

Тема 1. Загальні відомості про метрологію

Метрологія. Її задачі та функції

Метрологія – це наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення єдності вимірювань та способи досягнення потрібної точності. Під **єдністю вимірювань** розуміють такий їх стан, при якому результати вимірювань виражаються в узаконених одиницях, а їх похибки відомі з заданою ймовірністю.

Предметом метрології є отримання кількісної та якісної інформації про властивість фізичних об'єктів та процесів, встановлення та застосування наукових і організаційних основ, правил та норм, необхідних для досягнення єдності та необхідної точності.

Методи метрології – сукупність фізичних та математичних методів, що використовуються для одержання вимірювальної інформації із заданими точністю та достовірністю (методів вимірювальних перетворень, методів вимірювань та опрацювання результатів спостережень, планування вимірювального експерименту).

Засоби метрології – це сукупність засобів вимірювальної техніки та засобів контролю, які вдосконалюються і розвиваються на основі об'єктивних законів

Основні задачі метрології: створення еталонів та мір, вимірювальних приладів і вимірювальних інформаційних систем, розроблення методів вимірювальних перетворень, методів оцінювання точності результатів вимірювань тощо.

Стандартизація – це діяльність, що полягає у розробленні та встановленні вимог, правил та норм з метою досягнення оптимальної узгодженості в певній галузі, результатом чого є підвищення ступеня відповідності продукції її функціональному призначенню.

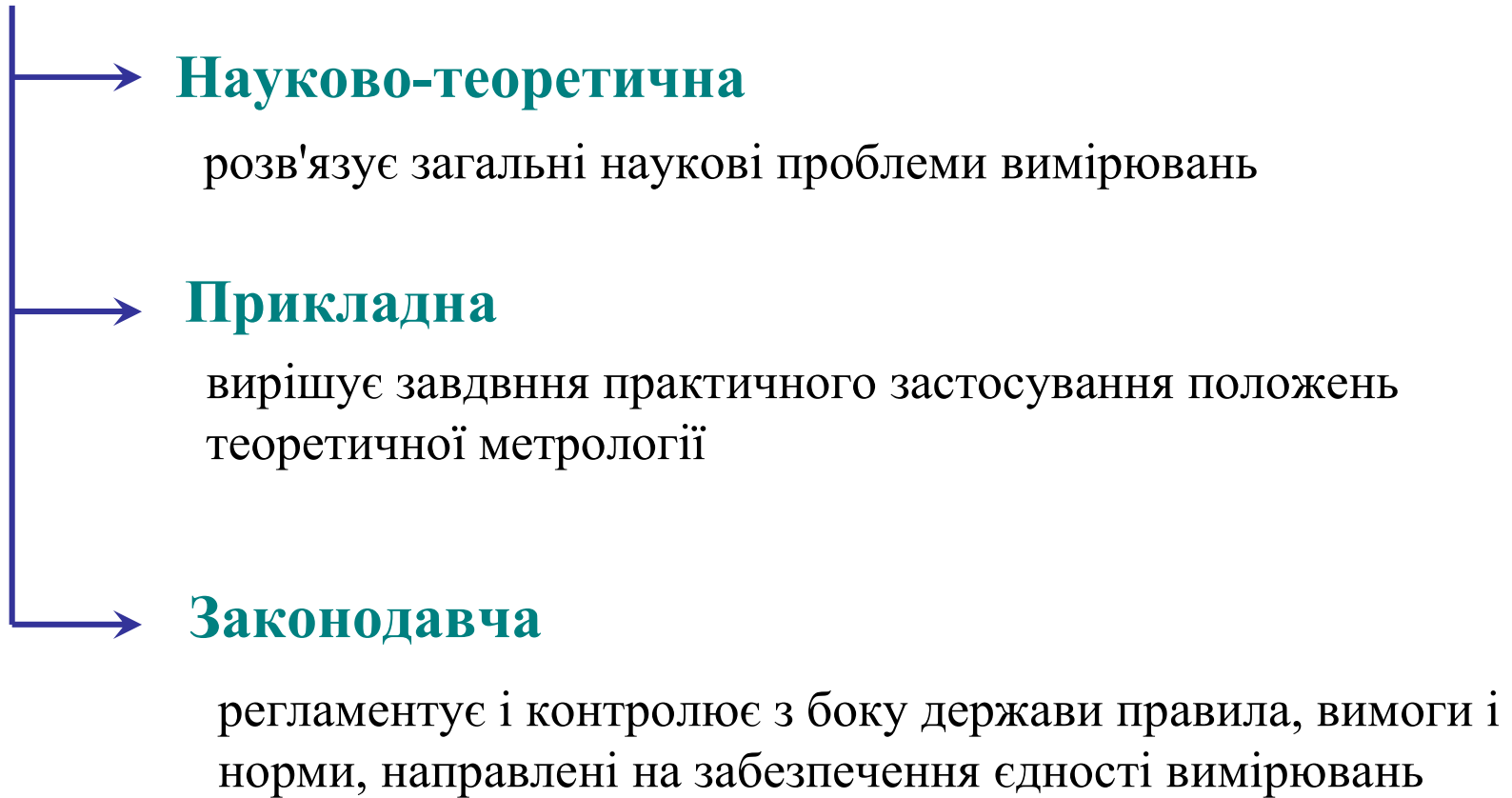
Взаємозв'язок метрології та стандартизації проявляється в тому, що вимірювання, з одного боку, пронизані стандартами, а, з іншого боку, стандарти забезпечуються методами та засобами контролю їх виконання.

Метрологія і стандартизація в Україні об'єднані в єдину державну службу, якою є Державний комітет України зі стандартизації, метрології та сертифікації.

Функції метрології:

- розроблення теорії фізичних величин, їх одиниць і систем;
- експериментальне відтворення одиниць з допомогою еталонів і передача розмірів одиниць для практичних вимірювань;
- розроблення загальної теорії вимірювань, зокрема теорії похибок і нових методів особливо точних вимірювань;
- визначення фізичних констант і стандартних довідкових даних про властивості речовин і матеріалів і розроблення стандартних зразків;
- нормування метрологічних характеристик засобів вимірювання;
- нормування стандартних вимірювальних процесів;
- метрологічний нагляд за засобами вимірювання.

Метрологія



Напрямки науково-теоретичної метрології:

- 1. Розроблення та удосконалення теоретичних основ метрології**, в тому числі загальної теорії вимірювань, теорії похибок, теорії надійності засобів вимірювальної техніки, теорії вимірювальних перетворень та теорії передавання вимірювальної інформації.
- 2. Розроблення нових принципів та методів вимірювань**, в тому числі фізичні дослідження з метою використання найновіших досягнень науки для створення нових методів вимірювань та засобів вимірювальної техніки, підвищення точності вимірювань.
- 3. Створення та удосконалення наукових основ єдності мір та вимірювань**, в тому числі удосконалення еталонів, удосконалення мір фізичних величин та засобів вимірювань, створення наукових основ державних випробувань вимірювальних засобів, розроблення та удосконалення нормативної документації в галузі вимірювальної техніки.

Напрямки науково-теоретичної метрології:

4. **Створення та удосконалення наукових основ державної служби стандартних довідкових даних та стандартних зразків**, в тому числі розроблення методик експериментального визначення найбільш достовірних значень фізичних констант, розроблення і удосконалення системи збору, апробації, зберігання та розповсюдження стандартних довідкових даних.

5. **Створення та удосконалення наукових основ державної служби атестації якості продукції**, в тому числі критеріїв оцінки якості продукції.

Напрямки законодавчої метрології

1. Узаконенні (стандартизації) термінів та їх означень, систем чи сукупності одиниць, системи еталонів, мір фізичних величин та засобів вимірювань.

2. Узаконенні класів точності засобів вимірювальної техніки та методик оцінювання їх точності.

3. Узаконенні стандартних довідкових даних, методик повірки та контролю вимірювальних засобів, методик контролю та атестації якості продукції.

Атестація – офіційне підтвердження визнаним компетентним органом відповідності певних характеристик продукції встановленим кваліфікаційним ознакам

Напрямки прикладної метрології

1. **Організація державної служби єдності мір та вимірювань**, включно з організацією та здійсненням періодичної повірки засобів вимірювальної техніки, які знаходяться в експлуатації, організація та здійснення державних випробувань нових засобів вимірювальної техніки, контроль за станом вимірювального господарства підприємств.
2. **Організація державної служби стандартних довідкових даних та стандартних зразків**, в тому числі видання офіційних довідників зі значеннями констант та властивостей речовин і матеріалів, виготовлення та випуск стандартних зразків та організація служби їх атестації.
3. **Організація та здійснення служби контролю за дотриманням стандартів та технічних умов під час виробництва**, державних випробувань та атестації якості продукції.

Основні терміни та визначення з метрології

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

Формалізованим відображенням якісних відмінностей вимірюваних величин є їх *розмірність*, а кількісною характеристикою - їхній *розмір*.

Значення фізичної величини - відображення фізичної величини у вигляді числового значення величини з позначенням її одиниці

$$A = \{A\} [A],$$

Розмірністю є вираз, що відображає зв'язок фізичної величини з основними величинами системи величин

Приклад: $\dim V = L/T$

Істинне значення фізичної величини – значення фізичної величини, яке ідеально відображало б певну властивість об'єкта.

Дійсне значення фізичної величини – значення фізичної величини, знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинного значення, що його можна використати замість істинного для даної мети.

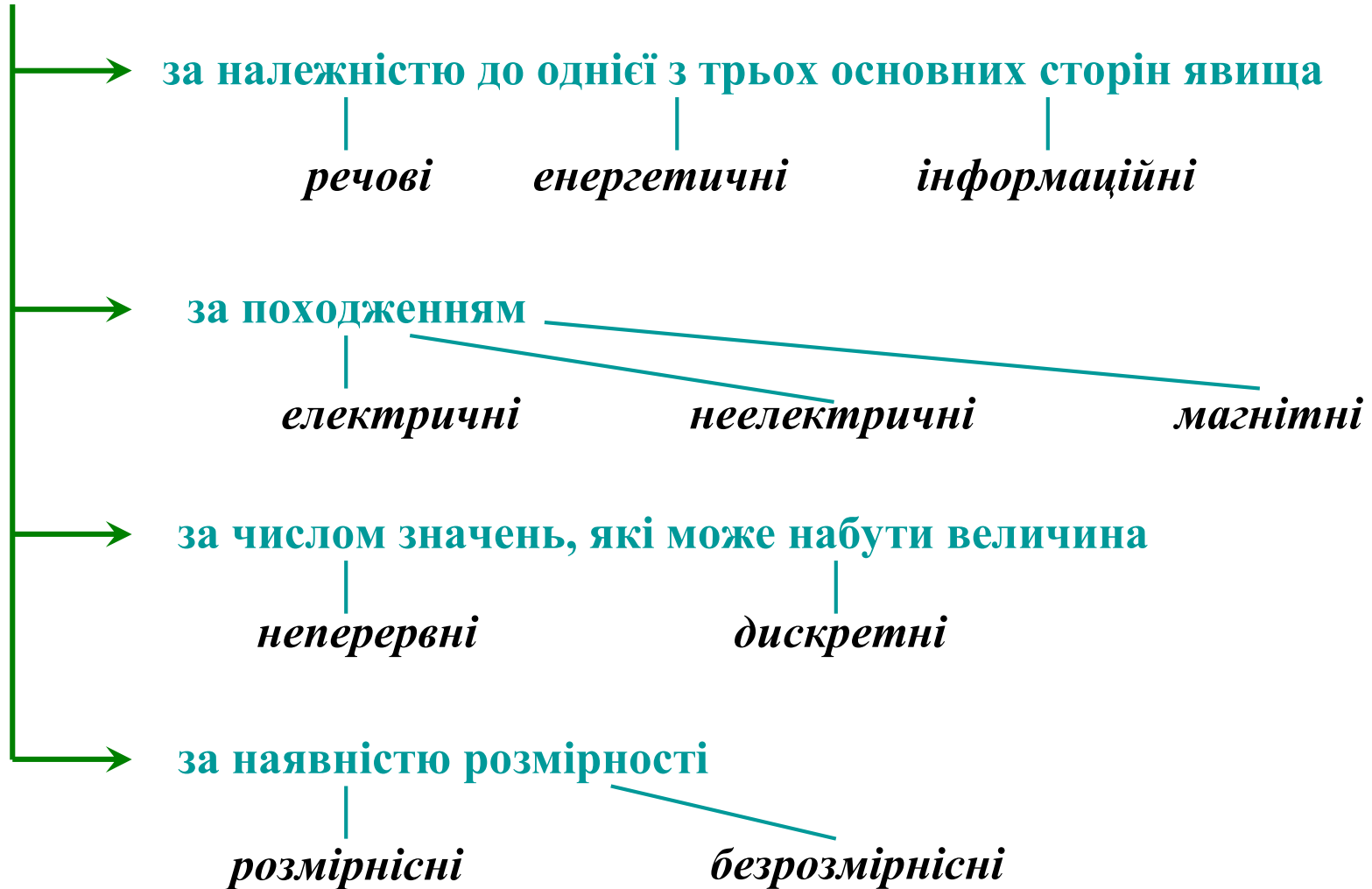
Одиницею фізичної величини є величина певного розміру, прийнята за угодою для кількісного відображення однорідних із нею величин

У країнах світу загальноприйнята Міжнародна система одиниць (Systeme Internationale d'unites, SI), яка була прийнята XI Генеральною конференцією з мір та ваги у жовтні 1960 року

Система складається з **7 основних** і **2 додаткових одиниць**, а також **113 похідних одиниць**, в тому числі одиниць електричних і магнітних величин - 40.

Систематизація фізичних величин

Фізичні величини



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

Результат вимірювання – значення фізичної величини, знайдене шляхом її вимірювання.

Похибка вимірювання – відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірювальної величини.

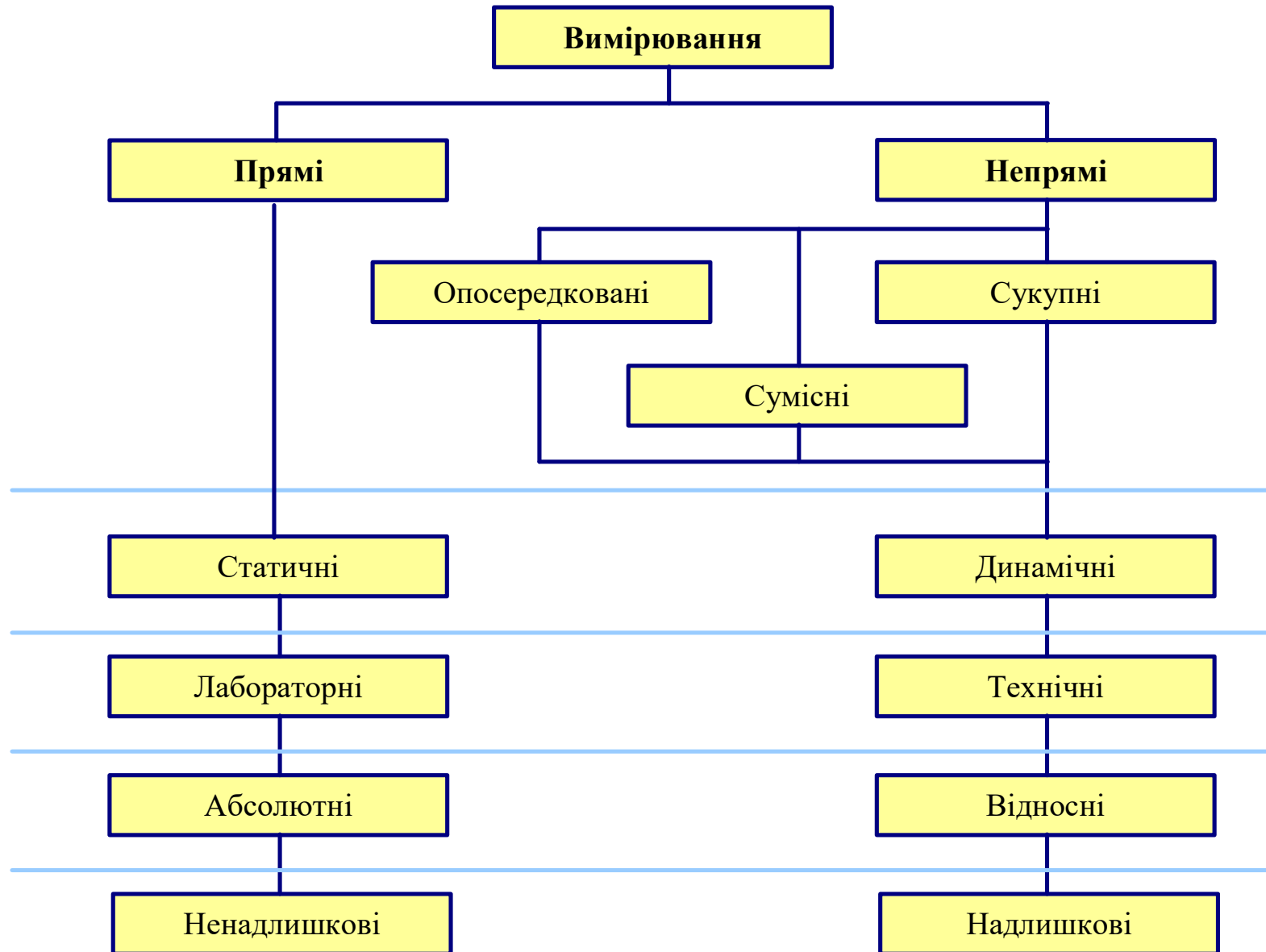
Принцип вимірювання – сукупність фізичних явищ, на яких засноване вимірювання.

Засоби вимірювання – технічні засоби, що використовуються при вимірюваннях і мають нормовані метрологічні властивості (котрі впливають на результат та похибку вимірювання).

Метод вимірювання – сукупність прийомів використання принципів та засобів вимірювання.

Засіб вимірювальної техніки – технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики

Класифікація вимірювань



Пряме вимірювання – вимірювання однієї величини, значення якої знаходять безпосередньо без перетворення її роду та використання відомих залежностей

Непряме вимірювання – вимірювання, у якому значення однієї чи декількох вимірюваних величин знаходять після перетворення роду величини чи обчислення за відомими залежностями їх від декількох величин аргументів, що вимірюються прямо

Опосередковане вимірювання – Непряме вимірювання однієї величини з перетворенням її роду чи обчисленнями за результатами вимірювань інших величин, з якими вимірювана величина пов'язана явною функціональною залежністю

Приклад:

При опосередкованих вимірюваннях потужності постійного струму її визначають чи на основі прямих вимірювань струму та напруги за формулою

$$P = U \cdot I$$

Сукупне вимірювання – Непряме вимірювання, в якому значення декількох одночасно вимірюваних однорідних величин отримують розв'язанням рівнянь, що пов'язують різні сполучення цих величин, які вимірюються прямо чи опосередковано

Приклад сукупних вимірювань: вимірювання опору кожного з двох резисторів R_1 , R_2 , з'єднаних послідовно та паралельно.

Результат прямого вимірювання омметром послідовно з'єднаних опорів

$$R_{\text{пос}} = R_1 + R_2$$

Сумарна провідність паралельно з'єднаних резисторів

$$\frac{1}{R_{\text{пар}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Із системи з двох рівнянь із двома невідомими обчислюємо шукані значення сукупно виміряних опорів

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

Приклад:

Відомо, що опір терморезистора $R_t = R_0(1 + \alpha \cdot t)$,

де R_0 - опір резистора при температурі 0°C ,

α - температурний коефіцієнт опору.

Якщо значення R_0 та α не можна знайти прямими чи опосередкованими вимірюваннями, то вимірюють опір R_{t_1} при температурі t_1 та R_{t_2} при температурі t_2 . Далі складають систему рівнянь, з якої знаходять шукані значення R_0 та α .

$$\begin{cases} R_{t_1} = R_0(1 + \alpha \cdot t_1) \\ R_{t_2} = R_0(1 + \alpha \cdot t_2) \end{cases}$$

Статичне вимірювання – вимірювання величини, яку можна вважати не зміною за час вимірювання (коли похибкою, що виникає від її зміни, можна знехтувати).

Динамічне вимірювання – вимірювання величини, що змінюється за час вимірювання.

Лабораторні вимірювання – вимірювання, за яких похибки кожного результату вимірювання оцінюють за даними, що одержані при цьому вимірюванні.

Технічні вимірювання – вимірювання, які виконуються в заданих умовах згідно з розробленою та рекомендованою раніше методикою, при цьому похибки кожного результату не оцінюють, але вони повинні бути нижче встановлених методикою значень.

Відносне вимірювання – вимірювання відношення величини до іншої однорідної величини

Засоби вимірювальної техніки

Засіб вимірювальної техніки – технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики

→ **Засіб вимірювання** – засіб вимірювальної техніки, який реалізує процедуру вимірювань

→ **Вимірювальний пристрій** – засіб вимірювальної техніки, в якому виконується лише одна зі складових частин процедури вимірювань (вимірювальна операція)

Засоби вимірювальної техніки

Вимірювальні пристрої

Міра

Вимірювальний перетворювач

Компаратор

Масштабний перетворювач

Числовий перетворювач

Засоби вимірювань

Вимірювальні прилади

Аналогові вимірювальні прилади

Цифрові вимірювальні прилади

Реєструвальні засоби вимірювань

Аналого-цифрові перетворювачі

Вимірювальні канали

Вимірювальні системи

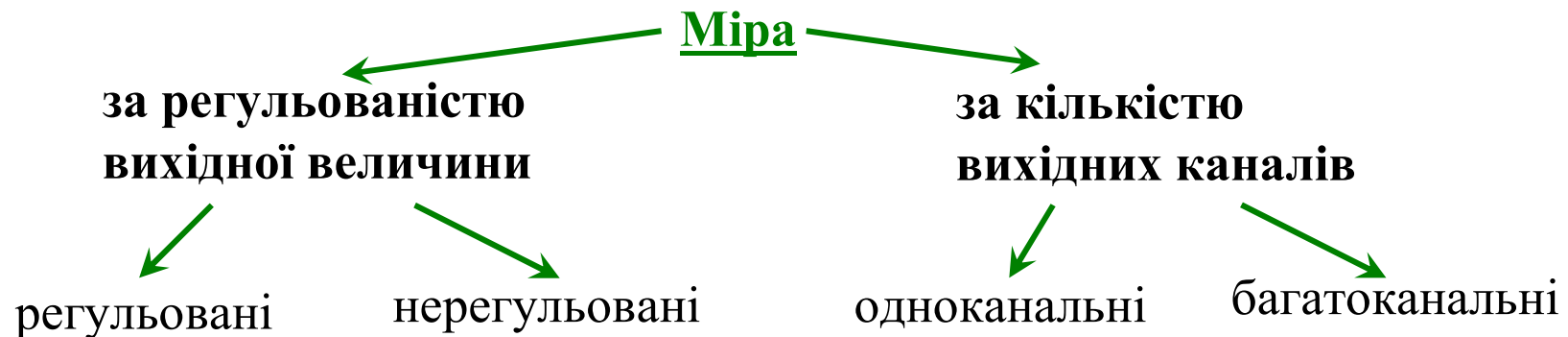
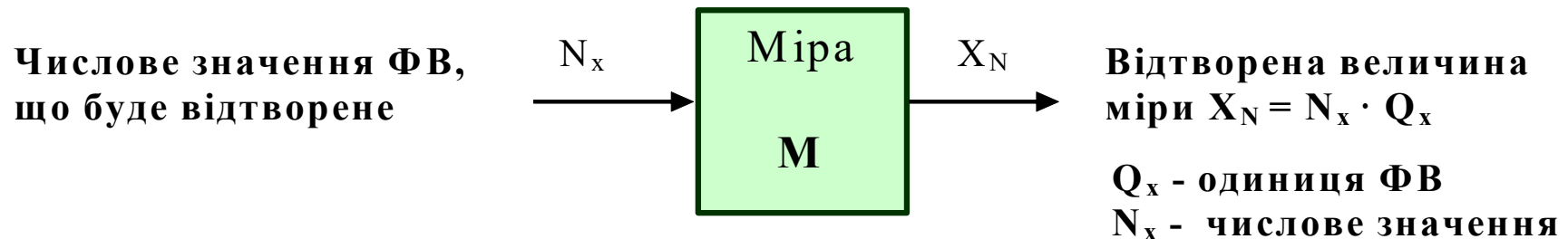
Вимірювальні інформаційні системи

Вимірювальні пристрої

Відтворення фізичних величин. Міра

Відтворення фізичної величини - вимірювальна операція, що полягає у створенні та (чи) зберіганні фізичної величини заданого значення.

Міра - вимірювальний пристрій, що реалізує відтворення та (або) зберігання фізичної величини заданого розміру



Одноканальна нерегульована однозначну міра відтворює величину одного сталого заданого значення

$$X_N = N_X \cdot Q_X = \text{const} \quad \left| \begin{array}{l} N_X = \text{const} \\ Q_X = \text{const} , \end{array} \right.$$

конденсатор постійної ємності, котушка індуктивності

Одноканальна регульована багатозначна міра відтворює у даний момент часу величину одного значення

$$X_N = N_X \cdot Q_X = \text{var} \quad \left| \begin{array}{l} N_X (t) = \text{var} \\ Q_X = \text{const} . \end{array} \right.$$

цифроаналоговий перетворювач код-напряга (ЦАП)

Багатоканальна нерегульована багатозначна міра відтворює одночасно декілька однорідних величин із заданими, сталими значеннями

$$X_{Ni} = N_{xi} \cdot Q_x = \text{var} \left| \begin{array}{l} N_{xi} = \text{var} \\ Q_x = \text{const.} \end{array} \right.$$

подільник напруги з багатьма нерухомими відводами, який живиться від джерела постійного струму

Багатоканальна кодокерована регульована багатозначна міра відтворює одночасно декілька однорідних величин, розміри яких можуть змінюватися

$$X_{Ni}(t) = N_i \cdot K(t) \cdot Q_x \left| \begin{array}{l} N_{xi} = \text{var} \\ K_i(t) = \text{var} \\ Q_x = \text{const.} \end{array} \right.$$

Вимірювальне перетворення фізичної величини

Вимірювальне перетворення фізичної величини - вимірювальна операція, під час якої вхідна фізична величина перетворюється у вихідну, функціонально з нею пов'язану

Види вимірювальних перетворень:

- модуляція та демодуляція;
- масштабно-числове перетворення сигналу;
- детектування;
- кореляційне перетворення;
- дискретизація;
- спектральне перетворення;
- осцилографічне перетворення;
- інтегрування;
- диференціювання

Вимірювальний перетворювач - вимірювальний пристрій, що реалізує вимірювальне перетворення



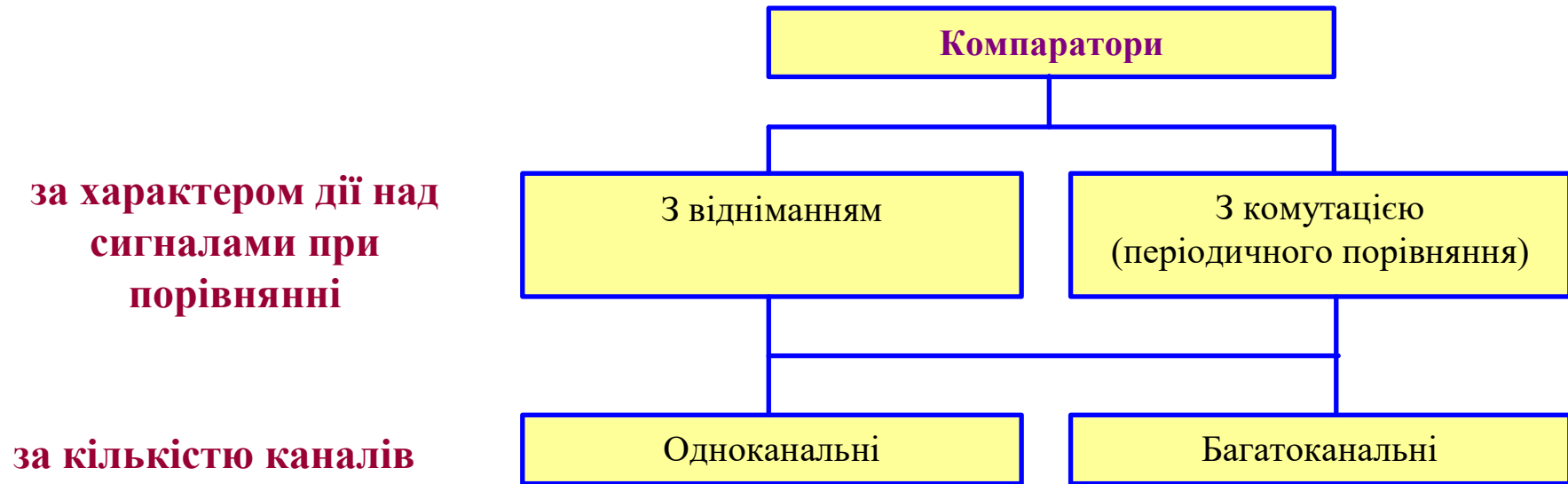
Порівняння фізичних величин. Компаратор

Порівняння - вимірювальна операція, що полягає у відображенні співвідношення між розмірами двох однорідних фізичних величин відповідним висновком: більша, менша чи однакова за розміром.

У більшості випадків для порівняння використовують придатність сигналів до віднімання. Тоді співвідношення між розмірами інформативних параметрів X_1 і X_2 визначають знаком їхньої різниці згідно з рівнянням

$$\Delta X = [0.5 + 0.5 \text{sign}(X_1 - X_2)] = \begin{cases} 1 \Rightarrow X_1 > X_2 \\ 0 \Rightarrow X_1 < X_2 \end{cases}$$

Компаратор - вимірювальний пристрій, що реалізує порівняння однорідних фізичних величин



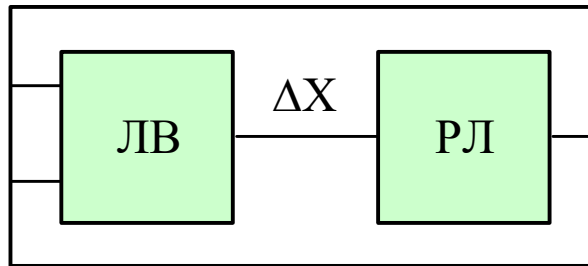
До складу компаратора входять: ланка віднімання, що створює різницю вхідних сигналів і різницева ланка, що реагує на знак різниці

Компаратор на основі операції віднімання реалізується двоканальною структурою. Результат порівняння - однобітовий сигнал, який є інформацією про співвідношення між розмірами порівнюваних величин.

Компаратор на основі комутації сигналів реалізується одноканальною структурою. Внаслідок комутації створюється періодичний сигнал з частотою перемикавання, знак результату детектування якого залежить від співвідношення між порівнюваними величинами.

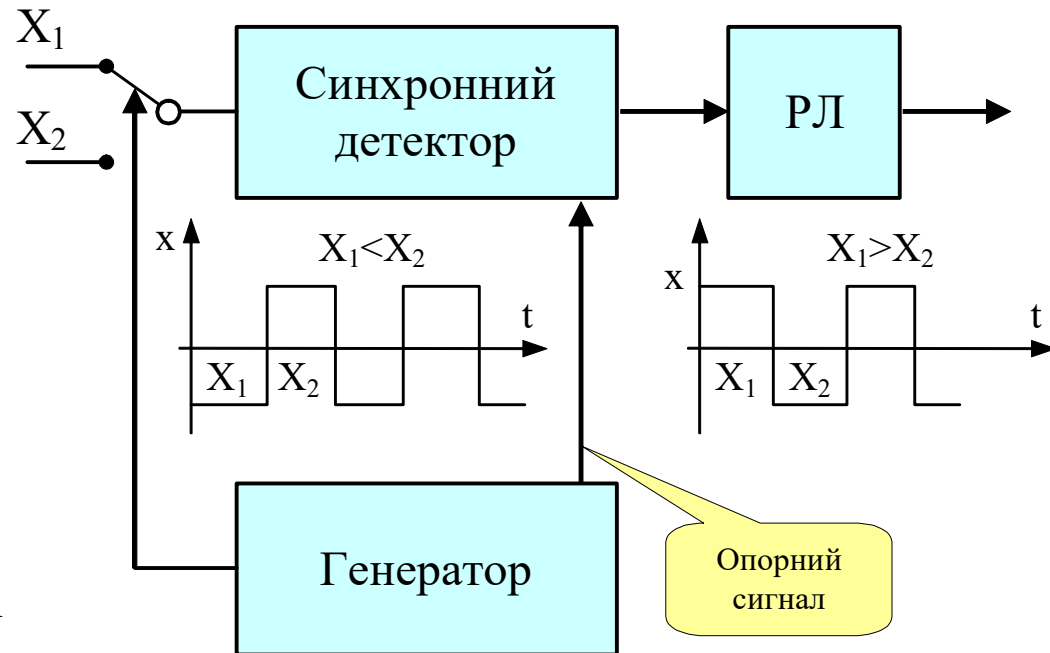
Структурна схема компаратора

З відніманням



ЛВ – ланка віднімання
РЛ – ланка визначення знака різниці
 ΔX – різниця ФВ

З комутацією



Масштабне вимірювальне перетворення

Масштабне перетворення - лінійне вимірювальне перетворення вхідної величини без зміни роду

В результаті масштабного перетворення вхідна величина перетворюється в однорідну вихідну, розмір якої пропорційний в K разів розмірові вхідної

$$X_1 = K_{\text{МП}} \cdot X$$

$K_{\text{МП}}$ - коефіцієнт масштабування

$K_{\text{МП}} < 1$ - послаблення;

$K_{\text{МП}} > 1$ - підсилення;

$K_{\text{МП}} = 1$ - повторення.

Масштабний перетворювач - вимірювальний перетворювач, який реалізує масштабне вимірювальне перетворення

Типи масштабних перетворювачів

1) *одноканальний нерегульований перетворювач*, характерною ознакою якого є сталість коефіцієнта масштабування.

$$X_1 = K_{\text{МП}} \cdot X; \quad | \quad K_{\text{МП}} = \text{const}$$

*вимірювальний підсилювач,
трансформатори напруги чи струму*

2) *одноканальний кодирований регульований перетворювач*, який є масштабним перетворювачем з часовим розділенням.

$$X_1 = K_{\text{МП}}(t) \cdot X; \quad | \quad K_{\text{МП}}(t) = \text{var}$$

*перемножувальний
цифроаналоговий
перетворювач напруги*

3) *багатоканальний нерегульований перетворювач з просторовим розділенням*, характерною рисою якого є наявність кількох вихідних каналів зі сталим коефіцієнтом масштабування.

багатоканальний подільник напруги

4) *багатоканальний регульований перетворювач* (перетворювач як з часовим, так і з просторовим розділенням), який також відрізняється наявністю кількох вихідних каналів.

подільник напруги з кількома рухомими контактами

Числове вимірювальне перетворення

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

Числове вимірювальне перетворення (ЧВП) - це операція обчислення проміжних результатів вимірювань з метою отримання остаточного результату.

Засоби вимірювання

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

Аналоговий вимірювальний прилад - вимірювальний прилад, в якому візуальний сигнал вимірювальної інформації подається за допомогою шкали та вказівника.

Цифровий вимірювальний прилад - вимірювальний прилад, в якому візуальний сигнал вимірювальної інформації подається у вигляді цифр чи символів на показувальному пристрої.

Аналого-цифровий перетворювач - засіб вимірювань, в якому створюється кодовий сигнал вимірювальної інформації.

Реєструвальний засіб вимірювання - засіб вимірювання, в якому реєструється сигнал вимірювальної інформації.

Засоби вимірювання

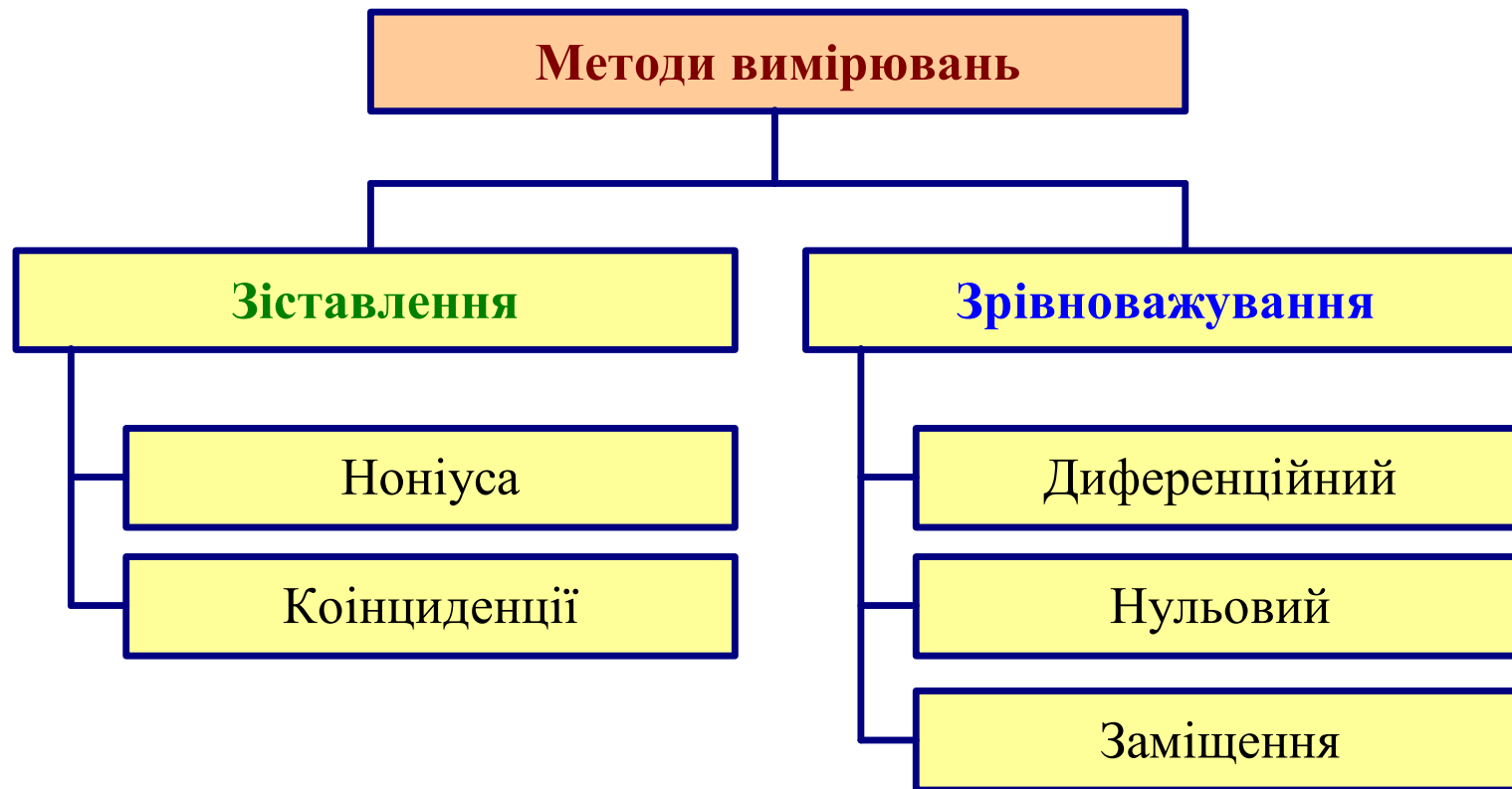
Вимірювальний канал - сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів зв'язку та інших технічних засобів, призначена для створення сигналу вимірювальної інформації про одну вимірювану фізичну величину.

Вимірювальна система - сукупність вимірювальних каналів, вимірювальних пристроїв та інших технічних засобів, об'єднаних для створення сигналів вимірювальної інформації про декілька фізичних величин.

Вимірювальна інформаційна система - сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів контролю, діагностування та інших технічних засобів, об'єднаних для створення сигналів вимірювальної та інших видів інформації.

Методи вимірювань

Метод вимірювання - сукупність способів використання засобів вимірювальної техніки та принципу вимірювань для створення вимірювальної інформації

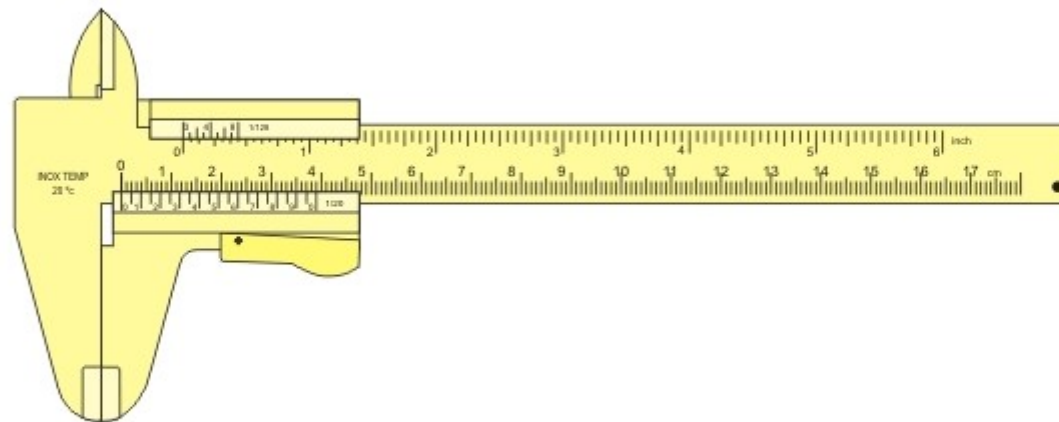


Метод зіставлення (метод безпосередньої оцінки) - метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням вимірюваної величини з усіма вихідними величинами багатозначної нерегульованої міри

Приклад: вимірювання довжини лінійкою з поділками, вимірювання інтервалу часу годинником

Метод одного збігу (метод ноніуса) - метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням вихідних величин двох багатозначних нерегульованих мір, з різними за значенням ступенями, нульові позначки яких зсунуті між собою на вимірювану величину

Приклад:



Метод подвійного збігу (метод коінциденції) - метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням двох квантованих фізичних величин: вимірюваної та відтворюваної багатозначною нерегульованою мірою

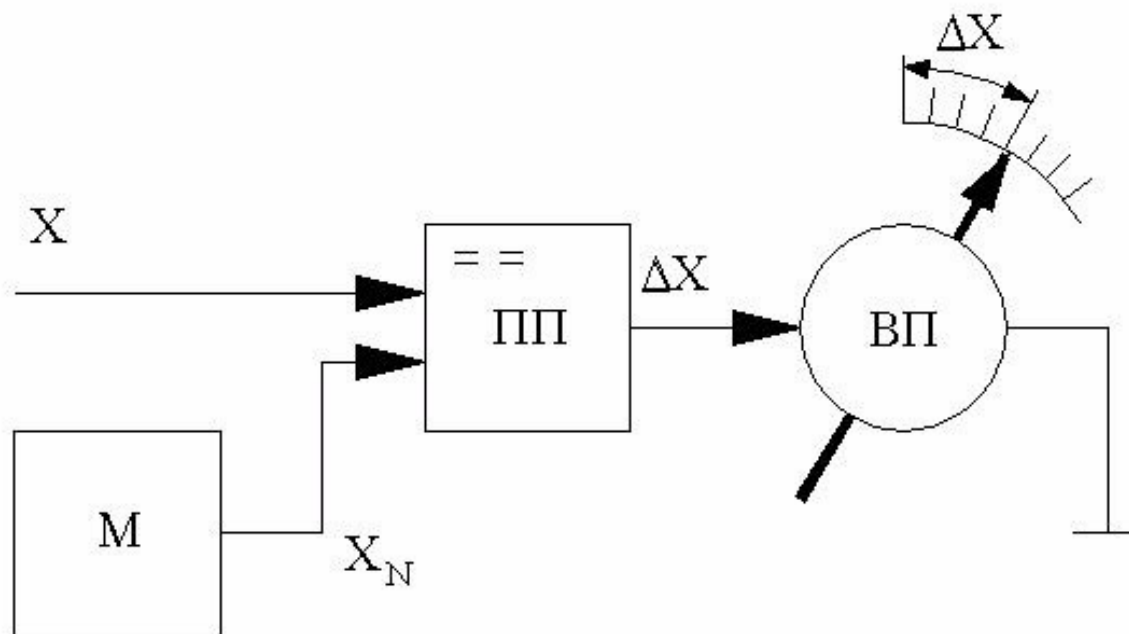
Приклад:

вимірювання зістикованих інтервалів часу за допомогою послідовності періодичних імпульсів з відомим значенням їх періоду;
вимірювання зістикованих відрізків довжини за допомогою лінійки з відомим значенням поділок

Метод зрівноваження (метод порівняння з мірою) - метод прямого вимірювання з багаторазовим порівнянням вимірюваної величини та величини, що відтворюється регульованою мірою, до їх повного зрівноваження

Приклад: вимірювання електричної напруги компенсатором.

Диференційний метод (різницевий метод) - метод вимірювання, за яким невелика різниця між вимірюваною величиною та вихідною величиною одноканальної міри вимірюється відповідним засобом вимірювання

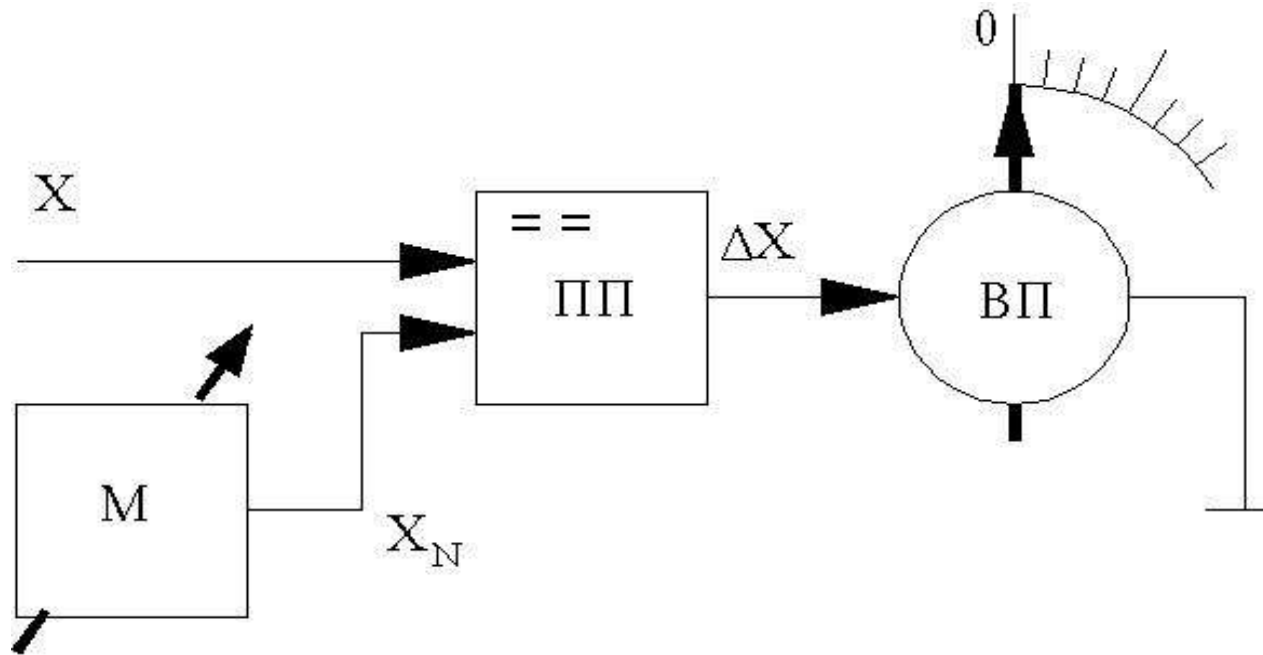


різницю
 $\Delta X = X - X_N$
 (вихід компаратора
 ПП) вимірюють за
 допомогою засобу
 вимірювання ВП

значення невідомої
 величини визначається

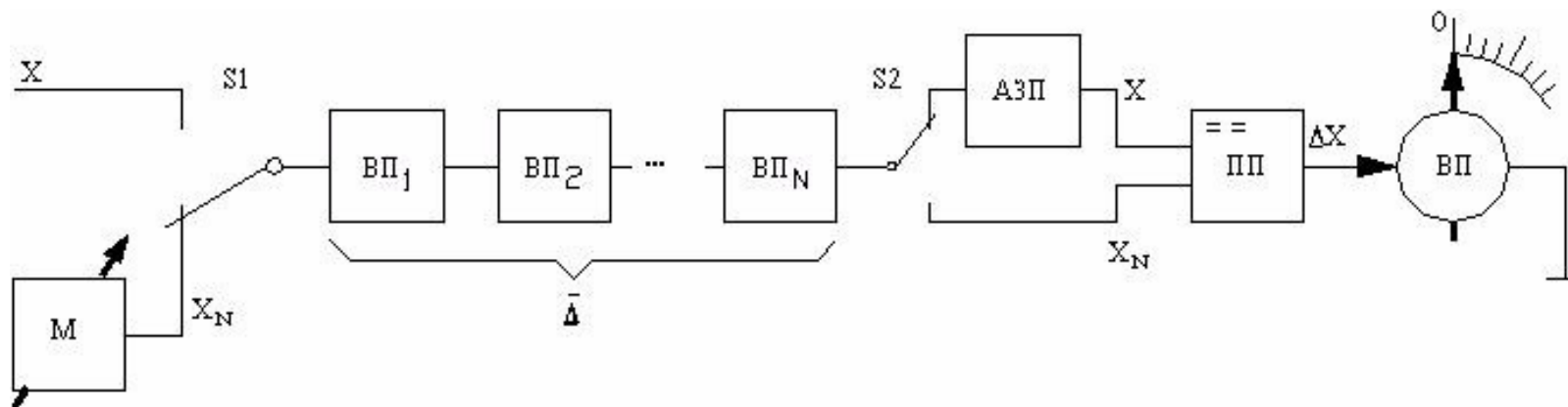
$$X = X_N + \Delta X \left| \begin{array}{l} X_N = \text{const} \\ \Delta X = \text{var} \end{array} \right.$$

Окремим випадком диференційного методу є нульовий. В нульовому методі відтворювану мірою величину X_N роблять регульованою, а різницю $\Delta X = X - X_N = 0$ доводять до нуля. Високочутливий засіб вимірювання (нуль-індикатор) в цьому методі фіксує момент рівності $X = X_N$



Приклад: вимірювання параметрів електричного кола мостовими схемами, вимірювання напруги, Е.Р.С., струму компенсатором

Метод заміщення - метод непрямого вимірювання з багаторазовим порівнянням до повного зрівноваження вихідних величин вимірювального перетворювача з почерговим перетворенням ним вимірюваної величини та вихідної величини регульованої міри



На першому етапі вимірювана величина X проходить через вимірювальні перетворювачі $ВП_1, ВП_2, \dots, ВП_N$, запам'ятовується аналоговим запам'ятовувальним пристроєм $АЗП$ і подається на перший вхід компаратора $ПП$.

На другому етапі зразкова величина X_N з виходу одноканальної регульованої міри M , пройшовши через ті самі вимірювальні перетворювачі, надходить на другий вхід компаратора $ПП$.