

Заняття 1. Основи теорії точності вимірювань.

Навчальна мета:

1. Вивчити основні відомості про похибки вимірювань.
2. Вивчити класифікацію похибок.
3. Вивчити систематичні похибки прямих вимірювань.

Вид заняття: лекційне заняття.

1. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПОХИБКИ

- Результат будь-якого вимірювання має похибки, які спотворюють уявлення про істинне значення вимірюваної величини. Джерелами появи похибок при вимірюваннях можуть служити багато численні чинники. Частково, похибки вимірювань обумовлені наступними чинниками:

1. недостатнім знанням властивостей об'єкту вимірювань;
2. наявністю заважаючих компонентів в складі досліджуваної властивості (наприклад шумів, завад і т.д.);
3. недосконалістю конструкції і тарування засобів вимірювань (неточність виготовлення засобів вимірювань), відхилення параметрів їх елементів і деталей від номінальних значень за рахунок старіння, зношення прогріву і т.д.);
4. наявністю власних шумів засобів вимірювань;

- 5.недосконалістю метода вимірювань;**
- 6.застосуванням приблизних формул для обчислення результатів вимірювань;**
- 7.невиконанням умов вимірювань;**
- 8.наявністю вібрацій, зовнішніх електричних і магнітних полів, а також паразитних зв'язків, недостатнім погодженням вимірювальних ланцюгів і т.д.**
- 9.недосконалістю систем повірки засобів вимірювань;**
- 10.суб'єктивними властивостями спостерігача (обумовленими обмеженими можливостями його органів відчуття);**
- 11.впливом засобів вимірювань на режим роботи об'єкту вимірювань та ін.**

- **В зв'язку з тим, що істинне значення вимірюваної величини залишається невідомим, неможливо визначити і істинне значення похибки вимірювання. В зв'язку з цим на практиці можна знайти тільки приблизне значення похибки або її оцінку. В якості оцінки похибки частіше всього використовуються границі інтервалу, за межі яких з певним ступенем достовірності (надійності) ці похибки не виходять. Отже всередині цього інтервалу і буде знаходитись істинне значення вимірюваної величини з тою ж самою надійністю.**
- **Таким чином, в завдання вимірювання входять не тільки знаходження значення фізичної величини, але також і оцінка допущеної при вимірюваннях похибки. Таким чином, вимірювання можна вважати завершеним тільки тоді, коли відомо з якою похибкою воно виконано.**

- **Точність вимірювання тим більша, чим менші похибки вимірювань. Підвищення точності дозволяє більш глибоко пізнати властивості об'єкту вимірювань. Однак істотне зменшення похибки пов'язане з великими труднощами. Розповсюджена думка – чим точніше вимірювання, тим краще – в дійсності не завжди доцільна, і насамперед тому, що чим вища точність, тим складніше її забезпечити, тим важче її досягнути, тим вищі економічні затрати. Тому при вимірюваннях намагаються одержати лише ту точність, яка потрібна для вирішення конкретної задачі.**
- **Дійсно, що основною задачею при проведенні будь-якого вимірювання виникає виявлення та усунення (коли це можливо) причин, що призводять до появи похибок. В багатьох випадках підвищення точності вимірювань пов'язане з кропіткою і старанною роботою, яка вимагає навиків при проведенні вимірювань та в обробці одержаних при цьому результатів.**

2. КЛАСИФІКАЦІЯ ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ.

- Похибки випадкові систематичні, а також грубі похибки.
- Кожне джерело появи похибки обумовлює деяку складову похибки вимірювань. Однак ділення похибки вимірювання на складові умовне і виконується лише для простоти і зручності вивчення єдиної похибки вимірювання. Ділення похибок на складові неоднозначне і в одному випадку зручно декілька джерел похибки надати однією групою, об'єднаною деякою класифікаційною ознакою; в іншому випадку вплив цих джерел похибки доцільно розглядати окремо.
- Головними компонентами вимірювання, як показано вище, є метод вимірювань, засіб вимірювань і спостерігач. Недосконалість кожного з цих компонентів вносить свій внесок в похибку вимірювання, яка в загальному вигляді може бути представлена об'єднанням трьох складових :

- методична складова похибки;
складова похибки вимірювання,
обумовлена похибками застосованого
засобу вимірювання (інструментальна
складова похибки, обумовлена суб'
ективними властивостями спостерігача.

Кожна складова похибки вимірювання в свою чергу також може викликатись рядом чинників. Наприклад, методична складова похибки обумовлена :

- 1. недосконалістю методу вимірювання;**
- 2. недостатньою розробкою явищ, покладених в основу вимірювання;**
- 3. наявністю допущених спрощень при встановленні залежностей, які використовуються для знаходження оцінки вимірюваної величини;**
- 4. недотриманням встановлених правил вимірювань, відсутністю відліку різних впливаючих величин і т.д.**

- В ряді випадків, якщо не прийняті відповідні міри, методична складова похибки може набагато перевищувати інші складові похибки.
- До недавнього часу при технічних вимірюваннях вважалось, що методична складова похибки зневажливо мала.

<<

- а тому похибка вимірювання визначалося складовими

, т.ч.

)

- Неперервне підвищення точності засобів вимірювань (зниження інструментальних складових похибки), їх електронізація, яка дозволяє усунути або значно знизити , привели до того, що стали сумірними, а в ряді випадків похибка вимірювання в основному визначається методичною похибкою.

- **Неперервне підвищення точності засобів вимірювань (зниження інструментальних складових похибки), їх електронізація, яка дозволяє усунути або значно знизити , привели до того, що стали сумірними, а в ряді випадків похибка вимірювання в основному визначається методичною похибкою.**
- **В загальному випадку точність вимірювань обумовлюється всіма компонентами, а також належною підготовкою, проведенням вимірювань і відповідною обробкою їх результатів. Тому з метою забезпечення єдності вимірювань, вони повинні виконуватися по єдиним стандартним методикам, в яких повинні бути встановлені вимоги до методів, засобів, алгоритмів, і умов виконання вимірювань.**
- **В залежності від закономірності появи, похибки розділяють на випадкові, систематичні, а також грубі похибки.**

- **Систематична похибка вимірювання** - складова похибки вимірювання, яка залишається постійною або постійно змінюється при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини. Систематичні похибки можуть бути визначені, а результат вимірювання може бути уточнений шляхом внесення поправок, якщо значення цих похибок визначені, або шляхом застосування таких засобів, які дають можливість виключати або зменшити вплив систематичних похибок без визначення їх значень. Однак на практиці повне виключення систематичних похибок не є можливим.
- **Випадкова похибка вимірювання** - складова похибки вимірювань, яка змінюється випадковим чином при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини.

- **Випадкові похибки обумовлені великим числом чинників, які впливають на результат вимірювань. Випадкові похибки не можна виключити з результатів вимірювань, але шляхом статистичної обробки групи спостережень можна оцінити значення випадкової похибки і уточнити результат спостереження, тобто знайти значення вимірюваної величини, більш близьке до істинного, ніж результат одного спостереження.**
- **Груба похибка – похибка вимірювання, яка значно перевищує очікувану в даних умовах похибку.**
- **Грубі похибки часто є результатом низької кваліфікації спостерігача, його неувважності або несподіваної зміни умов вимірювання. Грубі похибки приводять до спотворення результату вимірювання, тому результати спостережень, які мають грубі похибки і не заслуговують довіри, повинні виключатися при обробці. Однак недостатньо обгрунтоване виключення із обробки результатів спостережень, які викликають сумнів, веде до зниження точності вимірювань.**

- **Наявність грубих похибок визначає якість проведених вимірювань і характеризує їх гідність.**
- **Графічна ілюстрація випадкової, систематичної та грубої похибок наведена на рис.1, де позначено :**
- **a - істинне значення вимірюваної величини;**
- **Δ - систематична складова похибки;**
- **A - результат вимірювання, в якості якого вибране середнє арифметичне значення, одержане шляхом обробки групи з n спостережень;**
- **a_i - результат i -го спостереження;**
- **Δ_i - значення випадкової складової похибки при i -му спостереженні (випадкове відхилення результату спостереження);**
- **δ_i - похибка результату i -го спостереження;**
- **δ - груба похибка;**
- **$f(x)$ - щільність імовірності випадкової складової похибки.**

рис.1.

рис.1.

- **Адже поява систематичних і випадкових похибок обумовлена різними причинами, то їх одночасна оцінка на практиці викликає значні труднощі. Тому при аналізі похибок вважають, що систематичні похибки відсутні. Тобто вони виключені або зневажливо малі, а при оцінюванні систематичних похибок вважають що випадкові похибки не мають місця.**
- **Загальну похибку знаходять шляхом підсумовування систематичної і випадкової складових похибки за встановленими правилами. (ГОСТ 8.207-76.ГСИ прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.).**
- **Висновок : таким чином в матеріалі даного питання розглянута класифікація похибок в залежності від закономірності їх появи.**

3.СИСТЕМАТИЧНІ ПОХИБКИ ПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ.

- **КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМАТИЧНИХ ПОХИБОК**
- Систематичні похибки обумовлені впливом на результат вимірювання чинників, дію яких на практиці не усунено, не враховано або не розпізнано.
- Ці чинники можуть бути або постійно діючими, або закономірно пов'язаними з методом вимірювань, принципом дії і конструкцією засобу вимірювань, а також умовами, в яких проводяться вимірювання.
- Вияв і оцінка систематичних похибок викликає особливі труднощі. спостерігач в ряді випадків навіть не підозрює про їх існування. Якраз систематичні похибки неодноразово були причиною помилкових наукових висновків, встановлення помилкових фізичних законів, незадовільних конструкцій приборів, масового браку продукції, неправильної настройки параметрів ЗВТ і т.п.
- На відміну від випадкових похибок, спотворення, які вносяться систематичними похибками в результат вимірювань, піддаються виключенню або обліку.

- Систематичні похибки в більшості випадків можуть бути визначені дослідним шляхом, наприклад, при повірці засобів вимірювань.
- При повторних вимірюваннях систематичні похибки залишаються постійними або змінюються за певним законом.
- Отже, статистична обробка результатів вимірювань не дозволяє виявити постійні систематичні похибки. Тому для їх оцінки прагнуть використовувати апріорні знання про ці похибки. В залежності від ступеню наших знань про систематичні похибки, їх можна розділити на чотири основні групи.
- 1. Систематичні похибки, природа яких відома і їх значення (абсолютна величина) і знак можуть бути достатньо точно визначені. Отже, результат вимірювання може бути виправлений шляхом внесення поправки.
- Поправка – значення величини, одно іменною з вимірюваною , яке додається до одержаного при вимірюванні значення з метою виключення

- Поправка чисельно дорівнює систематичній похибці вимірювання , взятій з протилежним знаком, т.ч.
- $$=$$
- (4)
- В тих випадках, коли поправки для засобів вимірювань визначені, вони додаються до них у вигляді графіків, таблиць і поправочних множників. Поправочний множник – число, на яке необхідно помножити результат вимірювання з метою виключення систематичної похибки.
- Результат вимірювання, з якого виключені систематичні похибки (наприклад, шляхом внесення поправок), називають виправленим.
- На практиці намагаються одержати і використати виправлені результати вимірювань шляхом ретельного аналізу можливих причин появи похибок, виявлення і більш повного їх виключення. Однак повністю виключити систематичні похибки неможливо. Систематичну похибку, яка залишається не виключеною з результат вимірювання, називають не виключеною систематичною похибкою результату вимірювання.

- **2. Систематичні похибки, природа яких може бути встановлена,** однак абсолютне значення і знак похибки залишаються невідомими. Відомо тільки, що вони не перевищують по абсолютній величині деякого граничного значення, т.ч.
- До даної групи відносять похибки засобів вимірювань, які виражені у вигляді границі допускаємої похибки. Також методичні похибки і похибки, обумовлені іншими чинниками.
- **3. Систематичні похибки, про наявність яких ми не підозрюємо.** Числові значення таких похибок можуть бути надто значними. Найбільш часто ця група систематичних похибок може мати місце при проведенні складних сукупних вимірювань.
-
- **4. Систематичні похибки, обумовлені властивостями об'єкту і впливом вимірювального ланцюга.** Наприклад, систематичні похибки при вимірювання цифровим вольтметром синусоїдальної напруги, якщо мають місце нелінійні спотворення, або при вимірюванні частоти кварцового генератора без відповідної розв'язки вихідного ланцюга генератора і частотоміра.
- **В залежності від чинників, які обумовлюють появу систематичних похибок, їх розділяють на інструментальні похибки, похибки методу, похибки, обумовлені зовнішніми впливаючими величинами і суб'єктивні похибки.**

- **Інструментальна похибка** – систематична складова похибки вимірювання, яка залежить від похибок застосованих засобів вимірювання. Вони обумовлені неточністю показів приладу, в зв'язку з його конструктивними недоліками або технологічною недосконалістю його виготовлення. До **систематичних інструментальних похибок** насамперед **відносяться** похибки, обумовлені :
 - наявністю люфтів і мертвих ходів в рухомих частинах вимірювальних приладів, нерівномірним тертям в опорах частин, що обертаються, або невірноваженості останніх, їх ексцентричним розташуванням;
 - неточністю тарування засобів вимірювань. Ці похибки виникають безпосередньо внаслідок неточностей при таруванні приладів і виготовленню шкали, а також внаслідок того, що шкали звичайно виготовляються в масовому порядку (не індивідуально для кожного приладу), а проміжні (не числові) помітки шкали наносяться графічно без перевірки по зразковим приладам;
 - старінням (зносом) деталей, елементів, і вузлів вимірювальних приладів, а також порушенням їх регулювання, наприклад зносом підшипників і збільшенням люфту у приладів з механічними рухомими елементами; зміною параметрів ламп, напівпровідникових приладів; зміною величини резисторів, конденсаторів і котушок індуктивності, які входять до схеми приладу та інші.

- **Похибка встановлення** – систематична похибка, яка залежить від неправильного механічного встановлення (деякі стрілочні прилади необхідно встановлювати суворо вертикально і горизонтально по рівню); від невдалого взаємного розташування приладів, коли вони здійснюють значний вплив один на одного по причині електромагнітного випромінювання або паразитних зв'язків.
- До цих похибок відносяться також похибки, які виникають за рахунок неточного встановлення нуля, паралаксу при відліку по шкалі приладу, неузгодженості вхідних і вихідних параметрів електричних ланцюгів приладів і ряду інших причин.
- **Похибка методу вимірювань** – систематична складова похибки вимірювань, яка виникає від недосконалості самого методу вимірювань, ця похибка виникає внаслідок тих чи інших допущень або спрощень, застосування емпіричних формул і функціональних залежностей замість точних, неповного знання всіх властивостей спостерігаємих явищ, а також впливу паразитних зв'язків і т.п.

- Похибки, які виникають внаслідок зовнішніх впливів, є наслідком неврахованих зовнішніх впливів; температури повітряних потоків, атмосферного тиску, вологості повітря, вібрацій, магнітних і електричних полів, іонізуючих випромінювань.
- Суб'єктивні похибки є наслідком індивідуальних властивостей спостерігача, обумовлених особливостями його організму. Може трапитись, що спостерігач допускає тривалу похибку, яка робиться внаслідок укорінених невірних навиків, сповільненої реакції, недостатнього досвіду і т.д.
- По характеру прояву систематичні похибки поділяються на постійні та змінні.
- До постійних систематичних похибок відносяться, наприклад похибки тарування шкал приладів.
- Змінні похибки можуть бути прогресуючими, періодичними та тими, що змінюються за складним законом.
- Прогресуючими називаються систематичні похибки, які в процесі вимірювання монотонно зростають або

- До них , наприклад, відносяться похибки, пов'язані з поступовим падінням напруги джерел живлення, прогрівом апаратури і т.д.
- Періодичними називаються систематичні похибки, що періодично змінюють свої значення і знак. Періодичні похибки можуть виникати, наприклад. У цифрових вимірювальних приладах, коли одна з цифр індикатора встановлюється неправильно (замість цифри “5” завжди з'являється цифра “6”).
- Всі інші види систематичних похибок прийнято називати похибками, що змінюються за складним законом.

рис.2.

рис.2.

Отже, в матеріалі даного заняття ми розглянули поняття про похибки вимірювань. Розглянута класифікація похибок в загальному випадку, класифікація систематичних похибок, а також за рахунок чого вони виникають.