

ЛЕКЦІЯ 3

Розділ 1. Теоретичні основи вимірювань та вимірювальні засоби

Тема 1.2: Засоби вимірювальної техніки

Лекція 3. Класифікація та призначення засобів вимірювальної техніки

План

1. Поняття і види засобів вимірювальної техніки.
2. Характеристики засобів вимірювальної техніки.
3. Класифікація методів вимірювань.

1. Поняття і види засобів вимірювальної техніки.

Засобами вимірювальної техніки називають технічні засоби, які застосовуються під час вимірювань і мають нормовані метрологічні характеристики. Метрологічними називаються ті характеристики ЗВТ, від яких залежить точність результатів, одержаних за їх допомогою.

Класифікація засобів вимірювальної техніки

Класифікація засобів вимірювальної техніки наведена на рис. 1.1

До засобів вимірювальної техніки відносяться засоби вимірювань - ЗВ та вимірювальні пристрої - ВП.

Засіб вимірювання це ЗВТ, який реалізує всю процедуру вимірювання (від контакту із вимірюваною ФВ до отримання інформації про її значення у виді зручному для подальшого використання).

У свою чергу ЗВ поділяються на наступні види:

- вимірювальні прилади;
- вимірювальні канали;
- вимірювальні системи;
- кодові ЗВ;
- реєструючі ЗВ.



Рис. 1. Класифікація засобів вимірювальної техніки

Вимірювальний прилад - ЗВ, в якому створюється візуальний сигнал вимірювальної інформації, який придатний для безпосереднього сприймання спостерігачем завдяки наявності відлікового пристрою (шкала з вказівником, цифрове табло), наприклад, вольтметр, ватметр, термометр.

Вимірювальний канал - сукупність ЗВ і засобів зв'язку, для створення сигналу про одну ФВ. Вимірювальний канал представляє собою функціонально об'єднана сукупність технічних засобів, по яких проходить один послідовно перетворюваний сигнал, що виконує закінчену функцію вимірювання та має нормовані МХ.

Вимірювальна система - сукупність вимірювальних каналів,

вимірювальних пристроїв та інших технічних засобів об'єднаних для створення сигналів вимірювальної інформації про декілька вимірюваних ФВ. Найчастіше вимірювальна система призначена для вироблення сигналів у формі, придатній для автоматичної обробки, передачі і (або) використання вимірювальної інформації в автоматизованих системах управління.

Вимірювальні системи можна вважати різновидом вимірювальних інформаційних систем (ВІС), до яких належать також системи автоматичного контролю, системи технічної діагностики і системи розпізнавання образів. ВІС також входять до складу автоматизованих систем управління. Отже, ВІС це сукупність ЗВТ, засобів контролю, діагностики та інших технічних засобів для створення сигналів вимірювальної та інших видів інформації. Незалежно від виду інформації, що формується будь-якою ВІС основним елементом її є ЗВТ.

Кодові ЗВ - це засіб вимірювань, в якому створюється кодовий сигнал вимірювальної інформації. До кодових ЗВ відносять ЗВ просторового кодування та аналого-цифрові перетворювачі.

Реєструючий засіб вимірювання - засіб вимірювання призначений для вимірювання й автоматичного запису значень вимірюваних величин, які можуть змінюватись у часі. Реєструючі ЗВ забезпечують можливість автоматичного запису результатів вимірювань як в аналоговій, так і в цифровій формі.

Вимірювальний пристрій - ЗВТ, в якому виконується лише одна зі складових частин процедури вимірювань (вимірювальна операція).

ВП це ЗВТ, який реалізує одне або кілька перетворень вимірювальної інформації. До ВП належать: міри;

- компаратори;
- вимірювальні перетворювачі;
- обчислювальні компоненти.

Міра - ВП, що реалізує відтворення та (або) збереження ФВ заданого розміру (однозначна міра) або ряду розмірів (багатозначна міра). Міри можуть бути однозначні, якщо відтворюють одне значення ФВ, або багатозначні - відтворюють ряд значень ФВ.

Багатозначні міри реалізуються у виді набору мір або магазину мір. Набір мір - спеціально підібраний комплект конструктивно відокремлених мір, які можуть використовуватися не тільки окремо, але й в різних комбінаціях для відтворення ряду розмірів даної ФВ (наприклад, набір гир, вимірювальних резисторів, конденсаторів). Набір мір, конструктивно об'єднаних в одне ціле з пристроєм для вмикання їх у різних комбінаціях, називається магазином мір. Наприклад, магазин опору, індуктивності, ємності.

Окремим випадком міри є стандартний зразок - це зразок речовини або матеріалу зі встановленими значеннями однієї або декількох ФВ, що характеризують властивості або склад цієї речовини чи матеріалу.

Компаратор - вимірювальний пристрій, що реалізує порівняння однорідних фізичних величин. Сьогодні компаратори використовуються, в основному, для звіряння еталонів і мір в метрологічних ланцюгах передачі розмірів одиниць ФВ.

Вимірювальний перетворювач - вимірювальний пристрій, що реалізує вимірювальне перетворення вхідного вимірювального сигналу на вихідний сигнал, зручний для дальшого перетворення, обробки, зберігання чи передавання вимірювальної інформації, але не для безпосереднього сприймання спостерігачем.

Вимірювальні перетворювачі поділяються на:

- первинні (калібрований шунт, вимірювальний трансформатор, атестована термopара);
- масштабні (подільники, підсилювачі);
- вторинні (нормуючі перетворювачі)

Сьогодні все частіше до вимірювальних перетворювачів відносять перетворювачі аналогового сигналу в код - аналого-цифрові перетворювачі та перетворювачі коду в аналоговий сигнал - цифро-аналогові перетворювачі.

Обчислювальна компонента - це вимірювальний пристрій, що є сукупністю елементів обчислювальної техніки та програмного забезпечення і виконує обчислювальні операції процедури вимірювання.

Вимірювальні прилади є різноманітні за призначенням, принципом дії, метрологічними та експлуатаційними характеристиками. Тому класифікаційних ознак багато, але доцільно розглянути найзагальніші з них.

За формою вимірювальної інформації, що міститься в інформативному параметрі вихідного сигналу, вимірювальні прилади поділяються на аналогові і цифрові. Аналоговим називається прилад, інформативний параметр вихідного сигналу якого в фізичним аналогом вимірюваної величини (інформативного параметра вхідного сигналу). Наприклад, переміщення рухомої частини електродинамічного вольтметра - аналог середнього квадратного значення вимірюваної напруги.

Цифровим називається прилад, вихідний сигнал якого цифровий, тобто містить інформацію про значення вимірюваної величини, **закодовану у** цифровому коді. Покази аналогових приладів також цифрові, але їх аналогові вихідні сигнали квантує і кодує в цифровому коді сам спостерігач (експериментатор) в процесі відлічування показів, а в цифровому приладі ці операції виконуються автоматично.

Вимірювальний прилад, що дає можливість тільки відлічувати покази, називається показуючим, а прилад, в якому передбачена автоматична фіксація вимірювальної інформації – реєструючим. Залежно від виду реєстрації реєструючі прилади поділяються на і самописні і друкуючі. Самописний прилад (самописець) записує вимірювальну інформацію в аналоговій формі у вигляді діаграми, а друкуючий здійснює друкування

вимірювальної інформації в цифровій формі.

Залежно від виду значення вимірюваної величини, тобто інформативного параметра вхідного сигналу розрізняють прилади миттєвих або інтегральних (середнє, середнє за модулем, середнє квадратичне) значень, а також інтегруючі та підсумовуючі прилади. Інтегруючий прилад інтегрує вхідний сигнал за часом або іншою незалежною змінною (наприклад, лічильник електричної енергії інтегрує миттєву потужність за часом). Підсумовуючим називається прилад, покази якого функціонально пов'язані з сумою двох або декількох величин, що підводяться до нього по різних каналах (наприклад, ватметр для вимірювання потужності декількох і операторів).

Класифікаційні ознаки - вимірювана величина або її одиниця - відображаються в найменуванні вимірювального приладу, наприклад, вологомір або гігрометр, висотомір або альтиметр, частотомір, але герцметр, амперметр, вольтметр, мілівольтметр і т. п. Електровимірювальні прилади, що дозволяють вимірювати дві і більше різних за фізичною природою величин, називають комбінованими приладами (мультиметрами), а прилади, що придатні для вимірювань в колах постійного і змінного струмів, - універсальними приладами.

2. Характеристики засобів вимірювальної техніки

Засоби вимірювальної техніки є одним з найважливіших елементів вимірювального процесу, що значною мірою обумовлює якість вимірювань. У свою чергу, для оцінки якості ЗВТ використовується широка номенклатура показників, які в загальному поділяються на:

- метрологічні характеристики ЗВТ - це характеристики ЗВТ, які нормуються для визначення результату вимірювання та його похибок;
- технічні характеристики (неметрологічні характеристики) -

характеристики ЗВТ, які визначають його можливості виконання своїх функцій згідно призначення (потужність споживання, масо-габаритні показники і т.н.).

Для кожного типу ЗВТ установлюються свої метрологічні характеристики. Метрологічні характеристики ЗВТ, які задаються нормативно-технічними документами, називають нормовними.

Можна виділити два підходи до задання нормовних метрологічних характеристик ЗВТ:

- 1) для робочих ЗВТ широкого використання;
- 2) для унікальних і високоточних ЗВТ.

При першому підході використовуються нормовані МХ для типу ЗВТ, тобто нормовані МХ відображають властивості всієї сукупності екземплярів ЗВТ, які належать до даного типу. В цьому випадку нормування метрологічних характеристик полягає в заданні норм, яким повинні задовольняти МХ всієї сукупності ЗВТ даного типу, а не властивості одного, окремо взятого екземпляра ЗВТ. Водночас реальні метрологічні характеристики кожного окремого екземпляра ЗВТ з цієї сукупності можуть бути будь-якими в границях, заданих нормами, і повинні розглядатися як випадкові величини.

При другому підході - для особливо точних (унікальних, одиничних) ЗВТ, наприклад еталонів, проводиться індивідуальне нормування метрологічних характеристик. Проте суть його зберігається - це задання норм (меж допустимих змін) метрологічних характеристик, але для окремого екземпляра ЗВТ.

Реальні значення нормованих МХ задаються при проектуванні, забезпечуються при виготовленні ЗВТ, визначаються при здійсненні випробувань чи метрологічної атестації, а потім вони періодично перевіряються і підтримуються в процесі експлуатації ЗВТ шляхом процедур повірки чи калібрування. При відхиленні хоча б однієї нормованої МХ від

норми даний ЗВТ регулюється, ремонтується або бракується і виводиться з експлуатації.

Увесь комплекс нормованих МХ ЗВТ розподілений на дві групи:

- нормовані МХ, призначені для визначені результату вимірювання (без уведення поправок);
- нормовані МХ, які визначають інструментальну складову похибки вимірювання.

Нормовні метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки, призначені для визначення результату вимірювання.

При нормуванні метрологічних характеристик цієї групи, як правило, вказують номінальні характеристики ЗВТ. Виняток становить нормування індивідуальних характеристик окремих екземплярів ЗВТ, коли встановлюються границі (граничні характеристики), в яких повинна знаходитися індивідуальна характеристика в заданих умовах застосування ЗВТ.

До метрологічних характеристик даної групи належать такі номінальні характеристики:

- градувальна характеристика засобу вимірювань;
- функція перетворення вимірювального перетворювача;
- значення однозначної або багатозначної міри;
- ціна поділки шкали аналогового вимірювального приладу або багатозначної міри;
- вид вихідного коду, число розрядів коду, ціна одиниці найменшого (молодшого) розряду коду цифрових вимірювальних приладів і аналого-цифрових перетворювачів.

Неметрологічні характеристики ЗВТ

Надійність ЗВТ - здатність зберігати ЗВТ свої характеристики в «даних межах за певних умов експлуатації протягом заданого часу. < Основними показниками і характеристиками надійності ЗВТ є:

- роботоздатність,
- відмова,
- безвідмовність,
- справність,
- довговічність.

Роботоздатність ЗВТ - такий стан ЗВТ, за якого він здатний виконувати свої функції згідно з вимогами нормативно-технічних документів.

Відмова - це порушення роботоздатності ЗВТ. Розрізняють *раптову відмову*, коли ЗВТ повністю втрачає робочу здатність, наприклад, внаслідок обриву кола, та *поступову відмову*, коли із старінням ЗВТ його метрологічні характеристики виходять за допустимі межі.

Безвідмовність - властивість ЗВТ зберігати роботоздатність протягом заданого інтервалу часу у певних умовах експлуатації. Показником безвідмовності є напрацювання на відмову.

Напрацювання - це тривалість роботи ЗВТ в годинах, циклах або обсяг роботи, а *напрацювання на відмову* - відношення напрацювання ремонтного ЗВТ до кількості відмов упродовж цього напрацювання.

Довговічність - властивість ЗВТ зберігати роботоздатність і задану ефективність в часі. Показниками довговічності є термін служби і ресурс.

Термін служби — це календарна тривалість експлуатації ЗВТ, а *ресурс* — напрацювання до граничного стану, за якого подальша експлуатація ЗВТ повинна бути припинена.

Економічність ЗВТ— простота конструкції та виправдана економічна вартість.

3. Класифікація методів вимірювань

Методи безпосереднього оцінювання

Методи безпосереднього оцінювання - це методи вимірювань, що ґрунтуються на застосуванні засобів вимірювань (приладів, систем, каналів чи установок) і за потреби - і вимірювальних перетворювачів, а значення вимірюваної величини визначають за їхніми показами

Наприклад, вимірювання сили електричного струму амперметром (чи температури - термометром. Це метод безпосереднього оцінювання, оскільки за показом амперметра ми безпосередньо визначаємо силу вимірюваного струму в колі, за показом термометра - температуру в певному місці об'єкта.

До методів безпосереднього оцінювання належать також вимірювання, під час яких разом з вимірювальними приладами використовують вимірювальні перетворювачі. Зокрема, вимірювання сили струму за допомогою амперметра і вимірювального трансформатора струму, що застосовується для розширення границь вимірювання амперметра, належить до методу безпосереднього оцінювання. Таким методом вимірювання є вимірювання температури за допомогою термоелектричного перетворювача та вторинного мілівольтметра, якщо шкалу останнього проградуєвано в одиницях температури (наприклад, за шкалою Цельсія).

Як було вже зазначено вище, в кожному вимірюванні *розмір вимірюваної величини порівнюється з розміром величини*, що відтворюється мірою. Тому в методах безпосереднього оцінювання наявність міри та операції порівняння обов'язкові. Однак у випадку засобів вимірювань, зокрема вимірювальних приладів, міра не є незалежним засобом вимірювальної техніки зі своїми нормованими метрологічними характеристиками, а тільки складовою частиною, елементом приладу. Характеристики такої міри (як елемента приладу) враховано під час нормування метрологічних характеристик приладу як цілого. Пі л час вимірювання і подальшого опрацювання результатів, зокрема оцінювання точності результату вимірювання, експериментатор не враховує (і не може врахувати) характеристики міри, а користується характеристиками всього

приладу.

Методи порівняння з мірою

Це методи, які ґрунтуються на *обов'язковому використанні міри та пристрою порівняння* (компаратора) як окремих ЗВТ і, за необхідності, вимірювальних перетворювачів, а значення вимірюваної величини встановлюють за показами міри за відповідного спрацювання компаратора. При цьому порівняти вимірювану величину (можливо, перетворену) з мірою можна двома способами; за один раз - шляхом зіставлення ряду значень міри і вимірюваної величини (як під час вимірювання довжини ($I_x=63\text{ см}$) за допомогою лінійки з поділками, коли компаратором слугує око експериментатора), або за декілька кроків - шляхом зрівноважування вимірюваної величини послідовними значеннями міри (як під час зважування на терезах).

За методом зрівноважування вихідну величину міри залежно від вихідного сигналу компаратора змінюють доти, доки вона не буде дорівнювати значенню вимірюваної величини. При цьому за результат зимірювання величини приймають показ регульованої міри

Оскільки на завершальному етапі зрівноважування забезпечується взаємна компенсація ефектів дії на компаратор як вимірюваної величини, так і величини, відтворюваної мірою, то такий метод часто називають ***компенсаційним методом вимірювання***.

Крім того, оскільки результуючий ефект дії на компаратор обох величин у разі зрівноважування доводять до нуля, то цей метод ще називають ***нульовим методом вимірювання***.

Іноді ще застосовують назву "***метод протиставлення***", оскільки вимірювану величину ніби протиставляють вихідній величині міри.

Однак, за своєю суттю і *компенсаційний метод*, і *нульовий метод*, і *метод протиставлення* - це різні назви, що відображають різні аспекти *методу порівняння з мірою*. Основна особливість методів порівняння з мірою

- використання в процесі вимірювання міри як засобу вимірювальної техніки. Її показ, а також інші метрологічні характеристики безпосередньо враховують під час визначення результату вимірювання й оцінювання його якості.

Якщо вихідна величина міри і вимірювана величина однорідні, то кажуть, що здійснено вимірювання *методом безпосереднього порівняння з мірою*. Реалізацією цього методу вимірювання досягають *найвищої точності вимірювання*, що визначається лише *точністю міри та компаратора*.

Метод заміщення

Метод заміщення - це метод різночасового порівняння вимірюваної величини з мірою, в якому компаратором слугує вимірювальний прилад (ВП). Вимірювання відбувається у два етапи, спочатку під час першого вимірювання до входу приладу під'єднують об'єкт і запам'ятовують ефект дії вимірюваної величини на ВП, тобто показ приладу x , а потім під час другого вимірювання до входу приладу під'єднують вихід регульованої міри і цей показ відновлюють, регулюючи вихідну величину міри X_m .

Комбіновані методи

Суть комбінованого методу полягає в тому, що в процесі вимірювання беруть безпосередню участь як вимірювальний прилад, так і міра, а результат вимірюваної величини визначають за показами міри і приладу. Такі методи ще називають методами неповного зрівноважування та *різницевиими (диференційними)* методами.

Ці методи використовують для вимірювання величин простору (вимірювання довжини) чи часу (вимірювання інтервалів часу, періоду, частоти), і полягають вони у тому, що різниця між ефектами, викликаними дією на компаратор вимірюваної та зразкової величин, визначається за збігом відповідних поділок шкал (вимірювання довжини) чи періодичних сигналів (вимірювання часових параметрів). Типовими прикладами такого методу вимірювань є вимірювання довжини штангенциркулем з ноніусом (метод

ноніуса), метод подвійного збігу (коінциденції), а також вимірювання частоти стробоскопом (стробоскопічний метод).

Метод одного збігу (ноніуса). Це метод з одноразовим порівнянням вихідних міток (величин) двох багатозначних мір, кожна з яких має інші відстані між мітками (імпульсами під час вимірювання часу), причому нульові мітки цих мір зміщені між собою на розмір вимірюваної величини. Числове значення результату вимірювання визначається номерами міток двох шкал, які збігаються.

Метод подвійного збігу полягає у тому, що періодична (у часі чи просторі) величина порівнюється з періодичною величиною, яка відтворюється багато значною нерегульованою мірою, причому результат вимірювання (період I_x - інтервал між мітками (імпульсами) з вимірювального об'єкта) визначається кількістю інтервалів між двома сусідніми збіганнями міток (імпульсів) та періодом I_m - інтервалом між мітками (імпульсами) вихідної величини міри.

Крім зазначених вище, для вимірювань величин спеціальних об'єктів застосовують інші специфічні для таких об'єктів чи вимірювальних кіл методи, зокрема резонансний метод та метод биттів.

Резонансний метод вимірювання - це один із методів порівняння, який лягає у тому, що значення вимірюваної величини знаходять з відомої умови досягнення резонансу у електричному колі, механічній, акустичній чи іншій системі, а навіть на атомному чи ядерному рівні тощо.

Метод биттів - це один із різницевих методів, у якому використовують явище биттів між частотами двох сигналів, що порівнюються: одного вимірюваного, а іншого – зразкового.

Питання для самоконтролю

1. Навести класифікацію методів вимірювань.

2. Дати означення методу безпосереднього оцінювання.
3. Дати означення методу порівняння з мірою.
4. Що таке різницевий (диференційний) метод вимірювань?
5. Що таке компенсаційний метод вимірювань?
6. Що таке нульовий метод вимірювань?
7. Що таке метод безпосереднього порівняння з мірою?
8. Що таке метод опосередкованого порівняння з мірою?
9. Що таке метод заміщення?
10. Що таке комбіновані методи вимірювань?
11. У чому суть методу збігу (ноніуса)?
12. У чому суть методу подвійного збігу?
13. У чому суть методу биттів?

Рекомендована література

1. Метрологічна перевірка засобів вимірювальної техніки / М.М. Микийчук, П.Г. Столярчук. - Львів: Растр-7, 2015. - 246 с.
2. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань: Навч. посібник. - Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2007. - 624 с.