

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Житомирський державний технологічний університет**

**навчальна дисципліна**

**МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАЛЬНА  
ТЕХНІКА**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

**Житомир  
2011**

УДК 621.

Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Метрологія та вимірювальна техніка».  
Житомир: ЖДТУ, - с.

Конспект лекцій підготував ст. викладач П. П. Мартинчук

Затверджено на засіданні кафедри радіотехніки і телекомунікацій ЖДТУ

протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

## ЗМІСТ

### ВСТУП

## 1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО МЕТРОЛОГІЮ, ВИМІРЮВАННЯ І ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

- 1.1 Вимірювання фізичних величин
- 1.2 Засоби вимірювання
- 1.3 Характеристики виміру та їх види
- 1.4 Забезпечення єдності вимірювання
- 1.5 Особливості вимірювання в радіотехніці
- 1.6 Основні характеристики ЗВТ
- 1.7 Структурні схеми ЗВТ

## 2 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

- 2.1 Похибки вимірювання
- 2.2 Прямі однократні вимірювання
- 2.3 Прямі багатократні вимірювання
- 2.4 Непрямі вимірювання

## 3 ВИМІРЮВАЛЬНІ СХЕМИ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

- 3.1 Реалізація методу порівняння
- 3.2 Чутливість схем порівняння
- 3.3 Принципи побудови цифрових вимірювальних приладів
- 3.4 Вимірювальні перетворювачі
- 3.5 Методи подавлення перешкод при вимірюваннях

## 4 ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

- 4.1 Загальні відомості
- 4.2 Конструкції основних вузлів
- 4.3 Магнітоелектричні вимірювальні прилади
- 4.4 Електродинамічні вимірювальні прилади
- 4.5 Логометри
- 4.6 Самописці

## 5 ВИМІРЮВАЛЬНІ ГЕНЕРАТОРИ ТА СИНТЕЗАТОРИ ЧАСТОТИ

- 5.1 Вимірювальні генератори
- 5.2 Генератори низької частоти
- 5.3 Генератори сигналів високочастотні

- 5.4 Генератори качачої частоти
- 5.5 Генератори імпульсів та сигналів спеціальної форми
- 5.6 Генератори шумових сигналів
- 5.7 Синтезатори частоти та генератори на їх основі
- 6 ЕЛЕКТРОННІ ОСЦИЛОГРАФИ
  - 6.1 Призначення, класифікація та основні вузли осцилографів
  - 6.2 Структурна схема універсального осцилографа
  - 6.3 Основні технічні характеристики осцилографів
  - 6.4 Техніка осцилографічних вимірювань
  - 6.5 Запам'ятовуючі, швидкодіючі та стробоскопічні осцилографи
  - 6.6 Автоматизація осцилографічного вимірювання
- 7 ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ТА ІНТЕРВАЛІВ ЧАСУ
  - 7.1 Осцилографічний метод порівняння частот
  - 7.2 Резонансні частотоміри
  - 7.3 Цифрові частотоміри
  - 7.4 Вимірювачі інтервалів часу
- 8 ВИМІРЮВАННЯ ФАЗОВОГО ЗСУВУ
  - 8.1 Осцилографічні вимірювання
  - 8.2 Компенсаційні вимірювання
  - 8.3 Фазометри з перетворенням фазового зсуву
  - 8.4 Цифрові фазометри
  - 8.5 Вимірювання фазового зсуву з перетворенням частоти
- 9 ВИМІРЮВАННЯ НАПРУГИ
  - 9.1 Загальні питання вимірювання
  - 9.2 Аналогові електронні вольтметри
  - 9.3 Вимірювання середньоквадратичної напруги
  - 9.4 Особливості вимірювання імпульсних та високочастотних напруг
  - 9.5 Цифрові вольтметри та цифрові мультиметри
- 10 ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ
  - 10.1 Вимірювання потужності в колах постійного та змінного струму
  - 10.2 Калориметричний вимірювач потужності НВЧ
  - 10.3 Вимірювачі малої потужності НВЧ
  - 10.4 Ватметри прохідної потужності
  - 10.5 Вимірювання потужності лазерного випромінювання

- 11 АНАЛІЗ СПЕКТРІВ. ВИМІРЮВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ
  - 11.1 Будова аналізаторів спектру
  - 11.2 Вимірювання параметрів спектру
  - 11.3 Основні характеристики аналізаторів спектру
  - 11.4 Особливості дослідження спектру
  - 11.5 Скорочення часу спектрального аналізу
  - 11.6 Вимірювання нелінійних спотворень
- 12 ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ
  - 12.1 Особливості вимірювання
  - 12.2 Оцінка розподілу вірогідності
  - 12.3 Оцінка функцій кореляції
  - 12.4 Побудова цифрових кореломірів
  - 12.5 Вимірювання коефіцієнта кореляції за діаграмою розкиду
  - 12.6 Особливості оцінки спектральної густини
- 13 ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМПОНЕНТІВ КІЛ ТА ПРИСТРОЇВ
  - 13.1 Вимірювання активного опору
  - 13.2 Мостові схеми для вимірювання параметрів компонентів
  - 13.3 Резонансні схеми для вимірювання параметрів компонентів
  - 13.4 Вимірювання добротності. Куметр
  - 13.5 Особливості вимірювання параметрів та характеристик інтегральних мікросхем
- 14 ВИМІРЮВАННЯ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНИХ ТА ІМПУЛЬСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
  - 14.1 Загальні відомості
  - 14.2 Структурні схеми вимірювачів АЧХ
  - 14.3 Побудова вимірювачів АЧХ
  - 14.4 Вимірювання частот на екрані АЧХ
  - 14.5 Динамічні похибки вимірювачів АЧХ
  - 14.6 Використання вимірювачів АЧХ
  - 14.7 Кореляційний вимірювач імпульсних характеристик
- 15 ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК НВЧ-ПРИСТРОЇВ
  - 15.1 Будова вимірювальних ліній
  - 15.2 Вимірювання коефіцієнтів стоячої хвилі, коефіцієнта відбиття та повного опору навантаження

15.3 Вимірювання параметрів розсіювання чотириполюсних НВЧ-пристроїв

15.4 Вимірювання послаблення чотириполюсних НВЧ-пристроїв

15.5 Автоматизація вимірювання на НВЧ

## 16 АВТОМАТИЗОВАНІ ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ ТА ІНТЕРФЕЙСНІ СИСТЕМИ

16.1 Автоматизація вимірювання на основі мікропроцесорних систем

16.2 Інформаційно-вимірювальні комплекси

16.3 Інтерфейсна частина вимірювальних приладів

16.4 Інтерфейс вимірювальних систем

16.5 Функціонування інтерфейсу при передачі вимірювальної інформації

ВИСНОВОК

ДОДАТКИ

ЛІТЕРАТУРА

ПРЕДМЕТНИЙ ВКАЗІВНИК

## ВСТУП

Початок технологічної діяльності людини неминуче пов'язаний з необхідністю вимірів, а отже, винаходом мір. На сучасному етапі розвитку людина постійно має справу з вимірюваннями.

Темпи економічного зросту суспільної праці неможливі без значного підвищення продуктивності праці. Для того щоб вирішувати такі завдання необхідні: створення та освоєння у виробництві нової високоефективної техніки, підвищення технічного рівня обчислювальної техніки, приладів та засобів автоматизації на основі нових досягнень мікроелектроніки, оптоелектроніки та лазерної техніки.

З урахуванням досягнень науки і техніки впроваджуються все більш автоматизовані методи та засоби контролю якості і випробування продукції як складової частини технологічних процесів.

Значну роль при цьому мають вимірювання та вимірювальні прилади, які були оцінені ще у 18 столітті багатьма вітчизняними та зарубіжними вченими.

Перші прилади для оцінки атмосферної електрики, розроблені російськими вченими Михайлом Ломоносовим та Георгом Ріхманом. Великий вклад в розвиток електричних вимірювань в Росії внесли Михайло Доліво-Добровольський, Борис Якобі, фізик Олександр Столетов.

В 1883 році Дмитро Менделєєв заснував у Петербурзі Головну Палату мір та ваг, став першим її директором. Це він сказав: «Наука розпочинається там, де розпочинають вимірювання».

Перші радіовимірювання розпочав і винахідник радіо Олександр Попов, який розробив в 1905 році спеціальну диференціальну мостову схему вимірювання малих ємностей, за допомогою якої проводились дослідження впливу такелажу на роботу корабельних антен. В 1913 році академік Михайло Шулейкін організував першу в Росії заводську лабораторію по виготовленню радіотехнічних вимірювальних приладів. Професор Електротехнічного інституту створив перший в Росії підручник по телеграфним (слабо точним) вимірюванням.

# 1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО МЕТРОЛОГІЮ, ВИМІРЮВАННЯ І ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

## 1.1 Вимірювання фізичних величин

Наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їх єдності та способів досягнення необхідної точності називається *метрологією*. Об'єктами вимірювання в метрології є *фізичні величини*. Під фізичною величиною (ФВ) розуміють властивість, в якісному відношенні спільне для багатьох фізичних об'єктів (фізичних систем, їх стану та процесів, що в них відбуваються), а в кількісному – індивідуальне для кожного із них. Індивідуальність у кількісному відношенні необхідно розуміти в тому розумінні, що властивість може бути для одного об'єкту в певне число раз більше, чим для іншого.

*Вимірюванням* називається відображення ФВ їх значенням за допомогою експерименту та обчислень із застосуванням спеціальних технічних засобів. Вимірювання - це складна операція, яка складається з порівнянні ФВ з деяким її значенням, прийнятим за одиницю, виконанні певних необхідних логічних та обчислювальних дій і представленні результату вимірювання у числовій формі з показом його точності. Основна мета вимірювання – кількісна оцінка значення ФВ у прийнятих для її одиницях.

Важливим завданням метрології є забезпечення єдності і необхідної точності вимірювання. Під *єдністю* розуміють такий стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в узаконених одиницях вимірювань, а характеристики похибок або невизначеності вимірювань відомі та із заданою ймовірністю не виходять за встановлені границі вимірювань. В такому випадку можна співставляти результати вимірювання, виконані в різних місцях, в різний час з використанням різних засобів вимірювання.

Для виконання даних вимог і виконання вимірювань необхідно встановити систему одиниць фізичних величин та мати спеціальні технічні засоби (засоби вимірювання), за допомогою яких можна порівнювати вимірювану та відому величини.

Одиниці величин повинні бути загальноприйнятими (єдиними). В 1960 році XI Генеральна конференція мір та ваг прийняла Міжнародну систему одиниць (СІ), яка є обов'язковою в Україні. Найменування, позначення та правила використання одиниць СІ встановлені ДСТУ 3651.0-97, ДСТУ 3651.1-97, ДСТУ 3651.2-97 від 01.01.1999 року. До того діяв ГОСТ 8.417-81.



## 1.2 Засоби вимірювання

**Засіб вимірювальної техніки** — технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики. Засобами вимірювальної техніки є міри, вимірювальні перетворювачі, вимірювальні прилади, вимірювальні установки та вимірювальні системи.

**Міра** – засіб вимірювальної техніки, призначений для відтворення ФВ заданого розміру. Наприклад, кварцовий генератор – міра частоти електричних коливань, міра опору, міра ємності.

**Вимірювальний прилад** - засіб вимірювальної техніки, призначений для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем. Під вимірювальною інформацією розуміють інформацію про значення вимірюваних ФВ. Розрізняють аналогові та цифрові прилади. Аналоговий прилад – це прилад, покази якого є безперервною функцією зміни вимірюваної величини. Цифровий прилад – це прилад, що автоматично видає сигнали вимірювальної інформації, покази якого виражені в цифровій формі.

**Вимірювальний перетворювач** – засіб вимірювання, призначений перетворювати вимірювану ФВ у вихідний сигнал, зручний для подальшого передавання, обробки та зберігання, але не здатного для безпосереднього сприйняття та оцінки людиною. Застосовують для перетворення величин температури, тиску, рівня, швидкості та інших у функціонально зв'язані з ними величини електричної напруги чи струму.

Складні засоби вимірювання можуть складатися з функційно пов'язаних простих вимірювальних засобів. До таких відносяться вимірювальні установки та вимірювальні системи.

**Вимірювальна установка** – це сукупність засобів вимірювання та допоміжних пристроїв, зібраних переважно в одному місці, призначена для одержання інформації, зручної для безпосереднього спостереження та оцінки людиною, або автоматичної реєстрації.

**Вимірювальна система** – це сукупність засобів вимірювання та допоміжних пристроїв, розташованих у різних місцях та з'єднаних між собою засобами зв'язку, призначена для одержання інформації, здатної для сприйняття людиною, реєстрації та для використання у системах автоматичного управління. Може складатися з

кількох вимірювальних установок, зв'язаних каналами зв'язку, які виконують загальну вимірювальну задачу.

Вимірювальні прилади, найбільш чисельна група, класифікуються за різними признаками:

- призначенню;
- принципу дії;
- умовам експлуатації;
- конструкції;
- відліковому пристрою;
- точності і т.д.

Прилади, що використовуються в електро- та радіотехніці, можуть бути:

- загального призначення – найбільш поширені, призначені для роботи в різних умовах експлуатації (науці, техніці та виробництві);
- спеціальні – вузького призначення, можуть застосовуватися тільки для певних умов експлуатації;
- вбудовані – входять конструктивно в склад яких-небудь пристроїв та апаратів;
- взірцеві (еталонні) – високої точності, призначені для перевірки та градування вимірювальних приладів більш низької точності.

Засоби вимірювання у відповідності ГОСТ 22261 повинні забезпечувати наступні групи вимог:

1. Технічні.
2. Безпеки.
3. Правила приймання.
4. Методи випробувань.

В першу групу входять вимоги до нормованих метрологічних характеристик; до опору вхідних та вихідних кіл; до часу встановлення робочого режиму та тривалості безперервної роботи; до надійності та строку середньої роботи. Стандарт розповсюджується також на допоміжні частини до засобів вимірювання, до яких відносяться елементи вимірювальних кіл засобів вимірювання, що розташовані поза корпусом приладу.

### 1.3 Характеристики виміру та їх види

Основними характеристиками вимірювання є принцип, метод та точність.

**Принцип вимірювання** – це фізичне явище або сукупність явищ, на яких засновані вимірювання.

**Метод вимірювання** – сукупність прийомів використання принципів та засобів вимірювання. Наприклад, вольтметри для вимірювання напруги змінного струму високої частоти можуть мати таку послідовність операцій, заснованих на різних принципах: нелінійне перетворення та виділення постійної складової, перетворення постійного струму в обертовий момент електромагнітного вимірювального механізму.

Розрізняють два основних методи вимірювань: безпосередньої оцінки та порівняння з мірою.

При вимірі **методом безпосередньої оцінки** шукане значення ФВ визначають безпосередньо по відліковому пристрої засобу вимірювання, що градуирований у відповідних одиницях.

**Метод порівняння з мірою** – метод вимірів, у якому вимірювану величину порівнюють з величиною, відтвореною мірою (порівняння маси на вагах з шальками). Обов'язковим у методі порівняння є наявність пристрою, що порівнює.

Метод порівняння з мірою має кілька різновидів:

- нульовий;
- диференціальний;
- метод заміщення;
- метод збігів.

**Нульовий метод** (або метод повного зрівноважування) – метод порівняння з мірою, у якому результуючий ефект впливу вимірюваної величини і зустрічного впливу міри на пристрій, що порівнює, зводять до нуля.

При **диференціальному методі** повне зрівноважування не роблять, а різниця між вимірюваною величиною і величиною, відтвореною мірою, відраховують по шкалі приладу.

**Метод заміщення** - метод порівняння з мірою, у якому вимірювану величину заміщають відомою величиною, відтвореною мірою.

У *методі збігів* різницю між вимірюваною величиною і величиною відтвореною мірою вимірюють, використовуючи збіг оцінок шкали або періодичних сигналів.

Кожний з методів можна виконати різними способами.

За способом одержання результату виміри поділяються на:

- прями;
- непрямі (опосередковані);
- сумісні;
- сукупні.

**Прямі виміри** – це виміри, при якому шукане значення величини знаходять безпосередньо з експериментальних даних, наприклад вимірювання електричного струму за допомогою амперметра. Як міра тут виступає шкала приладу.

**Непрямі виміри** – це виміри, при якому шукане значення величини знаходять на підставі відомої залежності між цією величиною і величиною, що піддається прямим вимірам. Якщо вимірювана величина  $Q$  зв'язана з іншими величинами  $X_1, X_2, \dots, X_N$  рівнянням  $Q = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ , то величину  $Q$  обчислюють по зазначеному рівнянню.

**Сумісні виміри** – це проведені одночасно виміри декількох однойменних величин, при яких шукані значення величин знаходять рішенням системи рівнянь, одержуваних при прямих вимірах різних сполучень цих величин. Наприклад вимірювання, при яких значення опорів окремих резисторів набору знаходять по відомому опору одного з них та по результатах прямих порівнянь опору різних сполучень резисторів.

**Сукупні виміри** – це проведені одночасно виміри двох або декількох різнойменних величин для знаходження залежності між ними. Наприклад, опір при певній температурі та температурні коефіцієнти вимірювального резистора знаходять за даними прямих вимірювань його опору при різних температур.

За способом вираження результатів розрізняють абсолютні і відносні виміри.

**Абсолютний вимір** – це вимір, заснований на прямих вимірах однієї або декількох основних величин і (або) застосування фізичних констант. Приклад, вимір довжини рулеткою, вимір сили за допомогою міри маси і константи земного прискорення.

**Відносним виміром** називається вимір відношення величини до однойменної величини, що прийнята за одиницю, або зміни величини стосовно однойменної величини, прийнятої за вихідну. Наприклад, відношення коефіцієнтів передачі на різних частотах по відношенню до коефіцієнта на окремій частоті.

Значення ФВ може бути знайдене за результатами однократного її виміру, або шляхом декількох вимірів з наступною статичною обробкою їхніх результатів. У першому випадку виміри називаються **однократними** або **простими**, у другому – **виміри з багаторазовими спостереженнями** або **статистичними**.

За режимом роботи засобу вимірювання розрізняють **статичні** та **динамічні** виміри. У першому випадку покази не залежать від часу, у другому – залежні.

**Точність виміру** – це якість вимірів, що відбиває близькість їхніх результатів до істинного значення вимірюваної величини. При цьому за істинне приймається значення, яке в якісному і кількісному відношенні ідеально відображає відповідну властивість об'єкту.

По точності виміри діляться на такі класи:

- виміри найвищої точності, які виконуються при дослідженнях еталонів та визначенні фундаментальних фізичних констант;
- контрольно-повірочні виміри, що виконуються при державних випробовуваннях та повірці і калібруванні;
- технічні виміри на виробництві.

#### **1.4 Забезпечення єдності вимірювання**

З метою забезпечення єдності вимірювання одиниці Міжнародної системи передаються централізовано за допомогою державних еталонів та робочих еталонів.

Державні еталони є основою технічної бази державної метрологічної системи. Статус державних еталонів надається первинним еталонам, створення і вдосконалення яких здійснюється відповідно до державних науково-технічних програм, які розробляються ЦОВМ, з метою забезпечення потреб життєдіяльності людини, економіки і оборони України та інших сфер.

Затверджений документ, що визначає засоби, методи, точність передачі розміру від еталону до робочого засобу вимірювання, називається повірочною схемою.

Основні терміни та їх визначення:

**тип засобу вимірювальної техніки** — сукупність засобів вимірювальної техніки одного і того ж призначення, які мають один і той же принцип дії, однакову конструкцію та виготовлені за однією і тією ж технічною документацією;

**еталон** — засіб вимірювальної техніки, що забезпечує відтворення та/або зберігання одиниці вимірювання одного чи декількох значень, а також передачу розміру цієї одиниці іншим засобам вимірювальної техніки;

**державний еталон** — еталон, визнаний спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади у сфері метрології як основа для встановлення значень усіх еталонів даної одиниці вимірювання, що є у державі;

**первинний еталон** — еталон, який забезпечує відтворення одиниці вимірювання з найвищою у державі (порівняно з іншими еталонами тієї ж одиниці) точністю;

**вторинний еталон** — еталон, який отримує розмір одиниці вимірювання безпосередньо від первинного еталона даної одиниці або, у разі його відсутності, — відповідного еталона іншої держави;

**вихідний еталон** — еталон, який має найвищі метрологічні властивості серед еталонів даної одиниці, що є у державі, на підприємстві, в установі чи організації;

**робочий еталон** — еталон, призначений для перевірки чи калібрування засобів вимірювальної техніки;

**нормативний документ з метрології** — документ, який встановлює правила, положення, інші вимоги чи норми, що стосуються метрології та метрологічної діяльності;

**державна метрологічна система** — сукупність законодавчих та інших нормативно-правових актів, організаційної структури, наукової, технічної та нормативної бази з метрології, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань у державі;

**перевірка засобів вимірювальної техніки** — встановлення придатності засобів вимірювальної техніки, на які поширюється державний метрологічний нагляд, до застосування на підставі результатів контролю їх метрологічних характеристик;

**калібрування засобів вимірювальної техніки** — визначення в певних умовах або контроль метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки;

*метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки* — дослідження засобів вимірювальної техніки з метою визначення їх метрологічних характеристик та встановлення придатності цих засобів до застосування;

*атестація методики виконання вимірювань* — процедура встановлення відповідності методики метрологічним вимогам, що ставляться до неї;

*повірочна лабораторія* — підприємство, установа, організація чи їх окремий підрозділ, що здійснює перевірку засобів вимірювальної техніки;

*калібрувальна лабораторія* — підприємство, установа, організація чи їх окремий підрозділ, що здійснює калібрування засобів вимірювальної техніки;

*вимірювальна лабораторія* — підприємство, установа, організація чи їх окремий підрозділ, що здійснює вимірювання фізичних величин, визначення хімічного складу, фізико-хімічних, фізико-механічних та інших властивостей і показників речовин, матеріалів і продукції, за винятком вимірювань, пов'язаних з оцінкою відповідності продукції, процесів, послуг, з документальним оформленням їх результатів.

## **ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ УКРАЇНИ (Держспоживстандарт України)**

1 жовтня 2002 року з метою підвищення ефективності реалізації державної політики у сфері захисту прав споживачів та відповідно до пункту 15 частини першої статті 106 Конституції України Указом Президента України було створено центральний орган виконавчої влади зі спеціальним статусом - Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики.

### **Технічне регулювання:**

Головними складовими технічного регулювання як основи надійного захисту прав споживачів є системи стандартизації, метрології, сертифікації:

**Стандартизація** - це діяльність, що полягає у встановленні положень для загального і багаторазового застосування щодо наявних чи можливих завдань з метою досягнення оптимального ступеня впорядкування у певній сфері, результатом якої є підвищення ступеня відповідності продукції, процесів та послуг їх функціональному призначенню, усунення бар'єрів у торгівлі і сприяння науково-технічному співробітництву.

**Метрологія** - наука про вимірювання, яка включає як теоретичні, так і практичні аспекти вимірювань у всіх галузях науки і техніки.

**Сертифікація** - процедура, за допомогою якої визнаний в установленому порядку орган документально засвідчує відповідність продукції, систем якості, систем управління якістю, систем управління довкіллям, персоналу встановленим законодавством вимогам.

**Споживча політика:** створення сприятливих умов для насичення споживчого ринку якісними та безпечними товарами (роботами, послугами), підвищення рівня захисту здоров'я та безпеки споживачів, удосконалення законодавства України з захисту прав споживачів, його адаптація до законодавства ЄС.

**Управління якістю:** забезпечення міжгалузевої координації та функціонального регулювання у сфері управління якістю, сприяння впровадженню на вітчизняних підприємствах сучасних систем управління.

**Основними завданнями Держспоживстандарту України** є участь у формуванні та забезпечення реалізації державної політики, міжгалузева координація та функціональне регулювання у сфері захисту прав споживачів, стандартизації, метрології, сертифікації, управління якістю.

**Основною метою Держспоживстандарту України** є посилення захисту прав споживачів шляхом удосконалення системи технічного регулювання.

#### **Пріоритетні напрями діяльності**

Створення ринкових механізмів захисту прав споживачів, адекватних європейським вимогам.

Дотримання балансу інтересів споживачів, виробників, підприємців, органів влади у забезпеченні пріоритетів державної політики у сфері захисту прав споживачів.

Підвищення ефективності функціонування національної системи технічного регулювання в інтересах споживачів на основі гармонізації законодавства з вимогами Всесвітньої торгової організації та Європейського Союзу.

Удосконалення державного контролю і нагляду на споживчому ринку та виробництві.

Продовження роботи щодо створення в органах місцевого самоврядування структурних підрозділів з питань захисту прав споживачів.



Переорієнтування основних завдань стандартизації і сертифікації на потреби пересічного громадянина.

Використання у повній мірі адміністративного ресурсу для підтримки вітчизняного товаровиробника з метою захисту українського ринку від небезпечних та фальсифікованих товарів.

Забезпечення балансу між технічним регулюванням та споживчою політикою.

Поширення практики співробітництва з виробниками продукції в напрямку виявлення на ринку фальсифікованих товарів, робіт та послуг.

Використання наявної випробувальної бази для реалізації регіональних програм з проблем споживчої політики.

Організація інформаційного забезпечення підприємств щодо сучасних систем управління відповідно до національних та міжнародних стандартів ISO серій 9001, 14001, 18000, 22000, 26000; участь в організації підготовки та підвищення кваліфікації фахівців у сфері управління якістю; співпраця з громадськими та професійними організаціями з питань управління якістю; організація і проведення науково-практичних та конкурсно-виставкових заходів у цій сфері.

### **1.5 Особливості вимірювання в радіоелектроніці**

Вимірювання в радіоелектроніці мають ряд особливостей:

1. Велике число параметрів, що характеризує роботу радіоелектронних пристроїв. Можна виділити дві великі групи вимірюваних величин: характеристики та параметри кіл, характеристики та параметри сигналів.

2. Широкий діапазон значень вимірюваних величин. Практично спектр вимірюваних частот необмежений: від постійного до сотень і тисяч мегагерц в діапазоні міліметрових та оптичних хвиль. При вимірюванні потужності стикаються з величинами від  $10^{-17}$  Вт і менше при вимірюванні слабких сигналів до сотень та тисяч мегават при вимірюванні імпульсної потужності РЛС. Вимірювання напруги – від долів мікрівольта до десятків і сотень кіловольт, наприклад в потужних радіопередавачах. Діапазон вимірювання повних (комплексних) опорів: від опору ізоляції до активного опору в межах  $10^{-6}$ - $10^{-12}$  Ом; малі та великі затування від 0 до 150-200 дБ. Багаточисельність вимірюваних величин вимагає і багато чисельних принципів на яких базується побудова радіоелектронної вимірювальної апаратури, які можуть принципіально відрізнятися.

3. Наявність в радіоелектронних колах високих вхідних і вихідних опорів, які, як правило, виражені в кілоомах. Це вимагає використання приладів з високими вхідними опорами, набагато більшими опорів кіл, в яких виконуються вимірювання.

Перераховані особливості вимірювань в радіоелектроніці в значній мірі і визначають вимоги до ЗВТ.

## 1.6 Основні характеристики ЗВТ

Основними характеристиками ЗВТ є характеристики похибки, діапазон вимірювання, чутливість, поріг реагування (чутливості), варіація показів, час встановлення показів, швидкодія, споживана потужність, надійність.

Розрізняють абсолютну, відносну, зведену, основну та додаткову похибку ЗВТ.

**Абсолютна похибка  $\Delta X$**  визначається як різниця між показами приладу (номінальним значенням міри)  $X_v$  та істинним значенням  $X$  вимірюваної величини:  $\Delta X = X_v - X$ . Так як істинне значення невідоме, на практиці можна знайти лише приблизну оцінку абсолютної похибки ЗВТ.

**Відносна похибка  $\delta$**  – відношення абсолютної похибки  $\Delta X$  до істинного значення вимірюваної величини  $\delta = \Delta X/X$ . Виражається в процентах.

**Зведена похибка  $\gamma$**  – відношення абсолютної похибки  $\Delta X$  до діапазону виміру  $D$ , виражене в процентах:  $\gamma = \Delta X/D$ . Для приладу з нульовою відміткою на краю діапазону або поза ним  $D$  – верхнє значення діапазону; для приладу з двосторонньою шкалою по обидві сторони від нуля  $D$  - арифметична сума верхніх значень діапазону вимірювання.

**Основною похибкою** називають похибку приладу в нормальних умовах. Під нормальними умовами розуміють такі умови, при яких величини, що впливають на результат вимірювання (температура, вологість, частота, напруга живлення, зовнішні електричні та магнітні поля, положення приладу в просторі і інші) знаходяться в установлених межах.

**Додатковою похибкою** називають похибку, що виникає під впливом величин внаслідок відхилення робочих умов від нормальних. Нормальні та робочі умови наводяться в стандартах на конкретні види ЗВТ (ДСТУ ІЕС 60051-1:2004, ГОСТ 30012.1-93 – загальні вимоги для всіх частин приладів).

Характеристики властивостей ЗВТ, які виявляють вплив на результати та похибки виміру, називаються *метрологічними характеристиками* (МХ). На них встановлюються норми. Метою нормування є:

- Забезпечення можливості оцінки точності виміру.
- Досягнення взаємозамінності ЗВТ.
- Забезпечення можливості порівняння ЗВТ між собою та вибору необхідних за точністю і іншим характеристикам.
- Забезпечення можливості оцінки похибки вимірювальних систем та установок на основі метрологічних характеристик приладів, що входять до них.

Номенклатура нормованих метрологічних характеристик і повнота, з якою вони описують властивості ЗВТ, залежать від його призначення, умов експлуатації, режиму роботи і інших факторів. Для ЗВТ, що призначені для використання в технічних вимірюваннях, нормування МХ складається з присвоєння класу точності за ГОСТ 8.401-80.

**Класом точності** називається узагальнена характеристика ЗВТ, яка вказує граничні значення допустимих основної та додаткової похибок. Позначення класу точності, встановлених ГОСТ 8.401-80, залежать від того, які допустимі границі похибки встановлені норми ( абсолютна, відносна, приведена ). МХ нормуються ГОСТ 8.009-84.

Інші характеристики ЗВТ.

**Діапазон виміру** – область значень вимірюваної величини, для якої нормовані допустимі похибки. Ця область обмежена границями вимірювання – найбільшим та найменшим значеннями.

**Чутливість  $S$**  – відношення зміни сигналу на виході приладу  $\Delta I$  до зміни сигналу вимірювання  $\Delta X$ :  $S = \Delta I / \Delta X$ . Розрізняють чутливість абсолютну  $S$  та відносну  $S_0$ . Перша визначається наведеною формулою для  $S$ , друга – формулою  $S_0 = \Delta I / (\Delta X / X)$ , де  $X$  – величина, що вимірюється. Чутливість характеризує властивість приладу реагувати на зміну вимірюваної величини.

**Поріг реагування (чутливості)** – зміни вимірюваної величини, що визивають найменші зміни показів, знайдені спостерігачем при нормальному для даного приладу способі відліку.

**Варіація показів** – середня різниця між показами приладу, що відповідає даній точці діапазону вимірювань, при двох напрямках поступового багатократного

виміру вимірюваної величини. **Показом** називається значення вимірюваної величини, визначене по відліковому пристрою приладу і виражене в прийнятих одиницях цієї величини. Варіація характеризує, наскільки стійкі покази приладу при вимірюванні одних і тих значень величин.

**Час встановлення показів** – проміжок часу від моменту зміни вимірюваної величини до моменту встановлення показів. Для аналогових приладів момент встановлення показів визначається моментом, коли амплітуда коливань вказівника стає не більшою похибки приладу.

**Швидкодія** – число вимірів, виконаних в одиницю часу.

**Споживана потужність**: при підключенні приладу до джерела виміру прилад навантажує це джерело, споживаючи від нього деяку потужність. Чим менша споживана потужність, тим вища якість приладу, тому що споживана потужність порушує режим досліджуваного кола, вносить похибку виміру.

**Надійність** – здатність приладу зберігати свої характеристики в певних границях на протязі інтервалу часу при заданих умовах експлуатації. Основні показники: ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, середній час безвідмовної роботи. Оцінка проводиться на стадіях розробки, контролюється під час виготовлення та виробництва, експлуатації.

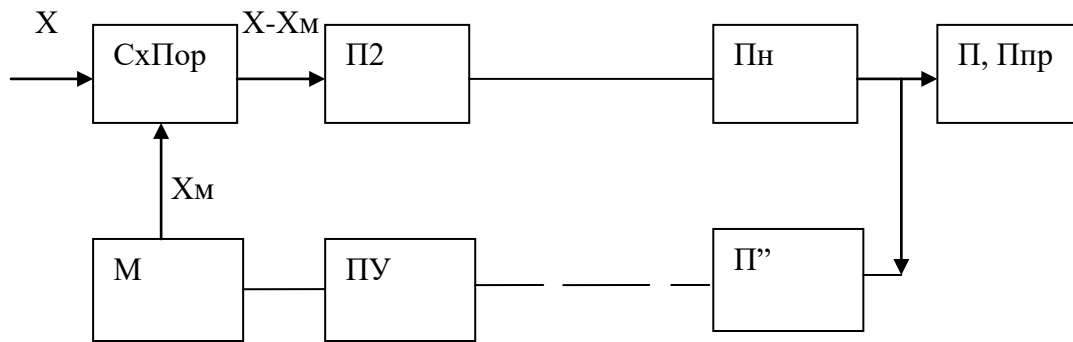
### 1.7 Структурні схеми ЗВТ

В ЗВТ, що реалізують метод безпосередньої оцінки, вимірювана величина перетворюється в ряд послідовних перетворень в прямому напрямку (без повернення до початку). В результаті вимірювана величина перетворюється у величину, яку можна спостерігати, реєструвати або запам'ятовувати.

Перетворювачі



а)



б)

Структурні схеми: а) прямого перетворення; б) схема порівняння з мірою.

Перетворювачі П1.. Пн можуть бути:

- Первинні, до яких підведена безпосередньо вимірювальна величина.
- Проміжні.
- Передавальні, для дистанційної передачі ВІ(вимірювальної інформації).
- Масштабні, змінюють величину в задане число раз.

## 2 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

### 2.1 Похибки вимірювання

**Похибкою вимірювання** називається відхилення результату виміру від дійсного значення вимірюваної величини. Вона має складові, які відрізняються характером їх появи.

**Систематичною** складовою похибки виміру називається складова абсолютної похибки, яка є постійною або закономірно змінюється при повторних вимірах однієї і тієї фізичної величини. Обумовлена факторами, які в процесі виміру залишаються постійними або змінюються по певному закону.

**Випадковою** складовою похибки виміру називається складова абсолютної похибки, яка випадково змінюється при повторних вимірах однієї і тієї фізичної величини.

Від цих складових похибки слід відрізнити **грубу похибку**, яка перевищує очікувану при даних умовах. Виникає через неуважність оператора, збої в постачанні енергії, помилки у підрахунках, описки при запису і т.і. При обробці результатів виміру їх необхідно виявити та усунути.

В 1981 році Міжнародним комітетом мір та ваг прийнята офіційна міжнародна рекомендація, що пропонує класифікувати складові вимірювання не за характером їх появи (систематичну і випадкову), а по можливості або неможливості використання для їх визначення методів математичної статистики (похибки груп А і В).

**Систематична складова похибки виміру.** В залежності від походження, тобто від причини виникнення систематична складова може включати:

1) Похибка методу виміру, обумовлена недосконалістю методу виміру; до цих похибок відносяться також похибки від впливу характеристик вимірювального приладу на вимірювані параметри сигналів та характеристики апаратури;

2) Інструментальна похибка, що залежить від використовуваних ЗВТ;

3) Похибки, обумовлені неправильною установкою та взаємним розташуванням при їх комплексному використанні, неузгодженістю їх характеристик, впливу різних факторів, неправильних маніпуляцій оператора і інше.

4) Особиста похибка, пов'язана з індивідуальними особливостями спостерігача (зір, слух).

Систематична складова може бути *постійною або змінною*. Серед змінних розрізняють *прогресивні та періодичні*. Виключення систематичних похибок – одна із головних задач при плануванні, підготовці та проведенні вимірювання та обробці їх результатів.

**На етапі планування і підготовки** важливим є вибір методу і засобів виміру, визначення джерел і номенклатури систематичних похибок, при необхідності – їх профілактика шляхом термостатування, екранування, віброзахисту і іншими способами, а також така постановка експерименту, яка б могла оцінити найбільш впливові систематичні похибки; складання плану експерименту, визначення МХ ЗВТ, підготовка робочого місця.

Для виключення систематичних складових похибки використовують

- Метод заміщення;
- Спосіб компенсації;
- Спосіб протиставлення;
- Спосіб симетричних спостережень;
- Спосіб рандомізації (різні прилади)- переведення у випадкову похибку.

Під час обробки результату спостереження виявляють та оцінюють ті систематичні похибки, які не вдалося виключити, та вносять поправку.

**Поправкою** називається величина, однойменна з вимірюваною, додавання якої до результату виміру виключає систематичну похибку.

**Поправочний множник** – коефіцієнт, на який множиться результат вимірювання з метою виключення систематичних похибок. Поправки приводяться у експлуатаційній документації на прилад у вигляді таблиць, графіків або формул. Можуть бути функціями часу, значень вимірюваної величини, частоти, температури і інше. Поправка, що додається до результату виміру, повинна бути рівна систематичній, але протилежна за знаком. Якщо систематична похибка представлена у вигляді функції якого не будь параметру, то поправка бу у вигляді оберненої функції того ж аргументу.

Систематичних похибок може бути багато, тоді і поправок буде стільки ж. Важливо, щоб поправки не збільшували похибку виміру. Через неточність врахування поправок, систематична похибка може бути неповністю скомпенсована. Некомпенсована частина її називається неврахованим залишком систематичної похибки (НСП). Він оцінюється за ГОСТ 8.207-76.

При невеликому числі складових систематичної похибки ( $m \leq 4$ ) межа НСП результату виміру  $\theta$  може визначатися за максимумом

$$\theta = \pm \sum \theta_i, \quad (1)$$

де  $\theta_i$  – межа  $i$ -ої складової. Ця оцінка є завищеною, так як малоімовірно, щоб всі складові одночасно прийняли свої максимальні значення, причому одного знаку. З ростом числа складових є найменш прийнятною.

Є похибки, які врахувати важко. Це похибки пов'язані зі старінням компонентів приладу. Для виключення таких похибок використовують повторні виміри, змінивши їх методику, умови, самі прилади. Співпадання результатів виміру буде вважатись про відсутність систематичних похибок.

**Випадкові складові похибки виміру.** Закон розподілу ймовірності випадкової складової похибки визначається його будовою (схемою, конструкцією) ЗВТ, так і умовами його експлуатації, тобто умовами виміру.

Реально кожній серії вимірів, виконаних певною групою вимірювальних приладів, відповідає свій закон розподілу похибок. Встановлення для кожного разу ускладнило б процедуру розрахунку похибок виміру. Тому на практиці

використовують апроксимацію реального закону розподілу, приводячи його до найбільш простого. Згідно ГОСТ 8.011-72 передбачено кілька стандартних апроксимацій законів розподілу ймовірності випадкової складової похибки

- рівномірний
- трикутний
- нормальний
- трапецеїдальний.

## **2.2 Прямі однократні вимірювання**

Однократні вимірювання ФВ є найбільш простими та поширеними. Похибку результату прямого однократного вимірювання оцінюють до його виконання. При цьому слід запам'ятати, що похибка виміру і похибка ЗВТ не одне і те ж. Похибка результату виміру включає, крім того ще похибку методу та особисту похибку. Всі складові похибки результату однократного виміру враховуються на основі аналізу апріорної інформації. Вона знаходиться з досвіду використання подібної апаратури, технічної документації, звітів ДКР і інших джерел.

В тому випадку, коли виявляється, що апріорна оцінка похибки перевищує допустиму за умовами вимірювальної задачі, змінюють метод або умови вимірювання, засіб вимірювання чи уточняють його МХ шляхом додаткових експериментів. Якщо ж очікувана похибка є прийнятною, то виконують вимір, вносять поправки та записують результат в наступній формі:  $A \pm \Delta$ ,  $P=0,95$ . Де  $A$  – алгебраїчна сума показів ЗВТ і всіх поправок. ГОСТ 8.011 передбачає і інші форми запису результату виміру.

Розповсюджені прямі однократні виміри в нормальних умовах, при яких похибками, крім інструментальних, можна знехтувати. Аналіз складових похибки таких вимірів не проводиться, результат записується у вигляді  $A \pm \Delta$ , де  $A$  покази ЗВТ,  $\Delta$  – похибка, яка визначається його класом точності.

У всіх випадках числові значення результатів виміру і показники його точності повинні бути округлені так, щоб найменші розряди біли однаковими, причому в числових значеннях показників точності повинно бути не більше двох значущих цифр.

## **2.3 Прямі багатократні вимірювання**

Багатократні виміри однієї і тієї ж ФВ дозволяють зменшити випадкову складову похибки виміру. Якби можна було знайти середнє значення результату



окремого виміру, то випадкова складова була б повністю виключена, так як середнє значення випадкової величини є величина не випадкова. Для цього потрібна нескінченна кількість вимірів. На практиці вона завжди скінченна, а замість середнього можна знайти лише його оцінку.

Оцінка числових характеристик законів розподілу ймовірності випадкових величин (середнього значення, дисперсії і інш.), зображуваних точкою на числовій осі, називають точечними; інтервалами – інтервальними. На відміну від числових характеристик оцінки являються випадковими, причому їх значення залежать від числа вимірів, а розподіл ймовірності – від закону розподілу ймовірності окремого виміру.

Оцінки повинні відповідати трьом умовам:

- бути з незмінним розміром,
- незміщені,
- ефективні.

Незмінний розмір вказує, що при збільшенні числа виміру оцінка сходиться по ймовірності до дійсного значення оцінюваного параметру.

Незміщеність означає, що її мат. очікування рівне дійсному значенню оцінюваного параметру.

Ефективність означає, що дисперсія даної оцінки менша, чим дисперсія будь-якої іншої оцінки.

Перерахованим вимогам відповідає така оцінка середнього значення, як середньоарифметичне

$$A = 1/N(\sum a_i), \quad (2)$$

$a_i$  – результат окремого виміру з врахуванням поправок;

$N$  – число вимірів.

Числові значення і якість точених оцінок залежить від  $N$ . Тому при запису результату багатократного виміру число  $N$  вказують обов'язково, наприклад :  $A, s_a, N, \theta$ . Форма запису результату багатократного виміру регламентована ГОСТ 8.207-76. Цим же стандартом регламентована і інтервальна оцінка результату багатократного виміру.

## **2.4 Непрямі вимірювання**

При непрямих вимірах результати, отримані прямим виміром, є вихідними для подальших обчислень. Похибки прямих вимірів приводять до того, що підсумковий результат також має похибку. Задача оцінки похибки результату непрямих вимірів є окремим випадком визначення статичних характеристик функції від випадкових величин.

### 3 ВИМІРЮВАЛЬНІ СХЕМИ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

#### 3.1 Реалізація методу порівняння

Метод виміру, при якому вимірювана величина порівнюється з величиною, що відтворюється мірою, називається методом порівняння. Основними різновидами методу є диференціальний (різниця зрівнювання) і нульовий (компенсаційний).

Прилади, що реалізують вимірювання на основі методу порівняння, називаються вимірювальні прилади порівняння. На відміну від приладів безпосередньої оцінки, більш зручних для отримання оперативної інформації, прилади порівняння мають більшу точність виміру.

Диференційний метод порівняння використовується тоді, коли необхідно отримати відхилення вимірюваної величини від деякого номінального значення (відхилення частоти, напруги). Більш розповсюджений нульовий метод. Перевагою нульового методу є практична відсутність порушення електричного режиму досліджуваного кола при підключенні вимірювальної схеми. Метод порівняння використовують як для виміру величин, що мають запас енергії (напруга, струм, потужність), так і для виміру параметрів елементів електричного кола: опору, індуктивності, ємності. Для виміру останніх використовують мостові та резонансні вимірювальні схеми.

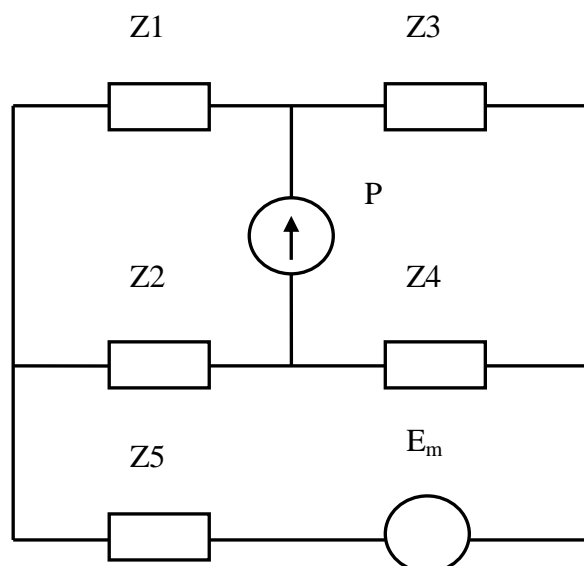


Рис.2 Схема мостового вимірювального кола.

На рис.2 наведена найпростіша мостова вимірювальна схема, до якої можуть бути приведені більш складні мостові схеми. Відомо, що міст буде в рівновазі

( $I_p=0$ ), якщо опір плеч моста задовольняє рівність

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad ()$$

Ця рівність не залежить ні від напруги джерела живлення, ні від опорів плеч моста. Це визначає такі основні властивості зрівноваженої мостової схеми, як можливість взаємозаміни місць ввімкнення джерела живлення та нуль-індикатора і незалежність умови рівноваги від режиму роботи діагоналей (від зміни опорів будь-якої діагоналі від 0 до  $\infty$ ). Першу властивість використовують для вибору оптимальної чутливості заданої мостової схеми, другу – при вимірюваннях методом умовного нуля, що застосовується для усунення впливу контактних і термо- е.р.с. на результат виміру.

Припустимо, що три плеча урівноваженого моста відомі, опір четвертого плеча (наприклад,  $Z_1$ ) знайдемо із співвідношення

$$Z_x = Z_1 = Z_2 Z_3 / Z_4 \quad ()$$

Вимірювання за допомогою резонансних схем засновані на використанні залежності між резонансною частотою коливального контуру і параметрів його елементів

$$F_{рез} = 1/2\pi\sqrt{LC} \quad ()$$

Резонансні схеми застосовуються при точних вимірах відносно малих значень само- та взаємоіндукції, малих опорів, ємностей, тангенса кута втрат конденсаторів і т.і. В якості джерела живлення мостів змінного струму застосовують високочастотні генератори.

Зміна величини міри може бути як безперервною, так і дискретною. Дискретна зміна широко застосовується в цифрових вольтметрах, автоматичних мостових установках, програмно-управляємих цифрових частотомірах з синтезаторами частоти.

Точність виміру визначається стабільністю робочого струму моста, точністю калібрування і роздільною здатністю потенціометра, чутливістю гальванометра і виконанням операції порівняння.

Недостатня чутливість індикатора та недостатня кваліфікація персоналу є джерелом додаткової похибки.

### 3.2 Чутливість схем порівняння

Розрізняють абсолютну чутливість та відносну чутливість мостової схеми. Абсолютна чутливість буває за струмом або напругою.

$$S(\alpha)_{abc} = \Delta\alpha/\Delta X \quad ()$$

$$S(I)_{abc} = \Delta I_n/\Delta X \quad ()$$

$$S(U)_{abc} = \Delta U_n/\Delta X \quad ()$$

Відносна чутливість мостової схеми виражається через відношення приросту вихідної величини до її відносної зміни,  $\Delta x = \Delta X/X$ . Відповідно

$$S(I)_{відн} = dI_n/dX \quad ()$$

$$S(U)_{відн} = dU_n/dX \quad ()$$

Значення абсолютної та відносної чутливості пов'язані між собою співвідношенням

$$S(I)_{відн} = X S(I)_{abc} \quad ()$$

$$S(U)_{відн} = X S(U)_{abc} \quad ()$$

Для врівноважених (балансних) вимірювальних схем в режимі, близькому до стану рівноваги  $I_n=0$ , маємо

$$S(I)_{abc} = S(U)_{abc}/(Z_n + Z_{вх}) \quad ()$$

$$S(I)_{відн} = S(U)_{відн}/(Z_n + Z_{вх}) \quad ()$$

З наведених співвідношень виходить, що чутливість схем порівняння залежить як від самих схем порівняння, так і від параметрів всієї вимірювальної схеми.

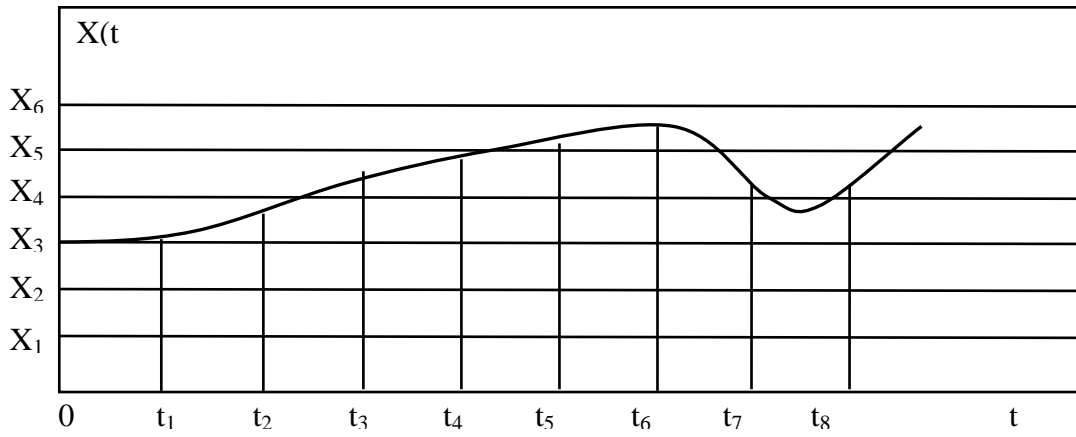
### 3.3 Принципи побудови цифрових приладів

Цифрові прилади – найбільш швидко розвиваючий вид ЗВТ. Мають ряд переваг, як автономні, та тим, що відіграють важливу роль у вимірювальних системах. Мають високу швидкодію, точність та завадостійкість. Легко узгоджуються з ЕОМ.

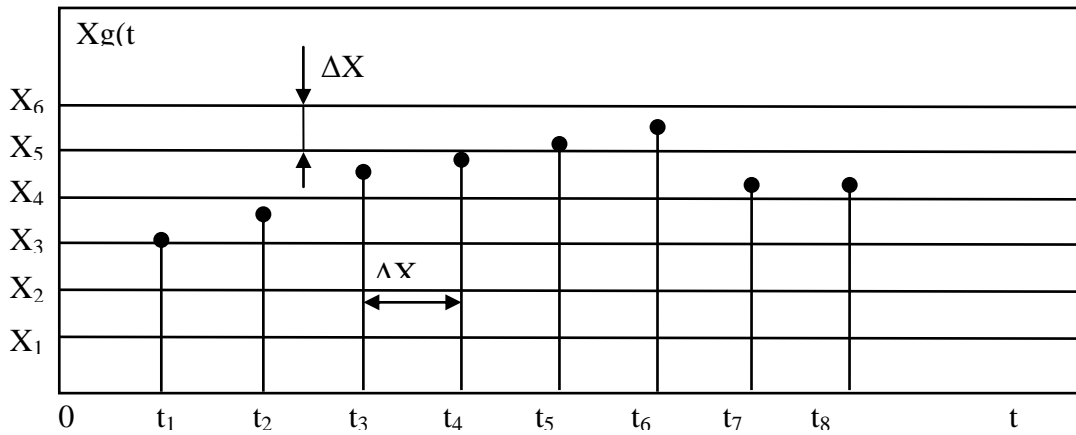
Цифровими вимірювальними приладами (ЦВП) називають прилади, що автоматично виробляють дискретні сигнали вимірювальної інформації, покази якої відображені

Під дискретними розуміють такі сигнали, значення яких виражені числом імпульсів, особливістю їх знаходження на осі часу і т.і.

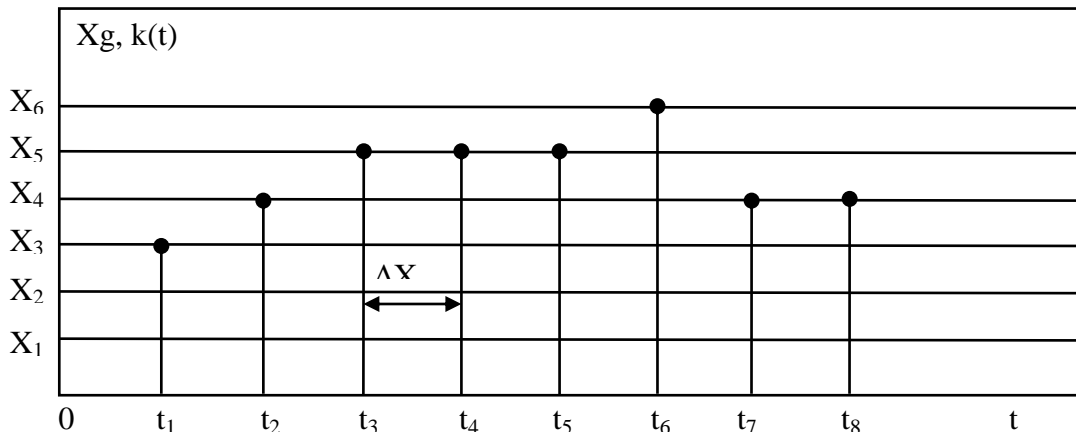
Систему правил для представлення інформації за допомогою дискретних сигналів називають кодом. Дискретні сигнали на відміну від аналогових можуть мати лише кінцеве число значень, визначене вибраним кодом. Цифрова форма представлення результатів виміру порівняно з аналоговою пришвидшує зчитування та зменшує ймовірність суб'єктивних помилок.



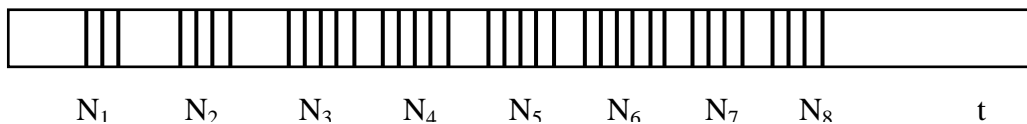
a)



б)



в)



г)

Рис.3.3 Процес утворення дискретного сигналу вимірювальної інформації:  
 а - вимірювана величина; б – дискретизація; в - квантування; г – цифрове кодування квантованих значень

Структурні схеми ЦВП можуть мати значні відмінності.

Універсальний ЦВП складається з попереднього та аналого-цифрового перетворювачів (АЦП), декадного лічильника(ДЛ), перетворювача коду (дешифратора) і цифрового відлікового індикатора (ЦВІ).

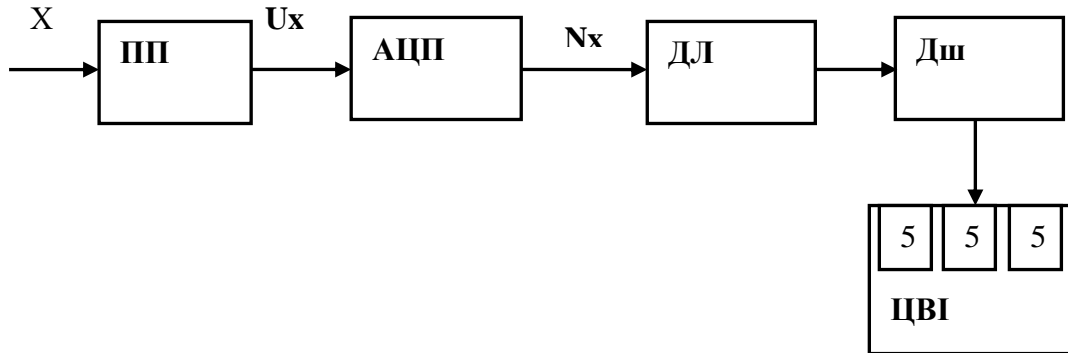


Рис. 3.1 Структурна схема ЦВП

**Попередній перетворювач (ПП)** перетворює вимірювану величину довільної фізичної природи у пропорційний сигнал напруги постійного струму чи відповідний інтервал часу.

**Аналого-цифровий перетворювач (АЦП)** перетворює напругу чи інтервал часу в дискретний сигнал вимірювальної інформації. Процес перетворення включає дискретизацію, квантування та цифрове кодування.

Під дискретизацією розуміють таку операцію, в результаті якої аналогова вхідна величина  $X(t)$  (Рис.3.2,а) зберігає свої значення лише в певні моменти часу, які називаються моментами дискретизації. Інтервал часу  $\Delta t$  між двома послідовними моментами називається кроком дискретизації.

Під квантуванням розуміють операцію заміни дійсних миттєвих значень вимірюваної величини найближчими фіксованими значеннями із відомої сукупності дискретних величин, що називаються рівнями квантування. На рис.3.2 рівні квантування представлені значеннями  $X_1, X_2, \dots, X_6$ . В цифрових приладах сукупність рівнів квантування утворюють в результаті масштабного ділення напруги міри е.р.с., і тому їх числові значення відомі з високою точністю. Різниця  $\Delta X$  між двома рівнями називається інтервалом квантування. Після цього квантовані величини перетворюють в пропорційне число короточасних імпульсів (унітарний код). Відповідно в відліковому пристрої цей код перетворюється в сигнали, зручні для передачі або зорового сприйняття.

Процеси дискретизації та квантування вимірюваної величини супроводжуються появою похибок, специфічних для цифрових приладів. Так операція дискретизації при надто великому кроці  $\Delta t$  втрачає частину початкової інформації. Максимально допустиме значення  $\Delta t_{\text{макс}}$  визначається шириною частотного спектру вимірюваної величини  $X(t)$  за відомою формулою В.А. Котельникова.

Операція квантування супроводжується появою випадкових похибок округлення. Якщо вважати, що випадкові похибки округлень  $\delta$  розподілені випадково рівномірно в межах від  $-\Delta X/2$  до  $\Delta X/2$ , то середньоквадратична похибка квантування визначається співвідношенням

$$\delta^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (\Delta - E\Delta)^2 d\Delta = \frac{1}{b} \int_0^b (\Delta - E\Delta)^2 d\Delta = \frac{b^2}{12} \quad 0,$$

і складе  $\Delta X^2/12$ . Зауважимо, що похибка квантування пропорційна квадрату інтервалу квантування  $\Delta X$ .

Практично цифрове кодування квантованих значень  $X_i$  відбувається в два етапи. Спочатку  $X_i$  перетворюється в пропорційне число коротких імпульсів  $N_i$  (унітарний код), а потім початковий код перетворюється в двійково-десятковий (наприклад, 8-4-2-1). Останній код спрощує представлення вимірювальної інформації в найбільш сприйнятій цифрову форму, а також з'єднання з автоматизованими ІВК.

Декадні лічильники здійснюють перетворення початкового коду в двійково-десятковий. Основним елементом лічильника є тригерні чарунки. Лічильники з коефіцієнтом  $k_n=10$  називаються декадними. ЦВП мають від 3 до 9 декадних лічильників. Основною характеристикою лічильника, що визначає швидкість прямого рахунку імпульсів, є швидкодія. Обмежена кінцевим часом перемикання активних елементів тригерних чарунок, а також наявністю зворотного зв'язку в них. Швидкодія серійних лічильників складає 150-200 МГц, гранично досягнуте 500 МГц.

В ряді приладів декадні лічильники використовуються як основний елемент ділення частоти, в тому числі і частоти гармонійних коливань. Лічильні схеми з керованими коефіцієнтами ділення використовують для формування періоду слідування та тривалості імпульсів, а також як пристрої часової затримки.



Дешифратор (перетворювач коду) здійснює перетворення двійково-десятькового коду, в яких здійснюється передача інформації від декадних лічильників, в код, що використовується цифровими індикаторами ЦВІ. Дешифратори виготовляються у вигляді мікросхем, як і лічильники.

ЦВІ служить для представлення результату виміру у вигляді десятинних чисел, зручного для сприйняття оператором. Відліковий індикатор складається з комутаторів та знакових елементів. Бувають світлодіодні, газорозрядні, рідкокристалічні.

Наявність в структурній схемі цифрових приладів (рис.3) попереднього перетворювача, що перетворює довільну вхідну величину  $X$  в пропорційну напругу  $u_x$  надає їм широку універсальність. Подібні прилади дозволяють вимірювати амплітудні та ефективні значення змінних напруг та струмів, опору резисторів, частоту, потужність і інші фундаментальні величини.