

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни
«Основи електрики та електроніки, електричні
вимірювання та їх стандартизація»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт
(Оператор безпілотних літальних апаратів)***

**за темою № 22 - Загальні відомості про метрологію та електричні
вимірювання**

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1

Розробник: викладач циклової комісії Авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, спеціаліст вищої категорії, Юрко О.О.

Рецензенти:

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.

План лекції:

1. Поняття фізичної величини.
2. Завдання метрології. Система інтернаціональна.
3. Процедура вимірювання. Види вимірювань.
4. Методи вимірювання.
5. Похибки вимірювання.
6. Знаходження систематичної похибки за класом точності засобу вимірювання.
7. Нормування додаткової похибки ЗВ.
8. Класифікація засобів вимірювальної техніки.

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

Основна:

1. Болюх В. Ф., Данько В. Г., Гончаров Є. В. Основи електротехніки, електроніки та мікропроцесорної техніки. Харків: Планета-Прінт, 2019. 248 с.
2. Васильєва Л. Д., Медведенко Б. І., Якименко Ю. І. Напівпровідникові прилади: Підручник. Київ: ІВЦ Видавництво "Політехніка", 2003. 338 с.
3. Кармазін В.В., Семенець В.В. Курс загальної фізики. Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Київ: Кондор, 2016. 786 с.
4. Коваль Ю. О., Гринченко Л. В., Милютченко І. О., Рибін О. І. Основи теорії кіл. Ч. 1. Харків: Компанія СМІТ, 2008. 432 с.
5. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: Теорія і практикум: навч. посіб. Київ: Каравела, 2004. 432 с.
6. Лавренова Д. Л., Хлистов В. М. Основи метрології та електричних вимірювань: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 133 с.

Допоміжна:

1. Андріяшик М. В., Вербицький Б. І., Король А.М. Курс фізики. Київ: Фламенко, 2008. 530 с.
2. Готра З. Ю., Лопатинський І. Є., Лукіянець Б. А., Микитюк З. М., Петрович І. В. Фізичні основи електронної техніки: Підручник. Львів: Видавництво "Бескид Бит", 2004. 880 с.
3. Гумен Б. М., Гуржій А. М., Співак В. М. Основи теорії електричних кіл: у 3 кн. Київ: Вища шк., 2003.
4. Дмитрієва В. Ф. Фізика: Навч. посіб, Київ: Техніка, 2008. 648 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. <https://www.youtube.com/channel/UCWfhBu4fAt126ZbxREz3IBw>

Текст лекції

1. Поняття фізичної величини

Метрологія - це наука про вимірювання. Її об'єктами є фізична величина, а предметом є процедура вимірювання.

Фізична величина - це властивість загальна в якісному відношенні у багатьох об'єктів, але індивідуальна в кількісному відношенні у кожного з них.

Якісна визначеність фізичної величини - це рід фізичної величини. Є фізичні величини однорідні та різнорідні.

Кількісна визначеність - це розмір фізичної величини.

Під час вимірювання знаходять значення величини X , що містить чисельне значення та найменування величини:

$$x = N \cdot [\],$$

тобто знаходять добуток розміру фізичної величини та її рід. Фактично, під час вимірювання знаходять іменоване значення, що знаходиться як ціла частина відношення розміру величини до одиниці величини (до одиниці вимірювання):

$$N = E \left| \frac{x}{q_x} \right|.$$

Розрізняють, в теорії похибок, істинне значення фізичної величини, та дійсне значення.

Істинне значення відображає в якісному та кількісному відношенні властивості об'єкту що досліджується.

Дійсне значення отримують з високою точністю емпірично і за необхідності використовують замість істинного.

Оскільки істинне значення не може бути відоме із стовідсотковою вірогідністю, то від теорії похибок переходять до теорії невизначеності.

Невизначеність - це оцінка, що характеризує діапазон значень, у якому знаходиться, в тому числі, істинне значення вимірюваної величини. Фактично це є оцінкою якості результату вимірювання.

2. Завдання метрології. Система інтернаціональна.

Завдання метрології - забезпечити єдність і потрібну точність вимірювань. Єдність вимірювань - це такий стан вимірювань, при якому результати визначаються в чинних одиницях, а похибки відомі із завданою достовірністю.

Це все дозволяє співставляти результати вимірювань, які були отримані за допомогою різних ЗВ в різних місцях та у різний час.

У більшості країн світу заходи щодо забезпечення єдності вимірювань встановлено відповідними нормативно-технічними документами.

Для забезпечення знання похибок вимірювання із завданою достовірністю необхідне забезпечення одноманітності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ).

Чинні одиниці вимірювання відображенні в Системі Інтернаціональній (СІ), яка містить:

- 7 основних одиниць,
- 2 додаткові одиниці,
- 17 похідних одиниць.

Основні одиниці СІ (відповідно до постанови XXVI Генеральної конференції мір та ваг від 16 листопада 2018р.):

1. Метр [м], [m] дорівнює відстані, яку долає у вакуумі плоска електромагнітна хвиля за $1/299792458$ долю секунди.

2. Секунда [с], [s] шкала атомного часу (АТ) дорівнює 9192631770 періодам випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атому Cs_{133} .

3. Кілограм [кг], [kg] дорівнює постійній Планка, розділеній на $6,626070040 \times 10^{-34} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$.

4. Ампер [А], [A] дорівнює силі постійного струму, який відповідає $1/1,6021766208 \times 10^{-19}$ потоку елементарних електричних зарядів в секунду.

5. Кельвін [К], [K] відповідає тепловій енергії на $1,38064852 \times 10^{-23}$ Дж (постійна Больцмана).

6. Моль [моль], [mol] дорівнює кількості речовини, яка містить $6,022140857 \times 10^{23}$ специфікованих структурних одиниць (постійна Авогадро).

7. Кандела [кд], [kd] дорівнює силі монохроматичного світла, що випромінюється на частоті 54010 Гц із силою $1/683 \text{ Вт/ср}$.

Основні одиниці СІ підтримані відповідними еталонами, конструкція яких базується на застосуванні останніх фундаментальних досліджень і розробок в галузі фізики.

Додаткові одиниці

1. Радіан [рад], [rad] дорівнює куту між двома радіусами кола, довжина дуги між якими дорівнює радіусу.

2. Стерадіан [ср], [sr] дорівнює тілесному куту з вершиною у центрі сфери, що вирізає на поверхні сфери площу, яка дорівнює площі квадрата із стороною в радіус сфери.

Похідні одиниці (табл. 1) - отримують за допомогою основних та додаткових.

Окрім того існують позасистемні одиниці. Наприклад, години, літри, градуси Цельсія, гектар, тонна, вольт-ампер, тощо.

Таблиця 1 – Похідні одиниці СІ

Одиниця	Назва
Частота	(Герц)
Сила, вага	(Ньютон)
Тиск	(Паскаль)
Енергія, робота	(Джоуль)

Потужність	(Ватт)
Електричний розряд	(Кулон)
Напруга	(Вольт)
Електроємність	(Фарад)
Електричний опір	(Ом)
Електропровідність	(Сіменс)
Індукція, магнітний потік	(Вебер)
Магнітна індукція	(Тесла)
Індуктивність	(Генрі)
Світловий потік	(Люмен)
Освітленість	(Люкс)
Активність радіонукліда	(Беккерель)
Доза іонізуючого випромінювання, що поглинута	(Грей)
Еквівалентна доза іонізуючого випромінювання	(Зіверт)

Властивості СІ:

- універсальність (містить всі існуючі фізичні одиниці),
- когерентність (похідні одиниці можуть бути виражені через основні),
- має високу точність відтворення,
- частковість (це властивість поділення основних одиниць на частки - див. табл. 2),
- кратність (це властивість до отримання більшої величини - див. табл. 2).

Таблиця 2 – Позначення частковості та кратності

Частковість	Кратність
$10^{-1} = 0,1$ (деци-)	$10^1 = 10$ (дека-)
$10^{-2} = 0,01$ (санті-)	$10^2 = 100$ (гекто-)
$10^{-3} = 0,001$ (мілі-)	$10^3 = 1000$ (кіло-)
$10^{-6} = 0,000001$ (мікро-)	$10^6 = 1000000$ (мега-)
$10^{-9} = 0,000000001$ (нано-)	$10^9 = 1000000000$ (гіга-)
$10^{-12} = 0,000000000001$ (піко-)	$10^{12} = 1000000000000$ (тера-)
$10^{-15} = 0,000000000000001$ (фемто-)	$10^{15} = 1000000000000000$ (пета-)
$10^{-18} = 0,000000000000000001$ (атто-)	$10^{18} = 1000000000000000000$ (екса-)

3. Процедура вимірювання. Види вимірювань

Процедура вимірювання є сукупністю вимірювальних операцій, які

потрібно виконати, щоб отримати значення фізичної величини.

Вимірювальні операції є наступними:

1. Відтворення зразкової величини;
2. Перетворення роду величини (за потреби);
3. Перетворення розміру величини - масштабування (за потреби);
4. Порівняння двох однорідних величин.

Вимірювання - це знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Тобто це процедура емпірична (виконується тільки дослідним шляхом).

Класифікацію видів вимірювання подано на рис. 1.1.

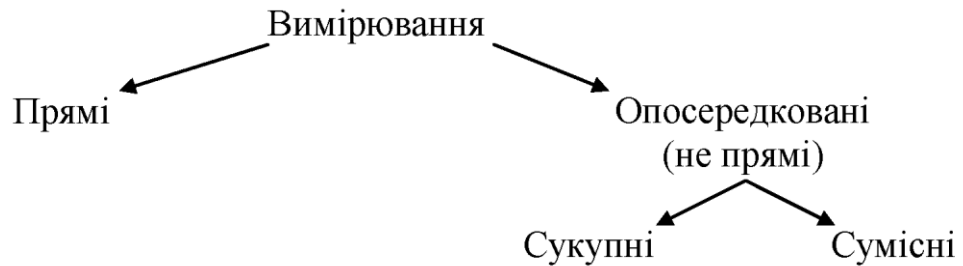


Рисунок 1 – Види вимірювань

При прямих вимірюваннях - шукану величину знаходять безпосередньо із дослідів за показами засобів вимірювання (ЗВ). Такі вимірювання реалізуються без перетворення роду величини.

Опосередковані вимірювання - вимірювання, що базуються на певній залежності між вимірюваною величиною та величинами-аргументами. Тут вимірювана величина завжди одна, хоча аргументів може бути декілька. Це значить, що на практиці є шукана величина, яку знаходять розрахунком за формулою. Остання пов'язує шукану величину із іншими параметрами, знайденими в результаті прямих вимірювань.

При сукупних та сумісних вимірюваннях одночасно вимірюється декілька величин.

Під час сукупних вимірювань проводиться вимірювання одночасно декількох однорідних величин. Далі, на практиці, вирішується система рівнянь, складених з величин, що отримані на основі прямих вимірювань різних сполучень шуканої величини.

4. Методи вимірювання

Сукупність заходів щодо використання ЗВТ визначає метод вимірювання. Існує чотири основних метода вимірювання, в залежності від ЗВ, що використовуються (рис. 2).

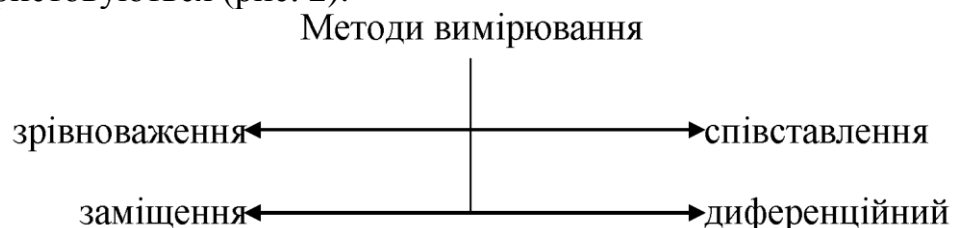


Рисунок 2 – Методи вимірювань

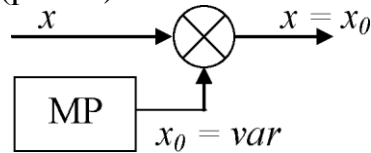
1. Метод зрівноваження (рис. 3).

Рисунок 3 – Схема метода зрівноваження

В методах зрівноваження використовується міра, що регулюється (МР). Міра регулюється до тих пір поки на виході компаратора не буде рівновага, тобто $x = x_0$, тоді значення міри x_0 і є вимірюваною величиною (її значенням).

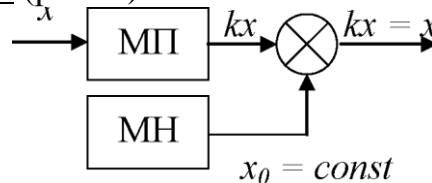
2. Метод співставлення (рис. 4).

Рисунок 4 – Схема метода співставлення

В методах співставлення використовується міра, що не регулюється (МН). Масштабний перетворювач регулюється до тих пір, поки на виході компаратора не буде рівновага, тобто $kx = x_0$. Тоді значення вимірюваної величини можна обрахувати наступним чином:

$$x = \frac{x_0}{k}.$$

Недолік методу - обмеження за ціною поділки міри.

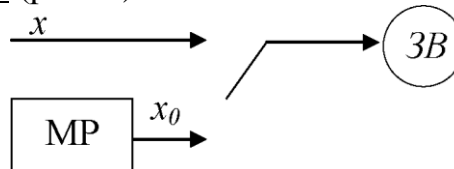
3. Метод заміщення (рис. 5).

Рисунок 5 – Схема метода заміщення

В методах заміщення до ЗВ підключають вимірювану величину та запам'ятовують ефект від її дії на ЗВ. Після цього вимірювану величину відключають та заміщують зразковою - однозначною мірою, що регулюється (МР). Значення зразкової величини змінюють до тих пір, поки встановиться ефект, що чинився вимірюваною величиною. Після цього вимірювану величину вже можна встановити за значенням зразкової величини, тобто міри.

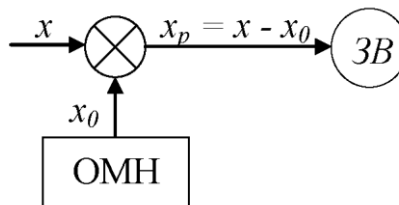
4. Диференційний метод (рис. 6).

Рисунок 6 – Схема диференційного метода

Базується на вимірюванні різниці між вимірюваною величиною та зразковою:

$$x_p = x - x_0,$$

$$x = x_p + x_0.$$

Однозначна міра, що не регулюється (ОМН), як правило має велику точність. Тоді абсолютна похибка вимірювання:

$$\Delta x = \Delta x_p,$$

а відносна похибка:

$$\delta_x = \frac{\Delta_x}{x} = \frac{\Delta_{xp}}{x} = \frac{\Delta_{xp}}{x} \cdot \frac{x_p}{x_p} = \frac{\Delta_{xp}}{x_p} \cdot \frac{x_p}{x} = \delta_{3B} \cdot \frac{x_p}{x}.$$

Якщо $x_p \ll x$, то маємо майже ідеальну точність, (коли $x_0 \approx x$). На практиці беруть не одну ОМН, а цілий їх набір.

5. Похибки вимірювання

Характеристикою якості вимірювання є його точність. Чим точніше вимірювання, тим ближче до істинного значення вимірюваної величини, що було отримано в процесі цього вимірювання.

Якісною (оцінкою) характеристикою точності є похибка. Похибки вимірювань класифікуються в залежності від їх форми подання, причин виникнення, впливу на результат тощо (рис. 7).

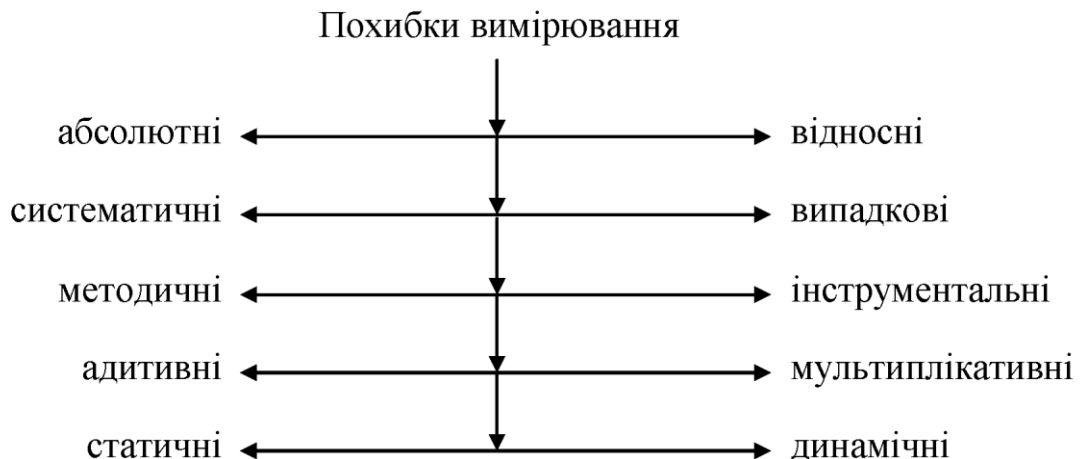


Рисунок 7 – Класифікація похибок вимірювання

Абсолютна похибка (Δ) - це різниця між вимірним значенням фізичної величини та її істинним значенням. Тобто абсолютна похибка подається в одиницях вимірюваної величини.

$$\Delta = x - x_{icm} \text{ або } \Delta = x - x_{дiй},$$

результат вимірювання:

$$x \pm \Delta x.$$

Відносна похибка подається у відносних одиницях або у відсотках.

$$\delta = \frac{\Delta}{x_{icm}} = \frac{x - x_{icm}}{x_{icm}} = \frac{x}{x_{icm}} - 1.$$

Систематична похибка - це похибка, яка при повторних вимірюваннях або залишається постійною, або змінюється за визначеним законом. Ця похибка детермінована, тобто її можна вивчити та виключити з результату вимірювання.

Випадкова похибка - це та похибка, яка при повторних вимірюваннях

змінюється випадковим чином. Її не можна вивчити та виключити з результату вимірювання, а можна лише зменшити її вплив на результат вимірювання шляхом статистичної обробки багаторазових вимірювань.

Найповніше випадкову похибку характеризує її розподіл. За характеристиками розподілу можна визначити похибку. Характеристики розподілу - це моменти k -го порядку:

$$m_k(\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Delta^k \cdot p(\Delta) \cdot d\Delta$$

де Δ - похибка абсолютна;

$p(\Delta)$ - функція розподілення густини вірогідності похибки.

Найчастіше використовують момент I порядку - математичне очікування (фізичний сенс - центр групування):

$$m_1(\Delta) = M[\Delta] = \int_{-\infty}^{+\infty} \Delta \cdot p(\Delta) \cdot d\Delta,$$

а також центральний момент II порядку - дисперсія (фізичний сенс - відхилення від центру групування окремого значення):

$$m_2(\Delta) = D[\Delta] = \int_{-\infty}^{+\infty} (\Delta - M[\Delta])^2 \cdot p(\Delta) \cdot d\Delta,$$

також часто використовується інтервальна оцінка: α -процентна квантіль - це площа під кривою функції густини вірогідності (рис. 1.8), яка показує який відсоток неправильних результатів можна отримати в конкретному випадку.

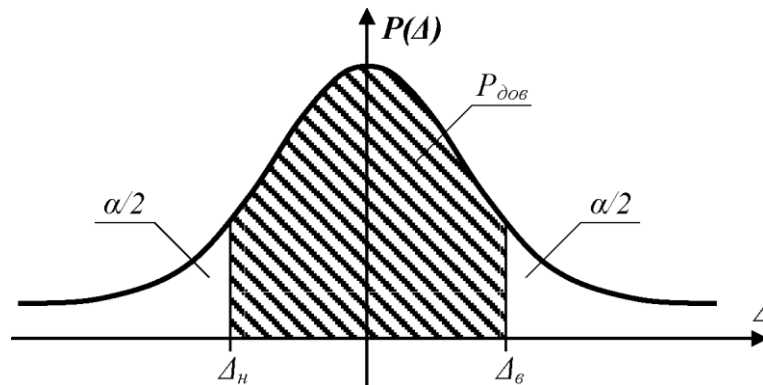


Рисунок 8 – Нормальний закон розподілення в диференційній формі

Квантілі створюють межі довірного інтервалу.

Здебільшого результати вимірювання розподіляються за нормальним законом (розподіл Гауса), який представлено на рис. 9.

$$p(\Delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}\right).$$

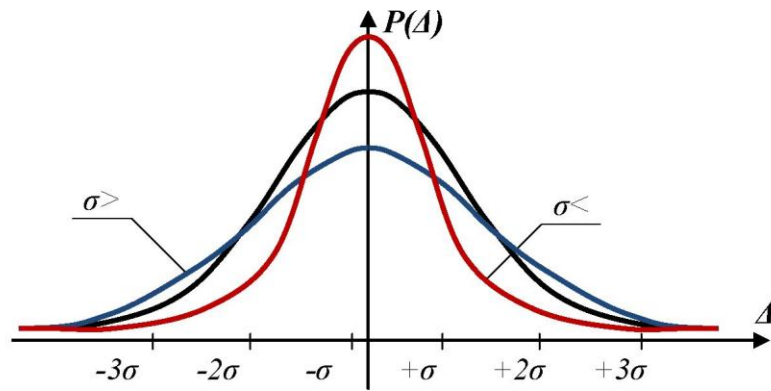


Рисунок 9 – Нормальний закон розподілення з різними СКО

За таблицями для різної $P_{\text{дов}}$ визначають Δ . Фактично, на форму кривої розподілу впливає СКО розподілу σ , тому зручно вказувати довірчий інтервал через σ :

$$\left[-\frac{2}{3}\sigma; +\frac{2}{3}\sigma \right] \text{ відповідає } P_{\text{дов}} = 0,5$$

$$[-\sigma; +\sigma] \text{ відповідає } P_{\text{дов}} = 0,68$$

$$[-2\sigma; +2\sigma] \text{ відповідає } P_{\text{дов}} = 0,95$$

$$[-3\sigma; +3\sigma] \text{ відповідає } P_{\text{дов}} = 0,997$$

Це закон розподілу сумарної похибки.

Окрім того може використовуватись рівномірний закон розподілу (рис. 10).

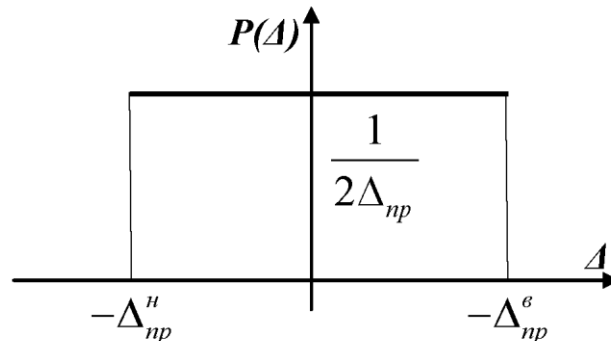


Рисунок 10 – Прямокутний (обмежений рівномірний) закон розподілення

Функція розподілу:

$$p(\Delta) = \begin{cases} \frac{1}{2\Delta_{np}}; & -\Delta_{np} \leq \Delta \leq +\Delta_{np} \\ 0; & |\Delta| > \Delta_{np} \end{cases}$$

Параметри розподілу - математичне очікування та дисперсія, відповідно:

$$M[\Delta] = \int_{-\Delta_{np}}^{+\Delta_{np}} \frac{1}{2\Delta_{np}} \cdot \Delta \cdot d\Delta = \frac{1}{2\Delta_{np}} (\Delta_{np}^2 - \Delta_{np}^2)$$

$$\sigma[\Delta] = \sqrt{D[\Delta]} = \frac{\Delta_{np}}{\sqrt{3}}$$

Такий розподіл має місце у випадку похибки відліку, похибки квантування.

Адитивна похибка - це похибка, яка за абсолютним значенням не залежить від вимірюваної величини (рис. 11).

Якщо прилад має адитивну похибку, то початкова ділянка є практично не робочою (не працює).

Адитивна похибка виникає через:

- похибку відліку;
- похибку квантування;
- дрейф нуля;
- теплові шуми;
- зовнішні завади.

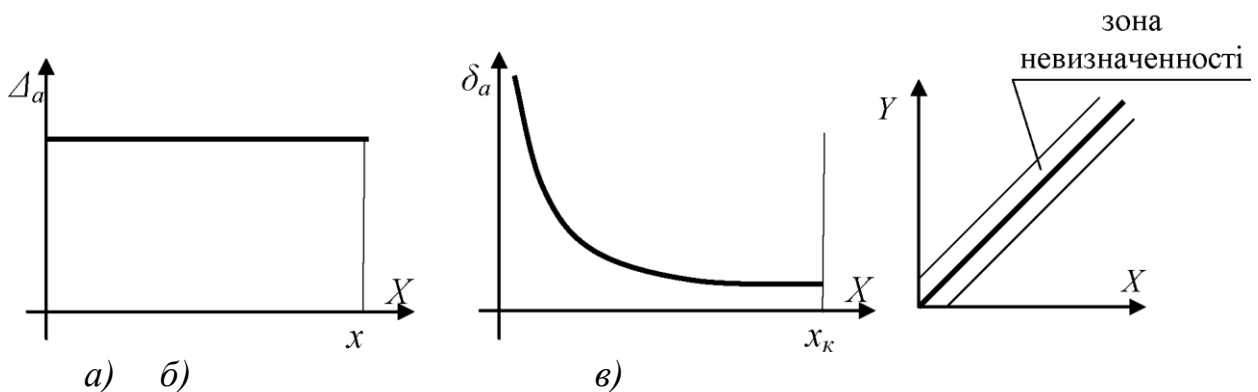


Рисунок 11 – Залежність адитивної похибки від вимірюваної величини:
(а) абсолютного значення; (б) відносного значення; (в) за лінійної залежності $Y = f(X) = k \cdot X + \Delta_a$.

Мультіплікативна похибка - це похибка, яка за абсолютним значенням лінійно залежить від вимірюваної величини (рис 12).

Для вимірювального перетворення:

Причина мультіплікативної похибки вимірювання - зміна коефіцієнту перетворення.

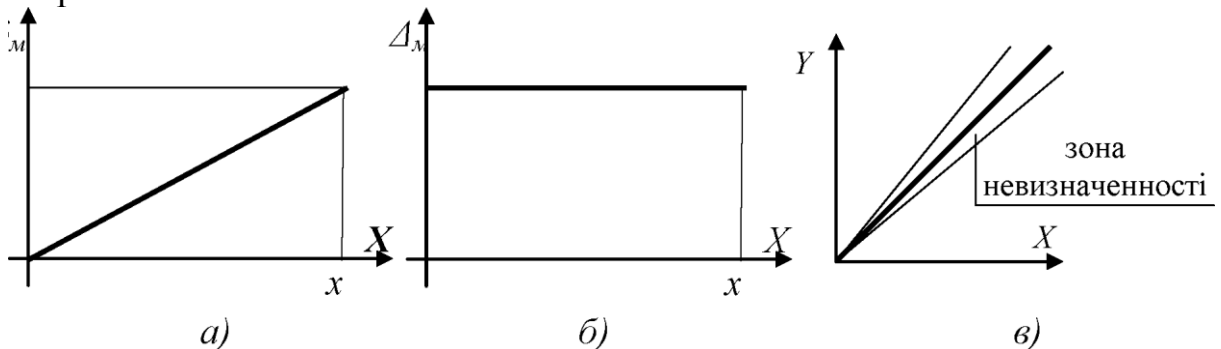


Рисунок 12 – Залежність мультіплікативної похибки від вимірюваної

величини: (а) відносного значення; (б) абсолютного значення; (в) за лінійної залежності $Y = f(X) = \Delta_M \cdot k \cdot x$.

Статична похибка - це похибка, яка має місце при не змінній вимірюваній величині, тобто в статичному режимі.

Динамічна похибка - це похибка, яка виникає додатково зі статичною похибкою при змінній вимірюваній величині, тобто у динамічному режимі.

Методична похибка - це похибка, яка виникає через неадекватність моделі об'єкту (похибка методу), що прийнята при вимірюваннях, або через неточну передачу вимірюваної величини.

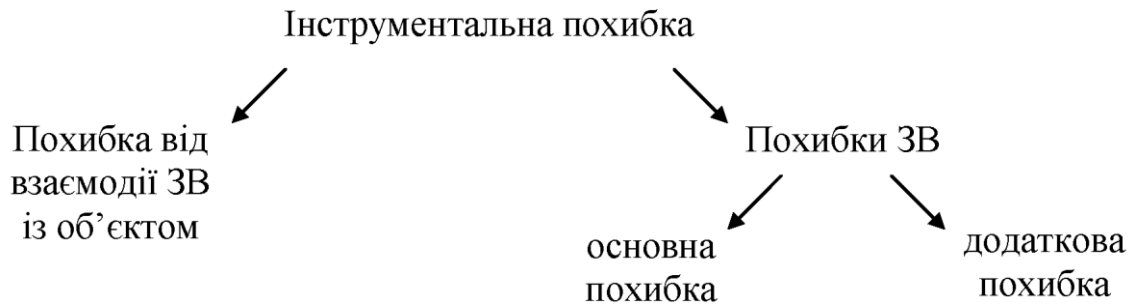
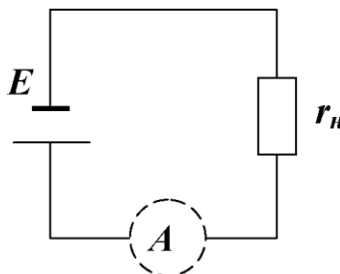


Рисунок 13 – Складові інструментальної похибки

Інструментальна похибка - це похибка, яка виникає через недосконалість ЗВ. Вона складається з компонентів, які зазначено на рис. 13.

Головна вимога до ЗВ - він не має порушувати стан вимірюваного об'єкту.

Приклад Вимірювання сили струму в однофазному електричному колі за допомогою амперметра.



$$I_{icm} = \frac{E}{r_n}; \quad I = \frac{E}{r_n + r_A};$$

$$\delta_{int} = \frac{I}{I_{icm}} - 1 = \frac{E}{r_n + r_A} \cdot \frac{r_n}{E} - 1 = \frac{r_n}{r_n + r_A} - 1.$$

Фактично похибка взаємодії:

$$\delta_{int} = -\frac{r_A}{r_n + r_A} = \frac{-1}{1 + \frac{r_n}{r_A}},$$

похибка від'ємна бо прилад поглинає енергію, тобто величина зменшується.

Похибки ЗВ - це похибки, що виникають через недосконалість схеми та конструкції ЗВ.

Основна похибка - це похибка, яка відповідає нормальним умовам застосування. Нормальні умови використання:

- 1) температура $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- 2) вологість 70% ,
- 3) атмосферний тиск 10^5 Па ,
- 4) параметри живлення мережі 220 В , 50 Гц ,
тощо.

Основна похибка існує за відсутності дії впливових величин (факторів).

Додаткова похибка - це похибка, яка виникає під впливом дії впливових факторів, тобто в робочих умовах використання.

6. Знаходження систематичної похибки за класом точності засобу вимірювання

Клас точності - це узагальнена характеристика ЗВ, яка визначає максимально припустиму похибку, яку дає вимірювання за допомогою (цього) ЗВ.

Нормування класу точності (та його умовна позначка) залежить від форми подання похибки.

1. Абсолютна похибка: $\pm \Delta$

Позначення: Δ - має розмірність, тобто не може використовуватись для нормування класу точності, тому позначка класу точності не має числа (табл. 3).

Таблиця 1.3 – Нормування абсолютної похибки ЗВ

Залежність	Позначення
$\Delta = a$	M
$\Delta = b \cdot x$	L
$\Delta = a + b \cdot x$	C

2. Зведена похибка:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_n}$$

де X_n - нормуюче значення.

Тобто γ - це відношення абсолютної похибки до нормуючого значення. Позначення: в залежності від нормуючого значення X_n (табл. 4).

Таблиця 4 – Нормування зведеної похибки ЗВ

Залежність	Позначення
$\gamma = \frac{\Delta}{X_n} \cdot 100\% = \pm 0,5\%$	0,5
$\gamma = \frac{\Delta}{L} \cdot 100\% = \pm 0,5\%$	$\bigvee 0,5$

Тобто якщо є рівномірна шкала тоді в якості нормуючого значення X_n

обирається межа вимірювання (рис. 14).

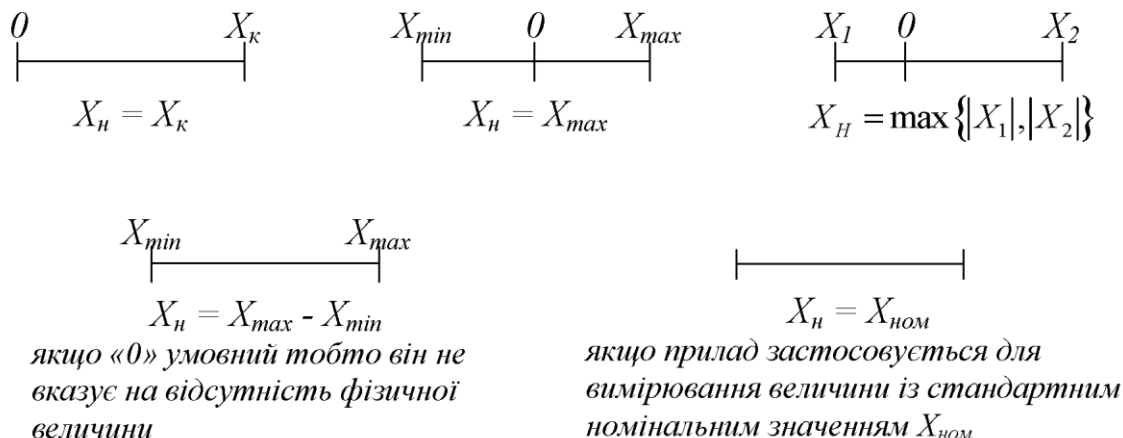


Рисунок 14 – Вибір нормуючого значення в залежності від шкали ЗВ

Якщо шкала приладу не рівномірна (наприклад логарифмічна), тоді в якості X_H обирається довжина шкали у [мм]:

$$\gamma = \frac{\Delta}{L} \Rightarrow \Delta = \gamma \cdot L,$$

звідси похибка шуканої величини:

$$\Delta_X = C \left[\frac{\text{од. вим. вел.}}{\text{мм}} \right] \cdot L [\text{мм}],$$

де C - похибка в кінці діапазону, тобто це найменша похибка приладу.

Таким чином, у випадку нормування зведеної похибки абсолютна похибка буде мати постійне значення в будь-якому місці шкали.

3. Відносна похибка:

$$\delta = \frac{\Delta}{X}$$

Позначення: в залежності від складових похибки (табл. 5).

Таблиця 5 – Нормування відносної похибки ЗВ

Залежність	Позначення
$\delta = \frac{\Delta}{X} \cdot 100\% = \pm 0,5\%$	⓪,5
$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{X_H}{X} - 1 \right) \right] \%$	c/d

Тобто є відносна похибка, що складається з мультиплікативної та адитивної похибки:

$$\begin{aligned}\delta &= \delta_m + \delta_a = \delta_m + \frac{\Delta_a}{X} = \delta_m + \frac{\Delta_a}{X} + \frac{\Delta_a}{X_n} - \frac{\Delta_a}{X_n} = \\ &= \delta_m + \frac{\Delta_a}{X_n} \left[\frac{X_n}{X} - 1 \right] + \frac{\Delta_a}{X_n} = \left(\delta_m + \frac{\Delta_a}{X_n} \right) + \frac{\Delta_a}{X_n} \left[\frac{X_n}{X} - 1 \right] = c + d \left[\frac{X_n}{X} - 1 \right]\end{aligned}$$

де

$$c = \delta_m + \frac{\Delta_a}{X_n}$$

- мультиплікативна похибка (обирається похибка в кінці діапазону вимірювання, тобто це найменша похибка приладу);

$$d = \frac{\Delta_a}{X_n} = \gamma_a$$

- зведена адитивна похибка.

Таке нормування класу точності характерне для цифрових приладів.

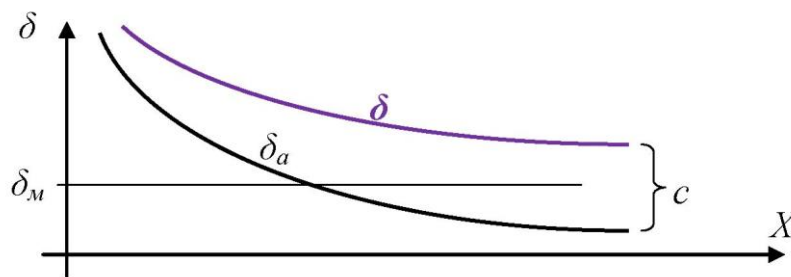


Рисунок 15 – Вплив складових на нормовану відносну похибку ЗВ

Цифри, що використовуються для нормування класів точності приладів, обирають зі стандартного ряду:

1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6.

4. Не стандартний випадок

В цьому випадку нормування може відбуватися за формулою для відносної похибки:

$$\delta = \delta_m + \frac{\Delta_a}{X} = \delta_m + \frac{\Delta_a}{X} \cdot \frac{X_n}{X_n} = \delta_m + \gamma \frac{X_n}{X}.$$

Похибка ЗВ визначається межами його основної (клас точності) та додаткової похибки, а також іншими характеристиками, що мають вплив на його точність.

7. Нормування додаткової похибки ЗВ

Нормується в частинах від основної похибки.

Як правило, форма попадання додаткової похибки співпадає із формою попадання основної похибки.

Оскільки додаткова похибка - це функція від випадкової величини, то при лінійності функції впливу задається регламентований приріст додаткової похибки, що відповідає регламентованому інтервалу впливової величини.

Якщо ЗВ не розраховано на оцінку додаткових похибок, то останні

можуть задаватися у вигляді максимального значення, яке припадає на весь інтервал впливової величини.

Приклад Основна та додаткова похибки ЗВ складають відповідно $y_{осн} = 0,45\%$, $y_{доd} = 0,005\%$ на весь температурний інтервал.

Якщо розбити температурний інтервал на 5 інтервалів, тоді на кожний температурний інтервал отримуємо: $y_{осн} = 0,09\%$, $y_{доd} = 0,001\%$.

В цьому випадку може вказуватися лише одна похибка та умови використання робочі (а не нормальні).

Правила нормування (коли додаткова похибка вказується окремо):

1. Звичайні ЗВ

якщо $\Delta_{доd} > 0,5\Delta_{осн}$ в усьому інтервалі впливової величини, тоді додаткова похибка нормується окремо.

2. ЗВ, що використовуються для сумісної роботи із іншими ЗВ

якщо $\Delta_{доd} > 0,2\Delta_{осн}$ в усьому інтервалі впливової величини, тоді додаткова похибка нормується окремо.

3. Інформаційно-вимірювальні системи

якщо $\Delta_{доd} > \Delta_{осн}$ в усьому інтервалі впливової величини, тоді додаткова похибка нормується окремо.

8. Класифікація засобів вимірювальної техніки

Засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) - це засоби, які використовуються під час вимірювання та мають нормовані метрологічні характеристики.

Одноманітність ЗВТ - це такий стан ЗВТ, коли їх відградуйовано в чинних одиницях, а їх похибки знаходяться у встановлених межах, тобто засоби метрологічно справні.

Класифікацію ЗВТ подано на рис. 16.

ЗВО виконують лише одну вимірювальну операцію, але не усю процедуру в цілому. А ось ЗВ реалізують повністю процедуру вимірювання.

Міра - це ЗВТ, який призначений для відтворення зразкової фізичної величини заданого розміру. Міри бувають однозначними та багатозначними, а також вони можуть бути такими, що регулюються, або такими, що не регулюються.

Міри, що точно відтворюють та/або зберігають одиницю фізичної величини, щоб потім передати її розмір іншим ЗВТ, називаються еталонами. Останні бувають:

1. Первинними - це еталон, забезпечує відтворення та/або збереження фізичної величини з максимальною в країні точністю.

2. Вторинними - це еталон, до якого передавання розміру одиниці фізичної величини відбувається від первинного еталону. Бувають:

– еталон-копія (розроблений для передавання розміру одиниці фізичної величини робочим еталонам та зразковим ЗВ);

– робочий еталон (розроблений для передавання розміру одиниці фізичної величини зразковим та робочим ЗВ);

– еталон порівняння (розроблений для порівняння між собою еталонів, що не можуть бути порівнянні на пряму).

3. Спеціальними - це еталон, що забезпечує відтворення та/або збереження одиниці фізичної величини в спеціальних умовах та замінюють в цих умовах первинні еталони.

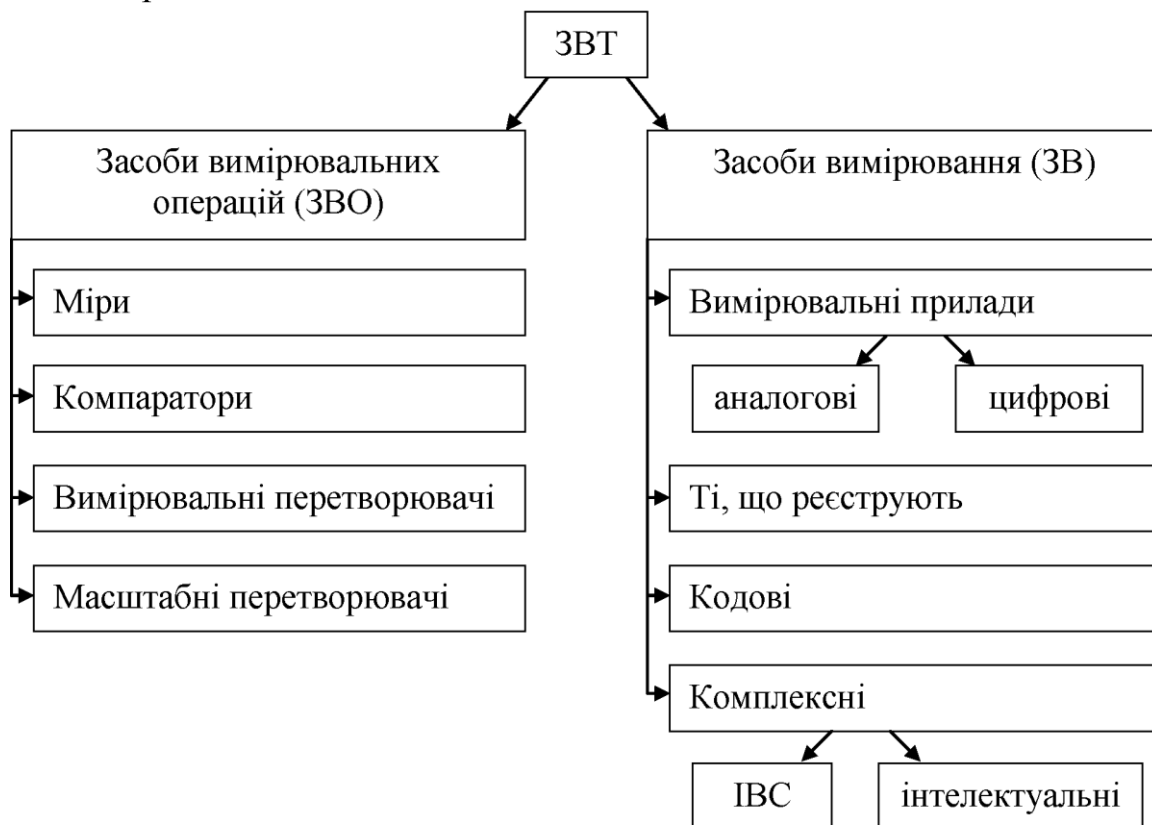


Рисунок 16 – Види вимірювань

Компаратор - це ЗВТ, що дозволяє порівнювати між собою дві величини через операцію сумування (частіше віднімання).

Вимірювальний перетворювач - це ЗВТ, що виробляє сигнал вимірювальної інформації у формі, зручній для подальшого передавання, перетворення,

оброблення та збереження, але недоступний для спостерігача. Вимірювальний перетворювач змінює рід величини.

Вимірювальні перетворювачі змінюють рід вимірюваної величини за рахунок певної функціональної залежності. Наприклад, перетворення електричної величини у неелектричну чи навпаки; або перетворення електричної величини у електричну зі зміною роду величини (напруга ^ частота).

Масштабні перетворювачі - це ЗВТ, які за допомогою певних конструктивних рішень змінюють розмір фізичної величини у зручний для подальшого перетворення, передавання, обробки та зберігання форми, але недоступний для спостерігача. Наприклад, вимірювальні трансформатори струму та напруги.