

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

Конспект лекцій

СУМИ – 2021

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

Конспект лекцій

**для студентів 3 курсу спеціальності 141 "Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка"
денної і заочної форм навчання
освітнього ступеня «Бакалавр»**

СУМИ – 2021

УДК 378

Укладачі: **Кравченко В.О.**, к.ф.-м.н., ст. викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем

Шевель Є.О., ст. викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем

Вольвач Т.С., зав. навчально-методичним кабінетом кафедри енергетики та електротехнічних систем

Кравченко В.О., Шевель Є.О., Вольвач Т.С.

К11 Контрольно-вимірювальні прилади: конспект лекцій / В.О.Кравченко, Є.О.Шевель, Т.С.Вольвач. - Суми, 2021. – 142 с.

В конспекті лекцій зібраний теоретичний матеріал з основ метрології, теорії вимірювань, наведені загальні відомості про засоби вимірювальної техніки та їх метрологічні характеристики, розглянуто питання теорії похибок вимірювань, висвітлені питання метрологічної повірки засобів вимірювань, а також розглянуті методи і засоби вимірювань електричних, магнітних і неелектричних величин.

Конспект лекцій призначений для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Рецензенти:

Хурсенко С.М., к.ф.-м.н., доцент, зав. кафедри охорони праці та фізики СНАУ;

Смоляров Г.А., к.е.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., зав. кафедри енергетики та електротехнічних систем, доцент.

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою інженерно-технологічного факультету. Протокол № 6 від «24» травня 2021 року

ЗМІСТ

Тема 1. Вступ. Основні положення	5
1.1. Основні терміни в галузі метрологічної діяльності	5
1.2. Фізична величина. Одиниці фізичних величин	7
1.3. Види вимірювань	9
Тема 2. Засоби вимірювальної техніки	12
2.1. Засоби вимірювань, їх види та класифікаційні ознаки.	12
2.2. Електронні вимірювальні прилади	15
2.3. Метрологічні властивості та експлуатаційна характеристика вимірювальних приладів	16
Тема 3. Похибки вимірювань	18
3.1. Похибки вимірювань	18
3.2. Абсолютна та відносна похибка	22
3.3. Класи точності засобів вимірювання	23
Тема 4. Основи теорії вимірювальних механізмів і приладів	26
4.1. Основи теорії приладів електромеханічної групи	26
4.2. Електромагнітні вимірювальні прилади	27
4.3. Магнітоелектричні вимірювальні прилади	29
4.4. Індукційні вимірювальні механізми та прилади	33
Тема 5. Допоміжні вимірювальні перетворювачі.	35
5.1. Розширення діапазону вимірювань. Масштабні перетворювачі: шунти, додаткові резистори	35
5.2. Вимірювальні трансформатори струму (ТС) і напруги (ТН)	37
5.3. Методика вибору ТН і ТС	41
Тема 6. Вимірювальні прилади зрівноваженого перетворення	42
6.1. Основи теорії та конструктивні особливості мостових схем	42
6.2. Одинарні та подвійні мости постійного струму	43
6.3. Компенсатори	47
Тема 7. Цифрові електровимірювальні прилади	48
7.1. Основні ознаки цифрових вимірювальних приладів	48
7.2. Принципи побудови цифрових електровимірювальних приладів	48
7.3. Цифрові вольтметри	50
7.4. Електронні осцилографи	53
Тема 8. Інформаційно-вимірювальні системи (ІВС)	57
8.1. Вимірювальна система: склад, структура, і класифікаційні ознаки	57
8.2. Основні і допоміжні блоки ІВС	60
8.3. Принципи побудови ІВС	61
Тема 9. Вимірювання електричних величин.	64
9.1. Електричні величини і одиниці їх вимірювань	64
9.2. Вимірювання струму і напруги в колах постійного та змінного струму	66
9.3. Вимірювання потужності та облік електричної енергії	70
9.4. Вимірювання опорів приладами прямої дії	75
9.5. Вимірювання ємності, індуктивності	76

9.6. Непрямі вимірювання параметрів схем електричних кіл постійного та змінного струму	78
Тема 10. Вимірювання магнітних величин	82
10.1. Вимірювання магнітного потоку, магнітної індукції	82
10.2. Типи сучасних веберметрів та теслометрів	83
10.3. Способи визначення магнітних характеристик матеріалів	85
Тема 11. Методи та засоби вимірювання неелектричних величин	87
11.1. Загальні питання вимірювання неелектричних величин електричними засобами	87
11.2. Методи та засоби вимірювання тиску	91
11.3. Методи та засоби вимірювання температури	101
11.4. Методи та засоби вимірювання рівня	110
11.5. Методи та засоби вимірювання властивостей та складу рідин і газів	116
11.6. Витратоміри та лічильники води, газу, тепла	123
Тема 12. Метрологічний нагляд і повірка приладів	128
12.1. Структура державної метрологічної служби України	128
12.2. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки	131
12.3. Повірка вимірювальної техніки	132
Список рекомендованої літератури	139

Тема 1. Вступ. Основні положення

1.1. Основні терміни в галузі метрологічної діяльності

Термін «метрологія» утворений із двох грецьких слів «метра» – міра і «логос» – вчення. Тому то у дослівному перекладі «метрологія» – це вчення про міри. У сучасному розумінні **метрологія** – це наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності. На практиці застосовується також скорочене означення: метрологія – це наука про вимірювання.

Предмет метрології – це отримання кількісної та якісної інформації про властивості фізичних об'єктів і процесів, встановлення та застосування наукових організаційних основ, розроблення технічних засобів, правил і норм, необхідних для досягнення єдності й необхідної точності вимірювань.

Методи метрології – це сукупність фізичних і математичних методів, які використовуються для отримання вимірювальної інформації. До методів метрології належать: планування та організація вимірювального експерименту, методи і методики вимірювань, методи відтворення, зберігання та передавання одиниць фізичних величин, методи вимірювальних перетворень сигналів, опрацювання результатів вимірювань.

Засоби метрології – це сукупність засобів вимірювальної техніки, які застосовуються для підготовки та здійснення експерименту, а також системи організації метрологічного контролю і нагляду за засобами вимірювальної техніки.

До засобів метрології належать:

- еталони одиниць фізичних величин;
- стандартні зразки складу і властивостей речовин та матеріалів;
- робочі засоби вимірювальної техніки;
- система метрологічного контролю і нагляду за засобами вимірювальної техніки під час їх виробництва, застосування та ремонту.

Розвиваючись швидкими темпами, метрологія ділиться на ряд самостійних розділів: теорія вимірювань; теорія похибок; інформаційна теорія вимірювань; теорія інформаційно-вимірювальних систем; статистичні вимірювання; вимірювання електричних величин; вимірювання магнітних величин; вимірювання неелектричних величин.

Існують три основні складові метрології, як науки: науково-теоретична метрологія, законодавча метрологія та прикладна метрологія.

Задачі науково-теоретичної метрології:

- розробка та удосконалення теоретичних основ метрології;
- розробка нових принципів та методів вимірювань, проведення фізичних досліджень з метою використання найновіших досягнень науки для створення нових методів вимірювань та засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), підвищення точності вимірювань;
- створення та удосконалення наукових основ єдності мір та вимірювань, створення наукових основ державних випробувань вимірювальних засобів, розробка та удосконалення нормативної документації в галузі вимірювальної техніки;

- створення та удосконалення наукових основ державної служби стандартних довідкових даних та стандартних зразків, розробка і удосконалення системи збору, апробації, зберігання та поширення стандартних довідкових даних.

Задачі законодавчої метрології;

- узаконення (стандартизація) термінів та їх означень, систем та сукупності одиниць, системи еталонів, мір фізичних величин та ЗВТ;

- узаконення класів точності ЗВТ та методик оцінювання їх точності, а також стандартних довідкових даних, методик перевірки та контролю ЗВТ, методик оцінювання відповідності та контролю якості продукції.

Задачі прикладної метрології:

- організація державної служби єдності мір та вимірювань, організація та здійснення періодичної повірки ЗВТ, які знаходяться в експлуатації, а також здійснення державних випробувань нових ЗВТ, контроль за станом вимірювального господарства підприємств;

- організація та налагодження роботи служби контролю за дотриманням стандартів та технічних умов під час виробництва, випробувань, контролю якості та оцінювання відповідності продукції;

- організація державної служби стандартних довідкових даних та стандартних зразків, видання офіційних довідників зі значеннями констант та властивостей речовин і матеріалів, виготовлення та випуск стандартних зразків та організація служби їх атестації.

Основні терміни метрології визначено згідно із Законом про метрологію та метрологічну діяльність (стаття 1), Законом про забезпечення єдності вимірювань, Декретом КМ про забезпечення єдності вимірювань.

У дійсних законодавчих актах застосовуються наступні поняття.

Вимірювання - відображення фізичних величин їхніми значеннями за допомогою експерименту та обчислень із застосуванням спеціальних технічних засобів.

Єдність вимірювань - такий спосіб вимірювань, при якому їх результати, виражені в узаконених одиницях і похибках вимірювань, відомі з заданою вірогідністю.

Законодавча метрологія - частина метрології, що відноситься до діяльності, здійснюваної національним органом з метрології відповідно до державних вимог, що стосуються одиниць, методів, засобів вимірювань і вимірювальних лабораторій.

Метрологічна служба - сукупність суб'єктів діяльності і видів робіт, спрямованих на забезпечення єдності вимірів.

Національний орган з метрології - орган державного керування, уповноважений здійснювати керівництво діяльністю із забезпечення єдності вимірів у державі.

НД із забезпечення єдності вимірів - державні стандарти, застосовувані у встановленому порядку, міжнародні (регіональні) стандарти, правила, положення, інструкції й інші нормативні та методичні документи, що визначають вимоги і порядок проведення робіт із забезпечення єдності вимірів.

Характеристики вимірювань: принцип, метод, одиниця, похибка, точність, правильність і достовірність вимірювань.

Принцип вимірювань - фізичне явище або сукупність фізичних явищ, що покладені в основу вимірювань. Наприклад, вимірювання температури з використанням термоелектричного ефекту;

Метод вимірювань - сукупність прийомів використання принципів і засобів вимірювання. Засобами вимірювань є вживані технічні засоби, що мають нормовані метрологічні характеристики;

Одиниця вимірювань - фізична величина певного розміру, прийнята для кількісного відображення однорідних з нею величин;

Похибка вимірювань - це відхилення результату вимірювань від істинного значення вимірюваної величини;

Точність вимірювань характеризується близькістю їх результатів до дійсного значення вимірюваної величини;

Правильність вимірювань - це якість вимірювання, що відображає близькість до нуля систематичних похибок результатів (тобто таких похибок, які залишаються постійними або закономірно змінюються при повторних вимірюваннях однієї й тієї ж самої величини);

Достовірність вимірювань - це довіра до результатів вимірювання. Вимірювання можуть бути достовірними і недостовірними, залежно від того, відомі чи невідомі ймовірні характеристики їх відхилень від дійсних значень відповідних величин. Результати вимірювань, імовірність яких невідома, не мають ніякої цінності і в деяких випадках можуть служити джерелом дезінформації.

Наявність похибок обмежує достовірність вимірювань, тобто вносить обмеження в число достовірних значущих цифр числового значення вимірюваної величини і визначає точність вимірювань.

1.2. Фізична величина. Одиниці фізичних величин

Поняття фізичної величини (ФВ) - одне з найбільш загальних понять у фізиці та метрології. Під ФВ (ДСТУ 2681-94) слід розуміти якісну властивість об'єкта, що має певний кількісний вміст. Прикладами фізичних величин є маса, довжина, сила електричного струму, електричний опір, ємність, індукція та напруженість магнітного поля, потужність і енергія, частота та період. Фізична величина – це властивість явища чи тіла, яка може бути розрізнена якісно і визначена кількісно. Якщо фізична величина змінюється в часі, то говорять про фізичний процес. Якщо фізична величина змінюється лише у просторі, то говорять про стаціонарне фізичне поле. Якщо фізична величина змінюється як у часі, так і в просторі, то говорять про фізичне поле.

Для встановлення різниці в кількісному відношенні властивостей кожного об'єкта вводиться поняття «розмір ФВ».

Між розмірами кожної ФВ існують відносини, які мають таку ж саму логічну структуру, що й між числовими формами (цілими, раціональними, дійсними числами, векторами). Тому численність числових форм з відносинами між ними може слугувати моделлю ФВ, тобто безлічі її розмірів і відносин між ними.

Можна виділити три групи ФВ, вимірювання яких проводиться за принципово різними правилами.

До першої групи належать величини, безліч розмірів яких визначаються за відношенням типу «твердий - м'який», «тепле - холодне», «кисле - солодке» і т. д. У математиці такі відносини отримали назву «відносини порядку та еквівалентності». Наявність подібних відносин встановлюється теоретично, виходячи із загально-фізичних міркувань, або експериментально, за допомогою засобів вимірювання й експериментатора. Так, без особливих зусиль можна визначити, що мідь твердіша за гуму, але визначити відмінність міді за твердістю з іншими металами (свинцем, оловом) без засобів вимірювання неможливо, тому що їх твердість відрізняється незначно.

Друга група величин характеризується тим, що відношення порядку й еквівалентності стосується не тільки розмірів величин, а й відмінностей у парах цих величин (потенціал, енергія, температура та ін.). Так інтервал температур буде однаковим, якщо будуть однакові відстані між поділками на шкалі ртутного термометра. Мова йде не про температуру як ступінь нагрівання, а лише про рівність інтервалів температур.

До третьої групи величин, крім зазначених раніше визначень, відносяться характерні відносини, які називаються операціями, подібно до арифметичного додавання (множення на n) та вирахування. Результат відповідає сумі n розмірів певної вимірюваної величини. До таких величин відносяться: довжина, тиск, маса, термодинамічна температура і т. д. До величин третьої групи можна віднести і безліч інтервалів розмірів величин другої групи, тому що для них можливо встановити операцію, подібну до додавання. Отже, ці величини є найбільш зручними для використання. Тому їх і називають фізичними.

Між властивостями об'єкта існують взаємозв'язки. Модель об'єкта описується сукупністю рівнянь, які називаються рівняннями між величинами. У кожному розділі науки кількість рівнянь завжди менша, ніж кількість вхідних величин. Тому в окрему групу прийнято виділяти величини, кількість яких дорівнює різниці між кількістю величин і кількістю незалежних рівнянь.

Ці величини і відповідні їм одиниці вимірювання називаються основними величинами і основними одиницями. Решта величин та одиниць, які однозначно визначаються через основні, називаються похідними.

ФВ поділяються на **вимірювані** й **оцінювані**.

Вимірювані ФВ можуть бути виражені кількісно у вигляді певного числа встановлених одиниць виміру. ФВ, для яких неможливо ввести одиницю виміру, можуть бути тільки оцінювальними (землетрус - 7 балів, шторм - 10 балів, твердість за шкалою Мооса - 5 балів і т. д.).

За видами появи ФВ поділяються на 3 групи (рис. 2.1):

- **речовинні (пасивні)**, тобто ті, що описують фізичні та фізико-хімічні властивості речовин, матеріалів і виробів з них. До цієї групи належить маса, щільність (питома вага), електричний опір, ємність, індуктивність та ін. Іноді наведені ФВ називають пасивними. Для їх вимірювань необхідно використовувати додаткові джерела енергії, за допомогою яких формується сигнал інформації, що вимірюється. При цьому пасивні ФВ перетворюються в активні, які й вимірюються;

- **енергетичні (активні)**, тобто величини, які описують характеристики процесів перетворення, передачі і використання енергії. До них відносяться струм, напруга, потужність, енергія. Ці величини називають активними. Вони

можуть бути перетворені на сигнали вимірювальної інформації без використання додаткових джерел енергії;

- які характеризують **протікання процесів** у часі. До цієї групи відносяться різного виду спектральні характеристики, кореляційні функції і т. ін.

За належністю до різних груп фізичних процесів ФВ поділяються на просторово-часові, механічні, теплові і т. д.

За ступенем умовної незалежності від інших величин даної групи ФВ поділяються на основні (умовно незалежні), похідні (умовно залежні) та позасистемні.

За числом значень, за яких може бути вимірювана величина на скінченному проміжку часу, фізичні величини поділяються на **неперервні (аналогові)** й **дискретні**.

Аналогова фізична величина – це величина, яка на скінченному часовому інтервалі в заданому діапазоні набуває нескінченної кількості значень.

Квантова фізична величина – це величина, що поділена на рівні за розміром частини – кванти.

За наявності розмірності ФВ поділяються на **розмірні**, тобто ті, які мають розмірність, і **безрозмірні**.

Розмірна фізична величина – це величина, в розмірності якої розмірність хоча б однієї з основних величин піднесена до степеня, що не дорівнює нулю.

Безрозмірна фізична величина - в розмірності якої всі степені розмірностей основних величин дорівнюють нулю.

ДСТУ 2681-94 наводить наступні терміни.

Розмір (фізичної) величини - кількісний вміст ФВ у даному об'єкті. Не слід використовувати термін «величина» як кількісну характеристику даної властивості, наприклад, у термінах «величина напруги», «величина маси» та ін. У таких випадках слід використовувати термін «розмір напруги», «розмір маси».

Основна (фізична) величина - ФВ, що входить до системи ФВ і прийнята за незалежну від інших величин цієї системи.

Похідна (фізична) величина - ФВ, що входить до системи величин та визначається через основні величини цієї системи.

Розмірність фізичних величин - вираз, що відображає її зв'язок з основними величинами системи величин.

Розмірність основної фізичної величини - умовний символ ФВ у даній системі величин.

Для позначення фізичних величин використовуються літери латинського та грецького алфавітів.

1.3. Види вимірювань

Вимірювання фізичних величин є одним з найважливіших експериментальних методів пізнання, що ґрунтується на принципі відображення, в якому чітко розрізняється предмет відображення – це фізична величина певного розміру, і результат відображення – це значення фізичної величини.

Вимірювання - це знаходження значення фізичної величини чи її параметра експериментально за допомогою спеціальних технічних засобів, що забезпечують порівняння величини з одиницею, а також, якщо необхідно, за допомогою виконання певних обчислювальних процедур.

Суть вимірювання - це порівняння вимірюваної величини з деяким її значенням прийнятим за одиницю. Будь-яке вимірювання здійснюється за допомогою обов'язкового виконання фізичного експерименту, в якому взаємодіють об'єкт вимірювання і засоби вимірювальної техніки, що мають нормовані метрологічні властивості.

Вимірювання фізичних величин діляться на: *промислові (технічні) і лабораторні*.

Промислові вимірювання мають порівняно невисоку точність, достатню для практичних цілей, і виконуються приладами, пристрій яких відповідає їхньому призначенню і умовам роботи.

Лабораторні вимірювання відрізняються високою точністю завдяки застосуванню більше удосконалених методів і приладів і обліку можливих похибок. Цей вид вимірювання проводиться при виконанні науково-дослідних, налагоджувальних і перевірочних робіт.

Для визначення значень вимірюваної величини служать *прямі і непрямі вимірювання*.

Прямі вимірювання, полягають у безпосередньому порівнянні вимірюваної величини з одиницею вимірювання за допомогою міри або вимірювального приладу зі шкалою, вираженою в цих одиницях. Так, наприклад, до прямих відносяться вимірювання довжини - метром, тиску - манометром, температури - термометром і т.д. Завдяки наочності і простоті прямі вимірювання одержали в техніці велике розповсюдження.

Непрямі вимірювання передбачають визначення шуканої величини не безпосередньо, а шляхом прямого вимірювання однієї або декількох інших величин: $A, B, C, \dots$, з якими вона зв'язана функціональною залежністю. При цьому обчислення вимірюваної величини виконується по формулі: $Q=f(A, B, C, \dots)$...

Сутність непрямого вимірювання полягає у знаходженні однієї чи декількох вимірюваних величин після перетворення роду величини чи обчислення за відомими залежностями їх від декількох величин аргументів, що вимірюються прямо. Непрямі вимірювання можуть бути *опосередкованими, сукупними та сумісними*.

Опосередковане вимірювання – це непряме вимірювання однієї величини з перетворенням її роду чи обчисленнями за результатами вимірювань інших величин, з якими вимірювана величина пов'язана явною функціональною залежністю. Характерним для опосередкованих вимірювань є функціональне вимірювальне перетворення, яке здійснюється або шляхом фізичного вимірювального перетворювання, або шляхом числового вимірювального перетворення.

Наприклад, при опосередкованих вимірюваннях потужності постійного струму її визначають чи на основі прямих вимірювань струму та напруги за формулою $P=UI$, чи на основі фізичного вимірювального перетворення добутку UI в іншу фізичну величину.

Сукупне вимірювання – це непряме вимірювання, в якому значення декількох одночасно вимірюваних однорідних фізичних величин отримують розв'язанням рівнянь, що пов'язують різні сполучення цих величин, які вимірюються прямо чи опосередковано. Метою сукупних вимірювань є

знаходження шляхом числових вимірювальних перетворень значень декількох фізичних величин за неможливості їх окремого прямого вимірювання.

Сумісне вимірювання – це непряме вимірювання, в якому значення декількох одночасно вимірюваних різнорідних величин отримують розв’язанням рівнянь, які пов’язують їх з іншими фізичними величинами, що вимірюються прямо чи опосередковано.

Принцип вимірювання – це фізичний закон (ефект, явище), на якому ґрунтується вимірювання, це наукова основа вимірювання.

Процедура вимірювання – це послідовність вимірювальних операцій, що забезпечує вимірювання згідно з обраним методом.

Методика виконання вимірювання – це сукупність процедур і правил, дотримання яких забезпечує одержання результатів з потрібною точністю.

Методом вимірювання називається сукупність прийомів використання принципів і засобів вимірювання. Існує ряд методів вимірювання, з яких найпоширенішими є: *метод безпосередньої оцінки, метод порівняння з мірою і нульовий метод*.

Метод безпосередньої оцінки передбачає визначення шуканої величини по відліковому пристрою вимірювального приладу, наприклад по положенню вказівної стрілки манометра щодо його шкали. До методів безпосереднього оцінювання належать також вимірювання, у яких разом з вимірювальними приладами використовують вимірювальні перетворювачі.

Метод порівняння з мірою полягає в тому, що вимірювана величина порівнюється зі значенням, відтвореним мірою для даної величини, наприклад: при вимірюванні довжини каліброваним метром.

Нульовий метод є різновидом методу порівняння з мірою; тут результуючий вплив двох величин (вимірювальною і відтвореною мірою) спрямованих назустріч один одному, доводить до нуля. Прикладом може служити вимірювання маси речовини на важільних вагах зі зрівноважуванням її каліброваними вантажами.

Тема 2. Засоби вимірювальної техніки

2.1. Засоби вимірювань, їх види та класифікаційні ознаки

Операції вимірювань, згідно ДСТУ 2681-94, можуть бути виконані окремими пристроями, а саме, вимірювальними пристроями, до яких належать міри, вимірювальні перетворювачі, компаратори та обчислювальні компоненти.

Пристрої, які реалізовані у формі комплексних пристроїв, мають назву **вимірювальні засоби**, до яких належать **вимірювальні прилади, вимірювальні системи, вимірювальні канали, вимірювальні системи та вимірювальні установки**. У засобах вимірювань реалізовані всі необхідні вимірювальні операції, тобто за їх допомогою безпосередньо отримують результат вимірювання.

Вимірювальні пристрої та засоби вимірювань об'єднують у так звані **засоби вимірювальної техніки (ЗВТ)**, які обов'язково мають нормовані метрологічні властивості, а саме, діапазон вимірювань, клас точності, швидкодія, чутливість та умови застосування. Ці властивості (характеристики) вказують у нормативно-технічній документації на засіб. ЗВТ використовують у певних умовах, серед них напруга та частота живлення, температура довкілля, тиск та вологість, напруженість магнітного та електростатичного поля, інтенсивність електромагнітного поля, рівень радіації та механічних вібрацій, струсів та ударів. Під час вимірювання необхідно контролювати і враховувати усі величини, оскільки вони, не будучи вимірюваними, впливають на роботу ЗВТ, змінюючи їх характеристики та результати вимірювань.

Засіб вимірювальної техніки (ЗВТ) – це технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики. ЗВТ взаємодіє з об'єктами, внаслідок чого на його вході отримують сигнали, які містять інформацію про вимірювану величину. Згідно з ДСТУ 2681-94 до ЗВТ належать засоби вимірювань (ЗВ) та вимірювальні пристрої (ВПП).

Засобами вимірювань є засоби, що реалізують процедуру вимірювань, а саме, вимірювальні та реєструвальні прилади, аналогові вимірювальні прилади, цифрові вимірювальні прилади, вимірювальні установки, вимірювальні канали та вимірювальні інформаційні системи. Особливістю засобів вимірювань є те, що з їх допомогою безпосередньо одержують результат вимірювань.

Вимірювальні пристрої – це засоби вимірювальної техніки, в яких виконується лише одна зі складових частин процедури вимірювань – вимірювальна операція. Виділяють такі вимірювальні пристрої: міра, вимірювальний перетворювач, масштабний перетворювач, компаратор та числовий вимірювальний перетворювач (обчислювальний компонент). Особливістю ВПП є те, що вони самотійно не забезпечують одержання результату вимірювання, а лише в сукупності з іншими пристроями та засобами вимірювань.

Міра – це вимірювальний пристрій, що реалізує відтворення та (або) зберігання фізичної величини заданого розміру. На вхід такого пристрою надходить значення відтворюваної величини, тобто число NX , а на виході – відтворена із заданою точністю величина X_N . Міри поділяються на еталони, зразкові та робочі.

Еталони займають значне місце серед мір, так як мають найвищу точність та здійснюють відтворення та зберігання одиниць фізичних величин з метою передачі їх розміру зразковим мірам.

Зразкові міри передають розмір фізичних величин робочим мірам, які призначені для визначення метрологічних характеристик засобів вимірювання.

Крім того, міри поділяються на *однозначні*, які відтворюють фізичну величину у даний момент часу одного розміру, і *багатозначні*, які відтворюють багато значень фізичної величини із заданими у деякому діапазоні.

Вимірювальне перетворювання фізичної величини – це вимірювальна операція, під час якої вхідна фізична величина перетворюється у вихідну, функціонально з нею пов'язану. Головна задача вимірювальних перетворень – це одержання вихідних фізичних величин та залежностей між ними, які зручні для порівняння та відтворення. Завдяки вимірювальному перетворенню досягається узгодження роду, меж зміни і частотного діапазону сигналів.

Вимірювальний перетворювач – це вимірювальний пристрій, що реалізує вимірювальне перетворення. Вимірювальні перетворювачі (ВП) класифікують за такими ознаками:

- за структурою побудови – на *ВП прямого перетворення* (з розімкненою структурою) та *ВП зрівноважувального перетворення* (з замкненою структурою);

- за зміною роду вихідної величини – на ВП без зміни роду та ВП зі зміною роду вихідної величини, які необхідні у тих випадках, коли для вимірюваної вхідної величини немає міри або компаратора;

- за характером залежності – на *лінійні* та *нелінійні*;

- за кількістю каналів – на *одно-* та *багатоканальні*;

- за видом вихідного сигналу – на *параметричні* та *генераторні*;

- за родом фізичних явищ – на *термоелектричні*, *оптоелектричні*, *п'єзоелектричні*, *електромагнітні* та *магнітоелектричні*.

Генераторний ВП – це перетворювач, вихідні сигнали яких мають енергетичні властивості – напруга, струму, магніторушійна та електрорушійна сили.

Параметричний ВП - це перетворювач, в яких зміна вхідного сигналу призводить до зміни їх параметрів – опору, індуктивності, ємності та частоти.

Порівняння – це вимірювальна операція, що полягає у відображенні співвідношення між розмірами двох однорідних фізичних величин: більша, менша чи однакова за розміром. Порівняння величин широко використовується в різноманітних процедурах: вимірюванні, контролі, розпізнаванні образів та керуванні.

Компаратор (пристрій порівняння) – це вимірювальний пристрій, що реалізує порівняння однорідних фізичних величин. Компаратори класифікують за такими ознаками:

- за характером дії над сигналами при порівнянні – на компаратори з відніманням сигналів і компаратори з комутацією сигналів;

- за кількістю каналів – на одно- і багатоканальні.

Компаратор має два входи і один вихід. На один вхід компаратора подається вимірювана величина X , або вихідна величина вимірювального перетворювача, а на другий вхід – однорідна величина X_N , яка відтворена мірою.

Вихідним сигналом компаратора є логічний сигнал, який може бути «1», якщо вхідні величини компаратора однакові, та «0», якщо сигнали різні.

Масштабне перетворення – це лінійне вимірювальне перетворення вхідної величини без зміни роду. В результаті масштабного перетворення вхідна величина перетворюється в однорідну вихідну, розмір якої пропорційний в k разів розміру вхідної.

Масштабний перетворювач – це вимірювальний перетворювач, який реалізує масштабне вимірювальне перетворення. Прикладом масштабних вимірювальних перетворювачів є шунти для амперметрів, додаткові резистори для вольтметрів, а також вимірювальні трансформатори струму та напруги.

Числове вимірювальне перетворення – це операція обчислення проміжних результатів вимірювань з метою отримання остаточного результату.

Числовий вимірювальний перетворювач – це вимірювальний пристрій, що є сукупністю засобів обчислювальної техніки та програмного забезпечення і виконує обчислювальні операції під час вимірювань.

Вимірювальний прилад – це засіб вимірювань, в якому створюється візуальний сигнал вимірювальної інформації.

Засіб вимірювання, в якому візуальний сигнал вимірювальної інформації подається за допомогою шкали та покажчика, має назву **аналоговий вимірювальний прилад**.

Реєструвальний засіб вимірювання – це такий засіб вимірювань, в якому реєструється сигнал вимірювальної інформації. Реєструвальні засоби вимірювання відрізняються від аналогових вимірювальних приладів тим, що замість покажчика в реєструвальних приладах використовується перо з чорнильною, а носієм вимірювальної інформації є папір та світлочутлива плівка.

Вимірювальний прилад, в якому візуальний сигнал вимірювальної інформації подається у вигляді цифр чи символів на пристрої відліку, має назву **цифровий вимірювальний прилад**.

Вимірювальний канал – це сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів зв'язку та інших пристроїв, призначення яких отримання вимірювальної інформації про одну вимірювальну фізичну величину.

Вимірювальна установка – це сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних приладів і пристроїв та інших технічних засобів, призначених для досліджень властивостей зразків матеріалів та метрологічної перевірки інших засобів вимірювальної техніки. Об'єктом досліджень у такому разі є засоби вимірювальної техніки (прилади, канали систем, сенсори та міри). Конструктивно установка виконана, переважно, як одне ціле, у вигляді стенда з необхідними пристроями під'єднання досліджуваних зразків, регулювання величин, відображення і документування результатів. Операції з досліджень матеріалів та метрологічної перевірки можуть здійснюватись вручну або з різним ступенем автоматизації. Тенденція розвитку ЗВТ є такою, що у перспективі функції установок будуть виконувати контрольно-вимірювальні системи.

Вимірювальна система – це сукупність ЗВТ та засобів контролю, діагностування та інших технічних засобів, об'єднаних для створення сигналів вимірювальної інформації та інших її видів.

2.2. Електронні вимірювальні прилади

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. XX), 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 .

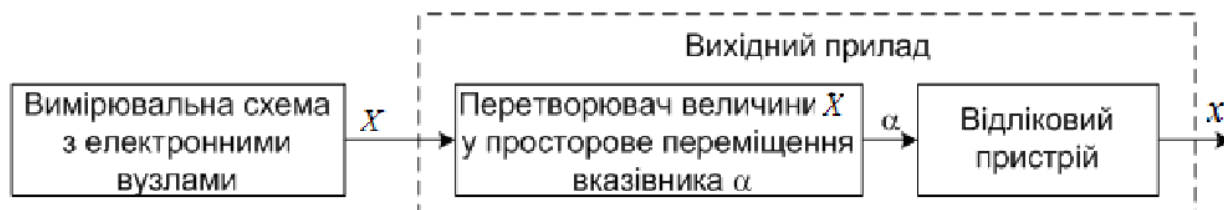


Рис. 2.1. Структурна схема електронного АВП прямого перетворення

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,
- реєструючі, в яких передбачена реєстрація показів.

2.3. Метрологічні властивості та експлуатаційна характеристика вимірювальних приладів

Технічні характеристики (метрологічні та неметрологічні) відображають властивості та функціонування засобів вимірювальної техніки.

Метрологічними є ті характеристики засобів вимірювальної техніки, які впливають на результат та точність вимірювання.

Нормованими метрологічними характеристиками вимірювальних приладів є: діапазон вимірювань, клас точності, чутливість та поріг чутливості, стала та ціна поділки шкали, умови застосування – для аналогових вимірювальних приладів, та кількість розрядів і значення одиниці найменшого розряду – для цифрових вимірювальних приладів. Ці характеристики використовуються для оцінювання результатів вимірювань та встановлення параметрів якості виконаних вимірювань.

Характеристики ЗВТ поділяються на:

- характеристики мір фізичних величин;
- характеристики вимірювальних приладів;
- характеристики вимірювальних перетворювачів.

Основними характеристиками мір фізичних величин є **номінальне** значення міри, **істинне** та **дійсне** значення міри та похибка міри.

Номінальне значення міри – це значення величини, яке присвоєне мірі для відтворення цієї величини, так як істинне значення фізичної величини не можливо визначити через неминучість похибки вимірювання.

Дійсне значення міри – це значення міри, яке знайдене вимірюванням з точністю, яка дозволяє використовувати його замість істинного значення фізичної величини.

Похибка міри – це різниця між номінальним значенням міри й істинним значенням величини, яку міра відтворює.

До метрологічних показників відносять також:

Діапазон показів - це область значень шкали, обмежена кінцевим і початковим значеннями шкали.

Діапазон вимірювань - це область значень вимірюваної величини, для якої нормуються допустимі похибки ЗВ.

Ціна поділки шкали - це різниця значень величини, що відповідають двом сусіднім позначкам шкали.

Точність вимірювань - це якість вимірювань, яка відображає, наскільки результати вимірювань близькі до істинного значення вимірювальної величини.

Чутливість вимірювальних приладів - це відношення вимірювання сигналу на виході вимірювального приладу до тієї зміни вимірювальної величини, яка викликала цей сигнал.

Стабільність засобу вимірювання - це здатність не змінювати в часі його метрологічних характеристик (показань).

Похибка вимірювань - це відхилення результату вимірювання від дійсного значення вимірюваної величини.

Поправка - це величина, яку потрібно алгебраїчно додати до показання вимірювального приладу, щоб дістати таке значення вимірювальної величини, яке є найближчим до дійсного значення.

Загальною характеристикою засобів вимірювання, яка визначається гранично допустимими похибками, а також іншими властивостями, що впливають на точність, вважається **клас точності** (ГОСТ 8.401-80).

Залежно від ступеня точності показів електровимірювальні прилади 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.

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 градуювання 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.

Клас точності характеризує властивості ЗВ, але не може бути показником точності проведених вимірювань, тому що, визначаючи похибки вимірювання, потрібно враховувати ще й похибки методу, настройки та ін.

Тема 3. Похибки вимірювань

3.1. Похибки вимірювань

Практична корисність будь-якого вимірювання визначається зазначенням його похибки, тобто кількісної характеристики відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної ФВ. Виникнення похибок вимірювань обумовлено впливом різноманітних за фізичною природою факторів, що супроводжують вимірювання. Традиційний аналітичний підхід до визначення похибок полягає в їх поділі на складові, кожна з яких зумовлена певними факторами. Це дозволяє досліджувати джерела складових похибки, проводити необхідні експерименти, в тому числі допоміжні вимірювання, і, як наслідок, визначати властивості похибки та з необхідною точністю оцінити її складові. Знаючи властивості й оцінки складових, можна правильно врахувати їх при оцінці повної похибки, а також за необхідності ввести поправку в результат вимірювання й (або) організувати вимірювальний експеримент так, щоб звести окремі складові, а з ними й повну похибку до допустимого значення.

При вимірюванні ФВ слід чітко розмежувати два поняття: істинні значення ФВ та результати їх вимірювань.

Істинне значення ФВ - це значення, що ідеально відображає властивості об'єкта як у кількісному, так і в якісному відношеннях. Істинні значення не залежать від засобів нашого пізнання і є абсолютною істиною, до якої наближається спостерігач, намагаючись виразити її як числове значення.

Результат вимірювання є продуктом пізнання спостерігача і приблизною оцінкою значення шуканої величини. Результати залежать від методів вимірювання, технічних засобів, властивостей органів чуття спостерігача, зовнішнього середовища й самих ФВ.

Похибка результатів вимірювання - це число, що показує можливі межі невизначеності значення вимірюваної величини.

При багаторазовому вимірюванні якої-небудь величини легко переконатися, що результат вимірювання увесь час змінюється, тобто в кожному випадку спостерігається відхилення результату вимірювання від середнього значення вимірювальної величини. Більш того, проведення вимірювань тієї ж величини в інший відрізок часу дає не тільки інші відхилення від середнього значення, але і інше середнє значення вимірювальної величини. Це пояснюється тим, що вимірювальна фізична величина досліджуваного тіла, так само як і використовувана міра, протягом часу вимірювань зазнає змін. Ці зміни викликані впливом зовнішніх факторів: зміною температури навколишнього середовища, атмосферного тиску, вологості повітря, вібрації приміщення, електростатичними зарядами, що блукають, струмами і так далі. Отже, "точне" визначення вимірювальної величини, тобто без появи яких-небудь відхилень при багаторазових вимірюваннях, неможливо.

Відхилення від середнього результату вимірювань ми називаємо помилками або похибками вимірювань, і в підсумку вимірювань указуємо не тільки середню величину, але і можливе відхилення від цієї величини.

На практиці при постановці вимірювального завдання потрібно не просто визначити значення вимірюваної величини, але і визначити її з максимально припустимою похибкою. Максимально припустима похибка визначається

технологією подальших практичних дій з матеріальним об'єктом. Таким чином, визначення похибки результату вимірювання є не самоціллю, а вимогою практики.

З вищесказаного зрозуміло, що чим більша кількість однакових вимірювань ми проводимо в одиницю часу, тим більше осереднюємо вплив зовнішніх факторів на вимірювальну величину, тим менше відхилення від середнього значення вимірювальної величини, тобто менше похибка вимірювання.

Основними джерелами похибок вимірювань можуть виступати:

1. **Похибка інструмента.** Вимірювальний прилад неможливо виготовити абсолютно точно.

2. **Похибка методу вимірювань.** Наприклад, при зважуванні тіла ми не враховуємо силу, що виштовхує, повітря, а вона по різному впливає на тіла, що мають різну густину.

3. **Похибки, пов'язані з фізіологією спостерігача.** Наприклад, відраховуючи показання по стрілочному приладу, спостерігач дивиться правим оком, а прилад розташований прямо перед ним.

4. **Похибки, пов'язані з особливостями об'єкта** і залежністю вимірювальної величини від контрольованих навколишніх умов. Наприклад, ми вимірюємо діаметр деталі на токарському верстаті, а деталь у результаті обробки нагрілася і має температуру вище кімнатної. Або, наприклад, сильно шорсткувата.

5. **Похибки, пов'язані із впливом неконтрольованих зовнішніх умов.** Наприклад, при зважуванні тіла на аналітичних вагах на точність показань можуть впливати потоки повітря, електричні поля, порошини, що сідають на тіло, що зважується, і гирі. При кожному вимірюванні повинна бути відома ступінь точності його результату, оцінювана похибкою вимірювання. Тільки тоді отримане значення тієї або іншої величини має практичний сенс.

Похибка вимірювання може бути виражена у вигляді **абсолютної** або **відносної** величини і буває позитивною або негативною.

Оскільки не існує абсолютно точних приладів і методів вимірювань, то результат вимірювання $x_{\text{вим}}$ якоюсь мірою відрізняється від істинного значення x .

Класифікація похибок

Похибки вимірювань залежно від їхнього характеру діляться на **систематичні, грубі, випадкові і динамічні**.

Систематичні похибки можна розділити на кілька груп.

1. Похибки, природа яких відома і які можуть бути досить точно визначені. У цьому випадку в результати вимірювань можна внести виправлення і тим самим виключити похибку або істотно її зменшити.

2. Похибки відомого походження, але невідомої величини.

3. Похибки, про існування яких ми не підозрюємо, хоча їхня величина може бути значною. Такого типу похибки самі небезпечні, особливо при складних вимірюваннях і в маловивчених областях дослідження.

4. Похибки вимірювальних приладів у значній мірі також систематичними.

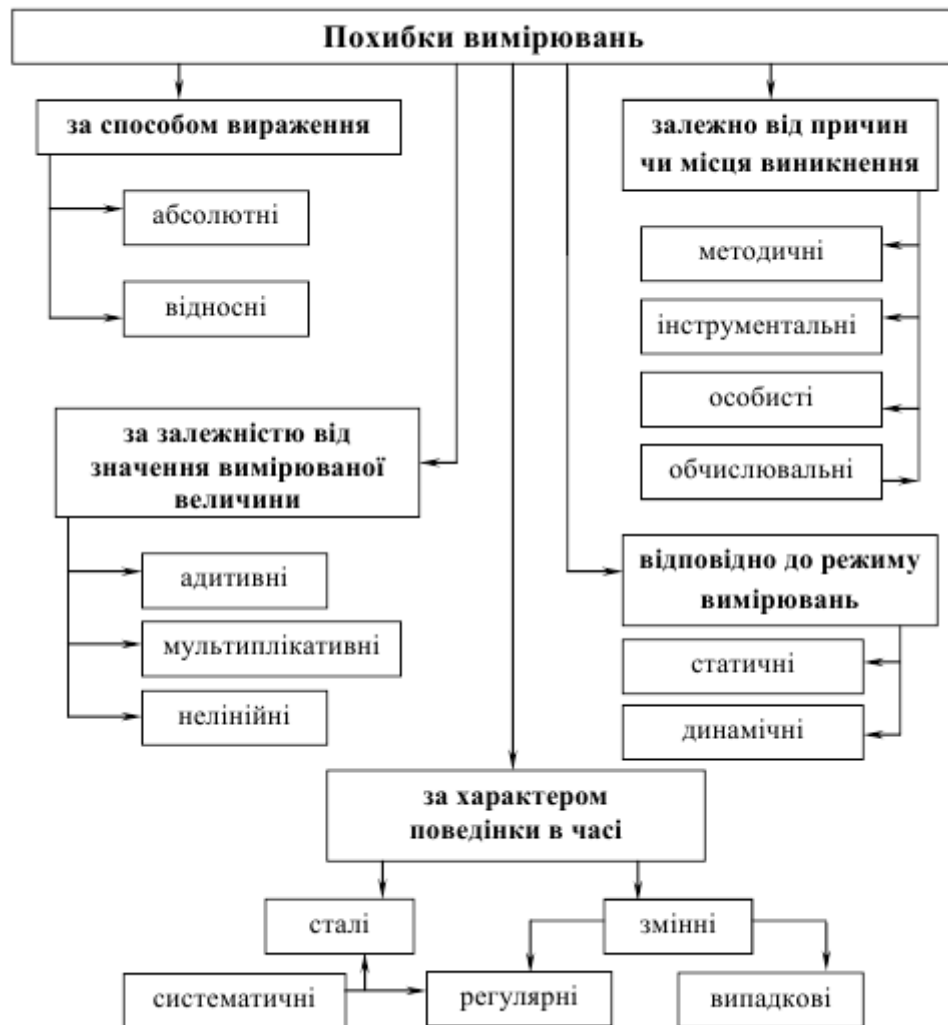


Рис. 3.1. Класифікація похибок вимірювання

Систематичні похибки можуть бути настільки великі, що зовсім спотворюють результати вимірювань. Тому облік і виключення систематичних похибок становлять важливу частину вимірювальної роботи. Необхідно дуже ретельно продумувати методику вимірювань і підбирати прилади, проводити контрольні виміри, оцінювати роль факторів, що заважають, і т.д. Один зі способів переконатися у відсутності систематичних похибок - це повторити вимірювання іншим методом і в інших умовах. Збіг отриманих результатів служить деякою гарантією їхньої правильності.

Систематичні похибки звичайно складаються з *основної* і *додаткової* похибок.

Основна (інструментальна) похибка залежить від призначення, устрою і якості виготовлення вимірювального приладу. Кожний, навіть новий, прилад має основну похибку, що із часом звичайно зростає за рахунок появи залишкових деформацій пружин, зношування тертьових частин та ін.

Додаткові похибки, що виникають через неправильну установку приладу, впливу несприятливих зовнішніх умов (вібрації, високої або низької температури і вологості навколишнього повітря, відхилення напруги і частоти джерела живлення та ін.), застосування недосконалого методу вимірювання і

впливу індивідуальних особливостей спостерігача можуть становити значну величину.

Вплив на результати вимірювань систематичних похибок враховується введенням до показань приладів виправлень, обумовлених розрахунковим або експериментальним шляхом. Виключення становлять лише похибки, що виникають з вини спостерігача, які обліку не піддаються.

Грубі похибки пов'язані з факторами, які свідомо і істотно спотворюють результат вимірювання, наприклад раптовим зниженням напруги електричного живлення приладу. Сюди ж ставляться так називані **промахи** - похибки, пов'язані з помилковими діями спостерігача, - неправильне визначення показань приладу, невірний їхній запис і т.п. Результати вимірювань, що містять грубі похибки і промахи, відкидаються як явно неточні.

Випадкова похибка - похибка вимірювання, викликана невідомими причинами або відомими причинами випадкового прояву. Випадкові похибки є свідомо невизначеними по своїй величині і природі. При повторних вимірюваннях вони не залишаються постійними, тому що виникають у підсумку спільного впливу на процес вимірювання багатьох причин, кожна з яких проявляє себе по-різному і незалежно одне від одного. Наприклад, похибки через тертя і вібрацію при зважуванні, похибки через флуктуації температури і густини повітря і т.д.

Випадкові похибки піддаються строгому математичному опису, що дозволяє робити висновки про якість вимірювань, у яких вони присутні. Похибки інших типів більш складні для аналізу, їх виявляють і аналізують тільки в умовах конкретного експерименту. Для одного вимірювання випадкові похибки не піддаються обліку, однак для ряду повторних вимірювань однієї і тієї ж постійної величини, проведених з однаковою старанністю, їхній вплив на отриманий результат після виключення систематичних і грубих похибок можна оцінити з деякою імовірністю.

Теорія випадкових похибок, заснована на методах теорії ймовірностей і математичної статистики, дозволяє при проведенні деякого числа повторних вимірювань уточнити кінцевий результат. Внаслідок цього теорія випадкових похибок широко використовується для оцінки точності вимірювань і надійності роботи вимірювальних приладів.

Інструментальна похибка

Інструментальна похибка вимірювання визначається похибкою застосовуваних засобів вимірювання, тобто вимірювальних приладів і мір. Інструментальна похибка, називана іноді **приладовою похибкою**, обумовлена багатьма причинами, пов'язаними з конструкцією приладу, якістю його виготовлення і застосовуваних матеріалів, старанністю регулювання, умовами застосування і т.д. Інструментальна похибка має як систематичну, так і випадкову складові. Співвідношення між ними може бути неоднаковим для різних приладів (указується в паспорті приладу), однак частіше переважає систематична похибка. Інструментальну похибку можна встановити при порівнянні показань даного приладу з показаннями більш точного. У цьому випадку можна одержати таблицю або графік виправлень, використання яких підвищує точність приладу.

Для багатьох засобів вимірювання широкого застосування виробники вказують, що інструментальна похибка із досить великою ймовірністю ($P \geq 0,95$) не перевищує деякого значення Δ_{instr} , називаного межею похибки, яка допускається. Наприклад, вимірювальна лінійка довжиною 1000 мм має $\Delta_{instr} = \pm 0,20$ мм, тобто виготовлювач не гарантує, що штрихи нанесені з більшою точністю.

Зв'язок між ціною поділки шкали і Δ_{instr} строго не встановлюється, тому судити про точність приладу на підставі ціни поділки шкали можна тільки дуже орієнтовно.

Вимірювальні прилади служать для вимірювання змінних в часі величин і являють собою матеріальні системи, що володіють різними інерційними властивостями (механічними, тепловими і ін.). Інерційність приладів при змінному режимі роботи приводить до запізнювання їхніх показань, тобто до відставання показань від зміни вимірюваної величини, що викликає **динамічні похибки**.

Величина запізнювання показань залежить в основному від принципу дії і устрою вимірювального приладу. На неї впливають інерція рухливої частини приладу, теплоємність і теплопровідність термочутливого елемента і способу його установки, довжина і діаметр сполучних трубок та ін.

Залежність показів приладу від зміни вимірюваної величини в несталому режимі (перехідному процесі) називається **динамічною характеристикою** вимірювального приладу. Вид динамічної характеристики визначається характером зміни, що відбувається з вимірювальною величиною і типом вимірювального приладу.

Похибка кожного конкретного приладу є систематичною, але її значення звичайно невідомо, а виходить, її неможливо виключити введенням у результат вимірювання відповідного виправлення.

Звичайно ціна найменшої поділки шкали стрілочного приладу погоджена з похибкою самого приладу. Якщо клас точності використовуваного приладу невідомий, за похибку $\sigma_{прил}$ завжди приймають половину ціни його найменшої поділки. Зрозуміло, що при зчитуванні показань зі шкали недоцільно намагатися визначити частки розподілу, тому що результат вимірювання від цього не стане точнішим. Межа припустимої похибки цифрового вимірювального приладу розраховується за паспортним даними, даючи формулу для розрахунку похибки саме даного приладу.

3.2. Абсолютна та відносна похибка

Абсолютною похибкою ЗВ називається різниця між показанням засобу вимірювань X_{II} та істинним значенням вимірюваної величини X_i за відсутності методичних похибок і похибок від взаємодії засобу вимірювань із об'єктом вимірювання:

$$\Delta = X_{II} - X_i.$$

Істинне значення фізичної величини – це значення фізичної величини, яке ідеально відображає певну властивість об'єкту. Визначити істинне значення величини вимірюванням неможливо через обмежені властивості ЗВТ. Тому то відмічена неможливість визначення істинного значення є наслідком

недосконалості відображення при вимірюваннях та є причиною неминучої похибки вимірювання. Для визначення похибки вимірювань істинне значення фізичної величини замінюють дійсним значенням величини.

Дійсне значення фізичної величини – це значення фізичної величини, яке знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинного значення, що може використовуватись замість істинного значення.

Через неможливість одержання істинного значення величини при обчисленні абсолютної похибки його замінюють дійсним значенням:

$$\Delta = X_{\Pi} - X_0.$$

Абсолютна похибка є розмірною величиною, яка має таку ж розмірність, що і вимірювана величина. Коли при вимірюванні говорять «похибка вимірювання», то мають на увазі абсолютну похибку.

Для порівняння якості вимірювань різних значень однієї величини або різних вимірюваних величин абсолютна похибка є незручною. У таких випадках для кількісної характеристики якості вимірювання використовують відносну похибку. Теоретично це відношення абсолютної похибки до істинного (дійсного) значення вимірюваної величини, а практично – це відношення до виміряного значення, виражене у відсотках:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_i} \cdot 100\%$$

де X_i - значення величини, результат вимірювань;

Δ - абсолютна похибка вимірювань

Чим менша відносна похибка, тим точніше вимірювання і навпаки. Відносна похибка визначається у частках або частіше – у процентах.

3.3. Класи точності засобів вимірювання.

Клас точності засобу вимірювань – це узагальнена характеристика засобу, яка визначається границями його допустимих основної і додаткових похибок, а також регламентованими характеристиками, що впливають на його точність. Клас точності ЗВ – це не похибка, а кількісна характеристика, за величиною якої можна оцінити похибку ЗВ.

Залежно від ступеня точності показів електровимірювальні прилади 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.

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 градуювання 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.

Клас точності характеризує властивості ЗВ, але не може бути показником точності проведених вимірювань, тому що, визначаючи похибки вимірювання, потрібно враховувати ще й похибки методу, настройки та ін.

Клас точності може бути визначений і позначений на засобі вимірювання одним з таких шести способів:

1. За значеннями абсолютної похибки - цей спосіб застосовується для наборів і магазинів мір довжини, маси, ЕРС, опорів, ємностей, індуктивностей.

В цьому випадку класи точності визначається арабськими цифрами : 0, 1, 2... При цьому більші порядкові номери класу відповідають більшим значенням похибки, хоч номер класу безпосередньо не зв'язаний із значенням абсолютної похибки, тому для визначення абсолютної похибки певного класу точності у цьому випадку необхідно користуватися додатковими таблицями Держстандарту на класи точності, в яких наведені значення абсолютної похибки кожному класу точності для певного виду засобу вимірювань.

2. За значенням зведеної похибки:

$$\delta_{зв} = (\Delta X / X_n) * 100\%,$$

тут X_n - нормоване значення вимірювальної величини.

Цей спосіб застосовується для вимірювальних приладів, в яких переважає адитивна складова похибки. До таких вимірюваних приладів відносять показуючий і самописучий прилади. В цьому випадку клас точності визначається арабськими цифрами, дорівнює допустимому значенню основної зведеної похибки у відсотках.

3. За значенням основної відносної похибки - цей спосіб застосовується в вимірювальних приладах, в яких переважає мультиплікативна складова похибки, і в яких неможливо визначити нормоване значення. Наприклад: для лічильників.

В цьому випадку клас точності позначають числом, що дорівнює значенню допустимої основної відносної похибки, визначеної у відсотках і уміщеної у коло.

4. Двома цифрами, розділеними косою рискою, в яких перша цифра дорівнює сумі значень зведеної адитивної і відносної мультиплікативної складових допустимої похибки, а друга цифра - адитивної зведеної похибки. Наприклад: 0,02/0,01.

Сумарне значення допустимої похибки для таких приладів визначається формулою:

$$\delta_0 = \pm [c + d((X_n/X) - 1)],$$

де X_n – нормоване значення вимірювальної величини;

X – виміряне значення величини,

c і d - перша і друга цифри в позначенні класу точності.

Наприклад: сумарне значення допустимої похибки прикладу класу 0,02/0,01 зі шкалою від 0 до 100 при вимірюванні величини 50 дорівнює:

$$\delta_0 = \pm [0,02 + 0,01((100/50) - 1)] = \pm 0,03$$

Цей спосіб застосовується для цифрових приладів і приладів зрівнювання (цифрових мостів, компенсаторів).

5. У відсотках довжини шкали. Цей спосіб застосовується для вимірювальних приладів з нелінійною, показниковою, логарифмічною шкалою.

6. Для засобів вимірювання, що використовуються в акустиці, електроніці, відліковий пристрій яких градуйовано у дБ чи інших логарифмічних одиницях. Границі допустимих похибок визначаються у цих самих одиницях. В цьому випадку клас точності, наприклад, виражається у дБ.

Таблиця 3.1 Умовні позначення класів точності ЗВ

Позначення класу точності		Форма похибки	Вираз для оцінювання, границі допустимої основної похибки	Пояснення
на засобі вимірювання	в технічній документації			
0,5	клас точності 0,5	зведена	$\gamma = \frac{\Delta X}{X_H} \cdot 100\%;$ $\gamma = \pm 0,5\%$	нормоване значення X_H визначено в одиницях вимірюваної фізичної величини
	клас точності 1,5	зведена	$\gamma = \frac{\Delta X}{X_H} \cdot 100\%;$ $\gamma = \pm 1,5\%$	нормоване значення X_H приймається рівним довжині шкали або її частині
	клас точності 2,5	відносна	$\delta = \pm 2,5\%$	позначення класу точності надає безпосередню вказівку на границю допустимої основної похибки

Приймається вираження класу точності за допомогою відносних чисел і абсолютних значень похибки. У випадку якщо клас точності виражається відносним числом, те це число вибирається з ряду [1; 1,5; (1,6); 2; 2,5; (3); 4; 5; 6]×10ⁿ, де показник ступеня *n* може бути дорівнює 1; 0; -1; -2 і т.д. Величини, зазначені в круглих дужках, для знову розроблювальних засобів вимірювання застосовувати не рекомендується. Наприклад: на шкалі приладу просто зазначене число з наведеного ряду, наприклад 0,2. Це значить, що наведена похибка дорівнює $\gamma = \pm 0,2 \%$.

Тема 4. Основи теорії вимірювальних механізмів і приладів

4.1. Основи теорії приладів електромеханічної групи

Електромеханічні вимірювальні прилади належать до аналогових засобів вимірювання. Електромеханічні прилади – це аналогові вимірювальні прилади, в яких вхідна електрична величина перетворюється в лінійне або кутове переміщення рухомої частини вимірювального механізму. Вони прості, надійні, зручні в експлуатації, недорогі і, в зв'язку, з цими якостями знайшли широке застосування. Такі прилади містять вимірювальне коло, вимірювальний механізм та пристрій відліку. У вимірювальному колі здійснюється кількісне чи якісне перетворення вимірюваної електричної величини в електричну величину, яка діє на вимірювальний механізм та яка зручна для вимірювань. Вимірювальне коло може містити вимірювальні перетворювачі (подільники напруги, шунти, додаткові резистори, вимірювальні трансформатори), які дають змогу розширити границі вимірювань приладів.

Вимірювальний механізм призначений для перетворення електромагнітної енергії сигналу в кут повороту рухомої частини α , та, який містить нерухому та з рухоми частини. Рухома частина встановлюється на кернях, розтяжках та підвісах. Керні – це два сталеві кускові стержні з загостреними кінцями, які контактують з підп'ятниками, при цьому створюється тертя в опорах. Розтяжки та підвіси – це стрічечки з пружних матеріалів, при цьому усувається тертя в опорах.

Пристрій відліку містить шкалу з поділками та покажчик (механічний – стрілка або світловий – плямка), який зв'язаний з рухомою частиною вимірювального механізму. Краща об'єктивність відліку показів забезпечується світловими пристроями відліку, а також стрілочними пристроями з антипаралаксними елементами (шкала із дзеркалами).

Електровимірювальний прилад складається з вимірювальної схеми і вимірювального механізму. У вимірювальну схему входять елементи (резистори, перетворювачі, перемикачі, затискачі) спільно з якими вимірювальний механізм дає можливість визначати значення вимірюваної величини.

Вимірювальний механізм складається з рухомої і нерухомої частин, що взаємодіють між собою, внаслідок чого рухома частина обертається відносно нерухомої так, що кут її повороту пропорційний вимірюваній величині.

Нерухомою частиною приладу служить катушка. Основною деталлю рухомої частини є феромагнітний сердечник, жорстко прикріплений до осі, що упирається в підп'ятники. До цієї ж осі прикріплена стрілка, що вказує вимірювану величину за шкалою. Спиральна пружина є елементом, що забезпечує пропорційність кута повороту стрілки вимірюваній величині. Для заспокоєння рухливої частини призначається заспокоювач. Установка стрілки на нуль забезпечується коректором. Урівноваження рухомої частини досягається за допомогою балансних важків - противаг.

Вимірювана електрична величина у вимірювальному механізмі перетворюється в механічне зусилля, що створює обертаючий момент, переміщає рухливу частину відносно нерухомої осі. Момент, що обертає, залежить від вимірюваної величини

Для того, щоб положення рухомої частини приладу залежало від значення вимірюваної величини, у вимірювальному механізмі в процесі виміру повинен виникати протидіючий момент, що перешкоджає переміщенню рухливої частини приладу і пропорційний вимірюваній величині.

$$M_{np} = D\alpha$$

D - питомий протидіючий момент елемента, що створює протидіючий момент.

Відлік вимірюваної величини виробляють в положенні рівноваги рухливої частини, при якій

$$M_{об} = f(x) = M_{np} = D\alpha,$$

$$\alpha = \frac{1}{D} f(x) = kf(x).$$

З виразу виходить, що кут повороту рухомої частини вимірювального приладу залежить від вимірюваної величини і від параметрів приладу.

Якщо вивести рухому частину вимірювального приладу з положення рівноваги, повернувши її на деякий кут, то виникає встановлюючий момент, прагнення повернути рухому частину приладу в положення рівноваги.

$$M_{вс} = M_{об} - M_{np}$$

В основному протидіючий момент створюється пружними зусиллями закручуваних спіральних пружин. В деяких приладах він створюється електромагнітними силами, що виникають в результаті проходження струму по протидіючому елементу (рамці або котушці).

Чутливість S характеризується кутом відхилення його рухливої частини (що вимірюється кількістю поділок) на одиницю вимірюваної величини.

Чим вища чутливість вимірювального приладу, тим менше значення вимірюваної величини можна визначити цим приладом.

Величина, зворотна чутливості, називається постійною приладу (ціною поділки).

4.2. Електромагнітні вимірювальні прилади.

Принцип дії електромагнітних вимірювальних приладів оснований на взаємодії магнітного поля, яке створюється струмом в нерухомій котушці з рухомих феромагнітним осердям.

Основні елементи конструкції електромагнітного вимірювального приладу наведені на рисунку 4.1.

Під час проходження через котушку вимірюваного струму I виникає магнітне поле, яке втягує осердя всередину котушки, і обертання рухомої частини триває доти, доки обертальний момент стане рівним протидіючому моменту спіральних пружин, при такому стані рухомої частини приладу за положенням стрілочного покажчика над шкалою оператором визначається значення вимірюваної величини. Особливість конструкції приладу: струм підводиться безпосередньо до нерухомої котушки, провід обмотки має великий переріз, тому електромагнітний механізм здатний витримувати великі перевантаження.

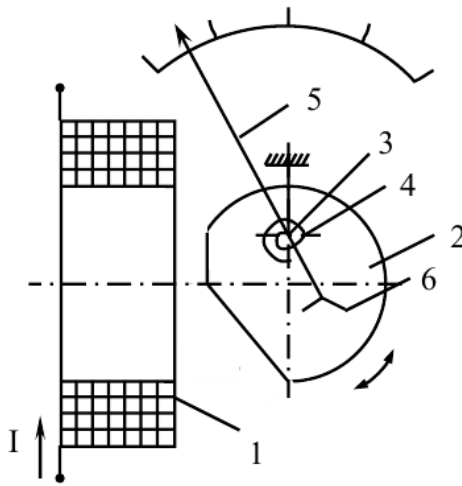


Рис. 4.1. Конструкція електромагнітного вимірювального приладу
1 – нерухома котушка; 2 – феромагнітне осердя; 3 – ось; 4 – дві спіральні пружини; 5 – стрілочний показчик; 6 – повітряний заспокоювач

Розглянемо аналітичні залежності, які описують теорію електромагнітного приладу:

- обертальний момент $M_{об}$

$$M_{об} = \frac{dW_m}{d\alpha} = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\alpha} I^2$$

- протидіючий момент

$$M_{пр} = W_{nm} \alpha$$

- функція перетворення електромагнітного приладу

$$M_{об} = \frac{dW_m}{d\alpha} = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\alpha} I^2$$

де W_{nm} – питомий протидіючий момент пружини;

$\frac{dW_m}{d\alpha}$ - швидкість зміни електромагнітної енергії при переміщенні осердя на кут α ;

$\frac{dL}{d\alpha}$ - швидкість зміни індуктивності котушки при переміщенні осердя на кут α .

Кут повороту рухомої частини α пропорційний до квадрата діючого (середньоквадратичного) значення струму. Величина I^2 завжди є додатна, тому кут повороту рухомої частини не залежить від напрямку струму в котушці. Отже, електромагнітні прилади можуть застосовуватись для вимірювань як у колах постійного, так і в колах змінного струму, але їх шкали мають нелінійний (нерівномірний) характер.

Методом підбору спеціальної конструкції рухомого осердя конструктори досягли такої залежності, за якої шкала приладу стала близької до лінійної в діапазоні 20...100 % всієї її довжини, але початкова ділянка шкали 0...20%, яка відмічена спеціальною точкою, є неробочою частиною шкали і такою, що не входить в діапазон вимірювання.

В електромагнітних амперметрах весь вимірюваний струм проходить по обмотці нерухомої котушки. Найбільш поширені амперметра з верхньою

границею вимірювання 5 А, оскільки для розширення границь вимірювання використовують вимірювальні трансформатори струму, у яких номінальне значення вторинного струму дорівнює 5 А. В залежності від граничного значення вимірюваного струму вибирається переріз проводу та число витків обмотки котушки вимірювального механізму. Так, в амперметрах на номінальні струми від 100 А та більше котушка має один виток з товстої мідної шини. Максимальне номінальне значення струму електромагнітних амперметрів прямого вмикання – 200 А, мінімальне значення струму – 5 мА.

Для розширення меж вимірювання амперметрів для вимірювання великих струмів шунти не застосовуються, так як опір котушки механізму невеликий, а опір шунта в n разів менший за опір обмотки, тому шунти мають великі розміри. Для одержання різних меж вимірювання електромагнітних вольтметрів послідовно з котушкою механізму вмикаються додаткові опори, які виконані з манганіну та характеризуються малою залишковою реактивністю. У багатограничних вольтметрах додаткові резистори є секційними.

Розширення меж вимірювання вольтметрів до високих напруг здійснюється за допомогою вимірювальних трансформаторів напруги.

До переваг електромагнітних приладів належить простота і надійність конструкції, висока здатність до перевантажень, можливість використання для вимірювань у колах змінного, так і постійного струму, а до недоліків належать низька чутливість і точність, велика варіація показів на постійному струмі через гістерезисні явища у феромагнітному осерді, велике власне споживання потужності, великий вплив зовнішніх магнітних полів внаслідок слабкого власного магнітного поля та вузький частотний діапазон.

4.3. Магнітоелектричні вимірювальні прилади.

У вимірювальних механізмах магнітоелектричної системи (рис. 4.2) обертовий момент, який пересуває рухома частину приладу, виникає в результаті взаємодії магнітного поля, створюваного постійним магнітом 2, і електричного струму, який проходить по витках обмотки, що містяться в цьому полі.

У більшості таких механізмів ця обмотка рухома, виконана у вигляді рамки 6, закріпленої на кернях 9, які вільно обертаються у підп'ятниках 10, розміщених на кронштейнах 5. Струм до рухомої обмотки надходить по спіральних пружинах 8, які створюють протидійний момент при повороті рамки. Кут відхилення рухомої частини вимірювального механізму при вимірюванні відповідає рівності обертового моменту, створюваного рамкою, й моменту протидії, що виникає від дії пружин.

Для створення рівномірного поля в зоні переміщення активних сторін обмотки рамки вимірювальний механізм має центральний масивний циліндр 3, який виготовлено з магнітм'якого матеріалу, як і частини 1 і 4 вимірювального механізму. Для врівноважування рухомої частини зі стрілкою 7 використовують врівноважувальні тягарці 11. Обмотка рамки 6 може бути намотана на каркас, виготовлений з алюмінію, але іноді рамка може бути й безкаркасною.

Постійний магніт 2 виготовлено з магнітотвердого матеріалу, який має значну залишкову індукцію та велику коерцитивну силу (це - вольфрамова або хромово сталь, чи нікель-алюмінієві сплави). Для багаторічного збереження незмінності

показів приладу з таким вимірювальним механізмом магніти проходять спеціальну обробку (штучне старіння), після чого магнітна індукція у повітряному проміжку вимірювального механізму (саме там, де пересуваються активні частини рамки) практично не залежатиме від масу і майже не залежатиме від коливань температури. Через наявність значної величини магнітної індукції у повітряному проміжку на такі вимірювальні механізми майже не впливають зовнішні магнітні поля.

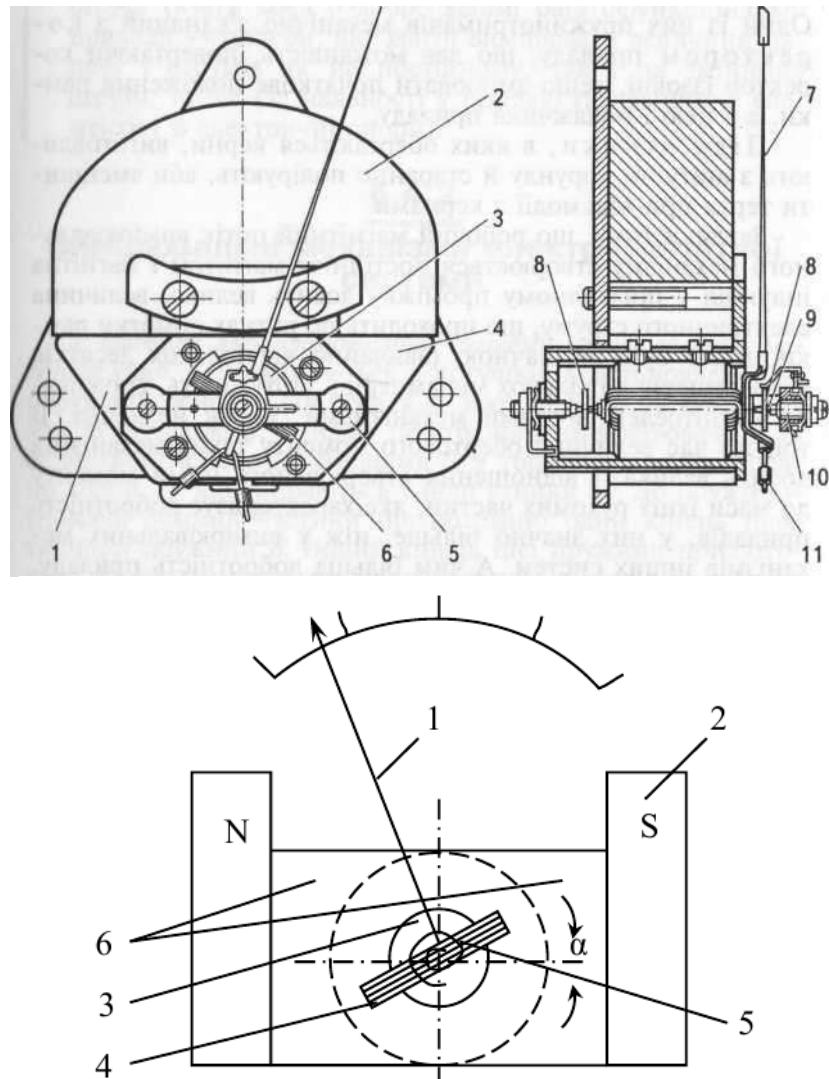


Рис. 4.2. Вимірювальний механізм магнітоелектричної системи
1 – стрілочний показчик; 2 – постійний магніт; 3 – нерухоме циліндричне осердя; 4 - рухома котушка; 5 – дві спіральні пружини; 6 – полюсні наконечники постійного магніту

Струм підводиться до котушки через дві спіральні пружини 5. Котушка закріплена між двома напівосями, на одній з яких закріплений стрілочний показчик 1, кінець якого переміщується над шкалою приладу. Магнітне поле постійного магніту взаємодіє з тими частинами котушки, що знаходяться в просторі між полюсними наконечниками і осердям, як наслідок, створюється обертальний момент, який намагається повернути котушку так, щоб через площину, охоплену її витками, проходив максимальний магнітний потік. При повороті котушки на кут α закручуються спіральні пружини і створюється протидіючий момент. Поворот котушки припиниться, коли протидіючий момент

стане рівним обертальному моменту, при такому стані рухомої частини приладу за положенням стрілочного показчика над шкалою оператором визначається значення вимірюваної величини.

Розглянемо аналітичні залежності, які описують теорію магнітоелектричного приладу:

- обертальний момент $M_{об}$

$$M_{об} = BS\omega I_0$$

- протидіючий момент

$$M_{пр} = -W_{nm}\alpha$$

- функція перетворення магнітоелектричного приладу

$$\alpha = \frac{M_{об}}{W_{nm}} = \frac{BS\omega}{W_{nm}} I_0$$

де B – магнітна індукція;

S – активна площа котушки;

ω – кількість витків котушки;

I_0 – середнє значення струму за період;

$W_{пт}$ – питомий протидіючий момент пружини.

Каркас рамки являє собою не тільки конструктивну деталь вимірювального механізму, але й виконує функції демпфера, що зменшує час заспокоювання коливань рухомої частини механізму. Така дія каркаса рамки пояснюється тим, що під час переміщення її у повітряному проміжку в каркасі індукується ЕРС та з'являється струм, який створює обертовий момент, спрямований проти напрямку руху, що заважає коливанням рухомої частини і зменшує їх тривалість.

Керни, на які спирається рухома частина, зроблено з високоякісної сталі. Для зменшення тертя між кернами і підп'ятниками їх старанно полірують. Ці керни запресовують в алюмінієві букси, основу яких приклеюють до рамки. Пружини, які створюють протидійний момент та крізь які подається струм до обмотки рамки, виготовляють із бронзи та прилютовують кінцями до пружинотримачів, два з яких встановлено на рамці та з'єднано з кінцями її обмотки, а два інших встановлено на нерухомій частині приладу. Один із цих пружинотримачів механічно з'єднаний з коректором приладу, що дає можливість, повертаючи коректор ззовні, дещо змінювати початкове положення рамки, а з нею і показчика приладу.

Підп'ятники, в яких обертаються керни, виготовляють з агату чи корунду й старанно полірують, аби зменшити тертя при взаємодії з кернами.

Завдяки тому, що робочий магнітний потік вимірювального механізму створюється постійним магнітом і магнітна індукція у повітряному проміжку досить велика, величина електричного струму, що проходить по витках обмотки рамки, може бути незначною (звичайно від кількох десятків мікроамперів до кількох міліамперів). Потужність, споживана магнітоелектричними механізмами, також незначна. В той же час величина обертового моменту таких механізмів досить велика, і відношення створюваного ними моменту до маси їхніх рухомих частин, яке характеризує добротність приладів, у них значно більше, ніж у вимірювальних механізмів інших систем. А чим більша

добротність приладу, тим меншою буде його похибка від впливу тертя у підп'ятниках.

На основі магнітоелектричних електровимірювальних приладів виробляють прилади практично всіх класів точності.

Якщо магнітоелектричний вимірювальний механізм використовують у приладі відносно невисокого класу точності, то він може мати постійний магніт, який розміщено всередині рамки (замість циліндра 3). Цей магніт має бути намагніченим по діаметру. В цьому випадку необхідність у зовнішніх постійних магнітах відпадає, завдяки чому можуть бути значно зменшені зовнішні розміри і маса вимірювального механізму, а з ним - і всього приладу.

Магнітоелектричні прилади використовують для вимірювань на постійному струмі. Вони найчутливіші та здатні забезпечити найбільшу точність вимірювань порівняно з приладами всієї решти систем; широко використовуються як гальванометри, мікро- та міліамперметри, амперметри, вольтметри та омметри.

У сполученні з напівпровідниковими випрямлячами вони широко використовуються і для вимірів на змінному струмі

Порівняно з аналоговими електромеханічними вимірювальними приладами інших систем магнітоелектричні прилади мають такі переваги:

- найвищу точність вимірювання на постійному струмі – найвищий клас точності 0,05;
- найвищу чутливість, яка забезпечує широкий діапазон вимірювань струму та напруги;
- найменше споживання потужності (десяті частки Вт), так як у амперметрів малий внутрішній опір, а у вольтметрів внутрішній опір великий;
- рівномірний лінійний характер шкали приладу;
- малий вплив на покази приладів зовнішніх магнітних полів.

До недоліків відносять такі параметри: неможливість вимірювання змінних струмів (без додаткових перетворювачів), мала здатність до перевантажень, відносна складність вимірювального механізму.

Магнітоелектричний вимірювальний механізм при вмиканні безпосередньо у коло постійного струму здатен вимірювати малі постійні струми величиною від 26 до 50 мА, тому конструктивно – це мікроамперметр та міліамперметр.

Для побудови магнітоелектричного амперметра з широким діапазоном вимірювання застосовують багатограничні шунти. Шунти на невеликі струми (до кількох десятків ампер) монтуються в корпус амперметра, а для великих струмів (до декількох сотень ампер) застосовуються зовнішні шунти.

Для побудови магнітоелектричного вольтметра з широким діапазоном вимірювання застосовують додатковий резистор, який приєднується послідовно з котушкою вимірювального механізму та який обмежує струм в котушці до допустимих значень. Додаткові резистори (опори), як і шунти, можуть бути внутрішніми (напруга 600 В) та зовнішніми (напруга від 600 В до 30 кВ).

В магнітоелектричному логометричному вимірювальному механізмі в полі постійного магніту обертаються дві котушки, які жорстко скріплені між собою. Протидіючих пружинок в такому механізмі немає. Струм підводиться до котушок через тонкі стрічки.

Проміжок між осердям та полюсними наконечниками нерівномірний, магнітне поле у проміжку також є нерівномірним. Струм I_1 та I_2 , які протікають в котушках, створюють два обертальні моменти M_1 та M_2 , які направлені назустріч один одному, та під дією цих моментів рухома частина повертається на кут α .

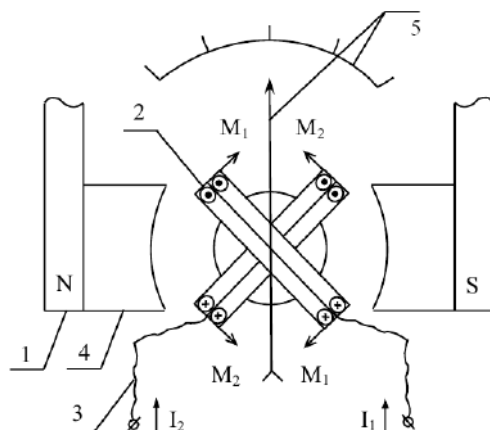


Рис. 4.3 – Конструкція магнітоелектричного логометричного вимірювального механізму

- 1 – постійний магніт; 2 – дві рухомі котушки, жорстко скріплені між собою;
3 – струмовідводи: тонкі стрічечки; 4 – полюсні наконечники постійного магніту; 5 – стрілочний показчик та шкала

Так як поле нерівномірне, то при повороті рухомої частини один з моментів збільшується, а інший – зменшується і при певному куті повороту моменти стають рівними один одному, тому то рухома частина механізму зупиняється. Особливістю таких омметрів є те, що при відсутності струмів у котушках рухома частина може знаходитись у вільному положенні на шкалі приладу. Кут відхилення рухомої частини логометра визначається відношенням струмів у котушках (від грецької «логос» - відношення).

4.4. Індукційні вимірювальні механізми та прилади.

У вимірювальних механізмах індукційної системи, які працюють тільки на змінному струмі, обертовий момент рухомої частини створюється внаслідок взаємодії змінного магнітного потоку зі струмами, індуктованими в замкненій обмотці, диску чи у циліндрі зі струмопровідного неферромагнітного матеріалу.

В індукційному вимірювальному механізмі з диском, що показаний на рис. 4.4, діють два змінних магнітних потоки - Φ_1 створений дією обмотки 1, що міститься на магнітопроводі 2, та Φ_2 , створений дією обмоток 3, розміщених на магнітопроводі 4.

Обидва магнітопроводи з обмотками - нерухомі. Рухома частина вимірювального механізму складається з алюмінієвого диска 9, закріпленого на осі 10, що обертається в підп'ятниках 11.

При використанні індукційного вимірювального механізму в приладах зі стрілкою момент протидії, що діє на рухома частину, створюється пружиною 7. Заспокоєння коливань рухомої частини створюється магнітоіндукційним заспокоювачем коливань 8.

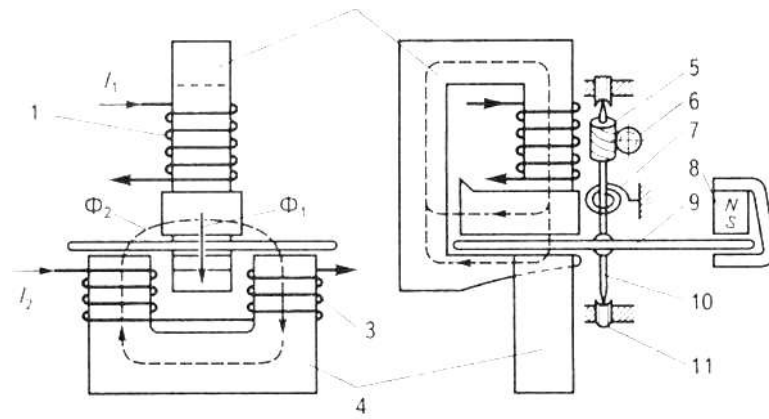


Рис. 4.4. – Вимірювальний механізм індукційної системи.

При використанні індукційного вимірювального механізму в лічильниках електричної енергії змінного струму, що буває найбільш вірогідним в умовах енергетичного підприємства, пружина 7 відсутня, а протидійний момент створюється магнітом заспокоювача 8. За такого використання вимірювального механізму обмотка 1 звичайно вмикається на напругу джерела змінного струму, а обмотка 3 - у коло струму, який проходить від джерела до споживача. У цьому разі величина обертового моменту, створюваного механізмом, буде пропорційна споживаній потужності, як і швидкість обертання диска. Показання лічильника кількості обертів 6, зв'язаного з віссю рухомої частини черв'яком 5, будуть пропорційні величині споживаної активної енергії, яка надійшла від джерела до споживача. Індукційні вимірювальні механізми широко застосовують у лічильниках електричної енергії змінного струму, проте їх можна також застосовувати у ватметрах, вольтметрах і амперметрах.

У вольтметрах і амперметрах обидві обмотки механізму 1 і 3 мають бути виконані на одну й ту саму величину струму: у вольтметрів - на десятки міліампер, а у амперметрів - на номінальний струм, контрольований цим амперметром.

Завдяки невеликій довжині ділянок проходження магнітного потоку в немагнітному середовищі (через повітря та алюміній) потрібна магніторушійна сила обмоток цього механізму та споживана ними потужність - невеликі. Разом з тим обертовий момент, створений такими вимірювальними механізмами, достатньо великий, що зумовлює значну надійність і довговічність вимірювальних приладів.

Тема 5. Допоміжні вимірювальні перетворювачі

5.1. Розширення діапазону вимірювань. Масштабні перетворювачі: шунти, додаткові резистори

Електровимірювальні прилади виробляють на обмежені діапазони вимірювання як за величин струму, так і за величин напруг. Обмеження діапазонів вимірювання у приладах пояснюється складністю створення приладів на високі напруги і великі струми, зумовлені, перш за все, умовами безпеки користування приладами, що містяться в безпосередній близькості від спостерігача, та складністю підведення проводів і шин значної площі перерізу до приладів, зібраних разом на щитах і пультах.

Для забезпечення можливості безпечного і нескладного вимірювання яких завгодно величин напруг, струмів, потужностей та інших електричних величин, розроблено ряд пристроїв, що дають можливість наявними приладами, тобто приладами, призначеними для вимірювань електричних величин помірної величини, вимірювати дійсні електричні величини значного розміру, не сприйнятні до прямих вимірювань цими приладами. До таких пристроїв слід віднести шунти, додаткові опори та вимірювальні трансформатори струму і напруги. Всі ці пристрої є перетворювачами відповідних електричних величин на електричні, сприйнятні для вимірювання.

Шунти - це резистор, виконаний з манганінових дротів, стрижнів або штаб, жорстко приєднаних з обох кінців до мідних чи латунних наконечників. Кожний з наконечників має два отвори: один значного діаметра, для приєднання провідника, по якому протікає вимірюваний струм, і другий, малого діаметра, для приєднання провідника, що йде до вимірювального приладу - магнітоелектричного мілівольтметра. Шунти виготовляють на номінальні струми до 7500 А. Кілька шунтів із позначенням їхніх номінальних струмів показано на рис. 5.1. У зв'язку з тим, що шунти розраховано на приєднання до них магнітоелектричних мілівольтметрів, опір цих шунтів підганяють до такої величини, щоб при номінальному струмі шунта падіння напруги на ньому становило 45, 75 або 120 мВ (перші дві напруги мають перевагу). Шунти, виконані на великі величини струмів, - стаціонарні, призначені для жорсткого кріплення до нерухомих конструкцій. Часто такі шунти встановлюються безпосередньо на струмоведучих шинах, над місцем їх розриву. Мілівольтметр до шунта приєднують за допомогою каліброваних провідників. Шунти, виконані на відносно невеликі струми, частіш за все - переносні. Шунти на відносно малі струми можуть бути виконані на декілька границь вимірювання. Схему універсального шунта призначеного на кілька номінальних струмів і розрахованого при цьому на використання лише одного мілівольтметра, зображено на рис. 5.2.

У разі вимірювань величини струмів із застосуванням шунтів треба враховувати, що мілівольтметр, який показує величину струму, перебуває під напругою, що відповідає величині напруги у точці кола, де приєднано шунт. І якщо ця напруга висока, то поводитись з приладом і проводами, що приєднані до нього, слід відповідно до правил безпеки праці. Схема вмикання шунта з мілівольтметром для вимірювання струму зображена на рис. 5.3.

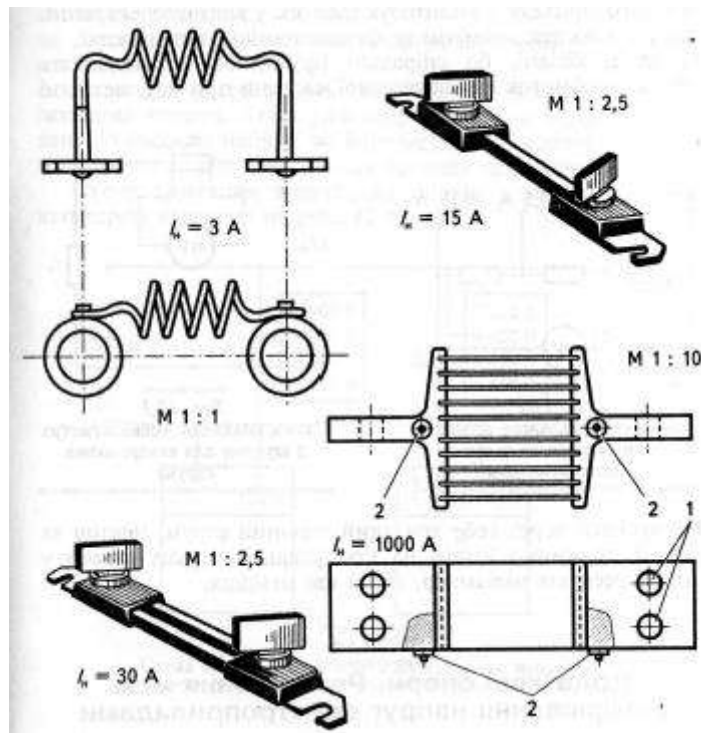


Рис. 5.1. Вимірювальні шунти.

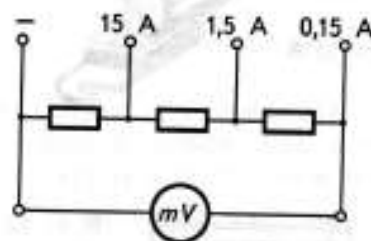


Рис. 5.2. Схема універсального шунта з приєднаним до нього міліамперметром.

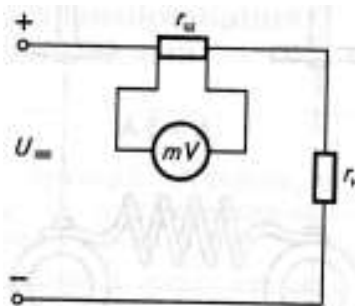


Рис. 5.3. Схема вмикання мілівольметра з шунтом для вимірювання струму

Окрім описаних зовнішніх шунтів, що використовуються лише з магнітоелектричними мілівольтметрами, у приладах бувають внутрішні шунти. Такі шунти індивідуальні для кожного приладу і вмонтовуються як у магнітоелектричні, так і у електродинамічні та феродинамічні амперметри, де вкрай необхідні, бо спіральні пружинки, що підводять струм до обмоток рамок рухомої частини приладу, нездатні пропускати через себе хоч який значний струм. Частіш за все ці пружинки здатні на пропускання струму всього у кілька десятків міліампер, або й ще менших.

Додаткові опори.

Для роботи з магнітоелектричними вольтметрами виробляють додаткові опори на величини номінальних струмів 3; 5; 7,5 мА. Для роботи з

електродинамічними або електромагнітними вольтметрами чи з колом напруги електродинамічних ватметрів виробляють додаткові опори з номінальними струмами 15 і 30 мА.

Додаткові опори можуть розширювати межі вимірювання напруги до 3000 В.

Додаткові опори мають елементи з активним опором і захисний корпус. Якщо цей опір розширює межі вимірювань до високих напруг, то його металевий корпус повинен мати затискач для приєднання проводу заземлення.

Схему вмикання додаткових опорів з вольтметром та ватметром наведено на рис. 5.4.

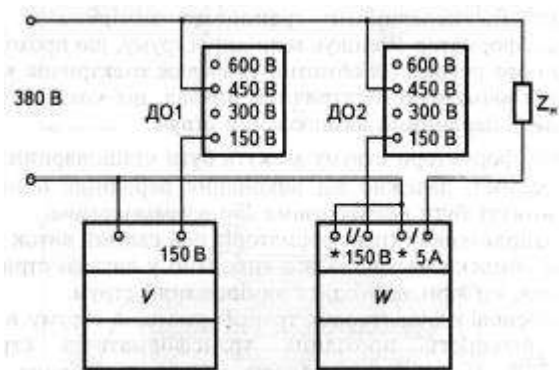


Рис. 5.4. Схема вмикання приладів з додатковими опорами

При використанні додаткових опорів вкрай необхідно, щоб величина номінального струму кола напруги приладу точно збігалася з величиною номінального струму додаткового опору, а номінальна напруга приладу - зі значенням напруги, вказаним на першому затискачі додаткового опору.

Додаткові опори, призначені для вмикання з магнітоелектричними приладами, працюють як і прилади, тільки на постійному струмі. Додаткові опори, призначені до роботи з електромагнітними та електродинамічними приладами, можуть працювати як на постійному, так і на змінному струмах.

5.2. Вимірювальні трансформатори струму (ТС) і напруги (ТН).

Вимірювальні трансформатори струму

Цей трансформатор зменшує величину струму, що проходить по його первинній обмотці, та ізолює електричне коло, у яке ввімкнено електричний прилад, від кола, де проходить первинний вимірюваний струм.

Трансформатори струму можуть бути стаціонарними чи переносними. Залежно від виконання первинної обмотки вони можуть бути *катушковими* або *одновитковими*.

У одновиткових трансформаторів цей єдиний виток первинної обмотки частіш за все виконано у вигляді стрижня чи шини, по яких проходить вимірюваний струм.

На основі одновиткових трансформаторів струму виконано більшість прохідних трансформаторів струму (рис. 5.5, а), які встановлюють в місцях уведення лінії енергопостачання у будівлі, чи в місцях переходу лінії з одного помешкання в інше.

Прохідні трансформатори можуть мати й декілька витків первинної обмотки. Тоді їх виконують так, як показано на рис. 5.5, б.

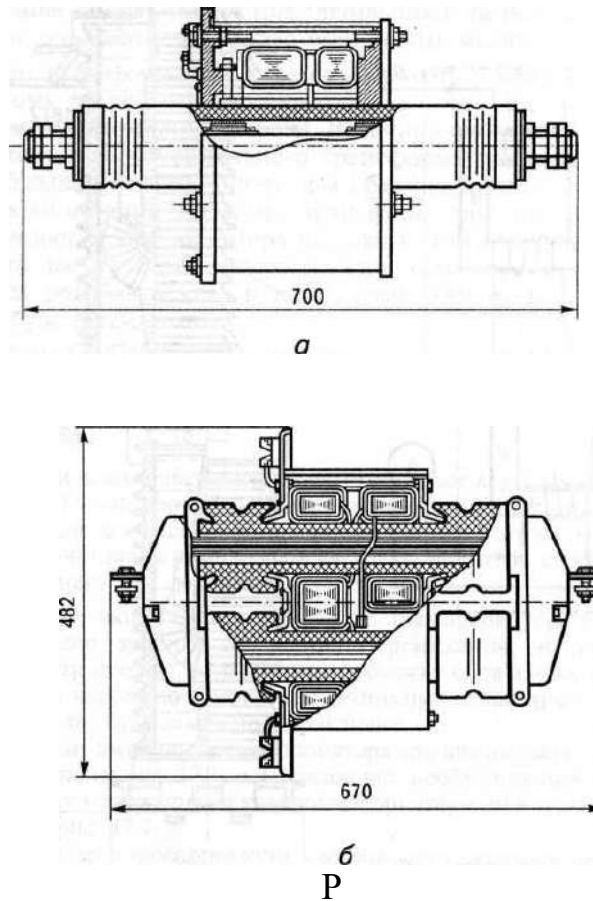


Рис.5.5. Прохідні вимірювальні трансформатори струму

Для роботи у мережах надвисоких напруг (200...500 кВ) виробляють дво- і кількакаскадні трансформатори струму. Будову і схему з'єднань одного з таких трансформаторів, розрахованого на експлуатацію в мережах напругою 220 кВ, показано на рис. 5.6.

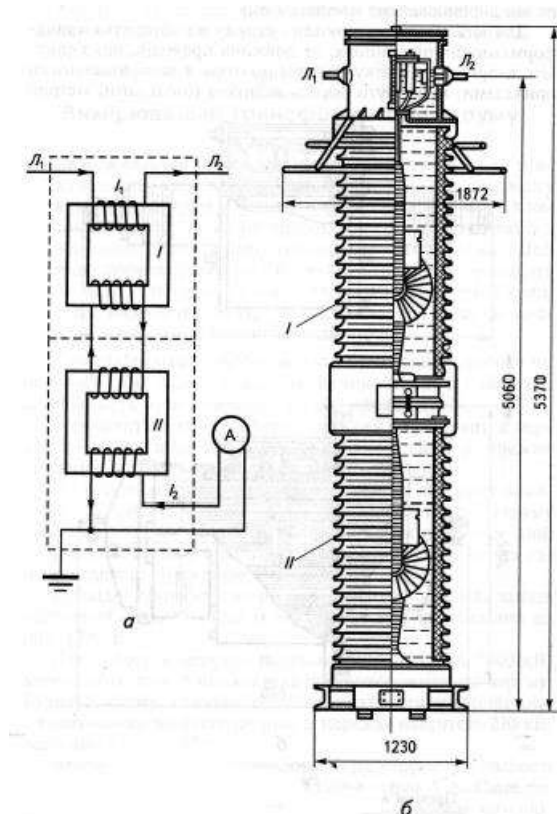


Рис. 5.6. Каскадний трансформатор струму: а – схема; б – будова

Вторинна обмотка трансформатора струму у більшості випадків розрахована на номінальний струм 5 А. Саме такий струм має проходити по струмових обмотках вимірювальних приладів, якщо у первинній обмотці трансформатора він дорівнюватиме номінальному.

Для виконання вимірювань струму на відкритих трансформаторних підстанціях, де довжина проводів, що з'єднують вторинну обмотку трансформатора з вимірювальними приладами, може бути досить великою (іноді сотні метрів) виготовляють трансформатори струму з номінальним струмом вторинної обмотки, який дорівнює 1 А. Це необхідно для того, щоб не виконувати з'єднання цих трансформаторів з приладами проводами значного перерізу.

Всі трансформатори струму розраховано на те, що їхні вторинні обмотки будуть замкнені на амперметри, чи струмові обмотки ватметрів, лічильників та інших приладів, що мають, як і амперметр, досить малий опір. Тобто трансформатори струму працюють у режимі, наближеному до режиму короткого замикання. Це і є нормальним режимом їхньої роботи. Величина опору, позначена на таблиці вимірювального трансформатора струму, – це найбільша величина опору всіх обмоток приладів, приєднаних до вторинної обмотки трансформатора, при якому клас точності трансформатора відповідає тому класові, що вказаний на тій самій таблиці. При більшому ж опорі з'явиться похибка, і клас точності трансформатора струму вже не буде гарантований.

Найбільш небезпечним і недопустимим режимом трансформатора струму є його робота при розімкнутій вторинній обмотці. При цьому збільшиться магнітний потік у магнітопроводі трансформатора, а на розімкнутих кінцях його вторинного кола з'явиться напруга у кілька сотень, а за несприятливих умов – і тисяч вольт, що являє собою небезпеку для людини.

Тому, якщо у вторинному колі трансформатора струму необхідно зробити які-небудь перемикання, наприклад замінити прилад, його вторинну обмотку обов'язково попередньо необхідно замкнути, а розімкнути лише після того, як прилад буде замінено і приєднано.

Схему вмикання трансформатора для вимірювань струму наведено на рис. 5.7, а. Порядок дій, необхідних при заміні приладу у вторинному колі трансформатора струму, показано на рис. 5.7, б.

Для того щоб уникнути небезпечного переходу високої напруги з первинної обмотки на вторинну в разі електричного пробоя ізоляції між обмотками, вторинну обмотку необхідно заземлити.

Для оперативних вимірювань струму у місцях, де немає ані трансформаторів струму, ані встановлених приладів (вимірювальних), найзручніше користуватись трансформаторними кліщами, які складаються з трансформатора струму з роз'ємним магнітопроводом, вимірювального приладу, приєднаного до вторинної обмотки цього трансформатора, механізму роз'єму магнітопровода та ізоляційної ручки.

Кліщі використовують при напрузі на струмопровідному проводі, що не перевищує 500...600 В. Але бувають кліщі з довгими ізольованими ручками, придатні для вимірювань струму й при напругах до 10 000 В.

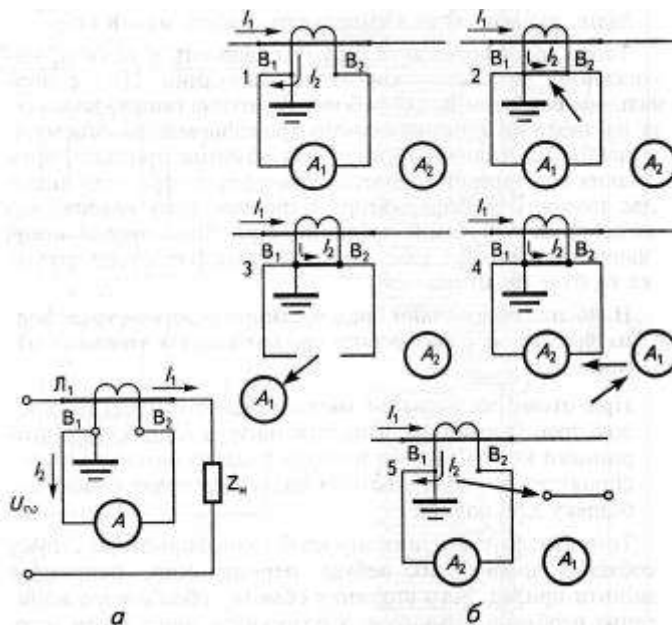


Рис. 5.7. Схема вмикання вимірювального трансформатора струму:
а – схема вмикання для вимірювань; б – порядок дій при заміні амперметра у вторинному колі трансформатора

Вимірювальні трансформатори напруги

Цей трансформатор зменшує величину напруги до безпечного рівня та ізолює електричну мережу, до якої приєднано первинну обмотку, від електричного кола, в яке ввімкнено вимірювальні прилади або їхні окремі кола (наприклад, кола напруги ватметрів, лічильників, фазометрів тощо).

У трансформаторах напруги і первинна, і вторинна обмотки мають значну кількість витків. У первинній кількість витків більша, ніж у вторинній, у стільки разів, у скільки разів напруга первинної обмотки більша за 100 В, бо номінальною напругою вторинної обмотки всіх трансформаторів напруги є саме 100 В. У багатьох таких трансформаторах вторинна обмотка має ще проміжний вивід, де напруга дорівнює $100/\sqrt{3}$ В.

Трансформатори напруги працюють у режимі, близькому до режиму холостого ходу, і величина опору, приєднаного до його вторинної обмотки, повинна бути не меншою за величину, при якій споживана від вторинної обмотки трансформатора потужність (при напрузі 100 В) не перевищує номінальної потужності трансформатора, позначеної на його табличці. Схему ввімкнення вимірювального трансформатора напруги з приладом для вимірювання напруги наведено на рис. 5.8.

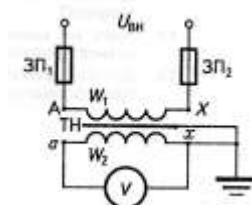


Рис. 5.8. Схема ввімкнення вимірювального трансформатора напруги

Запобіжники 3П1 і 3П2 для захисту трансформатора вкрай необхідні, бо в разі випадкового короткого замикання вторинної обмотки W_2 , якби не було запобіжників, обов'язково б перегрілися й вийшли з ладу обмотки

трансформатора, розраховані на дуже малий струм, споживаний цим трансформатором.

Для запобігання небезпечному переходові високої напруги з первинної обмотки на вторинну, в разі пошкодження ізоляції між ними, як і у трансформатора струму, вторинна обмотка трансформатора напруги потребує заземлення.

5.3. Методика вибору ТН і ТС

ВТС у вимірювальних колах використовують у трьох випадках:

- для зменшення струму у вимірювальному приладі, якщо вимірювальний струм більший, ніж межа вимірювання амперметра або іншого струмового приладу;
- для збільшення струму у вимірювальному приладі, якщо вимірювальний струм менший, ніж межа вимірювання амперметра або іншого струмового приладу;
- для захисту обслуговуючого персоналу і вимірювальних приладів при вимірюваннях у колах високої напруги, причому, у такому разі, номінальний коефіцієнт трансформації ВТС може дорівнювати одиниці.

Номінальні значення первинного струму ВТС вибирають зі стандартного ряду: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; ...60000 А.

Номінальні значення вторинного струму ВТС переважно дорівнює 5 А, а також для частоти 50 Гц допустимими є значення 1 А та 2 А.

Клас точності ВТС позначається одним числом с, яке вибирається зі стандартного ряду класу точності: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0.

ВТН у вимірювальних колах використовуються у разі, коли вимірювальна напруга більша, ніж межа вимірювання вольтметра або іншого вимірювального приладу.

Номінальні значення первинної напруги ВТН вибирають зі стандартного ряду: $U_{1Н} = 100; 127; 150; 220; 380; 500; 1000; 2000; 3000; \dots 750000$ В, а номінальні значення вторинної напруги $U_{2Н} = 100/3; 100/3; 100; 150; 200/3$ В; 200 В.

Клас точності ВТН позначається одним числом с, яке вибирається зі стандартного ряду класу точності: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 10.

Тема 6. Вимірювальні прилади зрівноваженого перетворення

6.1. Основи теорії та конструктивні особливості мостових схем.

Мостові схеми застосовуються для вимірювання параметрів електричних кіл, а також для вимірювання неелектричних величин сумісно з параметричними вимірювальними перетворювачами.

Мостовим називають електричне коло, в якому можна виділити два розгалуження опорів, значення між якими дорівнює нескінченності при відповідному співвідношенні параметрів елементів кола, і скінченному значенню, якщо це співвідношення не виконується.

Вимірювальні мости класифікують за такими ознаками:

- за родом струму, що живить мостове коло, виділяють мости постійного і змінного струму;
- за архітектурою побудови – чотири- і багатоплечі;
- за способом зрівноваження – автоматичні та з ручним зрівноваженням.

Міст Уїтстона. Загальна теорія мостових схем

Для з'ясування принципів побудови мостових схем найчастіше використовують міст Уїтстона, схема якого подана на рис.6.1.

Такий міст має чотири опори: Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 . Точки a, b, c, d називають вершинами моста. Електричне коло між двома суміжними вершинами називають плечем моста (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 – плечі моста). Електричне коло між двома протилежними вершинами називають діагоналлю моста (ac – діагональ живлення, bd – вимірювальна діагональ). В коло вимірювальної діагоналі вмикається індикатор рівноваги IP, внутрішній опір якого Z_5 .

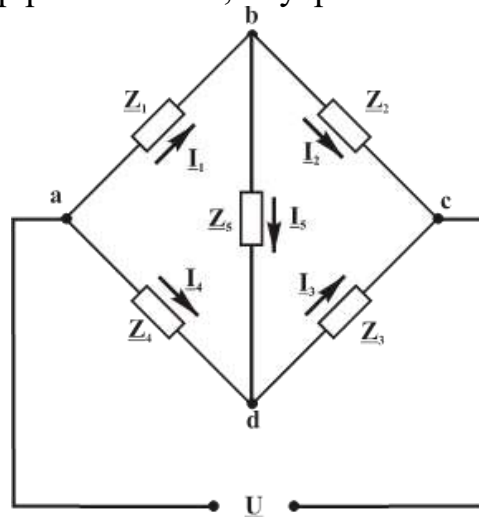


Рис. 6.1. Міст Уїтстона.

Виведемо умову рівноваги для моста Уїтстона. Міст вважається зрівноваженим, коли струм I_5 у вимірювальній діагоналі відсутній ($I_5=0$). Отже, у зрівноваженій схемі потенціали точок b і d однакові (точки b і d еквіпотенціальні). Однакові і спади напруг на першому і четвертому плечах, оскільки точка a є для них загальною:

$$I_1 \cdot Z_1 = I_4 \cdot Z_4.$$

Те саме справедливе і для напруг на другому і третьому плечах моста:

$$I_2 \cdot Z_2 = I_3 \cdot Z_3.$$

У зрівноваженому мостовому колі $I_5=0$, отже,

$$I_1 = I_2,$$

а

$$I_3 = I_4.$$

Розділимо почленно одержані вирази і одержимо умову рівноваги:

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4.$$

Звідси отримаємо умови рівноваги для мостів змінного струму. Записавши комплексні опори в показниковій формі, одержимо:

$$Z_1 e^{j\varphi_1} \cdot Z_3 e^{j\varphi_3} = Z_2 e^{j\varphi_2} \cdot Z_4 e^{j\varphi_4}.$$

Ця еквівалентно двом умовам рівноваги:

$$\left. \begin{aligned} Z_1 \cdot Z_3 &= Z_2 \cdot Z_4, & (a) \\ \varphi_1 + \varphi_3 &= \varphi_2 + \varphi_4, & (б) \end{aligned} \right\}.$$

Рівняння показують, що умова рівноваги моста змінного струму складається завжди із двох частин – (а) та (б). Тому для зрівноваження моста він повинен мати два регульованих елемента, які дозволяють змінювати модуль та аргумент комплексного числа.

Зрівноваження моста змінного струму здійснюється почерговим регулюванням двох елементів. Число регулювань, необхідних для досягнення рівноваги моста, визначає так звану “збіжність” моста. Кількісно “збіжність” моста не оцінюється, оцінюється “збіжність” тільки якісно: хороша (швидка) “збіжність” чи погана “збіжність”.

На постійному струмі опори мостової схеми є чисто активними:

$$Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2, \quad Z_3 = R_3, \quad Z_4 = R_4.$$

Тому мостова схема на постійному струмі буде зрівноваженою, коли виконується умова рівноваги

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4.$$

Порівнявши умови рівноваги, можна дійти висновку, що для зрівноваження мостів на змінному струмі необхідно досягти дві умови рівноваги, а на постійному тільки одну. В цьому і є основна особливість зрівноваження мостів постійного і змінного струму.

6.2. Одинарні та подвійні мости постійного струму

Мости постійного струму застосовуються для вимірювання активних опорів і для вимірювання неелектричних величин сумісно з резистивними параметричними вимірювальними перетворювачами.

З мостів постійного струму практичне розповсюдження одержали чотириплечий (одинарний) та шестиплечий (подвійний) мости.

Одинарний (чотириплечий) міст постійного струму

Схема моста наведена на рис.6.2. Міст живиться від джерела постійного струму (в діагоналі живлення знаходиться джерело живлення з е.р.с. E та внутрішнім опором R_0). У вимірювальній діагоналі ввімкнено індикатор рівноваги (ІР).

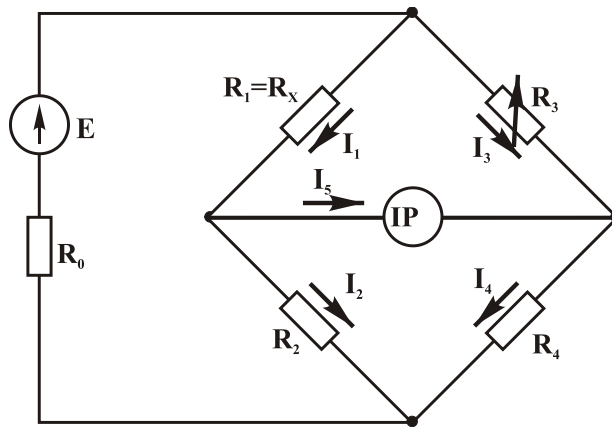


Рис. 6.2. Одинарний міст постійного струму

Запишемо умову рівноваги для одинарного моста:

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3.$$

Процес вимірювання за допомогою одинарного моста полягає в тому, що в одне з плечей (наприклад, R_1) вмикають вимірюваний опір R_x . Тоді на основі наведених викладок запишемо умову рівноваги:

$$R_x \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3.$$

Звідси

$$R_x = R_3 \cdot \frac{R_2}{R_4},$$

де R_2 , R_4 – плечі відношення, R_3 – плече порівняння.

Значення опору R_x порівнюється із значенням опору R_3 в масштабі R_2/R_4 . Тому міст приводиться в рівновагу регулюванням опору R_3 , а R_2/R_4 – масштабний множник, значення якого вибирається рівним 10^n , де n – ціле додатне або від’ємне число, або $n=0$. R_3 називають плечем зрівноваження, R_2 та R_4 – плечі відношення (з їх допомогою вибирається межа вимірювання моста).

Вимірюваний опір приєднується до затискачів моста за допомогою провідників. Крім того, є опір ізоляції між затискачами моста. З урахуванням цього схема моста може бути представлена у вигляді, зображеному на рис.6.3. $U_{\text{ж}}$ – напруга живлення моста, $R_{\text{п1}}$ та $R_{\text{п2}}$ – опори підвідних проводів та контактів, $R_{\text{і3}}$ – опір ізоляції. Можна прийняти $R_{\text{п1}} = R_{\text{п2}} = R_{\text{п}}$. Якщо проводи виготовлені із міді, мають переріз $\geq 1 \text{ мм}^2$ та невелику довжину, то сумарний опір $2R_{\text{п}} \leq 0,01 \text{ Ом}$.

При вимірюванні низькоомних опорів $R_{\text{і3}}$ можна не враховувати. В цьому випадку сумарний опір плеча а–с

$$R_1 = R_x + 2R_{\text{п}} = R_x(1 + \delta_1),$$

де $\delta_1 = 2R_{\text{п}}/R_x$ – відносна похибка вимірювання опору R_x , обумовлена проводами та контактами. Щоб похибка δ_1 була меншою 0,1%, тобто $\delta_1 = 2R_{\text{п}}/R_x \leq 10^{-3}$, R_x повинно бути не менше $2R_{\text{п}} \cdot 10^3 = 0,01 \cdot 10^3 = 10 \text{ Ом}$. Отже, $R_{\text{хн}} = 10 \text{ Ом}$ – нижня межа вимірюваних опорів за цих умов. Виходячи з того, що $R_{\text{і3}} = 10^{11} \text{--} 10^{16} \text{ Ом}$, розмірковуючи аналогічно, одержуємо при $R_{\text{і3}} = 10^{11} \text{ Ом}$ верхню межу $R_{\text{хв}} \leq 10^8 \text{ Ом}$.

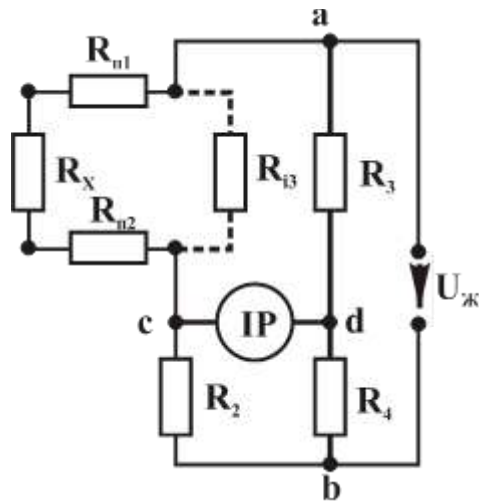


Рис. 6.3. Схема вимірювання одинарним мостом

Нижню межу можна значно знизити, якщо застосовувати чотирьохполюсне приєднання вимірюваних опорів (рис.6.4).

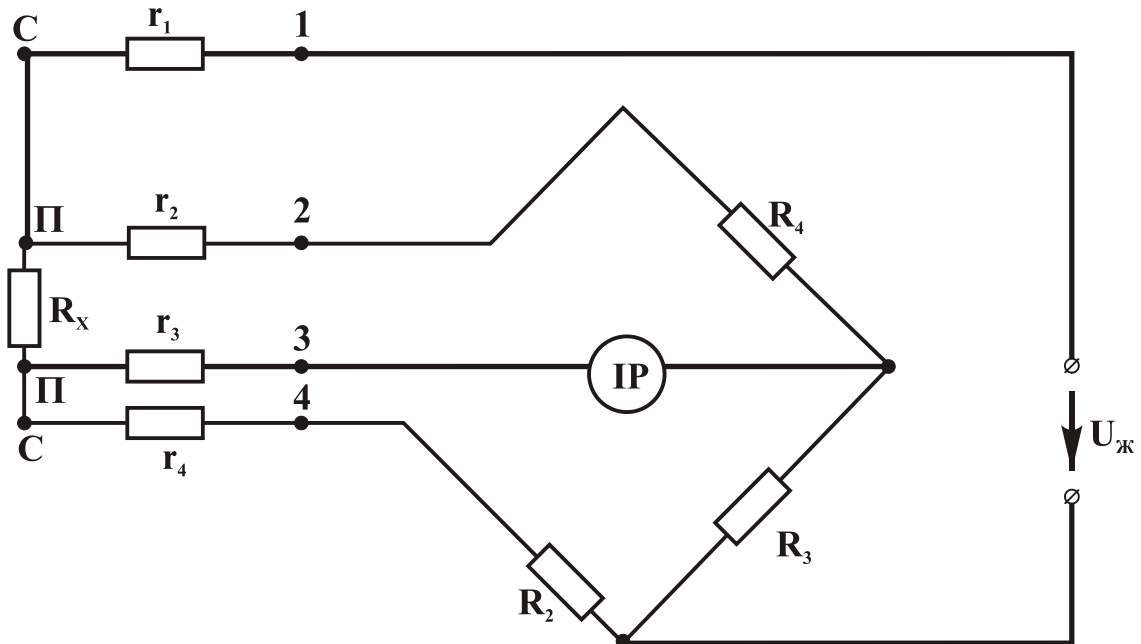


Рис. 6.4. Схема вимірювань малих опорів

Вимірюваний опір має чотири затискачі: С–С – струмові затискачі, які мають велику площу контактів, П–П – потенціальні затискачі, r_1 , r_2 , r_3 та r_4 – опори підвідних проводів. Опори r_1 та r_3 знаходяться в діагоналях моста, в умову рівноваги вони не входять, отже, похибку в результаті вимірювання не вносять. Дещо вони впливають на чутливість моста, але дуже мало. Опори r_2 та r_4 вмикаються послідовно з R_3 та R_2 , і якщо R_3 та R_2 більші 10 Ом, то похибка від впливу r_2 та r_4 буде малою.

При чотирьохполюсному (чотирьохпроводному) підключенні вимірюваних опорів нижня границя моста знижується до 10^{-4} Ом.

В мостах передбачаються перемички (або перемикачі), за допомогою яких можна здійснювати дво- або чотирьохполюсне приєднання вимірюваних опорів.

Подвійний (шестиплечий) міст постійного струму

При вимірюванні дуже малих опорів чотирিপлечим мостом навіть при чотирипровідному підключенні вимірюваного опору допускаються методичні похибки. В цих випадках застосовуються подвійні мости, нижня межа вимірювання яких 10^{-8} Ом, а верхня – 100 Ом.

Схема подвійного моста наведена на рис.6.5

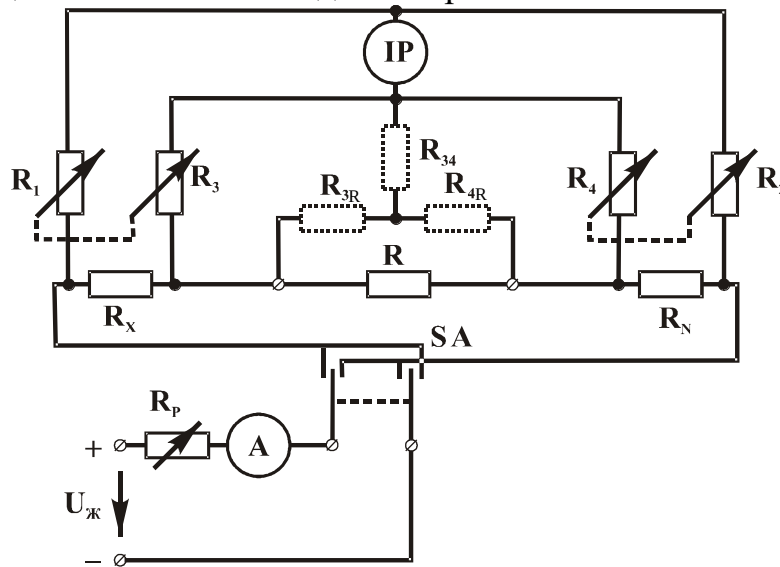


Рис. 6.5. Схема подвійного моста

Вимірюваний опір R_x та зразковий R_N мають по чотири затискачі. R – опір короткого та товстого провідника, який з'єднує R_x та R_N . Він включає в себе опори перехідних контактів. Значення цього опору дуже мале.

Для одержання рівняння рівноваги перетворимо трикутник опорів R_3 - R - R_4 в еквівалентну зірку:

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4 + R}, R_{3R} = \frac{R_3 R}{R_3 + R_4 + R}, R_{4R} = \frac{R R_4}{R_3 + R_4 + R}.$$

Після цього отримуємо чотирিপлечий міст, умова рівноваги для якого має вигляд:

$$(R_x + R_{3R}) \cdot R_2 = R_1 \cdot (R_{4R} + R_N),$$

$$R_x \cdot R_2 = R_1 \cdot R_{4R} + R_1 \cdot R_N - R_2 \cdot R_{3R}.$$

Підставимо формули для опорів еквівалентної зірки:

$$R_x \cdot R_2 = \frac{R_1 \cdot R_4 \cdot R}{R_3 + R_4 + R} + R_1 \cdot R_N - \frac{R_2 \cdot R_3 \cdot R}{R_3 + R_4 + R},$$

звідки

$$R_x = R_N \cdot \frac{R_1}{R_2} + \frac{R}{R_3 + R_4 + R} \left(\frac{R_1 \cdot R_4}{R_2} - R_3 \right).$$

Як видно, R_x залежить від R , який входить у другу складову і має дуже мале значення опору. Другу складову можна виключити (зробити її рівною нулю), якщо виконати умову: $(R_1 \cdot R_4 / R_2) - R_3 = 0$. Але точно витримати цю умову на практиці не вдається через неточності виготовлення резисторів R_1 , R_2 , R_3 , R_4 . Для того, щоб друга складова була якомога меншою, потрібно, щоб опір R був як

можна меншим. Тоді можна прийняти другу складову в рівнянні рівною нулю і вважати що

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_N.$$

Для того, щоб $(R_1 \cdot R_4 / R_2) - R_3 = 0$, намагаються забезпечити рівності $R_1 = R_4$ та $R_2 = R_3$. Для цього R_1 та R_3 , а також R_2 та R_4 змінюють одночасно за допомогою однієї регулювальної ручки.

Як уже відмічалось, подвійний міст застосовується для вимірювання малих опорів. Але при малих R_x та R_N і спади напруг на них малі (≤ 1 мВ), тому потрібно враховувати дію термо-е.р.с., які виникають в потенціальних контактах R_x та R_N . Для зменшення похибки від термо-е.р.с. виконують два вимірювання при двох напрямках струму, які встановлюють за допомогою перемикача SA. Результат вимірювання R_x визначають як середнє арифметичне двох вимірювань.

Промисловість випускає комбіновані мости, в яких за допомогою простих перемикачів можна одержати одинарний та подвійний мости.

6.3. Компенсатори.

Робота компенсаційних (транзисторних) стабілізаторів напруги базується на порівнянні вихідної напруги стабілізатора з еталонною. Якщо вони не рівні між собою, то різниця цих напруг підсилюється й подається на регулювальний елемент, який відновлює вихідну напругу до стабілізованої величини. Такі стабілізатори дозволяють розширити діапазон стабілізованих напруг та забезпечити якість стабілізації порівняно з параметричними стабілізаторами.

За способом вмикання регулювального елемента відносно навантаження, компенсаційні стабілізатори поділяють на послідовного та паралельного типів.

На рис. 6.6 зображено компенсаційний стабілізатор послідовного типу.

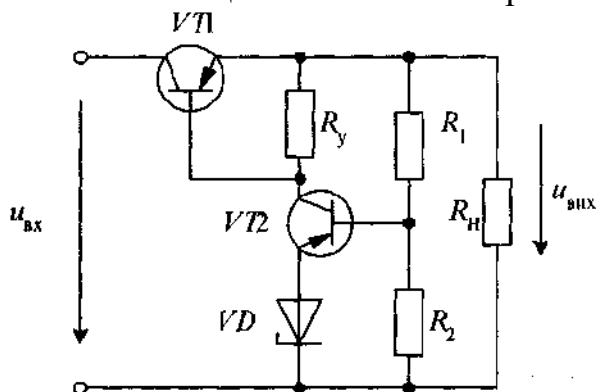


Рис. 6.6. Схема компенсаційного стабілізатора напруги

Транзистор VT1 виконує функцію регулювального елемента, а транзистор VT2 — функцію підсилювального елемента. Еталонна напруга задається з допомогою стабілітрона VD. Вона порівнюється з напругою на резисторі R_2 , яка пропорційна вихідній напрузі стабілізатора, тому що цей резистор є плечем дільника напруги R_1, R_2 . Різниця цих напруг підсилюється транзистором VT2 і виділяється на резисторі R_y . Напруга на цьому резисторі є входною напругою регулювального елемента VT1 і тому зумовлює зміну напруги емітер-колектор VT1, завдяки чому забезпечується стабілізація вихідної напруги.

Тема 7. Цифрові електровимірювальні прилади

7.1. Основні ознаки цифрових вимірювальних приладів

Цифрові засоби вимірювальної техніки виникли через потреби практики в підвищенні точності, швидкодії і чутливості ЗВТ. Цифрові засоби охоплюють всі вимірювані в промисловості та наукових дослідженнях фізичні величини. В цифрових приладах з метою уніфікації елементної бази та забезпечення зручності в користуванні фізичним носієм вимірювальної інформації застосовані електричні сигнали, а саме, напруга постійного струму. Такі сигнали мають незаперечні переваги над рештою сигналів, а саме: універсальність, дистанційність, наявність добре розроблених методів та засобів опрацювання, можливість реєстрації швидкоплинних процесів, простота узгодження із засобами цифрової обчислювальної техніки. З погляду функціонального призначення цифрові засоби вимірювальної техніки поділяють на аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП), цифрові вимірювальні прилади та цифрові вимірювальні системи.

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) – це вимірювальний перетворювач, який призначений для автоматичного перетворення неперервної вимірюваної величини аналогового сигналу в пропорційну їй дискретну величину, яка зображена цифровим кодом.

Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) – це вимірювальний перетворювач, який призначений для перетворення цифрового коду в аналогову величину.

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

Цифровими вимірювальними системами (ЦВС) є сукупність вимірювальних каналів, вимірювальних пристроїв та інших технічних засобів, об'єднаних для створення та аналізу сигналів цифрової вимірювальної інформації про декілька одно- чи різнорідних вимірюваних величин та інших видів інформації.

7.2. Принципи побудови цифрових електровимірювальних приладів.

На рис. 6.1 наведена узагальнена структурна схема ЦВП.

Основними функціональними вузлами ЦВП є: вхідний аналоговий перетворювач (ВАП), аналого-цифровий перетворювач (АЦП), обчислювальний пристрій (ОП), цифровий відліковий пристрій (ЦВП) і пристрій управління (УП).

Вимірювана величина $x(t)$ спочатку перетворюється за допомогою ВАП в іншу величину $x'(t)$, зручну для подальшого аналого-цифрового перетворення. Наприклад, ВАП перетворює напругу або силу змінного струму в напругу постійного струму, електричний опір в напругу постійного струму, виконує масштабне перетворення вхідного сигналу тощо. Аналого-цифровий перетворювач перетворює величину $x'(t)$, у відповідний їй цифровий код N_x , який або надходить безпосередньо на цифровий відліковий пристрій ЦВП, або піддається додатковому опрацюванню в обчислювальному пристрої (ОП). Зокрема, ОП може усереднювати результати декількох вимірювань для

зменшення випадкової похибки, визначення параметрів сигналів, наприклад, частоти на основі інформації про період та інші сервісні функції. Цифровий відліковий пристрій містить дешифратор для перетворення вихідного цифрового коду АЦП або ОП в десятковий цифровий код і табло індикації результату вимірювання. Вихідний цифровий код АЦП або ОП може надійти також на цифровий реєструвальний пристрій або на вхід ЕОМ і використовуватись у системах керування об'єктами.

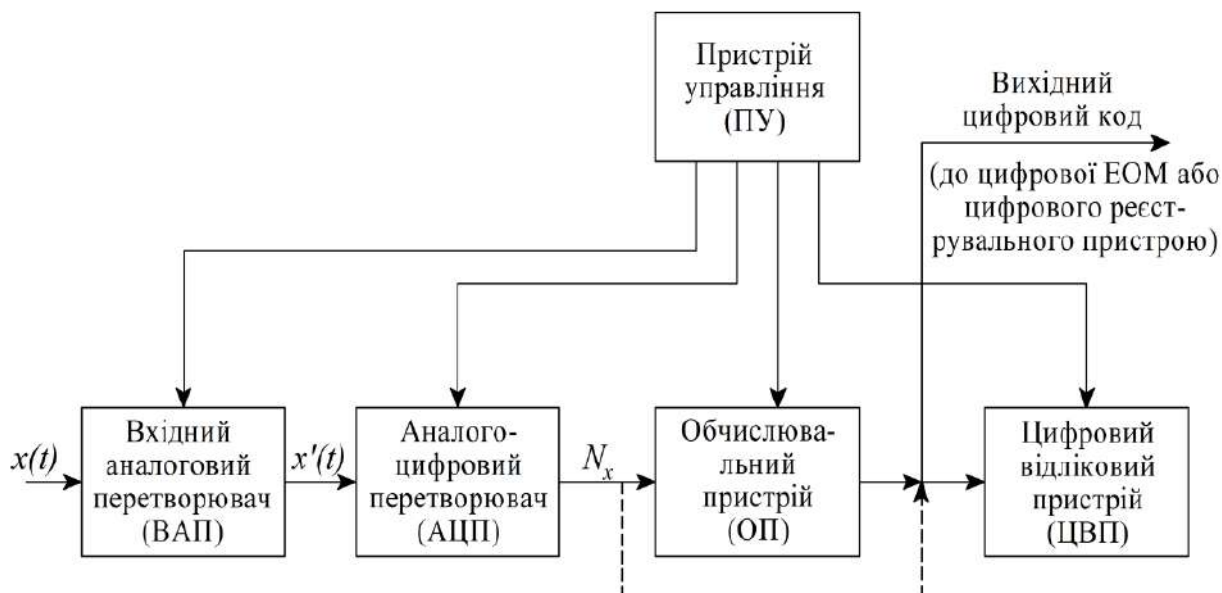


Рис. 7.1. Узагальнена структурна схема ЦВП

Роботою всіх вузлів ЦВП керує пристрій управління ПУ.

Границя допустимої відносної похибки ЦВП визначається за формулою

$$\delta_{cp} = \left[c + d \left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right] \cdot 100\%$$

де c/d – коефіцієнти, якими визначається клас точності ЦВП;

x_k, x – границя вимірювання та показ ЦВП відповідно.

Важливою характеристикою ЦВП є їх швидкодія – це кількість вимірювань (для АЦП – перетворень) за одну секунду або час одного вимірювання (перетворення). Швидкодія ЦВП визначається здатністю оператора відраховувати покази, що змінюються. Враховуючи інерційність людського зору, недоцільно створювати ЦВП із швидкодією більш, ніж 10^{-12} вимірювань за секунду.

Основними перевагами ЦВП є:

- висока швидкодія (до сотень мільйонів вимірювань в секунду), через що об'єктивно необхідно використовувати засоби обчислювальної техніки для опрацювання результатів вимірювань;
- висока точність, яка може наближатись до точності робочих еталонів одиниць фізичних величин;
- відсутність суб'єктивних складових похибки відліку, наявність яких лімітує максимально можливу точність аналогових приладів;
- наявність сигналу є зручним для його опрацювання, запам'ятовування, реєстрації і передавання на великі відстані без похибок та з коригуванням збоїв;
- можливість зменшення складових похибки вимірювального кола;

- можливість забезпечення високої завадостійкості перетворення аналого-код за допомогою цифрової фільтрації результатів перетворень;
- можливість визначення статистичних параметрів вимірюваних процесів на основі програмної реалізації відомих теоретичних математичних залежностей.

Недоліками ЦВП є складність, порівняно висока вартість і менша, ніж в аналогових приладах, надійність, а також певні незручності для оператора у порівнянні заданого показу з границями вимірювання. Слід відзначити, що аналогову інформацію оператор оцінює миттєво, а цифрову – необхідно запам'ятовувати та зіставляти з границями вимірювання.

7.3. Цифрові вольтметри

Цифрові вольтметри, залежно від принципу перетворення вимірюваної напруги, поділяють на вольтметри прямого перетворення і вольтметри врівноважувального перетворення.

У вольтметрів прямого перетворення величина вимірюваної напруги перетворюється на відрізок часу. Величина цього відрізка визначається цифровим лічильником, який підраховує кількість короткочасних імпульсів незмінної й точно визначеної частоти, які його заповнюють.

Структурно-функціональну схему такого вольтметра зображено на рис.7.2, а, де U_x – вимірювана напруга; ВП – вхідний пристрій; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; Л – лічильник; ДШ – дешифратор; ПІ – пристрій індикації.

Вхідний пристрій призначено для визначення знаку вимірюваної напруги і доцільного діапазону вимірювання, що автоматично встановлюється в цьому ж пристрої, а також для встановлення положення коми на цифровому табло пристрою індикації ПІ. Аналого-цифровий перетворювач АЦП призначено для перетворення величини напруги, що вимірюється (чи пропорційної їй), на послідовність імпульсів точно визначеної і незмінної частоти з кількістю імпульсів, визначеною величиною вимірюваної напруги (майже завжди пропорційної їй). Лічильник Л призначено для підрахунку кількості цих імпульсів і вираження цієї кількості у десятковій системі, для передачі одержаного числа на дешифратор ДШ і, якщо потрібно, на ЕОМ, яку можна приєднати до цього вольтметра. Дешифратор ДШ перетворює число, одержане з лічильника, у код, прийнятний для показу цього числа (величини вимірюваної напруги) на пристрої індикації ПІ.

Перетворення величини вимірюваної напруги на кількість імпульсів у АЦП виконується завдяки наявності в ньому генератора лінійно-змінюваної напруги.

Принцип перетворення постійної напруги певної величини у певну кількість імпульсів суворо визначеної частоти можна пояснити, розглядаючи епюри напруг, які діють у цифроаналоговому перетворювачі. Ці епюри показано на рис. 7.2, б.

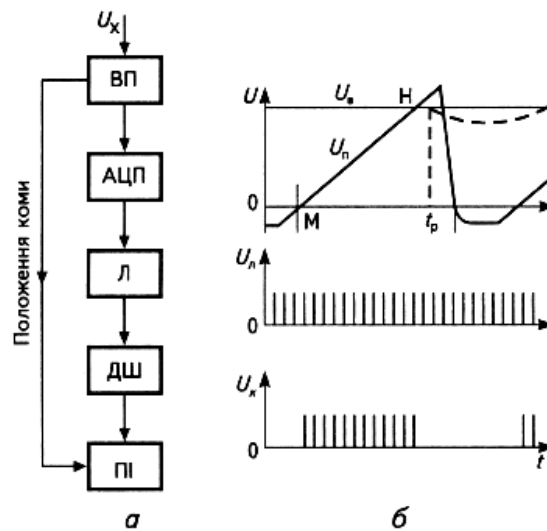


Рис. 7.2. Структурно-функціональна схема цифрового вольтметра прямого перетворення: а – схема; б – епюри напруг

В АЦП є генератор лінійно-змінної напруги, що весь час, поки цифровий вольтметр увімкнений в мережу живлення, генерує змінну напругу пилкоподібної форми U_n з ділянками М – Н, де зміна напруги має проходити з однаковою швидкістю (збільшуватись). Інший генератор, що також працює весь час, поки вольтметр увімкнено в мережу, генерує короткі лічильні імпульси напруги U_l незмінної частоти. При цьому частота генерування цих імпульсів у кілька сотень разів більша за частоту пилкоподібної напруги U_n .

АЦП також має схему порівняння вимірюваної напруги U_v з пилкоподібною напругою U_n . Ця схема виробляє короткі імпульси керування ключем, через який лічильні імпульси U_l передаються до лічильника Л у той час, коли цей ключ відімкнено.

Перший керуючий імпульс формується в момент переходу пилкоподібної напруги через нуль, тобто у момент зміни знака напругою U_n (точка М). Цей імпульс відмикає ключ. Другий керуючий імпульс U_z з'являється в той момент, коли величина пилкоподібної напруги U_n зрівняється з величиною вимірюваної напруги U_v (точка Н). Цей імпульс U_z замикає ключ, чим припиняє проходження лічильних імпульсів до лічильника Л. Незавжди зрозуміти, що час, протягом якого ключ було відімкнено (а цей час визначається кількістю лічильних імпульсів, що пройшли через ключ), визначатиме величину напруги у момент t_p .

На жаль, якщо в проміжку часу між керуючими імпульсами напруга дещо змінить свою величину (як показано штриховою лінією на рис. 7.2, б), то вольтметр не покаже цієї зміни.

Лічильник Л підраховує кількість прийнятих ним імпульсів і перетворює їх на число, яке передає у дешифратор ДШ, що перетворює це число на десятковий код, щоб висвітлити величину вимірюваної напруги на табло пристрою індикації ПІ.

Водночас відомості про підраховану лічильником кількість імпульсів можуть бути передані до ЕОМ для подальшого опрацювання, запам'ятовування та реєстрації.

Прилади, подібні до тих, що ми розглянули, є найпростішими порівняно з іншими цифровими вольтметрами, але мають обмежену точність. В усякому випадку їхній клас точності не буває вищим за 0,1 чи 0,05.

Похибки вимірювань вольтметра, який розглядався, спричинюються такими факторами:

- відхиленням частоти лічильних імпульсів від свого номінального значення;
- деякою нелінійністю пилкоподібної напруги;
- наявністю зони нечутливості схеми порівняння напруг.

Ще однією складовою похибок цього вольтметра, як практично і всіх цифрових приладів, є дискретизація вимірювань, тобто виконання вимірювань на основі підрахунку кількості короточасних лічильних імпульсів, що пройшли через ключ протягом відрізка часу, пропорційного величині вимірюваної напруги. Але залежно від того, у який момент часу буде відкрито ключ, що пропускає лічильні імпульси в лічильник, кількість цих підрахованих імпульсів може бути різною для одного й того ж самого відрізка часу. Це пояснюється епюрами, наведеними на рис. 7.3. За відрізок часу, що відповідає десяти інтервалам між лічильними імпульсами, якщо початок і кінець вимірюваного відрізка часу T_1 збігаються з лічильними імпульсами, до лічильника через ключ, відкритий на час T_1 надійде десять лічильних імпульсів, які і будуть підраховані ним (рис. 7.3, а). Якщо початок і кінець такого самого відрізка часу T_1 не збігаються з лічильними імпульсами (це показано на рис. 7.3, б), то за той самий час T_1 через ключ до лічильника надійде всього дев'ять лічильних імпульсів, які так само будуть ним підраховані. Тобто одному і тому самому значенню часу T_1 а значить і напруги U_1 якій відповідає цей час, можуть відповідати два, відмінні за числом, покази вольтметра. Мабуть, менше число тут буде неточним, бо відрізок часу T_1 дійсно складається з десяти проміжків часу, що є між лічильними імпульсами.

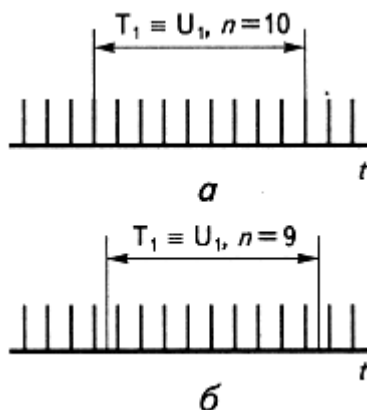


Рис. 7.3. Епюри напруг, що показують причину виникнення похибки від дискретності вимірів

Збільшуючи частоту лічильних імпульсів або ж накопичуючи кількість підрахованих імпульсів (за 8...16 циклів) вимірювань та усереднюючи їх результат, зменшують величину такої похибки. Хоча при цьому вірогідність похибки, хоч і меншої, все ж лишається.

Крім цифрового вольтметра прямого перетворення, що розглядався, є ще складніші за схемою та будовою цифрові вольтметри врівноважувального перетворення і вольтметри слідкуючого врівноважування, у яких вимірювана напруга постійного струму врівноважується напругою, створеною автоматично керованою потенціометричною схемою. Такі вольтметри можуть допускати

похибку в межах 0,001 % від верхньої границі вимірювання, але вони трудомісткі у виготовленні та дорого коштують.

Для вимірювання величини змінної напруги користуються цифровими вольтметрами, що мають у своїй схемі додатковий перетворювач змінної напруги на пропорційну їй постійну, вимірювану цифровими схемами, які використовуються при вимірюваннях напруг постійного струму.

На жаль, перетворювачі змінної напруги в напругу постійного струму мають обмежену точність перетворення, й тому точність цифрових вольтметрів змінного струму буде меншою, ніж у цифрових вольтметрів постійного струму.

В цілому цифрові вольтметри протягом останніх десятиріч набули значного розповсюдження, особливо в галузі наукових досліджень, хоча в умовах енергетичних підприємств все ж таки переважно користуються електромеханічними приладами, як більш надійними та дешевшими.

7.4. Електронні осцилографи

Електронний осцилограф є універсальним приладом, який призначається для спостереження, дослідження й фотографування форми електричних сигналів з екрана електронно-променевої трубки (ЕПТ). Окрім якісної оцінки досліджуваних процесів, осцилографи дозволяють вимірювати ряд величин: напругу, інтервал часу, частоту, фазовий зсув, коефіцієнт амплітудної модуляції та ін. Широке розповсюдження електронних осцилографів обумовлено великим вхідним опором, безінерційністю до дуже високих частот, високою чутливістю та широкими межами значень вимірюваних параметрів.

Розрізняють три види аналогових осцилографів:

- до виду С1 належать найбільш розповсюджені осцилографи реального часу, тобто осцилографи, в яких зображення сигналу на екрані ЕПТ виникає одночасно з дією сигналу на вході. Більшість з них низькочастотні зі смугою пропускання до 10...35 МГц. Ряд осцилографів, наприклад С1-120 та С1-121, мають смугу пропускання 0...100 МГц. Найбільш швидкодіючий осцилограф С1-75 дозволяє проводити дослідження одного або двох сигналів у діапазоні частот до 250 МГц;

- швидкісні та стробоскопічні осцилографи належать до виду С7. Перші з них зі смугою пропускання 0...5 ГГц призначаються для дослідження в реальному часі періодичних СВЧ коливань та імпульсних сигналів наносекундної тривалості. Стробоскопічні осцилографи мають властивість досліджувати сигнали наносекундної тривалості завдяки застосуванню стробоскопічного методу трансформації масштабу часу. Цим осцилографам притаманні висока чутливість (мілівольти) та широка смуга пропускання (до 10 ГГц і вище);

- до виду С8 належать запам'ятовуючі осцилографи, які здатні зберігати і відтворювати довгий час зображення сигналу на екрані ЕПТ після його зникнення на вході осцилографа. Ці осцилографи призначаються для дослідження поодиноких імпульсів та сигналів, що змінюються дуже повільно.

Структурні схеми електронно-променевих осцилографів (ЕПО) реального часу досить різноманітні. Проте всі вони мають однакові за призначенням функціональні блоки, до числа яких належать ЕПТ, канал вертикального

відхилення променя (канал Y), канал горизонтального відхилення променя (канал X), канал керування яскравістю (канал Z), калібратор та блок живлення.

Блок ЕПТ складається з ЕПТ та схеми керування електронним променем (рис.7.4). ЕПТ являє собою скляну колбу, в якій розміщена так звана електронна гармата, створена групою електродів: катодом 2 з ниткою розжарювання 1, анодами 4 і 5, модулятором 3 (керуючим електродом). Живлення електронної гармати здійснюється від джерела високої напруги 1...3 кВ. Емісія електронів відбувається з торцевої поверхні катода, в центральній частині якого нанесений оксидний шар.

Модулятор виконується у вигляді металевого циліндра з невеликим отвором у центрі основи і розміщується навколо катода. На модулятор подається від'ємна відносно катода напруга (кілька десятків вольт), під дією якої електрони концентруються поблизу осі трубки, тобто модулятор здійснює первинне фокусування потоку електронів. Частина електронів, перемагаючи протидію з боку модулятора, проскакує через центральний отвір і потрапляє в прискорювальне поле анодів 4 і 5. Змінюючи потенціометром R2 (ЯСКРАВІСТЬ) потенціал модулятора, можна регулювати кількість електронів, що створюють електронний промінь, а отже, і викликають яскравість світіння зображення сигналу на екрані ЕПТ.

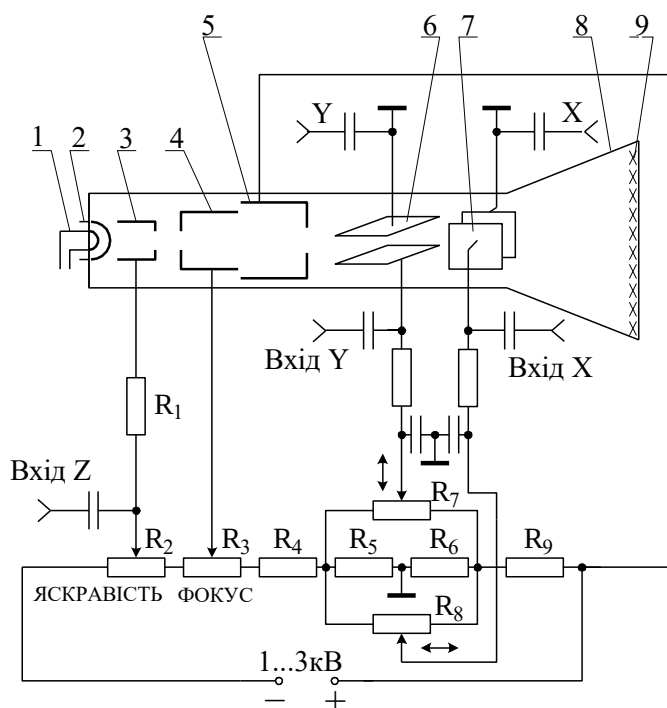


Рис.7.4. Схема блока ЕПТ.

У багатьох осцилографах передбачається можливість подачі на модулятор (Вхід Z) напруги від зовнішнього джерела. За допомогою двох анодів, на які подаються додатні відносно катода напруги, здійснюється розгін і фокусування пучка електронів. Екран ЕПТ створюється тонким шаром люмінофору 9 – речовини, здатної світитися під ударами електронів, яка наноситься на внутрішню поверхню торцевої частини скляної колби. Електрони променя, бомбардуючи екран, вибивають з нього вторинні електрони, від яких виникає небезпека накопичення на екрані негативних зарядів. Для відведення вторинних електронів на внутрішню поверхню трубки наносять провідний шар графіту, так

званий аквадаг 8, який електрично з'єднується з анодом 5. Графітове покриття, крім того, екранує електронний промінь від електричних і магнітних полів, існуючих по за трубкою.

Відхиляюча система ЕПТ складається з двох пар пластин 6, 7, які розміщуються у взаємно перпендикулярних площинах. При подачі на будь-яку пару пластин напруги електронний промінь відхиляється у бік позитивно зарядженої пластини. Тому, змінюючи за допомогою потенціометрів R7 ($\updownarrow$) і R8 ($\leftrightarrow$) постійні напруги, які подаються на вертикально та горизонтально відхиляючі пластини, можна переміщувати світлову пляму в будь-яку точку екрана.

Зміщенням електронного променя по вертикалі на величину y від початкового положення під дією постійної напруги U_y , яка прикладається до вертикально відхильних пластин, визначають чутливість ЕПТ до відхилення по вертикалі (мм/В): $h_y = y / U_y$.

Аналогічно чутливість трубки по горизонталі (мм/В) визначається відхиленням x від початкового положення під дією напруги U_x , яка прикладається до горизонтально відхильних пластин: $h_x = x / U_x$.

Чутливість ЕПТ, що використовуються в універсальних осцилографах, складає 0,2...0,5 мм/В. Тому СКЗ напруги, яка подається на пластини, повинна бути не менше ніж 100...250 В, щоб викликати переміщення плями на екрані на 50 мм.

Канал вертикального відхилення (канал Y) призначається для підсилення або ослаблення досліджуваного сигналу, затримки його на якийсь час та перетворення в симетричну напругу. Канал Y включає в себе вхідний атенюатор, широкосмуговий підсилювач ШП, лінію затримки і підсилювач вертикального відхилення ПВВ, вихід якого під'єднується до пластин Y ЕПТ.

Досліджуваний сигнал $u_x(t)$ через Вхід Y подається на атенюатор або безпосередньо (відкритий вхід), або через розділювальний конденсатор С (закритий вхід). Якщо вхід відкритий, то в канал вертикального відхилення проходять як змінна, так і постійна складові сигналу. В протилежному разі через конденсатор С проходить тільки змінна складова сигналу. Вихідний сигнал атенюатора підсилюється широкосмуговим підсилювачем ШП і подається, по-перше, через лінію затримки і підсилювач вертикального відхилення ПВВ на вертикально відхильні пластини ЕПТ, і по-друге, – в канал горизонтального відхилення променя для синхронізації генератора розгортки.

Канал горизонтального відхилення (канал X) складається зі схем синхронізації та запуску, генератора розгортки і підсилювача горизонтального відхилення ПГВ.

Генератор розгортки виробляє напругу пилкоподібної форми, яка після підсилення подається на горизонтально відхильні пластини X ЕПТ. За час прямого ходу розгортки напруга генератора зростає лінійно і електронний промінь з постійною швидкістю рухається по горизонталі на екрані ЕПТ. За час зворотного ходу напруга генератора змінюється від максимального до мінімального значення, і промінь дуже швидко перекидається до протилежного боку екрана ЕПТ. Після деякого часу блокування починається наступний такт прямого ходу розгортки. При необхідності генератор розгортки може бути

відімкнутий і через Вхід Х на горизонтально відхильні пластини ЕПТ може бути подана розгортальна напруга від зовнішнього джерела.

При наявності лінійної розгортки горизонтальна вісь екрана ЕПТ є віссю часу, а вертикальна вісь – віссю напруги. Задача вимірювання інтервалу часу t_x або амплітуди $U_{x \max}$ сигналу зводиться до вимірювання лінійного розміру в якійсь частині осцилограми (по горизонталі $l_{\text{гор}}$ або вертикалі $l_{\text{верт}}$) та помноженню його на коефіцієнт розгортки k_p або коефіцієнт відхилення k_v :

$$t_x = k_p l_{\text{гор}}; \quad U_{x \max} = k_v l_{\text{верт}}.$$

Коефіцієнт розгортки k_p – це масштаб по горизонтальній осі, коефіцієнт відхилення k_v – масштаб по вертикальній осі екрана ЕПТ. Перший з них подають в одиницях часу, віднесених до поділок шкали (с/под; мкс/под), а другий – в одиницях напруги, віднесених до поділок шкали (В/под; мВ/под). У сучасних осцилографах зміна коефіцієнтів розгортки і відхилення здійснюється східчасто за допомогою перемикачів: коефіцієнта відхилення з кратністю зміни 1; 2; 5; коефіцієнта розгортки – з кратністю зміни 0,25; 0,5; 1; 2; 5.

У процесі експлуатації осцилографа перевіряється, чи не відрізняються дійсні значення коефіцієнтів відхилення та розгортки від їх номінальних значень, указаних на передній панелі приладу. Перевірка виконується за допомогою вмонтованого в осцилограф калібратора. Калібратор являє собою генератор напруги прямокутної форми типу меандр, амплітуда та частота якої відомі із заданою точністю.

Тема 8. Інформаційно-вимірювальні системи (ІВС)

8.1. Вимірювальна система: склад, структура і класифікаційні ознаки

Застосування і розвиток вимірювальної техніки завжди було обумовлено потребами виробництва, торгівлі та інших сфер людської діяльності. Контрольно-вимірювальні операції давно стали невід'ємною частиною технологічних процесів і в значній мірі визначають якість продукції, що випускається. Прогрес вимірювальної техніки нерозривно пов'язаний з науково-технічним прогресом. Нові наукові та технічні завдання приводять і до нових вимірювальних завдань, для вирішення яких потрібні нові засоби вимірів (СВ), а нові результати впливають на рівень вимірювальної техніки:

- підвищується точність вимірювань, і розширюються діапазони вимірювання;
- росте номенклатура вимірюваних величин;
- збільшується продуктивність вимірювальних операцій, і за рахунок їх автоматизації зменшується вплив людського фактору;
- зростає число виконуваних функцій.

Інформаційні вимірювальні системи (ІВС) є симбіозом апаратних засобів і алгоритмів обробки вимірювальної інформації. Тому як проектування ІВС, так і їх застосування неможливі без правильного теоретичного обґрунтування і розуміння цих алгоритмів. При цьому, завдяки наявності у складі ІВС ЕОМ, можлива подальша обробка результатів вимірювань, отриманих шляхом обробки первинної вимірювальної інформації. Це дозволяє вирішувати за допомогою ІВС широкий спектр інших завдань, що не є чисто вимірювальними, зокрема контроль якості, розпізнавання образів і ін.

Класифікація різних виробів проводиться з метою виявлення загальних моментів у функціонуванні, конструюванні та експлуатації вже наявних видів виробів, що може виявитися корисним при створенні нових видів однотипної продукції, вказуючи можливі напрямки вирішення поставленого завдання. Класифікація може проводитися за різними класифікаційними ознаками, відбиваючим різні властивості класифікуються виробів. Це призводить до появи різних груп класів для виробів одного виду. При цьому слід мати на увазі, що всяка класифікація умовна і її зміст може змінюватися по мірі зміни властивостей класифікуються виробів, зокрема в результаті зміни використовуваних при їх виготовленні матеріалів, комплектуючих і технологій.

Класифікація ІВС проводиться у відповідності з різними класифікаційними ознаками, що відображають сферу застосування, функції та конструкцію ІВС:

- функціональне призначення;
- вид і характер вхідних величин;
- вид вихідної інформації;
- вид структурно-функціональної схеми ІВС;
- принцип побудови.

Перша класифікаційна ознака представляється найбільш важливою. Вона в першу чергу цікавить споживача (користувача) ІВС. Ця ознака не залежить від технічних засобів реалізації ІВС. Не випадково, що цей вид класифікації не

змінювався і не зустрічав заперечень за більш ніж півстолітню історію існування ІВС.

Метою функціонування всіх складних технічних систем є або дослідження фізичних явищ, або управління технологічним процесом. В останньому випадку однією з функцій завжди є визначення значень фізичних величин, що є неодмінною частиною будь-якого технологічного процесу. Таким чином, необхідною складовою функціонування всіх без винятку складних технічних систем є визначення складу параметрів фізичних процесів, які ці системи повинні обслуговувати, їх вимір, аналіз отриманих результатів і прийняття на їх основі певних рішень. Остання функція в основному відноситься до керуючих систем. Однак у силу високого рівня розвитку сучасних ІВС ці завдання можуть вирішуватися і ними.

З урахуванням цього в залежності від функціонального призначення, тобто в залежності від виду вирішуваних завдань, ІС підрозділяються на наступні класи:

- вимірювальні системи;
- статистичні вимірювальні системи;
- системи автоматичного контролю;
- системи технічної діагностики;
- системи розпізнавання образів;
- системи ідентифікації.

Іноді виділяється ще один клас виявлення подій. Однак цей клас настільки невизначений з точки зору формулювання розв'язуваної задачі (наприклад, виявлення невідомих літаючих об'єктів або встановлення факту телепатичного зв'язку), що, не заперечуючи можливості постановки таких завдань, важко знайти спільні риси в методах їх вирішення.

Ця загальноприйнята класифікація є чіткою по відношенню до виду вирішуваних завдань. Однак з термінологічної та конструктивної точок зору можна зробити два зауваження.

- перше, виділення класу вимірювальних систем з вимірювальних інформаційних систем містить деяку тавтологію, особливо, якщо згадати, що в даний час в термінологічних документах ІВС трактується як підклас вимірювальних систем.

- друге, вимірювальні системи в переважній більшості випадків складають основу всіх інших систем, будучи доповнені відповідними алгоритмами обробки вимірювальної інформації. При цьому важливо підкреслити, що структура всіх класів ІВС виявляється однаковою. Термінологічно було б більш правильним говорити про ІВС, призначених для вирішення тільки вимірювальних задач. Однак стилістично такий оборот не зовсім зручний.

Вид вхідних величин визначається фізичними властивостями досліджуваного об'єкта. Якщо ці величини однакові по фізичній природі, то класифікація за цією ознакою інформативна. Наприклад, при вимірюванні розмірів деталі використовуються ІВС для просторових або геометричних вимірювань, при контролі напружень в механічних елементах машин використовуються механічні ІВС, для контролю енергоспоживання в електромережі застосовуються ІВС для вимірювання електричних величин і т.д. Однак дуже часто вхідні величини бувають різними по фізичній природі. З

такими ситуаціями стикаються при дослідженні властивостей матеріалів, при контролі навколишнього середовища та впливаючих на нього факторів тощо. Очевидно, що якщо величини різномірні, то ця ознака класифікації недоцільна.

Характер вхідних величин (незалежно від їх фізичної природи) відбивається в таких ознаках:

- кількість величин;
- поведінка в часі: незмінна або змінюється;
- розташування в просторі: зосереджена або розподілена;
- представлення величин: дискретне або безперервне;
- енергетична ознака: активність, пасивність;
- характер перешкод, підсумовується з величиною: незалежні перешкоди; перешкоди, залежні від досліджуваних величин.

Інші ознаки пов'язані в основному з конструкцією ІВС і слабо впливають на їх функціональне призначення.

Класифікація за видами вихідної інформації включає в себе наступні класи:

- характер вихідної інформації: вимірювальна інформація (іменовані числа, їх відносини, графіки і т. п.), кількісні судження (висновки по результатах контролю, діагностики, ідентифікації);
- ступінь обробки вихідної інформації: результати оцінки одного показника; показники, що характеризують функціональні залежності; статистичні показники іт. д.;
- споживач інформації: людина-оператор, ЕОМ, АСУ.

Розрізняють такі види структурних схем ІВС:

- послідовної дії (одноканальна система);
- паралельної дії (багатоканальна система);
- паралельно-послідовної дії (з комутатором на вході);
- мультипліковані структури.

При класифікації за принципами побудови використовуються такі ознаки:

- наявність спеціального каналу зв'язку;
- уніфікація складу системи;
- порядок виконання операцій: послідовний або паралельний;
- наявність або відсутність структурної та інформаційної надлишковості;
- наявність або відсутність адаптації, характер адаптації;
- наявність або відсутність інформаційної зворотного зв'язку;
- вид використовуваних сигналів: аналогові або кодоімпульсні;
- наявність стандартного інтерфейсу.

В якості окремого класу розглядаються телеметричні системи. За своїми функціями вони можуть ставитися до будь-якого з перерахованих вище класів. Специфіка цих систем полягає в тому, що вони призначені для вимірювань на відстані і, отже, мають більш протяжні канали зв'язку, ніж інші ІВС.

Описана система класифікації використовується досить широко. Однак її значення в основному термінологічне, оскільки система проектується виходячи з розв'язуваних завдань і техніко-економічних обмежень, а потім отримані результати можуть бути віднесені до конкретного класу. Практична ефективність цієї класифікації невелика.

8.2. Основні і допоміжні блоки ІВС.

Структура ІВС приведена на схемі (рис 8.1)

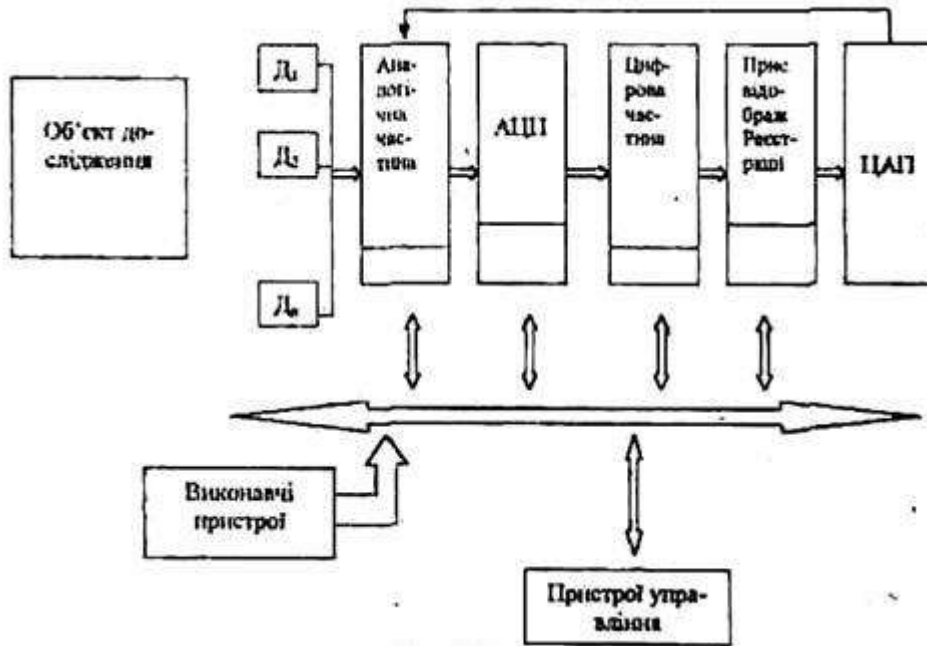


Рис. 8.1. Структура ІВС

До складу ІВС входить:

1. Сукупність датчиків електричних та неелектричних величин (первинні перетворювачі).

2. Аналогова частина:

- аналогові перетворювачі;
- нормируючі перетворювачі;
- комутатор аналогових сигналів;
- аналогові канали зв'язку;
- аналогові обчислювальні пристрої;
- аналогові пристрої пам'яті;
- пристрої порівняння аналогових сигналів;
- аналогові перетворювачі та реєструючі вимірювальні прилади;

3. Аналогово-цифрова частина:

- АЦП;
- аналогові пристрої допустимого контролю.

4. Цифрова частина:

- формувальники імпульсів;
 - перетворювачі кодів;
 - комутатори;
 - спеціалізовані цифрові обчислювальні пристрої;
 - електронна пам'ять;
 - пристрої порівняння кодів;
 - канали цифрового зв'язку;
 - універсальні програмовані обчислювальні пристрої;
5. Цифрові пристрої виводу відображення та реєстрації:
- формування кодоімпульсних сигналів;
 - друкуючі пристрої;
 - пристрої запису й зчитування інформації;
 - накопичувачі на магнітних стрічках та дисках;

- дисплеї;
 - сигналізатори;
 - цифрові індикатори.
6. Цифро-аналогові перетворювачі.
7. Стандартні інтерфейси:

- система шин;
- інтерфейсні вузли.

8. Пристрій управління (призначений для приймання інформації від функціональних блоків та формування командної інформації для виконавчих пристроїв).

9. Виконавчі пристрої:

- електричні;
- механічні;
- теплові;
- оптичні;
- гідравлічні;
- акустичні.

Реальні ІВС представляють собою сукупність пов'язаних між собою функціональних блоків.

Функціональні блоки – це частини системи, які виконують інформаційні та керуючі функції і потребують організації сумісної, злагодженої роботи. Функціональний блок виконує свої функції в закінченому вигляді і для організації взаємодії його з другими функціональними блоками не треба знань про його внутрішню структуру та інше.

8.3. Принципи побудови ІВС.

Створювана ІВС повинна забезпечувати досягнення поставлених перед нею цілей. Ці цілі можуть бути досягнуті різними способами. Тому повинні бути визначені критерії порівняння різних варіантів - кількісні показники якості ІВС. Ці показники, як і для всіх складних пристроїв і систем, мають багатоплановий характер.

Основним показником якості ІВС як СВ, що відображає її призначення і специфіку конкретного застосування, є показник достовірності видаваної інформації. Для вимірювальних систем (включаючи статистичні) показником достовірності, як і для всіх СВ, є похибка вимірювання або невизначеність результату вимірювань. Для систем контролю і систем розпізнавання образів достовірність прийнятих рішень характеризується ймовірностями помилок. Більш складна оцінка достовірності результатів, що видаються системами технічної діагностики і системами ідентифікації. Однак вона теж зводиться до деяких імовірнісних характеристик.

Властивості ІВС як інформаційної системи характеризуються кількістю видаваної інформації, швидкістю видачі та інформаційної надмірністю. Ці показники можуть безпосередньо цікавити споживача. Слід зазначити, що можливості сучасної обчислювальної техніки і каналів передачі інформації такі, що у багатьох випадках забезпечення необхідних інформаційних характеристик досягається без особливих зусиль.

ІВС характеризується також загальнотехнічними показниками: габарити, маса, споживана потужність, показники безпеки, надійність та ін. Певною специфікою серед цих показників володіє надійність, так як вона визначається не тільки надійністю технічних засобів і загальною структурою ІВС, але залежить і від властивостей програмно-математичного забезпечення.

При розробці і застосуванні ІВС не слід випускати з уваги економічні аспекти. При цьому з економічної точки зору необхідно враховувати два суперечливих моменту. ІС в силу своєї складності є більш дорогим засобом вимірювання. У той же час її застосування може значно підвищити продуктивність та достовірність контрольно-вимірювальних операцій, що призведе до підвищення якості продукції, що випускається, тобто принести значний економічний ефект. Крім того, гнучкість ІС дозволяє з її допомогою замінити кілька традиційних СІ, що також збільшує економічний ефект від її застосування. Ці фактори доступні досить точному економічному аналізу. Менш очевидна економічна оцінка позитивного ефекту можливості дослідження складних об'єктів, недоступних для більш простих СІ.

При проектуванні ІВС, як і систем будь-якого іншого виду, необхідно керуватися системотехнічним підходом. При цьому слід мати на увазі, що ІС являє собою деяку ієрархічну структуру, верхнім рівнем якої є обчислювальний пристрій, а нижнім - первинні вимірювальні перетворювачі, що контактують з ІВ. При наявності зворотного зв'язку передача інформації відбувається не тільки від нижніх рівнів до верхніх, але і в зворотному напрямку. На проміжних рівнях також можуть знаходитися мікропроцесорні обчислювальні пристрої. Ієрархічність багатовхідних (багатоканальних) ІС очевидна, але навіть найпростіші одноканальні ІВС мають структуру, яку можна вважати ієрархічною. При цьому слід розрізняти два види ієрархічних структур:

- функціональну структуру (датчики, вторинні перетворювачі, канали зв'язку, центральна ЕОМ);
- конструктивну структуру (система, блок, плата, елемент).

Завдяки мініатюризації компонентів електронної та обчислювальної техніки структура другого виду постійно спрощується при збереженні функціональної структури.

Організація структури складних технічних систем повинна виходити з декількох загальних принципів.

Принцип поєднання системності та агрегування

Цей принцип є основним у створенні систем і припускає обов'язковий облік двох факторів. По-перше, система розглядається як єдине ціле зі своїми функціональними, інформаційними та конструктивними зв'язками і показниками. По-друге, створюючі систему елементи, зберігаючи певну автономність і замінність, повинні бути сумісні: конструктивно, інформаційно (рівні вхідних і вихідних сигналів, інтерфейси), по характеристикам живлення, умовах експлуатації тощо.

Принцип однорідності ієрархічного рівня

На одному ієрархічному рівні не повинні бути присутніми пристрої, що належать іншому ієрархічному рівню. Наприклад, в одному функціональному рівні не повинні співіснувати первинні та вторинні перетворювачі, хоча конструктивно пристрої молодшого ієрархічного рівня можуть бути розміщені в

пристроях відповідного старшого рівня. Забезпечення цього принципу дозволить чітко визначити функціональну належність кожного пристрою.

Принцип максимальної функціональної замкнутості

Цей принцип передбачає створення такої ієрархічної структури, при якій будь-яке більш крупне (старше) об'єднання ділиться на більш дрібні (молодші) об'єднання за функціональною ознакою.

Принцип максимальної функціональної замкнутості припускає, що кожне структурне об'єднання здатне функціонувати без залучення будь-яких структур, розміщених в інших структурних об'єднаннях. Говорячи про можливості функціонування без залучення інших структур, ми маємо на увазі функціональні та інформаційні аспекти. Для виконання важливих, але допоміжних функцій, наприклад для забезпечення електроживлення, можуть залучатися елементи інших рівнів.

Необхідність забезпечення максимальної функціональної замкнутості висуває два наступні правила віднесення молодших структурних об'єднань до старших.

1) Кожне старше структурне об'єднання повинне включати у свій склад ті молодші структури, функціонування яких при неможливості їх повної автономії забезпечується іншими молодшими структурними об'єднаннями, що належать цьому старшому структурному об'єднанню.

2) Кожне старше структурне об'єднання повинне включати у свій склад ті молодші структурні об'єднання, які забезпечують функціонування цього старшого об'єднання.

Принцип мінімізації старших ієрархічних інформаційних зв'язків

Відпрацювання всякої системи тим складніше і тим триваліша, чим більше пристроїв потрібно об'єднати для спільної роботи. Проблему складає відпрацювання кожної функції, яке повинна вирішуватися декількома пристроями спільно. Оскільки кількість таких функцій зазвичай прямо пропорційна обсягу інформації, якою обмінюються ці пристрої, то слід прагнути до скорочення цього обсягу, тим самим скорочуючи і число спільно реалізованих функцій.

Принцип нарощування апаратури

Цей принцип полягає в можливості долучення або, навпаки, знімання частини апаратури системи без яких-небудь змін в частині, що залишилася. Виконання цього принципу виявляється вкрай корисним як в умовах експлуатації, так і при нарощуванні функцій ІВС. Реалізацією цього принципу, поряд з можливістю нарощування програмно-математичного забезпечення, забезпечується гнучкість ІС в частині виконуваних функцій.

Принцип нарощування апаратури припускає використання таких технічних рішень, які дозволять змінювати склад апаратури в більший або менший бік без ніяких змін будь-яких ланок ІВС, в тому числі в їх апаратної або функціональної частин.

Тема 9. Вимірювання електричних величин

9.1. Електричні величини і одиниці їх вимірювань

Величина	Символ	Позначення одиниці		Розмірність у СІ
		укр.	міжнар.	
Електричний заряд	q	Кл	С	$A \cdot c$
Лінійна густина заряду	τ	Кл/м	С/м	$A \cdot c / m$
Поверхнева густина заряду	σ	Кл/м ²	С/м ²	$A \cdot c / m^2$
Об'ємна густина заряду	ρ	Кл/м ³	С/м ³	$A \cdot c / m^3$
Напруженість електричного поля	E	В/м	V/m	$m \cdot kg / (A \cdot c^3)$
Електрична індукція	D	Кл/м ²	С/м ²	$A \cdot c / m^2$
Електрична стала	ϵ_0	Ф/м	F/m	$A^2 \cdot c^4 / (m^3 \cdot kg)$
Абсолютна діелектрична проникність	ϵ_a, ϵ	Ф/м	F/m	$A^2 \cdot c^4 / (m^3 \cdot kg)$
Відносна діелектрична проникність	ϵ_r, ϵ_t	1	1	1
Потік електричної індукції	Ψ	Кл	С	$A \cdot c$
Електричний потенціал	ϕ	В	V	$m^2 \cdot kg / (A \cdot c^3)$
Напруга, різниця потенціалів	$U, \Delta\phi$	В	V	$m^2 \cdot kg / (A \cdot c^3)$
Електрорушійна сила (ЕРС)	$\mathcal{E}$	В	V	$m^2 \cdot kg / (A \cdot c^3)$
Електроємність	C	Ф	F	$A^2 \cdot c^4 / (m^2 \cdot kg)$
Електричний дипольний момент	p	Кл·м	С·м	$A \cdot c \cdot m$
Вектор поляризації (поляризованість)	P	Кл/м ²	С/м ²	$A \cdot c / m^2$
Діелектрична сприйнятливість	χ	1	1	1
Сила струму	I	А	A	A
Густина струму	J	А/м ²	A/m ²	A/m ²
Електричний опір	R	Ом	Ω	$m^2 \cdot kg / (A^2 \cdot c^3)$
Електрична провідність	σ	См	S	$A^2 \cdot c^3 / (m^2 \cdot kg)$

Питомий електричний опір	ρ	Ом·м	$\Omega \cdot m$	$m^3 \cdot kg / (A^2 \cdot s^3)$
Питома електрична провідність	γ, σ	См/м	S/m	$A^2 \cdot s^3 / (m^3 \cdot kg)$
Рухливість іонів	b	$m^2 / B \cdot s$	$m^2 / (V \cdot s)$	$A \cdot s^2 / kg$
Напруженість магнітного поля	H	A/м	A/m	A/м
Магнітна стала	μ_0	Гн/м	H/m	$m \cdot kg / (A^2 \cdot s^2)$
Абсолютна магнітна проникність	μ_a, μ	Гн/м	H/m	$m \cdot kg / (A^2 \cdot s^2)$
Відносна магнітна проникність	μ, μ_r	1	1	1
Магнітна індукція	B	Тл	T	$kg / (A \cdot s^2)$
Магнітний потік	Φ	Вб	Wb	$m^2 \cdot kg / (A \cdot s^2)$
Магнітний момент	p_m	$A \cdot m^2$	$A \cdot m^2$	$A \cdot m^2$
Вектор інтенсивності намагнічення (намагніченість)	M	A/м	A/m	A/м
Індуктивність і взаємна індуктивність	L	Гн	H	$m^2 \cdot kg / (A^2 \cdot s^2)$
Магнітна сприйнятливість	κ, χ	1	1	1
Магніторушійна сила	F	A	A	A
Магнітний опір	R_m	A/Вб	A/Wb	$A^2 \cdot s^2 / (m^2 \cdot kg)$
Ємнісний опір	X_C	Ом	Ω	$m^2 \cdot kg / (A^2 \cdot s^3)$
Індуктивний опір	X_L	Ом	Ω	$m^2 \cdot kg / (A^2 \cdot s^3)$
Імпеданс, повний електричний опір	Z	Ом	Ω	$m^2 \cdot kg / (A^2 \cdot s^3)$
Добротність	Q	1	1	1
Об'ємна густина енергії електромагнітного поля	w	Дж/м ³	J/m ³	$kg / (m \cdot s^2)$
Вектор Пойнтинга	I, S	Вт/м ²	W/m ²	kg / s^3

9.2. Вимірювання струму і напруги в колах постійного та змінного струму

Вимірювання струму

Величину електричного струму, що проходить через будь-яку ділянку електричного кола, вимірюють амперметром, який вмикається послідовно зі споживачем електричної енергії, що є на цій ділянці. Частину розгалуженого електричного кола з амперметрами, ввімкнутими в окремі його ділянки для виміру струмів, зображено на рис. 9.1. Амперметри А2 і А3 вимірюють струми, що проходять по кожній з двох паралельних гілок, амперметр А1 вимірює загальний струм, споживаний від джерела живлення. Якщо джерело живлення є джерелом постійного струму, то сума струмів, вимірюваних амперметрами А2 і А3, має дорівнювати (у межах точності вимірів) струмові, вимірюваному амперметром А1. Те ж саме має бути при живленні від джерела змінного струму, якщо всі резистори (R_1 , R_2 , R_3), застосовані у схемі, є активними. При наявності ж у схемі резисторів з реактивними чи змішаними опорами, величина струму, вимірюваного амперметром А, може бути як меншою за суму струмів, виміряних амперметрами А2 і А3, так, в окремих випадках, і дорівнювати їй.

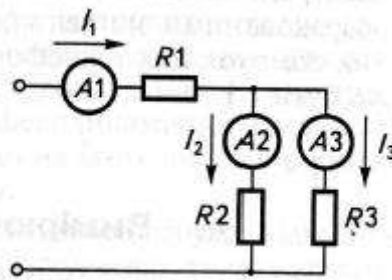


Рис. 9.1. Вимірювання струмів амперметрами

При вимірюваннях струмів у колах постійного струму можуть використовуватись магнітоелектричні, електродинамічні або теплові амперметри (міліамперметри). Феродинамічні та електромагнітні амперметри можна використовувати лише у тому разі, якщо на шкалах цих приладів позначено, що вони придатні для вимірів на постійному струмові.

Якщо ж такого позначення немає, то при користуванні такими приладами можуть бути більші похибки, ніж це передбачено класом точності приладів.

При вимірюваннях струмів у колах змінного струму можуть використовуватись електромагнітні, електродинамічні, феродинамічні, теплові, термоелектричні або випрямні амперметри.

Магнітоелектричні амперметри зовсім непридатні для вимірів на змінному струмі, а їх помилкове вмикання в коло змінного струму може призвести лише до непорозуміння, бо відсутність відхилення їхніх покажчиків від нульової позначки (навіть при значних величинах змінного струму, що проходить через них) може спонукати спостерігача до збільшення напруги (якщо

спостерігач може це зробити), що призведе до пошкодження елементів схеми, чутливих до значних напруг і струмів.

Якщо величини струмів необхідно вимірювати у колах зі значними струмами, прямі вимірювання яких неможливі наявними амперметрами, то у колах постійного струму необхідно користуватися зовнішніми шунтами з приєднаними до них магнітоелектричними мілівольтметрами. У колах змінного струму користуються вимірювальними трансформаторами струму з електромагнітними, електродинамічними або феродинамічними амперметрами, розрахованими на величину номінального струму вторинних обмоток цих трансформаторів. Звичайно це 5 А, але може бути і 1 А.

Вимірювання напруги.

Вимірювання напруги є чи не найбільш поширеним видом вимірювань на електричному обладнанні. У більшості випадків для вимірювань напруги змінного струму в промисловості користуються електромагнітними вольтметрами, як такими, що мають просту конструкцію, надійні при користуванні та найдешевші за вартістю серед вольтметрів інших систем сумірного класу точності.

У випадках, коли вимірювана напруга вища за 500...600 В, ці вольтметри використовують разом з вимірювальними трансформаторами напруги, здатними перетворювати змінну напругу номінальної для первинної обмотки трансформатора величини, у напругу 100 В, на яку розраховано вольтметри, призначені для роботи з цими трансформаторами. В цих випадках шкали вольтметрів градуують у значеннях первинної (високої) напруги трансформатора. При цьому обов'язково повинен бути напис на шкалі про коефіцієнт трансформації необхідного вимірювального трансформатора напруги у вигляді дробу з номінальною первинною напругою його у чисельнику і номінальною напругою вторинної обмотки – у знаменнику.

Для вимірювань напруг змінного струму придатні й електродинамічні вольтметри, але в основному їх використовують як переносні прилади для перевірки інших вольтметрів.

Досить часто для вимірювань напруг змінного струму користуються випрямними вольтметрами, що являють собою вимірювальний механізм магнітоелектричної системи, скомбінований з напівпровідниковими випрямлячами та з додатковим опором, суміщеними в одному корпусі. Для вимірювання напруг постійного струму найдоцільніше користуватись магнітоелектричними вольтметрами, як такими, що потребують малої потужності живлення і мають значний обертовий момент вимірювального механізму, що зумовлює їх достатню надійність в експлуатації. На постійному струмові можна вимірювати напругу також приладами електродинамічної,

електростатичної, електромагнітної і феродинамічної систем. У останніх двох випадках – якщо на їхніх шкалах є умовна позначка постійного струму.

В устаткуваннях, де є напруги змінного струму підвищеної чи високої частоти, можна користуватись вольтметрами електростатичної чи випрямної системи.

Напругу, що діє на будь-якій ділянці електричного кола, вимірюють вольтметрами, приєднаними паралельно з контрольованими ділянками. На схемі рис. 9.2. показано, як треба вмикати вольтметри для вимірювання напруг на різних ділянках електричного кола. Величину напруги мережі, чи якого іншого постачальника електричної енергії, вимірюють вольтметром V1, а величини напруг на опорах резисторів R1 і R2 – вольтметрами V2 і V3.

При вимірюваннях у електричних колах зі значними величинами опорів необхідно враховувати, що. приєднання вольтметра до будь-якої ділянки кола може суттєво змінити режим її роботи.

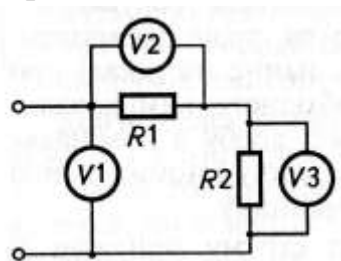


Рис. 9.2. Вимірювання напруг вольтметрами

В умовах виробництва, наприклад при пошуку пошкоджень у електричних колах, величини напруг на різних ділянках кола вимірюють одним вольтметром, який по чергові приєднують до різних точок кола, як це показано на рис. 9.3. Щоб виміряти величину напруги джерела, вольтметр за допомогою щупів приєднують до точок А і D. Для вимірювання напруги на резисторі R1 – до точок А і В, на R2 – до точок В і С, на R3 – до точок С і D.

Якщо опори R1, R2 і R3 досить великі, а то й сумірні з власним опором вольтметра, то може статись, що сума напруг, виміряних на резисторах R1, R2 і R3 буде значно меншою, ніж напруга мережі. Пояснюється це тим, що під час вимірювання напруги, коли вольтметр приєднано паралельно до якогось з резисторів, дійсна величина опору між точками приєднання щупів буде дещо меншою за величину опору відповідного резистора. При цьому буде меншим і загальний опір кола, що може призвести до збільшення величини струму в колі та величин падіння напруг на інших опорах, що є у колі (тих, на яких у даний момент величина напруги не вимірюється). Таким чином, на контрольованій ділянці величина напруги буде меншою за ту, що буде при відсутності вольтметра.

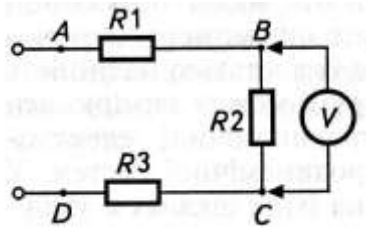


Рис. 9.3. Вимірювання одним вольтметром напруг на різних ділянках електричного кола

З цієї причини, наприклад при пошуку несправності в електронних схемах, недоцільно користуватися вольтметрами високих класів точності, що мають відносно невеликий опір. Доцільніше користуватись вольтметрами класу точності всього 2,5...4,0, але з великим власним опором. Саме такими бувають магнітоелектричні вольтметри, що є основою багатограничних приладів – тестерів.

У цих приладів величина власного опору становить десь 8000...20 000 Ом на один вольт (тобто струм повного відхилення покажчика вольтметра становить 125...50 мкА).

Тестери зазвичай багатфункціональні вимірювальні прилади, але їхня основна функція – вимірювання напруги. Завдяки малій величині власного споживаного струму (як і споживаної потужності) ці прилади з додатковим опором, вмонтованим у щуп, що має підсилену ізоляцію, бувають здатні вимірювати напруги величиною до 25...30 кВ.

Але, користуючись вольтметром з великим внутрішнім опором при пошуку пошкоджень у мережах з напругою до 600 В, треба пам'ятати, що ці вольтметри можуть показувати напругу на окремих ділянках мережі там, де її насправді немає. Тобто напруга там є тільки для самого вольтметра, а для якогось споживача електричної енергії, що потребує значно більшої потужності, ніж цей вольтметр, напруги зовсім не буде. Це явище виникає через наявність між проводами мережі (рис. 9.4) витоку електричного струму через опір ізоляції R_{i1} R_{i2} чи ємність $C1$, $C2$ між проводами. Тут показано, яким чином вольтметр, приєднаний між пошкодженим (розірваним) і непошкодженим проводом, може показувати напругу.

Величина опору ізоляції нормована, і на більшості ділянок мереж промислових підприємств не повинна бути меншою ніж 0,5 МОм. Якщо зважити на те, що власний опір вольтметра, розрахованого на вимір напруги 600 В, може становити 12 МОм (якщо струм його повного відхилення становить 50 мкА), то можна встановити, що у найгіршому випадку опір ізоляції може становити лише 1/24 частину від власного опору вольтметра. Тобто вольтметр при такому приєднанні показуватиме майже повне значення напруги. Насправді він може показувати й дещо меншу частину повної напруги, якщо врахувати наявність опору ізоляції між третім провідником і пошкодженим. Але в обох випадках

показання вольметра буде суттєвим. Щоб запобігти такій похибці, досить скористатися для вимірів якимось іншим (наприклад, електромагнітним) вольтметром, у котрого власний опір при границі виміру напруги 600 В буде становити всього приблизно 40 000 Ом. Тобто для цього вольметра величина найменшого опору ізоляції буде вже майже у 12 разів більшою за його власний опір. Отже, при вмиканні такого вольметра показчик ледь ворухнеться, що свідчитиме про відсутність напруги на пошкодженіму проводі.

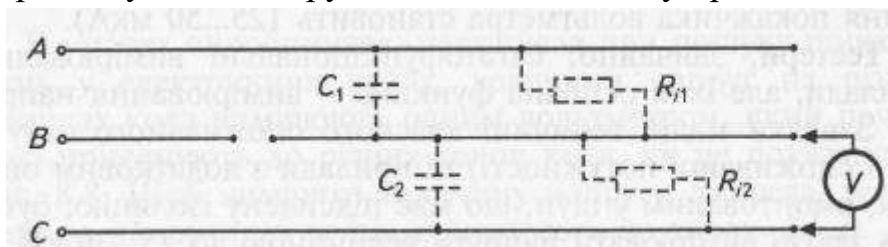


Рис. 9.4. Схема, що пояснює можливість помилкового виміру напруги вольтметром при пошуку пошкоджень у мережах

Якщо ж для вимірів неможливо використати вольтметр з обмеженою величиною власного опору, то пошкоджену ділянку електричної мережі можна знайти за допомогою вольметра з великим власним опором, приєднавши при вимірах паралельно йому резистор (чи кілька резисторів, увімкнених послідовно) з загальною величиною опору 40...50 кОм і потужністю 7... 10 Вт.

Все сказане про пошук пошкодження за допомогою високоомного вольметра можна цілком віднести й до застосування у подібних випадках електростатичних вольметрів, якими взагалі у таких випадках не бажано користуватися.

9.3. Вимірювання потужності та облік електричної енергії

Вимірювання потужності.

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 градуюванні, 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. 9.5. 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_2 і 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.

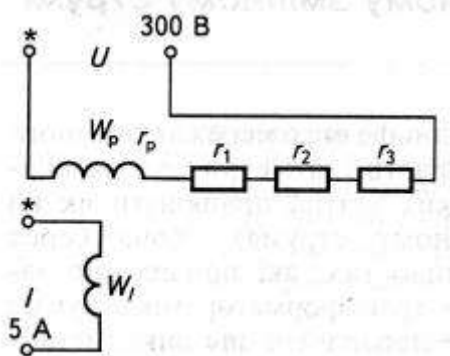


Рис. 9.5. Схема стаціонарного ватметра.

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 °С, 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 °С змінює величину опору аж на 4 % 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 °С (при підвищенні температури пружини слабнуть і показання приладу збільшуються). Якщо зважити на те, що згідно з державними стандартами додаткова похибка від зміни температури на ± 10 °С відносно номінальних 20 °С 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 приладів, наприклад у переносних електродинамічних ватметрах класу 0,2, застосовано досконалішу схему, яку наведено на рис. 9.6. 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 $L_p \approx C r^2$. При такій компенсації опір кола між точками а і б 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 $4\pi^2 f^2 C r^2$ буде незначною порівняно з одиницею (тут f – частота напруги).

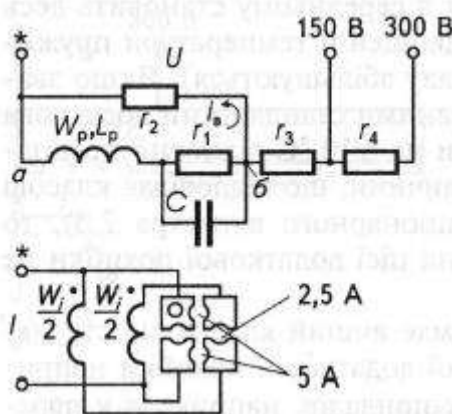


Рис. 9.6. Схема переносного ватметра

Налаштовування 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.

При виробництві ватметрів високих класів точності (класи 0,1; 0,2; 0,5) наявність такої компенсації дає змогу градувати 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_v – безреактивне (тобто чисто активне), то цей струм при взаємодії з магнітним потоком нерухомих котушок не створює ніякого обертового моменту.

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

Вимірювання кількості спожитої енергії.

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

Будову індукційного однофазного лічильника показано на рис. 9.7. 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.

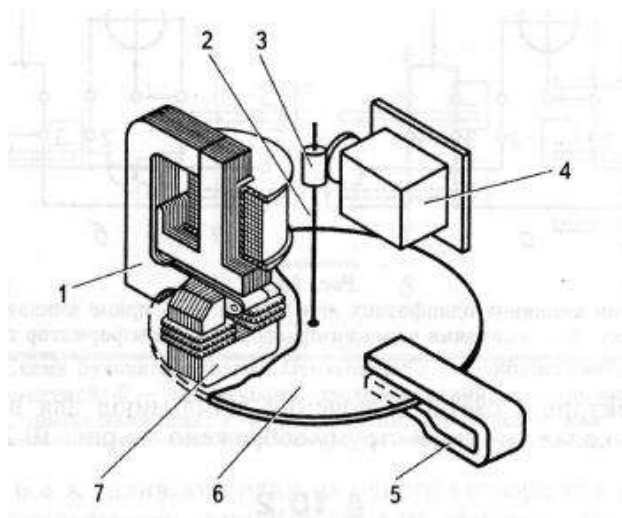


Рис. 9.7. Індукційний лічильник електричної енергії однофазного змінного струму

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.

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

Електричні схеми включення лічильників для вимірювань у колах змінного струму зображено на рис. 9.8.

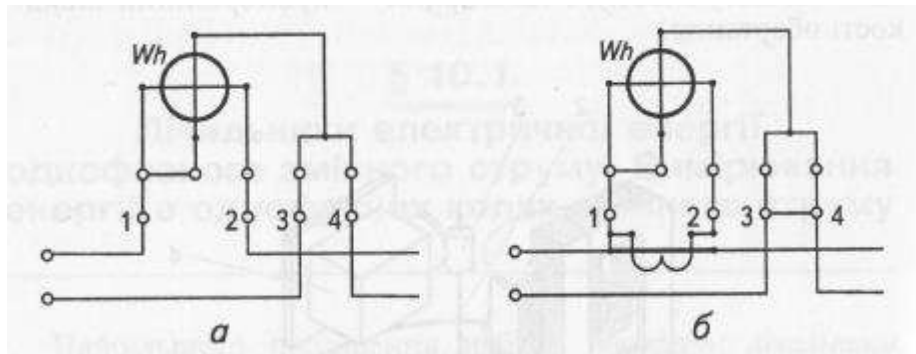


Рис. 9.8. Схеми вмикання однофазних лічильників: а – пряме вмикання в мережу; б – вмикання через вимірювальний трансформатор струму

9.4. Вимірювання опорів приладами прямої дії

У сучасній практиці доводиться вимірювати електричний опір у дуже широкому діапазоні значень – від нОм до значень близько 10^{17} Ом і більше.

Існують різні вимоги до точності вимірювань.

Для вимірювання з порівняно невисокою точністю використовують прилади прямого перетворення, точні вимірювання здійснюють за допомогою вимірювальних мостів, компенсаторів постійного струму та цифрових приладів.

Методи вимірювань опорів поділяють на дві групи – прямі та опосередковані.

Для прямих вимірювань опорів у діапазоні від 10^{-5} до 10^9 Ом можна використати магнітоелектричні омметри та мегомметри, а для більших опорів (до $10^{14} \dots 10^{15}$ Ом) – електронні мегомметри та тераомметри, а також вимірювальні мости постійного струму (одинарних і подвійних) та цифрові омметри.

Опосередковані вимірювання здійснюється методом амперметра і вольтметра та за допомогою компенсаторів постійного струму і компараторів напруг.

Залежно від границь вимірювань всі омметри розділяють на такі групи:

- мікроомметри (з нижньою границею 10^{-5} Ом);
- міліомметри (з нижньою границею 10^{-3} Ом);
- омметри (з нижньою границею 10 мОм);
- кілоомметри (з верхньою границею 1 МОм);
- мегаомметри (з верхньою границею 1000 МОм);
- тераомметри (з верхньою границею більше, ніж 10^9 Ом).

Залежно від принципу дії аналогові омметри поділяють на три групи:

- омметри з магнітоелектричним вимірювальним механізмом;
- омметри з логометричним вимірювальним механізмом;
- електронні аналогові омметри.

Цифрові омметри звичайно входять до складу комбінованих цифрових вимірювальних приладів (мультиметрів), призначених для вимірювань постійного струму і напруги, змінного струму і напруги та електричного опору.

Діапазон вимірювань опорів цифровим омметром досить широкий – $10^{-3} \dots 10^{12}$ Ом, але він вузький, ніж у мостів постійного струму та аналогових омметрів.

Цифровим омметрам властива висока точність вимірювання – в діапазоні опорів $1 \dots 10^6$ Ом мінімально можливе значення відносної похибки вимірювання становить $\pm 0,005\%$.

До недоліків цифрових омметрів належить необхідність пропускання через вимірювальний опір порівняно великого струму, що не дає змоги застосувати їх для метрологічної перевірки малопотужних резистивних перетворювачів.

Але такі переваги, як автоматизація вимірювання, одержання результату вимірювання у цифровому коді, висока точність роблять цифрові омметри найперспективнішими засобами вимірювання електричного опору.

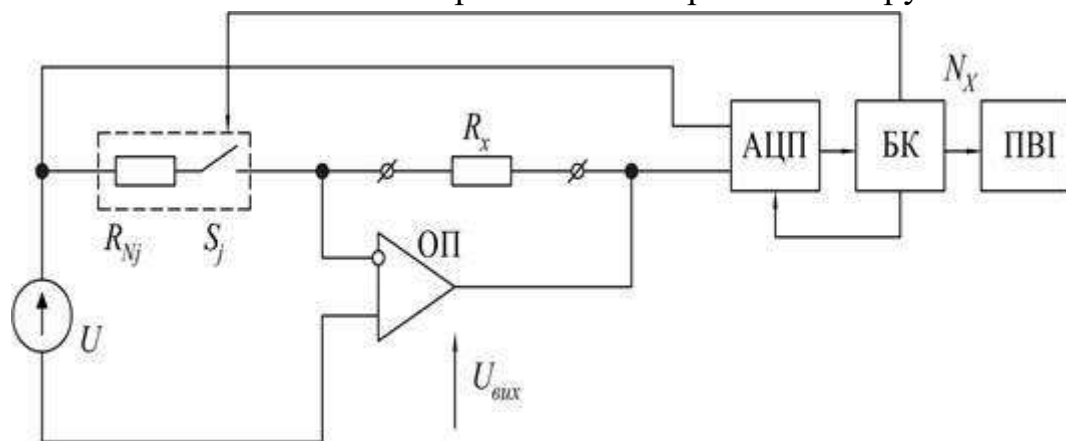


Рис. 9.9. Структурна схема цифрового омметра

Прилад побудований на основі АЦП напруги постійного струму (рис. 9.9). Автоматичне перемикання піддіапазонів вимірювання опору здійснюється ключами S_j струмозадавальних резисторів R_{Nj} . Перетворювач опору на напругу реалізований на операційному підсилювачі ОП, а вимірювальний резистор R_x увімкнений у коло його від'ємного зворотного зв'язку. Щоб забезпечити інваріантність результату вимірювання опору до значення вимірювального струму, він формується із напруги. Одночасно ця сама напруга є опорною для АЦП напруги постійного струму.

9.5. Вимірювання ємності, індуктивності

Процеси, що проходять в колах змінного струму, характеризуються тим, що при кожному вимірюванні струму (напруги) змінюються електричні і магнітні поля, зв'язані з цими колами. В котушках індуктивності виникають ЕРС самоіндукції і взаємоіндукції, а в конденсаторах виникають зарядні і розрядні точки. Котушки індуктивності і конденсатори в колах змінного струму називають резистивними елементами. Для змінного струму вони є реактивними опорами. Зміна струму в колі з індуктивністю (L) або взаємоіндукцією (M) викликає виникнення ЕРС самоіндукції (e_L) або взаємоіндукції (e_M), яка за законом Ленца протидіє зміні струму. Для струму, що змінюється по

гармонічному закону $i = I_m \sin \omega t$ миттєве значення напруги (U) на зажимах котушки індуктивності в кожен момент часу рівне по модулю значенню ЕРС самоіндукції і протилежне їй за знаком

$$U = -e_L = L \frac{di}{dt} = \omega \cdot L \cdot I_m \cdot \cos \omega t = U_{L_m} \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right),$$

де U_{L_m} і I_m – амплітуди напруги і струму в котушці.

Для діючих значень струму і напруги $U_L = \omega \cdot L \cdot I$, $\omega \cdot L$ має розмірність опору і називається індуктивним опором X_L .

$$X_L = \omega L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

У колі з індуктивним опором струм відстає по фазі від напруги на кут $\varphi = 90^\circ$ і називається реактивним намагнічуючим струмом.

В електричному колі синусоїдального струму, що містить ємність (C), проходить безперервно перезарядження конденсатора і встановлюється струм

$$I_m = \omega \cdot C \cdot U_m = \frac{U_m}{X_c},$$

де $X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}.$

Величину X_c називають ємнісним опором. Діюче значення струму в колі із ємнісним опором визначають з виразу

$$I = \frac{U_c}{X_c} = U_c \cdot \omega \cdot C.$$

У такому колі струм випереджує по фазі напругу на кут $\varphi = 90^\circ$. (U_c – напруга на обкладках конденсатора).

Конденсатори і котушки індуктивності характеризуються рядом параметрів, які, в свою чергу, поділяються на основні, похідні і остаточні. Основним параметром конденсатора є номінальна ємність ($C_{\text{ном}}$), а для котушок індуктивності – номінальне значення індуктивності ($L_{\text{ном}}$). Похідними параметрами є тангенс кута втрат ($\text{tg} \delta$), добротність (Q), стала часу (τ), температурний коефіцієнт і т.д. До остаточних параметрів відносяться власна ємність і активний опір котушок індуктивності і втрати конденсаторів. Наявність остаточних параметрів викликає недосконалість конструкції і приводить до зміни основних параметрів. З врахуванням остаточних параметрів конденсатори і котушки індуктивності характеризують ефективними значеннями, що залежать від частоти змінного струму (f). Із збільшенням частоти індуктивний опір зростає, а ємність – зменшується. У зв'язку з цим калібрування котушок індуктивності і конденсаторів проводиться на номінальній частоті $f_{\text{ном}} = 1000$ Гц.

В залежності від діелектрика, що використовується, конденсатори можуть пропускати через себе постійний струм, який називається струмом втрати (i_v). Відношення прикладеної до конденсатора напруги (U) до струму втрати визначає опір ізоляції R_{i3} . Постійний струм, що протікає через конденсатор, складає втрати енергії ($P_{\text{втрат}}$). Величина втрат характеризується тангенсом кута втрат ($\text{tg} \delta$), де δ – кут втрат. Завдяки втратам кут зсуву фаз між струмом і напругою в реальних електричних колах з реактивним опором є звичайно меншим 90° на кут δ . Як правило, цей кут невеликий і часто не враховується. Однак при високих частотах активні і реактивні опори стають взаємовимірними і кут втрат необхідно

враховувати. Тангенс кута втрат характеризує відношення активної і ($P_{\text{втрат}}$) і реактивної (Q_p) потужності резистивного елемента

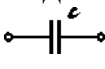
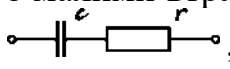
$$\operatorname{tg} \delta = \frac{P_{\text{втрат}}}{Q_p} = \frac{P_{\text{втрат}}}{I^2 \cdot X},$$

де X – реактивний опір.

У залежності від втрат конденсатори умовно поділяють на три групи: без втрат ($\operatorname{tg} \delta = 0$), з малими втратами ($\operatorname{tg} \delta \leq 0.01$) і з великими втратами ($\operatorname{tg} \delta > 0.01$). Котушки індуктивності характеризуються величиною, зворотною $\operatorname{tg} \delta$, яка називається добротністю (Q).

$$Q = \frac{Q_p}{P_{\text{втрат}}} = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}.$$

З підвищенням частоти, температури і вологості добротність, як правило, зменшується.

У залежності від втрат повний опір конденсатора (котушки індуктивності) може бути представлений у вигляді еквівалентних схем двополюсників. Так для конденсаторів без втрат ($\operatorname{tg} \delta = 0$), еквівалентна схема , для конденсаторів з малими втратами використовується еквівалентна послідовна схема заміщення , для конденсаторів з великими втратами – еквівалентна паралельна схема заміщення.

Слід мати на увазі, що реактивні опори в колах змінного струму виникають не тільки між обкладками конденсаторів і котушок індуктивності, а й електричними провідниками, витками обмоток електродвигунів, трансформаторів, дроселів, електровимірювальних приладів і т.п.

Облік впливу реактивних опорів на роботу реальних електричних кіл вимагає їх вимірювання. В робочих умовах вимірювання реактивних опорів здійснюється чотирма основними методами: амперметра-вольтметра, безпосередньої оцінки, нульовим (мостовим) і резонансним.

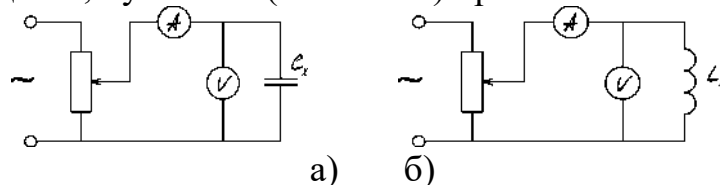


Рис. 9.10. Схеми вимірювання ємності (а) та індуктивності (б) методом амперметра і вольтметра

9.6. Непрямі вимірювання параметрів схем електричних кіл постійного та змінного струму.

Метод амперметра-вольтметра

Цей метод є непрямим, найбільш простим і найменш точним, так як правило при його використанні вимірюється повний комплексний опір вимірювального об'єкта $Z = \frac{U}{I} = \sqrt{r^2 + x^2}$, що вносить значну похибку.

Вимірювання рекомендується виконувати за схемами, зображеними на рисунку 9.10.

Вимірювана ємність обчислюється за формулою

$$C_x = \frac{I}{\omega U_c} = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_c},$$

а індуктивність

$$L_x = \frac{U_L}{\omega \cdot I} = \frac{U_L}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot I}.$$

де U_C і U_L – напруга на обкладках конденсатора і зажимах котушки індуктивності.

При використанні цього методу необхідно знати робочу частоту (f). Різновидом цього методу, що дозволяє одержати велику точність вимірювання, є метод чотирьох приладів, де поряд з амперметром і вольтметром у вимірювальне коло включається частотомір і ватметр. Вимірювальні опори при цьому розраховуються за формулами

$$z = \frac{U}{I}; \quad r = \frac{P}{I^2}; \quad x = \sqrt{z^2 - r^2}$$

$$L_x = \frac{\sqrt{z^2 - r^2}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{\sqrt{U^2 \cdot I^2 - P_w^2}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{U^2 \cdot I^2 - P_w^2}}; \quad C_x = \frac{I^2}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{U^2 \cdot I^2 - P_w^2}};$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot P_w \cdot C_x}{I^2},$$

де P_w – потужність, що вимірюється ватметром; f – покази частотоміра; U , I – відповідно покази ватметра і амперметра.

Обидва описані методи є непрямыми методами вимірювання L і C .

Нульовий метод

Більш точно L і C можуть бути виміряні нульовим методом (мостами змінного струму). В порівнянні з описаними вище методами вимірювання нульовий метод має суттєву перевагу, оскільки дозволяє порівнювати вимірювані індуктивності і ємності безпосередньо з мірами, які звичайно виконуються у вигляді декадних магазинів індуктивності і ємності, які входять у прилади порівняння.

Мости змінного струму

Мостом називають електровимірювальний прилад порівняння, який складається з чотирьох елементів, з'єднаних між собою в кільцеву схему так, що при цьому утворюються дві діагоналі, до однієї із яких (діагональ живлення) підключається джерело живлення, а до другої індикатор нуля (ІН). Ємності і індуктивності вимірюються мостами змінного струму, в діагональ живлення (ab) яку включається джерело синусоїдальної напруги ($\sim U_{\text{жив}}$) з нормованою частотою $f_n = 1000 \text{ Гц}$, а у вимірювальну діагональ (cd) – індикатор високої чутливості. Чотири елемента кільцевої схеми утворюють плечі моста, які являються комплексними опорами $\dot{Z}_1; \dot{Z}_2; \dot{Z}_3; \dot{Z}_4$ (рисунок 9.11).

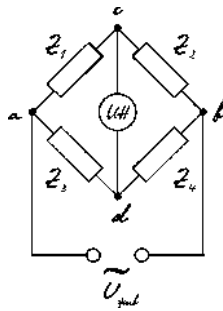


Рис. 9.11. Схема моста змінного струму

Умова рівноваги моста описується рівнянням $\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_4 = \dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3$ або в комплексній формі

$$z_1 \cdot z_4 \cdot e^{j(\varphi_1 + \varphi_4)} = z_2 \cdot z_3 \cdot e^{j(\varphi_3 + \varphi_4)},$$

де $Z_1; Z_2; Z_3; Z_4$ – модулі, а $\varphi_1; \varphi_2; \varphi_3; \varphi_4$ – аргументи комплексних опорів плеч моста. З останньої рівності слідує, що міст змінного струму буде зрівноважений при умові, коли одночасно будуть рівні похідні модулів комплексних опорів протилежних плеч і суми їх аргументів

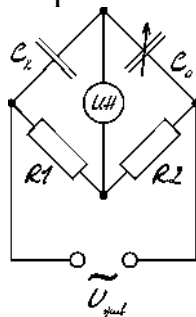
$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3; \quad \varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3.$$

Живлення моста може здійснюватись або від мережі змінного струму, або від генератора синусоїдальних коливань. В якості індикаторів нуля використовують гальванометри (при частоті 50 Гц), телефони з узгоджувачим трансформатором (в області звукових частот), лампові мілівольтметри (мікроамперметри), або електронно-променеві трубки.

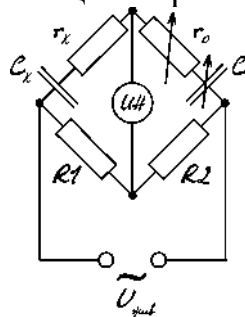
Вимірювання ємності мостами змінного струму

Мости змінного струму, які призначені для вимірювання ємності, можуть бути трьох типів (рис. 9.12).

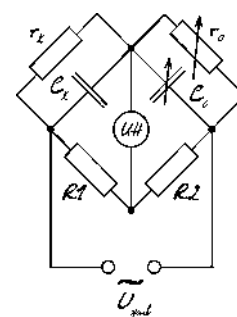
При вимірюванні параметрів конденсаторів, які мають втрати, мости змінного струму зрівноважуються по двох параметрах. Процес зрівноваження полягає в поперемінному регулюванні цих параметрів.



а) для конденсаторів з малими втратами



б) для конденсаторів з великими втратами



в) для конденсаторів без втрат

Рис. 9.12. Схеми мостів змінного струму для вимірювання параметрів конденсатора

Мости для вимірювання індуктивності

Вимірювання індуктивності L мостом змінного струму може бути виконано шляхом її порівняння або із зразковою індуктивністю, або із зразковою ємністю.

Універсальні мости дозволяють реалізувати будь-яку вимірювальну схему приведену на рисунках 9.11, 9.12.

Резонансні методи вимірювання ємності і індуктивності

У техніці високих частот вимірювання ємності і індуктивності здійснюється резонансними методами з використанням генераторів високої частоти (ГВЧ). Схема для вимірювання ємності резонансним методом приведена на рисунку 9.13.

При вимірюванні ГВЧ налаштовуються з допомогою лампового вольтметра (ЛВ) на резонансну частоту власних коливань контуру $L_0 C_x$. Значення C_x визначають з формули:

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_0 C_x}}$$

де L_0 – зразкова індуктивність.

$$C_x = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f^2 \cdot L_0}$$

На основі резонансного методу побудовані вимірювачі L і C . Вимірювання проводиться резонансним методом з індикацією резонансу по нульових биттях. Будова приладу описана в додатку Д до лабораторної роботи.

При вимірюванні малих ємностей і індуктивностей резонансним методом виникають похибки у зв'язку з ємністю і індуктивністю вимірювальних приладів і з'єднувальних проводів.

Високої точності вимірювання можна досягти поєднанням мостового або резонансного методу з методом заміщення. Суть цього методу полягає в тому, що вимірювану ємність (індуктивність) заміняють зразковою мірою і добиваються рівноваги моста (резонансу) вимірюванням значення міри, без вимірювання значення плечей. За одержаним значенням міри роблять висновки про значення вимірюваного параметра.

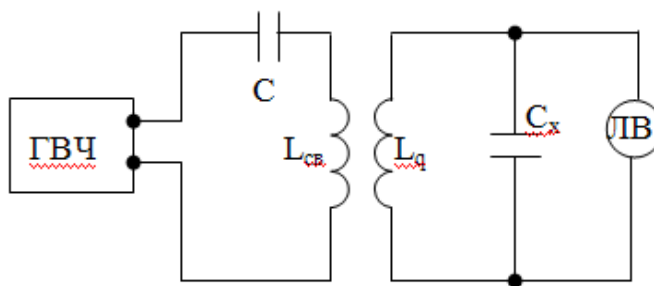


Рис. 9.13. Принципова схема для вимірювання ємності резонансним методом

Тема 10. Вимірювання магнітних величин.

10.1. Вимірювання магнітного потоку, магнітної індукції

Магнітні потоки незмінного напрямку зручно вимірювати флюксметрами.

Вимірювальна котушка повинна вільно насаджуватися на ту частину магніта чи електромагніта, через яку проходить магнітний потік, величину котрого бажано виміряти, а також вільно зніматись з неї. При вимірюванні флюксметром вимірювальна котушка обов'язково повинна мати відносно невеликий електричний опір (не більший за 5... 10 Ом).

Початкове положення вимірювальної котушки, за якого можна визначити величину потоку магніта, показано на рис. 10.1.

Для вимірювання величини магнітного потоку досить зняти вимірювальну котушку 3 з магніта 1 або подовжувача його полюса 2, як показано стрілкою.

Величина відхилення покажчика приладу від його початкового положення (а воно може бути й не нульовим!) буде пропорційна величині потокозчеплення магніта з котушкою.

Величина магнітного потоку Φ визначається з виразу:

$$\Phi = \frac{C}{W}(\alpha_2 - \alpha_1)$$

Якщо різниця показань $\alpha_2 - \alpha_1$ незначна, порівняно з загальним числом поділок шкали приладу, то для підвищення точності виміру магнітного потоку вимірювальну котушку доцільно виконати з більшим числом витків. При цьому не слід забувати застереження відносно допустимої величини опору котушки.

Переводячи вимірювання з різних початкових положень котушки (вони вказані штриховими лініями з позначками 1, 2, 3, 4), можна виміряти величини магнітних потоків на різних ділянках магнітного шляху і оцінити величини потоків розсіювання досліджуваного магніту з подовжувачами його полюсів.

Початкове положення вимірювальної котушки при визначенні магнітного потоку у повітряному проміжку електромагніта показано на рис. 10.2.

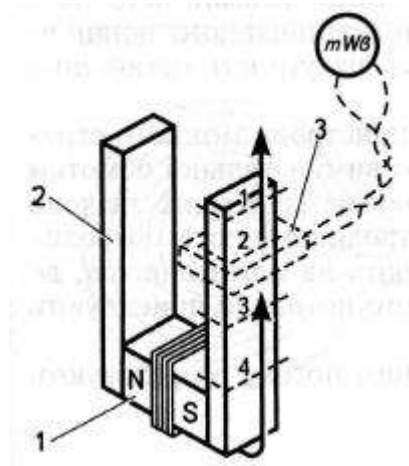


Рис. 10.1. Вимірювання величини магнітного потоку постійного магніта флюксметром

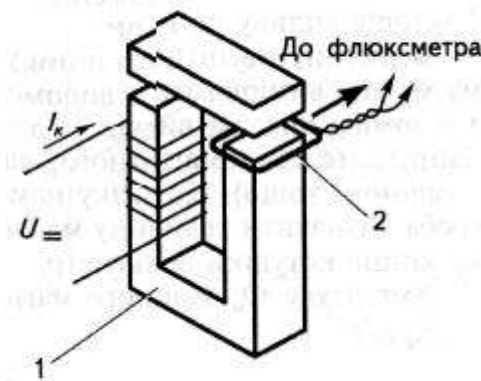


Рис. 10.2. Вимірювання величини магнітного потоку електромагніта флюксметром

Зауважимо, що достовірно з'ясувати величини незначних магнітних потоків (менших за 10 мВб) за допомогою флюксметра не вдається через недостатню чутливість цього приладу.

10.2. Типи сучасних веберметрів та теслометрів.

Для вимірювання сталого магнітного потоку індукційно-імпульсним методом використовується спеціальний прилад – веберметр, основу якого становить магнітоелектричний вимірювальний механізм. Від звичайного магнітоелектричного вимірювального механізму він відрізняється тим, що в ньому відсутні протидіючі пружинки, а струм до рухомої рамки підводиться за допомогою струмопроводів з незначним протидіючим моментом. Кут повороту α рухомої частини буде пропорційний до імпульсу ЕРС $e_X(t)$, яка наводиться у вимірювальній котушці, що підключена до рамки вимірювального механізму приладу:

$$\alpha = S_\Phi \int_0^\tau e_X(t) dt = S_\Phi w \Phi_X,$$

де S_Φ – чутливість веберметра по магнітному потоку.

Покази веберметрів пропорційні до вимірювального потоку Φ_X і практично не залежать від опору зовнішнього кола, що дає можливість градуювати шкалу приладу безпосередньо в одиницях магнітного потоку.

Розглянемо вимірювання періодично змінного магнітного потоку (рис.10.3).

В нерухомій вимірювальній котушці наводиться ЕРС $e_X(t)$, яка вимірюється за допомогою вольтметра – рис. 10.3. Якщо крива потоку симетрична відносно осі часу, то його амплітудне значення дорівнює

$$\Phi_m = \frac{E_{сеп}}{4 f w},$$

де $E_{сеп}$ – середнє випрямлене значення ЕРС $e_X(t)$, В.

Значення Φ_X визначається також за формулою

$$\Phi_m = \frac{E}{4 f w k_{\Phi_X}}$$

де E – середньоквадратичне або діюче значення ЕРС,
 k_{Φ_x} – коефіцієнт форми кривої потоку Φ_x .

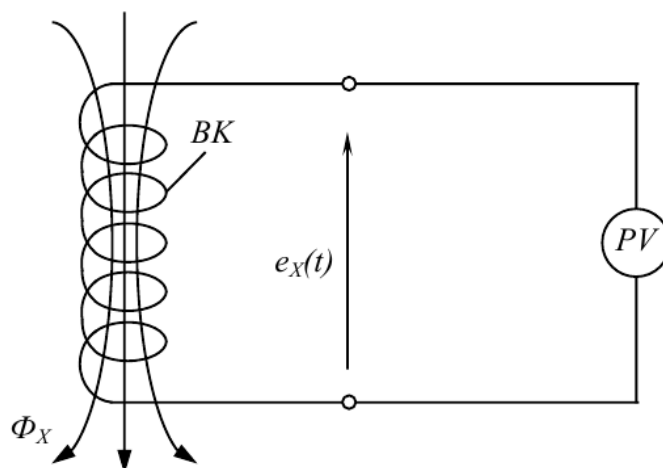


Рис.10.3. Схема вимірювання змінного магнітного потоку за допомогою вимірювальної котушки

Даною формулою користуються лише тоді, коли форма кривої потоку відома і відоме значення k_{Φ_x} , наприклад, для синусоїдної форми ($k_{\Phi_x} = 1,11$).

Загалом магнітний потік має спотворену форму кривої, яка відмінна від синусоїдної, тому то для уникнення похибки від форми кривої доцільнішим є вимірювання $E_{сер}$ вольтметром середніх значень та обчислення Φ_m за попередньою формулою.

Для вимірювання індукції магнітного поля використовуються спеціальні вимірювальні прилади – тесламетри. Перетворювачі в таких приладах – це перетворювачі Холла. На гранях перетворювачів Холла виникає ЕРС, значення якої пропорційне магнітній індукції, в подальшому ця ЕРС підсилюється вимірювальним підсилювачем і надходить для вимірювання до магнітоелектричного мілівольтметра, покази якого при сталому значенні струму градуйовані безпосередньо в одиницях магнітної індукції. Перевагами приладів з перетворювачами Холла є можливість вимірювань як у постійних, так і у змінних магнітних полях, малі габарити самого перетворювача і досить висока точність вимірювань. Недоліком є порівняно велика залежність ЕРС від температури, що вимагає спеціальної температурної компенсації.

Для вимірювання магнітної індукції та напруженості магнітного поля призначений метод амперметра та вольтметра, який є найпростішим методом визначення динамічних характеристик магнітних матеріалів, тобто характеристик у змінному магнітному полі. Вимірювання здійснюються за схемою, що наведена на рисунку 10.4.

На зразок із досліджуваного магнітного матеріалу намотують дві обмотки: намагнічувальну із кількістю витків w_1 і вимірювальну із кількістю витків w_2 . Через намагнічувальну обмотку від звукового генератора ЗГ пропускають намагнічувальний струм I , значення якого вимірюють амперметром. Вольтметром PV1 вимірюють ЕРС $e_2(t)$ вторинної обмотки. Якщо активний опір намагнічувальної котушки w_1 великий, то намагнічувальний струм I та напруженість магнітного поля H практично синусоїдні, а індукція B – несинусоїдна.

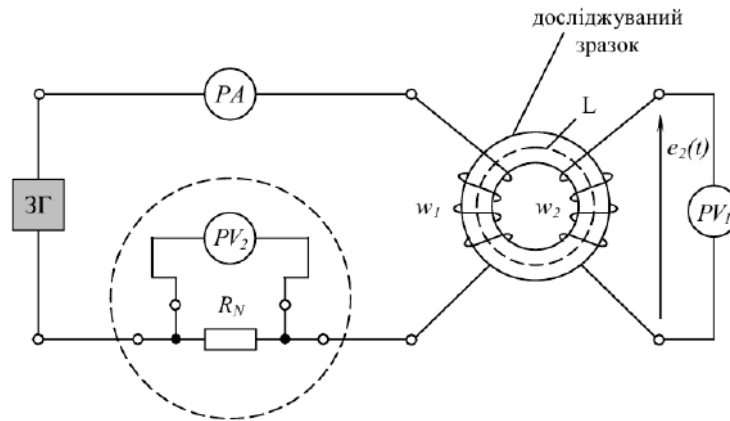


Рис. 10.4. Схема вимірювання магнітної індукції та напруженості магнітного поля за методом амперметра та вольтметра

За допомогою амперметра середньоквадратичних значень вимірюються середньоквадратичні значення намагнічувального струму I , а амплітудне значення напруженості магнітного поля H_m визначається за виразом

$$H_m = \frac{w_1 I \sqrt{2}}{L},$$

де L – довжина середньої лінії магнітного потоку в зразку із досліджуваного матеріалу, м.

Для визначення амплітудного значення B_m несинусоїдної магнітної індукції необхідно вольтметром середньовипрямлених значень виміряти середнє значення ЕРС $e_2(t)$, наведеної в обмотці w_2 , тоді

$$\Phi_m = \frac{E_{\text{сеп}}}{4f w_2 S},$$

де S – площа поперечного перерізу зразка, м^2 .

Якщо активний опір намагнічувальної обмотки малий, то практично забезпечується режим синусоїдної магнітної індукції, а напруженість магнітного поля буде несинусоїдною. У такому разі амплітудне значення H_m напруженості магнітного поля, знайдене за попереднім виразом, може істотно (на 8...10 %) відрізнятись від істинного значення максимальної напруженості.

10.3. Способи визначення магнітних характеристик матеріалів.

Визначення магнітних параметрів можна здійснити двома способами: або вимірюванням спеціалізованим засобом вимірювання, або відповідним опрацюванням інформації, що знаходиться у попередньо визначеному сімействі гістерезисних петель.

Побудова і вимірювання координат петель гістерезису полягає у вимірюванні миттєвих значень магнітної індукції і напруженості магнітного поля в зразку. Є дві групи методів визначення петель гістерезису. Для першої характерна синхронність процесів перемагнічування і вимірювання магнітної індукції та напруженості магнітного поля в неперервній чи дискретній множині точок. Інші методи характеризуються відсутністю залежності між періодом намагнічування і часом визначення петлі.

До першої групи належить індукційно-імпульсний метод та квазістатичний метод, до другої – фазочутливий: ферометричний та стробоскопічний методи. Індукційно-імпульсний метод заснований на інтегруванні імпульсів ЕРС, що виникають у вимірювальній котушці від стрибкоподібної зміни напруженості магнітного поля. Інтегрування може здійснюватись за допомогою балістичного гальванометра або веберметра.

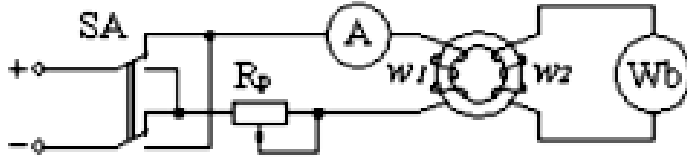


Рис. 10.5. Схема балістичної установки

У схемі балістичної установки для визначення петель гістерезису (рис.10.5), значення струму i та наведеної у вимірювальній обмотці ЕРС:

$$i(t) = l_{cp} \frac{H(t)}{w_1},$$

$$e(t) = w_2 S \frac{dB(t)}{dt}$$

а покази веберметра

$$\alpha_{wb} = \int_0^t e(t) dt = w_2 S B(t).$$

Квазістатичний метод є різновидом індукційно-імпульсного, коли замість балістичного гальванометра використовується електронна інтегрувальна ланка (рис. 10.6) і здійснюється неперервна зміна напруженості магнітного поля.

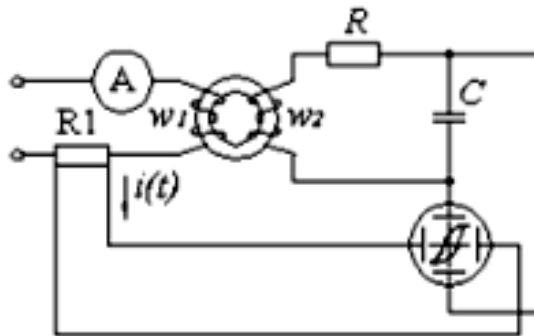


Рис. 10.6. Схема визначення характеристик осцилографічним способом

Для дослідження магнітних матеріалів у змінних магнітних полях широко використовують ферометри – прилади з фазочутливим перетворювачем, призначеним для вимірювань миттєвих значень інтеграла від періодичного вхідного сигналу. Вимірювання питомих магнітних втрат здійснюють калориметрами, ватметрами, мостами змінного струму, компенсаторами. Калориметричний метод оснований на вимірюванні теплоти, що розсіюється дослідним зразком в усталеному тепловому режимі.

Тема 11. Методи та засоби вимірювання неелектричних величин

11.1. Загальні питання вимірювання неелектричних величин електричними засобами

Про кількість та фізичну різноманітність неелектричних величин можна зробити висновок хоча б з Міжнародної системи одиниць, яка містить серед 7 основних величин 6 неелектричних (довжина, маса, час, термодинамічна температура, кількість речовини та сила світла), дві додаткові (плоский кут та тілесний кут), а також близько 150 похідних одиниць неелектричних величин.

Сьогодні доводиться вимірювати сотні неелектричних величин, зокрема параметрів технологічних процесів. Це:

- величини, що характеризують простір та час (розміри, параметри руху);
- механічні величини (маса та сила, а також величини, які характеризують їх прояв у просторі та часі: момент сили, тиск, механічні напруження тощо);
- теплові величини, які характеризують тепловий стан тіл, їх зміну в просторі та часі (наприклад, температура, кількість теплоти, теплопровідність);
- світлотехнічні та енергетичні характеристики світла (сила світла, світловий потік, яскравість та відповідно енергетична сила світла, потужність випромінювання, енергетична яскравість);
- акустичні величини, тобто величини, що характеризують різні сторони хвильового руху в пружних середовищах - звуковий тиск, гучність звуку, акустичний шум тощо;
- величини фізичної хімії, що характеризують фізично-хімічні властивості речовин, зокрема, хімічний склад, густину розчину, масову чи молярну концентрацію, активність (концентрацію) іонів водню;
- величини, що характеризують іонізуюче випромінювання.

Питома вага вимірювань тих чи інших фізичних величин дуже різна. За даними, що наводяться в літературі, обсяг вимірювань різних неелектричних величин в окремих галузях техніки у відсотках до загальної кількості вимірювань, що проводяться у цій галузі, становить наближено:

в машинобудуванні та приладобудуванні: геометричні розміри - 30, час - 18, температура - 10, кількість речовини - 8, витрати - 7, рівень - 7, тиск - 6, хімічний склад - 4, інші величини - 10 відсотків;

в хімічній промисловості: температура - 50, витрати - 15, тиск - 10, рівень - 6, маса - 5, хімічний склад - 2, вологість - 2, інші величини - 10 відсотків;

в теплоенергетиці: температура - 33, тиск - 33, витрати - 14, рівень - 7, концентрація іонів водню - 3, хімічний склад - 2, інші величини - 8 відсотків;

в ядерній енергетиці: температура - 35, тиск - 33, рівень - 12, витрати - 8, різниця тисків - 4, хімічний склад - 2, інші величини - 6 відсотків.

В середньому в різних галузях промисловості відзначається приблизно така частка вимірювань різних фізичних величин: температура - 50, витрати (масові та об'ємні) - 15, тиск - 10, рівень - 5, маса - 5, електричні та магнітні величини - 4, інші - 11%.

Велика кількість вимірюваних неелектричних величин, розкиданість досліджуваних об'єктів у просторі, необхідність автоматизації управління при централізованому отриманні вимірювальної інформації, обробка останньої та вироблення сигналів для зворотної дії на об'єкт дослідження зумовлюють

використання переважно електричних методів вимірювань неелектричних величин, оскільки електричні сигнали найпридатніші як для вимірювань, так і для обробки та передачі на відстані.

Вимірювання неелектричних величин електричними вимірювальними засобами стає можливим внаслідок попереднього перетворення досліджуваних неелектричних величин у функціонально зв'язані з ними електричні величини за допомогою відповідних вимірювальних перетворювачів. Отже, для вимірювання неелектричних величин електричними методами передбачається наявність первинного вимірювального перетворювача неелектричної величини в електричну, вторинного електричного вимірювального приладу, а також пристроїв їх спряження (ліній зв'язку, вимірювальних підсилювачів, пристроїв гальванічної розв'язки вимірювальних кіл, пристроїв корекції похибок) тощо.

Всі методи вимірювань неелектричних величин можна розділити на контактні та безконтактні. При контактних методах вимірювань первинний перетворювач безпосередньо контактує з досліджуваним об'єктом. Ці методи порівняно нескладні у реалізації і забезпечують високу чутливість, а також можливість локалізації точки вимірювання в цьому місці технологічного процесу, яке, наприклад, є найінформативнішим. Необхідно, однак, відзначити, що при контактному методі спостерігається зворотна дія вимірювального перетворювача на параметри досліджуваного об'єкта, що може призвести до значних неточностей результату вимірювань. Крім цього, іноді є неможливим здійснити безпосередній контакт вимірювального перетворювача з досліджуваним об'єктом.

При безконтактних вимірюваннях первинний перетворювач безпосередньо не контактує з досліджуваним об'єктом і не впливає на його параметри. Однак на результати вимірювань у цьому випадку значно впливає довкілля, яке відділяє досліджуваний об'єкт від первинного перетворювача.

Незалежно від того, контактний чи безконтактний метод вимірювань використовують для вимірювань неелектричних величин, як вже відзначалося, перевага надається саме електричним вимірюванням неелектричних величин, до основних переваг яких належать:

- універсальність, яка полягає в можливості вимірювань декількох чи навіть великої кількості неелектричних величин (при використанні відповідних первинних вимірювальних перетворювачів та комутатора) за допомогою одного електричного вимірювального засобу;

- простота автоматизації вимірювань внаслідок того, що в електричних колах можуть виконувати логічні та цифрові операції;

- можливість забезпечення високої чутливості, необхідної точності та швидкодії, обумовлена гнучкістю їх структур та простотою підсилення електричних сигналів;

- дистанційність, що полягає в можливості вимірювань параметрів досліджуваних об'єктів практично на будь-якій від них відстані завдяки можливості передачі електричних сигналів через проводи лінії зв'язку чи через випромінювання електромагнітних хвиль.

Особливості вимірювань неелектричних величин електричними засобами зумовлюють не лише переваги таких вимірювань. Їм властиві також певні недоліки. Серед них - похибки первинних перетворювачів, пов'язані з

проблемами перетворення одного виду енергії (неелектричної) в інший (електричну). Серед них, насамперед, похибки не-відтворюваності та нестабільності функції перетворення первинного перетворювача, її нелінійність. Треба мати на увазі, що серед всіх решти похибок вимірювального тракту похибки первинних перетворювачів домінують.

Реалізація такої переваги електричних засобів, як дистанційність, тобто віддаленість первинного перетворювача від вторинної вимірювальної апаратури, супроводжується похибками лінії зв'язку, головною з яких є вплив опору лінії та його зміна під впливом зовнішніх чинників, що впливає на передачу вихідних сигналів первинного перетворювача як прямо, змінюючи сумарний опір вимірювального кола, так і непрямо, зменшуючи завадостійкість тракту перетворення. Остання обставина особливо ускладнює перетворення сигналів низького рівня, якими є переважна більшість вихідних сигналів генераторних первинних перетворювачів неелектричних величин в електричні.

Точність перетворення електричних сигналів низького рівня обмежується також наявністю внутрішніх завад, що виникають у вимірювальних колах внаслідок різноманітних паразитних контактних термо-ЕРС та шумів (зокрема, інфранизькочастотних) підсилювальних пристроїв, необхідних для збільшення рівня вихідних сигналів первинних перетворювачів до значень, достатніх для забезпечення необхідної точності вимірювання. Під час роботи з параметричними перетворювачами, які вимагають для отримання вимірювальної інформації додаткових джерел електричної енергії, можна, використовуючи ці джерела енергії, суттєво збільшити вихідні електричні сигнали первинних перетворювачів і ослабити вплив зовнішніх чинників на результати вимірювань.

Електричні методи вимірювання неелектричних величин

При метрологічних роботах і технологічних вимірюваннях параметрів широко використовуються електричні методи вимірювань неелектричних величин: температури, рівня, тиску, витрат, різних показників якості готової продукції і сировини. Це пов'язано з тим, що у більшості випадків технологічні лінії виготовлення продукції мають досить велику протяжність, і здійснювати одночасний контроль основних параметрів просто неможливо. Тому вимірювані технологічні параметри перетворюють в електричні величини-сигнали, які можна передавати на значні відстані. Перетворення неелектричних величин в електричні дозволяє спростити сам процес вимірювання, підвищити його точність і навіть виміряти величини, які раніше ніколи не вимірювалися. Перетворення неелектричних величин в електричні сигнали проводиться за допомогою вимірювальних перетворювачів. Лінійні переміщення, деформації чутливих елементів, перетворені в електричні сигнали, передаються на значну відстань і за допомогою відтворюючих засобів перетворюються у вимірювану величину.

Для вимірювання неелектричних величин досить широко використовуються такі електричні методи, як тензоелектричні, індукційні, фотоелектричні, п'єзоелектричні та ін.

Тензометричний метод ґрунтується на використанні тензорезисторів, які змінюють свій опір під дією деформацій механічних чутливих елементів

(наприклад, мембран). Сучасні тензорезистори, які використовуються у засобах вимірювання тиску типу "Сапфір-22", виготовляються методом плазмового напилювання і забезпечують одержання результатів вимірювань тиску з досить високою точністю. Тензорезистори розміщуються на спеціальних сапфірній та металевій мембранах і від'єднуються до мостової схеми струмового перетворювача з уніфікованими сигналами 0-5; 0-20; 4-20 тА.

Вимірювальні перетворювачі "Сапфір-22" забезпечують вимірювання тисків до 100 МПа, розрідження - до 10^{-5} МПа, різниці тисків - від 2,5 Па до 16 МПа при класах точності 0,1; 0,25; 0,5.

Основними перевагами перетворювачів "Сапфір-22" є використання незначних деформацій чутливих елементів, що підвищує їх надійність, стабільність лінійних характеристик, а також забезпечує вібростійкість.

П'єзоелектричний метод ґрунтується на використанні властивостей деяких кристалічних матеріалів утворювати електричні заряди на їх поверхні під дією прикладеної сили. Це явище називається п'єзоефектом. Найчастіше для первинного перетворювача використовується монокристал кварцу, що пояснюється такими його перевагами перед іншими матеріалами, як механічна міцність, високі ізоляційні якості, незалежність п'єзоелектричних властивостей від температури у широкому діапазоні (20 400 °С) та негігроскопічність. Карцеві пластини вирізаються перпендикулярно до електричної осі монокристалу кварцу. Під дією тиску p на електричних гранях пластини виникають електричні заряди

П'єзоелектричний перетворювач під'єднується до електронного підсилювача постійного струму. Величина сигналу: $U_c = Q/C$, де C - загальна ємність вимірювальної ланки.

Завдяки "стіканню" заряду п'єзоелектричні перетворювачі використовуються для вимірювання динамічних навантажень, тисків, вібрацій. Вони надзвичайно жорсткі, мають високу частоту власних коливань та незначні деформації. Крім того, вони дуже малі за розмірами. Недоліком п'єзоелектричних перетворювачів є їх високий електричний опір і неможливість використання для статичних вимірювань через "стікання" електричного заряду пластин. Верхня межа вимірювання тиску таких приладів сягає 100 МПа, а за рахунок збільшення площі пластин (при паралельному їх включенні) чутливість перетворювачів можна значно підвищити і заміряти тиски, нижчі за 1 Па.

Ємнісний метод ґрунтується на зміні ємності датчика за рахунок діелектричних властивостей самого середовища. Цей метод можна використовувати при вимірюванні рівня, густини, вологості та інших технологічних параметрів, використовуючи при цьому відому формулу площинного конденсатора:

$$C = \epsilon S / l,$$

де ϵ - діелектрична проникність;

S - площа пластин;

l - відстань між пластинами.

При вимірюванні рівня або вологості між пластинами конденсатора використовується діелектрик, діелектрична проникливість якого значно вища за діелектричну проникливість повітря, це й зумовлює зміну ємності залежно від висоти заповнення діелектриком простору між обкладками конденсатора.

Вологість речовини визначається за рахунок наявної вологи у матеріалі - чим більше вологи, тим вища ємність.

Крім того слід зауважити, що ємнісні засоби вимірювань успішно використовуються у вибухонебезпечних виробництвах.

Поряд з описаними методами широко застосовуються індукційні, омичні, термоелектричні та інші методи вимірювання неелектричних величин.

11.2. Методи та засоби вимірювання тиску

Вимірювання тиску. Загальна класифікація

Тиском називають відношення сили, що діє перпендикулярно поверхні, до площі цієї поверхні. Тиском багато в чому визначається хід технологічного процесу, стан технологічних апаратів і режими їхнього функціонування. Із завданням вимірювання тиску доводиться зіштовхуватися при вимірюваннях деяких технологічних параметрів, наприклад витрати газу або пари, при термодинамічних параметрах, що змінюються, рівня рідини, і ін.

Розрізняють наступні основні види тиску: атмосферний, абсолютний, надлишковий і вакуум (розрідження).

Абсолютний тиск P_a середовища може бути більше або менше атмосферного. У першому випадку абсолютний тиск дорівнює сумі атмосферного і надлишкового тисків:

$$P_a = P_0 + P$$

У другому випадку абсолютний тиск менше атмосферного на величину вакуум метричного тиску, тобто

$$P_a = P_0 - P$$

В окремому випадку, коли P або P_v дорівнює нулю, абсолютний тиск дорівнює атмосферному.

Вакуум (розрідження) (P_v) - різниця між барометричним і абсолютним тисками. Іноді вакуумметричний тиск виражають у вигляді відносної величини V у відсотках атмосферного тиску:

$$V = \frac{P_0}{P_a} * 100$$

Статичний тиск (P_c) потоку може бути надлишковим або вакуумметричним, в окремому випадку він може бути дорівнювати атмосферному.

Повний тиск середовища, що рухається (P_{Π}) складається зі статичного (P_c) і динамічного (P_d) тисків,

$$P_{\Pi} = P_c + P_d$$

Динамічний тиск (P_d) (Па), що залежить від швидкості потоку (швидкісний напір) для рідини, а також для газу і пари при помірних швидкостях визначається по формулі

$$P_d = \frac{v^2 * \rho}{2} \quad (5)$$

де v – швидкість руху речовини, м/с;

ρ – густина речовини, кг/м³.

У Міжнародній системі одиниць (SI) за одиницю тиску прийнятий паскаль (Па) – тиск, створюваний силою в 1 ньютон (Н), рівномірно розподіленою по поверхні площею 1 м^2 і спрямованою нормально до неї.

Несистемна одиниця тиску (1 кгс/см^2) дорівнює тиску на площу 1 см^2 сили в 1 кгс, де 1 кгс – сила, що надає масі в 1 кг нормальне прискорення вільного падіння в $9,81 \text{ м/с}^2$. Одиниця тиску системи МКГСС (метр, кілограм-сила, секунда) дорівнює 1 кгс/м^2 .

У рідинних приладах з водяним або ртутним заповненням скляних трубок вимірювання тиску виконується в міліметрах водяного або ртутного стовпа (мм.вод.ст. або мм.рт.ст.). Значення, обмірювані в цих одиницях, звичайно відносять до нормального прискорення вільного падіння тіл і нормальній температурі, рівної для води 4°C і ртуті 0°C . Неважко встановити, що тиск в 1 мм.вод.ст. дорівнює тиску в 1 кгс/м^2 .

Несистемна одиниця тиску – бар, дорівнює тиску $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ або $1,01972 \text{ кгс/см}^2$. Ця одиниця зручна в тім відношенні, що числа, що виражають тиск у барах і кгс/см^2 , відрізняються між собою не більше ніж на 2%.

Через те що зазначені одиниці – кгс/см^2 , мм.вод.ст., мм.рт.ст. і бар – у цей час мають поширення, вони тимчасово допускаються до застосування поряд з одиницями системи SI.

Засоби вимірювання тиску класифікують по виду вимірювального тиску і принципу дії. По виду вимірювального тиску засоби вимірювання підрозділяють на:

- манометри надлишкового тиску – для вимірювання надлишкового тиску;
- манометри абсолютного тиску - для вимірювання тиску, відліченого від абсолютного нуля;
- барометри - для вимірювання атмосферного тиску. Барометри розділяються на ртутні і мембранні;
- вакуумметри - для вимірювання вакууму (розрідження);
- мановакуумметри - для вимірювання надлишкового тиску і вакууму (розрідження).

Крім перелічених засобів вимірювання у практиці вимірювання одержали поширення:

- напороміри - манометри рисих надлишкових тисків (до 40 кПа);
- тягоміри - вакуумметри з верхньою межею вимірювання не більше - 40 кПа ;
- тягонапороміри - мановакуумметри з діапазоном вимірювання $+20 \dots -20 \text{ кПа}$;
- вакуумметри залишкового тиску - вакуумметри, призначені для вимірювання глибокого вакууму або залишкового тиску, тобто абсолютних тисків менш 200 Па ;
- диференційні манометри - прилади вимірювання різниці тисків.

За принципом дії засоби вимірювання тиску підрозділяють на: рідинні, поршневі, деформаційні (пружинні), іонізаційні, теплові, електричні. Така кваліфікація не є вичерпною і може бути доповнена засобами вимірювання, заснованими на інших фізичних явищах.

Найбільша кількість приладів, які застосовуються для вимірювання тиску, є манометрами надлишкового тиску. У цей час існує великий парк приладів

вимірювання тиску, що дозволяє здійснити вимірювання тиску в діапазоні $10^{-12} \dots 10^{11}$ Па.

Далі розглянуті прилади вимірювання тиску, широко застосовувані в якості робочих при технологічних вимірюваннях.

Будова та принцип дії рідинних та пружинних приладів **Рідинні засоби вимірювання тиску**

Для рідинних манометрів величиною, що характеризує вимірювальний тиск, служить видима висота стовпа (рівень) рідини, який врівноважується, у скляній вимірювальній трубці. До приладів цього виду відносяться однотрубні (чашкові) і двотрубні (U-подібні) манометри. До числа рідинних засобів вимірювання тиску (різниці тисків і розрідження) з гідростатичним зрівноважуванням, які ще застосовуються у технологічних процесах, відносяться поплавкові і колокольні дифманометри.

Рідинні манометри є досить простими і точними приладами, що служать для визначення невеликих надлишкових тисків, що не перевищують 0,2 МПа. Вони широко застосовуються при дослідницьких і налагоджувальних роботах. У цих манометрах у якості врівноважувальної рідини використовують ртуть, дистильовану воду або етиловий спирт.

У цей час номенклатура рідинних засобів вимірювання тиску з гідростатичним зрівноважуванням істотно обмежена. У більшості випадків вони замінені більше удосконаленими деформаційними засобами вимірювання.

Двотрубні манометри. Найбільше часто застосовується двотрубний манометр (рис.11.1), що складається зі скляних вимірювальних трубок 1 і 2, з'єднаних унизу і закріплених на вертикальній підставі 3. Між трубками поміщена міліметрова шкала 4 з нульовою оцінкою посередині. Вимірювальні трубки заповнюються рідиною, що врівноважує, до нульової відмітки шкали. Трубка 1 з'єднана гумовою трубкою 5 з вимірювальним середовищем, яке перебуває під абсолютним тиском P_a , а трубка 2 – з атмосферою, яка має тиск P_b . Як правило, трубка 1, зв'язана із середовищем більшого тиску, позначається знаком “+” (плюсова трубка), а трубка 2, зв'язана із середовищем меншого тиску, позначається знаком “-” (мінусова трубка).

При включенні манометра вимірювальний тиск врівноважується стовпом рідини висотою h , який відлічується по шкалі приладу.

Внаслідок того, що рівень рідини в трубці 1 понизиться, а в трубці 2 відповідно зросте, то загальна висота стовпа h буде дорівнювати сумі поділок, позначених на шкалі вище і нижче нульової поділки.

Якщо рідиною, що врівноважує, служить вода або спирт, то відлік показань проводиться за нижньою границею меніска, а якщо ртуть - то за верхньою. Тоді тиск визначається як:

$$P = \rho g h$$

Таким чином, при вимірюванні надлишкового тиску висота стовпа рідини, що врівноважує, не залежить від площі отвору вимірювальних трубок.

З рівняння видно, що є обмеження висоти трубок манометра, обумовлена міцністю і зручністю відліку, вона не повинна перевищувати 1,5 м, при вимірюванні надлишкових тисків 0,015...0,2 МПа варто застосовувати рідину,

що врівноважує, з великою густиною (ртуть), а при більшє низьких тисках - з малою (вода, спирт і ін.).

Випускаються двотрубні манометри з діапазоном показів 100, 160, 250, 400, 600 і 1000 мм стовпа рідини.

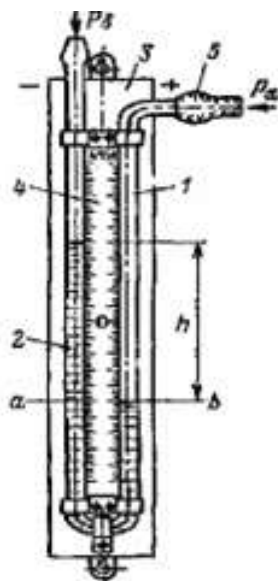


Рис. 11.1. – Двотрубний манометр

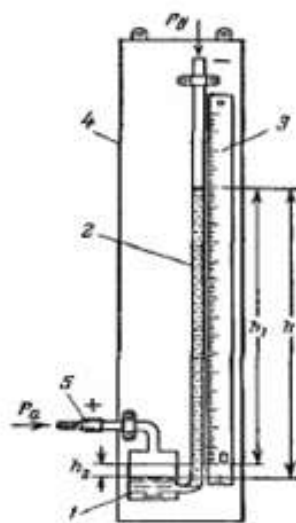


Рис. 11.2. Однотрубний манометр

При вимірюванні тиску двотрубним манометром представляє незручність відлік рівнів рідини одночасно в обох вимірювальних трубках. При значних коливаннях вимірювального тиску це утрудняє точне визначення показань приладу. У таких випадках для зменшення коливань рівнів рідини застосовують місцеве звуження перетину сполучної лінії.

Однотрубні манометри. На рис.11.2 показана схема однотрубного манометра, що відрізняється від двотрубного тим, що замість другої вимірювальної трубки має широку посудину (чашку) 1. До нижньої частини посудини приєднана скляна вимірювальна трубка 2, поруч із якої закріплена міліметрова шкала 3. Прилад змонтований на вертикальній підставці 4. Посудина манометра контактує з вимірювальним середовищем трубою 5. Вільний кінець вимірювальної трубки з'єднаний з атмосферою. Посудина і вимірювальна трубка заповнюються рідиною, що врівноважує, до нульової поділки шкали. У більшості випадків зниження рівня рідини в посудині, тобто h_2 (див. рис. 11.2), можна знехтувати і вважати $h \approx h_1$. Тоді

$$P = h_1 \rho g$$

Похибка вимірювання однотрубним манометром більша, ніж двотрубним, зате більшою зручністю першого з них є вимірювання рівня рідини в одній трубці.

Мікроманометри. Розглянуті вище рідинні манометри непридатні для вимірювання невеликих тисків, рівних одиницям або десяткам міліметрів висоти стовпа рідини, що врівноважує, тому що при цьому похибка стає досить значною. Так, наприклад, при вимірюванні стовпа висотою 10 мм і можливій помилці у відліку показань неозброєним оком в 1 мм відносна похибка складе 10%, що неприпустимо.

Для точних вимірювань невеликих тисків газу (повітря) знаходить застосування широкий за інтервалом вимірювання рідинний мікроманометр із похилою трубкою. Цей прилад (рис.11.3) має широку металеву посудину 1, яка з'єднана гнучкою трубкою з вимірювальною скляною трубкою 2, закріпленою на міліметровій шкалі 3. Посудина контактує з вимірювальним середовищем гумовою трубкою 4. Установка рівня рідини на нульову поділку шкали проводиться гвинтом коректора 5, що переміщає в посудині поршень 6. За допомогою дугоподібної стійки 7 з отворами шкала з вимірювальною трубкою може бути закріплена під п'ятьма кутами нахилу до горизонталі. Прилад змонтований на трикутній плиті 8, постаченої для правильної установки двома гвинтовими ніжками 9 і двома взаємно перпендикулярними рівнями 10. Застосування похилої скляної трубки дозволяє, зменшивши кут α при тій же висоті стовпа рідини, збільшити його довжину, що підвищує точність відліку.

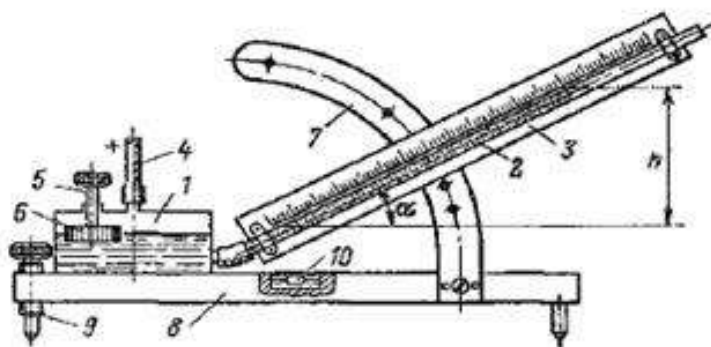


Рис.11.3. Будова мікроманометра

Визначення тиску P (Па) за допомогою мікроманометра проводиться за формулою

$$P = 0,001 l \rho g \sin \alpha,$$

де l – довжина стовпа рідини, відлічуваної по шкалі приладу, мм.

Рідиною, що врівноважує, для мікроманометра служить етиловий спирт. Діапазон показань залежно від кута нахилу трубки при нормальному прискоренні вільного падіння тіл ($9,81 \text{ м/с}^2$) становить 600, 900, 1200, 1800 і 2400 Па. Клас точності мікроманометра 1. Прилад випускається на робочий тиск середовища 0,01 МПа.

На точність вимірювання тиску за допомогою рідинних манометрів впливають правильність установки приладу, відліку висоти стовпа і визначення густини рідини, що врівноважує.

Щоб уникнути перекручування результатів вимірювання, рідинні манометри закріплюються у вертикальному положенні по рівню в місцях, не підданих вібрації і нагріванню, і які перебувають поблизу місця відбору тиску.

Якщо манометр установлений вище або нижче місця відбору тиску, а сполучна лінія і простір над рідиною в плюсовій вимірювальній трубці або посудині заповнені іншою, більше легкою рідиною (наприклад, водою при вимірюванні ртутним манометром тиску води або пари), необхідно до показань приладу вводити поправку, що враховує тиск, який створюється стовпом цієї рідини.

Абсолютна похибка вимірювання, що залежить від правильності відліку висоти стовпа рідини неозброєним оком, звичайно становить $\pm(0,5...1)$ мм. Застосування оптичних пристосувань (візуалізаторів) помітно зменшує цю похибку.

Деформаційні прилади для вимірювання тиску

Висока точність, простота конструкції, надійність і низька вартість є основними факторами, що обумовлюють широке розповсюдження деформаційних приладів для вимірювання тиску в промисловості і наукових дослідженнях.

Досить розповсюдженим видом деформаційних приладів, які використовуються для визначення надлишкового тиску, є трубчато-пружинні манометри, що відіграють винятково важливу роль у технічних вимірюваннях. Ці манометри виготовляються з одновитковою трубчастою пружиною, що представляє собою вигнуту по окружності металеву пружну трубку овального перетину. Під дією вимірювального тиску усередині трубки вона частково розкручується внаслідок деформації її перетину, що прагне прийняти форму кола.

Вимірювальні прилади з одновитковою трубчастою пружиною призначені для вимірювання надлишкового тиску і розрідження неагресивних рідких і газоподібних середовищ.

Прилади цього типу випускаються тільки показуючими у звичайному, вібростійкому, антикорозійному, вогне- і вибухозахищеному виконаннях.

Однією з основних характеристик деформаційного чутливого елемента зазначених приладів є залежність переміщення δ робочої точки від діючого тиску P або різниці тисків. Ця характеристика $\delta=f(P)$, яка називається статичною, може бути лінійною або нелінійною. Хід статичної характеристики в межах пружної деформації неоднозначний і утворює петлю гістерезису. Значення гістерезису визначає систематичну похибку деформаційних засобів вимірювання.

Крім відзначеного недоліку чутливі елементи мають властивість пружної післядії, суть якого полягає в тому, що після припинення зміни тиску деформація продовжує зменшуватися, асимптотично наближаючись до граничного значення. Поряд із пружною післядією при експлуатації чутливих елементів має місце залишкова деформація, яка полягає в тому, що після зняття тиску чутливий елемент не повертається у вихідне положення. При багаторазових вимірюваннях залишкова деформація накопичується, що приводить до значних похибок.

Викладені особливості деформаційних чутливих елементів пояснюють той факт, що для технічних манометрів верхня межа вимірювання обмежується половиною тиску, що відповідає межі пропорційності статичної характеристики, у той час як для зразкових приладів межа вимірювання обмежується четвертою частиною тиску, що відповідає межі пропорційності.

Для передачі переміщення вільного кінця деформаційного чутливого елемента до показчика манометра приєднані секторні і важільні передавальні механізми. За допомогою передавального механізму переміщення вільного кінця трубчастої пружини в кілька градусів або міліметрів перетворюється в кутове переміщення стрілки на $270\text{--}300^\circ$.

Важільний передавальний механізм застосовується в тих випадках, коли від манометра не потрібна висока точність вимірювання і він піддається вібрації. Секторний передавальний механізм застосовується в зразкових приладах і в приладах, де за умовами експлуатації виключена вібрація.

На рис.11.4 показана конструкція манометра із секторним передавальним механізмом. Прилад складається із трубчастої пружини 5, один кінець якої

впаяний в отвір утримувача 1, а інший (рухливий) кінець наглухо запаяний і несе на собі наконечник 10. Порожнина пружини пов'язана з вимірювальним середовищем через канал у утримувачі 1, об'єднаному з радіальним штуцером 14. Утримувач приладу оснащений платою 2, на якій монтується трибно-секторний механізм. Останній включає зубчасте колесо (трибку) 8 і зубчастий сектор 9. Для виключення люфту в передавальному механізмі використовується спіральна пружина 7, один кінець якої за допомогою штифта кріпиться на осі трибки, а інший - до колонки 6, укріпленої на платі 2. До хвостовика сектора 9 за допомогою гвинта 12 кріпиться тяга 11. За допомогою тяги переміщення кінця пружини передається зубчастому сектору, що має вісь обертання 13.

Обертання зубчастого сектора передається на трибку, на осі якої насаджена стрілка 4 для відліку показань на шкалі 3. Шкала манометра рівномірна, тому що переміщення вільного кінця пружини пропорційно вимірювальному тиску. Регулювання ходу стрілки проводиться гвинтом 12.

Вакуумметр із одновитковою трубчастою пружиною конструктивно ідентичний розглянутому манометру. Відмінність складається тільки в шкалі і напрямку переміщення стрілки. У вакуумметрах переміщення стрілки може відбуватися як по годинній стрілці, так і проти. Відмінною рисою манометра є шкала, що виконується з нулем у середній частині.

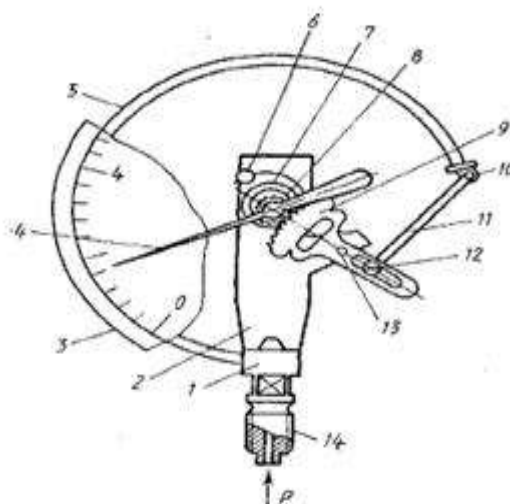


Рис. 11.4.Будова манометра з одновитковою трубчастою пружиною

Шкала, розташована ліворуч від нуля, служить для вимірювання вакууму, а шкала, розташована праворуч, - для вимірювання надлишкового тиску.

Діапазони вимірювання манометрів від $0 \dots 0,1$ МПа до $0 \dots 10^3$ МПа; вакуумметрів— від $-0,1$ до 0 МПа. Класи точності приладів: $0,4(0,5)$; $0,6$; $1,0$; $1,5(1,6)$; $2,5$; $4,0$.

Поряд з розглянутими приладами, оснащеними однаковою трубчастою пружиною, у практиці вимірювання тиску і розрідження одержали широке поширення манометри і вакуумметри, оснащеними електроконтактними пристроями, що сигналізують. Ці засоби вимірювання тиску одержали назву електроконтактних. Клас точності електроконтактних манометрів і вакуумметрів $1,5$. Похибка спрацювання пристрою, що сигналізує, $\pm 2,5\%$.

Загальний вигляд манометра-сигналізатора електроконтактного типу показаний на рис. 11.5. Прилад містить вказівну стрілку 1, сигнальні (мінімального і максимального тиску) стрілки 2 і 3, які установлюються на задані

значення тисків за допомогою ключа, і коробки 4 із затискачами для приєднання до приладу ланцюга сигналізації. Механізм манометра вмонтований у корпус 5. Прилад контактує з вимірювальним середовищем через штуцер 6. При досягненні кожного із заданих граничних тисків контакт, пов'язаний із вказівною стрілкою, стикається з контактом, розташованим на відповідній сигнальній стрілці, і замикає ланцюг сигналізації. Зазначені манометри придатні для вимірювання тисків, що плавно змінюються. Контактний пристрій їх живиться від мережі постійного або змінного струму, напругою 220 В. Розривна потужність контактів 10 В·А.

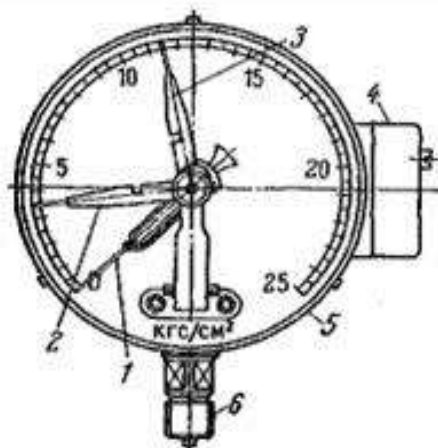


Рис. 11.5. – Манометр-сигналізатор

Вимірювальні прилади із сильфоним чутливим елементом

Прилади цього типу призначені для вимірювання надлишкового тиску, розрідження і різниці тисків. Їх виконують показуючими і самописними. Схема самописного сильфонного манометра показана на рис.11.6. Вимірювальний тиск через штуцер 11 подається в камеру 10, де розташований деформаційний чутливий елемент – сильфон 9. Для збільшення твердості сильфона всередині нього розташована гвинтова пружина 8. Під дією тиску сильфон деформується і дно його піднімає шток 7, жорстко з'єднаного із двоплечим важелем 6, останній через систему важелів 5, 4, 3 повертає вісь 12 і укріплений на ній П-подібний важіль 2. До П-подібного важеля прикріплена стрілка 1 з пером. Запис вимірювального тиску виконується на дисковій діаграмі, привод якої здійснюється за допомогою синхронного двигуна або годинного механізму. Верхня межа вимірювання сильфонних приладів обмежений тисками 0,025...0,4 МПа. Класи точності сильфонних манометрів надлишкового тиску, вакуумметрів і мановакуумметрів: 1,5; 2,5.

Для вимірювання різниці тисків і витрати рідких і газоподібних середовищ широке застосування одержали сильфонні дифманометри. Граничні номінальні перепади тисків становлять 0,0063...0,25 МПа. Граничний припустимий робочий надлишковий тиск: 6,3; 16 і 32 МПа.

Класи точності сильфонних показуючих і самописних дифманометрів 1,0 і 1,5.

Зразкові манометри типу МО (рис. 11.7) застосовуються для перевірки промислових манометрів, а також для виконання точного вимірювання тиску в лабораторних установках. Прилади мають трубчасту пружину і зубчасто-секторний передавальний механізм, розташовані в металевому корпусі

діаметром 160 або 250 мм. У зразкових манометрах застосовується пружина високої якості і ретельно виконаний передавальний механізм.

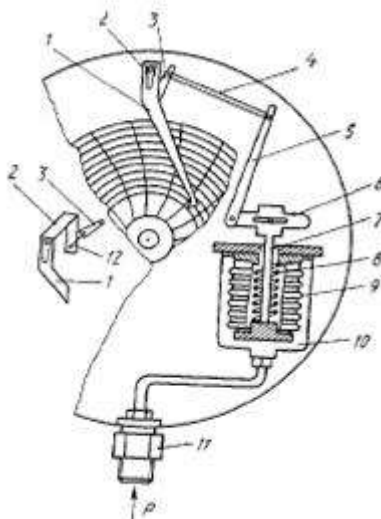


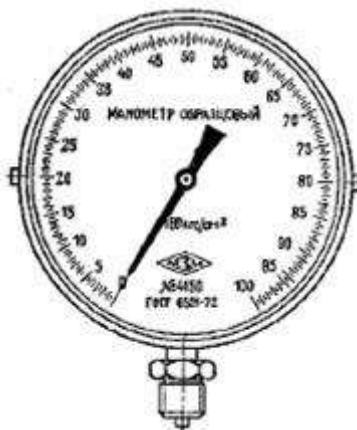
Рис 11.6. – Схема самописного сильфонного манометра

Прилади випускаються з кінцевим значенням шкали 1...600 кгс/см². Шкала має 100 умовних розподілів із числовими оцінками через кожні 5 розподілів. Для перерахування умовних розподілів у кгс/см² зразкові манометри забезпечуються перевідною таблицею або графіком.

Кінцеве значення тиску вказується на циферблаті приладу. Клас точності манометрів діаметром 250 мм - 0,16 і 0,25, а діаметром 160 мм – 0,4. Користування приладами допускається при температурі навколишнього повітря 10...35°C і відносної вологості до 80%.

Вимірювальні прилади з мембранним чутливим елементом

Ці прилади призначені для вимірювання атмосферного і надлишкового тисків і розрідження. Через малість зусиль, що розвиваються деформаційним чутливим елементом, мембранні прилади випускаються в основному показуючими. Принцип дії приладів складається в перетворенні вимірювального тиску або розрідження в переміщення твердого центра мембранного чутливого елемента, що за допомогою передатного трибко-секторного механізму перетворюється в обертний рух покажчика. Максимальний діапазон вимірювання мембранних манометрів 0...2,5 МПа, вакуумметрів – від -0,1 до 0 МПа. Класи точності приладів 1,5 і 2,5. Крім розглянутих приладів випускаються мембранні тягоміри, напороміри і тягонапороміри класів точності 1,5; 2,5.



Деформаційні вимірювальні перетворювачі тиску прямого перетворення

Вимірювальні перетворювачі тиску, які випускаються у даний час, засновані на методі прямого перетворення, розрізняються як видом деформаційного чутливого елемента, так і способом перетворення його переміщення або зусилля, яке розвивається ним, у сигнал вимірювальної інформації. Для перетворення переміщення чутливого елемента в сигнали вимірювальної інформації широко застосовуються індуктивні, диференційно-трансформаторні, ємнісні, тензорезисторні і інші перетворювальні елементи. Перетворення зусилля, яке розвивається чутливим елементом, у сигнали вимірювальної інформації здійснюється п'єзoeлектричними перетворювальними елементами.

Індуктивні вимірювальні перетворювачі тиску. На рис.11.8,а показана схема вимірювального перетворювача тиску, оснащеного перетворювальним елементом індуктивного типу. Мембрана 1, що сприймає тиск, є рухливим якорем електромагніта 2 з обмоткою 3. Під дією вимірювального тиску мембрана 1 переміщується, що викликає зміну електричного опору індуктивного перетворювального елемента.

Вимірювальний перетворювач тиску диференційно-трансформаторного (ДТ) типу (рис.11.8,б) містить деформаційний чутливий елемент 1 і ДТ-елемент 2. Перетворювальний елемент являє собою каркас із діелектрика, на якому розміщені катушка з первинною обмоткою 7, що складається із двох секцій, згідно намотаних, і двох секцій 4, вторинні обмотки 5, включених зустрічно. Усередині каналу катушки розташований рухомий сердечник 6 з магнітом'якого матеріалу, пов'язаний із пружиною 1 тягою 3.

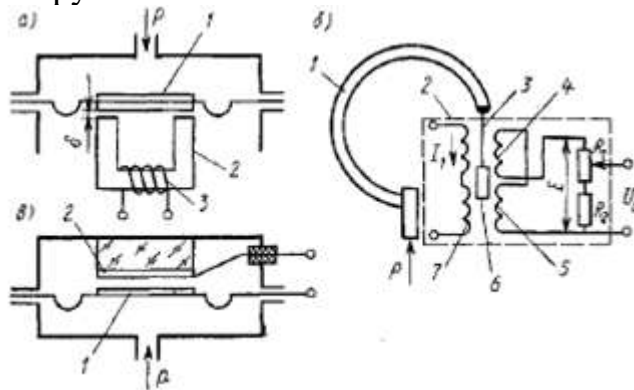


Рис. 11.8. Схеми вимірювальних перетворювачів тиску

Шляхом зміни регульованого опору R_1 можна змінювати межі вимірювання на $\pm 25\%$.

Формування вихідного сигналу ДТ-елемента здійснюється в такий спосіб. При протіканні по первинних обмотках струму виникають магнітні потоки, що пронизують обидві секції вторинної обмотки і індукуює в них ЕРС. Значення цієї ЕРС пов'язані із взаємними індуктивностями між первинною обмоткою і кожною із секцій вторинної обмотки.

Перетворення вимірювального тиску в електричні сигнали розглянутим перетворювачем тиску здійснюється шляхом перетворення тиску в деформацію (переміщення) чутливого елемента, жорстко з'єднаного із сердечником 6, і

наступного перетворення переміщення сердечника 6 в електричний сигнал ДТ-елементом. Класи точності 1,0 і 1,5.

Для вимірювання перепаду тисків розроблені мембранні дифманометри із ДТ-елементом, що здійснює перетворення переміщення мембранного блоку в сигнал вимірювальної інформації.

Класи точності перетворювачів перепаду тиску 1,0 і 1,5. Час установлення вихідних сигналів не більше 1 с.

11.3. Методи та засоби вимірювання температури

Виміряти температуру якого-небудь тіла безпосередньо, тобто так, як вимірюють інші фізичні величини, наприклад довжину, масу, об'єм або час, не представляється можливим, тому що в природі не існує еталона або зразка одиниці цієї величини. Тому визначення температури речовини роблять за допомогою спостереження за зміною фізичних властивостей іншого, так названого термометричної речовини, яке наведе в зіткнення з нагрітим тілом, вступає з ним через якийсь час у теплову рівновагу. Такий метод вимірювання дає не абсолютне значення температури нагрітого середовища, а лише різницю щодо вихідної температури робочої речовини, умовно прийнятої за нуль.

Внаслідок зміни при нагріванні внутрішньої енергії речовини практично всі фізичні властивості останнього в більшому або меншому ступені залежать від температури, але для її вимірювання вибираються по можливості ті з них, які однозначно міняються зі зміною температури, не піддані впливу інших факторів і порівняно легко піддаються вимірюванням. Цим вимогам найбільше повно відповідають такі властивості робочих речовин, як об'ємне розширення, зміна тиску в замкнутому об'ємі, зміна електричного опору, виникнення термоелектрорушійної сили і інтенсивність випромінювання, покладені в основу улаштування приладів для вимірювання температури.

Зміна агрегатного стану хімічно чистої речовини (плавлення або затвердіння, кипіння або конденсація), як відомо, протікає при постійній температурі, значення якої визначається складом речовини, характером її агрегатної зміни і тиском. Значення цих відтворених температур рівноваги між твердою і рідкою або рідкою і газоподібною фазами різних речовин при нормальному атмосферному тиску, рівному 101325 Па (760 мм рт. ст.), називаються реперними точками.

Якщо прийняти як основу інтервал температур між реперними точками плавлення льоду і кипіння води, позначивши їх відповідно 0 і 100, у межах цих температур виміряти об'ємне розширення якої-небудь робочої речовини, наприклад ртуті, що перебуває у вузькій циліндричній скляній посудині, і розділити на 100 рівних частин зміну висоти її стовпа, то в результаті буде побудована так називана температурна шкала.

Для вимірювання температури, що лежить вище або нижче обраних значень реперних точок, отримані поділення наносять на шкалі і за межами відміток 0 і 100. Поділки температурної шкали називаються градусами.

При побудові зазначеної температурної шкали була довільно прийнята пропорційна залежність об'ємного розширення ртуті від температури, що, однак, не відповідає дійсності, особливо при температурах вище 100 градусів. Тому за допомогою такої шкали можна точно виміряти температуру тільки у двох

вихідних точках 0 і 100 градусів, тоді як результати вимірювання у всьому іншому діапазоні шкали будуть неточні. Те ж явище спостерігалось б і при побудові температурної шкали з використанням інших фізичних властивостей речовини, таких, як зміна електричного опору провідника, збудження термоелектрорушійної сили і т.п.

Користуючись другим законом термодинаміки, англійський фізик Кельвін в 1848 р. запропонував дуже точну і рівномірну, що не залежить від властивостей речовини шкалу, яка отримала назву термодинамічної температурної шкали (шкали Кельвіна). Остання заснована на рівнянні термодинаміки для оборотного процесу (циклу Карно).

Термодинамічна температурна шкала починається з абсолютного нуля і у цей час є основною. Одиниці термодинамічної температури позначаються знаком К (кельвін), а умовне значення її буквою Т.

На Генеральній конференції з мір і вагів Міжнародний комітет мір і ваг прийняв нову практичну температурну шкалу 1968 р. (МПТШ-68), градуси якої позначаються знаком °С (градус Цельсія), а умовне значення температури - буквою t. Для цієї шкали градус Цельсія дорівнює градусу Кельвіна.

Крім Міжнародної практичної температурної шкали існує ще шкала Фаренгейта, запропонована в 1715 р. Шкала побудована шляхом поділення інтервалу між реперними точками плавлення льоду і кипіння води на 180 рівних частин (градусів), позначуваних знаком °Ф. По цій шкалі точка плавлення льоду дорівнює 32, а кипіння води 212°Ф.

Для перерахування температури, вираженої в Кельвінах або градусах Фаренгейта, у градуси Цельсія користуються рівнянням

$$t^{\circ}\text{C} = T \text{ К} - 273,15 = 0,556 (n^{\circ}\text{Ф} - 32),$$

де n — число градусів по шкалі Фаренгейта.

Класифікація приладів для вимірювання температури

Прилади для вимірювання температури розділяються залежно від використовуваних ними фізичних властивостей речовин на наступні групи з діапазоном показань:

Термометри розширення (-190...+650°С) засновані на властивості тіл змінювати під дією температури свій об'єм.

Манометричні термометри (-160...+600°С) працюють за принципом зміни тиску рідини, газу або пари з рідиною в замкнутому об'ємі при нагріванні або охолодженні цих речовин.

Термометри опору (-200...+650°С) засновані на властивості металевих провідників змінювати залежно від нагрівання їхній електричний опір.

Термоелектричні термометри (-50...+1800°С) побудовані на властивості різних металів і сплавів утворювати в парі (спаї) термоелектрорушійну силу, що залежить від температури спаю.

Пірометри (-30...+6000°С) працюють за принципом вимірювання випромінюваної нагрітими тілами енергії, що залежить від температури цих тіл.

Термометри розширення.

Фізична властивість тіл змінювати свій об'єм залежно від нагрівання широко використовується для вимірювання температури. На цьому принципі

заснований пристрій рідинних скляних і дилатометричних термометрів, які з'явилися дуже давно і послужили для створення перших температурних шкал.

В рідинних термометрах, побудованих на принципі теплового розширення рідини в скляному резервуарі, як робочі речовини використовуються ртуть і органічні рідини - етиловий спирт, толуол і ін. Найбільш широке застосування одержали ртутні термометри, що мають у порівнянні з термометрами, заповненими органічними рідинами, істотні переваги: великий діапазон вимірювання температури, при якому ртуть залишається рідкою, незмочення скла ртуттю, можливість заповнення термометра хімічно чистою ртуттю через легкість її одержання та ін. При нормальному атмосферному тиску ртуть перебуває в рідкому стані при температурах від -39 (точка замерзання) до 357°C (точка кипіння) і середній температурний коефіцієнт об'ємного розширення $0,18 \cdot 10^{-3}\text{K}^{-1}$.

Термометри з органічними рідинами здебільшого придатні лише для вимірювання низьких температур у межах до 100°C . Рідинні термометри, виготовлені зі скла, є місцевими приладами, що показують. Вони складаються з резервуара з рідиною, капілярної трубки, приєднаної до резервуара і закритої із протилежного кінця, шкали і захисної оболонки.

Ртутні термометри

Ртутні термометри за призначенням розділяються на промислові (технічні), лабораторні і зразкові. Основна похибка ртутних термометрів залежить від діапазону показань і ціни поділу шкали, зі збільшенням яких вона зростає. Внаслідок невеликого відхилення видимого коефіцієнта розширення ртуті в склі при зміні температури ртутні термометри мають майже рівномірну шкалу. Ртутні термометри виготовляються двох видів; із вкладеною шкалою і паличні (рис.11.9).

Термометр із вкладеною шкалою має заповнений ртуттю резервуар 1 (рис.11.9, а), капілярну трубку 2, циферблат 3 з молочного скла зі шкалою і зовнішньою циліндричною оболонкою 4, у якій укріплений капіляр і циферблат. Зовнішня оболонка з одного кінця щільно закрита, а з іншого - припаяна до резервуара.

Паличний термометр складається з резервуара 1 (рис.11.9, б), з'єднаного з товстостінним капіляром 2 зовнішнім діаметром 6-8 мм. Шкала термометра нанесена безпосередньо на поверхні капіляра у вигляді насічки по склу. Паличні термометри є більше точними в порівнянні з термометрами із вкладеною шкалою.

Недоліками ртутних термометрів є їхня крихкість, неможливість дистанційної передачі і автоматичного запису показань, більша інерційність і труднощі відліку через нечіткість шкали і поганої видимості ртуті в капілярі. Все це значною мірою обмежує їхнє застосування, залишаючи за ними головним чином область місцевого контролю і лабораторні вимірювання.

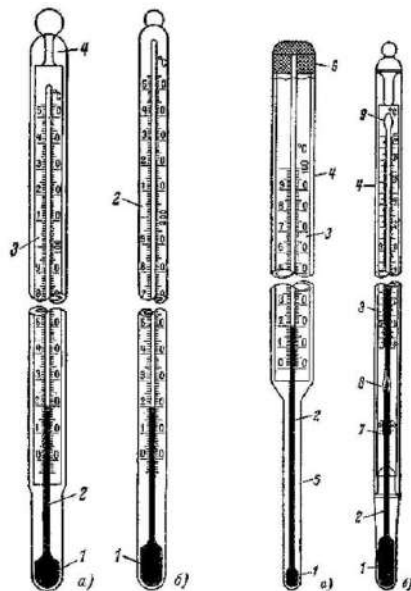


Рис.11.9. Ртутні термометри: а - з вкладеною шкалою; б – паличний.

Точність показань ртутного термометра, як і будь-якого приладу, що вимірює температуру, залежить від способу його установки, тобто від правильного вирішення питань пов'язаних з теплообміном між вимірюваною речовиною, термометром і зовнішнім середовищем. Це завдання зводиться до двох основних вимог: по-перше, до забезпечення найбільш сприятливих умов передачі тепла від вимірюваного середовища чутливої частини (резервуару) термометра і, по-друге, до зменшення по можливості віддачі тепла приладом навколишньому повітрю.

Дилатометричні термометри

До дилатометричних термометрів відносяться стрижневий і пластинчастий (біметалічний) термометри, дія яких засноване на відносному подовженні під впливом температури двох твердих тіл, що мають різні температурні коефіцієнти лінійного розширення.

Стрижневий термометр (рис. 11.10, а) має закриту з одного кінця трубку 1, що поміщується у вимірювальне середовище і виготовлену з матеріалу з більшим коефіцієнтом лінійного розширення. У трубку вставлений стрижень 2, що притискається до її дна важелем 3, з'єднаним із пружиною 4. Стрижень виготовлений з матеріалу з малим коефіцієнтом розширення. При зміні температури трубка змінює свою довжину, що приводить до переміщення в ній стрижня, що зберігає майже постійні розміри і з'єданого за допомогою важеля 3 із вказівною стрілкою приладу.

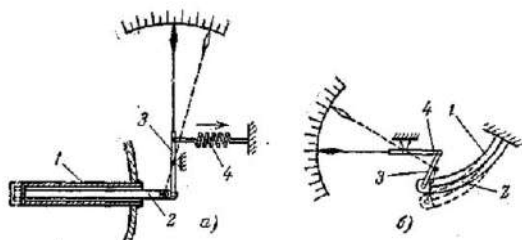


Рис. 11.10. Дилатометричні термометри: а – стрижневий; б – пластинчастий.

Пластинчастий термометр (рис. 11.10, б) складається із двох вигнутих і спаяних між собою по краях металевих смужок, з яких смужка 1 має великий коефіцієнт лінійного розширення, а смужка 2 — малий. Отримана пластинка міняє залежно від температури ступінь свого вигину, величина якого за допомогою тяги 3, важеля 4 і з'єднаної з ним стрілки вказується по шкалі приладу. При збільшенні температури пластинка вигинається убік металу з меншим коефіцієнтом лінійного розширення.

Дилатометричні термометри не одержали поширення як самостійні прилади, а використовуються головним чином як чутливі елементи в сигналізаторах температури. Крім того, пластинчасті термометри іноді застосовуються для компенсації впливу змінної температури навколишнього повітря на показання інших приладів, у які вони вбудовуються.

Манометричні термометри

Дія манометричних термометрів заснована на залежності тиску рідини, газу або пари з рідиною в замкнутому об'ємі (термосистемі) від температури. Зазначені термометри є промисловими що показують і самописними приладами, призначеними для вимірювання температури в діапазоні до 600°C. Клас точності їх 1-2,5.

Залежно від робочої речовини, яка використовується в термосистемі, манометричні термометри розділяються на газові, рідинні і конденсаційні (мають як робочу речовину органічні рідини з низькою температурою кипіння: хлористий метил, ацетон і фреон). Вибір робочої речовини виконується виходячи із заданого діапазону показань і умов вимірювання.

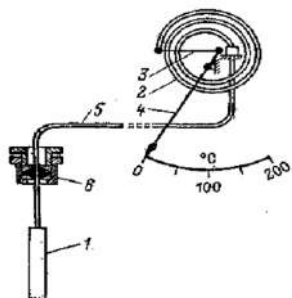


Рис.11.11 - Схема манометричного термометра

Схема манометричного термометра, що показує, приведена на рис. 11.11. Термосистема приладу, заповнена робочою речовиною, складається з термобалону 1, що занурюється у вимірювальне середовище, манометричної трубчастої пружини 2, що діє за допомогою тяги 3 на вказівну стрілку 4, і капіляра 5, що з'єднує пружину з термобалоном.

Термобалон являє собою металеву трубку, закриту з одного кінця, а з іншого з'єднану з капіляром. За допомогою знімного штуцера 6 з різьбленням і сальником термобалон установлюється в трубопроводах, баках і т.п. Можлива установка його і у захисній гільзі. При нагріванні термобалона збільшення тиску робочої речовини передається через капіляр трубчастій пружині і приводить до розкручування останньої доти, поки діюче на неї зусилля, пропорційне різниці тисків у системі і навколишнім повітрі, не зрівноважиться силою її пружної деформації.

Термоелектричні термометри

Дія термоелектричних термометрів заснована на властивості металів і сплавів створювати термоелектрорушійну силу (термо-е.р.с), що залежить від температури місця з'єднання (спаю) кінців двох різнорідних провідників (термоелектродів), що утворюють чутливий елемент термометра — термопару. Маючи у своєму розпорядженні закон зміни термо-е.р.с. термометра від температури і визначаючи значення термо-е.р.с. електровимірювальним приладом, можна знайти шукане значення температури в місці вимірювання.

Термоелектричний термометр, що складається із двох спаяних і ізольованих по довжині термоелектродів, захисного чохла і головки із затискачами для підключення сполучної лінії, є первинним вимірювальним перетворювачем. Як вторинні прилади, що працюють із термоелектричними термометрами, застосовуються магнітоелектричні мілівольтметри і потенціометри.

Термоелектричні термометри широко застосовуються в енергетичних установках для вимірювання температури перегрітої пари, димових газів, металу труб котлоагрегатів і т.п. Позитивними властивостями їх є: великий діапазон вимірювання, висока чутливість, незначна інерційність, відсутність стороннього джерела електричного струму і легкість здійснення дистанційної передачі показань.

Для одержання порівняно високих значень термо-е.р.с. вибір термоелектродів проводиться таким чином, щоб у парі із платиною один з них створював позитивну, а інший негативну термо-е.р.с.

Термоелектричні термометри, що одержали практичне застосування, розділяються по матеріалам термоелектродів на дві групи: зі благородних (платина, платинородій) і неблагородних металів або сплавів (хром-алюмель, хромель-копеловий сплав). Термометри типів ТПП і ТПР із термоелектродами із благородних металів і сплавів застосовуються головним чином для вимірювання температури вище 1000°C, тому що вони мають велику термостійкість. Незважаючи на відносно малі значення що розвиває термо-е.р.с. термометри типу ТПП завдяки винятковій сталості термоелектричних властивостей і великому діапазону вимірювання одержали широке поширення головним чином як лабораторні, зразкові і еталонні.

Випускаються одинарні (з одним чутливим елементом) і подвійні (із двома чутливими елементами) термоелектричні термометри різних типів.

Подвійні термометри застосовуються для вимірювання температури в тому самому місці одночасно двома вторинними приладами, установленими в різних пунктах спостереження. Вони містять два однакових чутливих елементи, з'єднаних у загальні арматури. Термоелектроди ізольовані одне від одного і знаходяться у захисному чохлі.

На рис.11.12 показаний устрій термометра типу ТПП. Термоелектроди, що утворюють робочий кінець (спай) 1, ізольовані по довжині порцеляновими трубками 2 і 3 і поміщені в захисний чохол 4, розрахований на атмосферний тиск. Для додання чохлу додаткової міцності неробоча частина його вставлена в сталеву трубку 5. За допомогою сталевих втулок 6 і 7 захисний чохол з'єднаний з корпусом 8, у якому закріплені два затискачі 9 із припаяними до них термоелектродами, ущільненими мастикою 10. Корпус закритий знімною

кришкою 11 на різьбленні, ущільненим прокладкою 12. Для уведення в корпус зовнішніх сполучних проводів служить штуцер 13 з ущільненням 14. На поверхні закріплена металева табличка 15, на якій зазначені: тип термометра, допускаємий тиск і кінцеву температуру вимірюваного середовища, матеріал захисного чохла, дата виготовлення термометра і марка підприємства-виробника.

На точність вимірювання термоелектричним термометром великий вплив роблять спосіб установки і правильність проведення перевірки термометра і вторинного приладу.

Одним з основних вимог, які рекомендуються при установці термоелектричного термометра, є досягнення мінімального витоку тепла по його арматурах. Для цього термометр можливо глибше занурюють у вимірювальне середовище, що приводить до збільшення теплосприймаючої поверхні, і розташовується в місцях з великою швидкістю потоку, що поліпшує умови теплообміну.

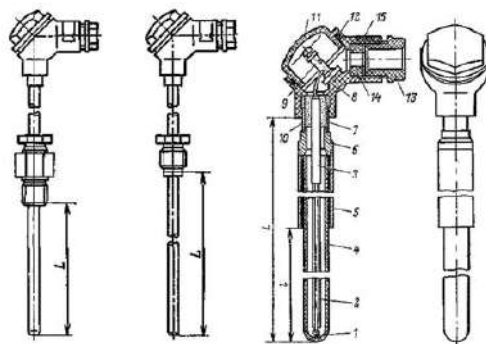


Рис. 11.12. Термоелектричний термометр типу ТПП (А) иТХА (Б)

Термометри опору

Для вимірювання температури широке застосування отримали термометри опору, дія яких заснована на зміні електричного опору металевих провідників залежно від температури. Метали, як відомо, збільшують при нагріванні свій опір. Отже, знаючи залежність опору провідника від температури і визначаючи цей опір за допомогою електровимірювального приладу, можна судити про температуру провідника.

Застосовуються технічні (промислові), зразкові і еталонні платинові термометри опору.

Термометр опору, чутливий елемент якого складається з тонкого спірального дроту (обмотки), ізолюваного і поміщеного в металевий захисний чохол з головкою для підключення сполучних проводів, є первинним вимірювальним перетворювачем, які живляться від стороннього джерела струму.

Як вторинні прилади, що працюють із термометрами опору, застосовуються врівноважені і неуврівноважені вимірювальні мости і магнітоелектричні логометри.

Кінцева межа вимірів дровових термометрів опору, обумовлена стійкістю їх при нагріванні, дорівнює 650°C.

Достоїнствами термометрів опору є: висока точність вимірювання, можливість одержання приладів з безнульовою шкалою на вузький діапазон температур, легкість здійснення автоматичного запису і дистанційної передачі показань і можливість приєднання до одного вторинного приладу за допомогою

перемикача декількох однотипних термометрів. До недоліків цих приладів ставиться потреба в стороннім джерелі струму.

Пірометри

Пірометри застосовуються для вимірювання температури тіл у діапазоні - 30...6000°C. Дія цих приладів заснована на залежності теплового випромінювання нагрітих тіл від їхньої температури і фізико-хімічних властивостей. На відміну від термометрів первинний перетворювач пірометра не підпадає під вплив високої температури і не змінює температурне поле, тому що перебуває поза вимірювальним середовищем.

З підвищенням температури нагрітого тіла інтенсивність його теплового випромінювання у вигляді електромагнітних хвиль різної довжини швидко зростає. При нагріванні до 500°C тіло випромінює невидимі інфрачервоні промені великої довжини хвилі, однак подальше збільшення температури викликає появу видимих променів меншої довжини, завдяки яким тіло починає світитися. Спочатку розпечене тіло має темно-червоні кольори, що у міру росту температури і появи променів, що поступово зменшуються за довжиною хвилі, переходить у червоний, жовтогарячий, жовтий і, нарешті, білі кольори, що складається з комплексу променів різної довжини хвилі.

Одночасно зі збільшенням температури нагрітого тіла і зміною його кольору сильно зростає інтенсивність часткового (монохроматичного або одноколірного) випромінювання (яскравість) для даної ефективної довжини хвилі, а також помітно збільшується інтенсивність сумарного випромінювання (радіація) тілом енергії, що дозволяє використовувати ці властивості для вимірювання температури нагрітих тіл.

Різні фізичні тіла, що нагріті до однієї і тієї ж температури, мають неоднакові часткову і сумарну інтенсивності випромінювання і мають різні коефіцієнти поглинання, що представляють собою відношення енергії, поглиненої тілом, до енергії, що падає на тіло.

Найбільшу здатність випромінювання і поглинання енергії має так назване абсолютно чорне тіло, у природі не існуюче, що представляє собою уявлюваний ідеальний випромінювач. Це тіло поглинає всі падаючі на нього промені, тобто має коефіцієнт поглинання, що дорівнює одиниці, і має найбільшу інтенсивність випромінювання. Фізичні тіла мають здатність відбивати частину падаючих на них променів і, отже, завжди мають коефіцієнт поглинання менше одиниці. Інтенсивність випромінювання і коефіцієнт поглинання при даній температурі залежать від складу речовини і стану його поверхні. Тіло, що має темну і шорсткуватую поверхню, ближче по своїх властивостях до чорного тіла, чим тіло зі світлою і полірованою поверхнею.

У цьому зв'язку шкалу пірометра доводиться градуювати по випромінюванню чорного тіла. Тому що випромінювальна здатність реальних тіл менше, ніж чорних тіл, то показання пірометра будуть відповідати не дійсній температурі реального тіла, а дають умовну температуру або, у цьому випадку, так названу температуру яскравості. Пірометри, що вимірюють температуру яскравості по спектральній яскравості у видимій частині спектра, називають оптичними (квазімонохроматичні) візуальними пірометрами і фотоелектричними.

Прилади, що вимірюють температуру за значенням відносини енергетичних яскравостей у двох спектральних інтервалах, називають колірними пірометрами або пірометрами спектрального відношення.

Оптичні пірометри широко застосовуються в лабораторних і виробничих умовах для вимірювання температур вище 800°C . Принцип дії оптичних пірометрів заснований на порівнянні спектральної яскравості тіла зі спектральною яскравістю градуйованого джерела випромінювання. Як чутливий елемент, що визначає збіг спектральних яскравостей у візуальних оптичних пірометрах, служать очі людини. Найпоширенішим є оптичний пірометр зі зникаючою ниткою, схема якого наведена на рис.11.13. Для вимірювання температури об'єктів приладу направляється на об'єкт вимірювання ОИ так, щоб спостерігач на його тлі побачив в окулярі 7 нитку оптичної лампи 4.

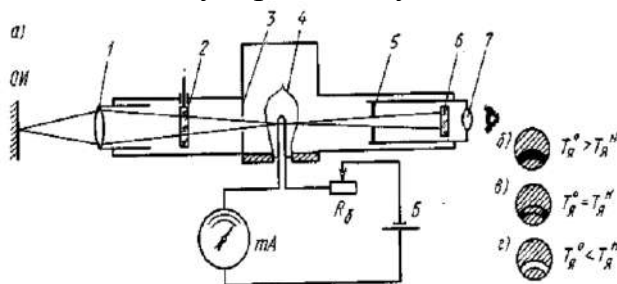


Рисунок 11.13 Оптичний пірометр

Порівняння спектральних яскравостей об'єкта вимірювання і нитки лампи 4 здійснюються звичайно при довжині хвилі рівної $0,65\text{ мкм}$, для чого перед окуляром установлений червоний світлофільтр 6. Вибір червоного світлофільтра обумовлений тим, що око людини сприймає через цей фільтр тільки частину спектра його пропущення, що наближається до монохроматичного променя. Крім того, застосування червоного світлофільтра дозволяє знизити нижню межу вимірювання пірометра.

Спостерігаючи за зображенням нитки лампи на тлі об'єкта вимірювання (світлий фон - темна нитка (рис.11.13, б); темний фон - світла нитка (рис.11.13, г)) за допомогою реостата змінюють силу струму, що йде від батареї Б до нитки лампи, доти, поки яскравість нитки не стане рівною видимій яскравості об'єкта вимірювання. При досягненні зазначеної рівності нитка «зникає» на фоні зображення об'єкта вимірювання (рис.11.13, в). У цей момент по шкалі міліамперметра, попередньо градуйованого в значеннях температури яскравості нитки лампи, визначають яскравісну температуру об'єкта. За виміряною яскравісною температурою і відповідних вираженнях розраховують істинну температуру об'єкта.

Звичайно в оптичних пірометрах є дві шкали, однією з яких користуються при не встановленому поглинаючому світлофільтрі, наприклад від 800 до 1200°C , а другий - при встановленому світлофільтрі від 1200 до 2000°C . Існуючі в цей час оптичні пірометри призначені для вимірювання температур в інтервалі від 800 до 6000°C і мають різні модифікації з різними межами вимірювання. Клас точності оптичних пірометрів $1,5-4,0$.

На точність вимірювання температури оптичними пірометрами впливають ступінь відхилення властивостей випромінювача від властивостей чорного тіла, а також поглинання променів проміжним середовищем, через яку проводиться

спостереження. На результатах вимірювання впливають наявність у навколишньому повітрі пилу, диму і великого змісту двоокису вуглецю. Крім того, усяке забруднення оптичної системи пірометрів також веде до збільшення похибки вимірювання.

Достоїнствами оптичних пірометрів є порівняно висока точність вимірювання, компактність приладу і простота роботи з ними. До числа їхніх недоліків варто віднести потребу в джерелі живлення, неможливість стаціонарного вимірювання температури і автоматичного її запису, а також суб'єктивність методу вимірювання, заснованого на спектральній чутливості очей спостерігача.

11.4. Методи та засоби вимірювання рівня

Будова та принцип дії приладів для вимірювання рівня в рідинах.

Рівнем називають висоту заповнення технологічного апарата робочим середовищем — рідиною або сипучим тілом. Рівень робочого середовища є технологічним параметром, інформація про нього необхідна для контролю режиму роботи технологічного апарата, а в ряді випадків для керування виробничим процесом.

Шляхом вимірювання рівня можна одержувати інформацію про масу рідини в резервуарах. Подібна інформація широко використовується для керування виробничим процесом і для проведення заходів щодо енергоаудиту. Рівень вимірюють в одиницях довжини. Засоби вимірювання рівня називають рівнемірами.

Розрізняють рівнеміри, які призначені для вимірювання рівня робочого середовища; вимірювання маси рідини в технологічному апараті; сигналізації граничних значень рівня робочого середовища — сигналізатори рівня.

За діапазоном вимірювання розрізняють рівнеміри широкого (з межами вимірювання 0,5...20 м) і вузького діапазонів (межі вимірювання (0.. ± 100) мм або (0.. ± 450) мм).

На даний час вимірювання рівня в багатьох галузях промисловості здійснюють різними за принципом дії рівнемірами, з яких розповсюдження отримали візуальні, поплавкові, буйкові, гідростатичні, електричні, ультразвукові і радіоізотопні.

Візуальні засоби вимірювання рівня

До візуальних засобів вимірювання рівня відносяться мірні лінійки, рейки, рулетки з лотами (циліндричними стрижнями) і скляні рівнеміри.

У виробничій практиці широке застосування одержали скляні рівнеміри. Вимір рівня за допомогою скляних рівнемірів засновано на законі сполучених посудин. Вказівне скло за допомогою арматур з'єднують із нижньою і верхньою частинами ємності. Спостерігаючи за положенням меніска рідини в трубці, судять про положення рівня рідини в ємності. Для виключення додаткової похибки, обумовленої розходженням температури рідини в резервуарі і у скляній трубці, перед вимірюванням здійснюють промивання скляних рівнемірів.

Арматура скляних рівнемірів оснащується запобіжними клапанами, що забезпечує автоматичне перекривання каналів, які зв'язують вказівне скло з

технологічним апаратом при випадковій поломці скла. Через низьку механічну міцність скляні рівнеміри звичайно виконують довжиною не більше 0,5 м.

Тому для вимірювання рівня в резервуарах встановлюється декілька скляних рівнемірів з тим розрахунком, щоб вони перекривали один одного. Абсолютна похибка вимірювання рівня скляними рівнемірами $\pm(1...2.2)$ мм. При вимірюванні можливі додаткові похибки, пов'язані із впливом температури навколишнього середовища. Скляні рівнеміри застосовуються до тисків 2,94 МПа і до температури 300°C.

Поплавкові засоби вимірювання рівня

Серед існуючих різновидів рівнемірів поплавкові є найбільш простими. Одержали розповсюдження поплавокні рівнеміри вузького і широкого діапазонів. Поплавкові рівнеміри вузького діапазону (рис.11.14) звичайно являють собою пристрій, який містить шариковий поплавок діаметром 80...200 мм, виконаний з нержавіючої сталі. Поплавок плаває на поверхні рідини і через штангу і спеціальне ущільнення з'єднується або зі стрілкою вимірювального приладу, або з перетворювачем 1 кутових переміщень в уніфікований електричний або пневматичний сигнали.

Рівнеміри вузького діапазону випускаються двох типів: фланцеві і камерні (рис.11.14, б), що відрізняються способом їхньої установки на технологічних апаратах. Мінімальний діапазон вимірювання цих рівнемірів - 0...10 мм, максимальний - 0...200мм. Клас точності 1,5. Поплавкові рівнеміри широкого діапазону (рис.2, в) представляють собою поплавок 1, пов'язаний із противагою 4 гнучким тросом 2. У нижній частині противаги закріплена стрілка, що вказує по шкалі 3 значення рівня рідини в ємності.

При розрахунках поплавкових рівнемірів підбирають такі конструктивні параметри поплавка, які забезпечують стан рівноваги системи "поплавок-противага" тільки при певній глибині занурення поплавка. Якщо зневажити силою ваги троса і тертям у роликах, стан рівноваги системи "поплавок-противага" описується рівнянням

Підвищення рівня рідини змінює глибину занурення поплавка і на нього діє додаткова сила виштовхування. У результаті рівняння (1) порушується і противага опускається вниз доти, поки глибина занурення поплавка не стане рівною H_1 . При зниженні рівня діюча на поплавок сила виштовхування зменшується і поплавок починає опускатися вниз доти, поки глибина занурення поплавка не стане рівною H_1 . Для передачі інформації про значення рівня рідини в резервуарі застосовують сельсинні системи передачі.

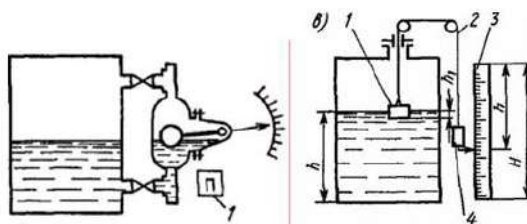


Рис.11.14 - Схеми поплавкових рівнемірів

Буйкові засоби вимірювання рівня

В основу роботи буйкових рівнемірів покладене фізичне явище, яке описується законом Архімеда. Чутливим елементом у цих рівнемірах є циліндричний буй, виготовлений з матеріалу із густиною більшою за густину рідини. Буй перебуває у вертикальному положенні і частково занурений у рідину.

При зміні рівня рідини в апараті маса буя в рідині змінюється пропорційно зміні рівня. Перетворення ваги буя в сигнал вимірювальної інформації здійснюється за допомогою уніфікованих перетворювачів "сила-тиск" і "сила-струм". Відповідно до виду використовуваного перетворювача сили розрізняють пневматичні і електричні буйкові рівнеміри. Коли рівень рідини в апараті дорівнює початковому h_0 (в окремому випадку h_0 може бути дорівнювати 0), вимірювальний важіль перебуває в рівновазі, тому що момент M_1 створюваний вагою буя, урівноважується моментом M_2 , створюваним противагою N .

Коли рівень рідини стає більше h_0 , частина буя пневматичного рівнеміра поринає в рідину, при цьому вага буя зменшується, а отже, зменшується і момент M_1 створюваний буєм на важелі. Внаслідок того, що M_2 стає більше M_1 важіль повертається навколо точки O по годинній стрілці і прикриває заслінкою сопло. Тому тиск у лінії сопла збільшується. Цей тиск надходить у пневматичний підсилювач, вихідний сигнал якого є вихідним сигналом рівнеміра. Цей же сигнал одночасно посиляє в сильфон негативного зворотного зв'язку. При дії тиску $P_{вих}$ виникає сила, момент M_3 якої збігається по напрямку з моментом M_1 , тобто дія сили спрямована на відновлення рівноваги важеля. Рух вимірювальної системи перетворювача відбувається доти, поки сума моментів всіх сил, що діють на важіль, не стане рівною 0.

Крім розглянутої модифікації пневматичних рівнемірів випускаються рівнеміри, оснащені уніфікованим перетворювачем "сила—тиск". Верхні межі вимірювання рівнеміра з уніфікованим електричним сигналом обмежені значеннями 0,02...16 м.

Буйкові засоби вимірювання рівня застосовуються при температурі робочого середовища від -40 до $+400^{\circ}\text{C}$ і тиску робочого середовища до 16 МПа. Класи точності буйкових рівнемірів 1,0 і 1,5.

Гідростатичні засоби вимірювання рівня

Вимірювання рівня гідростатичними рівнемірами зводиться до вимірювання гідростатичного тиску P , створюваного стовпом H рідини постійної густини ρ , відповідно до рівності

Вимірювання гідростатичного тиску здійснюється:

- манометром, який підключають на висоті, що відповідає нижньому граничному значенню рівня;
- диференціальним манометром, який підключають до резервуара на висоті, що відповідає нижньому граничному значенню рівня, і до газового простору над рідиною;
- вимірюванням тиску газу (повітря), який прокачується по трубці, опущеної в рідину, що заповнює резервуар, на фіксовану глибину.

На рис.11.15, а наведена схема вимірювання рівня манометром. Застосовуваний для цих цілей манометр 1 може бути будь-якого типу з відповідними межами вимірювання. Вимірювання гідростатичного тиску манометром може бути здійснено і за схемою, наведеною на рис.11.18, б. Відповідно до даної схеми про значення вимірюваного рівня судять по тиску повітря, що заповнює манометричну систему.

У нижній частині манометричної системи розташована ємність 2, отвір якої перекрито тонкою еластичною мембраною 1, а до верхнього отвору приєднаний манометр 3.

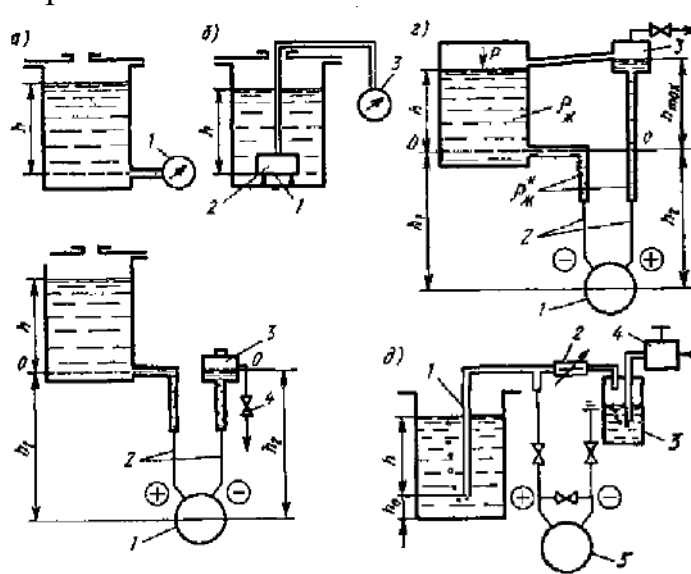


Рис. 11.15. - Схеми гідростатичних рівнемірів

Застосування еластичної мембрани виключає розчинення повітря в рідині, однак уводить похибку у визначення рівня через пружність мембрани. Перевагою даної схеми вимірювання гідростатичного тиску є незалежність показань манометра від його розташування щодо рівня рідини в резервуарі.

При вимірюванні рівня по розглянутих схемах мають місце похибки вимірювання, обумовлені класом точності манометрів і змінами щільності рідини.

Вимір гідростатичного тиску манометрами доцільно в резервуарах, що працюють при атмосферному тиску. У противному випадку, показання манометра складаються з гідростатичного і надлишкового тисків.

Для вимірювання рівня рідини в технологічних апаратах, які перебувають під тиском, широке застосування одержали диференціальні манометри. За допомогою диференціальних манометрів можливо також вимірювання рівня рідини у відкритих резервуарах, рівня розділення фаз і рівня розділення рідин.

Вимірювання рівня у відкритих резервуарах, які перебувають під атмосферним тиском, здійснюється за схемою, представленою на рис.11.15, в. Дифманометр 1 через імпульсні трубки 2 з'єднаний з резервуаром і зрівняльною посудиною 3. Зрівняльна посудина застосовується для компенсації статичного тиску, створюваного стовпом рідини h_1 в імпульсній трубці. У процесі вимірювання рівень рідини в зрівняльній посудині повинен бути постійним. Вентиль 4 служить для підтримки постійного рівня в посудині 3. При рівності густини рідин, що заповнюють імпульсні трубки і резервуар, і за умови $h_1 = h_2$ перепад тиску, вимірюваний дифманометром, зникає.

При вимірюванні рівня в апаратах, які перебувають під тиском, застосовують схему, наведену на рис.11.15, г. Зрівняльну посудину 3 у цьому випадку встановлюють на висоту, що відповідає максимальному значенню рівня, і з'єднують із апаратом.

У розглянутих схемах можуть бути використані дифманометри з уніфікованим струмовим або пневматичним сигналом.

Якщо рідина, яка заповнює резервуар, агресивна, то підключення дифманометра до резервуара здійснюється через розділові посудини.

Рівнеміри, у яких вимірювання гідростатичного тиску здійснюється шляхом вимірювання тиску газу, який прокачується по трубці, зануреної на фіксовану глибину в рідину, що заповнює резервуар, називають п'єзометричними. Схема п'єзометричного, рівнеміра наведена на рис.11.15, д. П'єзометрична трубка 1 розміщується в апараті, у якому вимірюється рівень. Газ надходить у трубку через дросель 2, який обмежує величину витрати. Для вимірювання витрати газу служить стаканчик 3 (витрата за допомогою стаканчика визначається по числу пухирців, які пробулькують через рідину, що заповнює його, за одиницю часу), а тиск підтримується постійним за допомогою стабілізатора тиску 4. Тиск газу після дроселя вимірюється дифманометром 5 і служить мірою рівня.

При подачі газу тиск у п'єзометричній трубці поступово підвищується доти, поки зазначений тиск не стане рівним тиску стовпа рідини висотою K . Коли тиск у трубці стане рівним гідростатичному тиску, з нижнього відкритого кінця трубки починає виходити газ. Витрату підбирають такою, щоб газ залишав трубку у вигляді окремих пухирців (приблизно один пухирець у секунду).

При більшій витраті тиск, вимірюваний дифманометром, може бути трохи більшим, ніж гідростатичний, через додаткове падіння тиску, що виникає за рахунок тертя газу об стінки трубки при його проходженні. При дуже малій витраті газу збільшується інерційність вимірювання. Обоє фактора можуть збільшити похибку вимірювання рівня.

П'єзометричні рівнеміри дозволяють вимірювати рівень у широких межах (від декількох десятків сантиметрів до 10...15 м). При використанні для вимірювання тиску в п'єзометричній трубці дифманометра з уніфікованим вихідним сигналом мають відносну наведену похибку $\pm(1,0,1,5)\%$.

Точність вимірювання рівня п'єзометричними рівнемірами може бути істотно збільшена, якщо за засіб вимірювання гідростатичного тиску використати автоматичний цифровий манометр дискретно-безперервної дії.

Завдяки простоті реалізації на базі п'єзометричних рівнемірів, оснащених цифровими манометрами дискретно-безперервної дії, розроблені вагоміри. Визначення маси рідини в резервуарі за показниками п'єзометричного рівнеміра

Електричні засоби вимірювання рівня

По виду чутливого елемента електричні засоби вимірювання рівня розділяють на ємнісні і кондуктометричні.

Ємнісні рівнеміри. У рівнемірах цього типу використовується залежність електричної ємності чутливого елемента первинного вимірювального перетворювача від рівня рідини. Конструктивно ємнісні чутливі елементи виконують у вигляді коаксіально розташованих циліндричних електродів або паралельно розташованих плоских електродів. Конструкція ємнісного чутливого елемента з коаксіально розташованими електродами визначається фізико-хімічними властивостями рідини. Для неелектропровідних (діелектричних) рідин - рідин, що мають питому електропровідність менш 10^{-6} См/м, застосовують рівнеміри, оснащені чутливим елементом, схеми якого представлені на рис.11.16. Одиницею електропровідності в СІ служить сименс (См) - величина, зворотна ому (Ом).

Чутливий елемент (рис.11.16, а) складається із двох коаксіально розташованих електродів 1 і 2, частково занурених у рідину. Електроди утворюють циліндричний конденсатор, міжелектродний простір якого до висоти H заповнено рідиною, а простір $H-h$ — парогазовою сумішшю. Для фіксування взаємного розташування електродів передбачений ізолятор 3.

Для циліндричного конденсатора, міжелектродний простір якого заповнюється речовинами, які мають різні діелектричні проникності, відповідно до рис.11.16, а, повна ємність C_{Σ} визначається виразом:

$$C_{\Sigma} = C_0 + C_1 + C_2,$$

де C_0 - ємність прохідного ізолятора;

C_1 - ємність міжелектродного простору, заповненого рідиною;

C_2 - ємність міжелектродного простору, заповненого парогазовою сумішшю.

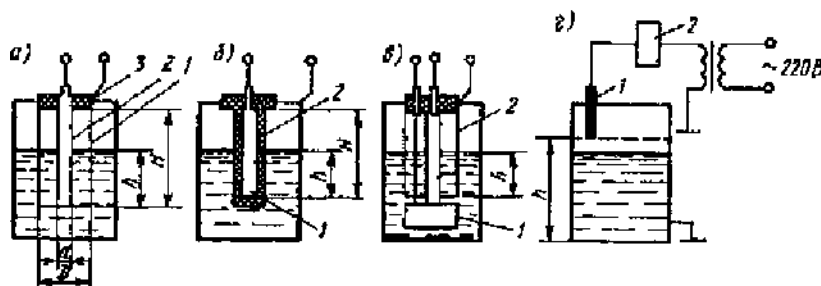


Рис. 11.16. Схеми електричних рівнемірів

Для виключення впливу температури рідини на результат вимірювання застосовують компенсаційний конденсатор (рис.11.16, в). Компенсаційний конденсатор 1 розміщується нижче ємнісного чутливого елемента 2 і повністю

занурений у рідину. У деяких випадках при сталості складу рідини його замінюють конденсатором постійної ємності.

Для вимірювання рівня електропровідних рідин — рідин з питомою провідністю більше 10^{-4} См/м застосовують рівнеміри, оснащені ємнісним чутливим елементом, зображеним на рис.11.16, б. Чутливий елемент являє собою металевий електрод 1, покритий фторопластовою ізоляцією 2. Електрод частково занурений у рідину. Як другий електрод використовується або стінка резервуара, якщо вона металева, або спеціальний металевий електрод, якщо стінка резервуара виконана з діелектрика.

Перетворення електричної ємності чутливих елементів у сигнал вимірювальної інформації здійснюється мостовим, резонансним або імпульсним методом.

У ємнісних рівнемірах перетворення ємності здійснюється імпульсним методом, у реалізації якого використовуються перехідні процеси, що протікають у чутливому елементі, який підключається періодично до джерела постійної напруги.

Ємнісні рівнеміри випускаються класів точності 0,5; 1,0; 2,5. Їхній мінімальний діапазон вимірювання становить 0...0,4м, максимальний 0...20 м; тиск робочого середовища 2,5...10 МПа; температура від —60 до +100°C або від 100 до 250°C. На базі розглянутих ємнісних чутливих елементів розроблені вибухобезпечні сигналізатори рівня розділення рідин "нафтопродукт-вода" і інших рідин з різними значеннями відносної діелектричної проникності. При довжині зануреної частини чутливого елемента 0,25 м похибка спрацьовування сигналізатора ± 10 мм.

Розроблено ємнісні рівнеміри сипучих середовищ. Верхні межі вимірювання рівнемірів обмежені значеннями 4...20 м. Клас точності 2,5.

Кондуктометричні сигналізатори рівня. Рівнеміри цього виду призначені для сигналізації рівня електропровідних рідких середовищ і сипучих середовищ із питомою провідністю більше 10^{-3} См/м. На рис.11.16, г наведена схема сигналізатора верхнього граничного рівня рідини. У відповідності зі схемою при досягненні рівнем значення / замикається електричний ланцюг між електродом 1 і корпусом технологічного апарата, При цьому спрацьовує реле 2, контакти якого включені в схему сигналізації.

Принцип дії кондуктометричних сигналізаторів рівня сипучих середовищ аналогічний розглянутому.

Електроди, застосовувані в кондуктометричних сигналізаторах рівня, виготовляють зі сталі спеціальних марок або вугілля. Причому вугільні електроди використовуються тільки при вимірюванні рівня рідких середовищ.

11.5. Методи та засоби вимірювання властивостей та складу рідин і газів

Будова та принцип дії приладів для вимірювання вологості та густини

До числа фізико-хімічних властивостей, автоматичний контроль яких здійснюється в хіміко-технологічних процесах, відносяться густина, в'язкість, коефіцієнт переломлення, тиск насиченої пари, теплота згорання.

Вимірювання густини рідин і газів здійснюється для цілей керування хіміко-технологічними процесами і виконання операцій обліку кількості сировини, палива, реагентів і готової продукції.

Для хіміко-технологічних процесів, пов'язаних з виробництвом нафтових масел, консистентних змащень, полімерів, розчинників, в'язкість є показником, що однозначно визначає якість продукції. Тому її автоматичне вимірювання дозволяє створювати дуже ефективні системи автоматичного керування названими вище процесами.

Для деяких видів продукції хіміко-технологічних процесів потрібне вимірювання коефіцієнта заломлення як однієї з величин, що визначають якість.

Для світлих нафтопродуктів (особливо для авіаційних і автомобільних бензинів) одним з важливих властивостей є тиск насиченої пари (пружність пари), що характеризує схильність цих нафтопродуктів до випару і утворення парових пробок у паливних системах двигунів. Для рідких однокомпонентних речовин значення тиску насиченої пари може використовуватися як характеристика їхньої чистоти.

Теплова цінність рідких і газоподібних палив, які використовуються у вогневих нагрівальних і реакційних апаратах хіміко-технологічних процесів, визначається теплотою їхнього згорання. Автоматичне вимірювання цієї фізико-хімічної властивості в цей час отримує надзвичайно важливе значення у зв'язку із проведеними заходами щодо економії паливно-енергетичних ресурсів.

Засоби вимірювання густини рідин і газів

Густиною ρ речовини називають фізичну величину обумовлену відношенням маси m речовини до займаного нею об'єму V :

$$\rho = m/V, [\text{одиниця маси}]/[\text{одиниця об'єму}]$$

Питома вага γ у речовини називають фізичну величину, обумовлену відношенням ваги Q речовини до її об'єму V :

$$\gamma = Q/V, [\text{одиниця сили}]/[\text{одиниця об'єму}]$$

У той час як густина тіла не залежить від його місцезнаходження на поверхні Землі, питома вага змінюється залежно від розташування тіла на земній кулі. Тому довідкові дані становлять по густини.

У деяких випадках використовується поняття відносної густини, обумовлене як відношення густини даної речовини до густини іншої (умовної) речовини при певних фізичних умовах.

Відносну густину рідкої речовини прийнято виражати відношенням її густини, узятої при нормальній температурі (20°C), до густини дистильованої води при температурі 4°C

Відносну густину газу прийнято виражати відношенням його густини до густини сухого повітря, узятого при нормальних умовах (нормальна температура — 293,15 К, нормальний тиск — 101,325 кПа = 760 мм рт. ст.).

Густина рідин і газів зменшується зі збільшенням температури. Густина газів збільшується зі збільшенням тиску, густина рідини практично від тиску не залежить. У багатьох важливих для практики випадках густина можна розглядатися як адитивна фізична властивість.

Засоби вимірювання густини часто називають денсиметрами (денситометрами) (від лат. йетт — густий і від грецьк. теїтед — вимірюю).

Для вимірювання густини в цей час застосовуються вагові денсиметри, поплавкові, гідроаеростатичні, гідрогазодинамічні, радіоізотопні, акустичні, вібраційні і ін.

Далі розглянуті найбільше широко застосовувані автоматичні денсиметри рідин і газів.

Вагові (піднометричні) денсиметри

Принцип дії цих механічних денсиметрів складається в безперервному зважуванні постійного об'єму аналізованої речовини в деякій ємності або трубопроводі, тобто відповідно до виражень (1) - (3) густина визначається через питому вагу.

Схема найпоширенішого вагового денсиметра рідин показана на рис.11.17. Чутливим елементом денсиметра служить U-подібна трубка 7, виготовлена з нержавіючої сталі, з'єднана через тягу 3 з важелем 4.

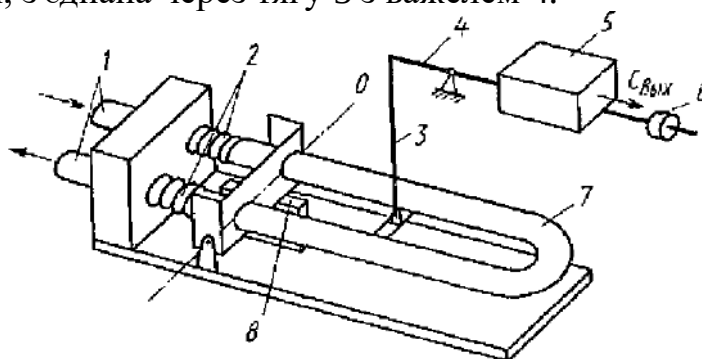


Рис. 11.17. Схема вагового денсиметра

Кінці трубки 7 через сильфони 2 з'єднані з нерухомими патрубками 1, через які подається аналізована рідина. Наявність сильфонів 2 дозволяє трубці 7 повертатися навколо осі 0 — 0. При збільшенні густини рідини збільшується маса трубки з рідиною, що через важіль 4 передається до механоелектричного або механопневматичного перетворювача 5, побудованого за принципом компенсації сил, вихідний сигнал $C_{\text{вих}}$ якого пропорційний зміні густини аналізованої рідини. Протизвага 6, яка укріплена на важелі 4, служить для зрівноважування моменту сил, створюваного трубкою 7 з рідиною при обраній нижній межі вимірювання густини. Пристрій 8 служить для автоматичного введення виправлення до сигналу денсиметра залежно від температури аналізованої рідини, яку цей пристрій безупинно вимірює.

Денсиметри даної конструкції дозволяють вимірювати густину в інтервалі $0,5...2,5 \text{ г/см}^3$. При цьому може бути встановлений діапазон вимірювання $0,05...0,3 \text{ г/см}^3$ у будь-якій частині зазначеного інтервалу. Максимальна температура аналізованої рідини 100°C , класи точності $1...1,5$.

Поплавкові (ареометричні) денсиметри

Принцип дії цих механічних денсиметрів заснований на безперервному вимірюванні виштовхуючої (підйомної) сили, яка діє на поплавець, частково або повністю занурений в аналізовану речовину.

На рис.11.18 показана схема поплавкового денсиметра рідин із частково зануреним поплавцем 2, що розміщений у ємності 1. Через цю ємність безупинно прокачується аналізована рідина. За рахунок переливу в ємності підтримується постійний рівень. Аналізована рідина витікає із денсиметра через збірник 3. При

зміні густини рідини змінюється, ступінь занурення поплавця 2 у ємність. Досягнення положення рівноваги сил N і G_n забезпечується глибиною занурення поплавця, при цьому змінюється довжина l стрижня 4, зануреного в рідину. Переміщення поплавця 2 перетворюється в електричний сигнал за допомогою диференціального трансформатора 5.

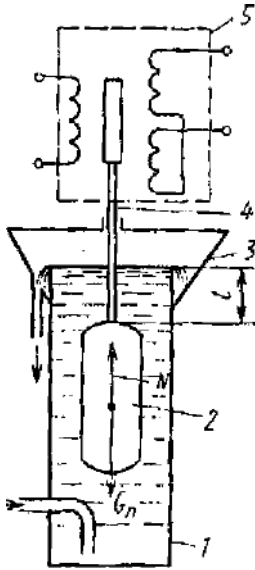


Рис. 11.18. Поплавковий денсиметр

При рівності сил G_n і N з урахуванням дії на стрижень на поверхні розділення фаз сил поверхневого натягу можна визначити величину ходу стрижня l . Довжина l , а отже, і сигнал диференціального трансформатора 5 однозначно пов'язані із густиною рідини. Маса m підбирають залежно від діапазону вимірювання.

Існує багато різних конструкцій денсиметрів із частково зануреним поплавцем. Вони мають високу чутливість, що дозволяє здійснювати вимірювання густини у вузькому діапазоні (усього $0,005—0,01 \text{ г/см}^3$) з похибкою $\pm(1,5...3)\%$ від діапазону вимірювання.

Гідро- і аеростатичні денсиметри

Принцип дії цих; механічних денсиметрів заснований на залежності тиску P стовпа аналізованої рідини або газу від густини цих середовищ:

Якщо значення H прийняти постійним, то тиск P однозначно визначається густиною середовища.

Схема гідростатичного денсиметра, принцип дії якого заснований на вимірюванні гідростатичного тиску методом продувки стисненого газу, показана на рис.11.19.

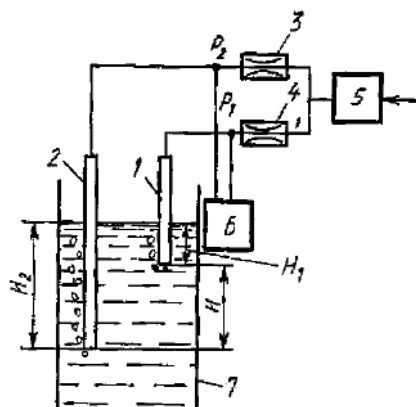


Рис.11.19. Схема гідростатичного денсиметра

Такі денсиметри використовуються в хіміко-технологічних процесах для вимірювання густини безпосередньо в технологічних апаратах. В апараті 7 установлені трубки 1 і 2 з різною глибиною занурення. Газ (звичайно повітря) від регулятора витрати 5 надходить до пневматичних дроселів 3 і 4, а потім до трубок 2 і 1.

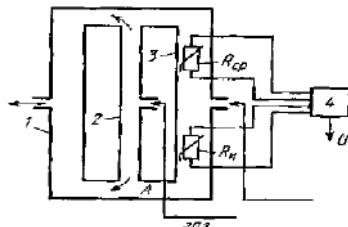


Рис. 11.20. Аеростатичний денсиметр

Через відкриті кінці трубок газ барботує через рідину. Тиск газу в трубках 1 і 2 визначається гідростатичним тиском стовпа рідин висотою H_1 і H_2 . Різниця тисків у трубках вимірюється дифманометром 6 із пневматичним або електричним вихідним сигналом.

Наявність двох трубок дозволяє виключити вплив на результат вимірювання можливих змін рівня рідини в апараті. Одним з найбільш удосконалених і чутливих є аеростатичний денсиметр (рис.11.20), у якому використовується комбінація механічного і теплового ефектів. Аналізований газ із постійною об'ємною витратою надходить у трубку 2, а в трубку 3 при постійному тиску надходить допоміжний газ (звичайно повітря). Газові потоки виводяться через трубку 1. Трубки 1, 2 і 3 розташовані вертикально. При зміні густини аналізованого газу змінюється аеростатичний тиск стовпа газу в трубці 2, а отже, і тиск у точці А. Тому змінюється витрата повітря, яке обвітрює резисторний вимірювальний термоанемометр R_n , у результаті чого змінюється його опір. Опір порівняльного термоанемометра R_{cp} залишається постійним, тому що потік повітря, яке його обвітрює, практично не змінюється. Зміна опору термоанемометра R_n спричиняє розбаланс II нерівноважного мосту 4.

Денсиметр термостатується при температурі 40 або 45°C, і забезпечує вимірювання густини в межах 0...3 кг/см³ з діапазоном вимірювання, відліченим від значення густини повітря при 20°C, $\pm (0,01...1,5)$ кг/м³ і класами точності 2–5 (залежно від діапазону вимірювання).

Будова та принцип дії приладів для вимірювання концентрації та в'язкості розчинів

Засоби вимірювання в'язкості називають віскозиметрами. На хіміко-технологічних процесах віскозиметри використовуються тільки для вимірювання в'язкості рідин. У цей час розроблені автоматичні капілярні, ротаційні, вібраційні віскозиметри, віскозиметри з падаючим тілом і ін. Далі розглянуті віскозиметри, які найбільш часто застосовуються в хіміко-технологічних процесах.

Капілярні віскозиметри (віскозиметри витікання)

Принцип дії цих механічних віскозиметрів заснований на закономірності витікання рідини через капіляр, що описується законом Пуазейля:

$$Q = \frac{P_1 - P_2}{8\eta L} \pi R^4$$

З формули видно, що для вимірювання динамічної в'язкості при постійній об'ємній витраті рідини досить вимірювати перепад тиску на капілярі.

На рис.11.21 показана схема капілярного віскозиметра, у якому для створення постійної об'ємної витрати аналізованої рідини використовується шестерний насос 1, який приводиться у рух синхронним двигуном 2. З насоса аналізована рідина надходить у змійовик 3, де нагрівається до температури масла, що заповнює термостат 6, а потім — у капіляр 4, розміри якого вибирають залежно від діапазону вимірюваних значень в'язкості. Перепад тисків на капілярі вимірюється дифманометром 5 із пневматичним або електричним уніфікованим вихідним сигналом, що пропорційний динамічній в'язкості аналізованої рідини.

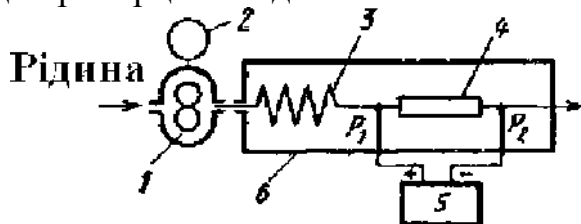


Рис.11.21. Капілярний віскозиметр

Діапазони вимірювання від $0...2 \cdot 10^{-3}$ Па·с до $0...1000 \cdot 10^{-3}$ Па·с. Класи точності віскозиметра 1,5—2,5 (залежно від діапазону вимірювання).

Віскозиметри з падаючим тілом (кулькові віскозиметри)

Принцип дії цих механічних віскозиметрів заснований на вимірюванні швидкості (або часу) руху тіла (кульки) під дією сил ваги і тертя в аналізованій рідині. Цей рух описується законом Стокса:

$$v_0 = \frac{(\rho_{ш} - \rho_{ж}) \cdot V \cdot g}{6\pi \cdot r \cdot \eta}$$

Звичайний вимір швидкості v зводиться до вимірювання відрізка часу t , за який кулька, падаючи з постійною швидкістю, проходить деякий постійний відрізок шляху l між двома прийнятими відмітками.

На рис.11.22 показана схема кулькового віскозиметра циклічної дії. Аналізована рідина з апарата 7 або трубопроводу прокачується насосом 6 по трубці 1 з немагнітного матеріалу знизу нагору і при своєму русі піднімає кульку від нижньої 11 до верхньої 5 обмежувальної сітки. При вимиканні двигуна 8

насоса (періодичне включення і вимикання здійснюються блоком керування 9) кулька падає в аналізовану рідину. За допомогою диференціальних трансформаторів 3 і 2 формуються електричні імпульси в моменти часу, коли кулька проходить дві прийняті відмітки, що віддалені одна від одної по висоті трубки на відстань l . За допомогою вимірювача часових інтервалів 10 вимірюється відрізок часу між зазначеними імпульсами, значення якого і визначає динамічну в'язкість. Клас точності віскозиметра 2.

Існують конструкції віскозиметрів з падаючим тілом безперервної дії.

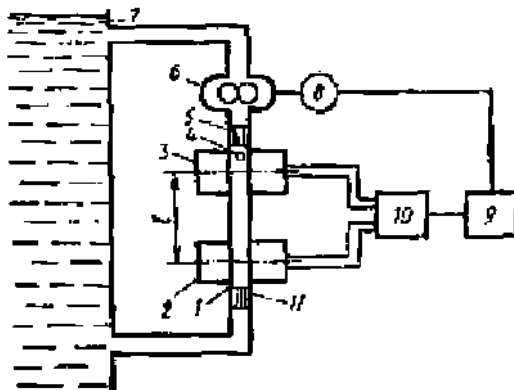


Рис.11.22. Віскозиметр з падаючим тілом

Ротаційні віскозиметри

Принцип дії цих механічних віскозиметрів побудований на вимірюванні обертового моменту, який виникає на осі ротора (циліндра, диска і т.п.), зануреного у вимірювальне середовище, при взаємному їх переміщенні. Зазначений обертовий момент у загальному випадку описується виразом

$$M = k \cdot \omega \cdot \mu,$$

де k — постійний коефіцієнт, що залежить від конструкції ротора віскозиметра; ω - кутова швидкість обертання ротора (при постійній кутовій швидкості обертовий момент однозначно визначає в'язкість рідини).

Найбільше використовуються конструкції, показані на рис. 11.23. Дані віскозиметри поєднують загальний принцип дії, відповідно до якого в'язкість визначається за моментом сил тертя, який виникає при обертанні тіла, зануреного в аналізовану рідину. Таким тілом може бути циліндр (рис. 11.23, а), кулька (рис. 11.23, б) або диски, посаджені на загальний вал і розміщені між нерухомими шайбами (рис. 11.23, в). Диску або циліндру обертовий рух передається синхронним двигуном. Обертовий момент, що виникає на диску (циліндрі), а отже, на шківі, розміщеному на одному валу з диском (циліндром), пропорційний динамічній в'язкості.

Характерною рисою ротаційних віскозиметрів є широкий діапазон вимірюваних значень в'язкості (0,01-1000 Па·с). Класи точності ротаційних віскозиметрів 1-2,5.

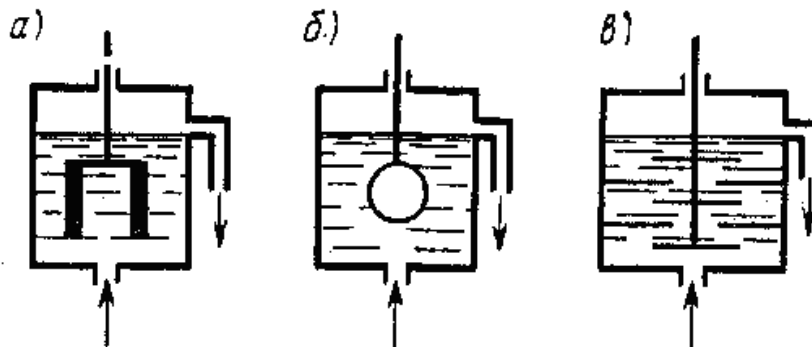


Рисунок 11.23. Схеми ротаційних віскозиметрів

11.6. Витратоміри та лічильники води, газу, тепла

Для вимірювання витрат газу використовують різні фізичні явища та процеси, що відбуваються у газі:

- зміну площі живого перерізу потоку, що викликає перепад тиску у трубопроводі, зміну динамічного тиску, вихрові коливання, обертання та коливання чутливого елементу (ЧЕ), який розташовано у потоці;
- вплив на потік різноманітних ефектів:
- теплової дії на потік або тіло, яке контактує з ним;
- зміна магнітного поля;
- акустичних та оптичних ефектів у потоці рухомого газу;
- іонізації потоку вимірюваного газу;

Моніторинг приладів і систем, які широко застосовуються у сучасній витратометрії, показує що найбільшого поширення отримали витратоміри та лічильники кількості, побудовані на ВПВР змінного та постійного перепаду тиску, тахометричні, обтікання, електромагнітні, вихрові та ультразвукові. Ці прилади випускаються серійно, мають досить високі метрологічні та експлуатаційні характеристики і знаходять широке застосування практично у всіх галузях народного господарства.

Існуючі прилади вимірювання кількості речовини, що проходить можна розділити на такі групи:

- лічильники змінного перепаду тиску;
- вихрові лічильники;
- тахометричні лічильники;
- ультразвукові лічильники;
- теплові лічильники;
- лічильники з мітками.

Метод змінного перепаду тиску

Найбільшого поширення серед методів вимірювання витрати отримав метод змінного перепаду тиску (або дросельний метод). Даний метод вимірювання застосовують для вимірювання витрати рідких і газоподібних середовищ, що протікають по трубопроводу круглого перерізу діаметром від 50 мм до 1000 мм за умови повного заповнення перерізу вимірюваним середовищем постійної в'язкості і щільності. Метод змінного перепаду тиску один з найбільш старих і найбільш вивчених методів вимірювання витрати рідких і газоподібних середовищ.

Залежно від конструкції і принципу дії первинного перетворювача виділяють кілька видів вимірювань (рис. 11.24), але в основі кожного з них лежить залежність перепаду тиску, який створюється первинним перетворювачем, від витрати протікаючої рідини. Найбільшого поширення набули засоби вимірювання, що отримали назву «діафрагми».

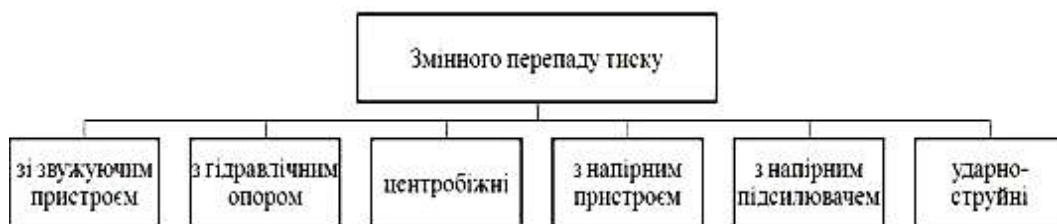


Рис. 11.24. Лічильники змінного перепаду тиску

Перевагами даного методу вимірювання є порівняльна простота і компактність вимірювальних пристроїв; точність вимірювання фізичної величини; висока стабільність вимірювання; висока надійність роботи; невисокі вимоги до довжин прямолінійних ділянок; можливість дистанційної передачі даних. Це, а також можливість непрямого градування та перевірки стандартизованих первинних перетворювачів - звужуючих пристроїв, що реалізують метод, їх простота і надійність, серійність випуску вторинних перетворювачів – дифманометрів - обумовлює його надзвичайно широке (порівняно з іншими) використання на практиці промислових вимірювань витрати.

Недоліки: вплив точності установки пристрою звуження на якість вимірювання; необхідність періодичної ревізії пристроїв звуження потоку; необхідність введення поправок на температуру і тиск вимірюваного середовища; втрати тиску в водоводі в силу конструктивних особливостей первинного перетворювача; відносно короткий міжповірочний інтервал; невеликий діапазон виміру. І разом з тим в основі цього чисто гідродинамічного методу лежать настільки складні фізичні процеси деформації потоків, настільки велике число неконтрольованих факторів впливає на характер цих процесів, що застосування його в даний час обмежене областями, де потрібна дуже низька точність вимірювань, хоча можливості його «метрологічного вдосконалення» далеко не вичерпані.

Похибка: $\pm 1\% - \pm 3\%$.

Вихоровий метод

Вихоровими називаються витратоміри, засновані на залежності від витрати частоти коливань тиску, що виникають у потоці в процесі вихроутворення або коливання потоку. Вони поділяються на три групи, істотно відмінні одна від одної (рис.11.25.).

1. Витратоміри, що мають у первинному перетворювачі нерухоме тіло, при обтіканні якого з обох його сторін поперемінно виникають вихори, що створюють пульсації тиску.

2. Витратоміри, в первинному перетворювачі яких потік закручується і, потрапляючи потім у розширену частину труби, прецесує, створюючи при цьому пульсації тиску.

3. Витратоміри, в первинному перетворювачі яких струмінь, що впливає з отвору, здійснює автоколивання, створюючи при цьому пульсації тиску.

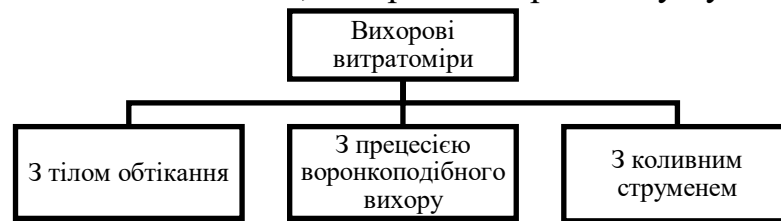


Рис11.25. Класифікація вихорових витратомірів

Вихоровий метод досить перспективний метод вимірювання витрати рідин і газів з широким діапазоном зміни фізико-хімічних властивостей.

Перевагами є: відсутність рухомих частин; простота і надійність перетворювача витрати; незалежність показань від тиску і температури; великий діапазон вимірювання; лінійність шкали; хороша точність; частотний вимірювальний сигнал; стабільність показань; порівняно не складна вимірювальна схема; можливість отримання універсального градування.

До недоліків вихорових витратомірів відносяться: значна втрата тиску, що досягає 30-50 кПа; деякі обмеження можливості їх застосування: вони непридатні при малих швидкостях, і виготовляються лише для труб, що мають діаметри від 25 до 150-300 мм; вони не застосовуються також при $Re < 10^3 \div 10^4$. Багато конструкцій вихрових витратомірів непридатні для вимірювання забруднених і агресивних речовин, що можуть порушити роботу перетворювачів вихідного сигналу. Але на процесі вихроутворення забруднення, корозія і ерозія тіла обтікання або закручування апарату практично позначаються дуже мало (на відміну, наприклад, від звужуючих пристроїв). Тому при виборі перетворювача вихідного сигналу (наприклад, ультразвукового) вихрові витратоміри можуть служити і для вимірювання забруднених, агресивних і абразивних речовин.

Похибка: $\pm 0,5-1,5\%$.

Тахометричний метод

Тахометричний метод є на сьогоднішній день одним з найбільш точних методів вимірювання об'ємної витрати рідин і газів. Тахометричними називаються витратоміри і лічильники, що мають рухомий, зазвичай обертовий елемент, швидкість руху якого пропорційна об'ємній витраті. Вони поділяються на турбінні, кулькові, роторно-кульові та камерні (рис.11.26). Принцип дії заснований на вимірюванні швидкості рухомого елемента, який обертається під впливом протікання рідини. Найбільш доступне за вартістю обладнання, але має цілий ряд обмежень до застосування.

Переваги: первинний перетворювач витрати не потребує живлення, працює автономно; прості в обслуговуванні і ремонті; невисокі вимоги до довжин прямолінійних ділянок; відносно великий міжповірочний інтервал (до 6 років); володіють високою точністю (відомі витратоміри з наведеною основною похибкою 0,1 - 0,2%) і великими межами вимірювань для однієї модифікації (10:1 і більше); можливістю вимірювання як малих (від $5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{с}$), так і великих (до $1 \text{ м}^3/\text{с}$) значень витрати; широкий діапазон тисків (до 250 МПа) і температур (від -240 до $+700^\circ \text{C}$); мала інерційність.

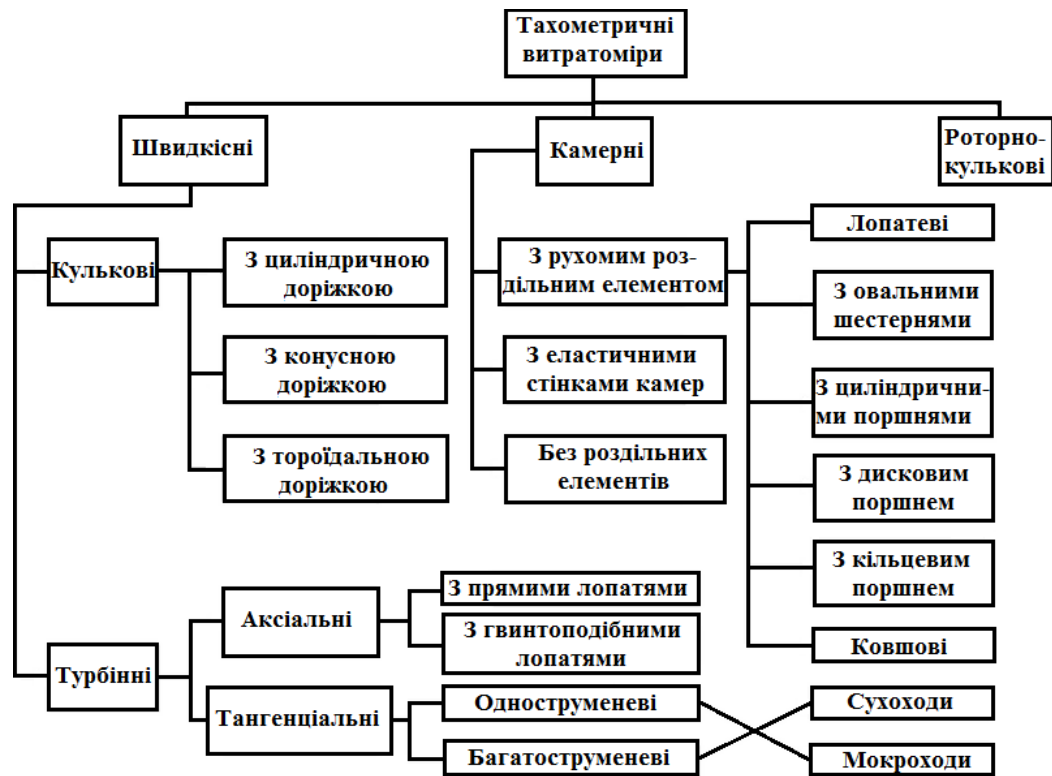


Рис. 11.26. - Класифікація тахометричних витратомірів

Незважаючи на це, дані витратоміри не знайшли ще настільки широкого застосування, як вони того заслуговують. Це обумовлюється наступними недоліками: необхідністю індивідуального градуювання; впливом зміни в'язкості вимірюваного середовища і гідродинамічних параметрів потоку на покази приладів; рухомі елементи конструкції вимогливі до якості протікаючої рідини - тільки чиста вода; зношення опор, що різко скорочує термін служби приладів (особливо при вимірюванні газових потоків, агресивних і абразивних середовищ) і призводить до зниження їх точності в процесі експлуатації.

Похибка: $\pm 0,1\%$ - $\pm 5\%$.

Витратоміри з мітками

Витратоміри з мітками, засновані на вимірі часу переміщення якої-небудь характерної частини (мітки) потоку на контрольній ділянці шляху.

Мітку в потоці створюють, як правило, штучним шляхом. Мітки можуть бути найрізноманітніші (рис.11.27): іонізаційні, радіоактивні, фізико-хімічні, теплові, оптичні, ядерно-магнітні та ін. Відповідно, існують і різні пристрої для створення мітки і її детектування при проходженні нею контрольної ділянки шляху. Радіоактивні, фізико-хімічні та деякі оптичні мітки створюють шляхом введення в потік сторонньої речовини-індикатора. У більшості інших випадків мітка утворюється в самому потоці без введення сторонньої речовини. Витратоміри з мітками - прилади не безперервної, а дискретної дії, але при високій частоті створення міток можна практично говорити про безперервне вимірювання витрати.

Значно частіше витратоміри з мітками застосовують не в якості експлуатаційних приладів для безперервного вимірювання, а для різних лабораторних і дослідних робіт, і зокрема при градуюванні і повірці інших витратомірів.

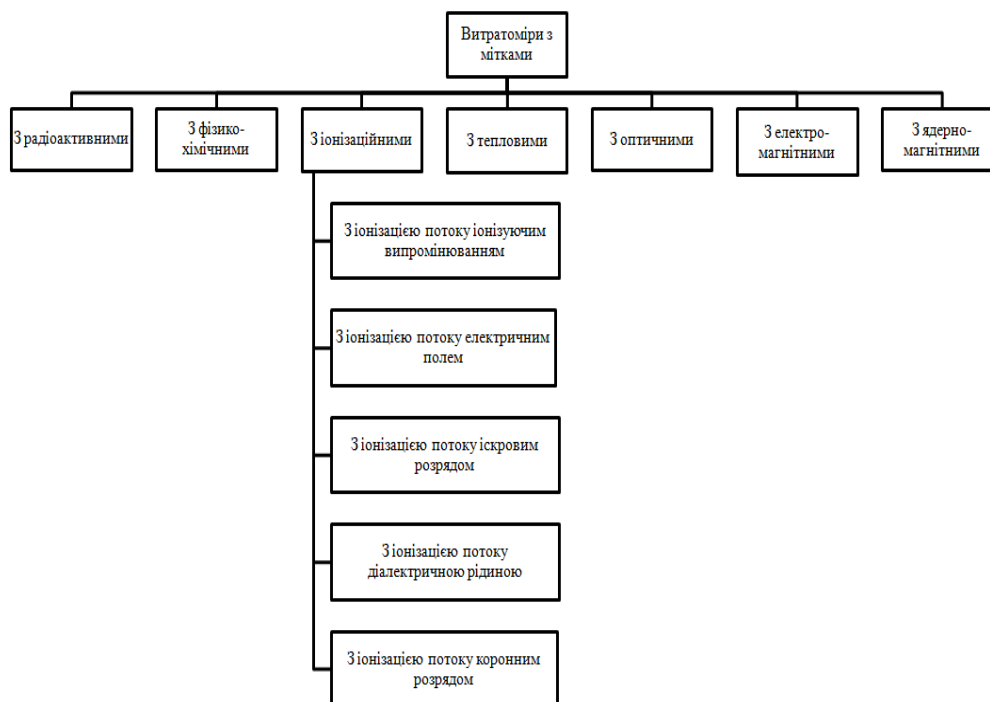


Рис.11.27. – Класифікація витратомірів з мітками

Похибка вимірювання витрати у витратомірів з міткам коливається від $(+0,1 \div 0,2)$ до $(+2-3)$ відсотків залежно від роду мітки, вимірювальної апаратури, способу детектування і відповідності швидкості переміщення мітки до середньої швидкості потоку. Найбільша точність досягається за відсутності необхідності у відборі проб у контрольних перетинах. Довжина контрольної ділянки, залежно від роду мітки, може бути від декількох міліметрів до декількох кілометрів.

Тема 12. Метрологічний нагляд і повірка приладів.

12.1. Структура державної метрологічної служби України

Метрологічна служба України складається з Державної метрологічної служби і метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій.

Державний метрологічний контроль і нагляд здійснюються Державною метрологічною службою з метою перевірки додержання вимог цього Закону та інших нормативно-правових актів України і нормативних документів із метрології.

Державна метрологічна служба (ДМС) організовує, здійснює та координує діяльність, спрямовану на забезпечення єдності вимірювань в державі, а також здійснює державний метрологічний контроль і нагляд за додержанням вимог Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність”, інших нормативно-правових актів України і нормативних документів із метрології.

До Державної метрологічної служби належать:

- відповідні підрозділи центрального апарату Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики (Управління метрології);
- державні наукові метрологічні центри Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики;
- територіальні органи Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики;
- Державна служба єдиного часу та еталонних частот (ДСЧЧ);
- Державна служба стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів (ДССЗ);
- Державна служба стандартних довідкових даних України про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів (ДССДД).

Державні наукові метрологічні центри і територіальні органи Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики акредитовані відповідно до галузей акредитації на право проведення державних приймальних і контрольних випробувань та повірки засобів вимірювальної техніки (перелік метрологічних центрів і територіальних органів, галузі акредитації цих територіальних органів).

Державні наукові метрологічні центри виконують роботи, пов'язані зі створенням, удосконаленням, зберіганням та застосуванням державних еталонів, створенням систем передачі розмірів одиниць вимірювань від еталонів до РЗВТ, розробкою нормативних документів з метрології, а також здійснюють державний метрологічний контроль.

Територіальні органи Держспоживстандарту України виконують на відповідній території завдання і функції Держспоживстандарту України в межах, визначених положенням про ці органи та наказами Держспоживстандарту України. Державний метрологічний нагляд стосовно об'єктів поширюється на вимірювання, результати яких використовуються під час:

- робіт по забезпеченню охорони здоров'я;
- робіт по забезпеченню захисту життя та здоров'я громадян;
- контролю якості і безпеки продуктів харчування;

- контролю стану навколишнього природного середовища;
- контролю безпеки умов праці;
- геодезичних і гідрометеорологічних робіт;
- торговельно-комерційних операцій і розрахунків між покупцем (споживачем) і продавцем (постачальником, виробником, виконавцем), у тому числі у сферах побутових і комунальних послуг, послуг електро- та поштового зв'язку;
- податкових, банківських і митних операцій;
- обліку енергетичних і матеріальних ресурсів (електричної і теплової енергії, газу, води, нафтопродуктів тощо), за винятком внутрішнього обліку, який ведеться підприємствами, організаціями та громадами - суб'єктами підприємницької діяльності;
- робіт, що виконуються за дорученням органів прокуратури та правосуддя;
- обов'язкової сертифікації продукції;
- реєстрації національних і міжнародних спортивних рекордів.

До державного метрологічного контролю належать:

- державні випробування засобів вимірювальної техніки і затвердження їх типів;
- державна метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки;
- повірка засобів вимірювальної техніки;
- акредитація на право проведення державних випробувань, повірки і калібрування засобів вимірювальної техніки, проведення вимірювань та атестації методик виконання вимірювань.

До державного метрологічного нагляду належать:

- державний метрологічний нагляд за забезпеченням єдності вимірювань;
- державний метрологічний нагляд за кількістю фасованого товару в упаковках.

Державна метрологічна служба організовує, здійснює та координує діяльність, спрямовану на забезпечення єдності вимірювань в державі, а також здійснює державний метрологічний контроль і нагляд за додержанням вимог цього Закону, інших нормативно-правових актів України і нормативних документів із метрології.

До Державної метрологічної служби належать:

- відповідні підрозділи центрального апарату Держстандарту України;
- державні наукові метрологічні центри, що належать до сфери управління Держстандарту України (далі - метрологічні центри Держстандарту України);
- територіальні органи Держстандарту України в Автономній Республіці Крим, областях, містах Києві і Севастополі та містах обласного підпорядкування (далі - територіальні органи Держстандарту України);

Державна служба єдиного часу і еталонних частот;

Державна служба стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів;

Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів.

Держстандарт України здійснює державне управління забезпеченням єдності вимірювань в Україні.

До компетенції Держстандарту України належить проведення єдиної в країні технічної політики щодо забезпечення єдності вимірювань, у тому числі:

- організація проведення фундаментальних досліджень у галузі метрології;
- організація створення та функціонування еталонної бази України;
- визначення порядку створення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування еталонів, а також звірення їх з міжнародними еталонами та еталонами інших країн;
- координація діяльності метрологічної служби України;
- визначення загальних метрологічних вимог до засобів вимірювальної техніки, методів та результатів вимірювань;
- затвердження типів засобів вимірювальної техніки;
- визначення загальних вимог щодо порядку проведення калібрування і метрологічної атестації засобів вимірювальної техніки;
- визначення загальних вимог до розроблення та атестації методик виконання вимірювань;
- визначення порядку проведення всіх видів державного метрологічного контролю і нагляду;
- організація і проведення державного метрологічного контролю і нагляду;
- затвердження типових положень про метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій;
- розроблення або участь у розробленні національних, державних і багатогалузевих програм, що стосуються забезпечення єдності вимірювань;
- участь у діяльності міжнародних метрологічних організацій в порядку, передбаченому законодавством.

Рішення Держстандарту України з питань метрології, прийняті в межах його компетенції, є обов'язковими для виконання центральними та місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, підприємствами, організаціями, громадянами - суб'єктами підприємницької діяльності та іноземними виробниками.

Метрологічні центри Держстандарту України виконують роботи, пов'язані із створенням, вдосконаленням, зберіганням і застосуванням державних еталонів, створенням систем передачі розмірів одиниць вимірювань, розробленням нормативних документів із метрології, а також здійснюють державний метрологічний контроль.

Територіальні органи Держстандарту України виконують на відповідній території завдання і функції Держстандарту України в межах, визначених положенням про ці органи та наказами Держстандарту України.

Метрологічні центри і територіальні органи Держстандарту України за договорами з підприємствами, організаціями і громадянами - суб'єктами підприємницької діяльності можуть проводити калібрування і ремонт засобів вимірювальної техніки, метрологічну експертизу документації, акредитацію вимірювальних лабораторій, атестацію методик виконання вимірювань та надавати інші метрологічні послуги відповідно до цього Закону.

Державна служба єдиного часу і еталонних частот здійснює міжрегіональну і міжгалузеву координацію і виконання робіт, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань часу і частоти та визначення параметрів обертання Землі.

Державна служба стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів здійснює міжрегіональну і міжгалузеву координацію і забезпечує виконання робіт, пов'язаних із розробленням і впровадженням стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів.

Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів здійснює міжрегіональну і міжгалузеву координацію і забезпечує виконання робіт, пов'язаних із розробленням і впровадженням стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів.

Положення про Державну службу єдиного часу і еталонних частот, Державну службу стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, Державну службу стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів затверджуються Кабінетом Міністрів України.

12.2. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки

Метрологічні служби можуть створюватися: у центральних органах виконавчої влади - для координації робіт, пов'язаних із забезпеченням єдності вимірювань і здійсненням метрологічного контролю і нагляду;

в органах управління об'єднань підприємств - для виконання делегованих підприємствами, що входять до складу об'єднань, функцій щодо забезпечення єдності вимірювань;

на підприємствах і в організаціях - для забезпечення єдності вимірювань та здійснення метрологічного контролю і нагляду.

Метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій організовують та виконують роботи, пов'язані із забезпеченням єдності вимірювань у сфері своєї діяльності, основними з яких є:

- організація і здійснення метрологічного контролю і нагляду;
- розроблення методик виконання вимірювань, методик метрологічної атестації, повірки та калібрування засобів вимірювальної техніки;
- організація та проведення державних випробувань, повірки і ремонту засобів вимірювальної техніки.

Положення про метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій розробляються згідно з типовими положеннями про ці служби, які затверджуються Держстандартом України.

Положення про метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, головні організації цих служб і метрологічні служби підприємств і організацій погоджуються відповідно з Держстандартом України, його метрологічними центрами та територіальними органами.

Фінансування діяльності Державної метрологічної служби здійснюється за рахунок: коштів державного бюджету; надходжень від виконання робіт із державного метрологічного контролю, інших метрологічних робіт та надання метрологічних послуг; коштів від виконання науково-дослідних робіт; інших надходжень, передбачених законом.

Обов'язковому фінансуванню за рахунок коштів Державного бюджету України підлягають:

фундаментальні дослідження та розроблення нормативних документів у галузі метрології;

створення, вдосконалення, придбання, утримання та експлуатація державних еталонів;

роботи, пов'язані з діяльністю державних служб єдиного часу і еталонних частот, стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів;

роботи, пов'язані з виконанням державних та багатогалузевих науково-технічних програм у галузі метрології;

роботи з державного метрологічного нагляду.

Кошти на виконання перелічених робіт визначаються щорічно під час формування Державного бюджету України та Програми економічного і соціального розвитку України на відповідний рік виходячи із можливостей Державного бюджету України.

У соціально-економічних і науково-технічних програмах обов'язково повинні передбачатися розділи з метрологічного забезпечення та визначатися джерела фінансування робіт щодо виконання завдань цих розділів.

Підприємства, організації і громадяни - суб'єкти підприємницької діяльності оплачують метрологічні роботи, пов'язані із здійсненням на госпрозрахункових засадах всіх видів державного метрологічного контролю, визначених статтею 17 цього Закону, в порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України.

Кошти, отримані за виконання зазначених метрологічних робіт та надання метрологічних послуг, передбачених частиною 5 статті 12 цього Закону, можуть використовуватися метрологічними центрами і територіальними органами Держстандарту України для забезпечення їх виробничої та наукової діяльності.

Метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, а також підприємств і організацій, що належать до сфери їх управління, які фінансуються із Державного бюджету України, виконують всі роботи, пов'язані із забезпеченням єдності вимірювань, за рахунок коштів Державного бюджету України, що виділяються на їх утримання на відповідний рік, згідно з їх розрахунками, а також коштів, одержаних за надання метрологічних послуг.

Фінансування діяльності метрологічних служб всіх інших підприємств і організацій проводиться за рахунок коштів цих підприємств і організацій.

12.3. Повірка вимірювальної техніки

Повірці підлягають ЗВТ, що перебувають в експлуатації, випускаються з серійного виробництва, ремонту та у продаж, видаються напрокат, на які поширюється державний метрологічний нагляд, а саме ті, які застосовують під час:

- робіт із забезпечення охорони здоров'я;
- робіт із забезпечення захисту життя та здоров'я громадян;
- контролю якості та безпеки продуктів харчування і лікарських засобів;
- контролю за станом навколишнього природного середовища;
- контролю безпеки умов праці;
- геодезичних і гідрометеорологічних робіт;
- торговельно-комерційних операцій і розрахунків між покупцем (споживачем) і продавцем (постачальником, виробником, виконавцем), у тому

числі у сферах побутових і комунальних послуг, телекомуні-каційних послуг та послуг поштового зв'язку;

- податкових, банківських і митних операцій;
- обліку енергетичних і матеріальних ресурсів (електричної і теплової енергії, газу, води, нафтопродуктів тощо), за винятком внутрішнього обліку, який ведуть підприємства, організації та фізичні особи - суб'єкти підприємницької діяльності;

- робіт, пов'язаних із державною реєстрацією земельних ділянок і нерухомого майна;

- робіт із забезпечення технічного захисту інформації, необхідність якого визначено законодавством;

- робіт, що виконують за дорученням органів прокуратури та правосуддя;

- робіт з оцінювання відповідності продукції, процесів, послуг;

- реєстрації національних і міжнародних спортивних рекордів;

Повірці також підлягають:

- вихідні і робочі еталони метрологічних центрів та територіальних органів;

- вихідні еталони підприємств і організацій;

- ЗВТ, що застосовують під час державних випробовувань, державної метрологічної атестації та повірки ЗВТ, а також для калібрування ЗВТ для інших підприємств, організацій, а також для фізичних осіб.

Повірку ЗВТ проводять територіальні органи, уповноважені на її проведення. Якщо територіальні органи за відсутністю відповідних еталонів не можуть провести повірку окремих типів ЗВТ, то повірку цих ЗВТ проводять наукові метрологічні центри, уповноважені (акредитовані) на її проведення.

Повірку проводять посадові особи територіальних органів і наукових метрологічних центрів - державні повірники, атестовані у порядку, встановленому нормативно-правовим актом ЦОВМ.

Повірку ЗВТ із застосуванням державних і вторинних еталонів проводять наукові метрологічні центри та територіальні органи, в яких зберігаються відповідні еталони. Її виконують учені - зберігачі цих еталонів.

Повірку ЗВТ під час експлуатації та випуску з виробництва і ремонту можуть виконувати повірочні лабораторії підприємств і організацій, уповноважені (акредитовані) на її проведення (далі - повірочні лабораторії).

Повірку проводять працівники цих лабораторій, атестовані як повірники у порядку, встановленому нормативно-правовим актом ЦОВМ.

Повірку ЗВТ із застосуванням первинних еталонів проводять повірочні лабораторії підприємств і організацій, у яких зберігають первинні еталони. Повірку проводять учені - зберігачі цих еталонів.

Повірку ЗВТ, які призначено для ввезення на територію України партіями, проводять під час їх випуску з виробництва повірочні лабораторії іноземних виробників, уповноважені (акредитовані) на її проведення.

Відповідно до міжнародних угод України, можна визнавати результати повірки, проведеної в іноземних державах. Порядок визнання результатів такої повірки встановлює ЦОВМ.

Діяльність повірочних лабораторій підлягає державному метрологічному нагляду.

Повірку ЗВТ здійснюють згідно з методиками повірки, викладеними в окремих документах і затвердженими за встановленим ЦОВМ порядком, або викладеними у відповідних розділах експлуатаційних документів на ЗВТ.

ЗВТ визнають придатними до застосування, якщо результати повірки підтверджують їх відповідність метрологічним і технічним вимогам до цих ЗВТ, встановленим у нормативних чи експлуатаційних документах.

ЗВТ, які застосовують для спостереження за зміною ФВ без відображення їх значень з унормованою похибкою (як індикатори), повірці не підлягають. На такі ЗВТ та їх експлуатаційні документи має бути нанесена позначка «І».

Види повірки вимірювальної техніки та вимоги до них

Контроль за придатністю таких ЗВТ до застосування здійснюють за порядком, встановленим користувачем.

ЗВТ, які застосовують у складі вимірювальних каналів вимірювальних і вимірювально-інформаційних систем або автоматизованих систем керування технологічними процесами, можна окремо не повірять, якщо це передбачено затвердженими у встановленому порядку методиками повірки вимірювальних каналів цих систем.

Заявники оплачують роботи, пов'язані з проведенням на госп-розрахункових засадах усіх видів повірки відповідно до порядку, встановленого КМ України.

Підприємства, установи та організації, фізичні особи - суб'єкти підприємницької діяльності, які експлуатують, виробляють, ремонтують, продають і видають напрокат ЗВТ, що підлягають повірці, зобов'язані своєчасно подавати зазначені ЗВТ на повірку.

Переліки ЗВТ, що перебувають в експлуатації і підлягають повірці, складають їх користувачі (за винятком фізичних осіб, що не є суб'єктами підприємницької діяльності) і подають на погодження до наукових метрологічних центрів, територіальних органів та повірочних лабораторій, які будуть проводити повірку. Порядок складання та погодження цих переліків ЗВТ встановлено нормативно-правовим актом ЦОВМ.

ЗВТ, які призначено для застосування в побутовій сфері для власних потреб, подають на періодичну та позачергову повірку за бажанням їх власника. Це положення не стосується ЗВТ, результати вимірювань якими застосовують для розрахунків за спожиті для побутових потреб електричну і теплову енергію, газ і воду.

Повірку ЗВТ мають забезпечувати наукові метрологічні центри, територіальні органи та повірочні лабораторії безвідмовно (відповідно до погоджених переліків ЗВТ, які перебувають в експлуатації і підлягають повірці, і (або) письмового звернення).

У разі відсутності умов, необхідних для проведення повірки, науковий метрологічний центр, територіальний орган або повірочна лабораторія зобов'язані зазначити іншу найближчу організацію, що може здійснити повірку.

ЗВТ подають на повірку укомплектованими, разом з необхідними допоміжними пристроями та, за вимогою наукового метрологічного центру, територіального органу або повірочної лабораторії, експлуатаційними

документами, свідоцтвами про попередню повірку чи державну метрологічну атестацію.

Умови проведення повірки

Повірку ЗВТ можна проводити:

- у стаціонарних або пересувних повірочних лабораторіях;
- безпосередньо на підприємствах, у цьому випадку державних повірників (повірників) відряджають на підприємства;

Під час проведення повірки ЗВТ на місцях їх виготовлення, ремонту або експлуатації заявники повинні:

- забезпечувати у разі потреби доставку робочих еталонів та допоміжних засобів повірки, які належать науковим метрологічним центрам, територіальним органам або повірочним лабораторіям, до місця повірки і у зворотному напрямку;

- надавати необхідні нормативні, експлуатаційні та інші документи;

- відряджати допоміжний персонал та надавати приміщення, необхідні для проведення повірки;

- забезпечувати необхідні умови повірки (температуру і вологість навколишнього повітря, захист від зовнішніх електромагнітних полів тощо) та дотримання вимог техніки безпеки і санітарних норм (освітленість робочих місць для проведення повірки, наявність заземлення, вентиляції тощо);

- забезпечувати зберігання робочих еталонів і допоміжних засобів повірки, які належать науковим метрологічним центрам, територіальним органам або повірочним лабораторіям;

- надавати у разі застосування пересувної повірочної лабораторії місце стоянки та забезпечувати під'єднання її до мереж електро-, газо- і водопостачання, каналізації, а також забезпечувати збережність цієї лабораторії.

Якщо для проведення повірки на місцях виготовлення, ремонту або експлуатації ЗВТ необхідно застосовувати стаціонарні робочі еталони, то заявники повинні мати зазначені еталони та надавати їх у розпорядження державних повірників (повірників).

Первинна повірка. Під час випуску з виробництва допускається проводити вибіркову первинну повірку ЗВТ, якщо це передбачено відповідним нормативним документом або методикою повірки. Позитивні результати вибіркової первинної повірки поширюються на всі ЗВТ з партії, яку подають на повірку.

Первинну повірку проводять на місці виготовлення (ремонту) ЗВТ, у наукових метрологічних центрах, територіальних органах ЦОВМ або в повірочних лабораторіях. Місце проведення повірки визначають наукові метрологічні центри, територіальні органи або повірочні лабораторії, які проводять повірку.

Для проведення первинної повірки на місці виготовлення (ремонту) засобів вимірювальної техніки у заявників організують контрольно-повірочні пункти (КПП) територіальних органів або повірочних лабораторій.

КПП створюють згідно зі спільним наказом підприємства-заявника та територіального органу або повірочної лабораторії. Діяльність КПП

регламентують положенням про КПП, затвердженим керівниками підприємства-заявника та територіального органу або повірочної лабораторії.

Якщо щоденний випуск ЗВТ з виробництва (ремонт) не забезпечує постійного завантаження одного державного повірника, то КПП можна не організовувати. У цьому разі порядок проведення повірки визначають згідно з договором підприємства-заявника із територіальним органом або повірочною лабораторією.

Первинну повірку ЗВТ проводять за договором чи письмовим зверненням заявника, яке подають до організації, що проводить повірку, або керівнику КПП.

Періодична повірка. ЗВТ, які зберігають та не використовують, можна не піддавати періодичній повірці. У цьому випадку ЗВТ треба піддавати позачерговій повірці безпосередньо до введення в експлуатацію, продаж або видача напрокат.

ЗВТ, що перебувають в експлуатації, у тому числі й ті, яких видають напрокат, підлягають періодичній повірці через встановлені міжповірочні інтервали.

Періодичну повірку можна проводити на території заявника, наукового метрологічного центру, територіального органу або повірочної лабораторії. Місце проведення повірки визначає науковий метрологічний центр, територіальний орган або повірочна лабораторія, зважаючи на економічні чинники, можливість транспортування еталонів, допоміжного обладнання та ЗВТ, що повіряють, погоджуючи це рішення із заявником.

Періодичну повірку проводять у календарні терміни, встановлені переліком ЗВТ, які перебувають в експлуатації та підлягають повірці, або за письмовим зверненням заявників.

Порядок подання фізичними особами, які не є суб'єктами під-приємницької діяльності, - власниками ЗВТ, результати вимірювання якими застосовують для здійснення розрахунків за спожиті для побутових потреб електричну і теплову енергію, газ і воду, на періодичну повірку цих засобів, встановлює КМ України.

Тривалість перебування ЗВТ на повірці, за умови їх подання відповідно до переліку засобів вимірювальної техніки, які перебувають в експлуатації та підлягають повірці, або письмового звернення, не повинна перевищувати 15 робочих днів після оплати за повірку (за винятком ЗВТ, тривалість повірки яких, згідно з методикою повірки, перевищує цей термін).

Якщо ЗВТ призначено, щоб вимірювати (відтворювати) декілька ФВ, і (або) він має кілька діапазонів вимірювання, але його застосовують для вимірювання (відтворення) меншої кількості ФВ або не в усіх діапазонах (чи якщо ЗВТ застосовують лише в окремій частині діапазону вимірювання), то за письмовим зверненням заявника під час періодичної повірки таких ЗВТ дозволено контролювати їхні метрологічні характеристики лише щодо зазначених ФВ і діапазонів (частин діапазонів) вимірювання. У таких випадках свідоцтво про повірку оформлюють обов'язково. У свідоцтві про повірку роблять відповідний запис щодо особливостей застосування таких ЗВТ.

Позачергова повірка. Позачергову повірку проводять у таких випадках:

- за потреби заявника пересвідчитися у придатності повірочного тавра до застосування;

- у разі пошкодження відбитка або втрати свідоцтва про повірку;
- у разі застосування ЗВТ як комплектувальних, якщо час, що минув після останньої повірки, перевищує половину міжповірочного інтервалу;
- у випадку продажу (відправлення) споживачеві ЗВТ у тому випадку, коли час, що минув після останньої повірки, перевищує половину міжповірочного інтервалу;
- під час уведення в експлуатацію ЗВТ, які пройшли первинну повірку (за потреби).

Оформлення результатів первинної, періодичної та позачергової повірки
Результати вимірювання та інші дані, отримані під час проведення повірки, має бути задокументовано відповідно до методики повірки.

На вимогу заявника йому надають засвідчену копію протоколу повірки, якщо його складання передбачено методикою повірки.

Позитивні результати первинної, періодичної та позачергової повірки ЗВТ засвідчують відбитком повірочного тавра на ЗВТ і (або) свідоцтвом про повірку чи записом із відбитком повірочного тавра у відповідному розділі експлуатаційних документів. Порядок засвідчення зазначають у методиці повірки ЗВТ конкретного типу.

За погодженням із заявником дозволено оформлювати одне свідоцтво про повірку на декілька однотипних ЗВТ із обов'язковим зазначенням загальної кількості та заводських номерів усіх повірених ЗВТ.

Якщо доступ до вимірювального механізму (органів регулювання) ЗВТ пломбують, відбиток повірочного тавра ставлять на пломбу. Відповідну вимогу щодо необхідності нанесення відбитка повірочного тавра на пломбу наводять у методиці повірки і (або) в експлуатаційних документах.

Якщо одержані під час повірки дані наводять на зворотному боці свідоцтва про повірку, то відразу після закінчення наведеної

інформації їх повинен підписати вчений-зберігач еталону або державний повірник (повірник) та затвердити печаткою або відбитком повірочного тавра.

Якщо одержані під час повірки дані наводять у додатку до свідоцтва про повірку, усі сторінки додатка повинні бути пронумеровані та мати позначення номера свідоцтва, до якого складено додаток. У свідоцтві про повірку має бути посилання на додаток із зазначенням кількості сторінок у ньому. Дані, отримані під час повірки та наведені у додатку, відразу після закінчення наведеної інформації повинен підписати вчений-зберігач еталону або державний повірник (повірник) та затвердити печаткою або відбитком повірочного тавра.

Форму і розміри повірочних тавр та тавр-гасників, порядок їх зберігання, обліку і застосування встановлено в ДСТУ 3968. ДСТУ 2708:2006.

Якщо відбиток повірочного тавра або пломбу пошкоджено чи свідоцтво про повірку втрачено, то ЗВТ вважають неповіреним.

Якщо в результаті повірки ЗВТ визнають непридатним до застосування, то вчений-зберігач еталону або державний повірник (повірник) анулює свідоцтво про повірку і (або) гасить попередній відбиток повірочного тавра чи робить відповідний запис в експлуатаційних документах.

Анулювання результатів повірки одного ЗВТ, які наведено у свідоцтві про повірку, оформлене на декілька однотипних ЗВТ, здійснюють, закреслюючи номер відповідного ЗВТ, про що треба засвідчити підписом ученого-зберігача

еталону або державного повірника (повірника) та печаткою (або відбитком тавра-гасника).

На ЗВТ, що визнані непридатними до застосування за результатами повірки, оформлюють довідку про непридатність, яку видають заявнику на його вимогу.

Інспекційна повірка. Інспекційну повірку ЗВТ проводять у порядку, встановленому нормативно-правовим актом ЦОВМ.

За бажанням представників підприємств, організацій та фізичних осіб - суб'єктів підприємницької діяльності інспекційну повірку можна проводити за їх присутності.

Результати інспекційної повірки оформлюють довідкою, яку підписують державні повірники (повірники). Форму довідки про результати інспекційної повірки встановлюють у технічному завданні на проведення державного метрологічного нагляду.

Експертна повірка. Експертну повірку проводять за письмовою заявою державних органів (суду, прокуратури тощо) або юридичних та фізичних осіб. У заяві має бути зазначено мету експертної повірки і причину, що зумовила її проведення.

Під час проведення експертної повірки ЗВТ можуть бути присутні замовники, а також представники зацікавлених сторін.

За результатами експертної повірки складають висновок, який затверджує керівник наукового метрологічного центру, територіального органу або повірочної лабораторії, і його надають заявникові.

Один примірник висновку треба зберігати в тій організації (науковому метрологічному центрі, територіальному органі або повірочній лабораторії), яка проводила експертну повірку.

Список рекомендованої літератури

1. Нестерчук Д.М. Методи і засоби вимірювань електричних та неелектричних величин: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. - 206 с.
2. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник / [В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т.Володарський, В.В.Грабко] – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 538 с.
3. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С.Поліщук, М.М.Дорожовець, В.О.Яцук, В.М.Ванько, Т.Г.Бойко; за ред. проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2012. – 544 с.
4. Дорожовець М.М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т./ М. Дорожовець, Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А.; За ред. Стадника Б. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 656 с.
5. Гуржій А.М. Електричні і радіотехнічні вимірювання / А.М. Гуржій, Н.І Поворознюк – К.: Нав. книга, 2002. – 287 с.
6. Панев Б.И. Электрические измерения. Справочник / Б.И.Панев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.
7. Измерения электрических и неэлектрических величин / Н.Н.Евтихийев, Я.А. Купершмидт и др.; Под общ. ред. Н.Н.Евтихьева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

Для нотаток

Для нотаток

Кравченко Володимир Олексійович
Шевель Євген Олександрович
Вольвач Тетяна Сергіївна

Контрольно-вимірювальні прилади

Конспект лекцій

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет,
вул.Г.Кондратьєва,160

Підписано до друку: _____ 2021 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

Тираж: _____ примірників Замовлення _____ Ум. друк. арк.
