичікувати деякий час, щоб стрілка приладу остаточно встановилася;
- в) залежність показів від температури;
- г) висока ціна приладів.

2 Прилади випрямляючої дії.

Випрямляючі вимірювальні прилади призначаються для вимірювання сили струму й напруги в колах змінного струму частотою до 10 000 гц. Вони являють собою сполучення вимірювального приладу магнітоелектричної системи й одного або декількох міднозакисних випрямлячів, вмонтованих звичайно в корпус приладу. Випрямляючі прилади знайшли застосування для вимірювання невеликих величин змінного струму й напруг, тому що існуючі електромагнітні й електродинамічні прилади, маючи низку чутливості, не забезпечують необхідної точності при вимірах малих величин струму й напруги. Випрямлення вимірюваного змінного струму через сухі випрямлячі або детектори з погляду ККД (до 70%) і простоти пристрою є вигідним і зручним способом перетворення змінного струму в постійний для цілей вимірювання. Сполучення високочутливих магнітоелектричних приладів з детектором дає можливість вимірювати малі величини змінного струму й напруги. Крім того, детекторні прилади незрівнянно менше піддані виникненню в них додаткової погрішності від підвищення частоти струму, чим електромагнітні прилади, а тому вони придатні для вимірів у відносно великому діапазоні частот змінного струму.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №12

Тема: Потенціометри

Мета: Вивчити будову, принцип дії потенціометрів

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Будова , принцип дії потенціометра постійного струму
- 2 Будова , принцип дії потенціометра змінного струму

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Пояснити будову , принцип дії потенціометра постійного струму
- 2 Пояснити будову , принцип дії потенціометра змінного струму

1 Пояснити будову , принцип дії потенціометра постійного струму

Потенціометром, або дільником напруг може бути реостат з ковзним

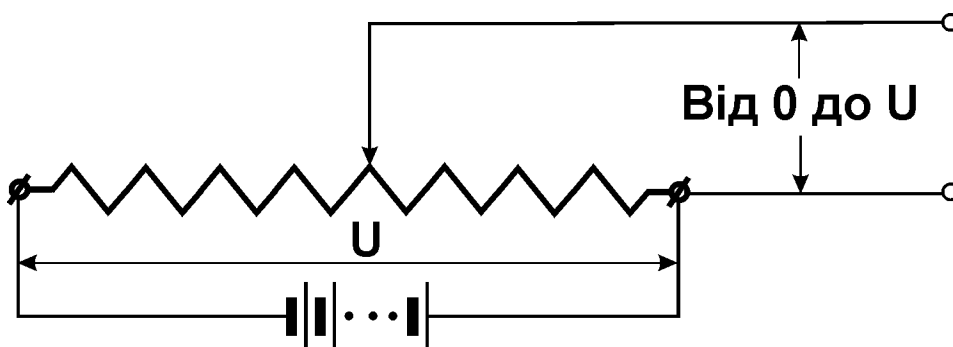


Рис. 1.29

контактом, що має великий опір (рис. 1.29).

Коли клеми цього реостата приєднуються до полюсів джерела електричної напруги (на рисунку до акумуляторної батареї), ковзний контакт (повзунок) і одна із крайніх клем реостата вмикаються в електричну схему. Тоді, залежно від положення повзунка, ми можемо отримати будь-яку напругу, що не перевищує напруги джерела струму.

2 Пояснити будову , принцип дії потенціометра змінного струму

Потенціометр змінного струму використовують для точного вимірювання напруг змінного струму компенсаційним методом, тобто шляхом врівноваження вимірюваної напруги рівною їй і відомою напругою потенціометра, рівною за частотою, але протилежною за фазою.

Таким чином, до врівноважувальної напруги потенціометра ставляться такі умови: вона повинна регулюватись як за величиною амплітуди, так і за величиною зсуву фаз, мати ту саму частоту, що й вимірювана напруга, мати ту саму форму напруги, що й у вимірюваної.

Як і в схемах з потенціометрами постійного струму. | показником рівноваги у схемах з потенціометрами змінного струму в більшості випадків використовують гальванометри, але змінного струму — вібраційні. Хоча при роботі таких потенціометрів у колах підвищеної частоти використовують електронні нуль-індикатори чи телефон.

В Україні, як і в усіх країнах СНД, широко застосовують прямокутно-координатні потенціометри змінного струму.

Принципову схему такого потенціометра наведено на рис. 7.4, а. Для проведення вимірів на такому потенціометрі беззаперечно необхідно, щоб коло вимірюваної напруги і сам потенціометр живилися від одного і того самого джерела живлення, найчастіше — від мережі змінного струму. Потенціометр має два контури А і Б: контур А живиться від вторинної обмотки знижувального трансформатора Т, а контур Б—від вторинної обмотки повітряного трансформатора ТП, первинну обмотку якого ввімкнено у коло струму контура А. Як відомо, у повітряному трансформаторі ЕРС вторинної обмотки зсунуто на 90 електричних градусів відносно струму первинної обмотки.

Завдяки тому, що всі елементи, приєднані до вторинної обмотки, мають, практично, активний опір, струм, що проходить по контуру Б, не буде зсунуто відносно ЕРС вторинної обмотки трансформатора ТП, тобто цей струм буде зсунуто по фазі відносно струму контура А точно на 90 електричних градусів. Таким чином, напруга, що є на реохордах, ввімкнутих між точками 1 і 2 контура А, і точками 3 і 4 контура Б, будуть зсунуті по фазі одна відносно іншої на ті ж 90 електричних градусів.

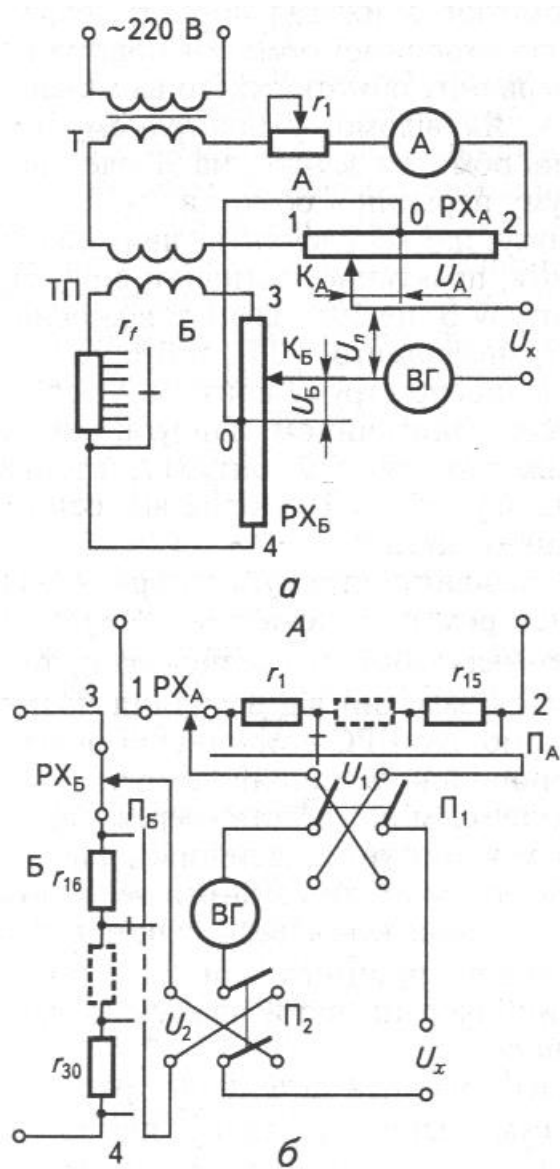


Рис. 7.4

Схема потенціометра змінного струму:

а — принципова схема; б — схема ступінчастого перемикування опорів

Величина робочого струму контура А встановлюється змінним резистором r_1 за показами амперметра А. Стосовно ступінчасто-регульованого резистора r_f , то його величина виставляється залежно від величини частоти напруги в мережі, бо відомо, що ЕРС вторинної обмотки трансформатора ТП пропорційна величині частоти струму. Для того щоб при деякій відміні частоти мережі від номінального значення струм у контурі Б залишився таким самим, що й при частоті 50 Гц, необхідно змінити величину опору цього контура, що й виконується резистором r_f з перемикачем, кожне положення рухомого контакта якого відповідає певній величині частоти, що й позначено на лімбі перемикача цього опору.

Вимірювальна напруга потенціометра U_{Π} формується як геометрична сума напруг U_A та U_B , які знімаються з реохордів PX_A і PX_B , і може змінюватись як за величиною, так і за фазою, залежно від положення рухомих контактів реохордів K_A і K_B . З'єднання середніх точок реохордів дає можливість надавати напрузі

потенціометра U_{II} якої завгодно фази в усіх чотирьох квадрантах координатної площини. Перемішуючи рухомі контакти реохордів, підбирають таку напругу U_{II} , щоб вона за величиною і за фазою повністю компенсувала вимірювану напругу U_x . Про наявність повної компенсації вимірюваної напруги U_x напругою потенціометра U_{II} свідчить відсутність розмиття світлової лінії на шкалі вібраційного гальванометра ВГ.

Для одержання точного відліку складових напруги потенціометра одних реохордів часто буває недостатньо. Більш точний відлік можна одержати, якщо реохорд використовують лише як складову частину вимірювального опору потенціометра. Вимірювальні опори, складені зі значної кількості однакових, точно підігнаних, резисторів, ввімкнутих за схемою потенціометра, наведено на рис. 7.4, б. До місця з'єднання двох сусідніх резисторів можна приєднатись за допомогою перемикачів $П_A$ і $П_B$. Реохорди PX_A і PX_B на цій схемі мають опір, що дорівнює опору одного з резисторів потенціометра. Завдяки цьому, наприклад, за допомогою перемикачів $П_A$ і $П_B$, можна ступінчасто змінювати напруги U_1 і U_2 з величиною напруги кожного ступеня у 0,1 В, а за допомогою реохордів — безступінчасте змінювати напруги U_1 і U_2 у межах одного ступеня.

На відміну від схеми рис. 7.4, а, в цій схемі зміна фази напруги складових U_1 і U_2 на протилежну виконується перемиканням перемикачів $П_1$ і $П_2$.

Робота на потенціометрі змінного струму значно складніша, ніж на потенціометрі постійного. Якщо на потенціометрі постійного струму компенсація вимірюваної напруги виконується з одного разу, то на потенціометрі змінного струму — лише після багатьох послідовних переходів з компенсації по першій координаті до компенсації по Другій з поверненням до першої координати і т. д. До початку вимірювання змінної напруги потенціометром необхідно, при відсутності на потенціометрі напруги U_x , приєднати трансформатор Т до мережі, частотоміром виміряти частоту напруги мережі, виставити величину резистора r_f відповідно до вимірюваної частоти та встановити змінним резистором r_l за амперметром величину струму, що відповідає номінальній величині для даного потенціометра (частіше вона становить 0,5 А).

Впевнившись, що величина напруги U_x не перевищує номінальної вимірюваної напруги потенціометра (а це, звичайно, 1...2 В), проводи приєднують від ділянки кола з вимірюваною напругою до затискачів U_x потенціометра за найменшої чутливості вібраційного гальванометра. Далі за наявності розмиття світлової лінії на шкалі гальванометра налаштовують гальванометр на найбільше розмиття цієї лінії. В разі необхідності чутливість гальванометра збільшують наявним у нього резистором регулювання чутливості.

Маючи розмиття світлової лінії у межах шкали гальванометра, за допомогою одного з перемикачів $П_1$ чи $П_2$ намагаються зменшити величину розмиття лінії. Якщо це хоч трохи вдається, то зупиняються на найменшому можливому розмитті й переходять до компенсації вимірюваної напруги за другою координатою. Після чого знову досягають найменшого можливого розмиття і повертаються до компенсації по

першій координаті, кожного разу збільшуючи чутливість вібраційного гальванометра, якщо розмиття зменшилося до розміру кількох товщин світлової лінії. Отже, переходячи з однієї координати на іншу, досягають найменшого розмиття світлової лінії за найбільшої чутливості вібраційного гальванометра.

Якщо ж від самого початку не вдається зменшити розміра розмиття на шкалі гальванометра, то перемикають один із перемикачів P_1 чи P_2 , змінюючи фазу компенсуючої напруги за координатою, що розглядається, на 180 електричних градусів і знову намагаються знайти положення перемикача P_A чи P_B , що відповідає мінімальному розмиттю світлової лінії на шкалі. Про неправильне вмикання перемикача P_1 або P_2 свідчить найменше розмиття при повній відсутності компенсуючої напруги за даної координати.

Крім напруг, потенціометрами можна вимірювати також величини струмів і опорів. Струми вимірюють на основі вимірювань падіння напруг на зразкових, обов'язково без-реактивних, опорах.

Величини опорів визначають посереднім методом, з вимірянних величин напруги на опорі та струму, що в ньому проходить. Це дає змогу точно визначати навіть величини нелінійних опорів, у яких величини опорів залежать від величин струмів, що проходять цими опорами.

Ці потенціометри здатні вимірювати кут зсуву фаз вимірюваних напруг і струмів відносно фази робочого струму потенціометра.

Втім зазначимо, що виміри, виконані за допомогою потенціометрів змінного струму, забезпечують меншу точність, ніж виміри за допомогою потенціометрів постійного струму. Це пояснюється тим, що робочі струми потенціометрів змінного струму контролюють за зразковими вимірювальними приладами класу 0,1; 0,2; 0,5, тоді як робочий струм потенціометра постійного струму контролюють за ЕРС нормального елемента, котра може відрізнятись від номінальної не більше ніж на 0,02 %.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №13

ТЕМА: Вимірювальні трансформатори струму і напруги

Мета: Вивчити будову, принцип дії потенціометрів

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Будова, принцип дії трансформатора струму
- 2 Будова, принцип дії трансформатора напруги

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

5 Атамаян 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

Питання для самоконтролю.

1 Пояснити будову, принцип дії трансформатора струму

2 Пояснити будову, принцип дії трансформатора напруги

Вимірювальні трансформатори струму і напруги призначені для зменшення первинних струмів і напруг до значень, найбільш зручних для підключення вимірювальних приладів, реле захисту, пристроїв автоматики. Застосування вимірювальних трансформаторів забезпечує безпеку працюючих, так як ланцюга вищої і нижчої напруги розділені, а також дозволяє уніфікувати конструкцію приладів і реле.

1 Технічні характеристики трансформаторів струму

Номінальний первинний і вторинний струм трансформаторів струму

Трансформатори струму характеризуються номінальним первинним струмом $I_{ном1}$ (стандартна шкала номінальних первинних струмів містить значення від 1 до 40000 А) і номінальним вторинним струмом $I_{ном2}$, який прийнятий рівним 5 або 1 А. Ставлення номінального первинного до номінального вторинного струму являє собою коефіцієнт трансформації $КТА = I_{ном1} / I_{ном2}$

Струмова похибка трансформаторів струму

Трансформатори струму характеризуються струмовою похибкою $\delta I = (I_{2K} - I_1) * 100 / I_1$ (у відсотках) та кутовою похибкою (у хвилинах). Залежно від струмової похибки вимірювальні трансформатори струму розділені на п'ять класів точності: 0,2; 0,5; 1; 3; 10. Найменшій класу точності відповідає гранична струмова похибка трансформатора струму при первинному струмі, рівному 11,2 номінального. Для лабораторних вимірювань призначені трансформатори струму класу точності 0,2, для приєднання лічильників електроенергії трансформатори струму класу 0,5, для приєднання щитових вимірювальних приладів-класів 1 і 3.

Навантаження трансформаторів струму

Навантаження трансформатора струму це повне опір зовнішнього ланцюга Z_2 , виражене в Омів.

Опору r_2 і x_2 являють собою опір приладів, проводів і контактів.

Навантаження трансформатора можна

також характеризувати удаваній потужністю $S_2 = V \cdot A$.

Під номінальним навантаженням трансформатора струму $Z_{2ном}$ розуміють навантаження, при якій похибки не виходять за межі, встановлені для трансформаторів даного класу точності.

Значення $Z_{2ном}$ дається в каталогах.

Електродинамічна стійкість трансформаторів струму

Електродинамічної стійкості трансформаторів струму характеризують номінальним струмом динамічної стійкості $I_{м.дін}$.

або відношенням $k_{дін} = \frac{I_{м.дін}}{I_{т}}$ Термічна стійкість визначається номінальним струмом термічної стійкості $I_{т}$ або відношенням $k_{т} = \frac{I_{т}}{I_{ном}}$ і допустимим часом дії струму термічної стійкості $t_{т}$.



Конструкції трансформаторів струму

По конструкції розрізняють трансформатори струму котушкові, одновиткового (типу ТПОЛ), багатовиткові з литою ізоляцією (типу ТПЛ і ТЛМ).

Трансформатор типу ТЛМ призначено КРУ і конструктивно поєднаний з одним із штепсельних роземів первинного кола комірки.

Для великих струмів застосовують трансформатори типу ТШЛ і ТПШЛ, у яких роль первинної обмотки виконує шина.

Електродинамічна стійкість таких трансформаторів струму визначається стійкістю шини.

Для ОРУ випускають трансформатори типу ТФН у фарфоровому корпусі з паперово-масляною ізоляцією і каскадного типу ТРН.

Для релейного захисту є спеціальні конструкції.

На висновках масляних баківих вимикачів і силових трансформаторів напругою 35 кВ і вище встановлюються вбудовані трансформатори струму.

Похибка їх за інших рівних умов більше, ніж у окремо розташованих трансформаторів.

2 Технічні характеристики вимірювальних трансформаторів напруги

Номінальні первинне і вторинне напруга вимірювальних трансформаторів напруги

Трансформатори напруги характеризуються номінальними значеннями первинної напруги, вторинної напруги (зазвичай 100 В або 100 /), коефіцієнта трансформації $K = U_{1ном} / U_{2ном}$.

Залежно від похибки розрізняють такі класи точності трансформаторів напруги: 0,2; 0,5; 1:3.

Навантаження трансформаторів напруги

Вторинне навантаження трансформатора напруження є потужність зовнішньої вторинної ланцюга.

Під номінальною вторинною навантаженням розуміють найбільше навантаження, при якій похибка не виходить за допустимі межі, встановлені для трансформаторів даного класу точності.

Конструкції трансформаторів напруги

В установках напругою до 18 кВ застосовуються трифазні і однофазні трансформатори, при більш високих напругах тільки однофазні.

При напругах до 20 кВ є велика кількість типів трансформаторів напруги: сухі (НС), масляні (НОМ, ЗНОМ, НТМІ, НТМК), з литою ізоляцією (ЗНОЛ).

Слід відрізнити однофазні двохобмотувальні трансформатори НОМ від однофазних триобмоткових трансформаторів ЗНОМ.

Трансформатори типів ЗНОМ-15, -20 -24 і ЗНОЛ-06 встановлюються в комплектних струмопроводах потужних генераторів.

В установках напругою 110 кВ і вище застосовують трансформатори напруги каскадного типу НКФ і ємнісні подільники напруги НДЕ.



Схеми включення трансформаторів напруги

Залежно від призначення можуть застосовуватися різні схеми включення трансформаторів напруги.

Два однофазних трансформатора напруги, з'єднані у неповний трикутник, дозволяють вимірювати два лінійних напруги.

Доцільна така схема для підключення лічильників і ватметрів.

Для вимірювання лінійних і фазних напруг можуть бути використані три однофазних трансформатора (ЗНОМ, ЗНОЛ), з'єднані за схемою зірка зірка, або трифазний тип НТМІ.

Так само з'єднуються в трифазну групу однофазні трьохобмотувальні трансформатори типу ЗНОМ і НКФ.

Приєднання розрахункових лічильників до трифазних трансформаторів напруги не рекомендується, тому вони мають, зазвичай, несиметричну магнітну систему і збільшену похибку. Для цієї мети бажано встановлювати групу з двох однофазних трансформаторів з'єднаних у неповний трикутник.

Трансформатори напруги вибирають за умовами $U_{уст}$ 8804; $U_{1ном}$, S_2 8804; $S_{2ном}$ в намічуваному класі точності. За $S_{2ном}$ приймають потужність всіх трьох фаз однофазних трансформаторів напруги, з'єднаних за схемою зірки, і подвоєну потужність однофазного трансформатора, включеного за, схемою неповного трикутника.



САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №14

Тема: Вимірювальні механізми реєструючих приладів

Мета: Вивчити будову, принцип дії реєструючого приладу

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Класифікація реєстраторів
- 2 Будова, принцип дії реєстратора

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

Питання для самоконтролю.

1 Класифікація регістраторів

2 Будова, принцип дії регістратора

У наукових дослідженнях і виробничій діяльності часто виникає необхідність автоматичної реєстрації вимірюваних величин. За результатами реєстрації можна визначати поточні значення вимірюваної величини, характер зміни цієї величини, встановлювати функціональну зв'язок між кількома вимірюваними величинами.

Для цієї мети служать різноманітні реєструючі прилади. Зазвичай до приладів відносять самописні прилади, світлопроменеві осцилографи, вимірювальні магнітографія і графічні; основним призначенням цих приладів є реєстрація сигналів вимірювальної інформації. Для реєстрації застосовують і інші прилади, такі, як електронні осцилографи, цифрові осцилографи, цифрові вимірювальні прилади тощо. Регистрируючі прилади служать в основному для запису змін вимірюваної величини у функції часу.

У самописних приладах широко використовується запис чорнилом на діаграмній папері. У осцилографах застосовують запис на фотоплівці і фотопапері. Є спеціальна фотопапір, на якій видиме зображення отримують без попереднього процесу прояви, але при цьому потрібно джерело з ультрафіолетовим випромінюванням. Для реєстрації застосовують також спеціально оброблені матеріали, зокрема папір, що дозволяють під дією електричного струму отримувати видимі зображення. В даний час все ширше використовують магнітну запис на магнітній стрічці чи магнітному барабані. Гідність такого запису полягає у великій щільності запису, широкому частотному діапазоні, в можливості повторного використання носія інформації, зручність обробки даних на ЕОМ. Однак для отримання видимого зображення кривих реєстрованих величин потрібна додаткова обробка - запис за допомогою приладів, що дають видиме зображення.

Важливою характеристикою реєструючих приладів є їх швидкодія. Самописними приладами звичайного швидкодії можна проводити запис повільно змінюються величин. Швидкодіючі самописні вимірювальні прилади прямої дії дозволяють отримати запис вхідного сигналу частотою до 150 Гц. Для запису процесів, що змінюються з частотою до 30 кГц, застосовують світлопроменеві осцилографи, а для більш високих частот - електронно-променеві осцилографи та магнітографія

Вимірювальна інформація в аналоговій формі записується за допомогою *електромеханічних реєструвальних приладів — самописних електровимірювальних приладів та світлопроменевих осцилографів* у вигляді графіків на діаграмі, які характеризують або зміну інформативного параметра вимірювального сигналу в часі $x=f(t)$, або залежність його параметра від якогось іншого, який не є часом, $x=f(y)$.

Реєстрація - зображення вимірювальної інформації у формі видимих або прихованих символів, розміщених на деяких матеріальних носіях (папері, магнітній або фотоплівці тощо).

Реєструючий засіб вимірювання - засіб вимірювання для вимірювання й автоматичного запису значень вимірюваних величин, які можуть змінюватись у часі.

Реєструвальний вимірювальний прилад - прилад, в якому передбачена реєстрація показів.

Реєстрація інформації полягає в дії реєструвального органа на носій.

Основними способами дії реєструвального органа на носій інформації є:

- нанесення шару речовини,
- зняття шару речовини,
- зміна фізичного стану речовини носія.

У сучасній техніці реєстрації використовують символи:

- геометричні - відрізки ліній і кута,
- фізичні - інтенсивність намагнічування та кольорового забарвлення, ступінь почорніння фотоплівки тощо,
- цифрові - цифри, букви, значки та їх комбінації за певними системами числення.

У самописних приладах реєструвальним органом переважно є перо спеціальної конструкції з чорнилом, а носієм інформації - паперова діаграмна стрічка, і використовується спосіб реєстрації через нанесення речовини на носій: запис на діаграмі чорнилами, кульковою ручкою або друкуванням.

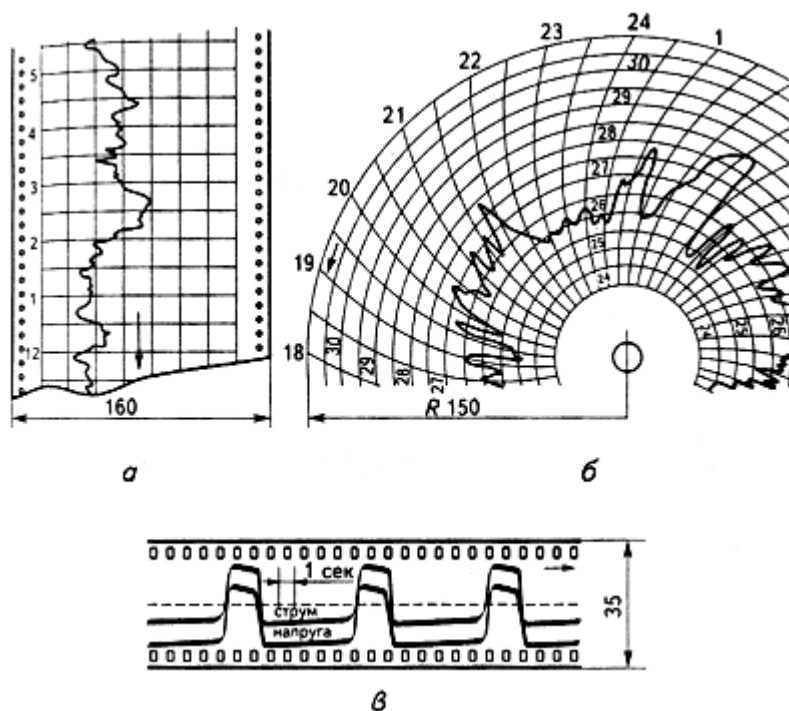


Рис. 9. Види запису інформації на самописних приладах: а,в – стрічковий носій, б – коловий носій

Класи точності самописних приладів нормуються у вигляді зведеної похибки і лежать у межах від 1,5 до 4,0, причому границі основної допустимої похибки нормуються окремо для вимірювання фізичної величини, запису її значень та для запису часу.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №15

Тема: Особливості електронних вимірювальних приладів

Мета: Вивчити основні види та характеристики електронних вимірювальних приладів

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Класифікація електронних вимірювальних приладів
- 2 Основні метрологічні характеристики електронних вольтметрів

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Пояснити поняття електронний вимірювальний прилад
- 2 Привести класифікацію електронних вимірювальних приладів
- 3 Привести основні метрологічні характеристики електронних вольтметрів

Прилад вимірювальний аналоговий (АВП) – вимірювальний прилад, в якому візуальний сигнал вимірювальної інформації подається за допомогою шкали та вказівника.

Електронними аналоговими вимірювальними приладами називають АВП, в яких вимірювальна інформація перетворюється за допомогою аналогових електронних пристроїв:

- вимірювальних підсилювачів
- функціональних перетворювачів інформації
- перетворювачів змінного струму в постійний, тощо

Вихідний сигнал таких приладів є неперервною функцією вимірювальної величини і відображається за допомогою шкали та вказівника..

Внаслідок застосування електронних вузлів істотно розширюються функціональні можливості приладів і забезпечується високий рівень метрологічних характеристик, зокрема,

- підвищується чутливість,
- розширюється діапазон вимірювання (особливо в бік малих значень вимірюваних величин),
- зменшується споживання потужності від вимірювального кола,
- розширюється частотний діапазон тощо.

Застосовують для вимірювань практично всіх електричних величин:

- напруги,
- струму,
- опору,
- потужності,
- частоти,
- кута фазового зсуву тощо.

Залежно від способу перетворення вимірювального сигналу електронні АВП діляться на прилади

- прямого,
- зрівноважувального,
- змішаного перетворення.

Особливо поширені електронні *АВП прямого перетворення*, (рис. 1), основними функціональними частинами яких є *вимірювальна схема*, що містить електронні вузли, і в якій відбувається перетворення вимірюваної величини x в проміжну величину X (здебільшого X - це сила або напруга постійного струму), *перетворювач* проміжної величини X в просторове переміщення вказівника α та *відліковий пристрій*, що відображає результат спостереження x .

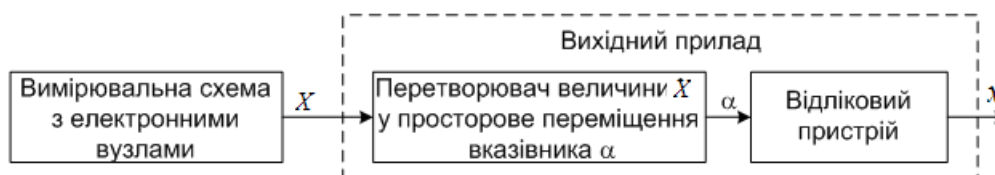


Рис. 1. Структурна схема електронного АВП прямого перетворення

Електронні АВП поділяють на дві великі групи:

- електронні АВП без електромеханічних вимірювальних механізмів,
- електронно-механічні АВП.

Електронні АВП без електромеханічних вимірювальних механізмів -

АВП з електронними відліковими пристроями:

- електронно-променеві осцилографи,
- аналізатори спектра сигналів,
- оптоелектронні прилади.

Електронно-механічні вимірювальні прилади являють собою поєднання вимірювальної схеми з електронними вузлами і магнітоелектричного вимірювального приладу, градуйованого в одиницях вимірюваної величини X .

За формою відліку АВП діляться на:

- *показуючі*, які дають змогу здійснювати тільки відлік показів,
- *реєструвальні*, в яких передбачена реєстрація показів.

2 Основні метрологічні характеристики електронних вольтметрів

Основними метрологічними характеристиками електронних вольтметрів, які визначаються переважно схемою та параметрами вхідного пристрою і схемою та параметрами перетворювача змінного струму в постійний, є:

основна та додаткові інструментальні похибки,

вхідний опір,

діапазон вимірювання,

частотний діапазон та

методична похибка, зумовлена впливом форми кривої сигналу на покази приладу.

Границі допустимої основної зведеної похибки електронних вольтметрів γ , яка числове дорівнює класу точності приладу, визначають за формулою

$$\gamma_{zp} = \pm \frac{\Delta_{zp}}{x_N} \cdot 100\% = \pm k\% .$$

Серійні електронні вольтметри переважно мають один із таких класів точності: 0,5; 1,0; 1,5; 2,5.

Серед *додаткових інструментальних похибок* електронних вольтметрів переважають температурна δ_θ , частотна δ та похибка від впливу зовнішнього магнітного поля δ .

Вхідний опір електронних вольтметрів складається із активної складової $R_{вх}$ та реактивної складової, зумовленої вхідною ємністю приладу $C_{вх}$ та індуктивністю $L_{вх}$ струмопровідних провідників. На частоті 20 Гц є суто активним, становить $10 \dots 1000 \text{ МОм}$ і залишається практично сталим до частоти сигналу 1 МГц . При частотах $f > 1 \text{ МГц}$ він зменшується через збільшення шунтуючої дії вхідної ємності $C_{вх}$, опір якої зменшується із зростанням частоти сигналу.

Нормальний частотний діапазон більшості вольтметрів становить $40 \text{ Гц} \dots 100 \text{ кГц}$, а *робочий* - $10 \text{ Гц} \dots 30 \text{ МГц}$, однак може бути розширений до 1000 МГц .

Переваги

- висока чутливість (за рахунок застосування електронних підсилювачів)
- широкий діапазон вимірювання напруг - від одиниць мілівольт до сотень вольт;

- широкий частотний діапазон вимірюваних напруг - від одиниць герц до тисячі мегагерц
- слабка залежність показів від частоти вимірюваної напруги в робочому діапазоні частот;
- нехтовно мале власне споживання потужності, оскільки вони мають великий вхідний опір $R_{вх} = 10 \dots 10^3 \text{ МОм}$ і малу вхідну ємність $C_{вх} = 1 \dots 4 \text{ нФ}$.

Недоліки електронних вольтметрів

- порівняно велика основна похибка (0,5...2,5 %)
- вплив зміни окремих елементів схеми на градування вольтметра
- необхідність допоміжного джерела живлення
- різке збільшення основної похибки (до 25 %) при частотах сигналів більше ніж 1 ГГц .

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №17

Тема: Будова, принцип дії електронних вольтметрів

Мета: Вивчити основні елементи та принцип дії електронних вимірювальних приладів

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Функція перетворення електронного вольтметра постійного струму
- 2 Універсальні електронні вольтметри

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Пояснити поняття електронний вимірювальний прилад
- 2 Привести класифікацію електронних вимірювальних приладів

Найбільш поширеною групою електронно-механічних вимірювальних приладів є електронні вольтметри постійного струму та вольтметри змінного струму, зокрема, вольтметри : середніх, середньоквадратичних та амплітудних значень змінних сигналів.

1 Функція перетворення електронного вольтметра постійного струму

$$\alpha = k_{\text{ПН}} k_{\text{П}} S_U U_x = k_U U_x$$

де $k_U = k_{\text{ПН}} k_{\text{П}} S_U$ коефіцієнт перетворення електронного вольтметра ;
 $k_{\text{ПН}}$ номінальний коефіцієнт поділу вхідного подільника напруги ;
 $k_{\text{П}}$ коефіцієнт підсилення підсилювача постійного струму;
 S_U чутливість магнітоелектричного приладу до напруги.

Послідовне з'єднання вхідного подільника напруги та підсилювача постійного струму дає змогу побудувати вольтметри високочутливими та багатограничними за рахунок зміни коефіцієнта перетворення вольтметра у широких межах. Якщо напруга U_x більша від межі вимірювання магнітоелектричного приладу, то її необхідно поділити, якщо ж значно менша - то необхідно підсилити. Коефіцієнт підсилення підсилювача може змінюватися залежно від діапазону вимірювання. Одночасно підсилювач забезпечує узгодження вихідного опору вхідного кола з опором магнітоелектричного приладу.

Вхідний опір електронного вольтметра постійного струму досягає десятків мегаом, що дає змогу виконувати вимірювання у високоомних колах практично без споживання потужності від джерела сигналу. Діапазон вимірюваних напруг - від одиниць нановольт до тисяч вольт. Чутливість 0,1 нВ/под. Електронні вольтметри постійного струму мають класи точності:

0,5; 1,0; 1,5.

Електронні аналогові амперметри як окремі прилади **не виготовляються**.

Струм I_x визначають опосередковано, вимірюючи спад напруги U на зразковому резисторі із відомим опором R і обраховуючи $I_x = U / R$. У зв'язку з цим електронні вольтметри, побудовані за схемою рис. 2 зазвичай входять до складу універсальних приладів, призначених для вимірювань як напруги, так і струму.

2 Універсальні електронні вольтметри

Поширені у вимірювальній практиці *універсальні електронні вольтметри* призначені для вимірювань у колах постійного та змінного струму. Зазвичай, крім напруги, вони дають змогу вимірювати струм та електричний опір.

Типова структурна схема універсального вольтметра зображена на рис. 7. Під час вимірювання напруги постійного струму (перемикач роду роботи S в положенні "=") вимірювана величина U надходить на вхідний пристрій, який зазвичай являє собою подільник напруги, та підсилювач постійного струму, навантаженням якого є магнітоелектричний вимірювальний прилад. Під час вимірювання напруги змінного

струму (перемикач роду роботи S в положенні " \sim ") вимірювана величина U_{\sim} надходить на вхідний пристрій, який зазвичай являє собою частотонезалежний подільник напруги, а потім на перетворювач змінного струму в постійний, вихідна величина якого вимірюється вольтметром постійного струму.

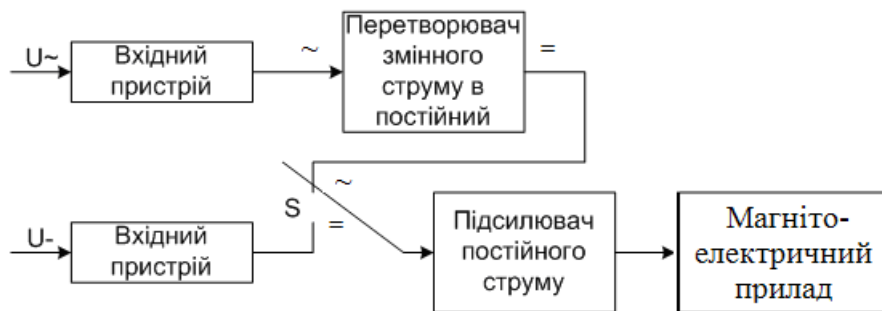


Рис. 7. Структурна схема універсального вольтметра

В універсальних вольтметрах для перетворення змінного струму в постійний застосовують переважно пасивні ПАЗ із закритим виходом (рис. 6,б), завдяки чому забезпечують незалежність показів вольтметра від сталої складової напруги на вході, широкий частотний діапазон ($10^8 \dots 10^9$ Гц) та високий вхідний опір.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №18

Тема: Світлопроменеві або електромеханічні осцилографи

Мета: Вивчити поняття про світлопроменевої осцилограф

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Класифікація осцилографів
- 2 Світлопроменеві осцилографи

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Класифікація осцилографів

2 Світлопроменеві осцилографи, принцип дії

1 Класифікація осцилографів

Осцилограф (лат. *oscillo* — гойдаюся і *graph* — пишу) — контрольно-вимірювальний прилад для дослідження і візуалізації електричних сигналів, а також визначення їх параметрів в реальному часі. Осцилограф, дозволяє проводити візуальний контроль таких характеристик, як форма, період, амплітуда, полярність або тривалість сигналу.

Електроннопроменеві (електронні) осцилографи призначені для:

- візуального спостереження,
- вимірювання,
- реєстрації електричних сигналів.

Можливість *спостереження* сигналів, що змінюються в часі, робить осцилографи унікальними приладами при дослідженні різних параметрів досліджуваних сигналів. Осцилографи можна вважати одними з найбільш поширених контрольно-вимірювальних приладів в багатьох технічних галузях виробництва і наукових досліджень.

Класифікація осцилографів можлива по декількох параметрах, наприклад

- за способом обробки вхідного сигналу, вони діляться на:

- аналогові,
- цифрові;

- по частотному діапазону на:

- низькочастотні,
- універсальні (імпульсні),
- високочастотні

- по кількості променів на:

- однопроменеві,
- двопроменеві і так далі.

N-променевий осцилограф має N сигнальних входів і може одночасно відображати на екрані N графіків.

Цифрові осцилографи у свою чергу діляться на:

- що запам'ятовують,
- люмінофорні,
- стробоскопічні.

2 Світлопроменеві осцилографи використовуються для аналогової реєстрації динамічних процесів у частотному діапазоні від 0 до 15000 Гц. Принцип дії осцилографа оснований на тому, що сфокусований світловий пучок, керований досліджуваним сигналом, застосовується для візуального спостереження цього сигналу та реєстрації його на фоточутливому матеріалі - чорно-білій і кольоровій фотоплівці та фотопапері.

Головним елементом світлопроменевого осцилографа є магнітоелектричний гальванометр спеціальної конструкції з високою власною частотою коливань F_0 , на рамочці якого закріплене дзеркальце для відбивання сфокусованого світлового променя.

Істотними перевагами світлочутливих осцилографів є багатоканальність (одночасна реєстрація до 50-ти фізичних величин у частотному діапазоні від 0 до 15 кГц), висока якість осцилограм, живлення від гальванічних елементів, що дає можливість роботи в умовах відсутності електричної мережі.

Для запису швидкоплинних процесів використовують світлопроменеві осцилографи з електронно-променевими трубками, в яких зображення з екрана трубки за допомогою оптичного пристрою проектується на рухому фотоплівку. Такі осцилографи можуть працювати у діапазоні частот від 0 до 100 кГц. Для покращання запису в деяких осцилографах застосовують світловолоконну оптику.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №19

Тема: Особливості принципу дії цифрових приладів

Мета: Вивчити основні види цифрової обробки сигналів

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Методи аналогового-цифрового перетворення.
- 2 АЦП паралельної дії.
- 3 АЦП розгортального врівноважування.
- 4 АЦП слідкувального врівноважування.

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

Питання для самоконтролю.

1. Методи аналогового-цифрового перетворення.

2. Аналогово-цифровий перетворювач паралельної дії.
3. Аналогово-цифровий перетворювач розгортального врівноважування.
4. Аналогово-цифровий перетворювач слідкувального врівноважування.
5. Цифро-аналоговий перетворювач.



Аналого-цифрові перетворювачі

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП)

- призначений для автоматичного перетворення неперервної вимірюваної величини аналогового сигналу в пропорційну їй дискретну величину, зображену цифровим кодом.

АЦП

- є основними елементами цифрових приладів,
- однак вони випускаються також як автономні пристрої, що використовуються у вимірювальних інформаційних системах, системах керування об'єктами тощо.

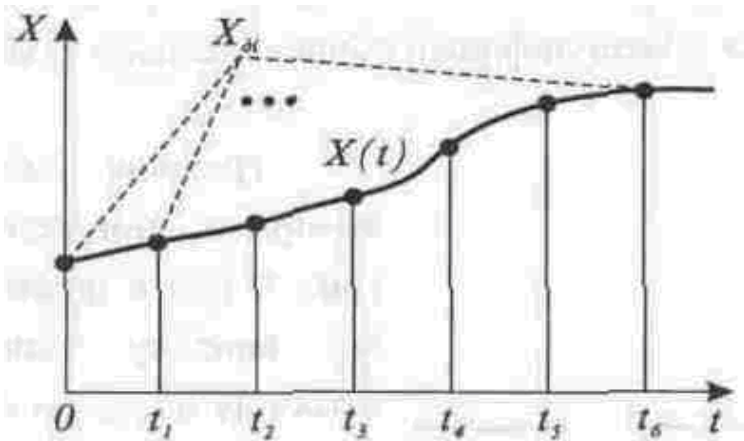
- У сучасних АЦП час одного перетворення становить $(0,2...0,5) \cdot 10^{-8}$ с і менше, що відповідає $(2...5) \cdot 10^8$ перетворень на секунду.
- Розробка швидкодіючих АЦП є однією із актуальних задач ІВТ.

В аналого-цифровому перетворювачі

здійснюються три базові операції над вхідною величиною:

- часова дискретизація

- квантування за рівнем
- кодування отриманих квантованих значень



Дискретизація сигналу

- означає заміну неперервної в часі величини її окремими вибірками, взятими в певні моменти часу

Дискретизація у часі

- Швидкість проходження відліків у секунду називається частотою дискретизації

$$f_D = 1 / \Delta t$$

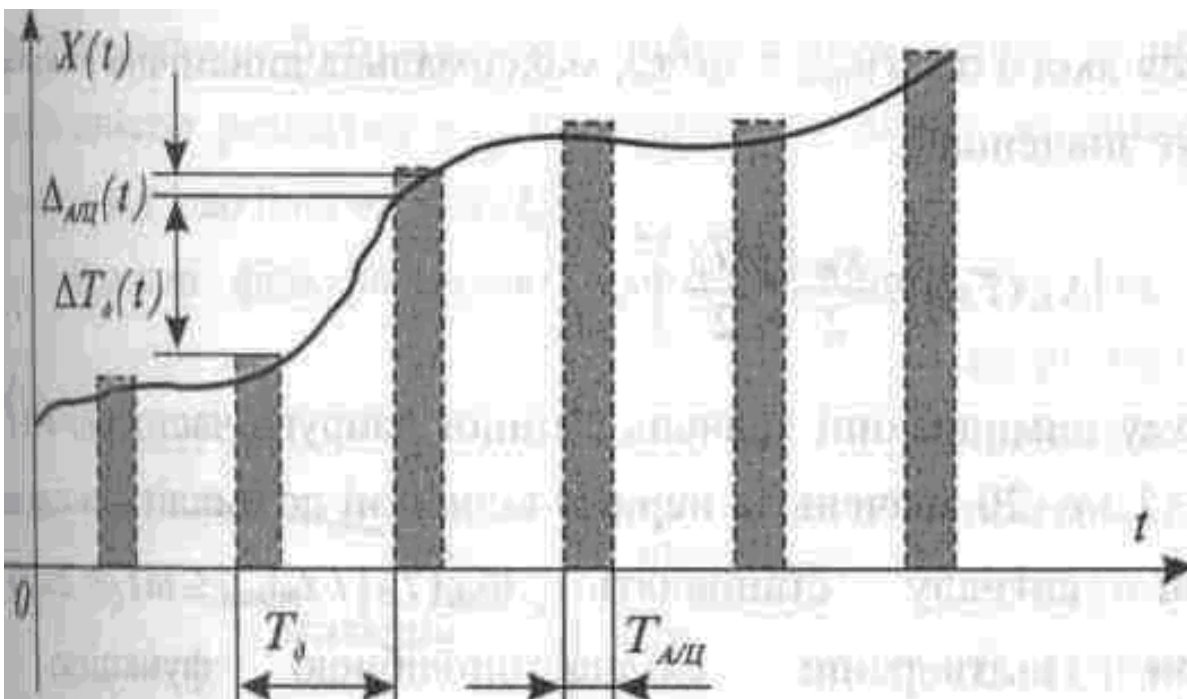
- відстань між двома сусідніми відліками періодом дискретизації
 $T_D = \Delta t_1 - \Delta t_2$

Максимальна частота дискретизації (перетворення)

- - найбільша частота, з якої відбувається утворення вибірових значень сигналу, при якій обраний параметр АЦП не виходить за задані межі.
- Вимірюється числом вибірок у секунду.

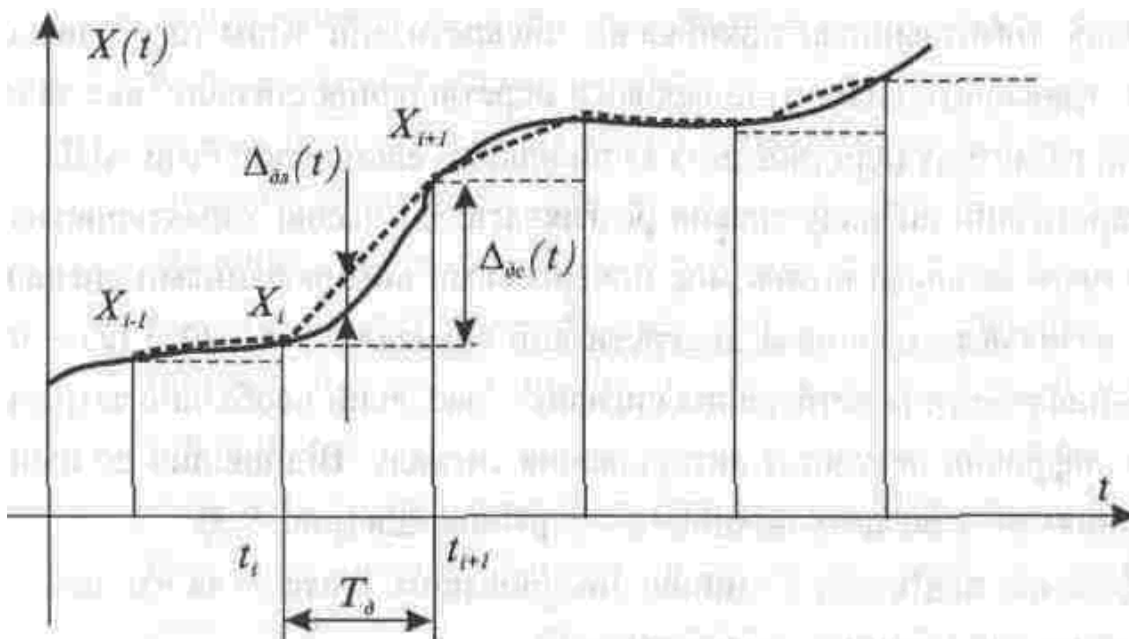
Похибки дискретизації пов'язані зі зміною сигналу за час:

- аналого-цифрового перетворення
- між окремими вибірками (інтервал дискретизації)



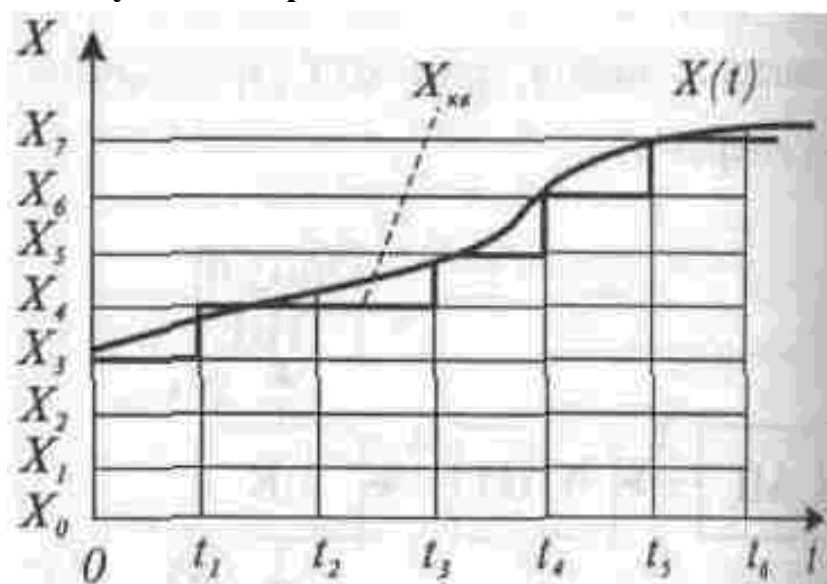
Похибки за час аналого-цифрового перетворення

Похибка дискретизації при відтворенні сигналу



Квантування полягає у заміні неперервних значень сигналу в області його інтенсивності (рівня) квантованими (дозволеними) значеннями - подібно як при заокругленні чисел

Квантування за рівнем



Квантування за рівнем вимірюваної величини X полягає у визначенні квантованого і заокругленого в результаті квантування значення даної величини

$$x_{KB} = N_X q$$

$$x_{KB} = N_X q$$

де - X_{KB} - квантовий (дозволений) рівень, до якого заокруглюється значення вимірюваної величини;

- N_X - числове значення;

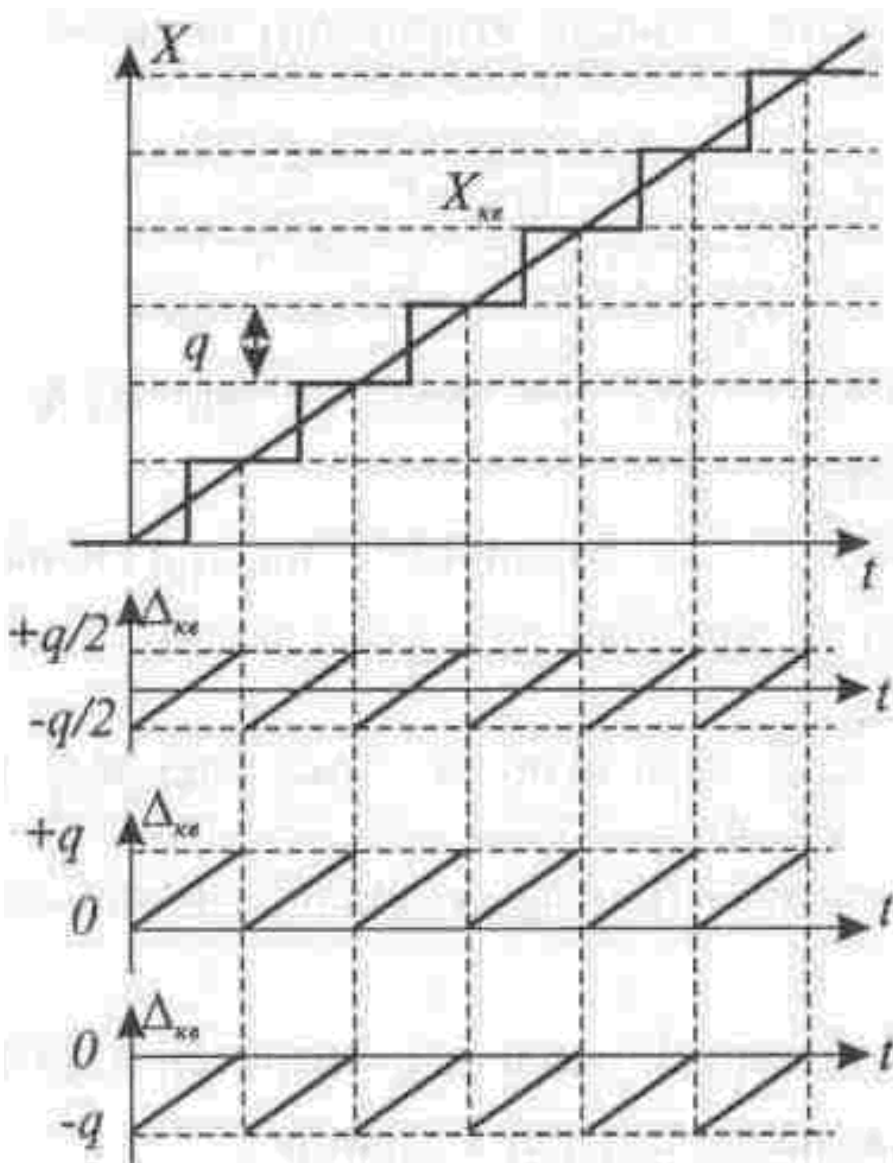
- q - крок квантування (різниця між сусідніми рівнями квантування).

Похибка квантування різниця між заокругленим результатом вимірювання та дійсним значенням вимірюваної величини

$$\Delta_{kv} = x_{kv} - X = N_x q - X$$

Використовують заокруглення до рівня ближчого

- більшого
- меншого



При заокругленні

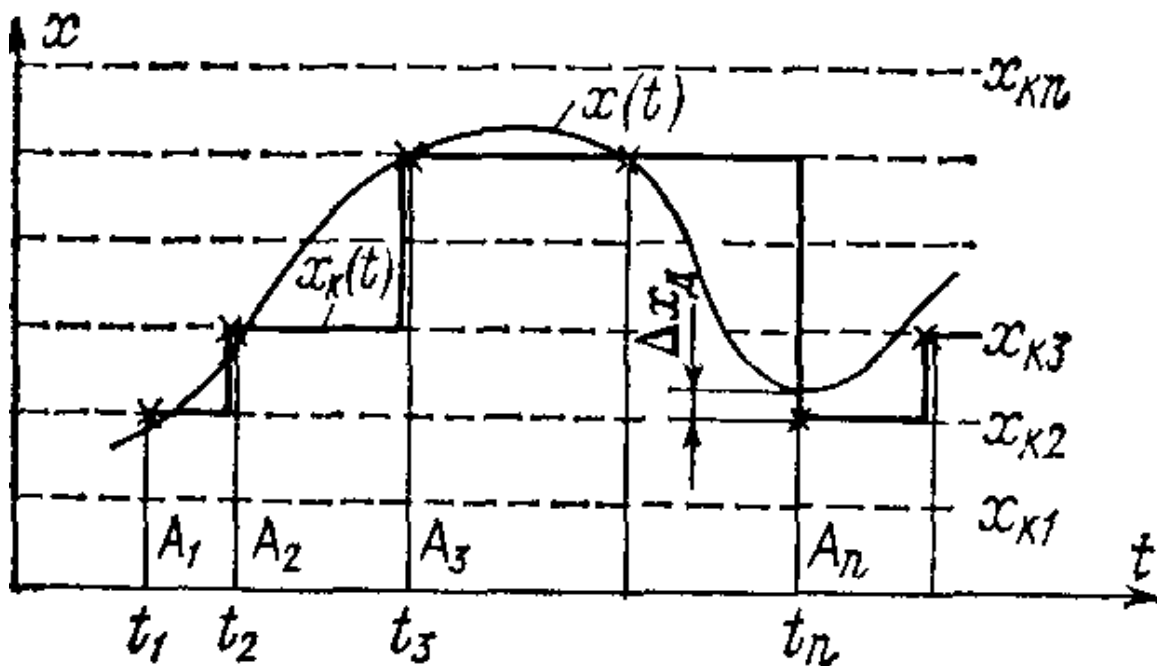
- до ближчого квантового рівня похибка квантування не перевищує половини кроку квантування
- до більшого чи меншого рівнів вона може досягати розміру кванту з різним знаком

Із збільшенням

ступенів квантування N_{KV} та із зменшенням тривалості циклу дискретизації T_d , складність і вартість ЦВП суттєво зростають.

- Тому кількість ступенів квантуванні N_{KV} та тривалість циклу дискретизації T_d слід вибирати за заданими значеннями похибки вимірювання і швидкодії.

Квантування безперервної вимірюваної величини за рівнем і дискретизація в часі



Квантований номер що відповідає вибірці вхідної величини в певний момент часу, зображується певним кодом і подається цифровим сигналом, який в більшості практичних випадків незалежно від використовуваної системи числення є бінарним, тобто подається лише двома різними рівнями - 1 то 0

Кодування результату аналого-цифрового перетворення - це операція його представлення за допомогою сукупності (кодових) символів вибраного алфавіту (системі числення), що здійснюється за однозначними правилами.

Для **цифрових вимірювань** кодування - це є операція перекладу числового значення даної величини X в іншу систему числення.

- Незалежно від використовуваної системи числення, результати перетворення АЦП переважно представляють бінарними символами, тобто лише двома різними рівнями -1 та 0.

Цифровим кодом називається сукупність правил, які встановлюють значення кожного елемента залежно від його місця в кодовій комбінації та її довжини.

Наприклад, у випадку 8 розрядного двійкового числа 10011101 його десяткове значення

$$N_x = a_7 2^7 + a_6 2^6 + a_5 2^5 + a_4 2^4 + a_3 2^3 + a_2 2^2 + a_1 2^1 + a_0 2^0 = 1 \times 128 + 0 \times 64 + 0 \times 32 + 1 \times 16 + 1 \times 8 + 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 = 157.$$

Двійковий нормальний код (основою є число 2) - значення числа подається у двійковій системі числення послідовністю n двійкових цифр, кожна з яких може мати лише значення 0 та 1, наприклад, 10011101, при цьому вага цифри у числі дорівнює числу два у степені, яка визначається номером (позиції) розряду

Цифрові символи первинних цифрових кодів загального використання

Десяткове число	Одиничний нормальний код	Одиничний позиційний код	Двійковий нормальний код	Двійково-десятковий код
0	1	000000000	00000	0000 0001
1	11	000000001	00001	0000 0010
2	111	000000010	00010	0000 0011
3	1111	000000100	00011	0000 0100
4	11111	0000001000	00100	0000 0101
5	111111	0000010000	00101	0000 0110
6	1111111	0000100000	00110	0000 0111
7	11111111	0001000000	00111	0000 1000
8	111111111	0010000000	01000	0000 1001
9	1111111111	0100000000	01001	0000 1010
10	11111111111	1000000000	01010	0001 0000

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №20

Тема: Цифрова обробка сигналів

Мета: Вивчити основні види цифрової обробки сигналів

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Цифрові вимірювальні прилади (ЦВП)
- 2 Узагальнена структурна схема ЦВП

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Пояснити поняття цифрові вимірювальні прилади (ЦВП)
- 2 Узагальнена структурна схема ЦВП

1 Цифрові вимірювальні прилади (ЦВП)

Цифровими вимірювальними приладами (ЦВП) називаються прилади, в яких під час вимірювання здійснюється автоматичне перетворення неперервної вимірюваної величини в дискретну з подальшою індикацією результату вимірювання у цифровій формі.

Залежно від виду вимірюваних величин ЦВП діляться на

- вольтметри постійного та змінного струму;
- вимірювачі частоти та інтервалу часу;
- омметри та мости постійного та змінного струму;
- комбіновані прилади (мультиметри);
- вимірювачі потужності;
- фазометри;
- спеціалізовані ЦВП, призначені для вимірювання температури, витрат, швидкостей, механічних напружень тощо.

Границя допустимої відносної основної похибки

$$\delta_{\text{сп}} = \pm \left(c + d \left| \frac{x_K}{x} \right| \right) \%$$

$$\delta_{\text{сп}} = \left[c + d \left(\left| \frac{x_K}{x} \right| - 1 \right) \right] \%$$

- c/d - коефіцієнти, якими позначають клас точності ЦВП
- x_K, x - границя вимірювання та показ ЦВП

Швидкодія ЦВП кількість вимірювань (для АЦП - перетворень) за одну секунду або час одного вимірювання (перетворення).

- визначається здатністю оператора відраховувати покази, що змінюються.
- Враховуючи інерційність людського зору, недоцільно створювати ЦВП із швидкодією більше ніж 10-12 вимірювань за секунду.

Переваги ЦВП

Порівняно з аналоговими приладами :

- висока швидкість,
- широкий діапазон вимірювання,
- висока швидкодія,
- одержання результату у формі, зручній для використання у цифрових ЕОМ,
- автоматизація вимірювання.

Висока швидкодія - до сотень мільйонів вимірювань за секунду, що об'єктивно вимагає використання засобів обчислювальної техніки для опрацювання результатів вимірювань;

Висока точність - яка, за умов наявності автоматичного калібрування і опрацювання результатів перетворень, може наближатися до точності робочих еталонів одиниць фізичних величин;

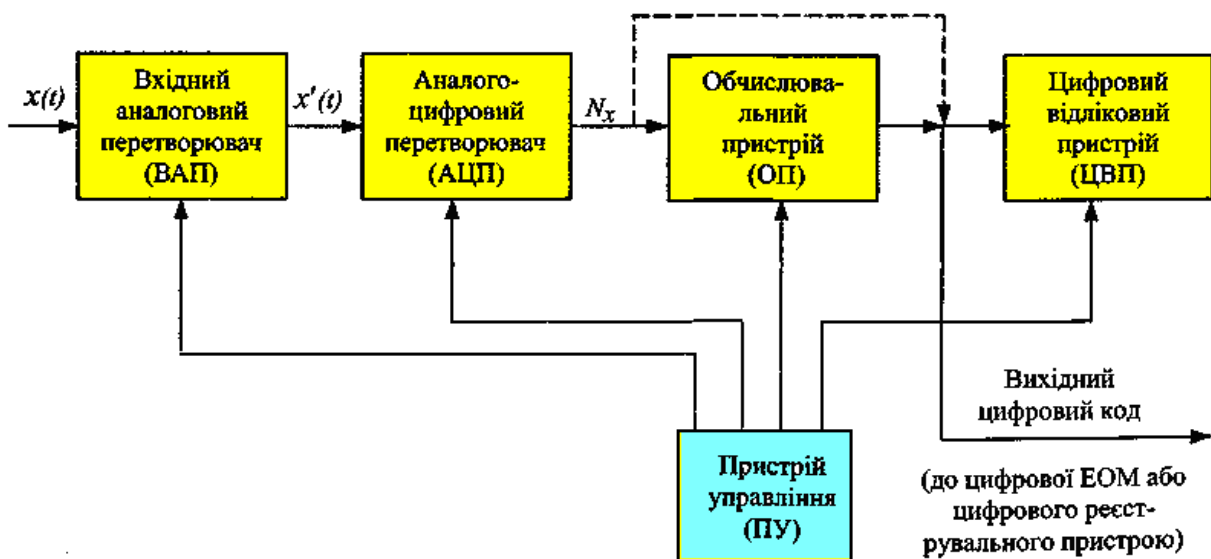
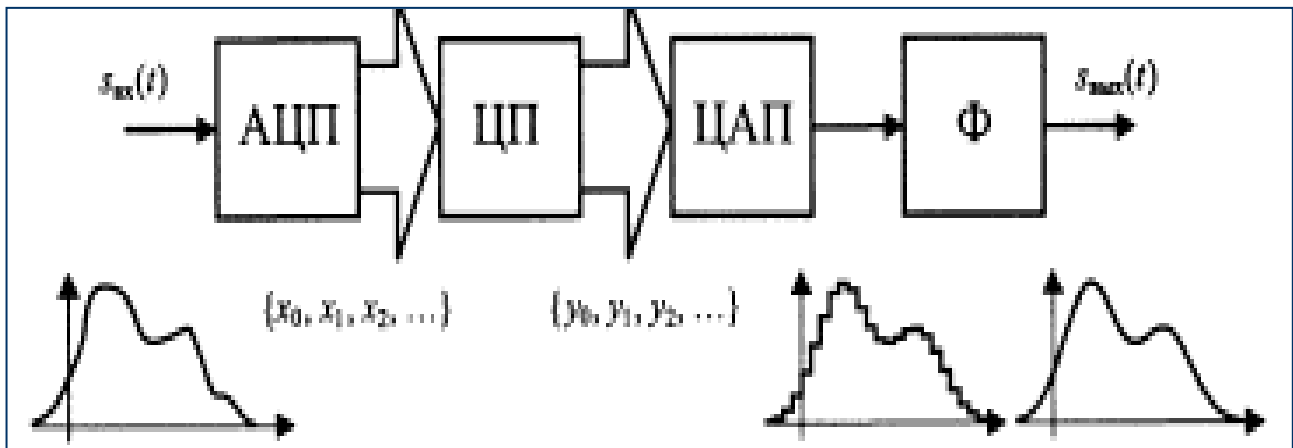
Відсутність суб'єктивних складових похибки відліку, наявність яких (при обмеженій довжині шкали) лімітує максимально можливу точність аналогових приладів;

- наявність кодового вихідного сигналу є зручним для його опрацювання, запам'ятовування, реєстрації і передачі на великі відстані без похибок та корекцією збоїв;
- можливість зменшення складових похибки вимірювального кола, в тому числі і систематичних, автоматичними калібруваннями і (або) уведенням поправок.
- можливість забезпечення високої завадостійкості перетворення аналог-код за допомогою цифрової фільтрації результатів перетворень;
- можливість визначення статистичних параметрів вимірюваних процесів на базі програмної реалізації відомих теоретичних математичних залежностей.

Недоліки

- складність
- порівняно висока вартість
- менша, ніж в аналогових приладів, надійність
- широке використання інтегральних схем для побудови ЦВП дає змогу зменшити вказані недоліки.

2 Узагальнена структурна схема ЦВП



САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №21

Тема: Цифрові осцилографи

Мета: Вивчити основні види цифрових осцилографів

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Цифрові осцилографи
- 2 Цифрові осцилографи, що запам'ятовують
- 3 Цифрові люмінофорні осцилографи
- 4 Цифрові стробоскопічні осцилографи
- 5 Віртуальні осцилографи

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Пояснити поняття цифровий осцилограф
- 2 Привести класифікацію цифрових осцилографів

1 Цифрові осцилографи

Останнім часом цифрові осцилографи, які мають великий ряд переваг, витісняють аналогові прилади зі світового ринку, але все-таки традиційні аналогові осцилографи реального часу не зникають повністю, насамперед із-за низької вартості порівняно з цифровими осцилографами. Плюс до цього з розвитком елементної бази аналогові осцилографи придбали ряд важливих додаткових функцій і можливостей, наприклад, курсори з цифровим відліком величин (напруги і часу), що надзвичайно полегшують роботу, і дуже зручне цифрове управління. За допомогою вхідного мультиплексора для декількох каналів можна досить просто організувати єдину розгортку на однолучевой трубці з відображенням декількох сигналів

2 Цифрові осцилографи, що запам'ятовують

В порівнянні з аналоговими попередниками вони мають ширші можливості, а завдяки зниженню вартості цифрових схем з кожним роком вони стають доступнішими потенційним покупцям. У загальному вигляді цифровий осцилограф складається з вхідного дільника, нормалізуючого підсилювача, аналого-цифрового перетворювача, блоку пам'яті, пристрою управління і пристрою відображення. Пристрій відображення зазвичай виконується на основі рідкокристалічної панелі (див. рис.15,16)

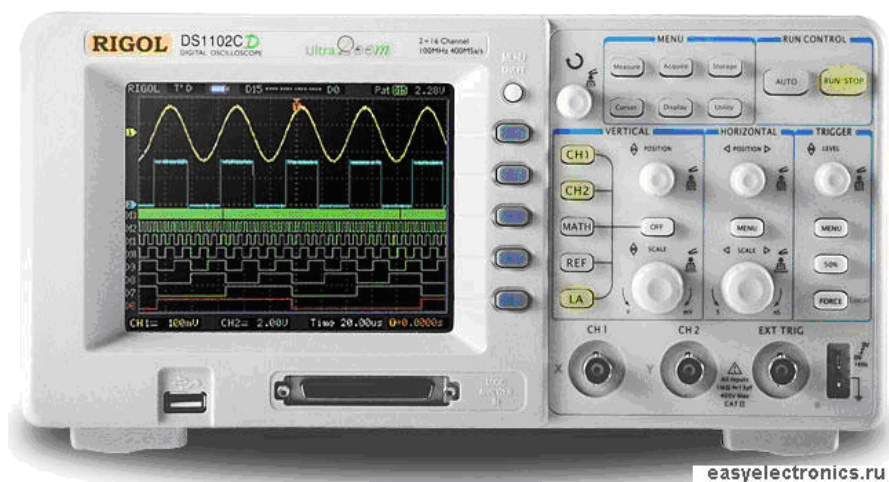


Рис.15. Зовнішній вигляд цифрового осцилографу

Цифрові осцилографи мають більш широкі можливості за рахунок самого принципу роботи. Вхідний сигнал після нормалізації перетворюється в цифрову форму і записується в пам'ять. Швидкість запису (кількість вибірок у секунду) задається пристроєм управління, і її верхня межа визначається швидкодією аналого-цифрового перетворювача, а нижня межа теоретично не обмежена, на відміну від аналогових осцилографів. Повне оцифрування сигналу дозволяє уникнути відображення сигналу в реальному масштабі часу і, отже, підвищити стійкість зображення, організувати збереження результатів, спростити масштабування і розтяжку, ввести мітки. Використання дисплея замість осцилографічної трубки відкриває можливість для відображення будь-якої додаткової інформації і управління приладом за допомогою меню.

Характеристики сучасних цифрових осцилографів:

- висока чутливість (від 1 мВ/дел) і дозвільна спроможність (від 8 до 14 біт);
- широкий діапазон коефіцієнтів розгортки (від 2 нс до 50 с);
- розтяжка сигналу за часом або по амплітуді в широких межах;
- розвинена логіка синхронізації з будь-якими затримками запуску розгортки.

Окрім звичайних схем запуску синхронізації запуск може проводитися, наприклад, при настанні певної події або при його відсутності, а також при досягненні певного значення параметра сигналу. Сигнал, по якому здійснюється синхронізація, і основний сигнал можна спостерігати у момент безпосередньо перед запуском розгортки.

3 Цифрові люмінофорні осцилографи

Цей клас цифрових осцилографів використовує нову архітектуру побудови, яка базується на технології «цифрового люмінофора». Ця технологія в цифровій

формі імітує властиву аналоговим осцилографам реального часу зміну інтенсивності зображення. Іншими словами, цифрові люмінофорные осцилографи дозволяють розробникам бачити на екрані, наприклад, модульовані сигнали і всі їх тонкі деталі, як і аналогові осцилографи реального часу, забезпечуючи при цьому їх зберігання, вимірювання і аналіз, як цифрові осцилографи, що запам'ятовують. Як і інші сучасні цифрові осцилографи, люмінофорні осцилографи мають пам'ять, в якій, зокрема, зберігаються значення різниці часів затримок між різними пробниками.

4 Цифрові стробоскопічні осцилографи

В цьому класі приладів використовується принцип послідовного стробування миттєвих значень сигналу для перетворення (стискування) його спектру; при кожному повторенні сигналу визначається (відбирається) миттєве значення сигналу в одній точці. Стробоскопічні осцилографи найбільш широкосмугові (значення смуги пропускання може становить 100 ГГц) і дозволяють досліджувати періодичні сигнали з мінімальною тривалістю. Але слід зазначити, осцилографи цього класу є дуже дорогими, а тому використовуються, як правило, для вирішення складних технічних і виробничих проблем.

5 Віртуальні осцилографи

Новий клас осцилографів, що базується на використанні персонального компютера, який може бути як зовнішнім приладом з USB або паралельним портом введення-виводу даних, або ж внутрішнім додатковим приладом на основі PCI або ISA карт. Програмне забезпечення будь-якого віртуального осцилографа дає можливість повного управління приладом, а також надає ряд сервісних можливостей, наприклад, експорт/імпорт даних, математична обробка сигналів, розширені вимірювання, цифрова фільтрація і так далі. Різні серії осцилографів на базі ПК можуть використовуватися для дуже широкого спектру вимірювань, зокрема при розробці і обслуговуванні радіоелектронної апаратури, в сферах телекомунікацій і зв'язку, при виробництві комп'ютерної техніки, при діагностиці автотранспортних засобів на станціях техобслуговування і багато інших, в яких необхідно тестувати і оцінювати перехідні, нестійкі процеси, що відбуваються. Враховуючи ключові переваги – високу швидкість, малі габарити, легкість у використанні і невисоку вартість, можна стверджувати, що дані прилади – гідна альтернатива традиційним цифровим осцилографам, що запам'ятовують. Недоліком приладу є неможливість побачити і зміряти постійну складову сигналів.



Рис. 16. Портативний цифровий осцилограф

Завдяки вище викладеним перевагам цифрові осцилографи зайняли міцні позиції у виробництві контрольних – вимірювальних приладів і майже витіснили з ринку аналогові осцилографи. За даними компанії Frost & Sullivan, частка продажів цифрових осцилографів на світовому ринку в 2007 році складала 87,4%, тоді як для аналогових приладів названа цифра 2,8%. На сьогоднішній день в світі існує немало фірм, які займаються розробкою цифрових осцилографів досить давно і пропонують хорошу, сертифіковану, багатофункціональну продукцію. Але із споживчої точки зору вагомим недоліком цих проділів є достатньо висока їх вартість.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №22

Тема: Вимірювання струму в колах постійного та змінного струму

Мета: Вивчити прилади для вимірювання струму

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Амперметри, міліамперметри, мікроамперметри і гальванометри

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

Питання для самоконтролю.

1 Пояснити основні види амперметрів

1 Амперметри, міліамперметри, мікроамперметри і гальванометри

• *Амперметри* — це прилади для вимірювання електричних струмів. Залежно від величини вимірюваного струму можуть бути дещо відмінними і їхні назви: *міліамперметр*, *мікроамперметр*.

Міліамперметр має границю вимірювань струму меншу, ніж один ампер, а *мікроамперметр* — навіть меншу за один міліампер.

Деякі прилади використовують і для вимірювання значних струмів — *кілоамперметри*. Слід зауважити, що у міліамперметрів і мікроамперметрів

вимірювані струми справді протікають безпосередньо через прилади: у амперметрів — на значні струми, а у кілоамперметрів струм, що позначений на них, ніколи не протікає через коло приладу.

Для вимірювань цими приладами необхідне обладнання, яке б нормовано зменшувало вимірюваний струм до величини, прийнятної для самого вимірювального приладу. При вимірюванні змінного струму — це *вимірювальні трансформатори струму*, при вимірюванні постійного — це *вимірювальні шунти*.

Для вимірювання струму використовують також і *гальванометри*. Це високочутливі електровимірювальні прилади, призначені для вимірювання струмів дуже малої величини — десь від кількох мікроампер до 10^{-11} А.

Але основне призначення гальванометрів є все ж не вимірювання, а визначення режиму відсутності струму при нульових (зрівноважувальних) методах вимірювань у потенціометричних і мостових схемах.

Амперметри можуть бути виконані на основі вимірювальних механізмів: • електромагнітної (найпростіші); • магнітоелектричної; • електродинамічної; • феродинамічної або теплової систем.

Електромагнітні, електродинамічні, феродинамічні та теплові амперметри здатні вимірювати постійні та змінні струми. Магнітоелектричні ж амперметри використовують для вимірювання постійного струму.

Для вимірювань на змінному струмі ці прилади використовують з напівпровідниковими випрямлячами, але клас точності вимірювань при цьому відносно невисокий (2,5...4,0).

Амперметр електромагнітної системи — це найпростіший і найнадійніший прилад, що може працювати як у колах постійного, так і змінного струму. Струмopовідною у нього є лише обмотка нерухомої котушки, що приєднана до затискачів приладу.

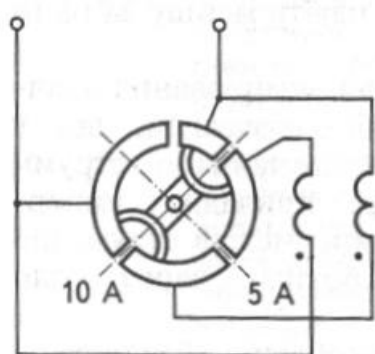


Рис. 8.1 Схема двоградничного електромагнітного амперметра

Переносні електромагнітні амперметри у більшості випадків виконують на дві границі вимірювання. Це досягається відносно простим способом — намоткою котушки двома паралельними проводами і вмиканням цих двох секцій обмотки послідовно для вимірювання меншого струму і, паралельно, для вимірювання більшого струму. Границі вимірювання перемикають перемикачами. Схему ам-

перметра з двома границями вимірювання на номінальні струми 5 і 10 А зображено на рис. 8.1.

Для розширення границь вимірювання, електромагнітні амперметри ніколи не використовують з шунтами, але ними часто користуються з трансформаторами струму.

Магнітоелектричні амперметри значно складніші й дорожчі за електромагнітні. У них обмотки рамок, що створюють обертовий момент у приладах, розраховані на струми лише у десятки — сотні міліампер, через наявність підводу до них струму через пружини, що мають дуже малу площу поперечного перерізу і нездатні пропускати більш значний струм.

Тому ці прилади завжди мають внутрішній шунт, що пропускає через себе більшу частину струму. Коло ж рамки вимірювального механізму тут використано як мілівольтметр, що вимірює падіння напруги на цьому шунті, пропорційне величині струму, який проходить через шунт. Шкалу такого приладу градуюють у амперах, якщо прилад має одну границю виміру. Але часто магнітоелектричні амперметри виготовляють з універсальними шунтами, придатними для користування з декількома границями вимірів. У цьому разі шкалу градуюють лише неіменованими поділками. Схему такого амперметра наведено на рис. 8.2.

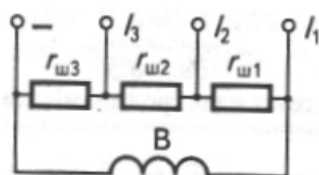


Рис. 8.2 Схема магнітоелектричного амперметра

У всіх магнітоелектричних амперметрах, послідовно з обмоткою рамки, ввімкнено резистор, виконаний з манганіну. Це суттєво зменшує похибку приладу, спричинену нагрівом обмотки рамки як протіканням власного струму, так і зміною температури довкілля.

Електродинамічні амперметри в основному використовують як зразкові електровимірювальні прилади. Виготовляють їх на основі електродинамічного вимірювального механізму. Вони однаково придатні як для вимірів на постійному, так і на змінному струмі. Ці прилади за будовою значно складніші за електромагнітні й споживають більшу потужність. Будову електродинамічного вимірювального механізму зображено на рис. 4.3, а принципову схему електродинамічного амперметра, розрахованого на дві границі вимірювання струму, на рис. 8.3. Перемикання границь вимірювання струмів в цій схемі виконується перемикачем.

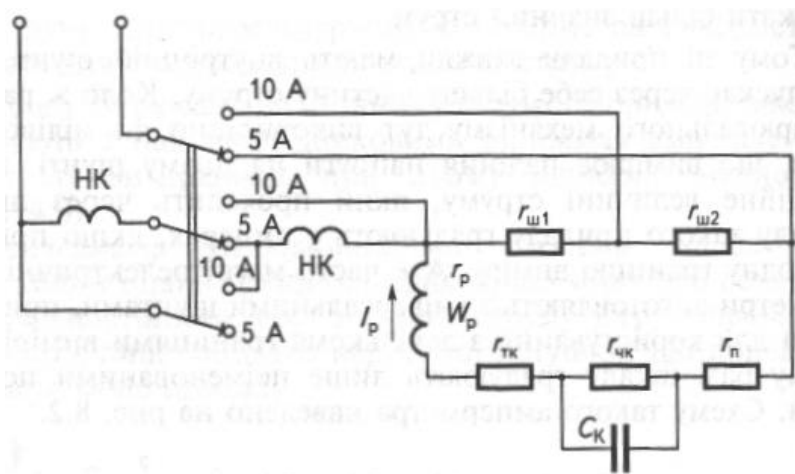


Рис. 8.3 Принципові схеми електродинамічного амперметра

Особливістю електродинамічного амперметра є те, що його рамка живиться через спіральні пружини, які створюють обертовий момент протидії, але неспроможні витримати скільки-небудь значний струм. Саме тому рамку приєднано до шунта, створеного резисторами $r_{ш1}$ і $r_{ш2}$, так що більша частина вимірюваного струму проходить через шунт (при вмиканні на більшу границю вимірювань — через резистор $r_{ш1}$, а при вмиканні на меншу границю вимірювань — через резистори $r_{ш1}$ і $r_{ш2}$), в рамку ж відгалужується лише частина вимірюваного струму, допустима по нагріванню як для обмотки рамки W_p , так і для спіральних пружин, що підводять до рамки струм. Послідовно з рамкою ввімкнено резистори $r_{чк}$ і $r_{тк}$, які виконано з манганінового проводу, що має дуже малий температурний коефіцієнт опору. Ці резистори зменшують залежність величини струму рамки I_p від зміни величини опору рамки r_p при її нагріві, незалежно від того, чим викликаний цей нагрів — чи зміною температури довкілля, чи проходженням через рамки струму I_p . Конденсатор C_k разом з резистором $r_{чк}$ є елементами частотної компенсації, яка забезпечує збіг показів амперметра при вимірах на постійному та змінному струмі.

Слід зауважити, що така проста схема компенсації похибки на змінному струмі від наявної індуктивності рамки буває ефективною при вимірах у досить широкому діапазоні зміни величини частоти джерела змінного струму (від кількох десятків до кількох сотень герц).

Феродинамічні амперметри, як і електродинамічні, мають одну чи дві нерухомі обмотки, розташовані на феромагнітному осерді (як показано на рис. 4.4), і рухому обмотку-рамку, яка живиться через пружинки, не розраховані на проходження по них значних струмів. Тому за схемою феродинамічні амперметри не відрізняються від електродинамічних. Перевагою феродинамічних амперметрів є їхня значно менша споживана потужність, більший обертовий момент і пов'язана з цим більша надійність у роботі. Вони також краще захищені від впливу зовнішніх магнітних полів.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №23

Тема: Вимірювання напруги в колах постійного та змінного струму

Мета: Вивчити прилади для вимірювання напруги

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Вольтметри й мілівольтметри

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

Питання для самоконтролю.

1 Пояснити основні види вольтметрів

Вольтметри й мілівольтметри

• **Вольтметр** — це прилад для вимірювання ЕРС чи напруги в електричних колах. Він приєднується паралельно з устаткуванням, де бажано виміряти якусь з цих величин.

Вольтметри виконують на основі: «магнітоелектричних»; • електродинамічних; • феродинамічних; • електромагнітних; • теплових; • електростатичних вимірювальних механізмів.

Магнітоелектричні вольтметри використовують для вимірів напруг постійного струму. *Електродинамічні* та *електростатичні вольтметри* можуть бути використані для вимірювань як на постійному, так і на змінному струмах. *електромагнітні* й *феродинамічні вольтметри* при використанні відповідних матеріалів при їх виготовленні (напри-^яд, пермалою) та при відповідній технології обробки цих матеріалів також можуть бути використані як на постійному, так і на змінному струмах.

Обмотки вимірювальних механізмів вольтметрів магнітоелектричної, електродинамічної, феродинамічної та електромагнітної систем намагаються виконати з якомога більшою кількістю витків, щоб одержати відхилення покажчика

вольтметра до кінцевої позначки шкали при можливо меншому значенні струму, споживаного обмоткою (чи обмотками) вимірювального механізму. Зменшення цього струму дасть змогу зменшити об'єм, масу і вартість приладу.

У всіх вольтметрів (за винятком електростатичних) послідовно з обмотками вимірювального механізму (а у теплових — послідовно з розжарюваним дротом) ввімкнено додатковий опір, виконаний у вигляді котушок чи пластин з обмоткою з тонкого проводу, що має великий питомий електричний опір та малий температурний коефіцієнт опору (це манганін чи константан). Цей додатковий опір змонтовано всередині корпусу вольтметра, поряд з вимірювальним механізмом, чи у частині об'єму корпусу, відокремленого від вимірювального механізму теплоізоляційною перегородкою для зменшення впливу тепла, що виділяється обмотками котушок чи пластин додаткового опору, на вимірювальний механізм.

Додаткові опори, які виконаю на пластинах, мають сприятливі умови для охолодження, тому їхня обмотка може бути виконана дротом меншого діаметра, ніж обмотка котушкового додаткового опору. При цьому витрата дроту . високого питомого опору буде значно меншою, ніж у котушкового додаткового опору. Це зменшує грошові витрати у виробництві таких опорів. Але ізоляційні пластини, що разом з накладеною на них обмоткою підлягають термічній обробці при температурах, близьких до 100 °С, часто розривають накладений на них з натягом дріт, через відмінні величини температурних коефіцієнтів лінійного розширення пластин і дроту. Через це котушкові додаткові опори слід визнати більш надійними і більш технологічними.

Стаціонарні вольтметри, які встановлюють на щитах і . пультях управління, звичайно виготовляють кожний на одну певну величину номінальної напруги і градуують безпосередньо в одиницях напруги (у вольтах). Якщо стаціонарні вольтметри призначені для використання з вимірювальними трансформаторами напруги, то їх виконують на напругу повного відхилення 100 В, але шкалу градуують згідно з напругою первинної обмотки вимірювального трансформатора напруги (частіш за все — у кіловольтах). При цьому на шкалі приладу обов'язково роблять напис, де вказують, з яким трансформатором напруги необхідно користуватися цим вольтметром.

Якщо стаціонарний вольтметр призначено для вимірів з окремим зовнішнім додатковим опором, його також градуують згідно з наявністю цього опору, а на шкалі робиться попереджувальний напис про вихідні дані цього додаткового опору.

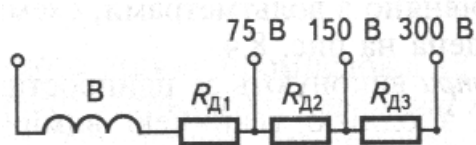


Рис. 8.4 *Схема триграничного вольтметра*

Переносні вольтметри у більшості випадків виготовляють на декілька границь вимірювання напруги. У цих вольтметрів є декілька внутрішніх додаткових опорів,

що послідовно з'єднані як між собою, так і з обмоткою вимірювального механізму. Схему триграничного вольтметра, розрахованого на границі вимірювань 75...150...300 В, зображено на рис. 8.4. Зазначимо, що додаткові опори, зображені на схемі $R_{д1}$, $R_{д2}$ і $R_{д3}$, в дійсності можуть складатись із кількох котушок (кожний), одну з яких використовують для того, щоб можна було при виготовленні вольтметра підігнати величину загального опору приладу для кожної границі вимірювань до величини, вказаної на шкалі цього приладу.

Вольтметр перемикають для вимірювань при різних напругах шляхом приєднання одного провідника, що підводить напругу від місця вимірювання до відповідного затискача вольтметра.

Звичайно, для безпеки на час перемикання границь вимірів напруги контрольоване цим вольтметром електричне коло необхідно вимкнути з мережі. Щоб кожного разу цього не робити, у багатьох випадках вольтметри виконують з важільними чи кнопковими перемикачами границь вимірювання.

Вольтметри з перемикачами можуть мати дещо складнішу схему. Наприклад, при перемиканнях границь виміру напруги виникає можливість не тільки змінювати величину додаткових опорів, а ще й перемикати з послідовного на паралельне з'єднання секції котушок вимірювального механізму електродинамічних і електромагнітних вольтметрів. Саме для цього котушки цих приладів заздалегідь намотують двома (а то й трьома) проводами паралельно. Такі схеми дають можливість суттєво зменшити потужність, споживану приладом при вимірах відносно високих напруг, порівняно з вольтметрами, схеми яких схожі на схему, що наведена на рис. 8.4.

Мілівольтметри виконують за найпростішими схемами і частіше за все з однією границею вимірювань напруги. Створюють їх на основі магнітоелектричних вимірювальних механізмів для вимірів на постійному струмі.

Мілівольтметри змінного струму виконують як електронні прилади

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №24

Тема: Вимірювання струму і напруги високої частоти

Мета: Вивчити прилади для вимірювання напруги та струму високої частоти

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Амперметри і вольтметри для кіл підвищеної частоти

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

5 Атамаян 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

Питання для самоконтролю.

1 Пояснити особливості амперметрів і вольтметрів для кіл підвищеної частоти

1 Амперметри і вольтметри для кіл підвищеної частоти

Для вимірювання струму на підвищених частотах (до 8000...10000 Гц) придатні також електромагнітні прилади. В Україні виробляли такі стаціонарні прилади на 1000, 2500 і 8000 Гц. За наявності у них феромагнітних пелюстків рухомої частини з тонкого пермалою, термічне обробленого у вакуумі чи відновлювальному середовищі, та при градуюванні їхніх шкал при струмі номінальної для них частоти, основна похибка цих приладів вкладається у межі, обумовлені їхнім класом точності (а це був клас 2,5).

Переносні амперметри електродинамічної системи також цілком придатні для вимірювань на підвищених частотах, але за наявності частотної компенсації, згідно з тим, як було розглянуто. Саме ці прилади використовують як зразкові при градуюванні та повірках стаціонарних приладів і підвищеної частоти. Вибираючи зразковий прилад для вимірів на підвищеній частоті, слід орієнтуватися на позначення величини частоти на шкалі. Необхідно знати, що основна похибка приладу не повинна перевищувати значення, яке відповідає класу точності приладу лише на частоті чи у діапазоні частот, підкреслених рискою. Також треба враховувати, що при роботі приладу в діапазонах частот, позначених на шкалі, але не підкреслених (тобто у розширеному діапазоні частот), прилад може мати ще і додаткову похибку, що має не перевищувати величину похибки, зумовленої класом точності приладу. Тобто при роботі у розширеному діапазоні частот прилад може мати загальну величину похибки, вдвоє більшу за ту, що зумовлена класом точності приладу.

У колах змінного струму промислової та підвищеної частоти дуже часто застосовують *випрямні прилади*, що являють собою суміщення вимірювального механізму магнітоелектричної системи з напівпровідниковими випрямлячами. Ці прилади виконують комбінованими — здатними вимірювати, при відповідних переключеннях, ще й постійний струм і напругу.

Такі прилади, відомі під назвою "тестери", роблять ба-гатограничними, їх широко застосовують у налагоджувально-ремонтних роботах.

Принципові схеми випрямних приладів, що вимірюють напругу змінного струму за допомогою магнітоелектричних вимірювальних механізмів, зображено на рис. 8.5.

На цьому рисунку схема (а) забезпечує однопівперіодне випрямлення струму, а схема (б і в) — двопівперіодне. Однопівперіодне випрямлення було б можливим за наявності випрямляча В1, але при цьому випрямляч необхідно розрахувати на повне значення вимірюваної напруги, якщо кимірювальний механізм з випрямлячем буде застосовано у схемі вольтметра. Наявність другого (зустрічного) випрямляча В2 дає можливість використати обидва випрямлячі на величину напруги всього у кілька вольт. Додаткові опори r_d розширюють границі вимірювання напруги.

Всім приладам з напівпровідниковими випрямлячами притаманні дві основні вади: залежність показів від величини температури та від величини частоти.

При підвищенні температури зменшуються величина опору напівпровідників та коефіцієнт випрямлення. При підвищенні частоти наявність ємності випрямлячів призводить до збільшення частки змінного струму, що, не випрямляючись, проходить повз запірний шар напівпровідника. Це зменшує коефіцієнт випрямлення (і показання приладу) зі збільшенням величини частоти.

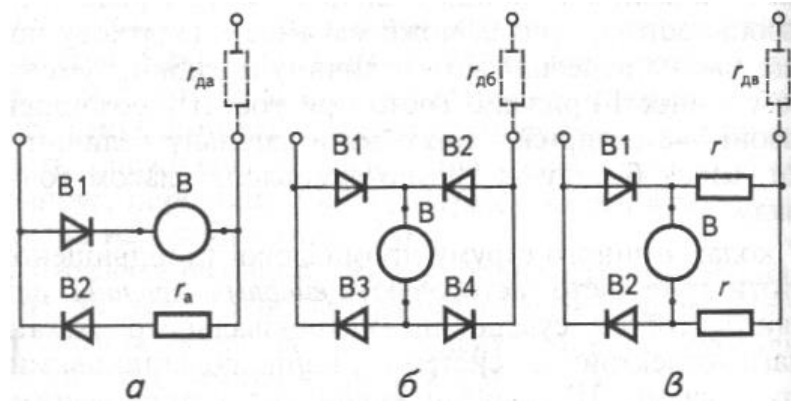


Рис. 8.5 Принципові схеми випрямних приладів: а — з однопівперіодним випрямлячем; б, в — з двопівперіодним випрямлячем

Є багато схем температурної та частотної компенсації похибок у випрямних приладах. Компенсація полягає у вмиканні дротяних резисторів, виконаних з мідного проводу, в ділянки кола приладу, де необхідне збільшення опору при підвищенні температури доквілля, та у вмиканні котушок індуктивностей у ділянки, де необхідне збільшення загального опору при підвищенні частоти.

Але у багатьох випадках при створенні випрямних вимірювальних приладів не вдаються до складних схем частотної компенсації, а обмежують діапазон робочих частот величиною, що досягає 1500...2500 Гц, якщо клас приладу на змінному струмі не перевищує 2,5...4,0.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №25

Тема: Вимірювання активного опору

Мета: Вивчити прилади для вимірювання активного опору

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Методи вимірювання електричного опору

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

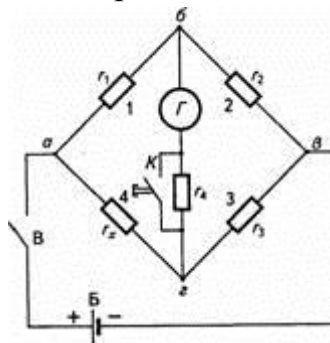
6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

Питання для самоконтролю.

1 Пояснити методи вимірювання електричного опору

1 Методи вимірювання електричного опору

У мостових схемах опори вимірюють, порівнюючи величини вимірюваного опору з величиною зразкового опору шляхом порівняння падіння напруг на цих опорах. Схему вимірювального моста постійного струму для вимірювання опорів (моста Вістона) наведено на рис. 1.



Вимірюваний опір r_x , величина якого невідома, ввімкнено в четверте плече моста, а в перше плече — зразковий регульований опір. Якщо величини опорів r_2 і r_3 рівні між собою, то величина регульованого опору r , має бути не меншою, ніж величина вимірюваного опору. Джерело живлення B (батарея, акумулятор, випрямляч)

тут уміщено в першу діагональ мосту ($a — e$), а в другу ($b — z$) — індикатор нуля (магнітоелектричний гальванометр Γ).

Змінюючи величину опору r_1 , досягають такої напруги між точками a , b , як і між точками a , z . Спочатку врівноваження величини цієї напруги виконують при наявності у колі гальванометра Γ резистора r_4 , що зменшує чутливість гальванометра до напруги між точками b і z . Це робиться для того, щоб захистити гальванометр від відносно великих для нього напруг, які матимуть місце, поки міст не збалансовано. Коли ж відхилення стрілки гальванометра зменшаться, що свідчить про підхід до стану рівноваги мосту, натискають кнопку K і замикають резистор r_4 , тим самим збільшуючи чутливість гальванометра Γ , і останніми декадами магазину зразкового опору r , ще дещо змінюють величину цього опору, досягаючи відсутності показань гальванометра Γ вже без опору r_4 . Це і буде стан рівноваги мосту.

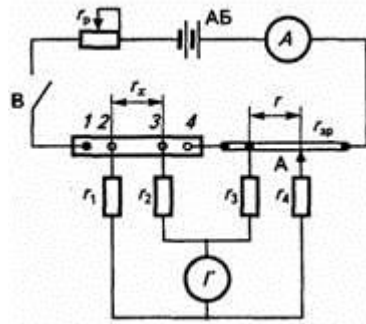
За умови, коли $r_2 = r_3$, при цій рівновазі величини опорів r_1 , і r_x будуть дорівнювати один одному. Тобто величину опору r , можна визначити з положення ручок зразкового магазину опорів r_1 .

Подібні мости для вимірювання опорів використовують для вимірювання величин опорів від десятих часток ома й до 100 000 Ом.

Для вимірювання менших і більших величин опорів користуються іншими схемами чи приладами.

Так, якщо необхідно вимірювати опори порядку $0,1 \dots 0,0001$ Ом, то схема, що розглядається, не може дати задовільних результатів, бо вимірюватиме не тільки величину опору, приєднаного до мосту резистора, а й опір контактів та проводів, якими цей резистор приєднано до мосту. Наявність цих опорів суттєво знижує точність вимірювання.

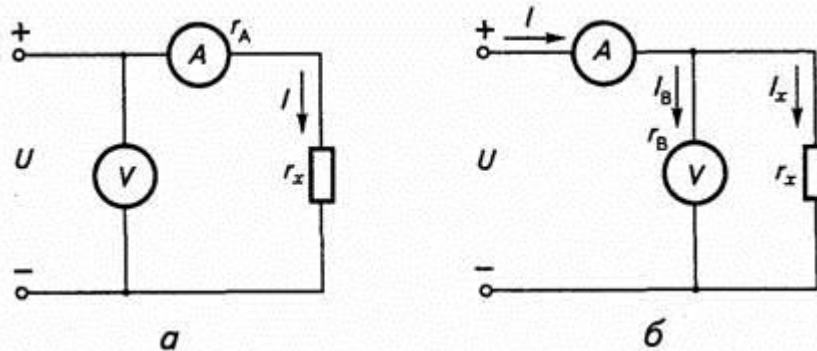
Вказаний недолік мостової схеми відсутній у разі вимірювання малих опорів подвійним мостом (*мостом Томсона*), схему якого наведено на рис. 2. Вимірюваний малий опір r_x на цій схемі приєднано до схеми мосту за допомогою чотирьох затискачів 1... 4. Затискачі 1 та 4 призначено для вмикання резистора у коло струму, а 2 та 3 — для зняття падіння напруги з тієї частини опору, котра саме вимірюється. В схему ввімкнено зразковий опір $r_{зр}$, загальна величина якого незмінна, але опір його середньої частини r може змінюватись при переміщенні по ньому рухомого контакту A . У схему введено гальванометр Γ , приєднаний до потенційних затискачів 2 і 3 вимірюваного опору через два однакових резистори r_1 і r_2 величиною, що значно перевищує як величину вимірюваного опору r_x , так і величину зразкового опору $r_{зр}$, виконаного переважно у вигляді реохорда. Гальванометр Γ також приєднано до зразкового опору двома однаковими за величиною резисторами r_3 і r_4 , величина яких звичайно буває більшою за величину резисторів r_1 і r_2 у 10, 100 і 1000 разів.



За допомогою мостів постійного струму можна вимірювати величини опорів від 10^{-6} до 10^6 Ом (менші величини опорів вимірюють подвійними мостами, більші - одинарними).

Величину опору можна визначити простим *посереднім способом* — розрахунком за показаннями амперметра і вольтметра. Амперметр вимірює струм, що проходить по резистору, опір якого необхідно визначити, а вольтметр — напругу, за якої цей струм було одержано.

Можливі схеми для виконання таких вимірювань наведено на рис. 3.



При вимірюванні за обома схемами величина вимірюваного опору:

$$r_x = \frac{U}{I}$$

де U — вимірювана напруга, В;

I — виміряний струм, А.

У випадках, коли вимірювання проводять при напругах у десятки вольт, а величиною падіння напруги на опорі амперметра нехтують, слід застосовувати схему, зображену на рис. 3, а. Якщо ж величина опору r_x несумірно менша за величину опору вольтметра, то слід застосувати схему рис. 3, б.

Слід зауважити, що наведені схеми придатні в основному для вимірювань, коли точність визначення величини опору може бути відносно невеликою, бо при підрахунках можливі декілька похибок: амперметра, вольтметра і неодноразового зняття з них показань (бо за час спостереження оператором за кількома приладами можлива зміна напруги джерела живлення, яка при малій величині цієї зміни може залишитись непоміченою). Крім того, наведені схеми прості лише у вимірювальній частині. Насправді ж, коли величина опору r_x невідома навіть приблизно, між джерелом живлення і вимірювальною схемою має бути ввімкнений пристрій для регулювання напруги, що подається на схему. В разі відсутності такого пристрою, коли величина опору r_x істотно менша за очікувану, можливе пошкодження як ам-

перметра, так і джерела живлення значним струмом, споживаним вимірюваним опором r_x . Можливе пошкодження і самого вимірюваного опору.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №26

Тема: Вимірювання ємності та індуктивності

Мета: Вивчити прилади для вимірювання ємності та індуктивності

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Методи вимірювання ємності
- 2 Методи вимірювання індуктивності
- 3 Методи вимірювання добротності

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Які існують методи вимірювання ємності?
- 2 Які існують методи вимірювання індуктивності?
- 3 Які існують методи вимірювання добротності?

1 Визначення величини ємності у конденсаторах

При роботі в електричних полях змінного струму у діелектриках виникають втрати потужності. Здебільшого вони йдуть на розігрів діелектрика й прилеглих до нього частин електроустаткування. Величину цих втрат $P_{вт}$ можна підрахувати за досить простим виразом (якщо електричне поле в діелектрику буде рівномірним):

$$P_{вт} = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta$$

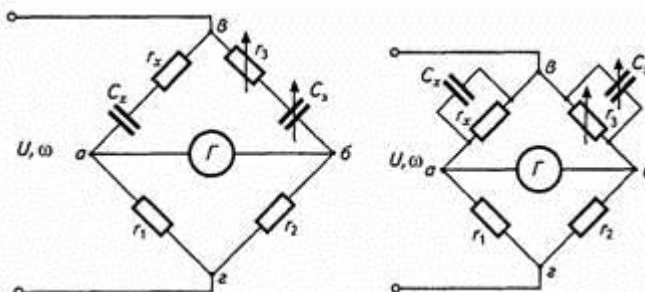
де U — напруга, що створює електричне поле в діелектрику;

ω — кругова частота напруги;

C — ємність ділянки діелектрика, до якої з обох боків прикладено напругу, що створює в ньому рівномірне електричне поле;

$tg \delta$ — тангенс кута діелектричних втрат.

Якщо з визначенням величин напруги, частоти і ємності все ясно, то спосіб визначення величини $tg \delta$ досі ще був невідомий. Виявляється, що цю величину можна визначати поряд із величиною ємності вимірювальними мостами, схеми яких зображено на рисунках.



При вимірюваннях за першою схемою та при повній рівновазі мосту (коли $r_1 = r_2$): $tg \delta = \omega C_3 r_3$.

При вимірюваннях за другою схемою і при аналогічній умові:

$$tg \delta = 1/\omega C_3 r_3.$$

При вимірюваннях за обома схемами величина вимірюваної ємності $C_x = C_3$, якщо величина $tg \delta$ не занадто велика.

2 Вимірювання індуктивності та добротності

При виготовленні зв'язної КВ апаратури нерідко виникає необхідність зміряти добротність і індуктивність котушок (звичайно в межах від одиниць до декількох десятків мікрогенрі). Якщо ваш приймач або трансивер мають S-метр, то нескладна приставка дозволить використовувати їх для визначення індуктивності. А якщо S-метр достатньо точно відкалібрований, то, користуючись його показами, можна оцінити і добротність котушки.

Схема приставки показана на рисунку. Приставка складається з генератора з кварцевою стабілізацією частоти і вимірювального ланцюга. Частота генерації, природно, вибрана в межах одного з любительських діапазонів. В даному випадку був застосований кварцевий резонатор на частоту 3579 КГц (від блоків кольоровості телевізорів системи NTSC).

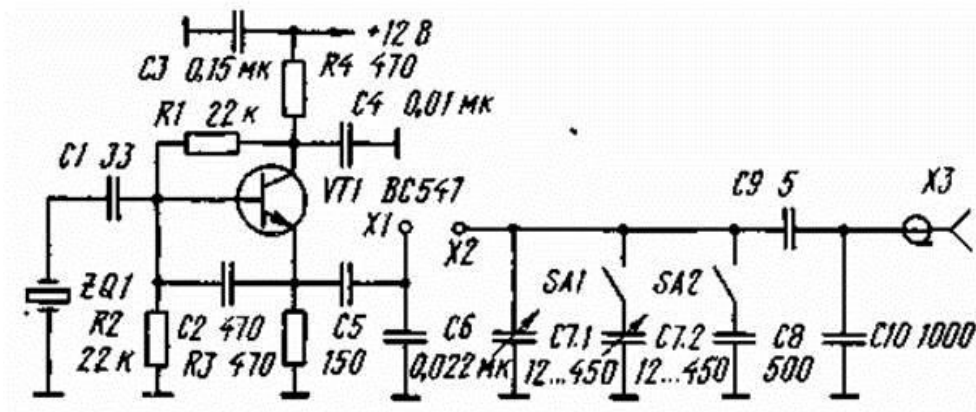


Схема простого Q-метра

У загальному випадку точне значення частоти неістотно - вона впливає лише на перелічувальний коефіцієнт у формулі для розрахунку індуктивності. Для вказаної вище частоти ця формула має вигляд:

$$L = 1974/C$$

де L - індуктивність досліджуваної котушки (мкГн), C - місткість вимірювального контура (нФ).

Нижній на схемі конденсатор розділений на два включених послідовно ($C5$ і $C6$). Малий по величині сигнал знімається з конденсатора $C6$. Велика місткість цього конденсатора практично виключає його вплив на параметри вимірювального контура. Цей конденсатор повинен бути високої якості, зокрема, мати низький ТКЕ.

Сигнал з генератора поступає на послідовний коливальний контур, утворений котушкою індуктивності, параметри якої треба зміряти, і конденсаторами $C7$ - $C10$. Щоб розширити межі вимірювання, перемикачем $S1$ можна приєднати другу секцію змінного конденсатора, а перемикачем $S2$ - конденсатор з місткістю, близькою до максимальної для однієї секції КПЕ. Така комбінація дозволяє одержати перекриття по місткості від мінімальної (для однієї секції змінного конденсатора), до потрібного максимального значення місткості цієї секції.

Конденсатори $C9$ і $C10$ утворюють дільник, що ослабляє вихідний сигнал до рівня, який є прийнятним для приймача.

RLC-метр призначений для автоматичного визначення параметрів імпедансу (ємності C , індуктивності L , активного опору R , взаємної індуктивності M , тангенса кута втрат $\text{tg}\delta$ і тангенса кута фазового зсуву $\text{tg}\varphi$ (добротності Q_C й Q_L)) по кожній із двоелементних схем заміщення, а також процентних відхилень із поданням результатів вимірів у цифровому виді.



Зовнішній вигляд RLC-метра

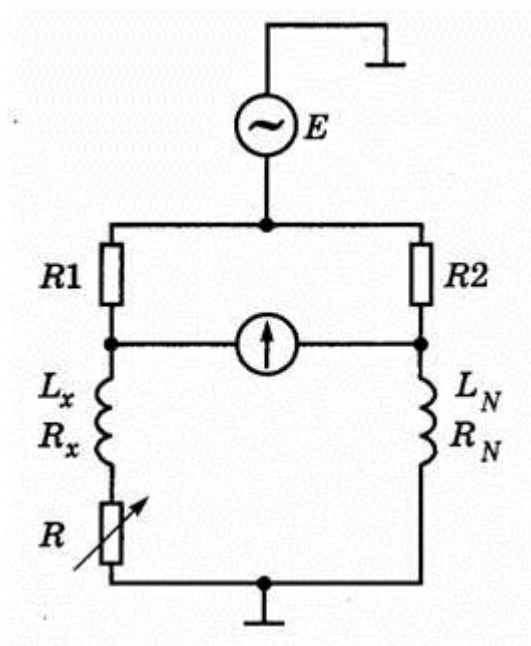
RLC-метр може бути використаний для виконання метрологічних робіт, при контролі електро - і радіотехнічних виробів, у наукових дослідженнях, при вимірах неелектричних величин з використанням вимірювальних перетворювачів будь-якого типу.

Вимірник забезпечує:

– автоматичний вибір характеру реактивності об'єкта вимірів за критерієм "переважаючий параметр";

- урахування початкових параметрів;
- усереднення результатів вимірів; усунення впливу мережних перешкод (на окремих частотах);
- вимір з регулюванням значення напруги змінного струму, що подається на об'єкт виміру;
- два режими вимірів: разовий (для виміру невідомих величин); стежучий (для безперервного виміру величин, що змінюються в часі);
- чотирипарне підключення об'єкта виміру.

За допомогою моста (рис. 2.11) параметри реальної котушки L_x і R_x вимірюють методом порівняння зі зразковою котушкою з відомими параметрами L_N і R_N .



Врівноважують такий міст зміною опорів резистора R , який можна увімкнути послідовно зі зразковою або із досліджуваною котушкою. У зрівноваженому мості параметри L_x і R_x досліджуваної котушки визначаються за параметрами зразкової котушки L_N і R_N згідно з залежностями:

$$L_x = \frac{R_1}{R_2} L_N;$$

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} (R_N + R)$$

Крім зразкової котушки, часто використовують також зразковий конденсатор, ємність якого зручніше змінювати ступенями, ніж індуктивність котушок. Врівноважують міст зміною опорів R_N і ємності C_N . Параметри досліджуваної котушки визначаються за формулами:

$$L_x = C_N R_1 R_2;$$

$$R_x = \frac{(R_1 \cdot R_2)}{R_N}$$

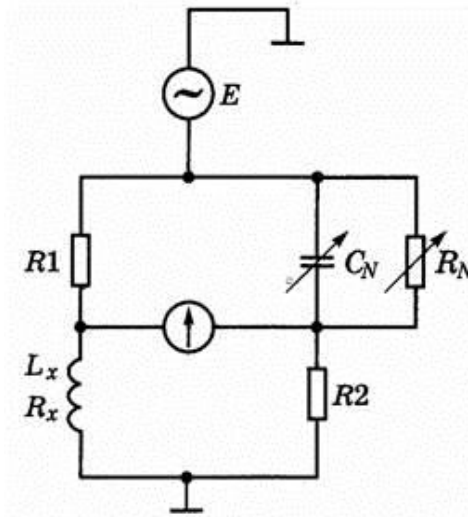


Схема з використанням зразкового конденсатора

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №27

Тема: Вимірювання опору заземлення

Мета: Вивчити прилади для вимірювання опору заземлення

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Методи і прилади вимірювання опору заземлення

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 Атамаян 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

Питання для самоконтролю.

- 1 Які існують методи вимірювання опору заземлення?
- 2 Які існують прилади для вимірювання опору заземлення?

Захисним заземленням називається навмисне електричне з'єднання з землею або еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок замикання на корпус.

Завдання захисного заземлення усунення небезпеки ураження струмом у разі дотику до корпусу та інших неструмоведучих металевих частин електроустановки, що опинилася під напругою.

Принцип дії заземлення зниження напруги між корпусом, які виявилися під напругою, і землею до безпечного значення.

Заземлювальні пристрої після монтажних робіт і періодично не рідше за один раз на рік випробовуються за програмою Правил улаштування електроустановок. За програмою випробування проводиться вимірювання опору заземлювального пристрою.

Опір заземлювального пристрою, до якого приєднані нейтралі генераторів або трансформаторів або висновків джерел однофазного струму, в будь-який час року має бути не більше 2, 4, 8 Ом відповідно при лінійних напругах 660, 380, і 220 В джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму.

1 Вимірювання опору контуру заземлювального пристрої виробляються вимірником заземлення М416 або Ф4103-М1.

Опис вимірювача заземлення М416

Вимірювачі заземлення М416 призначені для вимірювання опору заземлюючих пристроїв, активних опорів і можуть бути використані для визначення питомого опору ґрунту (961;).

Діапазон вимірювання приладу від 0,1 до 1000 Ом і має чотири діапазони виміру:

0,1-10 Ом,

0,5-50 Ом,

2,0-200 Ом,

100-1000 Ом.

Джерелом живлення служать три з'єднані послідовно сухі гальванічні елементи напругою по 1,5 В.



Вимірювач опору заземлення Ф4103-М1

Вимірювач опору заземлення Ф4103-М1 призначений для вимірювання опору заземлюючих пристроїв, питомого опору ґрунтів і активних опорів як при наявності перешкод, так і без них з діапазоном вимірювань від 0-0,3 Ом до 0-15 Ком (10 діапазонів).

Вимірювач Ф4103 є безпечним.

При роботі з вимірювачем в мережах з напругою вище 36 В необхідно виконувати вимоги безпеки, встановлені для таких мереж. Клас точності вимірювального приладу Ф4103 2,5 і 4 (в залежності від діапазону вимірювання).

Живлення елемент (R20, RL20) 9 шт.

Частота оперативного струму 265-310 Гц.

Час встановлення робочого режиму - не більше 10 секунд.

Час встановлення показів в положенні ИЗМ I - не більше 6 секунд, в положенні ИЗМ II - не більше 30 секунд.

Тривалість безперервної роботи не обмежена.

Норма середнього напрацювання на відмову - 7250 годин.

Середній термін служби - 10 років Умови експлуатації - від мінус 25 С до плюс 55 С.

Габаритні розміри, мм 305x125x155.

Маса, кг, не більше 2,2.



Перед проведенням вимірів вимірником Ф4103 необхідно, по можливості, зменшити кількість факторів, що викликають додаткову похибку, наприклад, встановлювати вимірювач практично горизонтально, далеко від потужних електричних полів, використовувати джерела живлення 120,25 В, індуктивну складову враховувати тільки для контурів, опір яких менше 0,5 Ом, визначати наявність перешкод і так далі.

Перешкоди змінного струму виявляються по Качанов стрілки при обертанні ручки ПДСТ в режимі ІЗМІ.

Перешкоди імпульсного (стрибкоподібного) характеру і високочастотні радіоперешкоди виявляються по постійним неперіодичним коливань стрілки.

Порядок проведення вимірювання опору контуру захисного заземлення

1. Встановити елементи живлення у вимірювач заземлення.

2. Встановити перемикач в положення Контроль 5 937; натиснути кнопку і обертанням ручки реохорд домогтися встановлення стрілки індикатора в нульову позначку шкали.

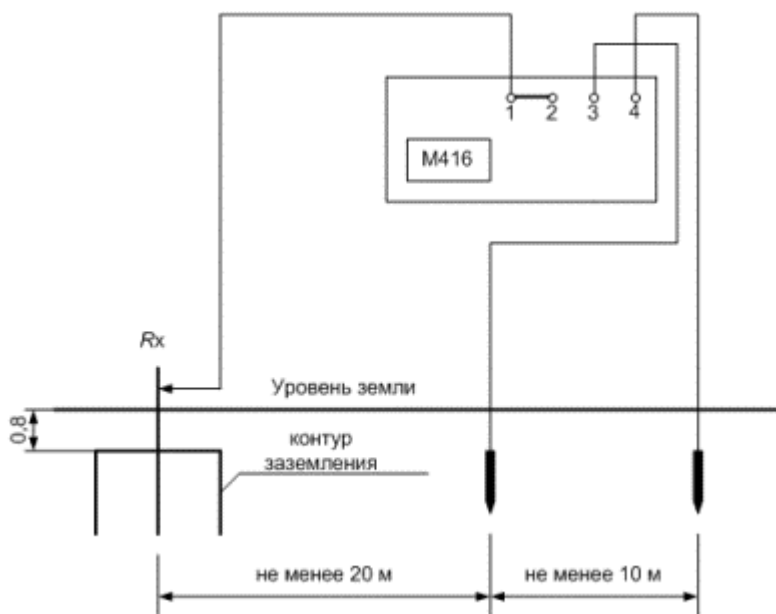
3. Підключити з'єднувальні дроти до приладу, як показано на малюнку 1, якщо вимірювання проводяться приладом М416 або малюнку 2, якщо вимірювання проводяться приладом Ф4103-М1.

4. Поглибити додаткові допоміжні електроди (заземлювач і зонд) за схемою рис.1 і 2 на глибину 0,5 м і підключити до них з'єднувальні дроти.

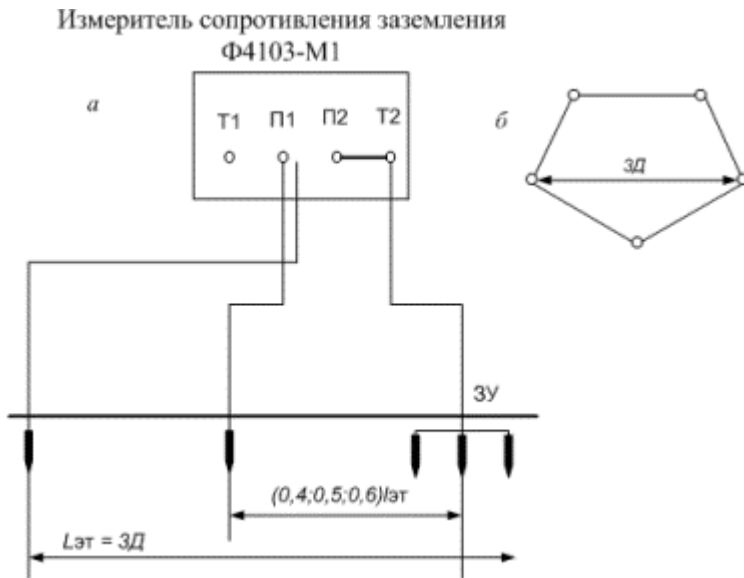
5. Перемикач встановити в положення Х1.

6. Натиснути кнопку і обертаючи ручку реохорда наблизити стрілку індикатора до нуля.

7. Результат вимірювання помножити на множник.



Підключення приладу М416 для вимірювання опору контуру заземлення



Підключення приладу Ф4103-М1 для вимірювання опору контуру заземлення:
а схема підключення, б контур заземлення

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №27

Тема: Вимірювання опору ізоляції

Мета: Вивчити прилади для вимірювання опору ізоляції

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Методи і прилади вимірювання опору ізоляції

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

Питання для самоконтролю.

1 Які існують методи вимірювання опору ізоляції?

2 Які існують прилади для вимірювання опору фаза-ноль?

Заходи щодо захисту людини від ураження електричним струмом передбачаються ще на стадії проектування електроустановок: струмопровідні частини електроустановки повинні бути недоступними (ізольованими); а доступні частини – безпечними (заземленими). Для безпечної експлуатації електроустановки дотримання зазначених заходів є обов'язковим, як за нормальної експлуатації, так і при виникненні несправностей. Контроль стану як ізоляції, так і заземлення полягає у вимірюванні їхнього електричного опору.

Вимірювання опору ізоляції. Опір ізоляції постійному струму R_{I3} є основним показником стану ізоляції. Наявність значних внутрішніх і зовнішніх дефектів (ушкодження, зволоження, поверхневе забруднення) знижує опір ізоляції. Визначають R_{I3} (Ом) методом вимірювання струму витоку I_{VT} , що проходить через ізоляцію, при прикладанні до неї випрямленої напруги:

$$R_{I3} = U_{\text{ПРИК. ВИПР}} / I_{VT}$$

Опір R_{I3} залежить від часу, що минув з моменту прикладення напруги. Достовірний результат може дати вимірювання струму витоку через 60 секунд після прикладення, тобто в момент, до якого струм абсорбції в ізоляції в основному загасає. Другим показником стану ізоляції машин і трансформаторів є коефіцієнт абсорбції (K_{ABC}), який найкраще визначає зволоження ізоляції. Він є відношенням R_{I3} , виміряного мегаомметром через 60 секунд із моменту прикладення напруги, до R_{I3} , виміряного через 15 секунд після початку прикладання випробувальної напруги від мегаомметра:

$$K_{ABC} = R_{60} / R_{15}.$$

Якщо ізоляція суха, то коефіцієнт абсорбції значно перевищує одиницю, у той час як у вологій ізоляції коефіцієнт абсорбції близький до одиниці. Пояснюється це часом заряду абсорбційної ємності в сухій та вологій ізоляції. У першому випадку (суха ізоляція) час великий, струм заряджання змінюється повільно, значення R_{I3} , що відповідають 15 і 60 секундам після початку вимірів, дуже різняться. У другому випадку (волога ізоляція) час малий – струм заряджування змінюється швидко, і протягом 15 секунд після початку вимірів досягає сталого значення, тому R_{I3} , що відповідають 15 і 60 секундам після початку вимірів, майже не різняться. Третім показником стану електроізоляції є коефіцієнт поляризації $K_{ПОЛ}$ (індекс поляризації IP), що відображає здатність заряджених часток і диполів у діелектрику переміщатися під дією електричного поля, що і визначає ступінь старіння ізоляції. Коефіцієнт поляризації також повинен значно перевищувати одиницю. Коефіцієнт поляризації $K_{ПОЛ}$ – це відношення R_{I3} , виміряного мегаомметром через 600 секунд із моменту прикладення напруги, до R_{I3} , виміряного

через 60 секунд після початку прикладення випробувальної напруги від мегаомметра:

$$K_{\text{ПОЛ}} = R_{600}/R_{60}.$$



Параметри електроізоляції вимірюють спеціалізованими приладами – мегаомметрами. Мегаомметр застосовується для вимірювання опору ізоляції електричних проводів, кабелів, роз'ємів, трансформаторів, обмоток електричних машин та інших пристроїв, а також для вимірювання поверхневих і об'ємних опорів ізоляційних матеріалів.

Перевірка кола «фаза-нуль». Контур, що складається з фази трансформатора і ланцюга фазного і нульового провідників прийнято називати ланцюгом «фаза-нуль». Вимірювання опору петлі «фаза-нуль» і струмів однофазних замикань проводиться з метою перевірки надійності спрацьовування апаратів захисту від струмів при замиканні фазного провідника на відкриті струмопроводячі частини. Перевірка надійності і швидкості відключення пошкодженої ділянки мережі полягає в наступному: визначається струм короткого замикання на корпус Ікз. Цей струм зрівнюється з розрахунковим струмом спрацьовування захисту ділянки мережі, яка випробовується.

Якщо можливий у даній ділянці мережі струм аварійного режиму перевищує струм спрацьовування захисту з достатньою кратністю, надійність відключення вважається забезпеченою.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №28

Тема: Вимірювання активної потужності в колах змінного струму

Мета: Вивчити методи для вимірювання активної потужності

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Вимірювання активної потужності в колах постійного і змінного

однофазного струму

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Які існують методи вимірювання потужності в колах постійного струму?
- 2 Які існують методи вимірювання потужності в колах змінного струму?

У мережах постійного і в однофазних мережах змінного струмів найчастіше застосовують ватметри *електродинамічної системи*, більшість яких здатна працювати як на постійному, так і на змінному струмах. Хоча серед стаціонарних ватметрів, особливо тих, які призначено застосовувати з вимірювальними трансформаторами струму і напруги, є багато таких, що не призначені для використання на постійному струмі.

Щодо переносних приладів, то такі ватметри можуть завжди використовуватись як на постійному, так і на змінному струмах. Їх виробляють з класами точності 0,1; 0,2 і 0,5.

Ватметри перших двох класів зручно використовувати як при градуванні, так і при перевірці стаціонарних ватметрів нижчих класів точності (1,5; 2,5; 4,0).

Схему стаціонарного ватметра відносно невисокого класу точності (2,5; 4,0) наведено на рис. 9.1. Цей ватметр має два роздільні електричні кола — коло струму (звичайно, це тільки обмотка нерухомої котушки W_1) і коло напруги, до якого входять рухома обмотка — рамка W_P та опори $r_1, r_1 r_3$. Що створюють додатковий опір. Цей опір забезпечує при вмиканні цього кола на номінальну напругу, вказану біля одного із затискачів цього кола, певну величину струму (номінального для кола напруги).

Зазначимо, що кола напруги в електродинамічних ватметрах розраховано на відносно великі (для подібних кіл) струми (наприклад, 30 мА чи ще більший). Це зумовлене тим, що струмова обмотка у таких ватметрів хоч і створює значну

магніторушійну силу, але нездатна створити значної магнітної індукції всередині нерухомої котушки. Це пояснюється тим, що в електродинамічних приладах лінії магнітного поля на всій своїй довжині проходять у повітрі, яке створює значний магнітний опір їх проходженню. Через це прийнятну величину обертового моменту, що діє на рухому частину електродинамічного вимірювального механізму, можна одержати лише при значному струмі у рамці приладу.

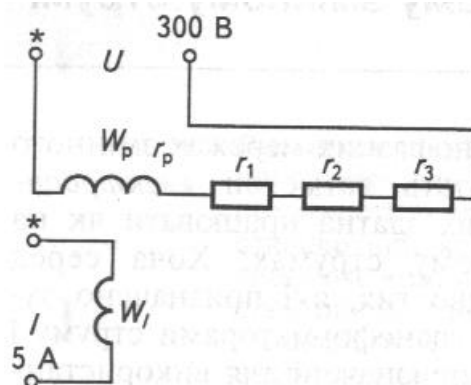


Рис. 9.1

Схема стаціонарного ватметра

Резистори r_1 , r_2 і r_3 , ввімкнуті в коло напруги, разом з опором обмотки-рамки r_p мають скласти певну величину опору кола напруги (в даному випадку — 10 000 Ом), яка б при номінальній величині напруги, прикладеної до цього кола, забезпечила протікання номінального струму обмотки-рамки (30 мА).

Опори r_1 , r_2 і r_3 виготовляють із манганінового дроту для одержання малої залежності величини опору кола як від температури довкілля, так і від підвищення температури всіх елементів кола, викликаного проходженням по них електричного струму. Тут манганін є найкращим матеріалом, бо має дуже малий температурний коефіцієнт опору. Досить сказати, що при зміні температури манганінового дроту на 10°C , його опір зміниться лише десь на 0,03% від своєї початкової величини.

У цьому колі все ж є елемент, електричний опір якого значною мірою залежить від коливань температури, — це опір обмотки рамки, намотаної мідним дротом, що при зміні температури на ті ж 10°C змінює величину опору аж на 4% і порівняно з початковою величиною. Але якщо зважити на те що опір рамки становить у цьому колі лише невелику частку (десь біля відсотка), вплив зміни величини опору рамки майже невідчутний у загальному опорі кола. Таким чином, у цілому струм в обмотці рамки мало залежить від температури.

Разом з тим зміна температури повітря навколо приладу й всередині нього впливатиме на пружність спіральних пружин, які створюють момент протидії і підводять струм до обмотки-рамки. Для бронзових пружин зміна їх пружності при зміні температури повітря в середньому становить десь близько 1% на 10°C (при підвищенні температури пружини слабнуть і показання приладу збільшуються). Якщо зважити на те, що згідно з державними стандартами додаткова похибка від зміни температури на $\pm 10^\circ\text{C}$ відносно номінальних 20°C може досягати величини,

що відповідає класові точності (а клас точності стаціонарного ватметра 2,5), то ніяких заходів щодо зменшення цієї додаткової похибки не передбачено.

У випадках, коли ватметр має вищий клас точності, наприклад 0,5 чи 0,2, поява такої додаткової похибки неприпустима. Тому у більш точних приладах, наприклад у переносних електродинамічних ватметрах класу 0,2, застосовано досконалішу схему, яку наведено на рис. 9.2. Ця схема більш досконала ще й тим, що в ній ужито заходів для створення можливості застосування приладу як на постійному, так і на змінному струмі. Крім того, в цьому приладі передбачено можливість працювати на одній з двох номінальних напруг (150 чи 300 В) і на одному з двох номінальних струмів (2,5 або 5 А).

Наявність конденсатора C , паралельного резисторові r_1 , дає можливість налаштувати коло рамки на безреактивність, тобто практично компенсувати індуктивність рамки L_P ємністю C . Це буде можливо, якщо $L_P C \omega^2$. При такій компенсації опір кола між точками a і b не матиме реактивної складової, тобто буде практично активним. Це можливо не тільки при величині частоти 50 Гц, але й у значному діапазоні зміни частот, хоч до 500...1000 Гц, поки величина $4 \omega^2 C r_1^2$ буде незначною порівняно з одиницею (тут f — частота напруги).

Налаштування кола рамки на безреактивність дає змогу при вмиканні послідовно з рамкою додаткових активних опорів різної величини виготовити ватметр на яку завгодно номінальну напругу або на декілька номінальних напруг. Таке налаштування дає можливість уникнути кутової похибки, яка при неповній компенсації індуктивності рамки особливо проявляється при вимірюваннях у електричних колах з малим коефіцієнтом потужності та при роботі на підвищених частотах.

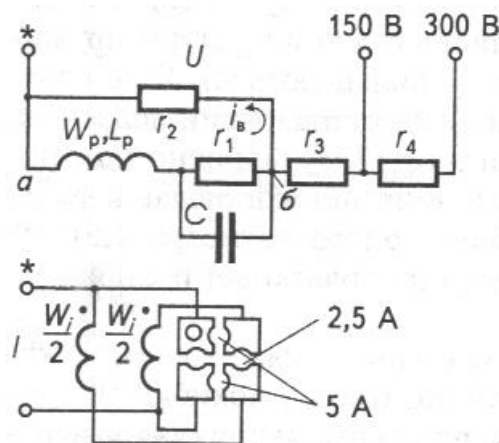


Рис. 9.2

Схема переносного ватметра

При виробництві ватметрів високих класів точності (класи 0,1; 0,2; 0,5) наявність такої компенсації дає змогу градуювати ці прилади на постійному струмі, використовуючи особливо точні потенціометричні установки, і бути певним того, що ці прилади будуть здатні працювати як на постійному, так і на змінному струмі. Крім того, наявність скомпенсованої індуктивності обмотки-рамки виключає появу

похибки від взаємоіндуктивності, яку може створити ЕРС взаємоіндукції, що наводиться у рамці при проходженні крізь неї змінного магнітного потоку, створеного струмом, що протікає по обмотках нерухомих котушок. Дійсно, рамка, що перебуває у змінному магнітному полі нерухомих котушок, є, по суті, вторинною обмоткою повітряного трансформатора, де первинна обмотка — це обмотка нерухомих котушок. За наявності опору r_2 у електричному колі, створеному рамкою і резисторами r_1 і r_2 , виникає електричний струм. Якщо ЕРС взаємоіндуктивності має кут зсуву відносно магнітного потоку, що її викликав, 90° (що завжди буває у повітряних трансформаторів), і електричне коло, в якому циркулює струм від ЕРС взаємоіндуктивності i_B — безреактивне (тобто чисто активне), то цей струм при взаємодії з магнітним потоком нерухомих котушок не створює ніякого обертового моменту.

Якщо ж індуктивність рамки не скомпенсовано, то струм від ЕРС взаємоіндуктивності буде зсунуто відносно магнітного потоку не на 90° , тоді з'явиться якийсь, хоч і малий, обертовий момент, що створюватиме похибку.

Крім *електродинамічних ватметрів*, для вимірювання потужності використовують також і *феродинамічні*.

У вимірювальних механізмів цих ватметрів нерухома котушка має феромагнітний магнітопровід, зроблений з електротехнічної сталі, пермалою чи пресованого феромагнітного порошку з ізоляційним заповнювачем. Цей магнітопровід має розрив, куди введено циліндричний центральний магнітопровід, навколо якого у вузькому повітряному проміжку переміщуються дві протилежні сторони рухомої обмотки-рамки, крізь яку проходить струм паралельного кола ватметра. Цей струм підводять до обмотки через дві спіральні пружини, якщо рухома частина вимірювального механізму спирається через керни на підп'ятники, чи по розтяжках, якщо рухома частину підвішено на розтяжках. Принципова електрична схема феромагнітного ватметра практично не відрізняється від схеми електродинамічного. Завдяки наявності феромагнітного магнітопроводу з двома невеликими повітряними проміжками величина магнітної індукції у місці, де магнітний потік взаємодіє зі струмом, що проходить по витках котушки-рамки, може бути значно більшою ніж у електродинамічного ватметра. Тому обертовий момент, створюваний рамкою, може бути досить великим навіть за меншої потужності, що втрачається у вимірювальному механізмі. Це сприяє підвищенню добротності приладу з таким механізмом і його стійкості до стороннього впливу. На феродинамічні прилади незначно впливають яібрації. Завдяки наявності значної індукції у робочому повітряному проміжку сторонні магнітні поля впливають на ці прилади менше, ніж на електродинамічні.

Разом з тим при роботі феромагнітних ватметрів на постійному струмі у них з'являється похибка від наявності гістерезису матеріалу магнітопроводу. Це видно по варіації показань приладу, тобто різниці показань одержаних спочатку при збільшенні, а потім при зменшенні струму у вимірювальному колі.

При роботі на змінному струмі у цих приладів з'являється значна кутова похибка, зумовлена наявністю втрат у магнітопроводі. Ця похибка може бути настільки великою, що її компенсують збільшенням індуктивності електричного кола рамки шляхом звичайного (не біфілярного) намотування котушок додаткового до рамки опору і навіть закладенням сталевих стрижнів у центральні отвори цих котушок.

Феродинамічні ватметри розраховані на невисокі класи точності. В основному їх використовують як стаціонарні прилади зі стрілочними показчиками класу, що не вище 1,5. Зокрема, ці прилади виготовляють на кути відхилення показчика аж до 240° .

Завдяки наявності у вимірювальних механізмах цих приладів значних обертових моментів на їхній основі виконують *реєструючі самописні прилади*.

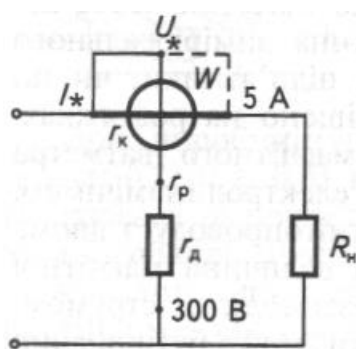


Рис. 9.3 Схеми вмикання ватметра для вимірювання потужності

В Україні налагоджено серійний випуск переносного феродинамічного ватметра класу 0,5, здатного вимірювати потужність як на постійному, так і на змінному струмах.

Ватметрами вимірюють потужність у колах постійного і однофазного змінного струмів за схемою, що показана на рис. 9.3.

Затискачі, що позначені на приладах зірочками, обов'язково з'єднують перемичкою і приєднують до провідника, що йде від мережі. Зауважимо, що ватметр відхилитиметься в належному напрямі й при з'єднанні перемичкою затискачів, не позначених зірочками, але у цьому разі напругу мережі буде прикладено між рамкою і нерухомою котушкою, які розміщені в безпосередній близькості одна від одної. Саме через це за високої напруги (наприклад, 600 В) може статися пошкодження ізоляції (електричний пробій) і ватметр безумовно вийде з ладу. Якщо ж пробою не буде, то у ватметра може виникнути додаткова похибка через електростатичне притягання рамки до нерухомої котушки.

У схемі вмикання ватметра, зображеній на рис. 9.3, він буде показувати потужність, споживану опором навантаження R_H (при вимірюваннях на змінному струмі цей опір може бути активно-індуктивний, або активно-ємнісний) та опором обмотки нерухомої котушки ватметра r_k . Якщо потужність, споживана цією обмоткою, вносить небажану похибку у вимірювання (а це можна перевірити

простим розрахунком: $R_K = I^2 r_K$, де P_K потужність, споживана обмоткою котушки; I — струм, що проходить через обмотку; r_K — активний опір обмотки), то перемичку можна встановити між затискачем на якому звичайно вказано величину номінального струму ватметра. Але у цьому разі ватметр разом з потужністю, споживаною опором навантаження, вимірюватиме й потужність у колі напруги ватметра (в обмотці його рамки r_r та у додатковому резисторі r_d). Втім, таке вмикання ватметра в умовах енергетичних підприємств майже ніколи не використовують. Його використовують при дослідженнях, якщо вони виконуються за малих напруг при струмах, близьких до номінального, і малих опорах R_H , коли величина вимірюваної потужності відносно невелика. При цьому буде зовсім невеликою і потужність, споживана колом напруги ватметра.

При вимірюванні потужності, споживаної пристроями, які здатні при певних умовах виробляти електричну енергію, ватметр змінює напрям руху покажчика і він заходить за нульову позначку. Звичайно, якщо у ватметра немає "від'ємної" ділянки шкали, вимірювання потужності припиняються. Для того, щоб поновити контроль за величиною потужності (тепер вже — генерованої!), у стаціонарних ватметрів досить поміняти місцями кінці провідників, що були під'єднані до затискачів кола струму. При цьому покажчик знову відхилитиметься на шкалу, а прилад буде вимірювати генеровану бувшим споживачем потужність.

У переносних ватметрів на такий випадок є перемикач полярності вмикання рамки, положення якого відповідають знакові споживаної потужності. Положення "+" перемикача відповідає виміру споживаної потужності, положення "—" — виміру генерованої споживачем потужності. Зауважимо, що позначення положень цього перемикача "+" і "—" не мають ніякого відношення до полярності постійного струму. Ці позначення відповідають роботі ватметра як на постійному, так і на змінному струмі.

Іноді цей перемикач суміщують з перемикачем величини номінальної напруги ватметра.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №29

Тема: Вимірювання активної потужності в трифазних колах змінного струму

Мета: Вивчити будову принцип дії трифазного ватметра

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Вимірювання активної потужності в трифазних колах змінного струму трифазним ватметром

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

5 Атамаян 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

Питання для самоконтролю.

- 1 Які існують методи вимірювання потужності в трифазних колах?
- 2 Будова, принцип дії трифазного ватметра

Трифазні ватметри. Вимірювання потужності у трифазних колах

У силовій енергетиці найчастіше вимірюють потужність у трифазних колах. Це зумовлено тим, що вся електрична енергія на електричних станціях виробляється трифазними генераторами змінного струму, а більша її частина споживається електродвигунами. Найбільш поширеними є трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, які рівномірно навантажують електричні мережі. Вони економічні, найпростіші за будовою та надійні в роботі. Саме тому *трифазні ватметри* є досить поширеними на електричних станціях та в енергосистемах.

• **Трифазний ватметр** являє собою сукупність двох або трьох електродинамічних (чи феродинамічних) вимірювальних механізмів, розташованих уздовж осі приладу, рамки яких закріплені на цій осі, де також закріплено покажчик (частіш за все — стрілка), балансувальні важелі й крило заспокоювача коливань.

Трифазні феродинамічні ватметри мають перевагу над електродинамічними, бо при більших обертових моментах їхні вимірювальні механізми мають меншу довжину, що скорочує довжину осі рухомої частини, а так — і довжину всього приладу. Крім того, завдяки більшій величині; індукції U повітряних проміжках магнітних систем та їхній екрануючій дії, ці ватметри менше підпадають під вплив зовнішніх магнітних полів, а їхні вимірювальні механізми своїми магнітними полями менше впливають один на одного.

У більшості випадків трифазні ватметри призначені для вимірювання потужності у трипровідних мережах (без нульового проводу). Такі ватметри доцільно робити двохелементними. Схему такого стаціонарного ватметра наведено на рис. 9.4, а.

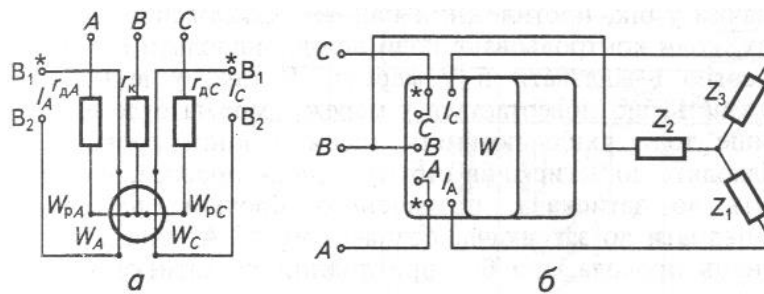


Рис. 9.4

Схема стаціонарного трифазного феродинамічного ватметра: *а* — принципова схема приладу; *б* — схема вмикання ватметра для вимірювань

На схемі цього ватметра позначено: W_A , W_C . — струмові обмотки; W_{PA} , W_{PC} — обмотки рамок рухомої частини; r_{DA} , r_{DC} — додаткові опори кіл напруги ватметра; r_K , — опір для часткової компенсації взаємного магнітного впливу вимірювальних механізмів. Його величина, порівняно з величиною опорів r_{DA} , і r_{DC} , становить всього 1...2 % від їх величини.

Схему вмикання такого ватметра у трифазне коло вимірювання потужності, що споживається трьома резисторами Z_1 , Z_2 і Z_3 або трифазним електродвигуном, наведено на рис. 9.4, б.

При вимірюваннях, коли коефіцієнт потужності резисторів навантаження (сов ϕ) перевищує 0,5, обертові моменти обох вимірювальних механізмів додаються один до одного і загальний обертовий момент буде пропорційним активній потужності трифазного кола, складеного з опорів Z_1 , Z_2 , Z_3 . Цей прилад здатний правильно вимірювати потужність і у випадку несиметричного трифазного кола, якщо вказані опори будуть різні за величиною.

Якщо опори Z_1 , Z_2 , Z_3 мають значну реактивну складову і коефіцієнт потужності їх менший ніж 0,5, то обертовий момент одного із вимірювальних елементів буде відніматися від обертового моменту іншого, але ця різниця все одно буде пропорційною активній потужності, що споживається. резисторами Z_1 , Z_2 і Z_3 цього трифазного кола.

Показчик ватметра може відхилитися від нульової позначки у бік, протилежний напрямку шкали лише у випадках, коли контрольоване коло почне виробляти електричну енергію і віддавати її у мережу. В такому випадку потужність, що повертається у мережу, можна буде виміряти лише тоді, якщо поміняти місцями кінці проводів, що підходять до затискачів струму: кінець провода, що підходить до затискача, позначеного зірочкою на фазі А, приєднати до затискача, позначеного "5 А" цієї ж фази, а кінець провода, що був приєднаний до затискача "5 А", приєднати до затискача, позначеного зірочкою. Те ж саме слід зробити і на фазі С.

Зі схеми ватметра видно, що дві рамки, розташовані на рухомій частині приладу, потребують приєднання кінців їхніх обмоток аж у чотирьох місцях. Реально ж ці приєднання виконують дві спіральні пружини, які створюють і момент протидії, а також два тонких "безмоментних" струмопідводи. Бажання зменшити

число цих підводів до одного (бо частіш за все їх виготовляють із золота) призводить до необхідності вмикати додаткові опори $r_{ДА}$ і $r_{ДС}$ між кінцями обмоток рамок і затискачами, до яких підводяться напруги (А і С) мережі. У цьому випадку між обмотками ра- і мок і відповідними їм обмотками нерухомих котушок буде прикладено значні напруги, що може викликати похибки від електростатичного тяжіння між рамками та нерухомими струмовими обмотками. Але у цьому разі кінці обмоток рамок, не приєднані до додаткових опорів, можна звести в одну точку, для з'єднання якої з нерухомим опором r_K потрібен лише один "безмоментний" струмопідвід.

Трифазний ватметр виконано на номінальний струм 5 А, що дає можливість при необхідності використати його з трансформаторами струму для вимірювань у трифазних колах, де струми значно більше за 5 А.

Номінальна напруга ватметра, що розглядається, може бути 127, 220 чи 380 В. У випадках, коли вимірювальне коло має більшу напругу, необхідно користуватись вимірювальними трансформаторами напруги з первинною напругою, що відповідає номінальній напрузі мережі, від якої живиться схема.

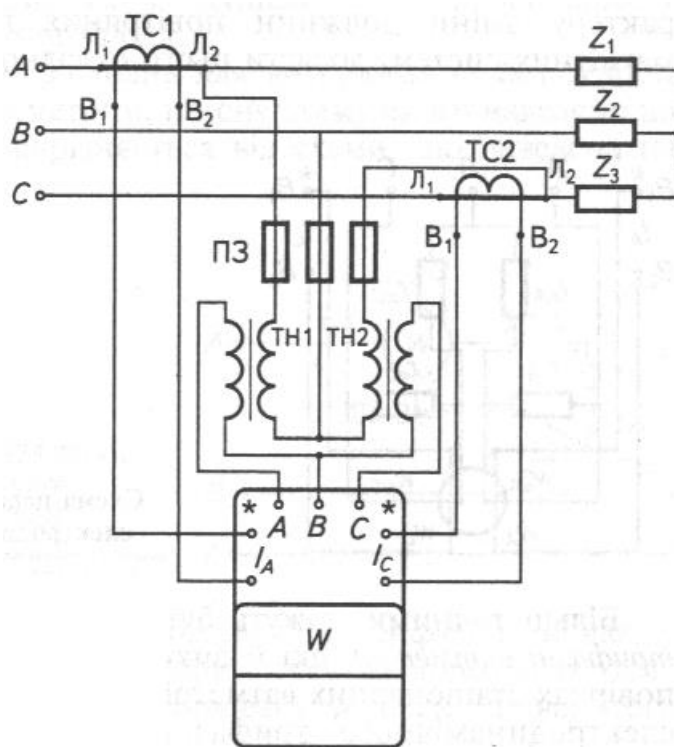


Рис. 9.5 Схема вимірювання потужності трифазного кола трифазним ватметром із застосуванням вимірювальних трансформаторів струму і напруги

У разі використання при вимірюваннях потужності трансформаторів струму чи напруги вимірювана потужність дорівнюватиме показанню ватметра, помноженому на коефіцієнт трансформації трансформатора струму чи напруги.

Якщо ж користуватися і трансформаторами струму, й трансформаторами напруги, вимірювана потужність дорівнюватиме показанню ватметра, помноженому

на добуток від множення коефіцієнтів трансформації трансформаторів, струму і напруги.

Схему вимірювання потужності Z_1 , Z_2 , Z_3 трифазним ватметром із застосуванням трансформаторів струму ТС1, ТС2 і напруги ТН1, ТН2 наведено на рис. 9.5.

Плавкі запобіжники ПЗ в цій схемі захищають трансформатори напруги ТН1, ТН2 від струмів короткого замикання у їхніх власних колах.

Стаціонарні трифазні ватметри виготовляють відносно невисоких класів точності (2,5; 4,0), що пояснюється складністю виробництва цих приладів, у яких мають збігатися показання при роздільних вимірах окремо на кожному з елементів. У феродинамічних приладів, де різниці показань може виникнути через наявність дещо різного характеру зміни довжини повітряних проміжків у їхніх і магнітних систем, досягти цього складно.

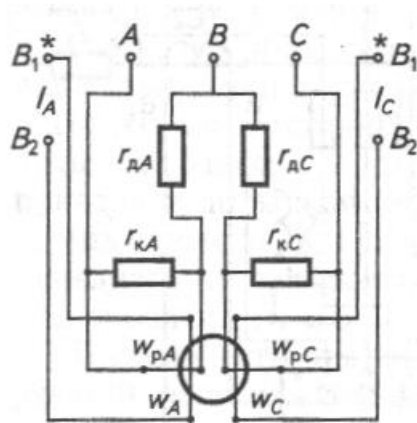


Рис. 9.6 Схема переносного трифазного електродинамічного ватметра

Більш точними можуть бути *переносні електродинамічні трифазні ватметри*, які й використовують як зразкові при повірках стаціонарних ватметрів. Схему такого переносного електродинамічного трифазного ватметра показано на рис. 9.6, де всі позначення такі самі, що й на рис. 9.4. Різниця між цими схемами лише в тому, що більш точний електродинамічний ватметр (рис. 9.6) має резистори температурної компенсації r_{KA} і r_{KC} , виконані з манганіну. При підвищенні температури довкілля, коли дещо зменшується момент протидії пружинок, збільшується опір обмоток рамок і струм, що проходить по цих обмотках, трохи зменшується, перерозподіляючись між обмотками і резисторами r_{KA} і r_{KC} , опір яких лишається практично незмінним. В результаті дещо зменшується обертовий момент, створюваний рухомою частиною приладу. Таким чином, показчик приладу при зміні температури довкілля показує дійсне значення потужності (звичайно, в межах класу приладу), незалежно від величини температури.

Крім того, у схемі цього ватметра відсутній резистор, що компенсує взаємний магнітний вплив обмоток нерухомих котушок. Це стало можливим завдяки

встановленню у цьому ватметрі магнітного екрана, виконаного з пермалою, що виключає можливість взаємного магнітного впливу. Окрім цього екрана, в приладі є ще один, який охоплює весь вимірювальний механізм і захищає прилад від впливу зовнішнього магнітного поля.

Схема зовнішніх з'єднань для вимірювання потужності трифазного кола ватметром, власну схему якого наведено на рис 9.6, нічим не відрізняється від схеми, що наведена на рис. 9.4, б.

Величина потужності, споживана у трифазних колах, у багатьох випадках може вимірюватись за допомогою ватметрів, призначених для вимірювань у колах однофазного змінного струму.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №30

Тема: Малокосинусні ватметри

Мета: Вивчити методи вимірювання активної потужності

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Вимірювання активної потужності в колах змінного струму

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

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

Питання для самоконтролю.

1 Які існують методи вимірювання потужності в трифазних колах?

2 Будова, принцип дії малокосинусного ватметру

Малокосинусні ватметри

У випадках, коли необхідно вимірювати потужність у електричних колах зі значними величинами реактивних опорів (індуктивних чи ємнісних), при відносно

малій величині активних опорів цих кіл, застосування звичайних ватметрів змінного струму небажане через наявність у них так званої кутової похибки, яка саме у цих випадках виявляється повною мірою. Це буває, наприклад, при вимірюваннях втрат холостого ходу трансформаторів, при визначенні величини питомих втрат у магнітом'яких матеріалах (наприклад, в електротехнічних сталях) і, іноді, при визначенні втрат у конденсаторах, коли коефіцієнт потужності малий і досягає всього 0,05...0,1.

Кутова похибка викликана тим, що магнітний потік, створюваний нерухомими котушками ватметра, не збігається по фазі зі струмом, що проходить обмоткою цих катушок, а струм у рухомій рамці приладу не збігається по фазі з напругою, прикладеною до затискачів приладу. Крім того, у звичайного ватметра при вимірюваннях у колах з малими коефіцієнтами потужності відхилення показчика буде незначним (при $\cos \varphi = 0,05 \dots 0,1$ це відхилення становить всього 5...10 % від повного відхилення показчика), при якому взагалі неможливо проводити точні вимірювання.

Відмінність спеціально призначених для подібних вимірювань *малокосинусних ватметрів* у тому, що повного відхилення показчика досягають при номінальних струмі, напрузі та коефіцієнті потужності, що позначений на шкалі. Тобто при потужності, меншій у 10 разів, ніж у звичайного ватметра, розрахованого на ті самі напругу і струм, якщо номінальний коефіцієнт потужності, позначений на шкалі, буде 0,1 і при потужності, що у 20 разів менша, якщо цей номінальний коефіцієнт потужності дорівнюватиме 0,05. Звичайно, при високих значеннях коефіцієнтів потужності чи при вимірюваннях на постійному струмі, якщо напруга і струм близькі до номінальних, цим приладом не користуються, бо він буде значно перевантажений дією власного обертового моменту. При цьому показчик приладу завжди буде за границею шкали, а рухома частина спиратиметься у механічний обмежувач переміщення цієї частини.

Малокосинусні ватметри мають дуже малу кутову похибку. Цього досягають старанною компенсацією цієї похибки при виробництві приладів.

Малокосинусні ватметри, про які йде мова, виробляли в Україні. Ватметр мав чотири границі вимірювань за номінальною напругою: 75; 150; 300; 600 В, і три — за номінальним струмом: 2,5; 5,0; 10,0 А (чи 0,25; 0,5; 1,0 А). Номінальний коефіцієнт потужності цього ватметра 0,1.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №31

Тема: Вимірювання потужності в колах підвищеної частоти

Мета: Вивчити методи вимірювання активної потужності

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Вимірювання активної потужності в колах змінного струму підвищеної частоти

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 Атамаян 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

Питання для самоконтролю.

- 1 Які існують методи вимірювання потужності підвищеної частоти?

1 Вимірювання потужності в колах підвищеної частоти

Потужність у колах підвищеної частоти в умовах роботи електричних станцій і експлуатації електричних мереж вимірюється в виняткових випадках. Але у енергогосподарствах промислових підприємств такі вимірювання є вкрай необхідними. Наприклад, при обслуговуванні плавильних і термічних установок, які живляться головним чином від електромашинних генераторів підвищеної частоти (їхні номінальні частоти, залежно від номінальної потужності, можуть бути в межах 250...10 000 Гц).

На промислових підприємствах інколи необхідно вимірювати потужність й на значно більших частотах — у високочастотних нагрівальних установках, що працюють з частотою від 70 кГц до багатьох мегагерц.

Вимірювання потужності дають можливість персоналові цілком свідомо налаштовувати установки підвищеної частоти на найбільш доцільний режим роботи, коли необхідна для нагріву потужність споживатиметься технологічними установками за найменших значень напруги і струму генерувальної установки.

У межах частот 250...8000 Гц вимірювання потужності проводяться електродинамічними ватметрами, обладнаними вузлом компенсації індуктивного опору обмотки рамки (див. рис. 9.2). Цей вузол складається з паралельно з'єднаних конденсатора C і опору r_1 . Тільки величини ємності й опору цього вузла слід

знаходити з більш точного виразу, ніж той, що було наведено для компенсації індуктивності на відносно малих частотах.

Якщо величина індуктивності котушки-рамки L_K відома, можна прийняти якусь реальну величину ємності C (з тих величин, що випускаються промисловістю) і для неї розрахувати потрібну величину опору

$$r_1 = \sqrt{\frac{L_K}{C - L_K \omega^2 C^2}}$$

Необхідно лише, щоб одержана величина опору була б значно меншою за активний опір всього кола напруги ватметра.

Звичайно, таку величину r_1 необхідно розрахувати саме для номінальної кутової частоти ω_H , на якій належить працювати ватметру ($\omega_H = 2\pi f_H$).

Реально в Україні серійно вироблялись однофазні електродинамічні ватметри номінальної частоти 1000, 2500 і 8000 Гц, а також трифазні на частоту 500 Гц. Схема вмикання таких ватметрів для вимірювання потужності на однофазному струмі така сама, що й на рис. 9.3, а трифазного — як на рис. 9.4, б.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №32

Тема: Вимірювання реактивної потужності

Мета: Вивчити методи вимірювання реактивної потужності

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Вимірювання реактивної потужності в однофазних колах змінного струму
- 2 Вимірювання реактивної потужності в трифазних колах змінного струму

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Поясніть вимірювання реактивної потужності в однофазних колах змінного струму
- 2 Поясніть вимірювання реактивної потужності в трифазних колах змінного струму

1 Вимірювання реактивної потужності

Реактивну потужність споживачів електричної енергії вимірюють *варметрами*. Ці прилади конструктивно не відрізняються від ватметрів, що розглянуто раніше. Різниця полягає лише у схемі кіл напруги. Якщо у ватметрів у колі напруги намагаються повністю компенсувати індуктивність котушок-рамок, то у варметрів у цьому колі намагаються створити, за рахунок додаткових індуктивностей, зсув фази у 90° . На жаль, сучасний рівень техніки не дає змоги простим ввімкненням індуктивності створити у будь-якому колі зсув фази у 90° між прикладеною до нього напругою і струмом через наявність активного опору у самої котушки індуктивності. Застосувавши ж подвійний зсув струму, як показано на схемі рис. 9.11, можна одержати зсув фаз на 90° і більше.

У цьому разі зсув струму у рамці i_p відносно напруги U вже нескладно буде дорегулювати точно до 90° . Для цього необхідно змінити якусь величину $r_{ш}$, $r_{рег}$ чи L_d , а то й дві з них.

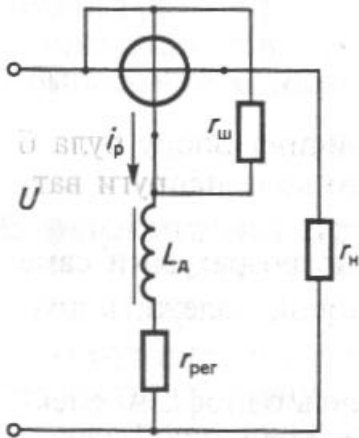


Рис. 9.11 Схема ватметра реактивної потужності для однофазних кіл

Вказану операцію підрегулювання слід проводити при номінальній напрузі U у колі, де опір r_H — чисто активний. Регулювання можна проводити, не вимірюючи кути, що розглянуто, доти, доки покажчик не опиниться на нульовій позначці при наявності номінальних напруги і струму.

У варметра відхилення покажчика від нуля почнеться лише при введенні в коло струмових обмоток хоч якої-небудь індуктивності, що створюватиме реактивну потужність, яку буде вимірювати цей варметр.

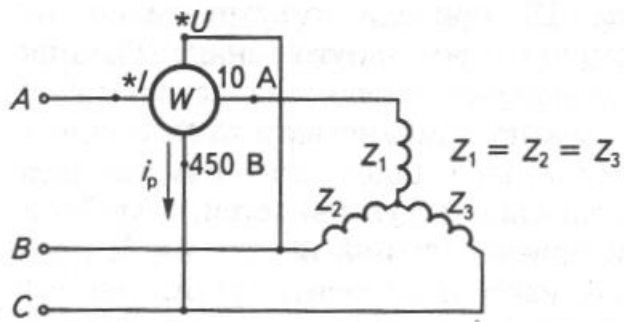


Рис. 9.12 Схема вимірювання реактивної потужності у трифазному симетричному колі однофазним ватметром активної потужності

Для вимірювання реактивної потужності у трифазних симетричних колах застосовують схему, показану на рис. 9.12, де для вимірювань застосовують звичайний ватметр активної потужності. Необхідний зсув на 90° фази струму i_p обмотки-рамки відносно фазової напруги тієї фази, на струм якої ввімкнута струмову обмотку ватметра W , створюється сам собою. Це відбувається тому, що лінійна напруга між фазами, вільними від струмової обмотки ватметра W , зсунута на 90° відносно фазової напруги фази, у котру увімкнута струмову обмотку.

Для визначення повного значення реактивної потужності, споживаної всіма опорами навантаження Z_1 , Z_2 і Z_3 (які для цієї схеми мають бути однаковими), показання ватметра, що одержане, слід помножити на $\sqrt{3}$. Пояснюється це тим, що однофазний ватметр, застосований у цій схемі, вимірює лише потужність одного опору Z_1 (то виходить, що показання слід було б помножити на три), але при цих вимірюваннях до нього прикладено не фазову напругу, а більшу за неї у $\sqrt{3}$ рази лінійну напругу (тобто показання ватметра виявляються завищеними у $\sqrt{3}$ рази і їх необхідно було б зменшити у стільки ж разів). Таким чином, з одного боку, показання ватметра слід збільшити у три рази, а з іншого — зменшити у $\sqrt{3}$ рази, тобто ці показання необхідно збільшити у $3/\sqrt{3} = \sqrt{3}$ рази.

У випадках, коли чотирипровідна трифазна система, де треба вимірювати реактивну потужність, симетрична за напругами живлення, але несиметрична за величинами опорів навантаження (Z_1 , Z_2 , Z_3), для вимірювань можна застосовувати три ватметри активної потужності й кожний з них приєднати за схемою, що наведена на рис. 9.12. Тоді загальна вимірювана реактивна потужність буде дорівнювати сумі потужностей трьох застосованих ватметрів, поділений на $\sqrt{3}$.

Якщо ж для вимірювання реактивної потужності у такій чотирипровідній системі застосовано ватметри реактивної потужності (варметри), то їх вмикають як і звичайні ватметри активної потужності (див. рис. 9.10).

Ця вимірювальна схема даватиме правильні показання за якої завгодно асиметрії напруг живлення і за якої завгодно асиметрії опорів навантаження. Загальна споживана реактивна потужність у цій схемі дорівнює сумі реактивних потужностей, виміряних цими трьома варметрами.

Слід зауважити, що при прямому вмиканні (без вимірювальних трансформаторів струму і напруги) ватметрів для вимірювання реактивної потужності, між рамкою і обмоткою нерухомої котушки ватметра прикладено напругу значної величини. Це небезпечно за умов електричного пробою ізоляції, а

також через появу електростатичної взаємодії між рамкою та нерухомою котушкою, що призводить до появи похибки у показаннях приладу. В разі застосування вимірювальних трансформаторів та заземлення їхніх вторинних кіл небезпеки пробою електричної ізоляції між колами цього приладу немає.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №33

Тема: Вимірювання електричної енергії

Мета: Вивчити методи вимірювання електричної енергії

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Загальні поняття
- 2 Структурна схема лічильника

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Поясніть вимірювання електричної енергії лічильником

Для вимірювання та обліку енергії постійного струму застосовують електродинамічні та феродинамічні лічильники. В колах змінного струму промислової частоти вимірювання та облік електроенергії здійснюється за допомогою індукційних лічильників електроенергії.

В загальному випадку лічильник вмикається через вимірювальний трансформатор струму, а при високих напругах – через ВТС та ВТН.

Основним недоліком індукційного лічильника є його порівняно невисокий клас точності та, здебільшого, вузький частотний діапазон (45-60 Гц).

Перспективним є застосування для обліку енергії (особливо на транспорті) електронних лічильників.

Наведемо структурну схему такого лічильника (рис. 14)

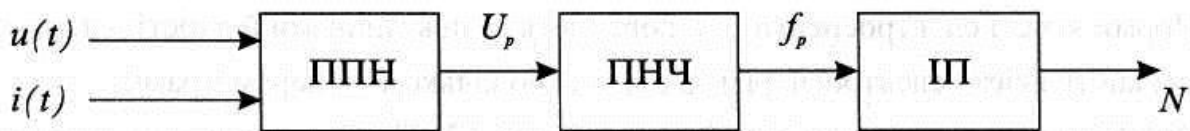


Рисунок 14 – Структурна схема електронного лічильника електричної енергії

Лічильник виконується на базі первинного перетворювача потужності в ППН. Оскільки одним з найзручнішим варіантам інтегрування напруги є проміжне перетворення напруги в частоту, то в схемі передбачається ПНЧ і подальше інтегрування частоти (підраховуються кількість імпульсів) відбувається за допомогою інтегровального пристрою ІІ. Вихідний код N за відповідний проміжок часу буде пропорційний спожитій електроенергії за відповідний час. В якості інтегровальних пристроїв здебільшого використовують мікропроцесори. Похибка таких лічильників для обліку енергії промислової частоти складає від 0,1-1 %.

Під якістю енергії розуміють ступінь відповідності і параметрів певним встановленим нормам значень.

Параметр – це величина, що кількісно характеризує яку-небудь властивостями електроенергії.

Норми якості електроенергії встановлюються за показниками її якості, тобто за величинами, які визначають якість електроенергії за 1 або кількома параметрами. Для аналізу роботи енергосистем на практиці використовують групи показників якості електроенергії за такими ознаками:

1. Відхилення напруги (від номінального значення);
2. Коливання напруги;
3. Не синусоїдальність напруги;
4. Відхилення частоти;
5. Провали напруги та тимчасові перенапруги;
6. Несиметрія напруг (для трифазних напруг).

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №34

Тема: Лічильники електричної енергії

Мета: Вивчити методи вимірювання електричної енергії

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Вимоги до приладів обліку електроенергії
- 2 Вимірювання індукційним лічильником

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

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

Питання для самоконтролю.

1 Поясніть вимірювання електричної енергії лічильником

2 Поясніть будову, принцип дії індукційного лічильника

Вимоги до приладів обліку електроенергії

До основних вимог, що пред'являються до приладів обліку електричної енергії, можна віднести клас точності, «тарифність» і міжпівірочний інтервал.

Клас точності. Один з основних технічних параметрів електролічильника. Він показує похибки вимірювань приладу. До середини 90-х років всі встановлювані в житлових будинках електролічильники мали клас точності 2,5 (тобто максимально допустимий рівень похибки цих приладів становив 2,5%). У 1996 році був введений новий стандарт точності приладів обліку, використовуваних в побутовому секторі - 2,0. Саме це стало поштовхом до повсюдної заміни індукційних лічильників на більш точні, з класом точності 2,0.



Тарифність є важливим технічним параметром електролічильника. Ще зовсім недавно всі електролічильники, застосовувані в побуті, були одностарифні, тобто здійснювали облік електричної енергії за одним тарифом. Функціональні можливості сучасних лічильників дозволяють вести облік електроенергії по зонах доби і навіть за порами року, дозволяючи значно економити електроенергію і розвантажити електромережі в пікові години, за рахунок так званої «прання вночі». Двотарифні лічильники електроенергії здатний вести роздільний облік в різний час доби. В даний час, одним із способів економити на рахунках за електрику є **двотарифна система обліку електроенергії**. **Двотарифні лічильники** дають можливість платити за енергію менше: у встановлений час вони автоматично переключаються на нічний тариф, який істотно нижче денного. Нічний тариф дає можливість суттєво скоротити витрати на оплату електроенергії. Для розвинених електролічильників можна застосувати будь-яку тарифну політику. Наприклад, якщо енергетики вирішать зробити знижки по вихідним, то скористатися ними зможуть лише власники електролічильників, здатних підтримувати декілька тарифів.

Двотарифна система обліку електроенергії вигідна, як споживачам, так і всій енергосистемі в рівній мірі. Справа в тому, що навантаження на електростанції протягом доби змінюється. Пікові навантаження на електромережі припадає на ранкові (7:00-10:00) і вечірні (19:00-23:00) години. Вночі переважна кількість людей спить, і навантаження на електростанції скорочуються в рази. Така нерівномірність графіка навантаження енергосистеми негативно позначається на технічному стані устаткування. Крім того, в періоди максимумів компанія змушена задіяти всі свої потужності, внаслідок чого, на ремонт обладнання доводиться виділяти значні кошти. Такі навантаження можна знизити за допомогою вирівнювання добового обсягу електроспоживання, використовуючи деякі енергоємні побутові прилади (наприклад, посудомийна і пральна машина) в нічний час. До того ж це дозволить споживачам заощадити за рахунок більш вигідних тарифів.

За зовнішнім виглядом, способом монтажу і підключення **двотарифні лічильники** не відрізняються від звичайних одностарифних. Різниця полягає в тому, що у встановлені години табло лічильника змінює свої покази. Вартість таких лічильників вище одностарифних, проте, в достатньо короткий час окупається за рахунок скорочення витрат на електроенергію.

Міжповірочний інтервал. З плином часу деталі електролічильника зношуються, і клас точності електролічильника неминуче змінюється. Настає момент, коли електролічильник необхідно повторно перевірити на точність його свідчень. Період з моменту первинної перевірки (зазвичай з дати виготовлення) до наступної перевірки називається міжповірочним інтервалом (МПІ). Обчислюється МПІ в роках і вказується в паспорті електролічильника. Зазвичай електронні лічильники значно поступаються в тривалості МПІ в порівнянні з індукційними

лічильниками, тому що комплектація, використовувана в більшості вітчизняних електронних лічильників, складається з деталей, стабільність параметрів яких виробник не нормує.

2 Вимірювання індукційним лічильником

Найбільшого поширення набули *однофазні лічильники змінного струму*. Їх встановлюють для обліку споживання електричної енергії в кожній квартирі.

Будову індукційного однофазного лічильника показано на рис. 10.1. Лічильник складається з двох електромагнітних пристроїв 1 і 7, які створюють змінні магнітні потоки, що перетинають алюмінієвий диск 6, який разом із віссю 2 і черв'яком 3 складають рухому частину приладу. Біля периферії диска 6 встановлено постійний магніт 5, магнітний потік котрого також перетинає диск 6.

Обмотку одного з електромагнітних пристроїв, наприклад пристрою 1, виконано великою кількістю витків тонкого мідного проводу. Ця обмотка приєднується паралельно електричній мережі. Обмотку другого пристрою 7 виконано малим числом витків проводу значного перерізу, бо ця обмотка приєднується послідовно з навантаженням і саме через неї проходить споживаний струм. Змінний магнітний потік пристрою 1 створює у диску 6 електрорушійну силу, що викликає у нього струм, який, потрапляючи в зону дії магнітного потоку пристрою 7, утворює обертовий момент. Так само ЕРС, створена у диску пристроєм 7, призводить до протікання у ньому струму, який, взаємодіючи з магнітним потоком пристрою 1, також утворює обертовий момент. Під дією цих обертових моментів диск 6 обертається.

При обертанні диска 6 у його частині, що взаємодіє з магнітним потоком, створеним постійним магнітом 5, виникає гальмівний момент, який буде тим більшим, чим більшою є швидкість обертання диска 6.

Таким чином, на рухому частину лічильника водночас діють два моменти — обертовий, пропорційний напрузі, струму й коефіцієнту потужності (тобто пропорційний споживаній потужності), і гальмівний — пропорційний швидкості обертання.

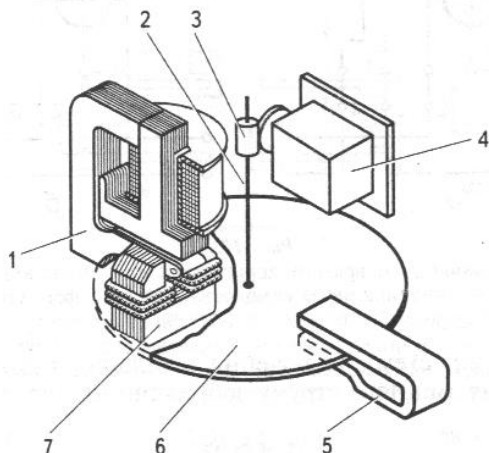


Рис. 10.1 Індукційний лічильник електричної енергії однофазного змінного струму

Обертання диска з незмінною швидкістю можливе, якщо обертовий і гальмівний моменти однакові. Тобто кожному значенню активної потужності, споживаної контрольованою ділянкою електричного кола, відповідатиме певна швидкість обертання диска. Через черв'як обертання рухомої частини приладу передається механічному лічильникові 4.

У зв'язку з тим, що швидкість обертання рухомої частини пропорційна потужності, кут повороту її буде пропорційний енергії, що споживається контрольованою ділянкою електричного кола.

Передаюче число передавального механізму від осі з диском до вхідної осі механічного лічильника вибирають таким, щоб зміна показання на кожну цифру правого віконця лічильника відповідала б одиниці енергії (наприклад, одній кіловат-годині або її десятій частині (гектоватгодині)).

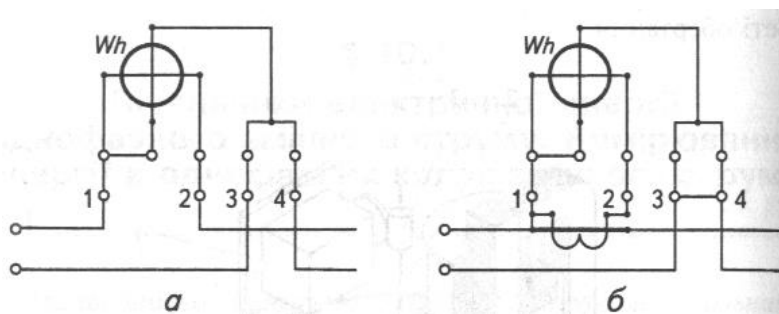


Рис. 10.2 Схеми вмикання однофазних лічильників: а — пряме вмикання в мережу; б — вмикання через вимірювальний трансформатор струму

Електричні схеми включення лічильників для вимірювань у колах змінного струму зображено на рис. 10.2.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №35

Тема: Електронні лічильники електричної енергії

Мета: Вивчити методи вимірювання електричної енергії

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Загальні поняття
- 2 Структурна схема лічильника

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

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

Питання для самоконтролю.

1 Поясніть вимірювання електричної енергії лічильником



CORAX 1 Однофазний лічильник електроенергії Призначений для обліку активної електричної енергії в багатотарифному режимі (4 тарифа, 12 сезонів). Лічильник є надійним та перевіреним рішенням, і обирається споживачами через широку функціональність та компактний корпус.



CORAX 3 Трифазний лічильник електроенергії прямого включення Призначений для обліку активної електричної енергії в багатотарифному режимі (4 тарифа, 12 сезонів). Лічильник є надійним та перевіреним рішенням, і обирається споживачами через широку функціональність та компактний корпус.



CANGU Однофазний лічильник електроенергії Багатофункціональний електrolічильник застосовується в однофазній мережі. Призначений для обліку електроенергії в багатотарифному режимі з розширеними функціями та можливістю роботи в передплатному режимі. Завдяки змінним модулям передачі даних (PLC, GSM, LAN або Радіоканал) та вбудованому

контактору, лічильник є ідеальною базою для побудови автоматизованих систем обліку електроенергії.



LEW 3 Трифазний лічильник електроенергії прямого включення Багатофункціональний трифазний електролічильник активної та реактивної енергії. Призначений для обліку електроенергії в багатотарифному режимі з розширеними функціями та можливістю роботи в передплатному режимі. Завдяки розширеним функціям, вбудованому контактору та модулю передачі даних (PLC), лічильник є ідеальною базою для побудови автоматизованих систем обліку електроенергії.



Equus Трифазний багатофункціональний лічильник електроенергії прямого включення Призначений для обліку активної та реактивної електроенергії в багатотарифному режимі. Завдяки розширеним функціям лічильник може працювати як в передплатному так і в звичайному кредитному автономному режимах, а змінні модулі передачі даних (PLC, GSM, LAN або Радіоканал) та вбудований контактор (при прямому включенні до 100А), роблять лічильник ідеальною базою для побудови автоматизованих систем обліку електроенергії.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №36

Тема: Цифрові лічильники електричної енергії

Мета: Вивчити методи вимірювання електричної енергії

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Мікропроцесорні лічильники електроенергії.

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

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

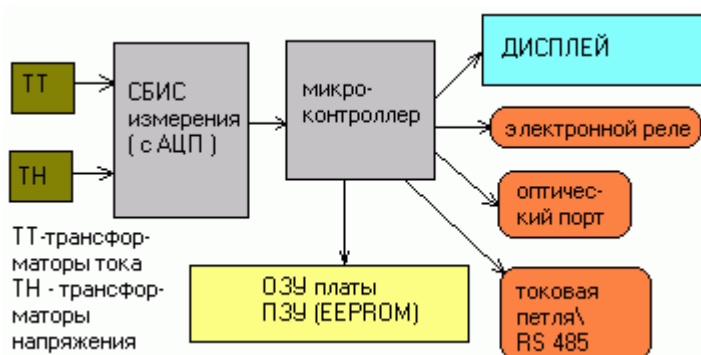
6 Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985

Питання для самоконтролю.

1 Поясніть вимірювання електричної енергії лічильником

Мікропроцесорні лічильники електроенергії.

Основна відмінність таких лічильників від звичайних, індукційних в тому, що вони являють собою невеликий "бортовий комп'ютер". У таких лічильниках практично відсутні рухомі частини, які виконують вимірювання спожитого електричного струму. Лічильник зазвичай складається з вимірювальних датчиків струму і напруги (трансформаторів з поліпшеними характеристиками), схем вимірювання (АЦП - аналого-цифрові перетворювачі), мікроконтролера обробного цифрові сигнали, пам'яті для зберігання даних лічильника. Вся інформація лічильника виводиться на рідкокристалічний табло. Харчуються лічильники зазвичай від підключених до них ланцюгів напруги. На додаток, хорошим тоном є установка резервного живлення на лічильник (у вигляді різних акумуляторних батарей). Вони призначені для підтримки цілісності важливої інформації, коли лічильник відключений від ланцюгів харчування. Значення споживаного струму визначається за допомогою трансформаторів струму.



Надалі відбувається перемножування сигналів струму і напруги через АЦП на високопродуктивному процесорі з RISC-набором команд. Вся отримана інформація записується в пам'ять лічильника і паралельно відображається на рідкокристалічному дисплеї. Найпростіша схема лічильника наведена на малюнку 1. На додаток, в різних моделях лічильника можуть вводитися додаткові інформаційні виходи (струмова петля, числоімпульсними реле, в якому частота імпульсів пропорційна спожитій електроенергії, вихід RS-485 і т.п.). Практично у всіх

лічильниках є пам'ять для зберігання програми роботи лічильника, вимірних величин (тобто активної і реактивної енергії) а також переліку різних значущих подій (кількість входів в лічильник, зникнення живлення, переходу на зимовий і літній час і т.п.). Відмітна особливість таких лічильників - це можливість обліку електроенергії за тарифами. Це означає, що Ви можете розраховуватися за спожиту електроенергію по-різному. Наприклад: є 3 тарифу розрахунку за електроенергію - піковий (зазвичай це ранкові та вечірні години), напівпіковий (це практично весь день крім ранку і вечора) і нічний. Ціна за спожиту електроенергію змінюється в залежності від тарифу. При одноставковому тарифі 1кВтч варто 0,1271 гривню, якщо ж Ви вирішили розраховуватися за тарифами то Вам потрібно буде помножити цю ціну на такі коефіцієнти: - Піковий тариф - 1.8 - Напівпіковий тариф - 1.02 - Нічний тариф - 0.2 Очевидно, що найвигідніше працювати при нічному тарифі (ціна за 1кВтч менше в 4 рази). У старих індукційних лічильниках Ви не могли враховувати переходи на різні тимчасові тарифи (для цього треба було б поставити людину у лічильника, який стежив коли настане наприклад піковий тариф і записував свідчення). Як вихід можна було б використовувати комп'ютерну систему збору інформації в режимі реального часу з подальшим ручним розбивкою на інтервали по тарифам. Однак набагато простіше поставити мікропроцесорний лічильник, внутрішня програма якого сама б стежила за переходом з однієї тарифної зони в іншу і записувала витрату електроенергії окремо по кожному інтервалу. Крім того, такі лічильники можуть бути хорошою діагностичним інструментом. Наприклад лічильник "Альфа +" фірми АББ ВЕІ Метроника (Москва, Росія) може працювати як ВАФ (вольт-ампер-фазометр), показувати діюче значення струму і напруги, гармоніки і т.п. (Дивись малюнок 2). Лічильник фірми АББ ВЕІ Метроника Приклад графіками витрати електроенергії. Малюнок 2. Копія екрану програми лічильника "Альфа +". Крім того, з огляду на високий клас точності таких счечіка (0,2 - 0,5) і відсутність самоходу (тобто самопрозвольного руху диска, як в індукційному лічильнику) можна сказати, що на сьогоднішній день такі лічильники найзручніший варіант для обліку електроенергії . Для того, щоб лічильник міг вважати і показувати дані в нього необхідно внести програму, яка буде "вказувати" лічильнику, що робити: як вимірювати, що вимірювати, куди і в якому вигляді записувати. Для цього необхідно мати персональний комп'ютер з спеціальною програмою, що поставляється з лічильниками, сам лічильник, спеціальний прообразователь для передачі даних від ЕОМ до лічильника. Причому, за великим рахунком, всі лічильники програмується по одним і тим же правилам: користувачеві не треба писати програм на якійсь мові програмування - все що від нього вимагається - це лише відповідати на питання програми і позначати мишкою необхідні варіанти роботи счечіка. Приклад вікна програми для лічильника "Quantum D300" фірми Щлембурже (ріунок 3). Ще одне з корисних властивостей даних лічильників - можливість створення на їх базі інформаційної системи збору та обробки даних по витраті електроенергії. Тобто Ви можете на базі таких лічильників створити автоматизовану систему збору інформації. Припустимо у Вас є кілька

об'єктів (підстанцій або маленьких заводиків з виробництва продукції) і Ви хочете контролювати витрату електроенергії по об'єктах. Немає нічого простіше - Ви ставите мікропроцесорні лічильники на точки обліку, підключаєте до них модем (імпульсне реле, вихід RS485) і збираєте всю інформацію на один ПК, що стоїть у Вашому офісі. Навіть якщо Вам знадобиться перепрограмувати лічильник - Ви можете зробити це дистанційно, через модем. І тут відразу ж виникає питання: А якщо я "нехороша людина" і хочу влізти і змінити дані в лічильнику? На цей рахунок у лічильнику є свій "відповідь Чемберлену". Зазвичай лічильники мають декілька рівнів доступу до своєї інформації (для читання, для модифікації, для перепрограмування). Крім цього в пам'яті лічильника міститься інформація про всі спроби зчитування і заходу в нього. Так що Ви можете визначити коли дані в лічильнику змінювалися.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №37

Тема: Вимірювання частоти

Мета: Вивчити методи вимірювання частоти

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Електродинамічний частотомір
- 2 Резонансний частотомір
- 3 Цифровий частотомір

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 Атамаян 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

Питання для самоконтролю.

- 1 Поясніть вимірювання частоти електродинамічним частотоміром
- 2 Поясніть вимірювання частоти резонансним частотоміром

3 Поясніть вимірювання частоти цифровим частотоміром

1 Електродинамічний частотомір

Для вимірювання та контролю частоти в промислових умовах в діапазоні від 20 до 2500 Гц з порівняно невисокою точністю 1-4% використовують електродинамічні частотоміри на базі логометрів. Приведемо схему логометра (рис. 18).

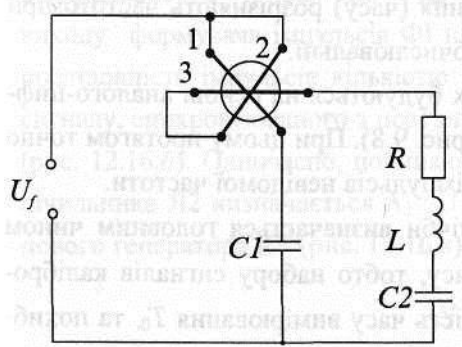


Рисунок 18 – схема електродинамічного частотоміра

Наявність в полі рухомих рамок 1 та 2 та нерухомої котушки 3, частотозалежних конденсаторів C_1 та C_2 та індуктивності L забезпечує однозначну залежність відхилення рухомої частини логометра від частоти, тобто $\alpha = F(f_x)$, де α – кут відхилення стрілки, f_x – частота.

2 Резонансний частотомір

Для вимірювання частоти від сотень кГц до сотень ГГц застосовують резонансний метод, який базується на порівнянні вимірювальної частоти з частотою власних коливань коливного контура.

Покажемо на рисунку схему резонансного частотоміра з коливною системою у вигляді контура із зосередженими LC – параметрами (рис. 19).

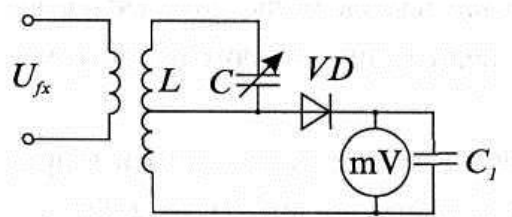


Рисунок 19 – Схема резонансного частотоміра

Вимірювальний LC – контур має індуктивний зв'язок із колом досліджуваного сигналу U_{fx} та автотрансформаторний зв'язок з колом індикатора. Регулювання

ємності C конденсатора змінної ємності на частоту власних коливань f_0 LC – контура в резонанс з вимірювальною частотою f_x і частота $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = f_x$.

Значення вимірювальної частоти визначається за показами конденсатора змінної ємності. Похибка таких частотомірів складає до 1%.

3 Цифровий частотомір

Найвищу точність вимірювань в діапазоні від часток Гц до сотень МГц забезпечують цифрові частотоміри. В залежності від способу інтервалу усереднення розрізняють частотоміри прямої лічби, що будуються на основі аналого-цифрового структурного хронометра. При цьому точно відомі інтервали часу підрахунку кількості імпульсів невідомої частоти.

Розглянемо принцип дії обчислювального частотоміра за методом постійного збігу. Приведем на рисунку спрощену схему обчислювального частотоміра (рис. 20), яка складається з масштабуючого блоку, формувача імпульсів, кварцового генератора, 2-х лічильників, процесора та відліковувача.

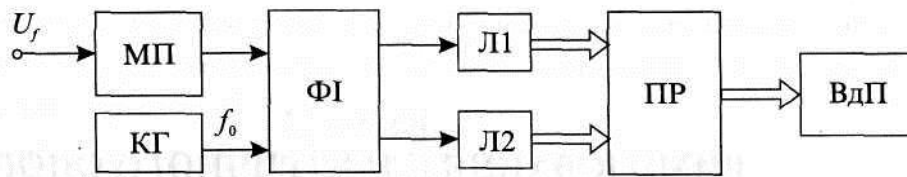


Рисунок 20 – Спрощена структурна схема обчислювального частотоміра

Вхідна напруга U_{fx} вимірювальної частоти f_x нормується масштабуючим пристроєм МП до номінального рівня, зручного до подальшого опрацювання. У формувачі імпульсів ФІ задається строб-імпульс (імпульс заданого періоду) з тривалістю $T_{вим}$, що встановлюється в залежності від вимірюваної величини f_x . З виходу ФІ на перший лічильник Л1 частотоміра надходить певна послідовність імпульсів кількістю N_1 , яка дорівнює кількості повних періодів вхідного сигналу, синхронізованого з переднім та заднім фронтами строб-імпульса.

$$N_1 = T_{вим} \cdot f_x$$

Одночасно, починаючи з переднього фронту, за допомогою Л2 визначається N_2 – кількість імпульсів базової частоти від кварцового генератора:

$$N_2 = T_{вим} \cdot f_0$$

Мірою вимірюваної частоти буде відношення $N = \frac{N_1}{N_2} = \frac{T_{вим} \cdot f_x}{T_{вим} \cdot f_0} = \frac{f_x}{f_0}$, що

визначається процесором і фіксується відліковим пристроєм ВП. Діапазон вимірювання обчислювального частотоміра від 0,1 Гц – 500 МГц.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №38

Тема: Вимірювання фази

Мета: Вивчити методи вимірювання фази

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Цифровий фазометр

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

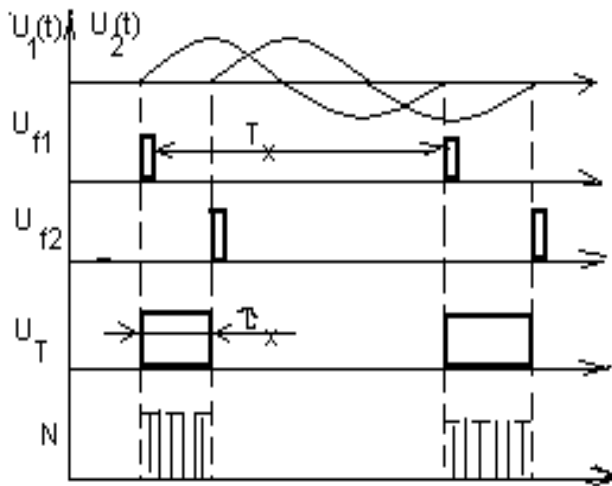
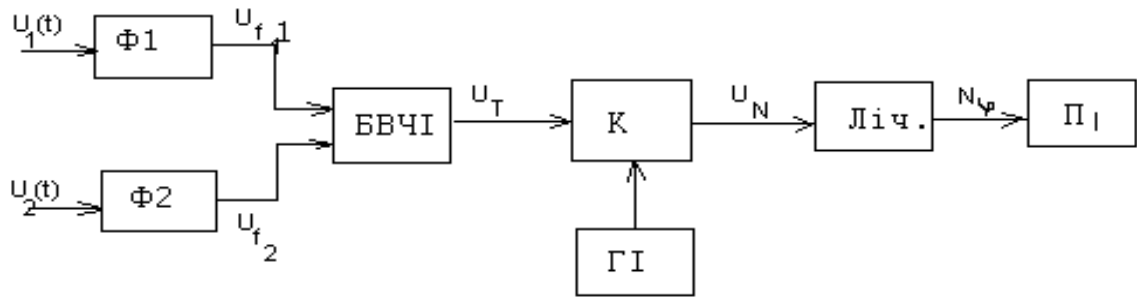
5 Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для студ. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989

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

Питання для самоконтролю.

1 Поясніть вимірювання фази цифровим приладом

Схема цифрового фазометра відрізняється від схеми ЦВП для вимірювання часових інтервалів двома формувачами $\Phi 1$ та $\Phi 2$, які формують старт- та стоп-імпульси U_{f1} та U_{f2} у моменти переходу кривих напруги $U_1(t)$ та $U_2(t)$ через нуль, та блоком виділення часового інтервалу (БВЧІ), що формує імпульс U_t тривалістю t_x . Цей імпульс керує ключем K так само, як і у попередньому випадку.



$$\tau_x = N \cdot T_0$$

Фазовий зсув гармонійних коливань дорівнює :

$$\varphi_x = \frac{2 \cdot \pi \cdot \tau_x}{T_x} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_x \cdot N_\varphi}{f_0} = K \cdot N_\varphi,$$

де N_φ —кількість імпульсів сигналу $U_N(t)$ зразкової частоти f_0 з ГІ, які надійшли за час τ_x у лічильник:

$$N_\varphi = \tau_x \cdot f_0;$$

$$T_x = \frac{1}{f_x} \text{—період коливань;}$$

τ_x —часовий зсув між коливаннями, K – постійний коефіцієнт.

Таким чином, при вимірюванні фазового зсуву необхідно :

— або забезпечити незмінність частоти сигналу, який вимірюємо (f_x);

— або забезпечити незмінність відношення частот f_x / f_0 ;

— або виміряти значення періоду $N_{T_x} = f_0 \cdot T_0$ та потім обчислити

$$\varphi_x = \frac{2 \cdot \pi \cdot N_{\varphi}}{N_{TX}}$$

Максимальна похибка квантування при вимірюванні фази пропорційна частоті вхідного сигналу:

$$\Delta_{кв} = \pm \frac{2 \cdot \pi \cdot f_x}{f_0}$$

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №39

Тема: Вимірювання фази та частоти осцилографом

Мета: Вивчити методи вимірювання фази та частоти осцилографом

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

- 1 Метод фігур Ліссажу
- 2 Метод розгортки

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

Питання для самоконтролю.

- 1 Поясніть метод фігур Ліссажу
- 2 Поясніть метод розгортки

Осцилографчні методи вимірювання частоти. Осцилографічні методи являють собою методи порівняння вимірюваної частоти із зразковою. Перевагою цих методів є їх простота і зручність при достатній точності; застосовують їх в широкому діапазоні частот 10 Гц ÷ (10 – 20) МГц.

Метод Ліссажу. Суть цього методу в тому, що горизонтальні та вертикальні пластини осцилографа подаються напруги різних, але кратних частот, відповідно f_r і f_b , при цьому на екрані осцилографа отримується зображення – фігура Ліссажу. При цьому справедливе відношення $f_b/f_r = n_r/n_b$, де n_r та n_b число точок переперетину фігури Ліссажу із горизонтальною та вертикальною прямими, які не проходять через точку перетину ліній самої фігури. Для рис. 5 $f_b/f_r = n_r/n_b = 6/4 = 3/2$.

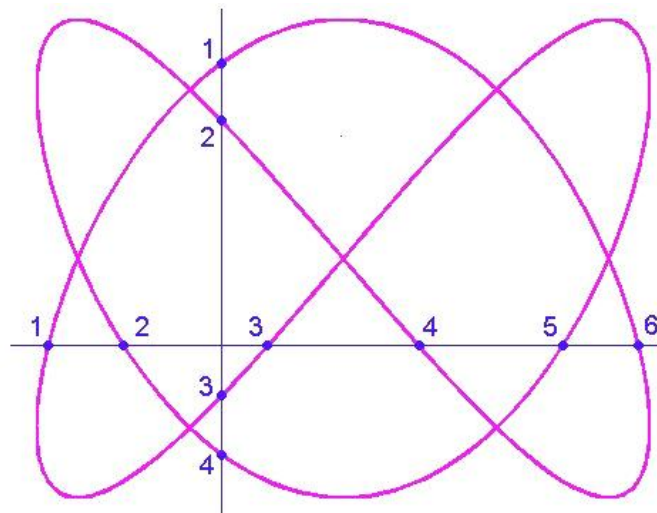
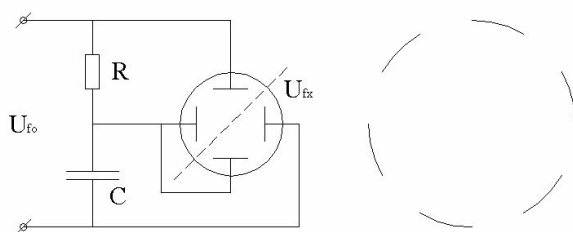


Рис. 5. Зображення фігури Ліссажу на екрані осцилографа.

Метод характеризується високою точністю, яка в основному визначається точністю генератора зразкової частоти. Недолік методу: визначити відношення n_r/n_b можливо лише при співвідношенні частот не більше 10 і при нерухомому положенні або повільному обертанні фігури.

Метод кругової розгортки. Якщо напругу однієї частоти (зразкової f_0) використовувати для отримання кругової розгортки на екрані осцилографа, а напругу іншої (більшої частоти f_x) подати на електрод (модулятор), який керує яскравістю світіння трубки (рис. 6.а), то в додатній півперіод цієї напруги яскравість розгортки буде збільшуватись, а у від'ємний зменшуватись. В результаті коло буде складатися з n темних та n світлих штрихів. При чому $n = f_x/f_0$. При цілому значенні n осцилограма буде нерухомою. Схема досліду і зображення на екрані осцилографа для співвідношення частот $f_x/f_0 = 6$ подано на рис. 6.б.



а)

б)

Рис. 6. Метод кругової розгортки.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №40

Тема: Інформаційно-вимірювальні комплекси.

Мета: Вивчити поняття інформаційно-вимірювальні комплекси.

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Інформаційно-вимірювальні комплекси.

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

Питання для самоконтролю.

1 Інформаційно-вимірювальні комплекси.

1 Інформаційно-вимірювальні комплекси.

Призначення і типи. ІВК являє собою сукупність програмно-керованих вимірювальних, обчислювальних і допоміжних технічних засобів, що функціонують на основі єдиного метрологічного забезпечення і реалізуючий алгоритм одержання, обробки і використання вимірювальної інформації.

Комплекси при цьому забезпечують: первинну обробку результатів виміру; одержання результатів непрямих, сукупних і спільних вимірів, у тому числі в темпі надходження даних; керування функціонуванням окремих вузлів у ході експерименту, включаючи організацію запитів, черг, установлення пріоритетів, діалоговий режим з оператором; контроль працездатності трактів комплексів, включаючи контроль метрологічних характеристик; сервісну обробку одержуваної інформації (представлення результатів у виді таблиць, графіків і т.п.); збереження одержуваної інформації; вироблення керуючих впливів на досліджуваний об'єкт у виді аналогових і дискретних сигналів. Загальні вимоги до ІВК викладені в ДСТ 26.203-84.

У ІВК вимірювальні й обчислювальні засоби взаємодіють на основі єдиного алгоритму, що забезпечує одержання, обробку і використання вимірювальної інформації. ІВК будуються на основі технічних засобів, що мають блочно-модульний принцип виконання, що забезпечує можливість створення ІВК зі структурою, що перебудовується. Такі ІВК призначені для створення автоматизованих систем наукових досліджень (АСНИ), для автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСУ ТП), а також для керування такими складними об'єктами, як космічні кораблі, морські судна й інші транспортні засоби.

У залежності від призначення розрізняють такі типи ІВК:

універсальні, призначені для створення АСНИ, а також для іспитів різних виробів і матеріалів; їхньою характерною рисою є наявність структури, що перебудовується, а також розвинутого програмно-алгоритмічного забезпечення; проблемно-орієнтовані, призначені для обмеженого набору однотипних задач АСНИ або АСУ ТП; унікальні, призначені для одиничних (специфічних) задач дослідження або іспитів.

Програмне керування ІВК здійснюється програмувальним процесором, що забезпечує реалізацію алгоритму функціонування системи відповідно до необхідної обробки вимірювальної інформації.

Працездатність ІВК визначають технічне, математичне і метрологічне забезпечення. До складу технічного забезпечення входять вимірювальні, обчислювальні і допоміжні пристрої.

До вимірювальних засобів відносять: цифрові й аналогові вимірювальні прилади; що нормують, лінійні, функціональні вимірювальні перетворювачі; комутатори вимірювальних ланцюгів, калібратори, вимірювальні джерела харчування і т.п..

Як обчислювальні засоби в ІВК можуть бути використані аналогові, гібридні і цифрові обчислювальні пристрої мікро- і мини-ЕВМ.

Основним змістом математичного забезпечення ІВК є алгоритми і програми. Алгоритми передбачають виконання процедур, зв'язаних з виміром фізичних величин, обробкою результатів виміру, виконанням плану експерименту і т.п. Програми забезпечують функціонування ІВК, тому містять інструкції з самоорганізації комплексу і самоконтролеві його вузлів, підпрограми для виконання алгоритмів типових процедур і рішень типових задач.

Метрологічне забезпечення передбачає законодавчо закріплені процедури перебування оцінок метрологічних характеристик окремих вузлів, їхньої самоперевірки на основі відповідних алгоритмів і програм.

У метрологічне забезпечення входять:

теорія метрології, зв'язана з розрахунком, перевіркою і контролем метрологічних характеристик і проведенням іспитів засобів вимірів (СИ);

зразкові СИ. призначені для проведення перевірки, контролю метрологічних характеристик і іспиту СИ;

нормативні документи: державні і галузеві стандарти, що керують технічні матеріали і методичні вказівки, що визначають законодавчі процедури розрахунку, перевірки і контролю метрологічних характеристик і іспитів СИ. забезпечують єдність вимірів.

Системна сумісність. Науково-технічною основою створення будь-якого комплексу є системна сумісність усіх функціональних елементів, що входять у його склад. Основними категоріями сумісності є сумісність:

інформаційна, забезпечувана шляхом уніфікації і нормування видів і параметрів сигналів з обліком їх тимчасових і логічних співвідношень, фізичної реалізації і правил передачі;

метрологічна, котра передбачає однотипність метрологічних характеристик усіх засобів вимірів, використовуваних у комплексі й забезпечующих одержанні кількісної оцінки вірогідності виконуваних вимірів;

програмна, що досягається за рахунок погодженості використовуваних програм і підпрограм, мов програмування, за рахунок нормування правил обміну потоками інформації між вузлами комплексу;

конструктивна, що передбачає уніфікацію використовуваних модулів, виконаних на єдиному технологічному рівні;

нормалізацію їхніх конструктивних параметрів, а також умов їхнього механічного сполучення;

експлуатаційна, забезпечувана за рахунок уніфікації і нормування джерел харчування, умов навколишнього середовища, надійності і т.п..

Інформаційна і конструктивна сумісність усіх блоків комплексу досягається за рахунок використання стандартних інтерфейсів. Існують два способи реалізації названої сумісності в ІВК. При першому способі для всього комплексу використовується єдиний інтерфейс ЕОМ, що входить до складу ІВК, а при другому - для узгодження вимірювальної й обчислювальної апаратури комплексу використовується спеціальний інтерфейс. свій блок керування, що має, (контролер).

Структурна організація. Випуск нашою промисловістю ІВК мають загальні принципи побудови на основі керуючих електронних обчислювальних машин серії СМ ЕОМ, засобів вимірів АСЭТ і інтерфейсу "Загальна шина", що поєднує всі периферійні пристрою за допомогою єдиної системи сигналів і єдиного магістрального каналу зв'язку.

До складу периферійних пристроїв (ПУ) входять комутатори аналогових сигналів, аналого-цифровий (АЦП) і цифро-аналоговий {ЦАП} перетворювачі, графобудівник планшетний, пристрій уведення-висновку дискретної інформації (УВВДИ), підсилювачі постійного струму (УПТ), калібратор напруги (КБР), цифровий вольтметр {ЦВ}.

Сполучення ПУ з центральним "Процесором" комплексу здійснюється за допомогою "Пристрою сполучень".

Розширник загальної шини (РОШ) дозволяє розділити магістраль "Загальна шина" на незалежні частини з однаковими технічними можливостями нарощувань

периферійних пристроїв. До складу комплексу входить панель автономного керування {ПАУ}, призначена для перевірки функціонування в статичному режимі (без включення "Процесора").

Побудова багаторівневих ИВК може бути виконане за рахунок нарощування різного сполучення приладових, внутріприладових і машинних інтерфейсів.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ №41

Тема: Державна система забезпечення якості вимірювань.

Мета: Вивчити поняття державна система забезпечення якості вимірювань.

Питання, що виносяться на самостійне вивчення.

1 Державна система забезпечення якості вимірювань.

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

Питання для самоконтролю.

1 Державна система забезпечення якості вимірювань

Державна система забезпечення єдності вимірювань (ДСВ) – це комплекс загальнодержавних нормативно-технічних і нормативних документів, які регламентують загальні правила, норми та вимоги, спрямовані на забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань. Основними нормативно-технічними документами ДСВ є державні стандарти, які регламентують загальні правила, норми та вимоги щодо одиниць фізичних величин та їх еталонів, метрологічної термінології, нормування метрологічних характеристик, метрологічної перевірки та випробувань засобів вимірювальної техніки, методик вимірювань і форм подання

результатів вимірювань тощо. Основні вимоги ДСВ такі: - результати вимірювань повинні виражатися в одиницях фізичних величин згідно з ДСТУ 3651.0-97; - проектування, виробництво та експлуатація засобів вимірювальної техніки здійснюється під метрологічним наглядом згідно із Законом України про метрологію та метрологічну діяльність; - засоби вимірювальної техніки, призначені для серійного виробництва, підлягають випробуванням згідно з ДСТУ 3400-2000 та МИ 154-86; - засоби вимірювальної техніки, що знаходяться в експлуатації, підлягають періодичній державній метрологічній перевірці згідно з ДСТУ 2708-99; - метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки, що підлягають нормуванню у нормативно-технічних документах на засоби вимірювальної техніки, повинні відповідати ГОСТу 8.009-84; - методики виконання вимірювань та характеристики похибок, які встановлюються відповідними нормативно-технічними документами, повинні відповідати ГОСТу 8.010-90; - форма подання похибок та результатів вимірювань повинна відповідати МИ 157-86. Поряд з цими та іншими базовими стандартами в складі ДСВ є стандарти, які регламентують конкретніші питання в окремих галузях вимірювань, наприклад, стандарти на конкретні засоби вимірювань, методи їх перевірки тощо. До складу ДСВ, крім стандартів, входять інші нормативно-технічні документи – технічні умови, інструкції, методики, методичні вказівки, правила тощо, які спрямовані на забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань у різних галузях народного господарства