

## **Метрологія, стандартизація та підтвердження відповідності електронної апаратури**

### **Введення до метрології**

## Загальна характеристика дисципліни

**Метрологія** – наука про вимірювання, методи та засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності.

### Основні завдання метрології:

- створення еталонів і мір;
- створення вимірювальних приладів та інформаційно-вимірювальних систем;
- розробка методів вимірювальних перетворень, методів оцінювання точності результатів вимірювань;
- автоматизація процесів вимірювань;
- підвищення швидкодії та надійності вимірювальних приладів тощо.

## Загальна характеристика дисципліни

**Стандартизація** – діяльність, яка полягає у розробці та встановленні вимог, правил, норм чи то характеристик з метою досягнення оптимальної узгодженості у певній галузі, результатом чого є підвищення ступеня відповідності продукції її функціональному призначенню.

Нормативні документи зі стандартизації встановлюють вимоги до матеріалів, виробів, технічної та технологічної документації, методів випробувань та досліджень, тощо.

**Взаємозв'язок метрології та стандартизації проявляється у тому, що вимірювання, з одного боку, пронизані різними стандартами, а з іншого боку, стандарти забезпечуються методами та засобами контролю їх виконання.**

## Розділи метрології та їхні функції

### Розділи метрології:

- науково-теоретична метрологія;
- законодавча метрологія;
- прикладна метрологія.

### Функції науково-теоретичної метрології:

- 1) розробка та удосконалення теоретичних основ метрології, у т.ч. загальної теорії вимірювань, теорії похибок, теорії надійності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), теорії вимірювальних перетворень та теорії передачі вимірювальної інформації;
- 2) Розробка нових принципів та методів вимірювань, у т.ч. фізичні дослідження з метою використання найновіших досягнень науки для створення нових методів вимірювань та ЗВТ, підвищення точності вимірювань;

## Розділи метрології та їхні функції

- 3) створення та удосконалення наукових основ мір та вимірювань, у т.ч. удосконалення еталонів, мір фізичних величин та засобів вимірювань, створення наукових основ державних випробувань засобів вимірювань, розробка та удосконалення нормативної документації в галузі вимірювальної техніки;
- 4) створення та удосконалення наукових основ державної служби довідкових даних та стандартних зразків;
- 5) створення та удосконалення наукових основ державної служби атестації якості продукції, у т.ч. критеріїв оцінки якості продукції.

**Функції законодавчої метрології** полягають у створенні та удосконаленні законодавчих основ вимірювальної техніки, зокрема:

- 1) узаконення (стандартизація) термінів та їх визначень, систем чи сукупності одиниць, системи еталонів, мір фізичних величин та засобів вимірювань;

## Розділи метрології та їхні функції

- 2) узаконення класів точності ЗВТ та методик оцінювання їх точності;
- 3) узаконення стандартних довідкових даних, методик повірки та контролю засобів вимірювань, методик контролю та атестації якості продукції органом відповідності певних характеристик продукції встановленим вимогам.

### **Функції прикладної метрології:**

- 1) організація державної служби єдності мір та вимірювань, включно з організацією та здійсненням періодичної повірки ЗВТ, які знаходяться в експлуатації, організація та здійснення державних випробувань нових ЗВТ, контроль за станом вимірювального господарства підприємств;
- 2) організація державної служби довідкових даних та стандартних зразків;
- 3) організація та здійснення служби контролю за дотриманням стандартів під час виробництва, державних випробувань та атестації якості продукції.

## Вимірювання: основні поняття та визначення

**Фізична величина** – властивість, спільна властивість у якісному відношенні багатьом матеріальним об'єктам та індивідуальна у кількісному відношенні для кожного з них.

**Розмір (значення) фізичної величини** – кількісний вміст фізичної величини у даному об'єкті і, як її атрибут, існує об'єктивно, незалежно від того, що ми про нього знаємо.

**Правильно говорити:** розмір (значення) [назва фізичної величини].

**Наприклад:** розмір напруги або значення напруги;

розмір тиску або значення тиску.

**Неправильно говорити:** величина напруги; величина тиску.

## Вимірювання: основні поняття та визначення

### Види фізичних величин:

- 1) *активні (енергетичні)* – здатні самотійно проявляти свої розміри;
- 2) *пасивні (параметричні)*;
- 3) *скалярні*, бувають неполярні та полярні;
- 4) *векторні*;
- 5) *неперервні (аналогові)* – величини, можливі розміри яких у скінченному проміжку часу змінюючись, утворюють незліченну множину значень;
- 6) *стрибкоподібні (дискретні)* - величини, можливі розміри яких у скінченному проміжку часу змінюючись, утворюють зліченну множину значень;
- 7) *постійні* – розмір та напрямок яких незмінний;
- 8) *змінні*.



## Вимірювання: основні поняття та визначення

Сталість чи змінність можна розглядати як функцію часу або як функцію простору. Тоді

залежність фізичної величини **від часу** – це **процес**;

залежність фізичної величини **від простору** – це **поле**.

**Вимірювання** – відображення фізичних величин їхніми значеннями шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів.

**Значення фізичної величини** – відображення фізичної величини числовим значенням з позначенням її одиниці.

**Вимірювальна інформація** – інформація про значення вимірюваних фізичних величин.

**Сигнал є носієм вимірювальної інформації.**

**Сигнал є енергетичним процесом і його можна охарактеризувати декількома параметрами –**

наступний слайд.

## Вимірювання: основні поняття та визначення

**Інформативний параметр вимірювального сигналу** – один з параметрів вимірювального сигналу, який містить вимірювальну інформацію.

**Результат вимірювання** –

*[варіант визначення]* значення фізичної величини, знайдене шляхом її вимірювання;

*[варіант визначення]* вимірне значення фізичної величини з оцінкою границь, в яких із заданою імовірністю знаходиться похибка вимірювання.

**Похибка результату вимірювання (похибка вимірювання)** – відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини.

**Істинне значення** – значення, яке б ідеально (без похибки) відображало б певну властивість об'єкта.

## Вимірювання: основні поняття та визначення

**Похибка вимірювання та точність вимірювань – величини, пов'язані оберненою пропорційністю.**

**Абсолютна похибка** – різниця виміряного  $x$  та істинного  $A_x$  значень:

$$\Delta = x - A_x.$$

**Відносна похибка** – відношення абсолютної похибки до істинного значення, виражене у процентах:

$$\delta = \frac{\Delta}{A_x} = \frac{x - A_x}{A_x} \approx [x \approx A_x] \approx \frac{\Delta}{x}.$$

## **Вимірювання: основні поняття та визначення**

**Єдність вимірювань** – стан вимірювань, за якого їхні результати виражають в узаконених одиницях, а похибки вимірювань відомі та із заданою імовірністю не виходять за встановлені межі.

**Похибка результату вимірювання**

**та**

**невизначеність результату вимірювання**

## **Види та методи вимірювань**

## Види вимірювань

**Види вимірювань:**

1) **за способом отримання результату:**

**Пряме вимірювання** – вимірювання, в якому шукане значення величини знаходять безпосередньо з даних дослідження.

**Непряме вимірювання** – вимірювання, в якому значення однієї чи декількох вимірюваних величин знаходять після перетворення роду величини чи обчислення за відомими залежностями їх від декількох значень аргументів, які вимірюють прямо.

**Непрямі вимірювання поділяють на:**

- опосередковані вимірювання;
- сукупні вимірювання;
- сумісні вимірювання.

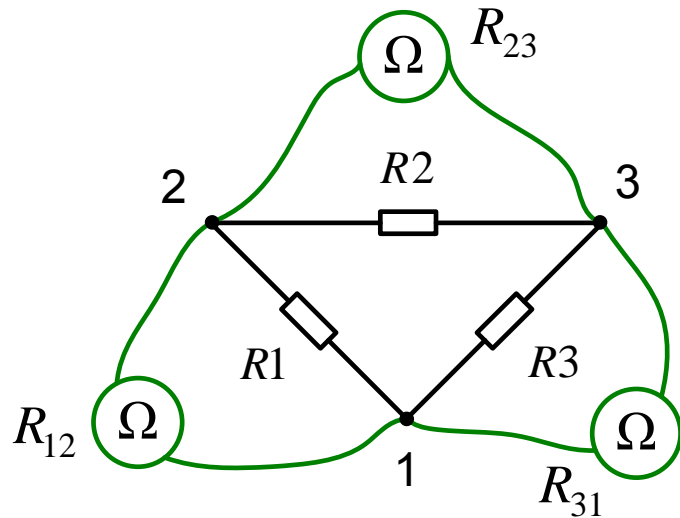
**Опосередковане вимірювання** – вимірювання, при якому шукане значення величини знаходять на основі відомої функціональної залежності між цією величиною та величинами, які вимірюють прямо.

## Види вимірювань

**Сукупне вимірювання** – одночасне вимірювання декількох **однорідних величин**, при якому шукані значення величин знаходять шляхом розв'язку системи рівнянь, які отримують при прямих вимірюваннях різних сполучень цих величин.

*Приклад.* Є три постійних резистори, з'єднаних “трикутником”, розібрати який неможливо. Потрібно виміряти опір кожного з цих резисторів.

*Розв'язок:*



$$\left. \begin{aligned} R_{12} &= [R_2 + R_3 \parallel R_1] = \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \\ R_{23} &= [R_1 + R_3 \parallel R_2] = \frac{R_2(R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \\ R_{31} &= [R_1 + R_2 \parallel R_3] = \frac{R_3(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

## Види вимірювань

Розв'язок цієї системи рівнянь:

$$R_1 = \frac{A}{2(R_{23} + R_{31} - R_{12})},$$

$$R_2 = \frac{A}{2(R_{31} + R_{12} - R_{23})},$$

$$R_3 = \frac{A}{2(R_{12} + R_{23} - R_{31})},$$

$$\text{де } A = 4R_{23}R_{31} - (R_{23} + R_{31} - R_{12})^2.$$



## Види вимірювань

**Сумісне вимірювання** – одночасне вимірювання декількох **різномірних** величин, при якому шукані значення величин знаходять шляхом розв'язку системи рівнянь, які пов'язують їх з іншими величинами, що вимірюють прямо чи опосередковано.

**Приклад.** Є залежність між опором лінійного провідника та температурою, при якій він перебуває:  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ . Потрібно визначити коефіцієнти  $R_0$  та  $\alpha$  для конкретного металу.

**Розв'язок.** Оскільки невідомих величин дві, тому потрібно виконати два вимірювання, використовуючи вихідне рівняння. У даному випадку це два вимірювання опору цього провідника  $(R_{t_1}, R_{t_2})$  при різних температурах  $t_1, t_2$ . Маємо:

$$\left. \begin{array}{l} R_{t_1} = R_0(1 + \alpha t_1) \\ R_{t_2} = R_0(1 + \alpha t_2) \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} R_0 = \frac{R_{t_2}t_1 - R_{t_1}t_2}{t_2 - t_1}, \text{ Ом} \\ \alpha = \frac{R_{t_1} - R_{t_2}}{R_{t_2}t_1 - R_{t_1}t_2}, 1/\text{C}^0 \end{array}$$

## Види вимірювань

### 2) **за способом вираження результату:**

**Абсолютне вимірювання** – вимірювання, яке базується на прямих вимірюваннях однієї чи декількох основних величин та (або) використання значень фізичних констант.

*Приклад:* вимірювання струму амперметром.

**Відносне вимірювання** – вимірювання відношення фізичної величини до іншої однорідної величини, яка грає роль одиниці; або вимірювання величини по відношенню до однорідної величини, яку приймають за вихідну.

*Приклад:* вимірювання коефіцієнта передачі чотириполюсника на різних частотах по відношенню до максимального значення цього коефіцієнта до деякої частоти.

## Види вимірювань

### 3) за характером залежності вимірюваної величини від часу:

**Статичне вимірювання** – вимірювання величини, яку можна вважати незмінною за час вимірювання.

**Динамічне вимірювання** – вимірювання величини, яка змінюється за час вимірювання.

## Основні характеристики вимірювання

До основних характеристик вимірювання відносять:

**Принцип вимірювання** – сукупність фізичних явищ, на яких базуються вимірювання.

**Метод вимірювання** – сукупність способів використання засобів вимірювальної техніки та принципів вимірювань для створення вимірювальної інформації.

**Точність вимірювання** – якість вимірювання, що відображає близькість результату вимірювання до істинного значення вимірюваної величини.

## Методи вимірювань

До методів вимірювань відносять:

- 1) **метод безпосередньої оцінки;**
- 2) **метод порівняння з мірою**, до якого, у свою чергу, відносять:
  - *нульовий метод;*
  - *диференційний метод;*
  - *метод заміщення;*
  - *метод збігу.*

**Метод безпосередньої оцінки** – метод вимірювання, при якому значення вимірюваної величини визначають безпосередньо по шкалі, табло або екрану вимірювального приладу.

**Метод порівняння з мірою** – метод вимірювання, при якому значення вимірюваної величини порівнюють зі значенням величини, що відтворюється мірою.

## Методи вимірювань

При **нульовому методі** результуючий ефект впливу обох величин на вимірювальний прилад доводять до нуля.

*Приклад:* вимірювання електричного опору мостом з його повним зрівноважуванням.

При **диференційному методі** на вимірювальний прилад діє різниця вимірюваної та відомої величин.

*Приклад:* вимірювання електричного опору мостом з його неповним зрівноважуванням.

При **методі заміщення** вимірювану величину заміщають (замінюють) однорідною з нею величиною відомого розміру, який дорівнює розміру заміщеної величини, що визначається за збереженням режиму у вимірювальному колі.

*Приклад:* вимірювання послаблення.

При **методі збігу** рівність значень вимірюваної та відомої величин фіксується за збігом позначок шкали, сигналів та іншими ознаками.

*Приклад:* вимірювання довжини лінійкою.

## Результати вимірювань

Результати вимірювань бувають:

### 1) **за кількістю вимірювань:**

**одноразові вимірювання** при яких покази вимірювального приладу є результатом вимірювання;

**багаторазові вимірювання** при яких результат вимірювання знаходять шляхом статистичної обробки результатів кожного вимірювання.

### 2) **за точністю вимірювань:**

**точні (прецизійні)** – їхній результат повинен мати максимально можливу за існуючого рівня науки і техніки точність;

*Приклад:* дослідження еталонів та визначення фундаментальних фізичних констант.

**контрольно-повірчі** – їхня точність не повинна бути нижчою за деяке значення;

*Приклад:* використовують при державній та відомчій повірці засобів вимірювань.

**технічні** – їхній результат містить похибку, яка визначається похибкою вимірювального приладу.

*Приклад:* використовують на виробництві, лабораторіях, будівництві, тощо.

# **Планування та організація вимірювань**



## Планування та організація вимірювань

### Стадії організації та виконання вимірювань:

- формулювання мети;
- складання програми експерименту, методична та матеріальна підготовка експерименту;
- проведення експерименту;
- опрацювання результатів вимірювань та оцінювання похибки вимірювань;
- аналіз отриманих результатів та формулювання оцінки проведених вимірювань.

## Планування та організація вимірювань

Тому процес вимірювання можна розділити на три етапи:

- підготовка та планування вимірювань;
- виконання вимірювань;
- опрацювання та аналіз отриманих даних.

## Планування та організація вимірювань

**Основними питаннями, які потрібно вирішити на етапі підготовки та планування вимірювань, є:**

- модель досліджуваного об'єкта, наприклад, під час вимірювання змінного струму здебільшого приймають його гармонічну модель, а в разі несинусоїдальних струмів модель ускладнюють вищими гармонічними складовими, постійною складовою;
- вимірювані параметри моделі, наприклад, для синусоїдального струму потрібно знати, який із параметрів вимірюватимуть: ефективне значення струму, амплітудне чи інший параметр;
- мета вимірювання, яка встановлює потрібну точність вимірювань та значною мірою впливає на вибір моделі вимірюваної величини;
- залежності між величинами, значення яких потрібно визначити за безпосередньо вимірюваними величинами (за непрямих вимірювань);
- умови вимірювань та впливні фактори;

## **Планування та організація вимірювань**

- допустимі похибки вимірювань, а за непрямих вимірювань – допустимі похибки вимірювань кожної із безпосередньо вимірюваних величин;
- необхідні методи вимірювань окремих величин;
- потрібні засоби вимірювальної техніки, їхні метрологічні характеристики;
- способи корекції похибок вимірювань;
- форма подання результатів вимірювань;
- необхідні алгоритми та засоби опрацювання експериментальних даних та їхньої достовірності;
- необхідні затрати для виконання поставленого завдання;
- економічна ефективність вимірювань.