

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Український державний університет
науки і технологій**

Кафедра «Систем якості, стандартизації
та метрології»

В авторській редакції

ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Навчально-методичні рекомендації
до проведення практичних і лабораторних занять

Електронне видання

ДНІПРО
2025

УДК 621.317.3(076.5)

В 47

Упорядники:

А. М. Должанський, О. Б. Брагинський, Є. В. Чернецький

Електронне видання

Рекомендовано ГЗЯОП «ІВТІЯ» спеціальності
175 «Інформаційно-вимірювальні технології»
Протокол № 6 від 12.03.2025

В 47 Вимірювальні перетворювачі : навчально-методичні рекомендації до проведення практичних і лабораторних занять / упоряд. А. М. Должанський, О. Б. Брагинський, Є. В. Чернецький ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 109 с.

Навчально-методичні рекомендації призначені для використання студентами безвідривної форми навчання спеціальності 175 (G6) «Інформаційно-вимірювальні технології» під час виконання практичних і лабораторних занять з дисципліни «Вимірювальні перетворювачі».

Навчально-методичні рекомендації містять інформацію, необхідну для засвоєння матеріалу, інструкції до виконання практичних і лабораторних робіт, вимоги до аналізу результатів та оформлення робіт.

Іл. 63. Табл. 17. Бібліогр.: 24 назва.

© Должанський А. М. та ін., упорядкування, 2025

© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ЗАГАЛЬНІ НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ	7
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	7
2.1 Навчально-методичні рекомендації до практичних занять.....	7
Практична робота № 1. «Визначення похибок та невизначеності при застосуванні вимірювальних перетворювачів»	7
Практична робота № 2. «Визначення класифікаційних ознак віртуальних перетворювачів геометричних параметрів»	16
Практична робота № 3. «Визначення класифікаційних ознак віртуальних перетворювачів температури та параметрів витрат» ...	22
Практична робота № 4. «Визначення класифікаційних ознак віртуальних перетворювачів електричних та електромагнітних величин»	24
2.2 Навчально-методичні рекомендації до лабораторних занять ...	27
Лабораторна робота № 1. «Групування за видами вимірювань засобів вимірювань в лабораторії кафедри СЯСМ»	27
Лабораторна робота № 2. «Властивості перетворювачів у засобах вимірювань механічних величин»	31
Лабораторна робота № 3. «Побудова градуовальної (статичної) характеристики термопари»	40
Лабораторна робота № 4. «Ідентифікація послідовних перетворень фізичних величин на електричні та електромагнітні величини в контрольно-вимірювальних приладах»	46
Лабораторна робота № 5. «Ідентифікація послідовних перетворень фізичних величин при використанні випромінювань»	74
3 ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. «Вибір засобів вимірювань із визначенням їх властивостей та виду перетворень фізичних величин (за місцем роботи студента)»	103
4 ЗАСОБИ САМОКОНТРОЛЮ	104
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ПОСИЛАНЬ	106

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Вимірювальні перетворювачі» входить до циклу обов'язкових дисциплін професійної підготовки студентів, що навчаються за Освітньо-професійною програмою «Інформаційно-вимірювальні технології та інженерія якості» спеціальності 175 (Г6) – Інформаційно-вимірювальні технології першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Метою наявного видання у контексті вивчення дисципліни є освоєння студентами базових знань у галузі вимірювальних перетворень на основі науково-технічної інформації, вітчизняного та зарубіжного досвіду в приладобудівній діяльності; формування умінь та компетенцій для практичного використання застосованих вимірювальних перетворювачів з визначеними необхідними характеристиками.

Видання сприяє набуттю таких **фахових компетентностей, передбачених освітньою програмою:**

- ІК-1. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми метрології та інформаційно-вимірювальної техніки, які характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, що передбачає застосування теорій та методів метрології, способів побудови засобів автоматизації та приладобудування, включаючи системи, інформаційних технологій як у сфері проектування виробів приладобудування, так і при опрацюванні вимірювальної інформації в ситуаціях, що характеризуються невизначеністю умов і вимог.

- ЗК-1. Здатність застосовувати професійні знання й уміння у практичних ситуаціях.

- ЗК-5. Здатність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних джерел.

- ЗК-10. Здатність приймати обґрунтовані рішення, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт, працювати як індивідуально, так і в команді.

- ФК-2. Здатність проектувати засоби (склад) інформаційно-вимірювальної системи (техніки) у певній сфері діяльності та описувати принцип їх роботи.

- ФК-3. Здатність, виходячи з вимірювальної задачі, пояснювати та описувати принципи побудови обчислювальних компонент засобів вимірювальної техніки.

- ФК-5. Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при конструюванні модулів, деталей та вузлів засобів вимірювальної техніки та їх обчислювальних компонент і модулів (на основі базових знань з фізики, хімії, механіки, електротехніки, електроніки).

- ФК-12 Здатність проводити аналіз метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки.

- ФК-13 Здатність здійснювати вибір методів вимірювання заданої фізичної величини в залежності від заданої точності вимірювання та проводити порівняння

та вибір різних методів вимірювання фізичної величини в залежності від цілі вимірювальної задачі.

Відповідно до освітньої програми дисципліна спільно з іншими освітніми компонентами має забезпечити досягнення таких програмних результатів навчання:

- ПРН-1. Вміти знаходити обґрунтовані рішення при складанні структурної, функціональної та принципової схем засобів інформаційно-вимірювальної техніки.

- ПРН-3. Розуміти широкий міждисциплінарний контекст спеціальності, її місце в теорії пізнання і оцінювання об'єктів і явищ.

- ПРН-8. Вміти організовувати та проводити вимірювання, технічний контроль і випробування у визначених умовах.

- ПРН-9. Розуміти застосовуванні методики та методи аналізу, проектування і дослідження, а також обмежень їх використання у конкретних умовах.

- ПРН-10. Вміти встановлювати раціональну номенклатуру метрологічних характеристик засобів вимірювання для отримання результатів вимірювання з заданою точністю для конкретних умов.

Очікувані результати виконання завдань за наявним виданням (згідно зі змістом навчальної дисципліни) представлені у таблицях 1 та 2.

Таблиця 1 – Очікувані фахові результати навчання та виконання практичних і лабораторних робіт та Індивідуального завдання

Код	Очікуваний результат навчання	Рівень
ОРН1	Пояснити та класифікувати основні поняття, принципи та підходи до вибору вимірювальних перетворювачів для оцінювання рівня фізичних величин при забезпеченні якості продукції, процесів і систем на різних етапах їх життєвого циклу.	II
ОРН2	Застосовувати з використанням відомих підходів сучасні теоретичні знання і практичні навички, необхідні для реалізації інформаційно-вимірювальних технологій із застосуванням раціонального виду вимірювальних перетворювачів при забезпеченні загальної якості у будь-якій предметній області економічної діяльності.	III
ОРН3	Виявляти сутність проблем при оцінюванні ефективності застосування складових інформаційно-вимірювальної системи, зокрема – вимірювальних перетворювачів.	IV
ОРН4	Пропонувати необхідні заходи з удосконалення інформаційно-вимірювальних систем на основі вибору вимірювальних перетворювачів із застосовними властивостями.	VI

В узгодженості із завданнями наявного видання та в результаті вивчення дисципліни студент повинен:

- **знати:** основні терміни та визначення: вимірювальний перетворювач, вимірювальна величина, інформативний параметр, динамічні та статичні характеристики вимірювальних перетворювачів; базові принципи фізичних перетворень; принципи побудови вимірювальних перетворювачів;

Таблиця 2 – Соціальні навички фахівця (за Б. Блумом), розвитку яких сприяє навчальна (ОН – «особистісні навички»; КН – «комунікаційні навички»)

Код	Соціальна навичка (<i>soft skill</i>)
ОН1	Здатність управляти власним часом.
ОН2	Здатність самостійно приймати рішення.
ОН3	Здатність формулювати цілі.
ОН4	Прихильність до позитивного мислення з розумінням важливості предмету вивчення як основоположного підходу до ідентифікації та оцінювання ефективності інформаційно-вимірювальної системи
КН1	Здатність зрозуміло формулювати думки.
КН3	Здатність дискутувати та надавати аргументовані відповіді з використанням спеціальних загальноприйнятих термінів.
КН4	Здатність вислуховувати та враховувати усі (у тому числі – альтернативні) точки зору.
УН1	Здатність працювати в команді, зокрема, при експертному оцінюванні якості вимірювальної системи.

- **вміти:** виходячи з виду вимірювань обирати принцип фізичних перетворень вимірювальної величини на інформативний параметр; згідно з обраним принципом перетворення обирати структурну схему вимірювального перетворювача; вміти складати схеми вимірювання з використанням обраного вимірювального перетворювача; вміти розрахувати похибку при застосуванні обраного вимірювального перетворювача; правильно застосовувати конструкторські заходи з підвищення точності вимірювальних перетворювачів.

Передумовами для вивчення дисципліни є попереднє опанування дисциплінами Циклу загальної підготовки («Історія та культура України», «Філософія» та ін.); загально-наукових та загально-технічних дисциплін Циклу професійної підготовки («Вища математика», «Фізика», «Хімія», «Електротехніка», «Електроніка», «Алгоритмізація та програмування»), «Метрологія»; фахової дисципліни цього циклу). Вивчення дисципліни йде паралельно з дисциплінами («Методи та засоби вимірювань і контролю», «Синтез технічних рішень». Набуті знання і вміння застосовуються при опануванні програми підготовки бакалаврів за фахом, зокрема – при підготовці ними кваліфікаційної роботи, а також у майбутній професійній роботі за фахом.

Наявні навчально-методичні рекомендації розроблені групою співавторів з долею Должанського А. М. – 80%, Брагинського О. Б. – 10%, Чернецького Є. В. – 10%

1 ЗАГАЛЬНІ НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Структуру вивчення дисципліни «Вимірювальні перетворювачі» наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Структура вивчення дисципліни

Курс/ семестр	Загалом годин	Лекцій, годин	Лабор. годин/ кількість	Практ., годин/ кількість	Самост., годин	Вид контролю
2/4	120	16	16/5	16/4	72	Індивідуальне завдання. Диф. залік.

Робоча програма навчальної дисципліни передбачає самостійну роботу, контрольовану викладачем, що включає:

- вивчення лекційного матеріалу та підготовку до практичних і лабораторних занять;
- самостійне вивчення розділів дисципліни, що не викладаються на лекціях;
- виконання практичних і лабораторних робіт та індивідуального завдання;
- підготовку до контрольного заходу (диференційований залік).

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Навчально-методичні рекомендації до практичних занять

Практична робота № 1

«Визначення похибок та невизначеності при застосуванні вимірювальних перетворювачів»

Мета: опанування прийомами щодо визначення та класифікації похибок і невизначеності при застосуванні вимірювальних перетворювачів (ВП).

Суть розробки: визначення та класифікація похибок вимірювань і невизначеності за джерелами виникнення при застосуванні вимірювальних перетворювачів.

Предметна сфера розробки: метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

Загальні теоретичні положення

Головною метою застосування вимірвальних перетворювачів є отримання та передача для подальшого опрацювання *правдивих відомостей про об'єкт вимірювань*.

У зв'язку з цим розрізняють при вимірюванні [1, 2]:

- похибку;
- невизначеність;
- точність;
- достовірність;
- правильність вимірювання.

Похибка вимірювання (англ. «measurement error») – це відхилення результату вимірювання від *істинного* значення вимірюваної фізичної величини (виникає, як правило, через недостатню точність засобів і методів вимірювання або через неможливість забезпечити ідентичні умови при багаторазових спостереженнях).

Невизначеність вимірювання (англ. «measurement uncertainty») – параметр, що пов'язаний з результатом вимірювання та *характеризує розсіяння значень*, які обґрунтовано могли бути приписані вимірюваній величині.

Точність вимірювань – це характеристика, що виражає ступінь відповідності результатів вимірювання *істинному* значенню вимірюваної величини, не має числового вираження, а є суто *якісною* характеристикою.

Правильність вимірювання характеризує ступінь наближення середнього значення фізичної величини, одержаного на основі великої серії результатів її вимірювань, до прийнятого *опорного значення*. Ця характеристика, як правило, кількісно виражається різницею між математичним очкуванням результатів вимірювань та прийнятим *опорним еталонним значенням*.

Поняття «*опорне значення*» дуже близьке до категорії «*дійсне значення фізичної величини*», а «*правильність*» результату вимірювання, по суті, характеризує *систематичну складову похибки* в результаті вимірювання (див. нижче). Правильним є той результат вимірювання, систематична похибка якого не перевищує допустиме значення.

Достовірність вимірювань визначає ступінь довіри до отриманих результатів вимірювань. За даною характеристикою вимірювання поділяються на *достовірні* і *недостовірні*. Достовірність вимірювань обмежена *допустимою* похибкою вимірювань і залежить від того, чи відома ймовірність відхилення результатів вимірювання від дійсного значення вимірюваної величини.

У залежності від обраної ознаки можна представити найпоширенішу, що застосовується, класифікацію *похибок вимірювання*.

За формою вираження похибки вимірювання поділяються на абсолютні, відносні та зведені.

Абсолютна похибка вимірювання Δ – це відхилення результату i -того вимірювання x_i від *істинного* значення x_{icm} фізичної величини (оскільки ця величина невідома, замість неї використовують *дійсне* значення, яке визначається статистичними методами або з використанням еталону) [1, 2]:

$$\Delta = x_i - x_{icm}, \quad (1.1)$$

Відносна похибка вимірювання δ представляє із себе відношення абсолютної похибки до *істинного* (на практиці – до *дійсного*) результату вимірювання [1, 2]:

$$\delta = \frac{\Delta}{x_{icm}} \cdot (100\%). \quad (1.2)$$

Зведена похибка вимірювання γ визначається аналогічно відносній, але замість $x_{i\text{cm}}$ застосовують нормувальне значення X_N , що дорівнює ширині діапазону використаного вимірювального приладу [1, 2]:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot (100\%) . \quad (1.3)$$

За джерелами виникнення складові похибки можуть бути розділені на: методичні; інструментальні; суб'єктивні.

Методична складова похибки пов'язана з недосконалістю методу вимірювання, прийомами використання засобів вимірювання, некоректністю розрахункових формул і округлення результатів.

Інструментальна складова похибки може з'явитися через власну похибку засобів вимірювання, що може бути зумовлено недосконалістю принципу їх дії, неточністю градування шкали тощо.

Суб'єктивні похибки пов'язані з індивідуальними особливостями дій дослідника, наприклад, його недостатньою компетентністю і уважністю.

За характером залежності від впливових величин похибки поділяються на основні та додаткові.

Основна похибка має місце в нормальних умовах експлуатації засобів.

Додаткова похибка виникає через невідповідність значень впливових величин нормальним умовам експлуатації засобів вимірювань.

За характером залежності від вимірюваної величини похибки поділяються на адитивні та мультиплікативні.

Адитивна похибка виникає внаслідок впливу зовнішнього середовища на результат вимірювань, причому абсолютна величина такої похибки не залежить від вимірюваної величини у всьому діапазоні конкретних вимірювань. Значення абсолютної адитивної похибки визначає мінімальний рівень величини, який хоч якось може бути виміряний у процесі конкретних вимірювань.

Мультиплікативна похибка виникає через вплив вимірюваної величини на параметри елементів засобу вимірювань. Часто значення мультиплікативних похибок змінюються пропорційно змінам вимірюваної величини.

За характером змін у часі похибки поділяються на статичні і динамічні.

Статична похибка виникає в процесі вимірювання постійної (такої, що не змінюється в часі) величини.

Динамічна похибка обчислюється як різниця між похибкою, що виникає при вимірюванні непостійної (змінної в часі) величини і похибки у певний момент часу.

За ознакою залежності від характеру прояву, причин виникнення та можливостей усунення похибки вимірювань можуть бути: випадковими, систематичними, прогресуючими (дрейфовими) і грубими («промахами»).

Випадкова похибка – складова загальної похибки вимірювання, яка змінюється випадковим чином (як за знаком, так і за величиною) в серії повторюваних вимірювань однієї і тієї ж величини, проведених в одних і тих же умовах. Вона виявляється у вигляді деякого розкиду результатів, які одержуються. Величину випадкової похибки можна передбачити, але її неможливо повністю усунути, і вона *завжди* спотворює кінцеві результати вимірювань. Однак, результат вимірювання можна зробити більш точним за рахунок проведення повторних вимірювань і статистичної обробки їх результатів.

Систематична похибка – складова загальної похибки вимірювання, що змінюється в часі за певним законом. Її окремим різновидом є *постійна похибка*, що не змінюється з плином часу. *Повторними вимірюваннями систематичну похибку усунути неможливо.*

Якщо *змінну* систематичну похибку ще можна виявити методами дисперсійного аналізу або інженерними методами, то не існує математичних методів для виявлення *постійних* систематичних похибок.

Прогресуюча (дрейфова) похибка – непередбачувана похибка, яка повільно змінюється в часі. Вона являє собою нестационарний випадковий процес внаслідок, наприклад, зміни («дрейфу») зовнішніх умов і може бути усунена стабілізацією умов проведення вимірювань або введенням відповідних поправок.

Грубі похибки (промахи) іноді називають: «*надмірні похибки*». Це похибки, рівень яких зазвичай істотно перевищує похибки, що очікуються за даних умов проведення вимірювань: систематичні і випадкові. Цей вид похибки може проявитися в процесі проведення вимірювання через грубі упущення або недогляд експериментатора, технічну несправність засобу вимірювання, несподівану істотну зміну зовнішніх умов. Такі похибки, як правило, виявляються при аналізі результатів вимірювань за допомогою спеціальних статистичних критеріїв. Відповідні результати необхідно вилучати.

Повна похибка вимірювання є сумою усіх вказаних різновидів похибок

Випадкові похибки мають статистичний характер, їх математична обробка проводиться на основі теорії ймовірностей та математичної статистики.

При оцінюванні якості генеральної сукупності результатів вимірювань або відповідної статистичної вибірки з n результатів x_i (де $1 \leq i \leq n$) вимірювань, як мінімум, визначають [1, 2]:

– момент I порядку, або *математичне очікування* μ , або його найкращу оцінку – середнє значення M результатів вимірювань [1, 2]:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \approx M = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}; \quad (1.4)$$

– момент II порядку, або *середнє квадратичне відхилення* σ , або його найкращу оцінку S як характеристику розкиду результатів вимірювань («реалізацій») відносно μ або M [1, 2]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu - x_i)^2}{n}} \approx S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - M)^2} = \sqrt{\frac{(x_1 - M)^2 + (x_2 - M)^2 + \dots + (x_n - M)^2}{n-1}}. \quad (1.5)$$

Часто замість σ використовують параметр, який зветься *дисперсією* D :

$$D = \sigma^2. \quad (1.6)$$

Величини M (або μ) та S (або σ) мають розмірність вимірюваного параметру. Дослідники часто також використовують безрозмірну статистичну характеристику – *коефіцієнт варіації* c :

$$c = \frac{S}{M} \cdot (100\%). \quad (1.7)$$

Надалі, для простоти при характеристиці вибірки даних будемо користуватися термінами: «*математичне очікування*» і «*середнє квадратичне відхилення*».

Кожен з результатів, що отримуються за формулами (1.5) та (1.6), виражається одним числом, тобто представляє точкову оцінку відповідного параметру. Тому кожна з них і сама є випадковою величиною, залежною від закону розподілу вихідної випадкової величини x_i , а також від кількості вимірювань.

Так, середня квадратична похибка середнього арифметичного m серій вимірювань x_i при багаторазових випробуваннях однієї «істинної» величини x_{icm} [1, 2]:

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{m}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{icm})^2}{m \cdot (n-1)}}. \quad (1.8)$$

З формул (1.5) та (1.8) випливає, що при збільшенні кількості серій m та загальної кількості n вимірювань величина S зменшується, а відповідно до виразу (1.8), якщо необхідно підвищити точність результату (при відсутності систематичної похибки) у 2 рази, то число серій вимірів m необхідно збільшити в 4 рази; якщо потрібно збільшити точність у 3 рази, то число серій вимірів збільшують у 9 разів і т. д.

Результати вимірювань випадкових величин знаходяться в межах їх *довірчого інтервалу*. Останній являє собою статистичну оцінку діапазону між ймовірним найменшим та ймовірним найбільшим вимірюваними значеннями випадкової величини *при певній ймовірності* p .

Ймовірність p визначає дослідник, керуючись властивостями об'єкту дослідження. Вона має бути достатньо високою (не менше 0,95 за умовчанням для більшості технічних вимірювань), оскільки це зумовлює довіру до результату, однак, в той же час, необхідно забезпечити, щоб довірчий інтервал був не занадто широким, оскільки тоді він буде непридатним для практичного використання. Для особливо відповідальних вимірювань, які мають важливе значення для життя чи здоров'я людей, довірчу ймовірність визначають не менше 0,99 і вище.

У сучасних нормативних документах щодо забезпечення точності вимірювань акцент робиться не на категорії «*похибка*» результатів вимірювань, а на їх «*невизначеності*».

Згідно з ДСТУ ISO/TS 21749:2013 «Невизначеність вимірювання в метрологічній практиці. Повторні вимірювання та ієрархічні експерименти (ISO/TS 21749:2005, IDT)», *невизначеність результату вимірювання визначається як «параметр, що пов'язаний (об'єднаний) з результатом вимірювання, і який характеризує розкид значень, які обґрунтовано можна приписати вимірюваній величині»*.

Отже в теорії невизначеності первинним джерелом аналізу є *отриманий результат конкретного вимірювання*, якому теоретично може відповідати безліч значень вимірюваної величини, що групуються навколо цього результату вимірювання.

На відміну від цього, в теорії похибок на першому місці стоїть *істинне* (заздалегідь точно невідоме) значення вимірюваної величини, якому можуть відповідати багато (теоретично – безліч) результатів вимірювань, що групуються навколо істинного значення.

Тобто теорія невизначеності результату вимірювань і теорія похибок вимірювань принципово відрізняються точкою відліку: в теорії невизначеності – це «*конкретний результат вимірювання*», а в теорії похибок – «*істинне значення вимірюваної величини*».

У цьому сенсі розрізняють наступні характеристики.

Стандартна невизначеність (u) – невизначеність, виражена у вигляді середнього квадратичного відхилення σ (або стандарту відхилення $S \approx \sigma$), що розраховується за формулою (1.5). Цей параметр є основним кількісним представником невизначеності вимірювань.

Сумарна стандартна невизначеність (u_c) – стандартна невизначеність результату вимірювань, отриманого *розрахунком* через значення дисперсій інших величин, які впливають на невизначеність та змінюються при зміні цих величин (відповідний аналітичний вираз представлено нижче). Отже сумарна стандартна невизначеність u_c є основним кількісним представником невизначеності вимірювання, при якому результат визначають через значення інших величин.

Розширена невизначеність (U) – величина, що задає інтервал навколо результату вимірювання, в межах якого знаходиться більша частина значень вимірюваної величини. Цей різновид невизначеності є аналогом відповідної *інтервальної оцінки похибки* вимірювання у довірчому інтервалі.

Ймовірність охоплення – ймовірність, якій, за думкою дослідника, відповідає розширена невизначеність результату вимірювань. Ймовірність охоплення *обирається дослідником* з урахуванням ймовірнісного закону розподілу невизначеності, а її аналогом з класичної теорії похибок є довірча ймовірність.

Коефіцієнт охоплення – коефіцієнт, що залежить від виду розподілу невизначеності результату вимірювань, ймовірності охоплення та чисельно дорівнює відношенню розширеної невизначеності до стандартної невизначеності при обраній ймовірності охоплення.

Число ступенів свободи – параметр, статистичного розподілу, що дорівнює числу незалежних зв'язків оцінюваної статистичної вибірки.

Фізичні джерела невизначеності результату вимірювання збігаються із джерелами похибок вимірювань

У нормативних документах уведений поділ невизначеностей результату вимірювань за способом оцінювання на два типи:

– *невизначеність $u_{A,i}$, що оцінюється за типом A* («невизначеність типу A »), яку розраховують шляхом статистичного аналізу результатів за формулами (1.4), (1.5) та (1.8) багаторазових вимірювань фізичної величини x_i ;

– *невизначеність $u_{B,i}$, що оцінюється за типом B* («невизначеність типу B »), яку розраховують нестатистичними методами.

Розрахунок стандартної невизначеності типу A для i -тої *одиночної* серії вимірювань фізичної величини здійснюють за формулою (1.5) з урахуванням рівняння (1.4), а стандартної невизначеності $u_{A,i}$ при сумарній кількості n вимірювань у декількох серіях i при визначенні результату як середнє арифметичне, – за формулою (1.8).

При визначенні стандартної невизначеності типу B використовують:

- дані попередніх вимірювань та відомості щодо виду розподілу ймовірностей;
- дані, які базуються на досвіді дослідника або загальних знаннях щодо поведінки та властивостей відповідних приладів і матеріалів;

- невизначеність констант за довідковими даними;
- дані перевірки, калібрування, відомості виробника засобів вимірювань тощо.

Найбільш розповсюдженим є спосіб формалізації *неповного знання* щодо значень i -тої вимірної величини міститься у прийнятті *рівномірного закону розподілу* можливих значень цієї величини між нижньою b_{i-} і верхньою b_{i+} границями, які оцінюються дослідником, виходячи з природи вимірюваної фізичної величини. При цьому, стандартну невизначеність $u_{B,i}$ за типом B розраховують за формулою:

$$u_{B,i} = \frac{b_{i+} - b_{i-}}{2\sqrt{3}}, \quad (1.9)$$

а для симетричних границь $\pm b_i$ – за формулою:

$$u_{B,i} = \frac{b_i}{\sqrt{3}}. \quad (1.10)$$

При наявності інших законів розподілу, формули для розрахунку невизначеності за типом B будуть іншими.

Сумарну стандартну невизначеність $u_c(y)$ величини $y = f(x_1, \dots, x_i, \dots, x_j, \dots, x_w)$, що вимірюється, з кількістю вхідних параметрів w розраховують наступним чином.

У разі наявності некорельованих (взаємно незалежних) оцінок $x_1, \dots, x_i, \dots, x_j, \dots, x_w$ використовують формулу:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^w \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i)}, \quad (1.11)$$

а у випадку корельованих (взаємно залежних) оцінок $x_1, \dots, x_i, \dots, x_j, \dots, x_w$ – за виразом:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{j=1}^w \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^w \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial f}{\partial x_j} \cdot r(x_i, x_j) \cdot u(x_i) \cdot u(x_j)}, \quad (1.12)$$

де f - вид залежності результату вимірювань від $x_1, \dots, x_i, \dots, x_j, \dots, x_w$; $r(x_i, x_j)$ – коефіцієнт кореляції:

$$r(x_i, x_j) = \frac{\sum_{l=1}^{n_{ij}} (x_{il} - M_i)(x_{jl} - M_j)}{\sqrt{\sum_{l=1}^{n_{ij}} (x_{il} - M_i)^2 \cdot \sum_{l=1}^{n_{ij}} (x_{jl} - M_j)^2}}; \quad (1.13)$$

(x_{il}, x_{jl}) – узгоджені пари вимірювань при $(l = 1, \dots, n_{ij})$; n_{ij} – кількість таких пар результатів вимірювань.

Розширену невизначеність U розраховують у випадках, коли це необхідно, за формулою:

$$U = k \cdot u_c, \quad (1.14)$$

де k – коефіцієнт охоплення, який у загальному випадку обирають у відповідності з формулою:

$$k = t_p(v_{eff}); \quad (1.15)$$

$t_p(v_{eff})$ – квантиль розподілу Стьюдента (таблиця 1.1) з ефективною кількістю ступенів свободи v_{eff} і обраною дослідником довірчою ймовірністю p : $v_{eff} = n_i - 1$ при розрахунку невизначеності за типом A ; $v_{eff} = \infty$ при розрахунку невизначеності за типом B .

Таблиця 1.1 – Значення t -критерію Стьюдента [1, 3]

Число ступенів свободи, k	Рівень значимості, p			
	0,10	0,05	0,01	0,001
1	6,31	12,70	63,70	637,00
2	2,92	4,30	9,92	31,60
3	2,35	3,18	5,84	12,90
4	2,13	2,78	4,60	8,61
5	2,01	2,57	4,03	6,86
6	1,94	2,45	3,71	5,96
7	1,89	2,36	3,50	5,40
8	1,86	2,31	3,36	5,04
9	1,83	2,26	3,25	4,78
10	1,81	2,23	3,17	4,59
11	1,80	2,20	3,11	4,44
12	1,78	2,18	3,05	4,32
13	1,77	2,16	3,01	4,22
14	1,76	2,14	2,98	4,14
15	1,75	2,13	2,95	4,07
16	1,75	2,12	2,92	4,01
17	1,74	2,11	2,90	3,96
18	1,73	2,10	2,88	3,92
19	1,73	2,09	2,86	3,88
20	1,73	2,09	2,85	3,85
21	1,72	2,08	2,83	3,82
22	1,72	2,07	2,82	3,79
23	1,71	2,07	2,81	3,77
24	1,71	2,06	2,80	3,74
25	1,71	2,06	2,79	3,72
26	1,71	2,06	2,78	3,71
27	1,71	2,05	2,77	3,69
28	1,70	2,05	2,76	3,66
29	1,70	2,05	2,76	3,66
30	1,70	2,04	2,75	3,65
40	1,68	2,02	2,70	3,55
60	1,67	2,00	2,66	3,46
120	1,66	1,98	2,62	3,37
∞	1,64	1,96	2,58	3,29

У багатьох практичних випадках при розрахунку рівня невизначеності роблять припущення щодо нормальності закону розподілу можливих значень величини, що вимірюється. Це дає можливість визначити для формули (1.14): $k=2$ при $p \approx 0,95$; $k = 3$ при $p \approx 0,99$.

Аналогічним чином, при припущенні щодо наявності рівномірного закону розподілення: $k = 1,65$ при $p \approx 0,95$ і $k = 1,71$ при $p \approx 0,99$.

На практиці можна застосовувати спрощену математичну обробку результатів вимірювань. Відповідний підхід міститься у наступному.

Після проведення n вимірювань величини X

а) знаходять її середнє арифметичне значення за формулою (1.4);

б) обчислюють абсолютні значення похибки результатів окремих ($i=1,2,\dots,n$) вимірювань:

$$|\Delta x_i| = |x_i - X| \quad ; \quad (1.16)$$

в) обчислюють середню абсолютну похибку:

$$|\Delta X| = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta x_i|}{n} = \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \dots + |\Delta x_n|}{n}; \quad (1.17)$$

г) обчислюють середню відносну похибку:

$$\delta = \left| \frac{\Delta X}{X} \right| \cdot 100\% ; \quad (1.18)$$

д) отримують остаточний результат:

$$X = M \pm \Delta X . \quad (1.19)$$

Порядок виконання роботи студентом.

1. Одержує від викладача (або самостійно генерує) для деякої однієї фізичної величини дві вибірки даних результатів вимірювань, отриманих (в рамках ділової гри) двома різними вимірювальними перетворювачами, за прикладом, представленим у таблиці 1.2:

Таблиця 1.2 – Дані для виконання завдань практичної роботи (приклад)*

Вибірка	$1 \leq i, j \leq n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	x_i	4	6	5	4	7	8	4	5	5	7
2	x_j	5	6	5	4	5	6	7	4	7	6

*Примітка: дані можуть бути змінені викладачем або студентом за узгодженням з викладачем.

2. За формулами (1.4)...(1.8) обчислює основні статистичні характеристики кожної вибірки та окремо об'єднаної вибірки результатів умовного вимірювання фізичної величини X та відображує отримані дані за формою таблиці 1.3:

3. За формулами (1.16)...(1.19), з урахуванням формул (1.1)...(1.4), вважаючи $x_{icm.i,j} = M_{i,j}$ та $X_N = x_{i,j,max} - x_{i,j,msn}$, в рамках ділової гри обчислює для кожної та об'єднаної вибірок значення середніх абсолютної, відносної, зведеної похибок, діапазон зміни X та відображує отримані дані за формою таблиці 1.4:

Таблиця 1.3 – Основні статистичні характеристики вибірок даних

Вибірка	M	S	D	c	Примітки
1					S за формулою (1.5)

2					S за формулою (1.5)
Об'єднана					S за формулою (1.8)

Таблиця 1.4 – Похибки умовного вимірювання величини X

Вибірка	$\Delta x_{i,j}$	$\Delta X_{i,j}$	$\delta_{i,j}$	$\gamma_{i,j}$	$X_{i,j} = M \pm \Delta X$
1					
2					
Об'єднана					

4. Визначає, які дані потрібні для обчислення за формулами (1.11)...(1.14 невизначеності представлених даних.

5. Представляє звіт з роботи, що виконана, та наводить висновки відмічаючи: а) актуальність; б) зміст виконання; в) коротко – отримані результати; г) корисність.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи: здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Практична робота № 2

«Визначення класифікаційних ознак віртуальних перетворювачів геометричних параметрів»

Мета: опанування прийомами щодо визначення класифікаційних ознак вимірювальних перетворювачів (ВП).

Суть розробки: визначення класифікаційних ознак вимірювальних перетворювачів геометричних параметрів за переліком, що наданий викладачем (керівником роботи).

Предметна сфера розробки: метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

Загальні теоретичні положення

Головною метою застосування вимірювальних перетворювачів є отримання та передача для подальшого опрацювання правдивих відомостей про об'єкт вимірювань.

Для свідомого та обґрунтованого застосування ВП у різних процесах при вимірюванні різних фізичних величин слід вміти визначати вимоги до них з наступною перевіркою виконання цих вимог згідно із застосованими категоріями відповідної класифікації.

Найбільш прийнятною вважається наступна система груп і відповідних категорій ознак вимірювальних перетворювачів [3 - 6].

За фізичними явищами в основі принципу дії ВП розрізняють наступні категорії класифікації:

– механічні: з пружним чутливим елементом, дросельні (обмежувальні), ротаметричні (для вимірювання витрат речовини), об'ємні, поплавкові, швидкісні, вібраційні тощо;

– електричні: напруга, струм, ємність, імпеданс, потужність, витрати енергії тощо;

– електромеханічні: тензорезистивні, манометричні тощо;

– електрохімічні: кондуктометричні (дослідження хімічного складу електричними методами), потенціометричні (на основі визначення хімічних потенціалів), полярографічні (основані на кінетиці хімічних процесів) тощо;

– теплові: термоелектричні, термомеханічні, термокондуктометричні, радіаційні тощо;

– оптичні: фотоколометричні, рефрактометричні, оптико-акустичні, нефелометричні (основані на параметрах світлового потоку) тощо;

– електронні: лазери, помножувачі, фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори тощо;

– іонізаційні: індукційні, хроматографічні, радіоізотопні, магнітні тощо.

За видом енергії, що використовується, ВП можна поділити на:

– механічні;

– електричні та електромагнітні;

– теплові;

– пневматичні та гідравлічні;

– ядерного розпаду.

Залежно від виду перетворення сигналів на вході у сигнали на виході вимірювальні перетворювачі поділяють на групи, в яких відбувається перетворення:

А) неенергетичних величин на неенергетичні;

Б) неенергетичних величин на енергетичні (зокрема, на електричні);

В) енергетичних (зокрема, електричних) величин на неенергетичні;

Г) енергетичних (зокрема, електричних) величин в енергетичні (зокрема, на електричні).

Тут слід визначитись, які характеристики слід віднести до енергетичних, а які – до неенергетичних.

До неенергетичних (умовно неенергетичних) параметрів будемо відносити: лінійні і кутові величини, швидкість, прискорення, масу, щільність та коефіцієнти розширення (стиснення) матеріалу, частоту коливань, оптичні коефіцієнти відбиття та заломлення і т.і.

Всі інші характеристики (сили, напруження, в'язкість та поверхневий натяг рідин, електричні величини тощо) тісно пов'язані з енергетичними явищами.

За формою представлення інформації розрізняють перетворювачі:

– аналогові, які перетворюють аналоговий вхідний сигнал на аналогову величину на виході;

– аналогово-цифрові, призначені для перетворення аналогового вхідного вимірюваного сигналу на дискретну величину на виході;

– *цифрово-аналогові*, в яких інформація вхідного дискретного (цифрового) виду реєстрації перетворюється на аналогову форму.

За характером функції перетворення вимірювальні перетворювачі поділяють на чотири групи:

- *масштабні*, що пропорційно змінюють в певну кількість разів розмір вхідної величини без зміни її фізичної природи;
- *функціональні*, що нелінійно однозначно перетворюють вхідну величину зі зміною її природи або без зміни;
- *операційні*, які виконують над вхідною величиною математичні операції вищого порядку, наприклад, диференціювання чи інтегрування;
- *модельні* за аналогом – у випадку, якщо роль перетворювача виконує цифрова модель.

За роллю при перетворенні виділяють:

– *первинні вимірювальні перетворювачі – датчики (давачі)*, які безпосередньо пов'язані з об'єктом вимірювання, отримують і передають до вимірювального ланцюга сигнали вимірювальної інформації. *Конструктивно такий ВП зазвичай технічно відокремлюють*. Прикладом такого первинного вимірювального перетворювача може служити термопара для вимірювання температури;

– *проміжні вимірювальні перетворювачі*, які конструктивно розміщені після первинних перетворювачів. Прикладом проміжного вимірювального перетворювача може служити підсилювач електричного потенціалу термопари.

За видом сигналів на виході розрізняють перетворювачі із сигналом:

- природним;
- уніфікованим.

Перші являють собою пристрої, в яких здійснюється первинне перетворення природної вимірюваної фізичної величини.

При необхідності передачі сигналів на великі відстані, зазвичай, з використанням ЕОМ використовують перетворювачі природних сигналів в *уніфіковані* шляхом застосування спеціальних *нормувальних* перетворювачів.

Окрему групу складають перетворювачі з *дискретним релейним сигналом*, які мають на виході контактну групу, що змінює свій стан (наприклад, «0» або «1») при досягненні вимірюваною величиною заданого значення. Їх використовують для позиційного регулювання та сигналізації.

Відповідно **до методу вимірювання вхідної величини** виділяють ВП:

– *прямої дії*, за допомогою яких можна отримати значення вимірюваної величини безпосередньо на відліковому пристрої (*приклад*: рідинний термометр);

– *порівняння*, за допомогою яких значення вимірюваної величини можна отримати шляхом порівняння з відомою величиною, що відповідає її мірі (*приклад*: важільні ваги).

В узгодженості з наведеним класифікаційним переліком **за видом структурної схеми** виділяють вимірювальні перетворювачі (рисунок 1.1): прямого однократного перетворення; послідовного прямого перетворення; зі зворотним зв'язком (компенсаційна схема); диференціальні.

Структурна схема прямого одноразового перетворення реалізується в багатьох перетворювачах з природними вихідними сигналами, наприклад, в термопарах, давачах тиску, переміщення або підсилення, в яких вимірювана величина перетворюється безпосередньо в електричний сигнал.

В тих випадках, коли первинне перетворення не дозволяє отримати зручний або потрібний для подальшого використання сигнал, використовують *структурні схеми з декількома послідовними перетворювачами*, наприклад, у ситуаціях отримання уніфікованого сигналу на виході, при перетворенні неелектричної величини на електричну.

Тут сумарний коефіцієнт перетворення (загальна чутливість), який дорівнює добутку коефіцієнтів перетворення окремих ланок ВП, можна отримати досить високим, але при цьому збільшується загальна похибка перетворення, тому що вона дорівнює сумі похибок ланок, що складають ВП.

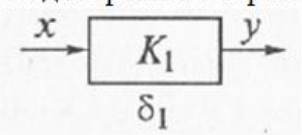
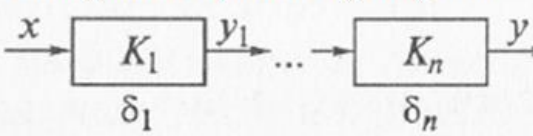
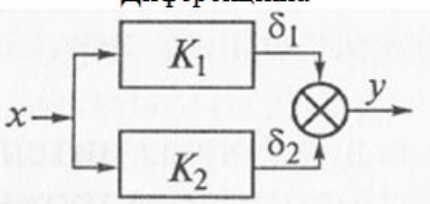
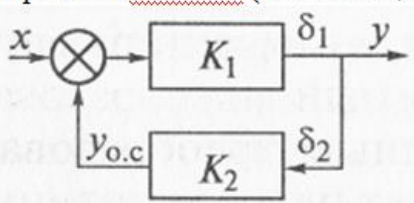
Тип схеми	Статична характеристика	Погрішність перетворення
<p>Прямого однократного перетворення</p> 	$y = K_1 x$	$\delta_n = \delta_1$
<p>Послідовного прямого перетворення</p> 	$y = \prod_{i=1}^n K_i x$	$\delta_n = \sum_{i=1}^n \delta_i$
<p>Диференціальна</p> 	$y = (K_1 - K_2)x$	$\delta_n = \delta_1 \frac{K_1}{K_1 + K_2} + \delta_2 \frac{K_2}{K_1 + K_2}$
<p>Зі зворотним зв'язком (компенсаційна)</p> 	$y = \frac{K_1}{1 + K_1 K_2} x$	$\delta_n = \delta_1 \frac{1}{1 + K_1 K_2} - \delta_2 \frac{1}{1 + 1/(K_1 K_2)}$

Рисунок 1.1 – Базові структурні схеми вимірювальних перетворювачів [5]: x – вимірювана величина; y – вихідна величина; δ_i – похибка ланки перетворювача; δ_n – загальна похибка перетворювача; K_i – коефіцієнт перетворення ланки.

В давачах, які побудовані за диференціальною схемою, вимірювана величина подається одночасно на два ідентичних вимірювальних перетворювачі. Тоді сигнал на виході стає пропорційним алгебраїчній сумі сигналів кожного з каналів.

Найбільш досконалою схемою є схема ВП зі зворотним зв'язком, або компенсаційна схема. В давачах, побудованих за цією схемою, автоматично забезпечується рівновага контрольованої величини, яка компенсується величиною того ж роду безпосередньо або після попереднього перетворення.

За допомогою вимірювальних перетворювачів (давачів, або датчиків) відбувається перетворення характеристик фізичного явища на інформацію, яку має сприйняти вимірювальний прилад. Форма представлення такої інформації зветься «сигналом».

У залежності від особливостей вимірювань може бути поставлене завдання щодо визначення типу сигналів та інформації з них, наприклад, про стан об'єкту, швидкість його зміни, рівень, форму, частоту тощо.

В узгодженості з формою представлення інформації **сигнали поділяють на два типи:**

- аналогові;
- дискретні (цифрові).

Інформація в *аналоговому сигналі* міститься у його рівні, формі і частоті, які можуть приймати будь-які значення.

Дискретні (цифрові) сигнали зазвичай мають два можливих стани: «включено» (високий рівень напруги, наприклад, 2...8 В) і «вимкнено» (низький рівень напруги, наприклад, 0...0,8 В). *Інформація в дискретному сигналі* міститься тільки у двох параметрах: стан (рівень) і швидкість зміни – частота.

Структурні схеми реальних ВП можуть являти собою будь-яку комбінацію з розглянутих вище типових структур.

Проміжні перетворювачі можуть виконувати функції підсилення, лінеаризації, перетворення роду сигналу й ін.

Для того щоб за допомогою існуючих засобів можна було формувати складні інформаційні системи, необхідно, забезпечити інформаційну сумісність технічних засобів, що використовуються, тобто *узгодження сигналів* – процеси вимірювання і управління сигналами з метою поліпшення точності, створення розв'язок, фільтрації і т.д.

У зв'язку з узгодженням сигналів за характером перетворення вхідної величини на вихідну величину *електричної природи* розрізняють вимірювальні перетворювачі:

- *параметричні*, які перетворюють неелектричні вхідні величини (переміщення, силу, тиск, температуру та ін.) в параметри електричного кола: опір R , індуктивність L , ємність C , взаємодукцію M , частоту f тощо. Для живлення таких перетворювачів потрібні зовнішні джерела енергії;

- *генераторні*, які перетворюють вхідні величини в електрорушійну силу (е.р.с.). Вони не потребують енергії додаткових джерел живлення, оскільки використовують енергію вхідного сигналу. За цією категорією найбільшого поширення набули індукційні, термоелектричні, п'єзоелектричні, фотоелектричні перетворювачі;

- *частотні* – бувають позиційні і коливальні. *Позиційні частотні перетворювачі* мають, наприклад, укріплений на осі ротора об'єкта профільований диск, який при своєму обертанні генерує сигнал на вході або модулює (певним чином змінює) сигнал на виході параметричного перетворювача. *У коливальних частотних перетворювачах* використовуються властивості коливальних систем різної фізичної природи (електронний генератор стандартних та/або звукових сигналів; програмні продукти; метроном (маятник), електромеханічні пристрої; механічні носії інформації типу запису на платівці тощо);

- *фазові* – перетворюють вхідну величину на фазовий зсув вихідної змінної напруги. Відлік фазового зсуву ведеться від опорної напруги, за яку найчастіше береться напруга живлення. Використовуються фазові перетворювачі для вимірювання як електричних, так і неелектричних величин.

Порядок виконання роботи студентом.

1. Отримує від викладача перелік вимірювальних перетворювачів фізичних геометричних величин, які (в рамках ділової гри) представляє за формою таблиці 1.5.

2. Знаходить в лекційних матеріалах та/або інших інформаційних джерелах загальний вигляд та/або схему контрольних засобів вимірювань, до складу яких входять означені вимірювальні перетворювачі.

3. Відображує вказані ілюстрації при формуванні звіту з обов'язковим посиланням на використані джерела інформації.

4. Визначає класифікаційні ознаки перетворювачів за вказаним переліком та відображує результати аналізу у відповідних стовпчиках табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Визначення класифікаційних ознак вимірювальних перетворювачів геометричних величин (з прикладом виконання)

№№ з.п.	Ознака класифікації вимірювальних перетворювачів (ВП)	Вид в рамках класифікаційної ознаки для перелічених вимірювальних перетворювачів (приклад)				
		Глибиномір мікрометричний	Рівень рідинний	Екстензометр Джохансона	Профілометр	Дальномір радіаційний
1	Фізичні явища в основі дії ВП	Обмежувальний (дросельний)				
2	Вид енергії	Механічний				
3	Вид перетворення сигналу	неенергетична величина на неенергетичну (А)				
4	Стаціонарність основного режиму перетворення*	Стаціонарний				
5	Характер перетворення вхідної величини на <i>енергетичну</i> вихідну величину**	-				
6	Форма представлення інформації	Аналогова				
7	Метод вимірювання вхідної величини	Прямої дії				
8	Характер функції перетворення	Масштабна				
9	Роль при перетворенні	Первинний				
<i>Закінчення табл. 1.5</i>						
10	Вид вихідних сигналів**	-				

11	Вид структурної схеми	Пряме однократне перетворення				
<i>Примітки:</i> * стаціонарний чи динамічний; **для ВП з вихідною енергетичною величиною.						

5. Представляє звіт з роботи, що виконана, та наводить висновки відмічаючи: а) актуальність; б) зміст виконання; в) коротко – отримані результати; г) корисність.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 3...4 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи: здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Практична робота № 3 «Визначення класифікаційних ознак віртуальних перетворювачів температури та параметрів витрат»

Мета: опанування прийомами щодо визначення класифікаційних ознак вимірювальних перетворювачів (ВП).

Суть розробки: наведення класифікаційних ознак вимірювальних перетворювачів з вимірювань температури та параметрів витрат речовини та рідини за переліком, що наданий викладачем (керівником роботи).

Предметна сфера розробки: метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

Загальні теоретичні положення – представлені в аналогічному розділі інструкції з виконання практичної роботи № 2.

Порядок виконання роботи студентом.

1. Отримує від викладача перелік вимірювальних перетворювачів фізичних величин, які в рамках ділової гри представляє за формою таблиці 1.6.

2. Знаходить в лекційних матеріалах та/або інших інформаційних джерелах загальний вигляд та/або схеми контрольних засобів вимірювань, до складу яких входять означені вимірювальні перетворювачі.

3. Відображує вказані ілюстрації при формуванні звіту з обов'язковим посиланням на використані джерела інформації.

4. Визначає класифікаційні ознаки перетворювачів за вказаним переліком та відображує результати аналізу у відповідних стовпчиках табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Визначення класифікаційних ознак вимірювальних перетворювачів геометричних величин (з прикладом виконання)

№№ з.п.	Ознака класифікації вимірювальних перетворювачів (ВП)	Вид в рамках класифікаційної ознаки для перелічених вимірювальних перетворювачів (приклад)				
		Термометр ртутний	Інерційний (ударний) витратомір сипучих речовин	Поплавковий пружинний витратомір	Вискозіметр ротаційний	Лічильник води побутовий
1	Фізичні явища в основі дії ВП	Об'ємні				
2	Вид енергії	Теплова				
3	Вид перетворення сигналу	Енергетичні на неенергетичні (В)				
4	Стаціонарність основного режиму перетворення*	Стаціонарний				
5	Характер перетворення вхідної величини на енергетичну вихідну величину**	-				
6	Форма представлення інформації	Аналогово-цифрова				
7	Метод вимірювання вхідної величини	Прямої дії				
8	Характер функції перетворення	Функціональний				
9	Роль при перетворенні	Первинний				

Закінчення табл. 1.6

10	Вид вихідних сигналів**	-				
11	Вид структурної схеми	Пряме однократне перетворення				
<i>Примітки:</i> * стаціонарний чи динамічний; **для ВП з вихідною енергетичною величиною.						

5. Представляє звіт з роботи, що виконана, та наводить висновки відмічаючи: а) актуальність; б) зміст виконання; в) коротко – отримані результати; г) корисність.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 3...4 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи: здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Практична робота № 4

«Визначення класифікаційних ознак віртуальних перетворювачів електричних та електромагнітних величин»

Мета: опанування прийомами щодо визначення класифікаційних ознак вимірювальних перетворювачів (ВП).

Суть розробки: наведення класифікаційних ознак вимірювальних перетворювачів електричних та електромагнітних величин за переліком, що наданий викладачем (керівником роботи).

Предметна сфера розробки: метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

Загальні теоретичні положення – представлені в аналогічному розділі інструкції з виконання практичної роботи № 2.

Додатково для виконання завдань наявної роботи доречно знати певні правила позначення принципу дії електровимірювальних контрольних приладів (таблиця 1.7) та особливості їх застосування (таблиця 1.8) [1].

Порядок виконання роботи студентом

1. Отримує від викладача перелік вимірювальних перетворювачів фізичних геометричних величин, які в рамках ділової гри представляє за формою таблиці 1.9.

2. Знаходить в лекційних матеріалах та/або інших інформаційних джерелах загальний вигляд та/або схеми контрольних засобів вимірювань, до складу яких входять означені вимірювальні перетворювачі.

3. Відображує вказані ілюстрації при формуванні звіту з обов'язковим посиланням на використані джерела інформації.

Таблиця 1.7 – Позначення принципу дії електровимірювального приладу

Назва системи та перетворювача	Умовне позначення	
	Вимірювальний механізм з механічним створенням МПР	Логометричний вимірювальний механізм
Магнітоелектричний пристрій з рухомою рамкою		
Електромагнітна система		
Електродинамічна система		
Феродинамічна система		
Індукційна система		
Магнітоелектрична система з випрямлячем		
Електростатична система		
Вібраційна система		
Термоелектрична з контактним термоперетворювачем		
Термоелектрична з ізольованим термоперетворювачем		

Таблиця 1.8 – Умовні позначення роду струму, числа фаз, класу точності контрольно-вимірювального приладу

Умовне позначення	Розшифровка умовного позначення
—	Постійний струм
⎓	Постійний і змінний струм
~	Змінний струм
≡	Трьохфазний струм
1,5	Клас точності 1,5

4. Визначає класифікаційні ознаки перетворювачів за вказаним переліком та відображує результати аналізу у табл. 1.9.

5. Представляє звіт з роботи, що виконана, та наводить висновки відмічаючи: а) актуальність; б) зміст виконання; в) тримані результати; г) корисність.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Таблиця 1.9 – Визначення класифікаційних ознак вимірювальних перетворювачів геометричних величин (з прикладом виконання)

№№ з.п.	Ознака класифікації вимірювальних перетворювачів (ВП)	Вид в рамках класифікаційної ознаки для перелічених вимірювальних перетворювачів (приклад)				
		Резисторний перетворювач	Ємнісний перетворювач	Фотодіод	Амперметр електромагнітної системи	Тензоіндуктивний перетворювач
1	Фізичні явища в основі дії ВП	Електро механічні				
2	Вид енергії	Електрична				
3	Вид перетворення сигналу	Неенергетичний на енергетичний (Б)				
4	Стаціонарність основного режиму перетворення*	Стаціонарний				
5	Характер перетворення вхідної величини на <i>енергетичну</i> вихідну величину**	Функціональний				
6	Форма представлення інформації	Аналогова				
7	Метод вимірювання вхідної величини	Прямої дії				

Закінчення табл. 1.9

8	Характер функції перетворення	Параметричний				
9	Роль при перетворенні	Первинний перетворювач				
10	Вид вихідних сигналів**	Природний				
11	Вид структурної схеми	Пряме однократне перетворення				
Примітки: * стаціонарний чи динамічний; **для ВП з вихідною енергетичною величиною.						

Обсяг пояснювальної записки – 3...4 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи: здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

2.2 Навчально-методичні рекомендації до лабораторних занять

Лабораторна робота № 1

«Групування за видами вимірювань засобів вимірювань в лабораторії кафедри СЯСМ»

Мета: опанування складовими класифікації засобів вимірювань.

Суть розробки: компонування за ознаками *сфери застосування* у групи: «Елементарні ЗВ» і «Комплексні ЗВ», - та за конструктивними і функціональними ознаками: «Вид вимірюваної величини (на вході вимірювального перетворювача)» та «Вид перетворення фізичної величини на вході вимірювального перетворювача на фізичну величину на його виході» для засобів вимірювань, які використовуються в лабораторії кафедри Систем якості, стандартизації та метрології (СЯСМ).

Предметна сфера розробки: метрологічне забезпечення діяльності організації.

Загальні теоретичні положення.

За *конструктивною реалізацією* різновиди ЗВ відображуються рисунком 1.2.

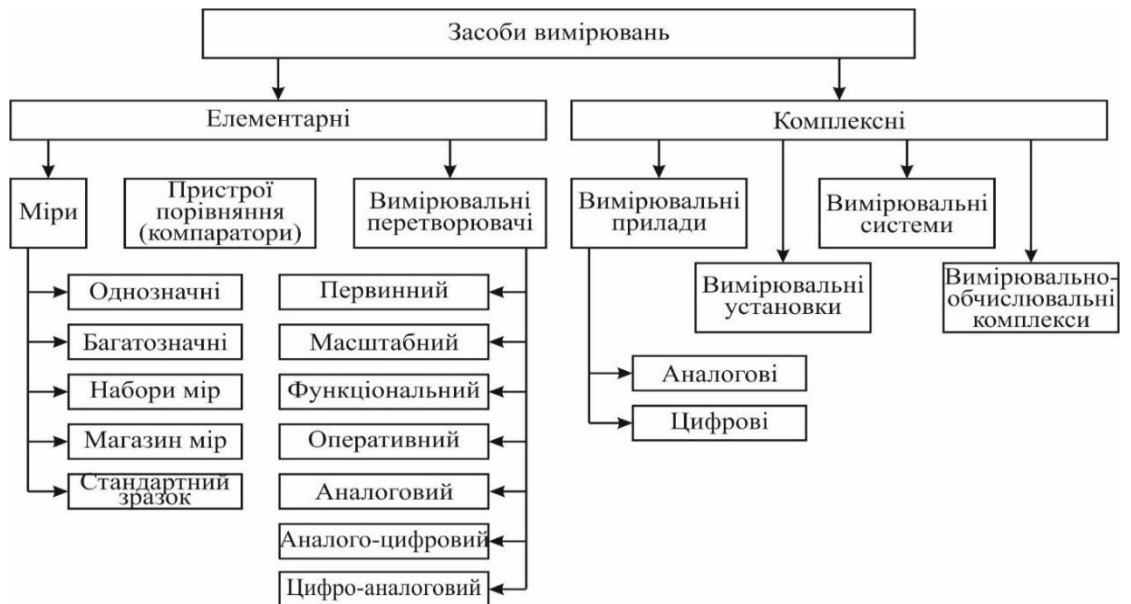


Рисунок 1.2 – Різновиди засобів вимірювань за їх конструктивною реалізацією [1]

Елементарні ЗВ використовують для вимірювань і контролю в якості еталонів, а також – як *компаратори* (засоби порівняння). Серед них виділяють *міри* і *калібри*.

Мірою називається засіб вимірювання, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру (значення). Вони займають проміжне положення між еталонами і робочими засобами вимірювань.

Виділяють: однозначні міри; багатозначні міри; набори мір.

При використанні мір об'єкт вимірювання порівнюють з мірою за допомогою *компараторів*.

Калібри (шаблони) – це безшкальний засіб вимірювальної техніки, який відтворює геометричні параметри елементів виробу, що визначаються заданими граничними лінійними чи кутовими розмірами, і який при контролі контактує з елементом виробу.

Універсальні засоби вимірювання призначені для визначення реальних характеристик об'єктів у різних сферах їх функціонування.

Будь-який універсальний вимірювальний засіб характеризується призначенням, принципом, покладеним в основу його функціонування, особливостями конструкції і метрологічними характеристиками.

До універсальних засобів вимірювань відносять:

- вимірювальні перетворювачі;
- вимірювальні прилади та контрольно-вимірювальні прилади;
- вимірювальні установки та вимірювальні системи.

Узагальнююче поняття «засіб вимірювання» включає окремі наступні складові.

Вимірювальними перетворювачами (ВП) називають засоби (або елементи засобів) вимірювань, які перетворюють вимірювану величину у сигнали, форма яких є зручною для передачі, подальшого перетворення, обробки та зберігання, але які не призначені для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

Вимірювальний прилад (ВП) – це засіб (або елемент засобу) вимірювання, який зазвичай з'єднується з вимірювальним перетворювачем та забезпечує у фіксованому діапазоні реєстрацію значення фізичної величини у формі, що є зрозумілою для сприйняття спостерігачем. Конструкція такого приладу, як правило, включає пристрій індикації.

Вимірювальною установкою (ВУ) називається сукупність функціонально і конструктивно об'єднаних засобів вимірювань та допоміжних пристроїв, призначених для раціональної організації вимірювань. Вимірювальна установка повинна забезпечити реалізацію певного методу вимірювання та попереднього оцінювання похибки.

У повсякденній практиці має місце певна неоднозначність: «приладом» або «вимірювальним приладом» часто називають конструктивно об'єднані «вимірювальний перетворювач» та «вимірювальний прилад», що згідно з наведеними вище ознаками є саме «вимірювальною установкою».

Такі засоби вимірювань правильно називати: контрольнo-вимірювальними приладами (КВП)

Вимірювальна система (ВС) являє собою сукупність засобів вимірювальної техніки та допоміжних пристроїв, призначених для автоматичного збору інформації від ряду джерел з багаторазовим використанням вимірювальних перетворювачів, передачі вимірювальної інформації на певні відстані по вимірювальних каналах (каналах зв'язку) і представлення її у необхідному вигляді, зокрема, для застосування в автоматичних системах управління.

Основними «споживчими» ознаками функціонування ЗВ є:

- вид вимірюваної величини на вході ВП (геометричні параметри; температура; в'язкість тощо);
- вид групи перетворення фізичної величини на вході ВП на фізичну величину на його виході: А) неенергетичні на неенергетичні; Б) неенергетичні на енергетичні; В) енергетичні на неенергетичні; Г) енергетичні на енергетичні.

Заходи безпеки.

Перед початком лабораторної роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому з урахуванням предмету вивчення представляє наступне.

1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ.

1.1 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.

1.2 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.

1.3 Слід перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.

1.4 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.

1.7 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху виключити пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).

1.8 Перевірити установку вимірювальних приладів на «0».

ПОПЕРЕДЖЕННЯ: вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) **ЗАБОРОНЕНО**.

2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

2.0 У будь-який момент виконання роботи при сигналі «Повітряна тривога» виключити все обладнання, електричне освітлення та під керівництвом викладача (керівника) організовано спуститися до укриття. Перебувати в укритті до закінчення тривоги.

2.1 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.

2.2 **ЗАБОРОНЕНО:**

2.2.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;

2.2.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.

2.3 **ЗАБОРОНЕНО** будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.

2.4 **ЗАБОРОНЕНО** студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.

2.5 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку слід відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).

2.6 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормально допустимого, появи сторонніх звуків, порушенні нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.7 **ЗАБОРОНЕНО** торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних установок.

3.2 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.3 Привести у порядок лабораторну установку.

3.4 Прибрати робоче місце.

3.5 Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

Порядок виконання роботи студентом.

1. Отримує інструктаж з техніки безпеки.

2. В лабораторії кафедри СЯСМ знайомиться з наявними засобами вимірювань.

3. Знаходить проміж наявних засобів вимірювань ті, що відносяться до мір і калібрів та універсальних ЗВ.

4. Представляє перелік *конкретних* мір (окремо: однозначні, багатозначні, набори мір, магазини мір) і калібрів з поясненням їх функціонального призначення.

5. Визначає перелік груп *конкретних* універсальних засобів вимірювань з поясненням функціонального призначення та визначення *для 5...10 кожної з них* «Виду вимірюваної величини (на вході ЗВ)» та «Виду перетворення фізичної величини на вході вимірювального перетворювача на фізичну величину на його виході», представляючи ці дані за формою таблиці 1.10.

6. Робить висновки та представляє звіт з роботи, що виконана, відмічаючи: а) актуальність; б) зміст виконання; в) коротко – отримані результати; г) корисність.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Таблиця 1.10 – Характеристика універсальних засобів вимірювань (з прикладом виконання)

№ з.п.	Назва ЗВ	Група вимірювань параметрів	Вид вимірюваної величини на вході ЗВ	Вид перетворення фізичної величини на вході ЗВ на фізичну величину на його виході	Примітки
1	Термопара	Енергетичні	Температура	Енергетичні на енергетичні (Г)	
2	Ваги пружинні	Маса	Вага	Енергетична на неенергетичну (Б)	
...					

Обсяг пояснювальної записки – 4...5 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи: здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується у заключній оцінці з дисципліни.

Лабораторна робота № 2

«Властивості перетворювачів у засобах вимірювань механічних величин»

Мета: розвиток вміння ідентифікувати складові засобів вимірювань, зокрема, *вимірювальних перетворювачів* у складі засобів вимірювань механічних величин.

Суть розробки: визначення конструктивних меж складових засобів вимірювань механічних фізичних величин, зокрема, *вимірювальних перетворювачів* за видом реальних інструментів з лабораторії кафедри СЯСМ та їх зображень на схемах.

Предметна сфера розробки: метрологічне забезпечення діяльності організації.

Загальні теоретичні положення (з урахуванням та на додаток до матеріалів, представлених у відповідному розділі лабораторної роботи № 1).

Пристрої індикації вимірювальних приладів поділяють на ті, що показують, і ті, що реєструють [1, 2, 5].

Відліковий пристрій – це конструктивно відокремлена частина засобу вимірювання, яка призначена для індикації показань.

Відлікові пристрої поділяються на шкальні (включають у себе шкалу і покажчик); цифрові; реєструючі.

Шкала – це система позначок і відповідних їм послідовних числових значень вимірюваної величини. Головні характеристики шкали:

– діапазон вимірювань (область значень величин, в межах якої встановлена нормована гранично допустима похибка приладу);

– кількість поділок на шкалі;

– довжина поділки (відстань між сусідніми відмітками даної шкали);

– ціна поділки (різниця між значеннями двох сусідніх значень на даній шкалі);

– діапазон показань (область значень шкали, нижньою межею якої є початкове значення цієї шкали, а верхньою - кінцеве значення даної шкали);

– межі вимірювань (мінімальне і максимальне значення діапазону вимірювань).

Виділяють *наступні види шкал*:

– одностороння (в якій нуль розташовується в її початку);

– двостороння (в якій нуль розташовується не в її початку);

– симетрична (в якій нуль розташовується в її центрі);

– безнульова (яка починається не з нуля).

Вимірювальна (вимірювально-інформаційна) система (ВІС) являє собою сукупність засобів вимірювальної техніки та допоміжних пристроїв, призначених для автоматичного збору інформації від ряду джерел з багаторазовим використанням вимірювальних перетворювачів, передачі вимірювальної інформації на певні відстані по вимірювальних каналах (каналах зв'язку) і представлення її у необхідному вигляді, зокрема, для застосування в автоматичних системах управління.

На відміну від вимірювальної установки, *складові вимірювальної системи* можуть перебувати у різних частинах простору для вимірювання певного числа фізичних величин в цьому просторі.

Вимірювальний канал вимірювальної системи – це технічно або функціонально відокремлена частина вимірювальної системи, призначена для виконання певної функції (наприклад, для сприйняття вимірюваної величини або для отримання числа або коду, що є результатом вимірів цієї величини).

Виділяють:

– *прості вимірювальні канали* (в яких використовується прямий метод вимірювань, що реалізується за допомогою упорядкованих вимірювальних перетворень);

– *складні вимірювальні канали* (об'єднання декількох простих вимірювальних каналів; сигнали з виходу яких використовуються для непрямих, сукупних або спільних вимірювань або для перетворення отриманого сигналу пропорційно результату вимірювань).

Вимірювальний компонент вимірювальної системи – це узагальнюючий термін для позначення засобу вимірювань, що має окремо нормовані метрологічні характеристики. Прикладом вимірювального компонента вимірювальної системи можуть бути вимірювальний перетворювач, вимірювальний прилад, аналогові обчислювальні пристрої та/або ін.

Вимірювальні компоненти вимірювальних систем бувають наступних видів [1, 2, 5].

Сполучний компонент – це технічний прилад або елемент навколишнього середовища, який застосовується з метою обміну сигналами, що містять відомості про вимірювану величину, між компонентами вимірювальної системи з мінімально можливими спотвореннями. Прикладом сполучного компонента може служити телефонна лінія, високовольтна лінія електропередачі, перехідні пристрої і т.д.

Обчислювальний компонент – це цифровий або аналоговий пристрій (частина такого пристрою), призначений для виконання обчислень, з встановленим програмним забезпеченням. Обчислювальний компонент застосовується для обчислення результатів вимірювань (прямих, непрямих, спільних, сукупних), які представляють собою число, сигнал або відповідний код, а обчислення проводяться за підсумками первинних перетворень в вимірювальній системі. Обчислювальний компонент може виконувати також логічні операції і узгодження роботи складових вимірювальної системи.

Комплексний компонент – це складова частина вимірювальної системи, що представляє собою технічно або територіально об'єднану сукупність компонентів. Комплексний компонент завершує вимірювальні перетворення, а також обчислювальні і логічні операції, які затверджені в прийнятому алгоритмі обробки результатів вимірювань.

Допоміжний компонент – це технічний прилад, призначений для забезпечення нормального функціонування вимірювальної системи, але не приймає участі в процесі вимірювальних перетворень.

Вимірювально-обчислювальні комплекси представляють із себе об'єднання вимірювальних систем, які мінімізують участь людини у складних процесах вимірювання, обробки інформації та передачі її для управління процесами. Прикладом може бути комплекс управління космічними апаратами.

Для адекватного застосування ЗВ слід розуміти їх склад та функції складових.

Однією із базових характеристик ЗВ є спрямованість на вимірювання параметрів певної фізичної величини на вході ВП (геометричні параметри; температура; в'язкість тощо) [1].

Фізична величина – властивість, спільна в якісному відношенні для багатьох фізичних об'єктів (фізичних систем, їхніх станів і процесів, що в них відбуваються) та індивідуальна в кількісному відношенні для кожного з них.

Фізична величина може бути кількісно визначена (виміряна) [1, 2, 6].

В рамках кожної системи фізичних величин розрізняють основні та похідні фізичні величини.

Основна фізична величина – така, що входить у систему фізичних величин і прийнята за незалежну від інших величин цієї системи.

Похідна фізична величина – така, що входить у систему величин та визначається через основні величини цієї системи.

Крім того, виділяють розмірнісні та безрозмірнісні фізичні величини, квантовані (поділені на рівні за розміром частини, «кванти») та неперервні тощо [5].

Якісна означеність фізичної величини визначає її *рід*; величини з однаковою якісною означеністю є *однорідними* (наприклад, довжина, висота, відстань, діаметр).

Кількісний вміст фізичної величини у конкретному об'єкті є розміром цієї величини.

Числовим значенням фізичної величини називається число, що дорівнює відношенню розміру фізичної величини, що вимірюється, до розміру одиниці цієї фізичної величини чи кратної (частинної) одиниці.

Значенням фізичної величини називається відображення фізичної величини у вигляді числового значення величини з позначенням її одиниці. Значення фізичної величини можна отримати як результат обчислення або вимірювання.

Значення фізичної величини, знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинного значення, що його можна використати замість істинного для даної мети, називається *дійсним значенням фізичної величини*.

До роду механічних фізичних величин відносяться основні та похідні величини, які характеризують властивості масових тіл (рідин) та/або їх взаємодій.

Заходи безпеки.

<p><i>Перед початком лабораторної роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому з урахуванням предмету вивчення представляє наступне.</i></p>

1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1.1 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.

1.2 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.

1.3 Слід перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.

1.4 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.

1.7 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху виключити пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).

1.8 Перевірити установку вимірювальних приладів на «0».

ПОПЕРЕДЖЕННЯ: вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) **ЗАБОРОНЕНО**.

2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

2.0 У будь-який момент виконання роботи при сигналі «Повітряна тривога» виключити все обладнання, електричне освітлення та під керівництвом викладача (керівника) організовано спуститися до укриття. Перебувати в укритті до закінчення тривоги.

2.1 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.

2.2 **ЗАБОРОНЕНО:**

2.2.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;

2.2.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.

2.3 **ЗАБОРОНЕНО** будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.

2.4 **ЗАБОРОНЕНО** студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.

2.5 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).

2.6 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормально допустимого, появі сторонніх звуків, порушенні нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.7 **ЗАБОРОНЕНО** торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних установок.

3.2 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.3 Привести у порядок лабораторну установку.

3.4 Прибрати робоче місце.

3.6 Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

Порядок виконання роботи студентом.

1. Отримувати інструктаж з техніки безпеки.

2. Отримувати в лабораторії кафедри СЯСМ від керівника 3...5 реальних засобів вимірювань певних механічних величин, наприклад: мікрометр (рисунок 1.3), вимірювальна головка з індикатором годинникового типу (рисунок 1.4), мікроскоп (рисунок 1.5), ваги (рисунок 1.6), віскозіметр (рисунок 1.7) тощо та, за відсутності відповідних контрольних-вимірювальних приладів, – 2...3 схеми інших ЗВ, наприклад, гоніометр (рисунок 1.8), екстензометр (рисунок 1.9), трубка Бурдена (рисунок 1.10) тощо.

3. Визначає призначення наданих ЗВ для вимірювання роду фізичних величин, ідентифікує та характеризує призначення їх конкретних складових за формою таблиці 1.11.

4. Робить висновки та представляє звіт з роботи, що виконана, відмічаючи: а) актуальність; б) зміст виконання; в) коротко – отримані результати; г) корисність.

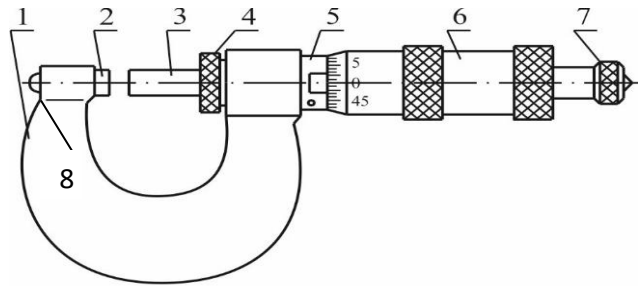


Рисунок 1.3 – Мікрометр [1]: 1 – скоба; 2 – п'ятка; 3 – мікрометричний гвинт; 4 – стопор; 5 – стебло; 6 – барабан; 7 – трицітка (фрикціон);

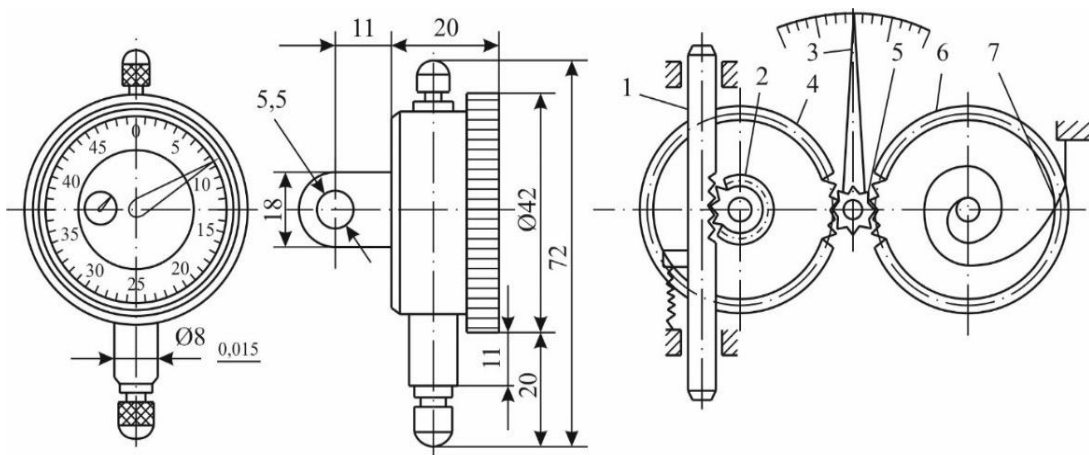


Рисунок 1.4 – Вимірювальна (індикаторна) головка [1]: 1 – стрижень з наконечником; 2, 4, 5, 6 – важільно-зубчаста передача; 3 – стрілка; 6 – пружина

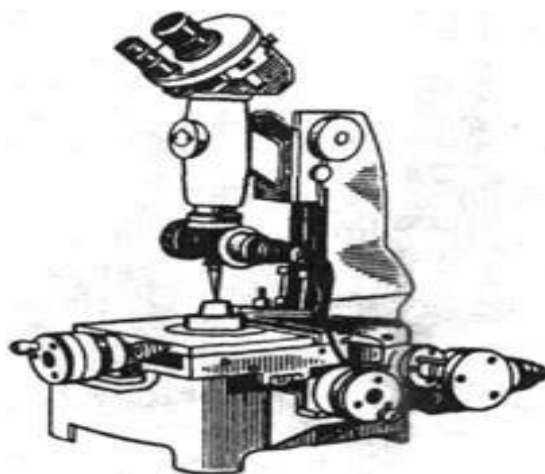


Рисунок 1.5 – Мікроскоп [1]



Рисунок 1.6 – Ваги важільні [1]

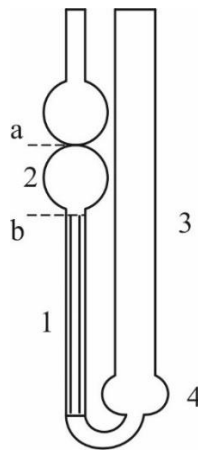


Рисунок 1.7 – Схема віскозіметра типу ВПЖ [1]: 1 – капілярна трубка; 2 – порожниста куля; 3 – широка трубка; 4 – резервуар

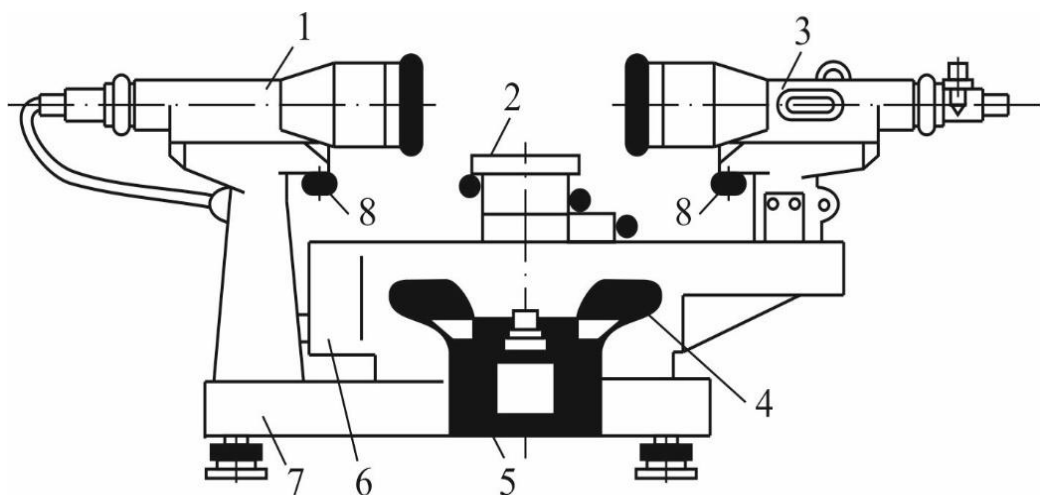


Рисунок 1.8 – Схема гоніометру [1]: 1 – коліатор; 2 – столик для розміщення деталі; 3 – зорова труба; 4 – лімб; 5 – вертикальна вісь; 6 – алідада (пересувна основа); 7 – підставка; 8 – юстувальні гвинти

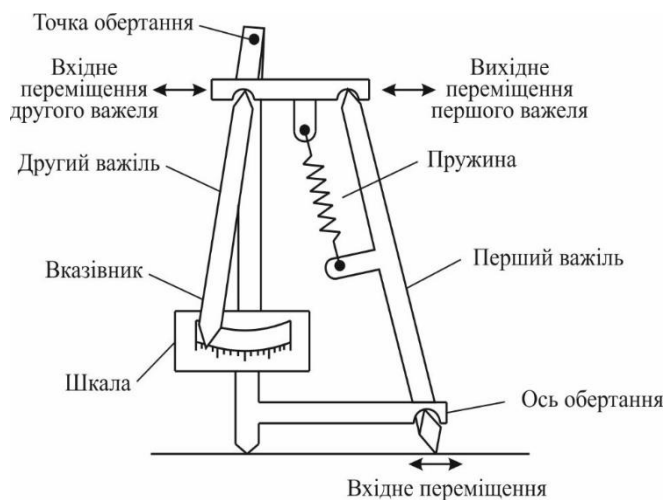


Рисунок 1.9 – Схема екстензометра конструкції Хагенбергера [1]

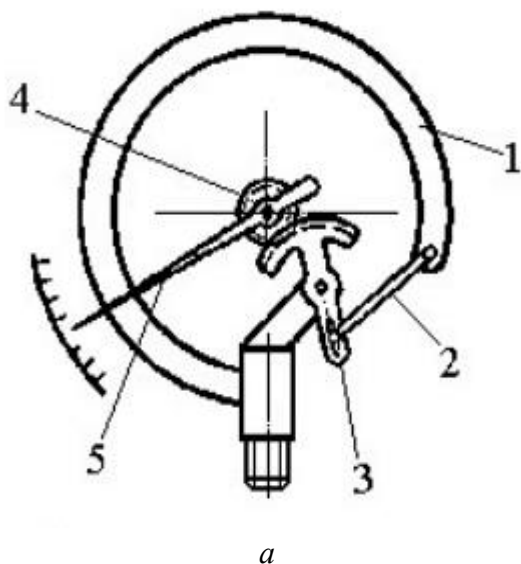


Рисунок 1.10 – Схема трубки Бурдена (а): 1 – трубка; 2 – тяга; 3, 4 – зубчастий механізм зі стрілкою 5; б – вигляд сильфонного вимірювального перетворювача [1]

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 4...5 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи: здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Таблиця 1.11 – Результати аналізу призначення складових засобів вимірювання механічних фізичних величин (з прикладом виконання)

№ з.п.	Засіб вимірювань	Рід фізичної величини	Складові засобу вимірювань											Примітки
			Вимірювальний перетворювач	Вимірювальний прилад	Тип пристрою індикації	Принцип індикації	Відліковий пристрій	Характеристика шкали						
								Діапазон	Вид	К-ть поділок	Довжина поділки	Ціна поділки		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Штангенциркуль*	Геометрична	Губки; глибиномір	Шкала з ноніусом	Показуючий	Візуальний	Шкальний	За фактом**	Одностороння	За фактом**	За фактом**	0,1 мм		
2														
...														

Примітки:
 * за рисунком 1.11;
 ** згідно з наданим ЗВ

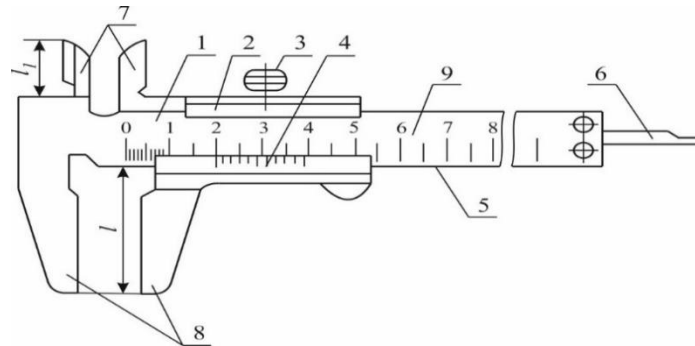


Рисунок 1.11 – Штангенциркуль [1]: 1 – штанга; 2 – рамка; 3 – затискаючий елемент; 4 – ноніус; 5 – шкала штанги; 6 – глибиномір; 7 – губки для внутрішнього вимірювання; 8 – губки для зовнішнього вимірювання; 9 – шкала штанги.

Лабораторна робота № 3

«Побудова градуовальної (статичної) характеристики терморпари»

Мета: опанування прийомами побудови градуовальної (статичної) характеристики засобів вимірювань.

Суть розробки: побудова градуовальної (статичної) характеристики терморпари.

Предметна сфера розробки: метрологічне забезпечення діяльності організації.

Загальні теоретичні положення (на додачу до матеріалів, що представлені в Лабораторній роботі № 1).

Найбільшою мірою, специфіка засобу вимірювання визначається особливостями його вимірювального перетворювача (ВП).

Обов'язковими властивостями вимірювального перетворювача є нормовані метрологічні властивості та конструктивне включення в ланцюг вимірювання засобу вимірювань.

Вимоги, що висуваються до вимірювальних перетворювачів.

Для успішного застосування вимірювальні перетворювачі повинні мати:

- високу статичну і динамічну точність роботи, що забезпечує формування вихідного сигналу з мінімальними спотвореннями;
- високу вибірковість — сенсор повинен реагувати лише на зміну тієї величини, для виміру якої він призначений;
- стабільність характеристик у часі;
- відсутність впливу навантаження у вихідному колі на режим роботи вхідного ланцюга;
- високу надійність при роботі в несприятливих умовах навколишнього середовища;
- повторюваність характеристик (взаємозамінність);
- просту і технологічну конструкцію;
- зручний монтаж та обслуговування;
- низьку вартість.

Вимірювальні перетворювачі мають розвинену класифікацію, узгоджену з класифікацією засобів вимірювань.

Одними з основних для вимірювальних перетворювачів є статичні та динамічні характеристики.

Статичними називають характеристики вимірювальних перетворювачів, що відповідають статичному режиму їх роботи, при якому перетворювана величина не змінюється (майже не змінюється) в часі, а тривалість перетворення достатня для загасання перехідного процесу у вимірювальному колі.

Як правило, вихідна величина Y на виході перетворювача залежить не тільки від вимірюваної величини X на вході, але й від інших впливаючих факторів, наприклад, температури навколишнього середовища, тиску, вібрації, напруги джерела живлення тощо. Однак у багатьох випадках функція перетворення є *одновимірною*, тобто пов'язує вихідну величину (сигнал) Y перетворювача тільки з однією вхідною X .

Функція $Y = F(X)$ називається *функцією перетворення*. Для деяких вимірювальних перетворювачів вона відома, а для інших її доводиться знаходити експериментально, тобто вдаватися до *градування вимірювальних перетворювачів*, під яким розуміють визначення залежності між значеннями величин на виході і вході засобу вимірювань.

Результати градування виражаються у вигляді таблиць, графіків або аналітично. Розрізняють номінальну (ідеальну) функцію перетворення [5]:

$$Y = F_n(X), \quad (1.20)$$

яка притаманна вимірювальному перетворювачу згідно з державними стандартами, технічними умовами та іншими нормативними документами, вказана в його паспорті і використовується при виконанні за його допомогою вимірювань, і реальну (дійсну, робочу) функцію перетворення:

$$Y = F_p(X), \quad (1.21)$$

яку має конкретний екземпляр вимірювального пристрою даного типу. Іноді саме останню ще називають *градувальною характеристикою вимірювального перетворювача*.

Для побудови градувальної характеристики певного вимірювального засобу, зокрема, вимірювального перетворювача проводять спеціальні експерименти.

Під час такої роботи *синхронно* змінюють і вимірюють величини на вході і виході вимірювального засобу, а результати представляють у вигляді таблиці, графіка (рисунок 1.12) або формули, яка апроксимує отримані дані.

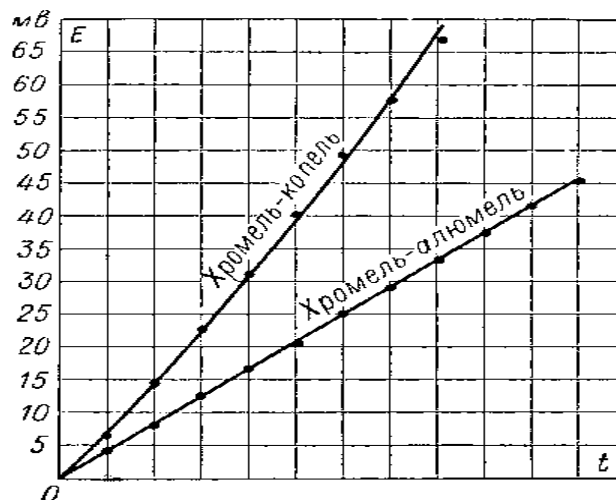


Рисунок 1.12 – Приклад вигляду градувальних характеристик хромель-копелевої та хромель-алюмелевої термопари [5]

Середню похибку апроксимації можна обчислити як середнє арифметичне абсолютних відхилень реальної функції перетворення від номінальної для n експериментальних точок:

$$\Delta Y_{\text{сер}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_p(X) - F_n(X)), \quad (1.22)$$

а розкид, або невизначеність оцінити за формулою середнього квадратичного відхилення.

$$S_{\Delta} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta Y_i - \Delta Y_{\text{сер}})^2}. \quad (1.23)$$

Статична характеристика може бути як лінійною (див. рис. 1.12), так і нелінійною, наприклад, логарифмічною, експоненціальною, степеневою тощо.

Термопари відносять до групи *електричних вимірювальних перетворювачів*, які призначені для вимірювання температури в діапазоні від -100 до 1000 °С і вище.

Вхідною величиною X_i термопари є температура t °С, а вихідною Y_i є термоелектрорушійна сила (т.е.д.с) з вимірюванням електричного параметру (напруги, струму або опору) у замкненому електричному ланцюзі. Але дослідника цікавлять не електричні величини, а значення температури в градусах. Тому проводять *градуювання* – присвоєння шкалі застосованого вимірювального приладу значення в градусах t °С.

У термопар первинним вимірювальним перетворювачем (датчиком) служить спай двох різнорідних провідників (рисунок 1.13), який при вимірюванні температури контактує з об'єктом вимірювання, а вторинним – застосований вимірюваний прилад.



Рисунок 1.13 – Схема хромель-алюмелевої термопари

Для виготовлення термопар використовують, головним чином, метали та їх сплави (наприклад, з хромелю та алюмелю (див. рис. 1.13), з платини і платино-родію та ін. Зокрема, термопара «Хромель-Алюмель (ТХА, тип К)» призначена, здебільшого, для вимірювання температури в муфельній печі (робочий діапазон – від -100 до +1000°С).

Також використовують термопари з напівпровідників. Хоча вони характеризуються більш високою чутливістю, але володіють великим внутрішнім опором і малою механічною міцністю, що зумовлює їх обмежене вживання.

При вимірюваннях (рисунок 1.14) вільним кінцям провідників забезпечуються термостатичні умови. За наявності різниці температур спаю та термостату в термопарі виникає термоелектрорушійна сила E_t (т.е.р.с.).

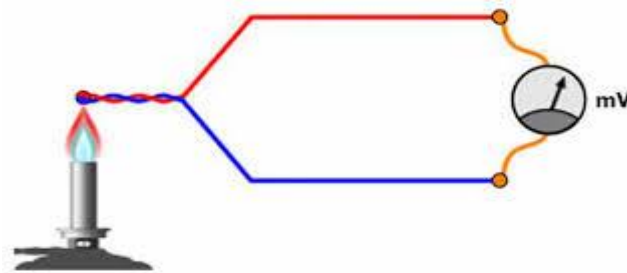


Рисунок 1.14 – Схема одноразового використання термопари при вимірюванні температури (на прикладі вимірювання температури полум'я)

Її величина зумовлена різницею $\Delta T = T_1 - T_2$ температур «гарячого» спаю T_1 і вільних кінців T_2 .

Термопара може підключатися до вимірювального приладу безпосередньо під клемми, або з використанням компенсаційного дроту.

Заходи безпеки.

Перед початком лабораторної роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому з урахуванням предмету вивчення представляє наступне.

1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ

1.1. Перед початком роботи необхідно оглянути робоче місце і привести його в порядок, впевнитись, що на ньому відсутні сторонні предмети.

1.2 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.

1.3 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.

1.4 Перш ніж починати роботу з електроприладами необхідно уважно вивчити інструкцію по експлуатації даного електроприладу.

1.5 При роботі з електроприладами треба дотримуватись цієї інструкції та інструкції з їх експлуатації.

1.6 Слід перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.

1.7 Електроприлади встановлюються тільки на стабільну поверхню в сухому приміщенні на відстані від приладів опалення та металевих комунікацій, які заземлені.

1.8 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.

1.9 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху виключити пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).

1.10 Електроприлади встановлювати тільки на стабільну поверхню в сухому приміщенні на відстані від приладів опалення та металевих комунікацій, які заземлені.

1.11 Перевірити установку вимірювальних приладів на «0».

1.12 Перед початком роботи необхідно пересвідчитись у справному стані електроприладів, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок та розеток, наявності заземлення.

1.13 Електроприлади вмикають тільки в електромережу змінного струму напругою 220 В.

1.14 Користуватись несправним устаткуванням або використовувати його не за прямим призначенням забороняється.

1.15 При виявленні будь-яких недоліків у стані обладнання необхідно доповісти керівнику структурного підрозділу або відповідальній особі.

ПОПЕРЕДЖЕННЯ: вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) **ЗАБОРОНЕНО.**

2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

2.1 У будь-який момент виконання роботи при сигналі «Повітряна тривога» виключити все обладнання, електричне освітлення та під керівництвом викладача (керівника) організовано спуститися до укриття. Перебувати в укритті до закінчення тривоги.

2.2 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.

2.3 Під час роботи не можна:

- піддавати прилади впливу дощу чи іншої вологи;*
- самостійно проводити їх розбирання чи ремонт;*
- блокувати вентиляційні отвори;*
- кидати електроприлади з висоти;*
- встановлювати на електроприлади сторонні предмети;*
- вмикати або вимикати електроприлади вологими руками.*

2.4 Якщо всередину електроприладу потрапила рідина чи сторонні предмети, його треба негайно вимкнути та віддати на перевірку до спеціаліста з ремонту.

2.5 ЗАБОРОНЕНО:

2.5.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;

2.5.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.

2.6 ЗАБОРОНЕНО будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.

2.7 ЗАБОРОНЕНО студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.

2.8 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).

2.9 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормально допустимого, появи сторонніх звуків та або запахів, порушені нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.10 ЗАБОРОНЕНО торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних та електричних установок та від'єднати їх від електромережі.

3.2 Виймаючи штепсельну вилку з розетки ні в якому разі не можна тягнути за шнур, тільки за вилку.

3.3 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.4 Необхідно прибрати своє робоче місце та привести у порядок лабораторну установку.

3.5 Прибрати робоче місце та при необхідності вимити руки з милом.

Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

ПРИМІТКА:

Якщо в процесі роботи були помічені недоліки в роботі лабораторної установка або електрообладнання, необхідно доповісти керівнику підрозділу або відповідальній особі.

Порядок виконання роботи студентом.

1. Отримує від викладача термопару та дані про її тип.

2. Знаходить за допомогою інформаційних джерел інформацію про її властивості (робочий діапазон вимірювань температури, чутливість тощо).

3. Визначає робочий діапазон вимірювального приладу, який має бути застосований при вимірюванні температури в діапазоні 20...100 °С.

4. Для побудови градуювальної характеристики термопарі використовує:

- нагрівальний прилад (наприклад, електричну піч із закритою спіраллю)
- стакан з термостійкого скла об'ємом 100 мл;
- ртутний термометр (з температурою вимірювань вище за 150 °С необхідного класу точності);
- термопару, під'єднану до вимірювального приладу (мілівольтметра або міліамперметра).

5. Виконує наступні дії:

- у стакан наливає воду на 0,6...0,8 його об'єму, розміщує в ньому ртутний термометр і ставить стакан на нагрівальний пристрій;
- занурює у воду в стакані спай термопарі;
- включає нагрівальний пристрій;
- вимірює через кожні 20 градусів до моменту кипіння води синхронні значення температури, що виміряна термометром, і відповідні електричні параметри, що виміряні за показами вимірювального приладу;
- отримані дані фіксує за формою таблиці 1.12;

Таблиця 1.12 – Результати вимірювань при градуюванні термопарі

№ серії	Результати вимірювань						Примітки
1	Температура, °С	20	40	60	80	100	
	Електричний параметр*						
2	Температура, °С	20	40	60	80	100	
	Електричний параметр*						
...	Температура, °С	20	40	60	80	100	
	Електричний параметр*	20	40	60	80	100	
Середні значення	Температура, °С						За фактом
	Електричний параметр*						
*Примітка: конкретизувати з відповідною розмірністю.							

- експеримент проводить аналогічним чином 3...5 разів;
- розраховує середні значення параметрів для кожного значення температури;
- вручну або з використанням табличного редактора будує графік залежності виду рис. 1.12, робить його апроксимацію лінією і визначає відхилення експериментальних середніх точок від відповідних точок на графіку за електричним параметром та температурою;
- визначає середнє відхилення за формулою (1.23), та стандарт відхилення за формулою (1.24).

б. Робить висновки та представляє звіт з роботи, що виконана, відмічаючи: а) актуальність; б) зміст виконання; в) коротко – отримані результати; г) корисність.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи: здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Лабораторна робота № 4

«Ідентифікація послідовних перетворень фізичних величин на електричні та електромагнітні величини в контрольно-вимірювальних приладах»

Мета: опанування вміннями ідентифікації меж та функцій вимірювальних перетворювачів при перетворенні фізичних величин на електричні та електромагнітні.

Суть розробки: ідентифікація меж функціонування вимірювальних перетворювачів (ВП) електричних і електромагнітних контрольно-вимірювальних приладів лабораторії кафедри Систем якості, стандартизації та метрології (СЯСМ).

Предметна сфера розробки: метрологічне забезпечення діяльності організації.

Загальні теоретичні положення – див. відповідні розділи лабораторних робіт №№ 1, 2.

Слід пам'ятати, що у повсякденній практиці має місце певна неоднозначність: «приладом» або «вимірювальним приладом» часто називають конструктивно об'єднані (розміщені в одному корпусі) «вимірювальний перетворювач (перетворювачі)» та «вимірювальний прилад» (ВПР).

Для однозначності сприйняття такі засоби вимірювань правильно називати: *контрольно-вимірювальними приладами (КВП)*.

Найпоширенішим видом перетворення фізичних величин різноманітної природи є їх представлення у вигляді якогось електричного параметру: напруга, струм, опір, частота та/або фаза змінного струму тощо.

Це здійснюється *електричними* та *електромагнітними* перетворювачами, які, здебільшого, містяться у відкремлених контрольно-вимірювальних приладах.

Серед ЗВ, за допомогою яких здійснюють перетворення неелектричних фізичних величин на електричні з відносно простим *забезпеченням* індикації результату перетворення електричним вимірювальним приладом, можна відмітити термопари, розглянуті раніше (див. рис. 1.13 та 1.14), які перетворюють температуру на т.е.р.с., а також наступні засоби з короткою характеристикою їх функціонування.

Дія *п'єзоелектричних перетворювачів* [7] ґрунтується на п'єзоєфекті – властивості деяких кристалічних матеріалів утворювати при деформації електричні заряди на поверхні (рисунок 1.15).

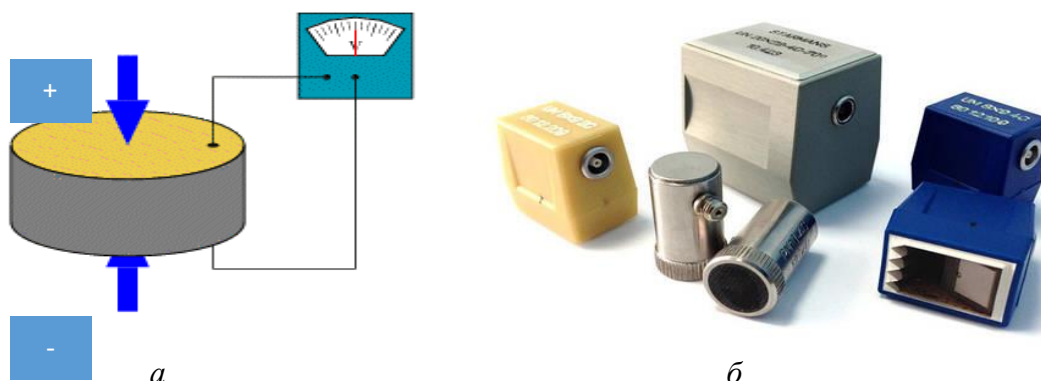


Рисунок 1.15 – П'єзоелектричні перетворювачі [7]: *а* – схема до пояснення прояву п'єзоелектричного ефекту; *б* – зовнішній вигляд деяких зразків

Ці перетворювачі використовують для вимірювання динамічних навантажень, тисків, вібрацій (а не деформацію-переміщення через високі значення модуля Юнга відповідних матеріалів). У залежності від розмірів кристалу, межі вимірювання тиску такими перетворювачами можуть сягати від 1 Па до 100 МПа.

Недоліком п'єзоелектричних перетворювачів є їх високий електричний опір, що потребує застосування електронного підсилювача постійного струму, і неможливість їх використання для статичних вимірювань.

Одним з напрямків використання п'єзоелектричних перетворювачів є вимірювання частоти коливань механічних вібрацій. Відповідна схема *контактного* п'єзодатчика вібрацій представлена на рисунку 1.16, *а*.



Рисунок 1.16 – Схема п'єзодатчика вібрації (а) та приклади вимірювальних приладів віброметрів [1]

Усередині корпусу *віброметра* міститься інертне тіло («сейсмічна маса»), підвішена на пружних елементах, що містять п'єзоелектричний матеріал (див. рис. 1.16, а) [1]. Деформація пружних елементів при вібрації впливає на п'єзодатчик. Далі електричний сигнал підсилюється і реєструється. Реєстрація сигналу віброметрів може здійснюватись стрілочним приладом або на екрані монітора (див. рис. 1.16, б).

Вибір матеріалу п'єзоелектричного датчика пов'язаний з допустимою величиною температурної похибки. Наприклад, використання кварцу забезпечує похибку $\pm 2\%$ у діапазоні до $400\text{ }^\circ\text{C}$. Використання цирконато-титанових керамік забезпечує роботу датчика з похибкою $\pm 20\%$ в діапазоні $200\dots 250\text{ }^\circ\text{C}$; у температурному діапазоні $40\dots 60\text{ }^\circ\text{C}$ похибка зменшується до $\pm 5\%$. Для вимірювання вібрації в зоні температур нижче $100\text{ }^\circ\text{C}$ високу точність дає використання титанату цирконію або титанату барію.

Недолік методу – в необхідності безпосереднього контакту ЗВ з об'єктом вимірювання.

Принцип дії *електрохімічних перетворювачів* оснований на залежності електричного опору R (або електропровідності $1/R$) електролітичної комірки від складу та концентрації, температури чи інших параметрів досліджуваного розчину, що має місце в *електрохімічних резистивних перетворювачах*; залежності електродних потенціалів від активності водневих іонів, як у *гальванічних перетворювачах рН-метрів*; а також – залежності різниці електричних потенціалів на межі розділу твердої та рідкої фаз від швидкості переміщення розчину, як в *електрокінетичних перетворювачах*.

Електричний опір R комірки електрохімічного перетворювача залежить від складу та концентрації досліджуваного розчину і геометричних параметрів комірки [8]:

$$R = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{\lambda \cdot f \cdot c} \cdot \frac{d}{S} \quad (1.24)$$

де γ – питома електропровідність розчину; d - відстань між електродами; S – їх активна площа, f – коефіцієнт активності, c – молярна концентрація, λ – еквівалентна електропровідність [9].

Ця залежність є основою принципу дії електрохімічних резистивних перетворювачів, а також перетворювачів механічних величин: переміщення, кут нахилу.

При сталих геометричних параметрах комірки вихідний опір перетворювача є функцією питомої провідності розчину; при сталій концентрації розчину – функцією відстані між електродами або їх активної площі.

Електрохімічні перетворювачі концентрації бувають контактними (рисунок 1.17, а) або безконтактними (рисунок 1.17, б, в, г) [5, 8, 9]. Безконтактні електрохімічні перетворювачі можуть бути трансформаторними або ємнісними.

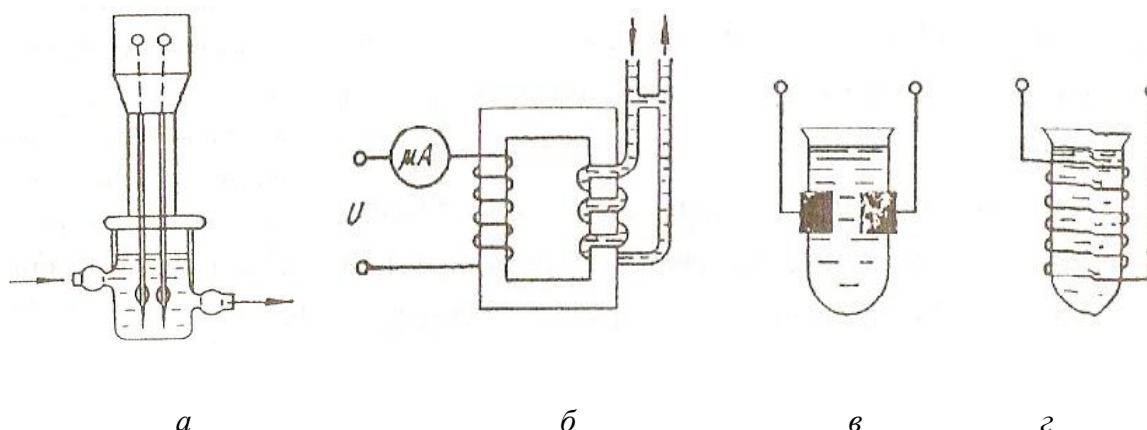


Рисунок 1.17 – Схеми електролітичних перетворювачів: *a* – контактний; безконтактні: трансформаторний (*б*), ємнісний (*в*), індуктивний (*г*) [5, 8, 9]

Вимірювальні кола контактних перетворювачів (див. рис. 1.17, *a*) живляться джерелом змінної напруги частотою 50 Гц (деколи – 1000 Гц). Похибка перетворення не перевищує 1% [5].

Низькочастотний трансформаторний перетворювач (див. рис. 1.17, *б*) має чутливий елемент у вигляді вторинної короткозамкненої обмотки, виконаної з скляної трубки, заповненої досліджуванним розчином. Значення первинного струму трансформатора залежить від опору вторинного кола, тобто від електропровідності досліджуваного розчину.

На поверхню тонкостінної ізоляційної трубки, наповненої досліджуванним розчином, встановлюють електроди в ємнісних перетворювачах (див. рис. 1.17, *в*) або вимірювальну обмотку – в індуктивних перетворювачах (див. рис. 1.17, *г*). Живлення таких перетворювачів здійснюють від високочастотного генератора.

Одним із основних джерел похибок резистивних електрохімічних перетворювачів є залежність питомої електропровідності досліджуваного розчину від температури.

Варіантом гальванічних перетворювачів є *pH-метри*. Принцип їх дії базується на залежності електродних потенціалів від активності водневих іонів, за якою можна визначити властивості, зокрема концентрацію водних розчинів.

Показник *pH* визначають за допомогою так званих *pH-метрів* (рисунок 1.18), дія яких базується на вимірюванні в електродній системі електрорушійної сили (е.д.с.), яка пропорційна активності іонів водню у розчині.

Вимірювальний пристрій представляє собою вольтметр, проградуирований в одиницях *pH* для конкретної електродної системи. Остання складається з основного, зазвичай скляного вимірювального електроду та допоміжного – хлор-срібного електроду.

Більшість сучасних скляних електродів роблять та настроюють таким чином, щоб при їх використанні спільно з хлор-срібним електродом у нейтральному середовищі е.р.с. приблизно дорівнювала нулю при $pH = 7$.



а



б

Рисунок 1.18 – Вигляд товарних моделей *pH*-метрів [1]:
а – напівстаціонарний; б – скомбінований з мілівольтметром

У лужному середовищі значення $7 < pH \leq 14$, чому мають відповідати рівні вимірюваної напруги $-0,059 \dots -0,41$ В (з кроком $0,059$ В за абсолютною величиною).

У кислому середовищі $0 < pH < 7$, чому мають відповідати рівні вимірюваної напруги $0 \dots +0,41$ В (також з кроком $0,059$ В).

Вхідний опір вольтметра повинний бути дуже високим, щоб відповідати чутливості до рівня струму не більше 10^{-10} А (аж до 10^{-12} А), що зумовлено високим внутрішнім опором скляного електрода. Це вимагає застосування електронного підсилювача.

Недоліком таких схем є дрейф і втрата градування через старіння скляного електроду.

До групи *електричних* перетворювачів відносяться *резистивні перетворювачі* (здебільшого – вхідних теплових, механічних та хімічних величин) [1]. Принцип їх дії заснований на зміні електричного опору при зміні вимірюваної величини.

Широкого застосування у промисловості знайшли *терморезистивні перетворювачі (терморезистори)*, що використовують залежність електричного опору провідника або напівпровідникового матеріалу від вимірюваної температури.

Для виготовлення терморезисторів (їх ще називають «термометрами опору») використовують: дратові провідники (платину, мідь, нікель, вольфрам і ін.; сплави (мідно-марганцеві й ін.); монокристалічні напівпровідники (германій, індій та ін.); діелектрики (оксиди берилію, магнію, цирконію, кремнію й ін.).

Чутливість матеріалів за зміною величини електричного опору від R_0 до R_1 при відповідній зміні $\Delta T = T_1 - T_0$ температури від T_0 до T_1 характеризується довідковою величиною температурного коефіцієнта питомого електричного опору матеріалу β з розмірністю $\left[\frac{1}{K} \right]$, що у найпростішому вигляді пов'язується формулою:

$$R_1 = R_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta T). \quad (1.25)$$

Чутливі елементи терморезисторів можуть бути виконані: 1) твердими – у вигляді брусків, трубок, дратів, плівок; 2) рідкими; 3) газоподібними в камері.

Конструктивно *електротепловий перетворювач* (рисунок 1.19) складається з чутливого елемента у вигляді терморезистора, захисного чохла і з'єднувальної голівки.

Чутливий елемент (датчик) дротового терморезистора може виконуватись у вигляді обмотки або плівковим (рисунки 1,19, *a* та 1.20) на каркасі з ізоляційного матеріалу.

Про температуру судять за зміною електричного опору, за падінням напруги на ньому при постійному струмі або за значенням струму при постійній напрузі.

Напівпровідниковий вимірювальний перетворювач (див. рис. 1.18, *б*) аналогічний провідниковому, але його чутливий елемент виконують у вигляді шайби або бусинки з напівпровідникового матеріалу з двома зовнішніми електричними контактами.

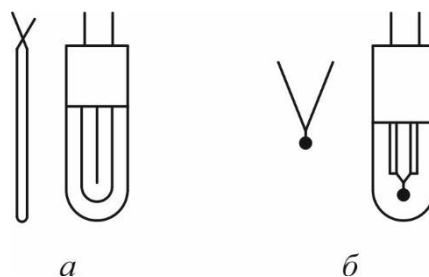


Рисунок 1.19 – Схеми електричних вимірювальних перетворювачів - термометрів опору: *a* – провідникового; *б* - напівпровідникового (зліва від поз. *a* і *б* показані відповідні чутливі елементи – датчики [1])

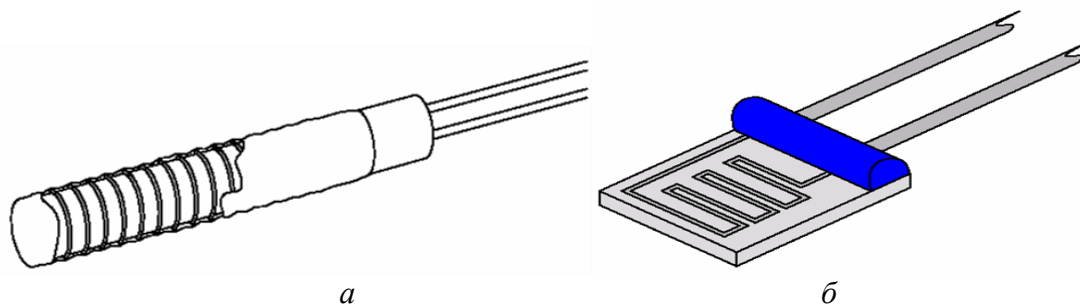


Рисунок 1.20 – Приклади виконання датчика терморезистора: *a* - дротяною намоткою; *б* - плівкового типу [5]

На схожому принципі функціонує *електричний тензорезистор*. Це виріб, електричний опір R якого залежить від внутрішніх напружень в ньому, що зумовлені деформацією, а вона, у свою чергу – зовнішньою силою.

Тензорезистор у вигляді фрагменту дроту або плівки наклеюють на поверхню зразка випробовуваного матеріалу або на механічні чутливі елементи (наприклад, мембрани за схемою на рис. 1.20, *б*) [5]. В результаті, деформації одочасно з поверхнею об'єкту піддається і тензорезистор. Ця деформація Δl призводить до зміни опору δR тензорезистора, який виступає в ролі перетворювача:

$$\frac{\delta R}{R} = G \cdot \Delta l, \quad (1.26)$$

де G – стала величина для даного датчика, звана *тензометричним коефіцієнтом*.

Для більшості матеріалів з дроту або фольги цей коефіцієнт приблизно дорівнює 2. Він визначається виробником тензорезисторів за результатами калібрування, проведеного на партії цих виробів.

Сучасні тензорезистори, які використовуються, зокрема, у засобах вимірювання тиску (а по суті – деформації), виготовляють методом плазмового напилювання, що забезпечує одержання результатів вимірювань з високою точністю. Такі тензорезистори

під'єднуються до каліброваної електричної мостової схеми струмового проміжного перетворювача. Вимірювальним приладом у такому разі стає нуль-амперметр або омметр.

Ефект визначення електричного опору при застосуванні твердої пористої керамічної маси в якості вимірювального перетворювача у залежності від її насиченості вологою використаний у *керамічному гігromетрі*. За рівнем опору при відповідному градуюванні чутливого елемента можна визначити і вологість повітря.

Недоліком такого гігromетру стає його інерційність і необхідність висушування при послідовних вимірюваннях.

Деякі з представлених основ дії використовуються для автоматичного визначення характеристик вологості повітря в *електронних гігromетрах*:

- *оптоелектронні гігromетри* вимірюють точку роси за допомогою охолодженого (замороженого) дзеркальця, яке поступово нагрівається з контролем температури до моменту появи роси. Тут використаний *термоелектричний ефект* електричного струму;

- резистивні гігromетри використовують *ефект вимірювання провідності* солей або провідних полімерів у залежності від вологості повітря;

- різновидом резистивних гігromетрів є ті, що напругу вимірюють *провідність повітря* з наступним обчисленням відносної вологості; для коригування їх показів необхідним є паралельний контроль температури довкілля.

Інше конструктивне рішення реалізується у *реостатних* вимірювальних перетворювачах, у яких забезпечується перетворення переміщення чутливого елемента («повзунка») на електричний опір (рисунок 1.21) [5].

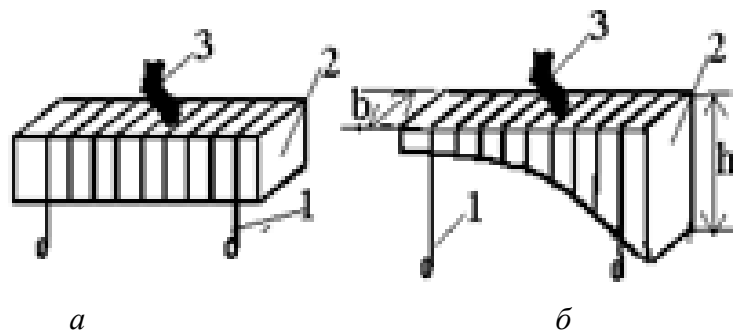


Рисунок 1.21 – Схематичне представлення реохордного резистивного вимірювального перетворювача з лінійною (а) і нелінійною (б) характеристикою перетворення (1 – виводи) [5]

Ємнісні перетворювачі (рисунок 1.22) відносяться до групи *електростатичних* перетворювачів [5]. В основу їх дії можуть бути покладені: зміна відстані між обкладками (пластинами чи циліндрами); зміна площі перекриття обкладок; їх взаємне переміщення (лінійне або кутове); температура; деформація, тиск; зміна діелектричної проникливості ϵ діелектрика між обкладками або його частини згідно із залежністю електричної ємності C конденсатора від відстані l між обкладками, площі S їх перекриття [5]:

$$C = \epsilon \cdot S / l . \quad (1.27)$$

Ємність циліндричного вимірювального перетворювача-конденсатора розраховують за формулою:

$$C = 2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot L / \ln \frac{D}{d} , \quad (1.28)$$

де L - активна довжина обкладинок; D, d - зовнішній і внутрішній діаметри обкладинок відповідно.

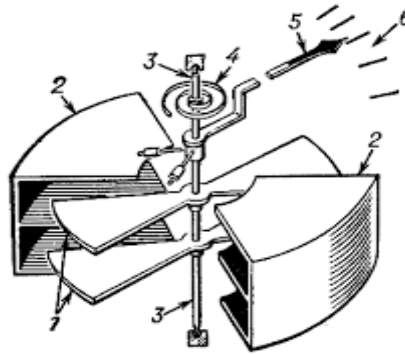


Рисунок 1.22 – Схема реалізації ємнісного вимірювального перетворювача [1]: 1 – рухома обкладка; 2 – нерухомі обкладки; 3 – стрижень; 4 – пружина; 5 – стрілка вимірювального приладу; 6 – шкала

Вимірювання рівня ємності C здійснюється за схемою ємнісного мосту або за допомогою стандартних ABC -вимірювачів імпедансу (повного електричного опору Z).

Принцип вимірювання змінної електричної ємності можна також використовувати у *ємнісних гігрометрах* при визначенні зміни ємності полімерного або метал-оксидного електричного конденсатора (вимірювання тільки від 5 до 95%); їх недоліком є старіння з часом, а перевагою – майже повна незалежність від температури.

Вказаний принцип також використовується у витратомірах сипучих матеріалів. Зокрема, у *ємнісному витратомірі* визначення витрати сипучого матеріалу базується на інтегруванні даних двох незалежних вимірюваннях:

- заповненості речовиною трубопровода із заздалегідь відомим перерізом за допомогою ємнісного датчика;
- часу пересування сипучої речовини (з відомою насипною масою) за допомогою двох датчиків, які розташовані на визначеній відстані один від одного).

Перевагами такого витратоміру є просте градуювання, низька вартість та можливість вимірювання витрати у важкодоступних місцях, а недоліками – низька точність (3...5%) та обмеженість діапазону вимірювань (до 150 т/год).

Ряд вимірювальних перетворювачів функціонує на основі використання явища *електромагнітної індукції*.

На практиці найширше застосовуються індуктивні, трансформаторні, індукційні та феродинамічні вимірювальні перетворювачі. Як правило, вони містять одну або декілька взаємодіючих дрових котушок з необхідним оснащенням.

Принцип дії *індуктивних вимірювальних перетворювачів* заснований на зміні *власної індуктивності котушки*.

У загальному випадку індуктивний ВП складається з котушки індуктивності, магнітопровода і рухливого феромагнітного сердечника, або якоря (рисунок 1.23) [5]. Тут фізична величина, що вимірюється змінює взаємне розташування котушки і якоря, або окремих частин магнітопровода.

На рис. 1.23 представлені різні варіанти конструктивного виконання індуктивних ВП. Варіант на рис. 1.23, *а* передбачає зміну зазору δ між частинами магнітопровода під дією вимірюваної сили або переміщення чутливого органу датчика. За варіантом на рис. 1.23, *б*

індуктивність змінюється у залежності від положення якоря. За варіантом на рис. 1.23, в індуктивність змінює зміна площі перекриття зазору магнітопроводу.

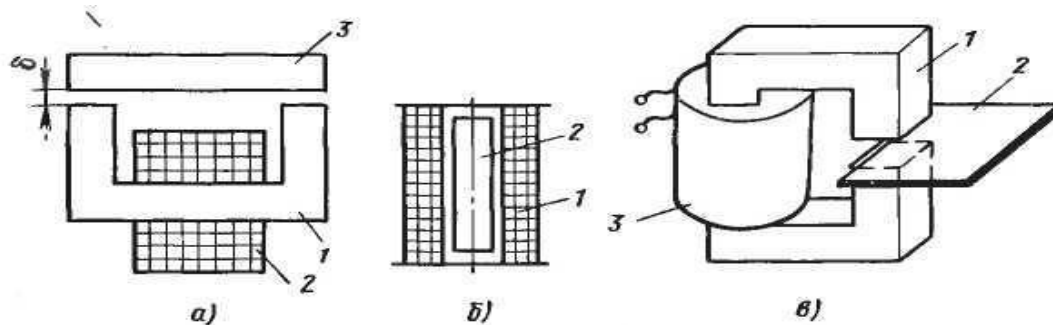


Рисунок 1.23 – Схеми деяких індуктивних перетворювачів (пояснення позицій – у тексті)

В інших конструкціях ВП зміна магнітного опору відбувається *унаслідок розмагнічуючої дії вторинних струмів*. У таких індуктивних ВП замість феромагнітного якоря переміщається короткозамкнений виток, що призводить до появи в ньому індуктованого струму та збільшенню реактивного опору магнітного ланцюга. Замість витка у зазор магнітопроводу можна вводити електропровідний елемент (наприклад, диск з міді або алюмінію – див. рис. 1.23, в), в якому наводяться вторинні струми, що взаємодіють з основним електромагнітним полем.

Індуктивні ВП використовують для вимірювання лінійних та кутових переміщень, для вимірювання розмірів, кількості обертів диску в зазорі магнітопроводу, товщини виробів і покриттів, сил і моментів, прискорень і параметрів вібрації.

Цей принцип покладений в основу роботи електромеханічного лічильника електричної енергії (застарілої моделі), що показаний на рисунку 1.24 [5].

Замість електропровідного диска в інших вимірювальних засобах крізь зазор у магнітопроводі можна пропускати електропровідну рідину (наприклад, технічну воду).

На останньому принципі діють відповідні витратоміри: коли провідник, а у даному випадку – електропровідна рідина 1 в неелектропровідному трубопроводі (рисунок 1.24, а) перетинає зі швидкістю V лінії магнітного потоку, що створений магнітом (електромагнітом) 2, то в ній індукується електрорушійна сила, яка є пропорційною швидкості руху рідини.

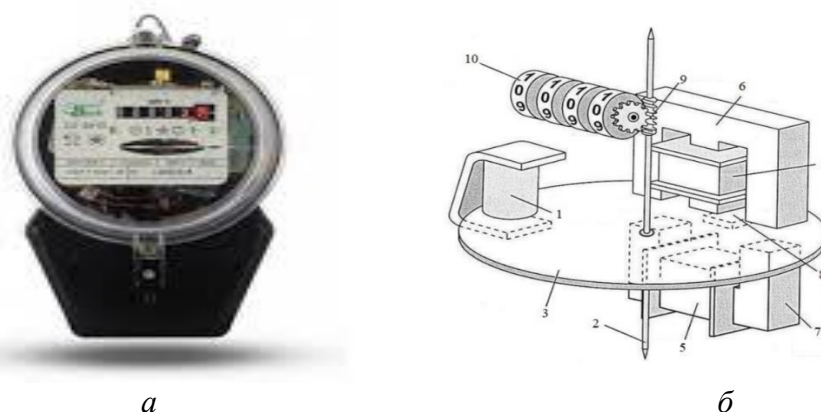


Рисунок 1.24 – Електромеханічний лічильник електричної енергії: а – зовнішній вигляд; б – розміщення складових конструкції: 1 – постійний магніт; 2 – вісь; 3 – диск; 4 – обмотка напруги; 5 – обмотка струму; 6 – магнітопровід обмотки напруги; 7 – магнітопровід обмотки струму; 8 – протиполіус; 9 – червячна передача; 10 – рахунковий механізм [8]

У торці діелектричного наконечника вихрового датчика, уведеного у потік рідини, знаходиться котушка індуктивності 3 (рисунок 1.25, б). Окремий електричний генератор забезпечує збудження високочастотних коливань в котушці, в результаті чого виникає електромагнітне поле, яке взаємодіє з електропровідною рідиною, що контролюється.

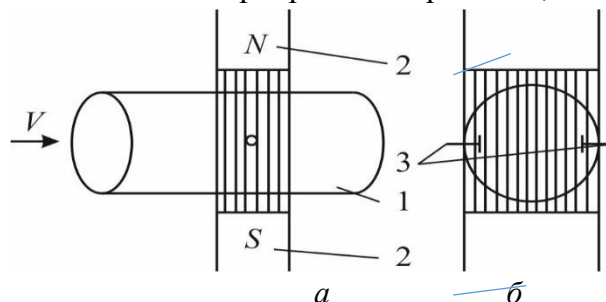


Рисунок 1.25 – Схема до пояснення роботи витратоміра, оснований на принципі електромагнітної індукції [5]

На поверхні матеріалу наводяться вихрові струми, які, у свою чергу, змінюють параметри котушки – її активний і індуктивний опір. Ці дані перетворюють на характеристики витратитаї вібрації.

До спеціалізованих вимірювальних засобів, у яких використовується явище електромагнітної індукції можна віднести **профілометри** з голковим датчиком профілю плоскої поверхні (рисунок 1.26).

У більшості з них вимірювальним перетворювачем (датчиком) слугує алмазний індентор («голка») 1 конусної форми (див. рис. 1.25, а). Індентор 1, закріплений на важелі 2 з фіксованим навантаженням 0,2 г. Його окремим приводом протягують по досліджуваній поверхні. Коливання механічної системи 2...10 перетворюються на зміну зазору між пластиною 2 і магнітопроводом 3 з котушками індуктивності в електричний підсилюваний сигнал 9, який є відображенням траси переміщення. За параметрами змінного у часі електричного сигналу автоматично розраховуються характеристики шорсткості поверхні: висота і крок шершавості, середнє квадратичне відхилення тощо. Профілографи-профілометри (рисунок 1.26, б) дозволяють також представити профілограми шорсткості поверхні для їх детального аналізу математичними методами [1].

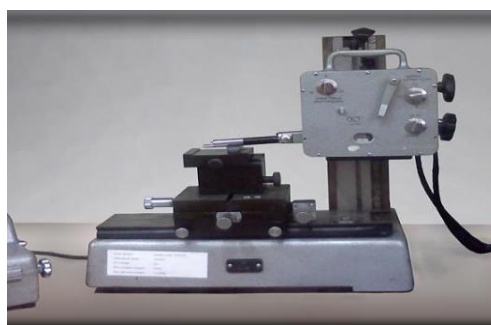
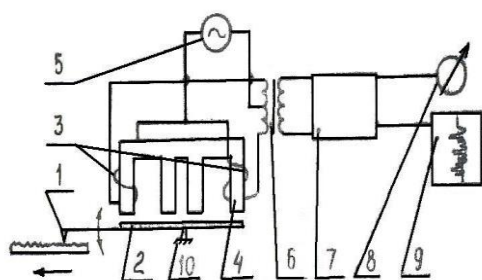


Рисунок 1.26 – Профілометр моделі «Калібр» [1]: а – принципова схема вимірювання характеристик мікропрофілю поверхні (пояснення позицій – у тексті); б – зовнішній вигляд

На відміну від індукТИВних перетворювачів в **індукЦІЙних перетворювачах** використовується ефект не самоіндукції, а **взаємоіндукції** з наявністю, як мінімум, двох взаємопов'язаних електромагнітних систем (котушок індуктивності).

До подібних ЗВ відносять **генераторні** трансформаторні, диференціально-

трансформаторні і феродинамічні вимірювальні перетворювачі (ВП). Вони продукують сигнал на виході у вигляді напруги змінного струму, що виключає необхідність застосування додаткових (проміжних підсилюючих) перетворювачів.

Вимірюваними величинами таких перетворювачів можуть бути швидкість зміни магнітного потоку або швидкість лінійного чи кутового переміщення вимірювальної котушки.

У *трансформаторних перетворювачах* (рисунок 1.27) зміна положення рухомого органу 3, який сприймає вимірюване переміщення X , спричиняє зміну взаємної індукції (коефіцієнта взаємоіндукції) між двома системами обмоток: 1 і 2. До однієї з них (*первинної, або обмотки збудження*) підводиться змінна напруга живлення U , а з іншої (*вторинної, або сигнальної*) знімається індукована в ній напруга $U_{\text{вих}}$, залежна від коефіцієнта взаємоіндукції i , зрештою, від вимірюваних переміщень δ_1 та δ_2 якоря 3 в зазорі магнітопроводів 1 і 2 [5].

При зустрічному включенні обмоток 1 і 2 виходить схема *диференційно-трансформаторного* вимірювального перетворювача.

У трансформаторному перетворювачі, показаному на рис. 1.28, а, змінна напруга U підводиться до котушок 1, які включені зустрічно [5, 9]. Напруга $U_{\text{вих}}$, що залежить від переміщення якоря відносно осердя 3, знімається з котушок 2. При середньому положенні якоря напруга $U_{\text{вих}}=0$. При переміщенні якоря симетрія зазорів порушується, і в котушці 2 виникає напруга, пропорційна до переміщення якоря.

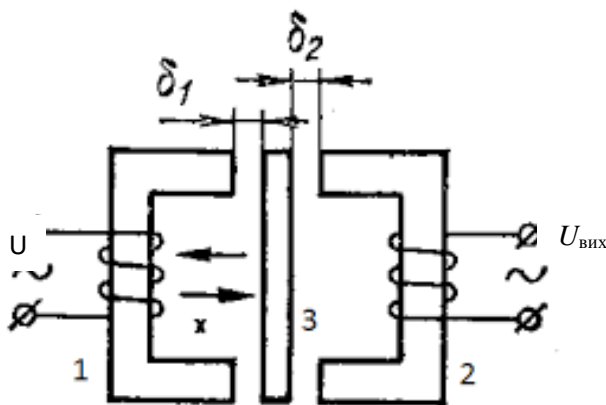


Рисунок 1.27 – Схема простого трансформаторного вимірювального перетворювача [5]

На рис. 1.28, б показано схему трансформаторного перетворювача, який складається з трьох котушок і рухомого осердя, яке сприймає вимірюване переміщення, спричинене, наприклад, вібрацією, прискоренням тощо. За відсутності вібрації осердя перебуватиме в середньому положенні, і струму в котушці не буде. При переміщенні осердя в котушці 2 виникає напруга $U_{\text{вих}}$, залежна від величини і напрямку цього переміщення. Котушки 1 і 2 можна поміняти місцями: живлення підводити до котушки 2, а сумарну напругу знімати з котушок 1, ввімкнених зустрічно.

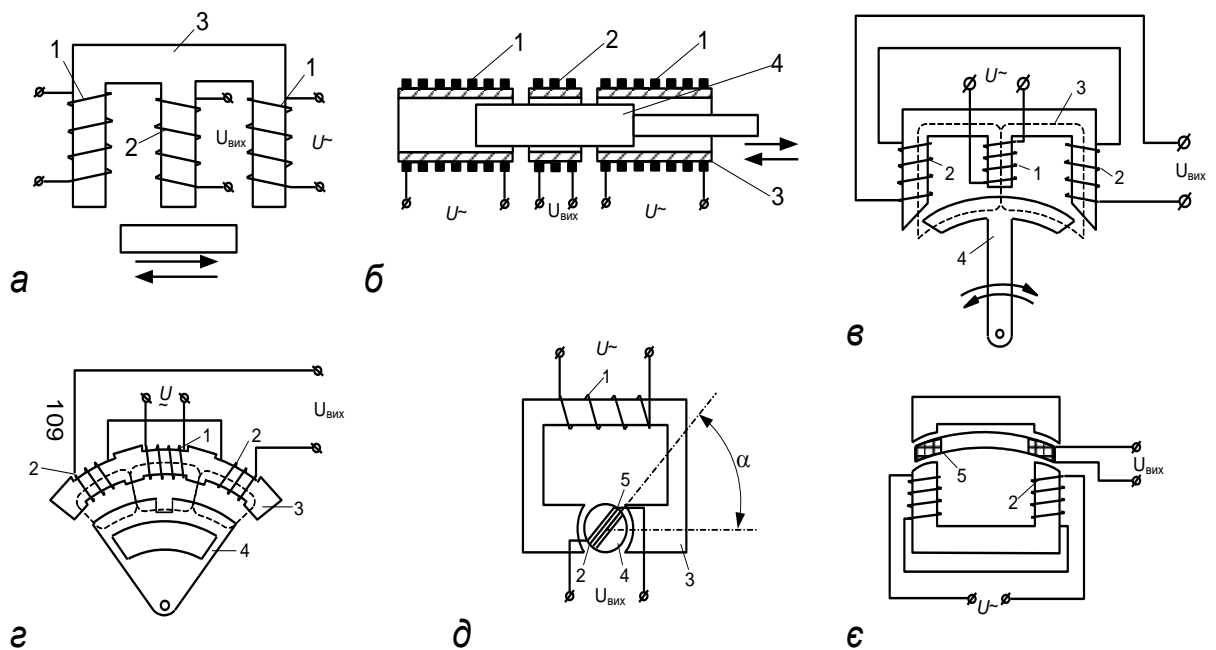


Рисунок 1.28 - Трансформаторні та диференційно-трансформаторні перетворювачі: а – з двома обмотками збудження; б – соленоїдного типу; в – з одною обмоткою збудження і двома секціями вихідної обмотки; г – з кутовим переміщенням якоря; д – з обертовим ротором; е – з рухомою рамкою [9]

На рис. 1.28, в зображено схему, в якій обмотки ввімкнені саме таким чином. За нейтрального положення якоря 4 напруга $U_{\text{вих}}$ дорівнює нулю. При зміщенні якоря взаємодія обмоток 1 і 2 стає неоднаковою, і на виході виникає напруга $U_{\text{вих}}$, фаза та значення якої залежать від напрямку зміщення якоря 4.

За такою самою схемою функціонує і перетворювач, показаний на рис. 1.28, г.

Трансформаторні ВП, побудовані за принциповими схемами рис. 1.28, в, г, набули значного поширення в сучасних гіроскопічних авіаційних приладах для перетворення в електричний сигнал невеликих кутових переміщень: порядку кількох хвилин і більше. У них амплітуда сигналу $U_{\text{вих}}$ дорівнює різниці електрорушійних сил (е.р.с.), індукованих обмотках 2, а фаза напруги залежить від напрямку повороту якоря.

На рис. 1.28, д зображена схема трансформаторного ВП з поворотною рамкою, розміщеною у стабільному радіальному полі, що створюється обмоткою 1 в зазорі між полюсами та циліндричним осердям 4. За однакової ширини повітряного зазору потік, що пронизує рамку, стає практично пропорційним до кута α , і перетворювач отримує лінійну характеристику в широкому діапазоні зміни вхідної величини α .

На рис. 1.28, е показаний інший варіант конструкції трансформаторного перетворювача з поворотною рамкою. До котушок збудження 2 підводиться змінний струм. Напруга $U_{\text{вих}}$ дорівнює різниці е.р.с., індукованих у сторонах рамки 5, які розміщені в робочих зазорах. За нейтрального положення рамки $U_{\text{вих}} = 0$. При повороті рамки від нейтрального положення фаза і значення $U_{\text{вих}}$ залежать від напрямку та кута повороту рамки.

Велика перевага даного перетворювача порівняно з попереднім, зображеним на рис. 1.28, в, полягає в тому, що в ньому не створюється реактивний момент. При використанні, наприклад, у гіроскопічних приладах для вимірювання кутових переміщень, цей перетворювач не буде, як це робить електромагніт (див. рис. 1.28, в), чинити зворотний вплив на складові механізми.

Диференціально-трансформаторні перетворювачі використовують у первинних і вторинних приладах для вимірювань зміни тиску, витрат, рівнів тощо.

Більш конструктивно складнішими є *феродинамічні перетворювачі кутових переміщень* (рисунок 1.29) [5].

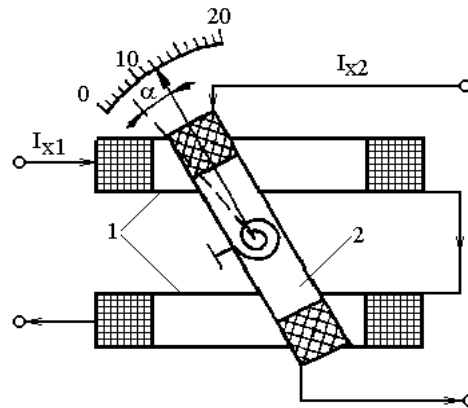


Рисунок 1.29 – Схема феродинамічного перетворювача [5] (позначення позицій – у тексті)

Тут у повітряному зазорі магнітопроводу 1 вміщене циліндричне осердя 2 з обмоткою у вигляді рамки. Осердя може повертатися на невеликий кут α в межах $\pm 20^\circ$. При подачі на обмотку збудження перетворювача змінної напруги (12...60 В) виникає магнітний потік, що перетинає площу рамки 2 (див. рис. 1.29). У її обмотці індукується струм, напруга якого $U_{вих}$ при інших рівних умовах пропорційна куту α повороту рамки, а фаза напруги змінюється при повороті рамки в ту або іншу сторону від нейтрального положення (паралельно магнітному потоку).

Ці перетворювачі використовують при побудові відносно складних систем регулювання з виконанням найпростіших обчислювальних операцій.

Дія *магнітопружних вимірювальних перетворювачів* базується на ефекті, який полягає у зміні магнітної проникності феромагнітного матеріалу під дією пружних деформацій [5]. Тому магнітопружні ВП є різновидом індуктивних ВП із замкнутим магнітопроводом (рисунок 1.30). За наявності другої обмотки такий ВП може також працювати як трансформаторний перетворювач.

При дії механічної сили F в магнітопроводі 1, який у даному разі виконує функцію чутливого елемента (датчика), виникають механічні напруження σ , які обумовлюють зміну магнітної проникності μ чутливого елемента і магнітного опору Z_M перетворювача. При цьому змінюється індуктивність L обмотки 2 (див. рис. 1.30, а) або взаємна індуктивність M між обмотками 2 і 3 (див. рис. 1.30, б).

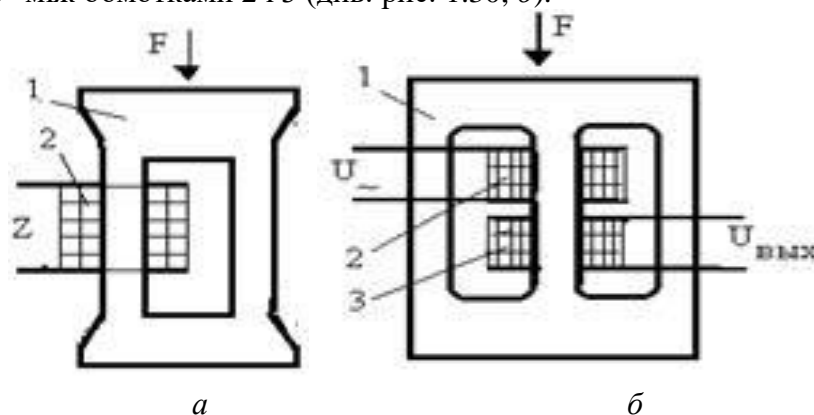


Рисунок 1.30 – Схеми магнітопружних вимірювальних перетворювачів; а – з однією обмоткою; б – з двома обмотками, які реалізують трансформаторну функцію

Перевагами магнітопружних ВП є: велика вихідна потужність, оскільки в них все тіло чутливого елемента, що сприймає вимірюване зусилля, є активним; мала деформація під дією навантаження; малий електричний опір.

Ці ВП застосовуються для вимірювання крутних моментів, сил і тиску. Вони дозволяють вимірювати як статистичні так і динамічні величини.

Крім зміни фізичної природи сигналу зазвичай виникає необхідність привести сигнал до вигляду, при якому можливе *вимірювання* його інформативних параметрів.

Для цього використовують наступні види вимірювального перетворення:

- масштабування, тобто приведення сигналу до певного діапазону вимірювання;
- лінеаризація – операція, що забезпечує лінійну залежність між вхідним і вихідним сигналами;
- фільтрація – відокремлення сигналу від накладених перешкод;
- аналого-цифрове перетворення, тобто перетворення неперервної (аналогової) форми сигналу на цифровий код.

Більшість таких операцій здійснюється **електричними контрольно-вимірювальними приладами**, які відносяться до групи універсальних засобів вимірювання. Здебільшого, вони об'єднують в одному корпусі вимірювальний перетворювач, вимірювальний пристрій та допоміжне оснащення і, по суті, представляють із себе *вимірювальну установку* або *вимірювальну систему* (див. визначення в *Лабораторній роботі № 1*).

Електричні контрольно-вимірювальні прилади (ЕКВП) розрізняють за рядом ознак, основні з яких наступні [1]:

- електрична характеристика, що вимірюється (сила струму, його напруга, величина опору, потужність, частота, фаза тощо);
- вид струму (постійний чи змінний; синусоподібний, імпульсний тощо);
- клас точності (8 класів точності [1]);
- вид реєстрації сигналу (аналоговий, дискретний);
- принцип дії (магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, індукційні, термоелектричні, випрямні та інші);
- спосіб відліку та характер шкали (з безпосереднім відліком по шкалі: стрілочні, цифрові, реєструючі; шкала може бути рівномірною та нерівномірною, односторонньою, двосторонньою, безнульовою тощо);
- характер застосування й установки (стаціонарні, переносні, транспортні; встановлювані вертикально, горизонтально та під кутом до горизонталі).

Для забезпечення функціонування вимірювального пристрою ЕКВП застосовуються відповідне подальше перетворення сигналу вимірюваної фізичної величини, отриманого первинним перетворювачем. При цьому, сигнал перетворюється на геометричну фізичну величину (для стрілочних вимірювальних пристроїв) або підсилюється та перетворюється необхідним чином (для електронної індикації)

Вимірювальний механізм **ЕКВП магнітоелектричної системи** (рисунок 1.31) складається з постійного магніту 1, який має підковоподібну форму.

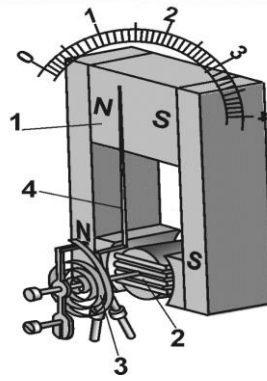


Рисунок 1.31 – Схема магнітоелектричної системи електровимірювального приладу [1]
(пояснення позицій – у тексті)

Усередині магніту знаходиться котушка індуктивності 2, зв'язана зі стрілкою 4. При протіканні струму з'являється електромагнітна сила, пропорційна силі струму. В результаті, котушка (вимірювальний перетворювач), що укріплена на осі, повертається на кут, пропорційний значенню вимірюваної величини. Разом з котушкою відхиляється пов'язана стрілка приладу, вказуючи на шкалі значення вимірюваної величини. При відключенні приладу від ланцюга живлення пружиною 3 система повертається до початкового стану. Такі ЗВ використовуються для вимірювань у колах постійного струму.

Вимірювальний механізм ЕКВП електромагнітної системи (рисунок 1.32) складається з котушки індуктивності 1 з рухомих магнітопроводом 2, який зв'язаний з діамагнітною стрілкою 3 приладу.

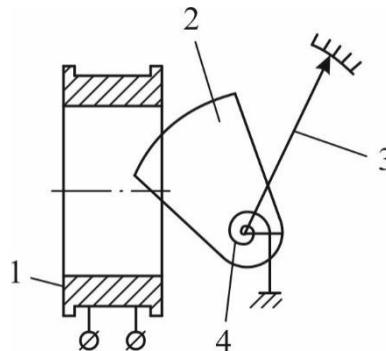


Рисунок 1.32 – Схема електромагнітної системи електровимірювального приладу [1]
(пояснення позицій – у тексті)

При протіканні електричного струму крізь провідники котушки внаслідок появи електромагнетитного поля магнітопровід (вимірювальний пристрій) втягується в її порожнину на величину, що є пропорційною значенню сили струму, а пов'язана стрілка приладу на шкалі відповідним чином відхиляється. Пружина 4 повертає систему у початковий стан. Такі ЗВ використовуються для вимірювань у колах постійного та змінного струмів.

Вимірювальний механізм ЕКВП електродинамічної системи (рисунок 1.33) складається з двох котушок індуктивності (нерухої 1 і рухої 2). При протіканні електричного струму в провідниках котушок з'являється електромагнітна сила. В результаті, рухома котушка (яка знаходиться усередині нерухої котушки і функціонально є вимірювальним перетворювачем) відхиляється на кут, пропорційний значенню сили струму. Пов'язана стрілка 4 приладу на шкалі (вимірювальний прилад)

відповідним чином також відхиляється. Пружини 3 повертають систему у початковий стан. ЗВ цієї системи використовуються для вимірювань у колах постійного та змінного струмів.

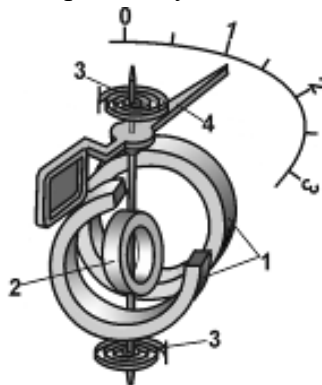


Рисунок 1.33 – Схема електродинамічної системи електровимірювального приладу [117]
(пояснення позицій – у тексті)

Вимірювальний механізм **ЕКВП індукційної системи** (див. рис. 1.24, б та рисунок 1.34) складається з двох нерухомих котушок *D* і *G* індуктивності (взаємно розгорнутих у просторі на кут 90° , які функціонально є вимірювальним перетворювачем) та рухомої металевої частини *A* у вигляді диска або циліндра, що розміщується між котушками.

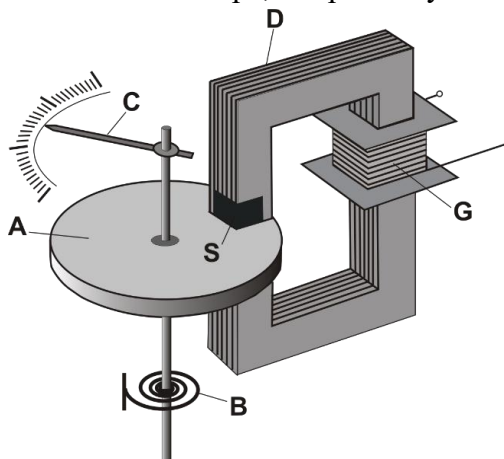


Рисунок 1.34 – Схема індукційної системи електровимірювального приладу [1]
(пояснення позицій – у тексті)

Одну котушку включають паралельно споживачу електричного струму (опору), а іншу послідовно з ним. Струми, що протікають у котушках, створюють два магнітних потоки, які пронизують рухому металеву частину і наводять у ній вихрові електрорушійні сили (е.р.с.). Під дією наведених вихрових е.р.с. у рухомій частині *A* з'являються вихрові струми, тобто рухома частина зі струмом знаходиться в магнітному полі котушок. В результаті, спостерігається електромагнітна сила, яка приводить до обертання рухомої частини, пов'язану зі стрілкою *C* або механічним лічильником обертів. Наконечник *S* слугує демпфером, а пружина *B* повертає систему у початковий стан при відключення струму. Такі прилади використовують, як правило, для вимірювання потужності та енергії в колах змінного струму (див. нижче).



ЕКПВ випрямної системи являють собою сукупність приладу магнітоелектричної системи (див. вище) й одного або декількох напівпровідникових випрямлячів, призначення

яких – живлення вимірювального механізму електровимірювальної системи постійним струмом. Прилади цієї системи використовуються для вимірювань у колах постійного та змінного струмів для вимірювання невеликих значень фізичних величин, а також для вимірювання у колах з підвищеною частотою струму (більше за 50 Гц).

Позначення на електричних схемах виду системи з відповідним перетворенням було відображено у таблиці 1.7, а вид електричного струму – у таблиці 1.8 (див. Практичну роботу № 4). Додатково, позначення класу точності ЗВ відображено у таблиці 1.13. Якщо на шкалі ЗВ такого позначення немає, то даний прилад є позакласовим, і його зведена похибка може перевищувати 4%.

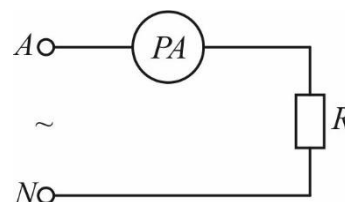
Для вимірювання сили електричного струму використовують **амперметр** (літерне позначення якого на принципових електричних схемах – «А» або «РА»). Він включається послідовно в ланцюг, у якому виконується вимірювання (рисунок 1.35). При цьому, внутрішній опір приладу (котушки вимірювального механізму стрілочного амперметра) повинний бути малим, щоб мінімізувати вплив амперметра на ланцюг. Для цього котушку приладу виконують проводом великого перетину з невеликою кількістю витків.

Таблиця 1.13 - Приклади позначення класу точності на засобах вимірювань

Приклади позначення класу точності		Форма вираження похибки	Межі припустимої основної похибки	Примітка
на засобі вимірювань	в документації			
0,5	Клас точності 0,5	Приведена відносна	$\gamma = \pm 0,5\%$	Нормуюче значення, прийнято рівним середньому значенню вимірюваної величини
	Клас точності 0,5		$\gamma = \pm 0,5\%$	Нормуюче значення, прийнято рівним довжині шкали (або її певній частини)
	Клас точності 0,5	Відносна	$\delta = \pm 0,5\%$	Похибка чутливості
0,02/0,01	Клас точності 0,02/0,01		$\delta = \pm [0,02 + 0,01 \cdot (x_k / x - 1)]$, %	Різна нормована похибка в різних діапазонах вимірювань приладу



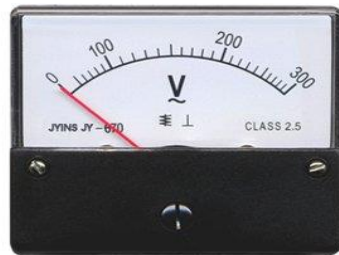
а



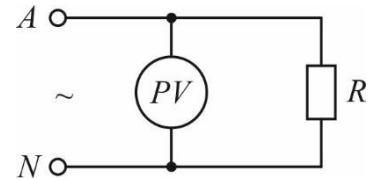
б

Рисунок 1.35 – Амперметр [1]: а – одна із стрілочних модифікацій; б – електрична схема підключення (А, N – клеми для підключення живлення; «~» – позначення змінного струму; R – позначення активного опору складових схеми

Для вимірювання електричної напруги використовують **вольтметр** (літерне позначення якого на принципових електричних схемах – «V» або «PV»). Прилад включається *паралельно* споживачу енергії R (рисунок 1.36).



a



б

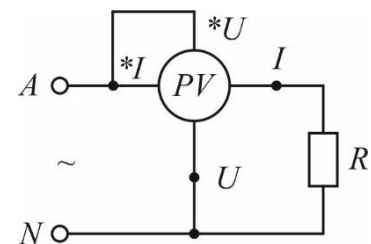
Рисунок 1.36 – Вольтметр [1]: *a* – одна із стрілочних модифікацій; *б* – електрична схема підключення

При цьому, внутрішній опір 3Ω повинний бути великим, щоб мінімізувати спотворення струму у ланцюзі. Для цього котушку приладу виконують проводом невеликого перетину з великою кількістю витків.

Для вимірювання активної потужності **ваттметром** (літерне позначення якого на принципових електричних схемах – «W» або «PW») (див. рис. 1.24, 1.33, 1.34 та рисунок 1.37) враховують, що вимірювальний механізм такого пристрою складається з двох котушок: нерухомої та рухомої. Остання зв'язана зі стрілкою приладу.



a



б

Рисунок 1.37 – Ваттметр [1]: *a* – одна із стрілочних модифікацій; *б* – електрична схема підключення

Нерухома котушка (*струмова обмотка*) має невеликий електричний опір і включається в ланцюг послідовно (аналогічно амперметру). Рухома котушка (*обмотка напруги*) має великий опір і включається в ланцюг паралельно споживачу енергії R (див. рис. 1.37, *б*).

Струми в котушках повинні протікати в одному напрямку, щоб стрілка приладу відхилялася вправо від нуля. Для цього контакти ЕКПВ зі знаком «*» поєднують у загальний вузол. Тоді сила струму в рухомій котушці стає

пропорційною напрузі U , сила струму в нерухомій котушці – пропорційною силі струму I в ланцюзі, а обертовий момент, який діє на рухому котушку, стає пропорційним їх добутку – активній електричній потужності:

$$W = U \cdot I. \quad (1.29)$$

Вимірювання *реактивної енергії* здійснюється за допомогою лічильників реактивної енергії, конструкція яких аналогічна трифазним чотирипровідним лічильникам активної енергії. Відмінність полягає в способі підключення лічильника реактивної енергії до ємнісного та (або) індуктивного споживача.

Якість споживаної електричної енергії (тобто різницю між активною та повною потужністю з урахуванням реактивної складової характеризує *коефіцієнт потужності* $\cos \varphi$. Чим ближче $\cos \varphi$ до 1, тим якість споживання енергії вище. Цей параметр можна визначити за показаннями амперметра, вольтметра та ватметра:

$$\cos \varphi = \frac{W}{U \cdot I}, \quad (1.30)$$

де W – показання ватметра, Вт; U – показання вольтметра, В; I – показання амперметра, А.

У колах постійного струму вимірювання активного електричного опору R елемента в ланцюзі можна здійснити за допомогою вольтметра та амперметра. Для цього вимірюють напругу на цьому елементі і силу струму, який у ньому протікає. Активний опір визначають за законом Ома:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (1.31)$$

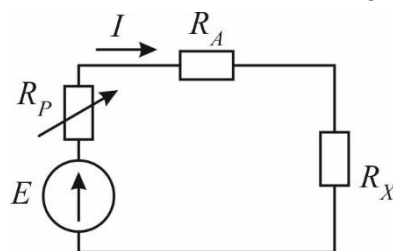
Для безпосереднього вимірювання опорів використовують контрольний електровимірювальний прилад – *омметр*, який являє собою сукупність амперметра магнітоелектричної системи та спеціальної вимірювальної системи, яка складається із джерела постійної електрорушійної сили E і регульованого резистора R_p (рисунок 1.38).



а



б



в

Рисунок 1.38 – Омметр [1]: а – стрілочна модель; б – цифрова модель; в – електрична схема вимірювання опору за допомогою омметра

При незмінній напрузі E джерела живлення сила струму I в ланцюзі залежить від вимірюваного опору R_X , що дозволяє градувати шкалу амперметра в омах з урахуванням співвідношення:

$$I = \frac{E}{R_P + R_A + R_X}, \quad (1.32)$$

де R_P – опір регульованого резистора, Ом; R_A – опір амперметра, Ом.

Чим більше вимірюваний опір R_X , тим менший струм протікає в ланцюзі, тому *омметри оснащують зворотною шкалою* (див. рис. 1.38, а).

Опір елемента ланцюга також можна визначити за допомогою вимірювального моста (рисунок 1.39) [1].

Це здійснюється на основі вирівнювання потенціалів середніх точок D і B двох гілок ADC та ABC наступним чином.

В одну з гілок включають елемент R_X , опір якого слід виміряти. Інша гілка містить елемент (наприклад, реостат), опір R_2 якого можна регулювати. Значення R_1 та R_3 відомі. До середин гілок (у точках D і B) підключають індикатор V_G : гальванометр (найчастіше), нуль-індикатор, вольтметр або амперметр, – і змінюють R_2 до тих пір, поки індикатор не покаже нуль. Це свідчить про рівновагу моста, або його баланс, при якому $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_X}{R_3}$, відкіля:

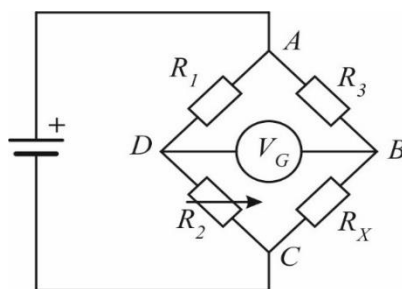


Рисунок 1.39 – Схема вимірювання опору за допомогою моста [1]

$$R_X = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}. \quad (1.33)$$

Поява в електричному колі реактивної енергії зазвичай зумовлена присутністю в ньому, окрім активного опору (резисторів), ще індуктивності L (внаслідок використання трансформаторів та/або індуктивних фільтрів – дроселів) та/або ємності C (через використання конденсаторів).

У колі змінного струму активний опір r елемента можна визначити за показаннями ватметра та амперметра:

$$r = \frac{W}{I^2}, \quad (1.34)$$

а повний опір Z (імпеданс) – аналогічно формулі (1.32) за показаннями вольтметра та амперметра:

$$Z = \frac{U_{\approx}}{I_{\approx}}. \quad (1.35)$$

Індуктивний опір X_L (в омах) як складова імпедансу визначається за формулою:

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L, \quad (1.36)$$

де f – частота змінного струму.

Ємнісний опір X_C (в омах) як складова імпедансу визначається за формулою:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}. \quad (1.37)$$

При наявності в ланцюзі активного та реактивного опору формула для розрахунку імпедансу (повного опору) отримує вигляд:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}. \quad (1.38)$$

Наявність в електричному колі реактивних складових зумовлює зсув фаз φ між струмом та напругою, що супроводжується зміною коефіцієнта потужності $\cos \varphi$, який визначається формулою (1.30), та відповідної якості споживаної електричної енергії. У цьому сенсі доцільними стають заходи із взаємної компенсації X_L та X_C , що наближує $\cos \varphi$ до 1.

Для безпосереднього вимірювання кута φ зсуву фази між періодичними електричними коливаннями змінного струму та напруги в ланцюзі струму промислової частоти, а також у трьохфазній системі електропостачання використовуються **фазометри** (рисунок 1.40), за показами яких можна зробити висновок про якість споживаної електричної енергії.



а



б

Рисунок 1.40 – Вигляд однофазного (а) та трьохфазного (б) фазометра [1]

Як видно з формул (1.36) та (1.37), частота f є суттєвою характеристикою електричного струму. На практиці її вимірювання відбувається в діапазоні до 10^{11} Гц. На низьких частотах (від 20 до 2500 Гц), особливо, поблизу частот 50 Гц і 400 Гц часто

використовуються електромеханічні частотоміри – *логометри*.

Рухому частину магнітоелектричного логометра утворюють дві скріплені під кутом рамки (катушки індуктивності), струми до яких підводяться через безмоментні спіралі. Перебуваючи у полі постійного магніту, рамки прагнуть повернутися в напрямку дії більшого крутного моменту, і рухома частина системи відхиляється доки моменти не зрівноважаться.

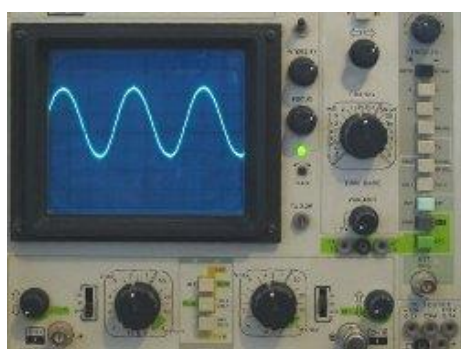
Зміна вимірюваної величини порушує рівновагу обертальних моментів, що спричиняє відповідне відхилення катушок разом з покажчиком (наприклад, стрілкою) на кут, який є пропорційним зміні вимірюваної величини (частоти, фази, опору тощо) [1].

Основна похибка електромеханічних аналогових частотомірів становить 1,0...2,5 %. Вони мають відносно вузькі діапазони вимірювання і використовуються зазвичай як щитові прилади.

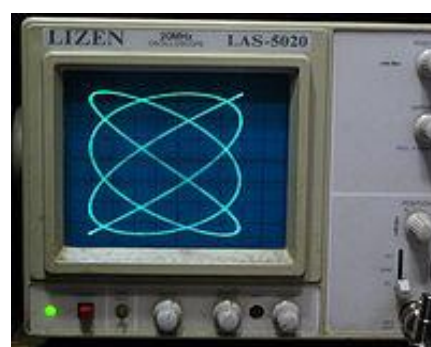
Аналогові *електронні конденсаторні частотоміри* застосовуються для вимірювання частот в діапазоні від 10 Гц до 1 МГц. Принцип роботи таких частотомірів ґрунтується на почерговому заряд-розряді конденсатора. Зарядження здійснюється від джерела змінної електричної напруги з наступним розрядженням через магнітоелектричний механізм. Цей процес відбувається з частотою, що дорівнює вимірюваній частоті. Струм зміщення (заряд), що, у середньому, протікає крізь магнітоелектричний амперметр, включений у ланцюг, є пропорційним вимірюваній частоті. Основна приведена похибка таких частотомірів лежить в межах 2...3 %.

У лабораторних умовах для вимірювання частоти нерідко використовують *осцилографи* – прилади, що призначені для спостереження, запису та вимірювання амплітудних та часових параметрів електричного сигналу, який відображається на екрані або фотострічці. Сучасні осцилографи дозволяють досліджувати сигнали гігагерцових частот. Для дослідження сигналів більшої частоти можна використовувати електронно-оптичні камери.

Використання кругової розгортки з модуляцією яскравості (рисунок 1.41, *а*) з визначенням частоти на основі вимірюного періоду електричного сигналу та аналіз фігур Ліссажу (рисунок 1.41, *б*) – найпоширеніші способи осцилографічних вимірювань частоти.



а



б

Рисунок 1.41 – Вигляд візуалізованого електричного сигналу змінної частоти на екрані електронного осцилографа [1]: *а* – розгортка сигналу; *б* – фігури Ліссажу при аналізі двох ортогональних сигналів (із взаємним зміщенням фази на 90 градусів)

До сімейства аналогових частотомірів належать також *гетеродинні частотоміри*, принцип дії яких ґрунтується на порівнянні вимірюваної частоти з частотою генератора стабільних електричних коливань, який можна переналагоджувати на потрібну частоту.

При порівнянні частоти генератора з частотою, що вимірюється, кінцевий електричний сигнал, крім початкових частот, буде мати цілий ряд комбінаційних, в тому числі – і різницю частоти. Коли ця різниця буде близькою до нуля, виникають низькочастотні (нульові) биття, які зручно спостерігати на екрані осцилографа або за допомогою спеціальних електронних пристроїв. Перевагою гетеродинних частотомірів є можливість вимірювання високих частот – до 100 ГГц з відносною похибкою, що не перевищує 0,01...0,001 %.

Резонансні частотоміри мають у своєму складі коливальну систему, яка налагоджується у резонанс з вимірюваною частотою зовнішнього джерела сигналів. Стан резонансу фіксують за максимальними показниками індикатора резонансу. Вимірювану частоту відраховують безпосередньо за шкалою каліброваного елемента налагодження (змінного конденсатора). Вимірювана частота може сягати 200 МГц, а відносна похибка таких вимірювань зазвичай становить 0,1%...1,0%.

Добрі характеристики мають *цифрові електронно-лічильні частотоміри* (рисунок 1.42).

Принцип їх роботи ґрунтується на підрахунку числа періодів вимірюваної частоти за деякий, строго визначений інтервал часу, тобто використовується аналого-цифрове перетворення частоти в послідовність імпульсів, кількість яких за одиницю часу є пропорційною до вимірюваної величини і може бути підрахована.



а



б

Рисунок 1.42 – Вигляд цифрових електронних частотомірів [1]: а – з індикацією на декатронних електронних лампах; б – з цифровою індикацією на дисплеї

Похибка таких частотомірів, в основному, визначається нестабільністю формування каліброваного інтервалу часу і похибкою квантування. Остання похибка зменшується зі збільшенням вимірюваної частоти. Цифрові частотоміри є найточнішими серед відомих засобів вимірювання частоти електричних сигналів (відносна похибка може не перевищувати $10^{-7}\%$), і їм властиві усі переваги цифрових вимірювальних приладів, наприклад, можливість автоматизувати вимірювальні процедури, через що вони знайшли широке застосування. Діапазон частот, вимірюваних цифровими частотомірами, лежить у межах від одиниць герц до декількох гігагерц.

Для вимірювання електричної ємності C конденсаторів, кабелів тощо застосовують *фарадометри*, що живляться змінним струмом промислової частоти (50 Гц). У таких засобах вимірювання для безпосереднього оцінювання рівня середнього струму зміщення так, як і у попередньому випадку, використовується електромагнітний, електродинамічний

або феродинамічний логометр. Шкали таких фарадометрів градуюють в мкФ та пФ.

Існують також фарадометри випрямної системи з магнітоелектричним вимірювальним механізмом [1]. Їх покази залежать від напруги живлення, тому перед вимірюванням необхідно проводити коригування фарадометру зі встановленням стрілки приладу на нульову відмітку шкали. Похибка таких вимірювань 1...4%.

Для розширення діапазону вимірювань ємності застосовують мостову схему (рисунок 1.43) аналогічно тому, як застосовують мостову схему при вимірюванні опору (див. рис. 1.39).

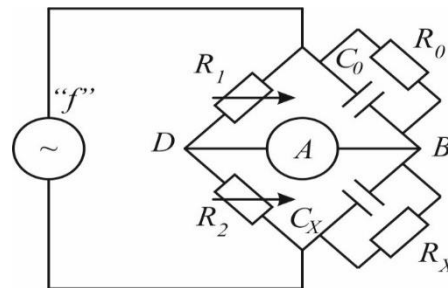


Рисунок 1.43 – Мостова схема при вимірюванні електричної ємності [1]

Тут зіставляється відношення активних резисторів R_2/R_1 керованої величини з відношенням імпедансів Z_X/Z_0 , де згідно з формулами (1.37) та (1.38) $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$. При балансуванні схеми таким чином, щоб амперметр (гальванометр) показував нуль, і при відомих значеннях R_0, R_1, R_2, R_X та C_0 розрахувати значення C_X досить просто.

Для вимірювання індуктивності аналогічно даним на рис. 1.39 та 1.43 найбільш поширеним є використання двох видів мостових схем (рисунок 1.44), у яких врівноваження імпеданса $Z_X = \sqrt{R_X^2 + X_L^2}$ з індуктивністю L_X за формулою (1.35) досягається за допомогою змінного зразкового імпеданса $Z_0 = \sqrt{R_0^2 + X_{L0}^2}$ з індуктивністю L_0 і зразковим резистором R_0 (див. рис. 1.45, а) або компенсується зразковим імпедансом $Z = \sqrt{R_0^2 + X_{C0}^2}$ з ємністю C_0 та зразковим резистором R_0 (див. рис. 1.45, б) [1].

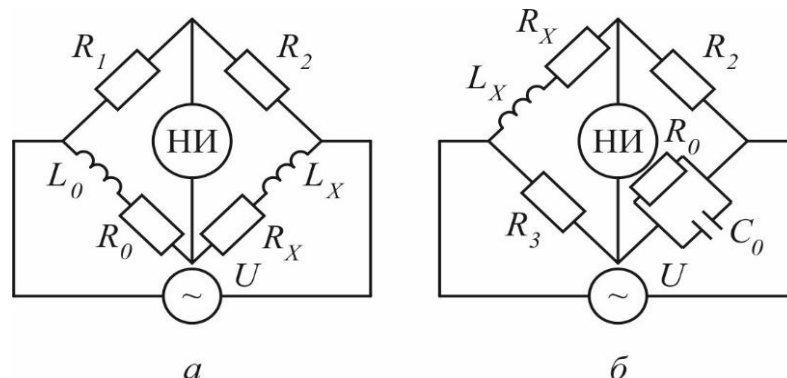


Рисунок 1.44 – Мостові схеми для вимірювання індуктивності [1]: а – з використанням зразкової індуктивності; б – з використанням зразкової ємності (НИ – нуль-індикатор; пояснення інших позицій – у тексті)

Індуктивність (котушка індуктивності) і ємність є широко застосовуваними елементами вимірювальних систем, а також технічних засобів перетворення електричної енергії. Про якість відповідних систем, що характеризуються резонансними властивостями, судять за характеристикою «добротність» [1].

У загальному випадку *добротність* – це відношення амплітуди коливань системи при резонансі до амплітуди коливань далеко від нього для вимушених коливань, або відношення енергії, запасеної в системі, до втрат енергії за одне вільне коливання.

На практиці найчастіше вимірюють *добротність котушок індуктивності* послідовного коливального контуру із зразковим конденсатором, втратами якого можна знехтувати порівняно із втратами котушки індуктивності. Тоді добротність котушки індуктивності практично збігається з добротністю коливального контуру і дорівнює відношенню напруги на зразковій ємності при резонансі до підведеної напруги генератора, включеного послідовно з елементами коливального контуру.

Оскільки для послідовного з'єднання струм однаковий для всіх елементів контуру, добротність реальної котушки індуктивності дорівнює відношенню індуктивного опору X_L до активного опору R .

Інакше, через те, що при резонансі ємнісний опір X_C дорівнює індуктивному X_L , а ємність C зразкового конденсатора відома, то добротність котушки індуктивності дорівнює відношенню ємнісного опору X_C до активного опору R .

Активний опір R знаходять при резонансі, ділячи напругу U на генераторі на його струм I за формулою (1.31). При цьому, ємнісний опір потрібно виміряти на резонансній частоті, наприклад, із залученням частотоміра.

Вимірювання добротності для елементів електричних ланцюгів здійснюють за допомогою *куметру* (Q-метра), який використовують для відповідного визначення характеристик котушок індуктивності, ємності, тангенса кута втрат, резонансної частоти контурів, складових імпедансу, а також для дослідження властивостей діелектриків [1].

Конструктивно куметр (рисунок 1.45) являє із себе послідовний коливальний контур, утворений котушкою індуктивності, параметри якої вимірюються, та зразковим конденсатором змінної ємності, який забезпечує налаштування контура в резонанс на частоті напруги живлення.



Рисунок 1.45 – Вигляд промислової моделі куметра [1]

На практиці часто для зручності використання в одному корпусі об'єднують декілька вимірювальних систем (контрольно-вимірювальних приладів). Це так звані **мультиметри**, «ампер-вольт-омметри» («АВО-метри»), **RLC-метри** (для вимірювання активного та реактивного опору як складових імпедансу), **тестери** (які можуть виконувати вказані та інші вимірювання) тощо (рисунок 1.46).



а



б

Рисунок 1.46 – Приклади товарних моделей мультиметрів з цифровою індикацією [1]: а – АВО-метр; б – RLC-метр

Заходи безпеки.

Перед початком лабораторної роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому з урахуванням предмету вивчення представляє наступне.

1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ

1.1 Перед початком роботи необхідно оглянути робоче місце і привести його в порядок, вивнитись, що на ньому відсутні сторонні предмети.

1.2 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.

1.3 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.

1.4 Перш ніж починати роботу з електроприладами необхідно уважно вивчити інструкцію по експлуатації даного електроприладу.

1.5 При роботі з електроприладами треба дотримуватись цієї інструкції та інструкції з їх експлуатації.

1.6 Слід перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.

1.7 Електроприлади встановлюються тільки на стабільну поверхню в сухому приміщенні на відстані від приладів опалення та металевих комунікацій, які заземлені.

1.8 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.

1.9 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху виключити пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).

1.10 Електроприлади встановлювати тільки на стабільну поверхню в сухому приміщенні на відстані від приладів опалення та металевих комунікацій, які заземлені.

1.11 Перевірити установку вимірювальних приладів на «0».

1.12 Перед початком роботи необхідно пересвідчитись у справному стані електроприладів, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок та розеток, наявності заземлення.

1.13 Електроприлади вмикають тільки в електромережу змінного струму напругою 220 В.

1.14 Користуватись несправним устаткуванням або використовувати його не за прямим призначенням забороняється.

1.15 При виявленні будь-яких недоліків у стані обладнання необхідно доповісти керівнику структурного підрозділу або відповідальній особі.

ПОПЕРЕДЖЕННЯ: вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) **ЗАБОРОНЕНО**.

2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

2.1 У будь-який момент виконання роботи при сигналі «Повітряна тривога» виключити все обладнання, електричне освітлення та під керівництвом викладача (керівника) організовано спуститися до укриття. Перебувати в укритті до закінчення тривоги.

2.3 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.

2.3 Під час роботи не можна:

- піддавати прилади впливу дощу чи іншої вологи;
- самостійно проводити їх розбирання чи ремонт;
- блокувати вентиляційні отвори;
- кидати електроприлади з висоти;
- встановлювати на електроприлади сторонні предмети;
- вмикати або вимикати електроприлади вологими руками.

2.5 Якщо всередину електроприладу потрапила рідина чи сторонні предмети, його треба негайно вимкнути та віддати на перевірку до спеціаліста з ремонту.

2.5 **ЗАБОРОНЕНО:**

2.5.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;

2.5.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.

2.6 **ЗАБОРОНЕНО** будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.

2.7 **ЗАБОРОНЕНО** студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.

2.8 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).

2.9 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормально припустимого, появі сторонніх звуків та або запахів, порушені нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.10 **ЗАБОРОНЕНО** торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних та електричних установок та від'єднати їх від електромережі.

3.2 Виймаючи штепсельну вилку з розетки ні в якому разі не можна тягнути за шнур, тільки за вилку.

3.3 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.4 Необхідно прибрати своє робоче місце та привести у порядок лабораторну установку.

3.5 Прибрати робоче місце та при необхідності вимити руки з милом.

Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

ПРИМІТКА:

Якщо в процесі роботи були помічені недоліки в роботі лабораторної установки або електрообладнання, необхідно доповісти керівнику підрозділу або відповідальній особі.

Порядок виконання роботи студентом.

1. Складає перелік контрольно-вимірювальних приладів (КВП), що є в лабораторії кафедри СЯСМ, за групами фізичних величин, що вимірюються: геометричні параметри, маса, сила, витрати речовини (рідини), електричні параметри тощо.

2. Обирає з кожної групи по 2...3 КВП (усього числом 8...10 одиниць) для наступного розгляду та аналізу.

3. Визначає вид фізичної величини, що вимірюється датчиком (на вході) первинного вимірювального перетворювача КВП.

4. На основі лекційних матеріалів та інших джерел інформації знаходить схеми обраних КВП, визначає принципи їх функціонування і фіксує перелік почергових перетворень *вимірюваної* фізичної величини на величину на виході.

5. Визначає вид первинного та наступних перетворень в КВП: (А) неенергетичні на неенергетичні; Б) неенергетичні на енергетичні; В) енергетичні на неенергетичні; Г) енергетичні на енергетичні, - представляючи ці дані за формою таблиці 1.13.

6. Робить висновки та представляє звіт з роботи, що виконана, відмічаючи: а) актуальність; б) зміст виконання; в) коротко – отримані результати; г) корисність.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 4...6 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи: здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Лабораторна робота № 5
«Ідентифікація послідовних перетворень фізичних величин при використанні випромінювань»

Мета: опанування вміннями ідентифікувати межі та функції технологічних пристроїв та вимірювальних перетворювачів при використанні випромінювань.

Суть розробки: ідентифікація меж і перетворень у технологічних пристроях та вимірювальних перетворювачах контрольно-вимірювальних приладів, у яких використовуються випромінювання (на основі оснащення лабораторії кафедри Систем якості, стандартизації та метрології (СЯСМ)).

Предметна сфера розробки: метрологічне забезпечення діяльності організації.

Загальні теоретичні положення – див. відповідні розділи практичних робіт №№ 1...4.

На додаток до матеріалів, що представлені вище, при виконання наявної лабораторної роботи слід врахувати наступну інформацію.

При використанні у перетворювачах випромінювань часто реалізується перетворення неенергетичних величин на енергетичні (електричні), а також – навпаки.

Різні види випромінювання об'єднує здібність до проникнення в речовини, і їх умовно можна розділити на:

- неіонізуючі (ультразвук, світло, електромагнітні поля);
- іонізуючі (радіація).

Умовність такого розділення пояснюється тим, що світло по суті частково є електромагнітним полем, а іонізуюча радіація, принаймні, частково складається з високочастотного електромагнітного випромінювання.

Ультразвук – це акустичні коливання, частота яких більша, ніж верхня межа чутного звуку, що сприймається людиною: понад 20 кГц. Максимальна частота ультразвуку є величиною умовною і може складати декілька МГц.

У природі ультразвук має місце як компонент багатьох природних шумів (шум моря, грози, вітру тощо), звуків тварин, які використовують його для локації (дельфіни, кажани та ін.).

Таблиця 1.13 – Характеристика послідовних перетворень фізичних величин у контрольно-вимірювальних приладах (з прикладом виконання)

№ з.п.	Назва, тип КВП	Величина, що вимірюється датчиком	Група вимірювань	Первинне перетворення		Перше проміжне перетворення		Друге проміжне перетворення		Примітки
				Величина на виході	Вид перетворення	Величина на виході	Вид перетворення	Величина на виході	Вид перетворення	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Вологомір MD914 Digital Moisture	Вологість твердих тіл	Неелектричні	Ємність електрична	Електрична (Б)	Потенціал електричний	Електрична (Г)	-	-	
2										
...										

У промисловстві ультразвук можуть генерувати:

- випромінювачі-генератори, коливання в яких здійснюються через спеціально спричинені перешкоди постійному потоку газу або рідини;
- електроакустичні перетворювачі, в яких вже задані коливання електричної напруги або струму перетворюються на механічні коливання твердого тіла, що і випромінює в навколишнє середовище акустичні хвилі. Ці хвилі розповсюджуються в середовищі зі швидкістю, яка залежить від властивостей середовища.

Застосування ультразвуку в різноманітних сферах (медицині, техніці, сільському господарстві тощо) базується, здебільшого, на наданні частинкам речовини коливань в узгодженості з ультразвуковими коливаннями.

У промисловстві із застосуванням магніострикційного вібратора це зумовлює реалізацію процесів різання, віброабразивної обробки та очищення, зварювання (включаючи з'єднання тканин живих організмів), інтенсифікації хімічних реакцій тощо.

Одним із застосувань ультразвуку є використання його проникливої властивості в **методах дефектоскопії** масивних виробів. Це дозволяє визначити, практично без обмежень, їх товщину, а також наявність, розташування і розміри дефектів майже усіх типів: від мікроскопічних тріщин і пор до раковин, розшарувань, рихлості, великих тріщин і газових пухирів.

Ультразвуковий контроль виконують на спеціальній установці, робота якої ґрунтується на властивості ультразвукових хвиль поширюватися в однорідному твердому тілі у вигляді спрямованого пучка і відбиватися від границь між двома різними речовинами, що мають різні акустичні властивості, зокрема, від несутільностей матеріалу (рисунок 1.47).

Нині застосовують *ультразвукові дефектоскопи*, в яких реалізуються принципи: тіньовий («пряме просвічування»); імпульсний («відлуння»); резонансний.

Суть *тіньового методу* полягає в тому, що ультразвук уводять у виріб з одного боку, а фіксують спеціальним приймачем з іншою. Якщо виріб однорідний, то ультразвук вільно проходить крізь нього майже без послаблення. Якщо ж усередині виробу виявляється неоднорідність (дефект), ультразвук розсіюється і доходить до приймача ослабленим.

Імпульсний метод здійснює «локацію» дефекту. В цьому випадку ультразвук уводять і приймають з одного боку виробу. За наявності дефекту віддзеркалені ультразвукові хвилі від нього та протилежної поверхні виробу потрапляють на спеціальний приймач, який перетворює їх в змінну електричну напругу. При цьому, сигнал від дефекту раніше прийде у приймач, що дозволяє виявляти дефекти, розташовані на певній глибині. Цей сигнал через підсилювач подається на прилад візуалізації, де фіксується на екрані осцилографа у вигляді «дефектного» піку на певній відстані від «донного» сигналу.

Резонансний метод ґрунтується на зміні робочого режиму п'єзоперетворювача, прикладеного до поверхні виробу. У момент збігу частоти ультразвукових коливань випробовуваного матеріалу з частотою перетворювача виникає різке збільшення навантаження на останній. Зміна навантаження призводить до утворення вимірювального імпульсу, що показує товщину виробу, а також - відстань до внутрішніх дефектів.



Рисунок 1.47 – Схема поширення ультразвукових хвиль у матеріалі з внутрішніми дефектами (а) [12] та одна з товарних моделей ультразвукового дефектоскопа (б) [1]

В основу принципу дії *оптичних перетворювачів* покладений вплив перетворюваної фізичної величини на параметри оптичного випромінювання, безпосередньо впливаючи на джерело випромінювання, змінюючи його інтенсивність, або впливаючи на параметри оптичного потоку. Надалі фотоелектричні перетворювачі здійснюють перетворення оптичних параметрів світлового потоку в електричний сигнал.

Оптичні перетворювачі можуть бути електрооптичними та фотоелектронними.

До групи *електрооптичних перетворювачів* можна віднести *електричні лампи* – пристрої для створення видимого світла під дією електричного струму (рисунок 1.48) [13].



Рисунок 1.48 – Основні види ламп: а – розжарення; б – люмінесцентна; в – галогенова; з – світлодіодна [12]

Лампи як правило, мають основу виконану з кераміки, металу, скла або пластику, що дозволяє безпечно помістити лампу в патрон світильника.

Існує три основні види електричних ламп: *лампа розжарення* (див. рис. 1.48, а), яка виробляє світло за допомогою нитки розжарення – спеціального елемента, розігрітого до біла електричним струмом; *газорозрядні лампи*, які виробляють світло за допомогою дугового електричного розряду в газовому середовищі (див. рис. 1.48, б, в), і *світлодіодні лампи* (див. рис. 1.48, з), які виробляють світло потоком електронів в напівпровіднику.

Останні представляють із себе фотодіод (*див. далі*), що працює у генераторному режимі. Світло аналогічно шуму можна розглядати як слабоенергетичне випромінювання, яке, впливаючи на стан людини, зумовлює її працездатність. В індивідуальному сприйнятті світло зумовлюється природною та/або штучною освітленістю, здебільшого, електричними лампами (*див. рис. 1.48*).

До основних кількісних показників освітлення відносяться: світловий потік, сила світла, яскравість і освітленість.

Світловий потік Φ — це потужність світлового видимого випромінювання, що оцінюється оком людини за світловим відчуттям. Одиницею світлового потоку є *люмен* (лм) – світловий потік від еталонного точкового джерела в одну канделу (міжнародну свічку), розташованого у вершині тілесного кута в 1 стерадіан.

Сила світла I визначається відношенням світлового потоку Φ до тілесного кута ω , в межах якого світловий потік рівномірно розподіляється:

$$I = \frac{\Phi}{\omega}. \quad (1.39)$$

За одиницю сили світла прийнята *кандела* (кд) — сила світла точкового джерела, що випромінює світловий потік в 1 лм, який рівномірно розподіляється всередині тілесного кута в 1 стерадіан.

Яскравість B визначається як відношення сили світла I , що випромінюється елементом поверхні в даному напрямку, до площі S поверхні, що світиться:

$$B = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha}, \quad (1.40)$$

де α – кут між нормаллю до елемента поверхні S і напрямком, для якого визначається яскравість.

Одиницею яскравості є *ніт* (нт) – яскравість поверхні, що світиться і від якої в перпендикулярному напрямку випромінюється світло силою в 1 канделу з 1 м².

Освітленість E – це відношення світлового потоку Φ , що падає на елемент поверхні, до площі цього елемента S :

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (1.41)$$

За одиницю освітленості прийнято *люкс* (лк) – рівень освітленості поверхні площею 1 м², на яку падає, рівномірно розподіляючись, світловий потік в 1 люмен.

На практиці освітленість визначають за допомогою **фотоелектричних експонетрів** та **люксетрів** (рисунок 1.49), в яких вимірювальним перетворювачем слугує, наприклад, фоточутливий напівпровідник, а параметри електричного струму підсилює та фіксує відповідна електронна схема.

У **фотоелектронних (оптичних) перетворювачах** використовується фотоэффект: явище взаємодії електромагнітного випромінювання з речовиною, в результаті якого енергія фотонів передається електронам речовини, а останні переходять у новий енергетичний стан.



a



б

Рисунок 1.49 – Вигляд деяких товарних моделей: *a* – фотоекспонетр типу SECONIC L-208 [14]; *б* – люксметри [15]

Взагалі, розрізняють:

- зовнішній фотоелектричний ефект – виривання електронів з речовини під дією світла (рисунок 1.50) [1];
- внутрішній фотоелектричний ефект – перерозподіл електронів за енергетичними рівнями під дією світла (електромагнітного випромінювання), що властиво деяким напівпровідникам і меншою мірою – діелектрикам;
- ядерний фотоелектричний ефект – це явище виривання нуклонів із ядра під дією жорсткого рентгенівського або γ -випромінювання.

Взагалі, фотоелектричний перетворювач являє собою вимірювальний прилад (*фотоелемент*), використовуваний як вимірювальний перетворювач.

Є три типи таких перетворювачів: із зовнішнім фотоелектричним ефектом, із внутрішнім фотоелектричним ефектом і фотогальванічні перетворювачі.

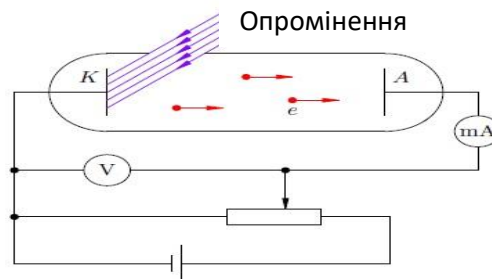


Рисунок 1.50 – Схема до пояснення явища зовнішнього фотоелектричного ефекту [1]

До **перетворювачів із зовнішнім фотоелектричним ефектом** відносяться *вакуумні й газонаповнені фотоелементи й фотоелектронні помножувачі*.

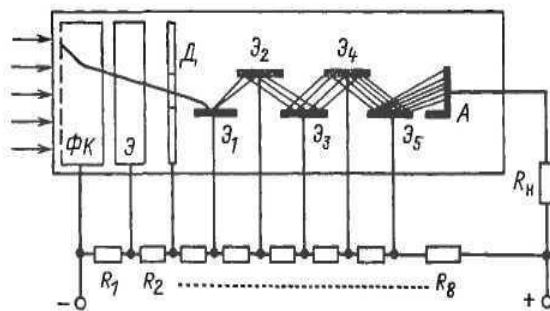
Вакуумні фотоелементи складаються з вакуумованої скляної колби, що містить два електроди: анод – *A* і катод – *K* (див. рис. 1.50). Катод представляє із себе напилену речовину, що має малу *роботу виходу*. Вона легко іонізується під дією світла. При освітленні фотокатода видимим, інфрачервоним, ультрафіолетовим або рентгенівським опроміненням він емітує

електрони. Якщо між анодом і катодом прикладена напруга, то ці електрони утворюють електричний струм (*фотострум*).

Якщо в якості анода використовують напилений люмінофор, то під дією потоку електронів останній починає світитися.

Перспективними є фотоелектричні первинні вимірювальні перетворювачі на основі перетворення «площа – напруга». У таких перетворювачах площа fotocутливого шару катода змінюється під дією вимірюваної фізичної величини. Відповідні засоби широко використовуються в сучасних «приладах» нічного бачення.

Підвищення ефективності таких ЗВ здійснюється за схемою дії **фотоелектронного помножувача** (ФЕП) - це вакуумний фотоелемент із системою електродів для посилення струму фотоemisії (рисунок 1.51).



а



б

Рисунок 1.51 – Фотоелектронний помножувач: а – схема; б – вигляд товарного виробу [5]

При функціонуванні ФЕП світло падає на фотокатод ФК, що емітує електрони. Потік електронів фокусується електричним полем, створюваним електродом Э, формується діафрагмою Д і направляється на прискорюючий електрод – *динод* Э₁. Напругу на діноді забезпечують такою, щоб енергії фотоелектрона було достатньо для вторинної збільшеної emisії електронів. Далі потік електронів направляється на наступні діоди Э₂...Э₅ і збирається анодом. Анодний струм перетворюється на падіння напруги на допоміжному резисторі R_н. Живлення ФЕП здійснюється за допомогою дільника напруги R₁...R₈.

Газонаповнений фотоелемент виконують аналогічний вакуумному, але він має певне газове заповнення. Завдяки іонізації газу відбувається посилення струму фотоemisії. Чутливість газонаповнених фотоелектричних перетворювачів вище, ніж у вакуумних.

Функціонування **перетворювачів із внутрішнім фотоелементом (фоторезисторів)** обумовлене збудженням електронів у валентній зоні й домішкових рівнях напівпровідника. При збудженні електрони переходять до зони провідності, а у валентній зоні з'являються «дірки». При освітленні збудження електронів збільшується, що викликає збільшення електропровідності фоторезистора.

Спектральна характеристика фоторезисторів заходить у інфрачервону область (наприклад, для сірчанисто-свинцевих – до довжини хвилі $\lambda_{\Gamma p} = 2,7$ мкм). При невеликих рівнях освітленостях число збуджених світлом електронів пропорційно освітленості. При великих

освітленостях пропорційність порушується. Чутливість фоторезисторів визначається кратністю зміни їхнього опору (до 10^5 при 200 лк) у порівнянні з опором неосвітленого перетворювача.

Вольт-амперна характеристика фоторезисторів лінійна, тобто їхній опір не залежить від прикладеної напруги. Інерційність характеризується постійною часу τ . У січанисто-кадмієвих перетворювачів $\tau = 1 \dots 140$ мс, у селенисто-кадмієвих – $0,5 \dots 20$ мс.

Фоторезистори мають високу чутливість. Однак їхній опір залежить від температури подібно опору терморезисторів (див. вище).

Конструктивно фоторезистор виконують у вигляді пластинки 1, на яку нанесений шар напівпровідникового фоточутливого матеріалу 2 (рисунок 1.52). Звичайно – це сірчанистий кадмій, селенистий кадмій або сірчанистий свинець. Освітлення здійснюється через вікно 3, включення в електричний ланцюг – електродами (виводами) 4, а засіб міститься в корпусі 5.

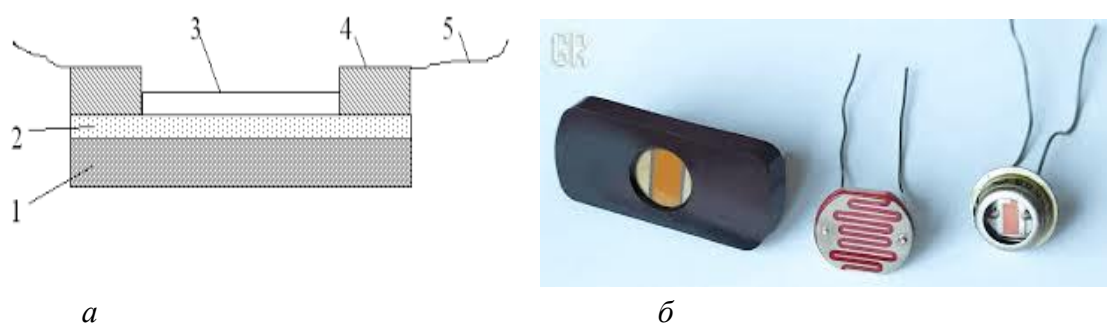


Рисунок 1.52 – Фоторезистор: а – схема; б – представники товарних виробів [16]

Фотогальванічні перетворювачі являють собою фотоелектронні прилади з $p-n$ -переходом: *фотодіоди* та *фототранзистори* (рисунок 1.53).

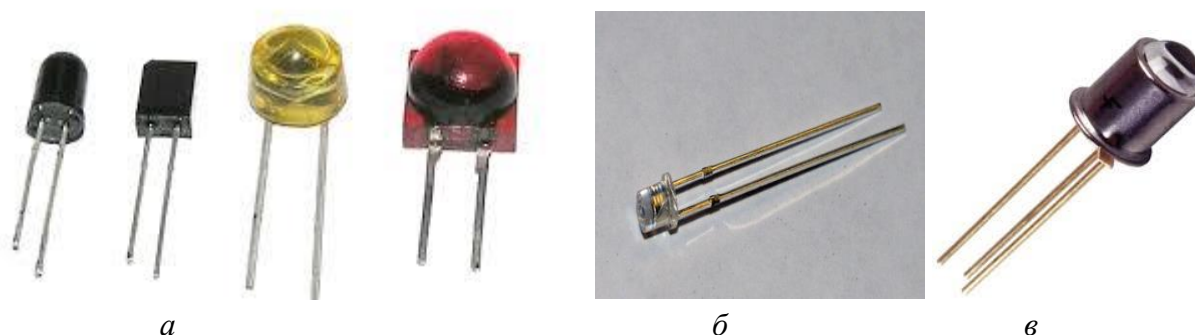


Рисунок 1.53 – Вигляд представників товарних моделей фотодіодів (а) і фототранзисторів: б – одинарний; в – подвійний [17]

При освітленні $p-n$ -переходу створюється додаткова концентрація носіїв в n -шарі. Це приводить до посилення їх дифузії до $p-n$ -переходу і у самому переході.

Найпоширенішими є германієві й кремнієві **фотодіоди**. Вольт-амперна характеристика германієвого фотодіода при відсутності освітлення не відрізняється від характеристики звичайного діода, а при освітленні зміщається нагору пропорційно величині світлового потоку.

Їхні спектральні характеристики заходять в область інфрачервоного випромінювання (для германієвих фотодіодів до $\lambda_{\Gamma p}=2$ мкм, для кремнієвих до $\lambda_{\Gamma p}= 1,1$ мкм).

Залежність струму фотодіода від освітленості практично лінійна. Внутрішній диференціальний опір фотодіода має величину порядку мегаомів.

Фотодіоди чутливі не тільки до сили світла, але й до кольору. Вони малоінерційні: їхня постійна часу має порядок $10^{-7} \dots 10^{-8}$ с.

Фотодиоди можуть працювати у фотодіодному і генераторному режимах.

У фотодіодному режимі перетворювач підключають до запираючої напруги. При збільшенні його освітленості зростає зворотний струм.

У генераторному режимі фотодіод функціонує як лампа (див. рис. 1.48, з).

Фототранзистор служить для перетворення світлових сигналів в електричні з посиленням останніх за рахунок енергії джерела живлення [18].

Цей засіб являє собою монокристалічну напівпровідникову пластину (з германію або кремнію), в якій за допомогою особливих технологічних прийомів створено три області, які мають назву, як і у звичайному транзисторі – емітер, колектор і база, причому остання, на відміну від транзистора, може не мати виводу. Кристал вмонтовується в захисний корпус з прозорим входним вікном (див. рис. 1.53, б. в).

Включення фототранзистора у зовнішнє електричне коло виконується подібно включенню біполярного транзистора за схемою зі спільним емітером і нульовим струмом бази. При попаданні світла на базу (або колектор), на ній утворюються парні носії зарядів (електрони і «дірки»), які розділяються електричним полем колекторного переходу. В результаті цього, у базовій області накопичуються основні носії, що призводить до зниження потенціального бар'єру емітерного переходу і збільшенню (посиленню) струму в порівнянні зі струмом, обумовленим перенесенням лише тих носіїв, які утворилися безпосередньо під дією світла.

Фототранзистори широко використовуються у системах контролю й автоматики як датчики освітленості, елементи гальванічної розв'язки і т. д.

Значення темного струму усіх фотоелектричних приладів сильно залежить від температури, що є загальним недоліком таких перетворювачів. Ще одним суттєвим їхнім загальним недоліком є похибка, що пов'язана зі старінням.

Внаслідок представлених особливостей фотоелектричні перетворювачі знайшли застосування, в основному, для вимірювання неслітових величин без контакту з об'єктом виміру та без відповідного впливу на нього. Відповідними прикладами стають наступні:

- при вимірюваннях в релейному режимі (наприклад, при вимірюванні частоти обертання вала, що має диск із отворами: диск перериває промінь світла, падаючий на фотоелектричний перетворювач, а вимірювана швидкість перетворюється в частоту електричних імпульсів;

- в якості прямого перетворювача у компенсаційних вимірювальних приладах, в яких застосовуються диференціальні схеми;

- при вимірюванні неслітових величин, коли проміжною величиною перетворення є величина світлова, наприклад, при вимірюванні концентрації речовини в розчині, коли проміжною величиною є зміна поглинання світла розчином.

В останні десятиліття активно розвиваються *лазерні технології*.

Лазер, або *оптичний квантовий генератор* – пристрій, який перетворює енергію «накачки» (світлову, електричну, теплову, хімічну та ін.) в енергію когерентного монохроматичного поляризованого та вузькоспрямованого потоку випромінювання [19].

Випромінювання лазера може бути безперервним, з постійною потужністю, або імпульсним, що досягає гранично великих пікових потужностей. У деяких схемах робочий елемент лазера використовується як вимірвальний оптичний перетворювач-підсилювач випромінювання від іншого джерела.

Фізичною основою роботи лазера є явище, коли збуджений атом (чи інша квантова система), випромінює фотон під впливом іншого фотона без його поглинання, якщо енергія останнього дорівнює різниці енергій рівнів атома до і після випромінювання. При цьому, випромінюваний фотон є *когерентним* («точною копією») фотону, що викликав випромінювання. У такий спосіб відбувається посилення світла. *Цим явищем відрізняється від спонтанного випромінювання, у якому випромінювані фотони мають випадкові напрями поширення, поляризацію та фазу.* Ймовірність того, що випадковий фотон викликає індуковане випромінювання збудженого атома, в точності дорівнює ймовірності поглинання цього фотона атомом, що знаходиться в незбудженому стані. Тому посилення світла необхідно, щоб збуджених атомів було більше, ніж незбуджених (це так звана «*інверсія населеності*»). У стані термодинамічної рівноваги ця умова не виконується, тому використовують різні системи «накачування» активного середовища лазера (оптичні, електричні, хімічні та ін.).

Першоджерелом генерації є процес спонтанного випромінювання, тому для забезпечення наступності поколінь фотонів необхідне існування позитивного зворотного зв'язку, за рахунок якого випромінювані фотони викликають наступні акти індукованого випромінювання. Для цього активне середовище лазера розміщують в *оптичній резонатор*. У найпростішому випадку він представляє із себе два дзеркала, встановлені один навпроти одного, на одне з яких промінь лазера частково спрямовується із резонатора.

Відбиваючись від дзеркал, пучок випромінювання багаторазово проходить по резонатору, викликаючи в ньому індуковані переходи. При цьому, використовуючи різні прийоми для швидкого вимикання та включення зворотного зв'язку та зменшення тим самим періоду імпульсів, можливо створити умови для генерації випромінювання дуже великої потужності. Цей режим роботи лазера називають *режимом модульованої добротності*.

Випромінювання, що генерується лазером, є *монохроматичним* (з однією або дискретним набором довжин хвиль), оскільки ймовірність випромінювання фотона певної довжини хвилі більша, ніж близько розташованої, що підвищує ймовірність переходів саме на цій частоті.

Крім цього, через особливе розташування дзеркал в лазерному промені зберігаються лише ті фотони, які поширюються за напрямком, *паралельним оптичній осі* резонатора на невеликій відстані від неї, а інші фотони залишають об'єм резонатора. В результаті, лазерний промінь має дуже малий кут розбіжності. (рисунок 1.54).

Нарешті, промінь лазера має певну *поляризацію*. Для цього у резонатор вводять різні поляризатори, наприклад, ними можуть служити плоскі скляні пластинки, встановлені під певним кутом до напрямку поширення променя лазера.

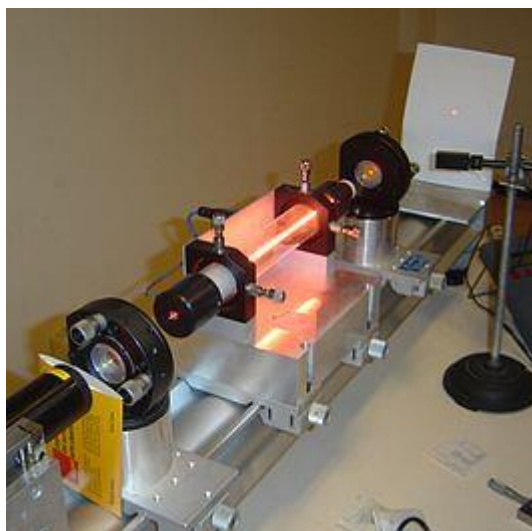


Рисунок 1.54 – Гелій-неоновий лазер (у центрі – світіння позитивного стовпа; власне лазерний промінь проєктується на екран праворуч у вигляді яркої точки) [19]

Існує велика кількість видів лазерів, у яких використовують як робоче середовище всі агрегатні стани речовини. Деякі типи лазерів, наприклад, лазери на розчинах барвників або *твердотільні поліхроматичні лазери* можуть генерувати цілий набір частот в широкому спектральному діапазоні.

Габарити лазерів варіюються від мікроскопічних для низки напівпровідникових модифікацій до розмірів футбольного поля для деяких лазерів на неодимовому склі.

Унікальні властивості випромінювання лазерів дозволили використовувати їх у різних галузях науки і техніки, а також у побуті, починаючи з читання та запису компакт-дисків, штрих-кодів та закінчуючи вимірюванням відстаней, використанням в якості зброї, дослідженнями в галузі керованого термоядерного синтезу тощо.

Електромагнітне випромінювання – це взаємопов'язані коливання електричного (E) і магнітного (B) полів, що разом утворюють *електромагнітне поле*. Вільне електромагнітне поле утворюється за нерівномірного руху та взаємодії електричних зарядів. Розповсюдження випромінювання здійснюється за допомогою електромагнітних хвиль, які випромінюються зарядженими частинками, атомами, молекулами, антенами та іншими випромінювальними системами. У цьому сенсі розрізняють вимушені (під впливом зовнішніх джерел) і власні електромагнітні коливання.

Швидкість поширення електромагнітного випромінювання залежить від властивостей середовища. У неоднорідному середовищі спостерігаються явища відбивання, заломлення, дифракції та інтерференції.

Основними характеристиками електромагнітного випромінювання вважають частоту, довжину хвилі і поляризацію.

Довжина хвилі прямо пов'язана з частотою через *групову швидкість* поширення випромінювання. Групова швидкість поширення електромагнітного випромінювання у вакуумі дорівнює швидкості світла, в інших середовищах ця швидкість є меншою.

Фазова швидкість електромагнітного випромінювання у вакуумі також дорівнює швидкості світла; у різних середовищах вона може бути як меншою, так і більшою від швидкості світла. Оскільки швидкість поширення випромінювання (у вакуумі) стала, то частота його коливань жорстко пов'язана з довжиною хвилі у вакуумі.

Залежно від довжини хвилі (частоти коливань) і джерел випромінювання розрізняють видиме світло, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання, мікрохвильове, надвисокочастотне і радіовипромінювання, гальмівне, гамма- та, рентгенівське випромінювання (таблиця 1.15) [20].

Між діапазонами (див. табл. 1.15) немає чітких переходів, іноді вони перекриваються, а межі між ними є умовними.

Таблиця 1.15 – Узагальнена характеристика електромагнітного випромінювання [20]

Назва діапазону		Довжина, λ	Частота ν , Гц	Джерело
Радіохвилі	наддовгі	Понад 10 км	до 30 кГц	Атмосферні та магнітосферні явища. Радіозв'язок.
	довгі	10 км...1 км	$(30...300) \cdot 10^3$	
	середні	1 км...100 м	$300 \cdot 10^3...3 \cdot 10^6$	
	короткі	100 м...10 м	$(3...30) \cdot 10^6$	
	ультракороткі	10 м...1 мм	$30 \cdot 10^6 ...300 \cdot 10^9$	
	мікрохвилі	< 1м	$> 300 \cdot 10^6$	
Інфрачервоне випромінювання		1 мм...780 нм	$300 \cdot 10^9 ...429 \cdot 10^{12}$	Вивчення молекул і атомів при теплових та електричних впливах.
Видиме випромінювання		780...380 нм	$429 \cdot 10^{12} ...750 \cdot 10^{12}$	
Ультрафіолетові		380нм...10нм	$3 \cdot 10^{14} ...3 \cdot 10^{16}$	Випромінювання атомів під впливом прискорених електронів.
Рентгенівські		10 нм...5 пм	$3 \cdot 10^{16} ...6 \cdot 10^{19}$	Атомні процеси при впливі прискорених заряджених частинок.
Гамма		до 5 пм	понад $6 \cdot 10^{19}$	Ядерні і космічні процеси, радіоактивний розпад.

Електромагнітне поле Землі є постійним елементом середовища існування, до якого адаптувалися організми, проте унаслідок антропогенної діяльності рівень електромагнітних полів в окремих регіонах у сотні разів перевищує середнє значення рівня природного поля.

Джерелами техногенних електромагнітних полів є різні передавальні пристрої, лінії електропередачі, транспорт тощо. Зокрема, повітряні лінії електропередачі створюють електромагнітні поля промислової частоти: 50 Гц в європейських країнах: 60 Гц – у США [20].

Магнітометри (рисунок 1.55) класифікують за фізичним явищем чи ефектом, на якому ґрунтується їх дія, за областями застосування, за умовами експлуатації, за ступенем інформативності (скалярні, векторні або тензорні), що знаходить відображення в найменуванні приладу: «квантовий магнітометр», «морський буксирований магнітометр», «трикомпонентний індукційний магнітометр» тощо.



а



б



в



г



д

Рисунок 1.55 – Приклади товарних моделей магнітометрів [1]: а – ферозондовий; б – квантовий ферозондовий; в – портативний універсальний; г – трикомпонентний; д – вимірювач рівня електромагнітного фону

Найбільш поширена класифікація магнітометрів – за фізичним явищем, використовуваним у вимірювальних перетворювачах засобу.

Найбільш широке практичне застосування для вимірювання магнітної індукції постійних, змінних і імпульсних полів отримали магнітометри з вимірювальним перетворювачем на основі ефекту Холла [1], що мають лінійну залежність напруження

електричного поля від магнітного поля в широкому діапазоні його значень і чутливістю $10^{-7} \dots 10^{-6}$ Тл (це так звані, «*тесламетри Холла*»). Вони застосовуються для контролю магнітних систем електровимірювальних і електронних приладів; для вимірювання магнітної індукції у зазорах електродвигунів, генераторів, електромагнітних реле; для вимірювання та аналізу полів розсіювання джерел постійних, змінних та імпульсних магнітних полів.

Також використовуються магнітометри, засновані на магніторезистивному, магнітоконцентраційному та магнітодіодному ефектах.

Магніторезистивні тесламетри застосовуються в області сильних полів (понад 1...2 Тл), де залежність електричного опору від магнітної індукції лінійна.

В практиці магнітних обсерваторій і метрологічних інститутів, а також для визначення намагніченості земних порід і властивостей магнітних матеріалів застосовуються **магнітомеханічні магнітометри**, засновані на силовій взаємодії вимірюваного магнітного поля з постійним магнітом (магнітометри кварцові, крутильні, важільні, астатичні та ін.).

Створюються також магнітометри на нових фізичних принципах і явищах: волоконно-оптичні, магнітострикційні, магнітопружні, на тонких феромагнітних плівках тощо [1].

Паралельно застосовують **методи дефектоскопії**, які базуються на фіксації ефектів електромагнітного поля.

Зокрема, **магнітопорошковий метод** ґрунтується на властивості феромагнітного порошку (наприклад, у вигляді суспензії) концентруватись в намагніченому об'єкті в місцях найбільшої напруженості поля, тобто біля місць розміщення дефекту (рисунок 1.56).

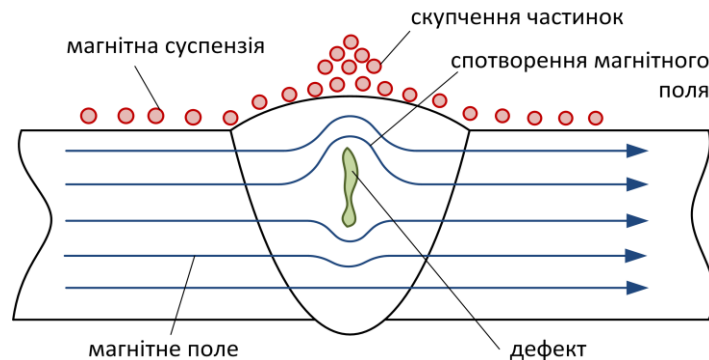


Рисунок 1.56 – Схема реалізації магнітопорошкового методу дефектоскопії [1]

Це дозволяє виявляти дрібні поверхневі дефекти, а також дефекти, розташовані на глибині до 4,5...6,5 мм залежно від товщини контрольованого виробу. На практиці цей метод реалізується із застосуванням магнітного кольорового порошку, наприклад, оксиду заліза («сухий» метод) або магнітної суспензії цього ж порошку, якою змащується попередньо намагнічена деталь («вологий» метод) [1].

Особливість **ферозондового методу** дефектоскопії полягає у фіксації градієнту магнітних полів розсіювання за допомогою магніточутливого перетворювача. Цей метод отримав розповсюдження для контролю круглих заготовок та сортового прокату [1].

При **магнітографічному методі** записують магнітні поля розсіювання на магнітну стрічку. Цим методом контролюють заготовки, які мають оброблену або травлену поверхню, оскільки поверхнева окалина знижує чутливість методу на 25...30%.

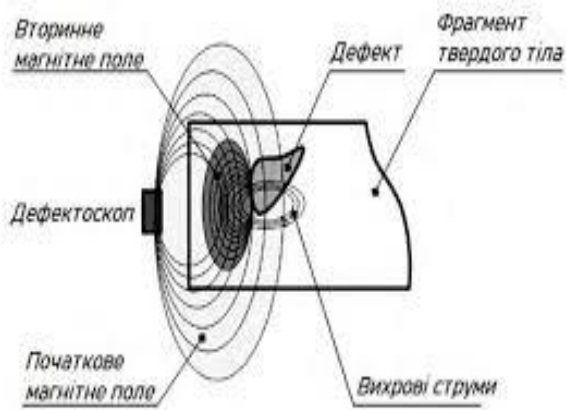
Магнітні методи ще застосовують після термічної обробки сталі, коли при масовому виробництві необхідно контролювати її фізичний стан (структуру). Таким шляхом також можна отримати відносну оцінку механічних властивостей (твердості) та оброблюваності сталі ріжучими інструментами. Але при цьому місцеві флуктуації твердості виявляються не повністю. У зв'язку з цим обирають магнітну характеристику сталі, яка найбільш чутливо реагує на зміни її фізичного стану (структури).

Електромагнітні явища досить широко використовують також при контролі якості покриттів. Тут можна відокремити наступні прийоми **контролю товщини покриття** за умови, що сумарна шорсткість поверхонь основного металу і покриття менше за товщину покриття.

При реалізації **магністатичного методу** дефектоскопії реєструють зміну напруженості магнітного поля в ланцюзі електромагніту постійного струму або постійного магніту при зміні відстані між ним і основним металом деталі внаслідок наявності покриття певної товщини та складу за допомогою магніточутливих вимірювальних перетворювачів.

Якщо основний метал виробу є феромагнітним, а покриття – ні, можна застосовувати **магнітовідривний метод** визначення товщини покриття, що заснований на вимірюванні сили відриву постійного магніту або сердечника електромагніту від контрольованої поверхні.

Електроіндуктивний метод (метод вихрових струмів) дефектоскопії (рисунок 1.57, а) є майже універсальним, оскільки з його допомогою можна не лише виявляти внутрішні дефекти металу, але й визначати розміри поковок, прутків, штанг і труб, товщину листів, стрічок і покриттів, твердість, електропровідність, протикорозійну стійкість і інші властивості матеріалів у залежності від поставленого завдання та тарировки, фіксуючи результати вимірювань у зв'язку з відхиленням хімічного складу щодо еталонного зразка.



а



б

Рисунок 1.57 – Схема реалізації методу вихрових струмів дефектоскопії (а) [21] та приклад товарної моделі вихрострумовею осцилографом-дефектоскопом (б) [1]

Метод заснований на реєстрації взаємодії зовнішнього для виробу високочастотного електромагнітного поля індуктора з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться цим індуктором в деталі. Ця взаємодія залежить від електрофізичних і геометричних параметрів основного металу та (або) покриття.

Застосування спеціальних компенсуючих схем і підсилювачів, а також використання осцилографа в якості вимірювального приладу (рисунок 1.58, б) дозволяє *роздільно* виявити вплив кожного з факторів і через них чітко контролювати у виробі наступні параметри: марку матеріалу, твердість, наявність тріщин і непроварів, структурний стан, внутрішні напруження, розміри перерізу (зовнішні діаметри труби визначаються з точністю до 0,01%, внутрішні – з точністю до 0,10% від номіналу).

Основним недоліком електроіндуктивного методу вихрових струмів є неможливість виявлення глибинних дефектів. Зокрема, тонкі тріщини, розташовані на внутрішній поверхні труби, зі стінкою завтовшки більше 5 мм виявити не вдається.

До групи *іонізаційного електромагнітного випромінювання* відносять будь-яке випромінювання, взаємодія якого із середовищем приводить до утворення електричних зарядів різних знаків.

Ультрафіолетове випромінювання і видиму частину світлового спектру зазвичай не відносять до іонізуючого випромінювання, хоча, іонізувати атоми може й ультрафіолетове випромінювання, і навіть видиме світло.

Радіоактивність – це явище перетворення нестійкого ізотопу хімічного елемента в інший ізотоп (зазвичай – іншого елемента) шляхом випромінювання гамма-квантів, елементарних частинок або ядерних фрагментів. Ці сильно потоки частинок іноді називають *ядерним випромінюванням*. Процес радіоактивного розпаду відбуватиметься доти, поки не з'явиться стабільне, тобто нерадіоактивне ядро, яким частіше за все є ядра свинцю або вісмуту.

Для кожного типу розпаду є характерний час, за який розпадається половина всіх радіоактивних ядер. Цей час називається *періодом напіврозпаду*. Він різний для різних радіоактивних ізотопів може бути від наносекунд до мільйонів років. Ізотопи з малим періодом напіврозпаду дуже радіоактивні, але швидко зникають. Ізотопи з великим періодом напіврозпаду слабо радіоактивні, але ця радіоактивність зберігається дуже довгий час.

Радіоактивне випромінювання впливає на речовину, зокрема, її іонізацію. Наприклад, у фотоемульсії під дією радіації відбуваються хімічні реакції, і це є одним із методів детектування.

Наявність радіоактивних речовин у середовищі (ступінь забруднення ними) часто буває дуже малою, що практично не дає можливості застосувати прийоми зважування. Саме тому мірою радіоактивних речовин є не вага, а *активність* радіоізотопів.

Активність радіоактивного елемента визначається числом розпадів за одиницю часу. Вона пропорційна кількості розпадів й обернено пропорційна періоду напіврозпаду.

У Системі СІ одиницею вимірювання *активності речовини* визначено *беккерель (Бк)* – це така кількість радіоактивної речовини, в якій за секунду відбувається один акт розпаду. Практично ця величина дуже мала і незручна, тому частіше використовують позасистемну

одиницю *кюрі* (*Ki*) – кількість радіоактивної речовини, в якій проходить 37 мільярдів актів розпаду за 1 с.

Відповідним чином, за одиницю *радіоактивності площі* («питому забрудненість площі») у системі СІ прийнято *беккерель на квадратний кілометр* (Бк/км²). За одиницю питомої вагової активності – *беккерель на кілограм* (Бк/кг); для рідкого і газоподібного середовища – питомою об'ємною активністю є *беккерель на літр* (Бк/л).

Аналогічно, при використанні посистемної одиниці *Ки* застосовують *кюрі на квадратний кілометр* (Ки/км²), *кюрі на кілограм* (Ки/кг) та *кюрі на літр* (Ки/л).

Енергію іонізуючого випромінювання вимірюють в *електрон-вольтах* (*eV*). На практиці частіше застосовують десяткові кратні одиниці: кілоелектрон-вольт ($1 \text{ кеВ} = 10^3 \text{ eV}$) і мегаелектрон-вольт ($1 \text{ МеВ} = 10^6 \text{ eV}$). Зв'язок електрон-вольта із системною одиницею енергії *Дж* задається виразом: $eV = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Суттєвий вплив на об'єкти зумовлюють види випромінювання (рисунок 1.58, див. також табл. 1.15) [1, 22]:

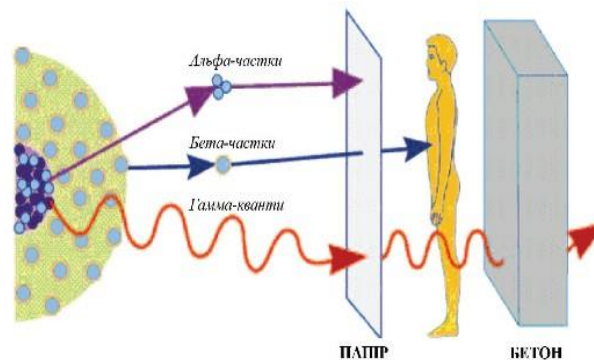


Рисунок 1.58 – Види радіоактивного випромінювання та їх проникаюча здатність [1, 22]

- *альфа-випромінювання* («*α-випромінювання*») – іонізуюче випромінювання, яке являє собою потік відносно важких частинок (ядер гелію, що містять два протони і два нейтрони). Енергія частинок складає декілька мегаелектрон-вольт. При цьому, деякі радіонукліди випускають *α-частинки* кількох енергій. Цей вид випромінювання, маючи малу довжину пробігу частинок, характеризується слабкою проникаючою здатністю, затримуючись навіть листком паперу. Наприклад, пробіг *α-частинок* з енергією 4 МеВ в повітрі складає 2,5 см, а в біологічній тканині лише 31 мкм;

- *бета-випромінювання* – *потік β-частинок* (електронів і позитронів), які мають більшу проникаючу здатність у порівнянні з *α-випромінюванням*. Частинок, які випускаються, мають безперервний енергетичний спектр, розподіляючись за енергією від нуля до певного максимального значення, характерного для даного радіонукліда. Максимальна енергія *β-спектру* різних радіонуклідів лежить в інтервалі від декількох кеВ до декількох МеВ. Пробіг *β-частинок* в повітрі може досягати декількох метрів, а в біологічній тканині декількох сантиметрів. Так, пробіг електронів з енергією 4 МеВ у повітрі складає 17,8 м, а в біологічній тканині 2,6 см. Однак вони легко затримуються тонким шаром металу;

- фотонне випромінювання включає в себе *рентгенівське* і *гамма-випромінювання* («*γ-випромінювання*»). Випуск гамма-квантів зумовлений переходом атомного ядра зі збудженого стану до більш низького енергетичного рівня. Поширюючись зі швидкістю світла, *γ-промені* мають високу проникаючу здатність. Їх може затримати лише товста свинцева або бетонна плита. Чим вище енергія *γ-випромінювання* і відповідно менше довжина його хвилі, тим вище проникаюча здатність. Зазвичай енергія гамма-квантів лежить в діапазоні від декількох кеВ до декількох МеВ.

На відміну від *γ-випромінювання*, рентгенівське має внутрішньоатомне походження, Воно утворюється в збуджених атомах при переході електронів з віддалених орбіт на ближчу до ядра орбіту або виникає при гальмуванні заряджених часток в речовині. Відповідно перше має дискретний енергетичний спектр і називається *характеристичним*, друге – безперервний спектр і називається *гальмівним*. Діапазон енергій рентгенівського випромінювання – від сотень електрон-вольт до десятків кілоелектрон-вольт; Межі областей рентгенівського й гамма-випромінювання можуть бути визначеними лише досить умовно. Для загальної орієнтації можна прийняти, що енергія рентгенівських квантів лежить у межах 20 еВ...0,1 МеВ, а енергія гамма-квантів – вище від 0,1 МеВ;

- нейтронне випромінювання виникає при поділі важких ядер і в інших ядерних реакціях. Джерелами нейтронного випромінювання на АЕС є ядерні реактори, щільність потоку нейтронів в яких становить $10^{10} \dots 10^{14}$ нейтронів/(см²· с), а також ізотопні джерела, що містять природні або штучні радіонукліди, змішані з речовиною, що випускає нейтрони під впливом бомбардування його *α-частинками* або *γ-квантами*. Такі джерела застосовують для градуювання контрольно-вимірювальної апаратури. Вони дають потоки порядку $10^7 \dots 10^8$ нейтронів/с.

У залежності від енергії нейтрони поділяють на такі типи: *повільні*, або теплові (із середньою енергією ~0,025 еВ); *резонансні* (з енергією до 0,5 кеВ); *проміжні* (з енергією від 0,5 кеВ до 0,5 МеВ); *швидкі* (з енергією від 0,5 до 20 МеВ); *надшвидкі* (з енергією понад 20 МеВ).

При взаємодії нейтронів з речовиною спостерігаються два типи процесів: розсіяння нейтронів і ядерні реакції, в тому числі – вимушений поділ важких ядер.

Проникаюча здатність нейтронного випромінювання зіставна з *γ-випромінюванням*. Теплові нейтрони ефективно поглинаються матеріалами, що містять бор, графіт, свинець, літій, гадоліній і деякі інші речовини; швидкі нейтрони ефективно сповільнюються парафіном, водою, бетоном тощо.

Для реєстрації радіоактивних випромінювань в якості *перетворювачів* найбільше застосування знайшли іонізаційні камери, газорозрядні лічильники, напівпровідникові та сцинтиляційні детектори. Їх принцип дії оснований на перетворенні досліджуваної інтенсивності вхідного випромінювання у функціонально пов'язану вихідну електричну величину з наступним перетворенням (при необхідності) на досліджуваний параметр.

На рисунку 1.59, *а* схематично показана схема *іонізаційної камери*.

Вона складається із циліндричного металевого корпусу 1, заповненого газом, і металевого електрода 2, розташованого по осі корпусу й ізольованого від нього ізолятором 3. Корпус служить катодом і заземлений, електрод служить анодом.

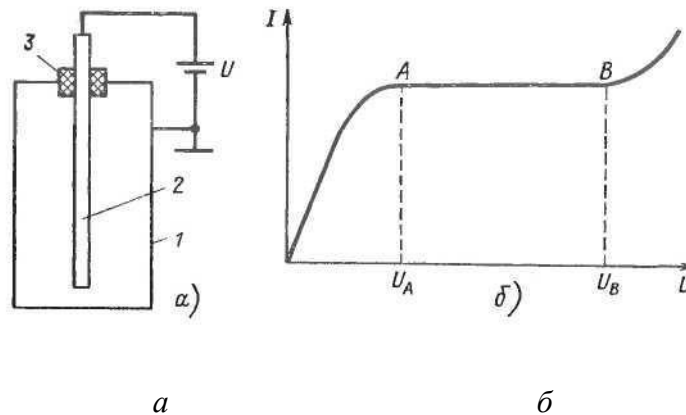


Рисунок 1.59 – Схема конструкції іонізаційної камери (а) та відповідна вольт-амперна характеристика (б) [1]

При розміщенні камери в просторі з іонізуючим випромінюванням газ, що перебуває в ній, іонізується. Якщо до електродів прикласти напругу U , то іони газу утворять струм I .

Вигляд вольт-амперної характеристики камери при деякій постійній інтенсивності випромінювання наведена на рисунку 1.59, б. Вона показує, що поки напруга U та струм I малі, а кількість іонів значно більше, ніж необхідно для забезпечення цього струму, струм зростає пропорційно напрузі. Зі збільшенням напруги пропорційність порушується, і при зміні напруги від U_A до U_B струм не міняється. У цьому діапазоні напруг всі іони доходять до електродів і беруть участь у створенні струму. Підвищення напруги не збільшує числа носіїв. При подальшому збільшенні напруги зростає швидкість іонів, і якщо воно перевищує U_B , то енергія іонів стає достатньою для вторинної іонізації газу. При цьому зростає число носіїв, а також і струм камери. Робочою для нормального функціонування іонізаційної камери є ділянка А...В.

Зі збільшенням випромінювання кількість іонів в камері та відповідний рівень вольт-амперної характеристики зростають.

Для реєстрації α -часток, що мають малу довжину пробігу, джерело випромінювання поміщають усередині камери.

Газорозрядні лічильники являють собою іонізаційну камеру, що працює при напрузі більшій, ніж U_B на рис. 1.59. Вони бувають двох типів: *пропорційні лічильники* й *лічильники Гейгера-Мюллера*.

Взагалі, газорозрядні лічильники являють собою заповнений газом циліндричний скляний балон подібно схемі на рис. 1.59, по осі якого натягнутий тонкий металевий дріт – анод. На циліндричну частину балона зсередини нанесене металеве покриття – катод. Напруга, що прикладена до електродів, створює в міжелектродному просторі поле, напруженість якого різко зростає біля анода. Електрон, що виник під дією іонізуючої частки або випромінювання в області малої напруженості, дрейфує до анода зі зростаючими швидкістю та енергією. Поблизу анода енергія зростає настільки, що електрон стає здатним сам іонізувати газ. Ця іонізація збільшує число вторинних електронів. Відбувається збільшення імпульсу струму лічильника в $10^3 \dots 10^4$, а іноді більш ніж в 10^6 разів, що реєструється проміжним перетворювачем.

Газовий розряд у *пропорційному лічильнику* є *вимушеним*: він виникає при зовнішній іонізації газового середовища й припиняється при її припиненні. Як і в іонізаційних камерах (див. рис. 1.60), імпульс струму стає пропорційним енергії іонізуючого випромінювання.

До електродів *лічильника Гейгера – Мюллера* подається ще більша напруга. Під дією випромінювання відбуваються процеси, аналогічні процесам у пропорційному лічильнику. Однак у прианодній області під дією збільшеної напруженості поля енергія електронів настільки зростає, що виникає *самостійний* коронний розряд. Виникле ультрафіолетове випромінювання вибиває з катода електрони, вони іонізують газ і підтримують виниклий розряд.

Імпульси струму в лічильнику Гейгера-Мюллера виникають при влученні в нього іонізуючих квантів або часток. Амплітуда імпульсів постійна та від енергії іонізуючих часток не залежить; від інтенсивності випромінювання залежить лише середня частота імпульсів.

Для того щоб можна було зареєструвати прихід нової іонізуючої частки або кванта випромінювання, розряд повинен бути погашений. Гасіння проводиться або спеціальною схемою, що зменшує напругу на лічильнику, або внаслідок процесів, що відбуваються усередині нього.

Відповідно, лічильники першого типу називаються *несамогасящимися*, другого – такі, що *гасяться самостійно*. Для цього вони наповнюються газовою сумішшю спеціального складу, що поглинає ультрафіолетове випромінювання.

Іонізаційні камери й газорозрядні лічильники можуть працювати в *струмовому* або *імпульсному* режимі.

За першим варіантом вимірюється середній струм перетворювача, який чисельно дорівнює загальному заряду всіх іонів, утворених за одну секунду і становить $10^{-10} \dots 10^{-15}$ А. Для його виміру послідовно з перетворювачем включають навантажувальний резистор $10^9 \dots 10^{10}$ Ом, і напругу на ньому вимірюють за допомогою підсилювача постійного струму. У пропорційних лічильників вихідна напруга має порядок 10^2 В.

В імпульсному режимі вимірюються амплітуди імпульсів струму, що відповідають кожному акту іонізації, та їх частота. Амплітуда імпульсів струму іонізаційної камери і пропорційного лічильника пропорційна числу іонів і характеризує енергію, втрачену іонізуючим випромінюванням або часткою в камері.

Напівпровідниковий детектор (рисунок 1.60) – це іонізаційний перетворювач, що представляє собою монокристал напівпровідника (германія) з *p-i-n*-переходом. Провідний шар з власною *i*-провідністю виконанує шляхом дифузії літію в монокристал германія [1, 22].

Детектор функціонує наступним чином. Вимірюване випромінювання іонізує шар напівпровідника з власною провідністю й збільшує в ньому число електронів і «дірок», що приводить до збільшення провідності. Під дією напруги, прикладеної до *p-i-n*-шарів, виникає імпульс струму. Число носіїв, а отже, і амплітуда імпульсу струму пропорційні енергії випромінювання, середня їх частота пропорційна інтенсивності.

Характеристики напівпровідникового детектора подібні до характеристик пропорційного лічильника.

Сцинтиляційний лічильник складається із сцинтилятора – твердого тіла, що під дією випромінювання дає спалах світла, і фотоелектронного помножувача (див. рис. 1.51) або фотодіоду (див. рис. 1.53, а). Яскравість спалаху, а отже, і імпульс фотоструму фотоелектронного помножувача визначаються енергією частки або випромінювання, поглиненої сцинтилятором, їх середня частота – інтенсивністю випромінювання.

Контрольно-вимірювальні прилади з іонізаційними перетворювачами мають ряд особливостей, які забезпечили їх поширення. У цих приладах використовують радіоактивні джерела, випромінювання яких стабільне.

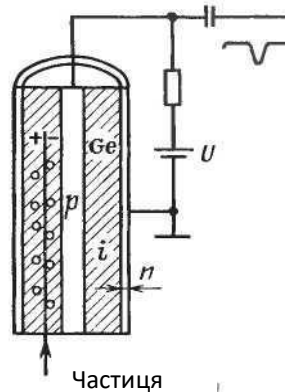


Рисунок 1.60 – Схема напівпровідникового детектора випромінювання

При цьому, на випромінювання не впливає зміна зовнішніх умов: температура, тиск, напруга живлення, наявність агресивних середовищ і т.п., – а інтенсивність змінюється тільки внаслідок природного розпаду ядер радіоактивного ізотопу.

Контрольно-вимірювальні прилади з іонізаційними перетворювачами можуть використовувати у своїй роботі або мічені атоми, або джерела ядерного випромінювання.

Засоби вимірювань з міченими атомами служать для вивчення поведінки речовин і тіл у різних фізичних, хімічних і фізіологічних процесах. Їхнє застосування засноване на тому, що радіоактивні ізотопи елементів хімічно ідентичні стабільним ізотопам. Радіоактивні ізотопи додаються до стабільних і беруть участь у процесі поряд зі стабільними. Місцезнаходження й кількість радіоактивних ізотопів визначаються за допомогою іонізаційних перетворювачів.

Такі засоби вимірювань мають *специфічні джерела похибок*.

Із часом у результаті природного радіоактивного розпаду інтенсивність випромінювання зменшується за експоненціальною залежністю:

$$J = J_0 \cdot \exp(-\ln(2/\tau_{0,5}) \cdot \tau), \quad (1.42)$$

де J_0 - початкова інтенсивність; $\tau_{0,5}$ — період напіврозпаду джерела випромінювання.

Зниження інтенсивності J створює зростаючу похибку:

$$\Delta J = (J - J_0) / J_0 = \exp(-\ln(2/\tau_{0,5}) \cdot \tau) - 1. \quad (1.43)$$

Для зменшення цієї похибки варто періодично збільшувати чутливість приладу.

Інша похибка обумовлена випадковим характером ядерного розпаду: випадковими є як час розпаду, так і напрямок траєкторії радіоактивної частки або кванта випромінювання.

Випадковий характер носять також захват і гальмування випромінювання речовиною іонізаційного перетворювача. Внаслідок цього послідовність імпульсів перетворювача має неперіодичний, випадковий характер. Якщо час підрахунку імпульсів малий, то кількість імпульсів може сильно розрізнятися при повторенні вимірів навіть при незмінних умовах. При збільшенні часу підрахунку відбувається усереднення, і відносна варіація показань вимірального приладу й похибка зменшуються.

При взаємодії з матеріалом ядерне (іонізуюче) випромінювання здатне суттєво змінювати його фізичні властивості. Важкі ядерні частинки, а також потоки швидких електронів з енергією більше 1 Мев, проходячи через тверде тіло, вибивають атоми з вузлів кристалічної ґратки, переміщаючи їх у міжвузля. Так утворюються дефекти кристалів типу «вакансія+атом» у міжвузлі. При досить великій дозі опромінення кристалічне тіло може навіть перейти в аморфний стан. При енергіях менших за 1 Мев потоки електронів зумовлюють збудження та іонізацією атомів і молекул тіла.

Основним процесом при поглинанні матерією гамма-випромінювання є фотоіонізація атомів і утворення швидких фотоелектронів. Останні втрачають свою енергію при іонізації та збудженні атомів мішені подібно опроміненню швидкими електронами, з тією, однак, різницею, що γ -кванти проникають на значно більшу глибину, ніж швидкі електрони з тією ж енергією.

Розрізняють *експозиційну, поглинуту й еквівалентну* дози випромінювання.

Експозиційною називають дозу випромінювання, що характеризує іонізаційний ефект рентгенівського і гамма-випромінювань у повітрі від радіоактивного джерела і поле, створене ним. Експозиційну дозу випромінювання гамма-променів у системі СІ вимірюють у *куллонах на кілограм* (Кл/кг). Цій одиниці експозиційної дози випромінювання відповідає утворення в кожному кілограмі повітря іонів із загальним зарядом, що дорівнює одному *кулону*. Також експозиційну дозу вимірюють несистемною одиницею – *рентген* (Р). Один *рентген* – це така доза рентгенівського або гамма-випромінювання, яка в 1 см³ сухого повітря при температурі 0 °С і тиску 760 мм рт.ст. створює приблизно 2 млрд. пар іонів. Один Кл/кг дорівнює 3876 Р. На практиці застосовують менші часткові одиниці: *мілірентген* і *мікрорентген*.

Слід мати на увазі, що одиниця *рентген* є мірою не виділеної деяким радіоактивним джерелом енергії, а *ступенем іонізації речовини* при її радіоактивному опроміненні.

Потужність експозиційної дози (рівень радіації) – це інтенсивність випромінювання, що утворюється за одиницю часу і характеризує швидкість накопичення дози у повітрі. Одиницею *потужності експозиційної дози* в системі СІ є *ампер на кілограм* (А/кг), а відповідною несистемною одиницею є *рентген за годину* (Р/год), *рентген за секунду* (Р/с), або часткові одиниці: *мілірентген за годину* (мР/год), *мікрорентген за годину* (мкР/год).

Експозиційна доза є *характеристикою випромінювання* і нічого не говорить про кількість енергії, поглинутої об'ємом, який опромінюється.

Мірою дії іонізуючих випромінювань на речовину є *поглинута доза випромінювання* – це кількість енергії радіоактивних випромінювань, поглинутих одиницею об'єму середовища,

яке опромінюється. Одиниця випромінювання поглинутої дози тканинами організму в системі СІ – джоуль на кілограм (Дж/кг), або *грей*. Також застосовують несистемну одиницю – *рад*. Одному *раду* відповідає кількість енергії 100 *ерг*, поглинутої 1 г речовини, що опромінюється, тобто $\text{рад} = 0,01 \text{ Дж/кг}$.

Одиницею *потужності поглинутої дози* в системі СІ є *грей за секунду* (Гр/с), або *джоуль на кілограм за секунду* (Дж/кг·с), а несистемною – *рад за секунду* (рад/с); співвідношення між ними: $1 \text{ Гр/с} = 1 \text{ Дж (кг·с)}$; $1 \text{ Гр/с} = 100 \text{ рад}$, $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр/с}$.

Але *поглинута доза* не враховує те, що вплив на об'єкти (організми) однакової дози різних випромінювань неодинаковий. Наприклад, α -випромінювання у 20 разів, а β -випромінювання у 10 разів небезпечніше для людини від γ -випромінювання. Це пов'язано з неодинаковою питомою щільністю іонізації, викликані різними видами випромінювань.

Через це введена категорія *еквівалентна доза*, яка характеризує *різний біологічний ефект* різних видів іонізуючого випромінювання під час опромінювання організму однаковими дозами. Еквівалентна доза опромінення використовується для оцінки дії випромінювання на живі організми, в першу чергу людей і тварин.

Так, кількість іонів, які утворюються під дією випромінювання на одиниці шляху в тканинах, тобто щільність іонізації α -частинками у сотні разів вища, від γ -променів. Тому введено поняття «*відносна біологічна активність*», яка показує співвідношення поглинутих доз різних видів випромінювання, що викликають однаковий біологічний ефект.

Щоб урахувати нерівномірність ураження від різних видів випромінювань уведений «*коефіцієнт якості*», на який необхідно помножити величину поглинутої дози від певного виду випромінювання, щоб одержати еквівалентну дозу. Всі міжнародні і національні норми встановлені в еквівалентній дозі опромінення.

Якщо умовно прийняти біологічну ефективність γ - і β -променів за одиницю, то для α -частинок вона буде дорівнювати десяти, а для повільних і швидких нейтронів відповідно п'яти і двадцяти.

Одиницею еквівалентної дози в системі СІ є *зіверт* (Зв). Один зіверт дорівнює поглинутій дозі в 1 Дж/кг (для рентгенівського, гамма- та бета-випромінювань).

Для урахування біологічної ефективності випромінювань введена несистемна одиниця поглинутої дози – біологічний еквівалент рентгена *бер*. Один *бер* – це доза будь-якого виду випромінювання, яка створює в організмі такий же біологічний ефект, як і рентгенівське або γ -випромінювання. Співвідношення між одиницею еквівалентної дози в системі СІ і несистемною одиницею: $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$, $1 \text{ бер} = 0,1 \text{ Зв}$.

Вираження дози в *берах* проводиться тоді, коли необхідно оцінити загальний біологічний ефект, незалежно від типу діючих випромінювань.

Одиницею *потужності еквівалентної дози* в системі СІ є *зіверт за секунду* (Зв/с), а несистемною одиницею є *бер за секунду* (бер/с); співвідношення між ними: $1 \text{ Зв/с} = 100 \text{ бер/с}$, $1 \text{ бер/с} = 0,01 \text{ Зв/с}$ [1].

Для вимірювання іонізуючих випромінювань застосовують *радіометри*.

У широкому сенсі «*радіометр*» – це загальна назва засобів вимірювань (контрольно-вимірювальних приладів – КВП), що призначені для вимірювання енергетичних характеристик будь-якого випромінювання.

Загалом, серед них виділяють:

- оптичний радіометр (*болометр, радіометр Крукса*) – прилад для вимірювання потоку світлової енергії, заснований на тепловій дії світла;
- акустичний радіометр – прилад для вимірювання звукового тиску;
- *радіометр* радіотехнічний для вимірювання потужності випромінювання радіохвиль, зокрема, приймач радіотелескопа;
- прилади для вимірювання активності радіоактивних об'єктів (характеристик іонізуючого випромінювання: потоку, його щільності, активності та ін.) – це так звані *дозиметри*.

У вузькому сенсі, *притаманному інформації наявного посібника*, радіометри (в тому числі – радіометричні блоки) – це КВП (рисунок 1.61), що вимірюють щільність потоку часток. Їх зазвичай застосовують для контролю поверхневих забруднень альфа- та бета-випромінюючими нуклідами. Ці прилади вимірюють число часток («*част.*»), які перетинають одиничну площу блока детектування за одиницю часу в *част./(см²·хв.)*, або рідше - в *част./(см²·с)*.

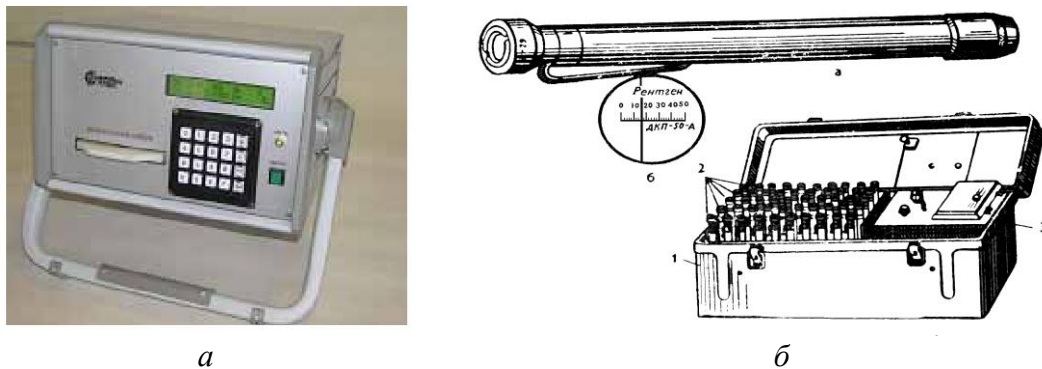


Рисунок 1.61 – Вигляд товарної моделі радіометра (а) та зовнішній вигляд комплекту ДП-24 з індивідуальними дозиметрами ДКП-50А та зарядною станцією на 50 дозиметрів (б) [1]

Зазвичай вимірювальним перетворювачем в *радіометрах* (рисунок 1.61, а) застосовують газорозрядні лічильники (*див. рис. 1.60*), хоча можуть бути й інші перетворювачі.

За загальною схемою в якості первинного вимірювального перетворювача в *дозиметрах* застосовують газорозрядні індикатори випромінювання (*див. вище*). Час вимірювання задається кварцовим таймером як калібрована постійна величина, безпосередньо пов'язана із сумарним робочим об'ємом датчика (датчиків). Після закінчення часу вимірювання високовольтний генератор живлення датчиків вимикається, і видається сигнал про закінчення вимірювального циклу. Це вимагає додержуватись часу циклу вимірювань 1...5 хвилин (у залежності від кількості датчиків у всенаправленій системі) або наявності джерела випромінювання, яке стаціонарно орієнтовано щодо засобу вимірювань під час експозиції [1].

Комплект *індивідуальних дозиметрів ДП-24* призначений для вимірювання сумарних індивідуальних доз гамма-випромінювання в діапазоні від 2 Р до 50 Р за шкалою, що вбудована в дозиметр і проградуєвана в рентгенах. Похибка вимірів не перевищує $\pm 10\%$ від вимірюваної дози.

Оскільки дозиметр працює на розряд, можливий і саморозряд вимірювального пристрою, що не перевищує 2 поділок за добу. Заряд дозиметра ДКП-50А здійснюється від зарядного пристрою станції ЗД-5, що забезпечує безперервну роботу перетворювача протягом 30 годин. Вага комплекту 5,6 кг, вага одного дозиметра 40 г.

В аналогічному (більш сучасному) комплекті типу ІД-1 доза вимірюється в діапазоні від 20 рад до 500 рад).

Діапазон вимірювань *побутових дозиметрів* (рисунок 1.62), як правило, залежить від характеру датчиків (вимірювальних перетворювачів), які використовуються в КВП.

Зазвичай побутові дозиметри не дозволяють оцінити дозу, отриману від нейтронних джерел випромінювань. Оцінка фотонного (γ -), α - та β -випромінювання залежить від наявності додаткових фільтрів і особливостей перетворювача (датчика), що використовується.



Рисунок 1.62 – Приклади сучасних товарних моделей індивідуальних дозиметрів

Засоби вимірювань із джерелами випромінювання у промисловості використовуються для виміру неелектричних величин, таких, як товщина матеріалу, рівень рідини, витрата рідини та ін. Завдяки великій проникаючій здатності випромінювання такі засоби можуть застосовуватися, коли об'єкт виміру перебуває у важких експлуатаційних умовах (високі температури й тиск, агресивне середовище й т.п.).

До відповідних методів можна віднести *рентгенівський метод*, *гамма-дефектоскопію* та, враховуючи подвійну енергетичну природу ядерних часток (частинка та хвиля) – *бетатронну дефектоскопію*.

Рентгенівський метод дефектоскопії (рисунок 1.63) базується на здатності рентгенівських променів поглинатися матеріалами різної щільності по різному. Якщо на шляху променів є порожнечі, тріщини, неметалеві включення, то інтенсивність проходження променів змінюється, і на екрані або світлині виходять контури дефекту.

Цей метод широко застосовують для контролю зварних швів, а також сталевих виробів великої товщини. Основною перевагою цього методу стає можливість визначити по рентгенівських знімках не лише наявність дефектів, але й їх розміри, форму і розташування.

Варіантом реалізації рентгенівського методу (з обмеженим застосуванням) є *рентгено-флуоресцентний метод*. Його іноді застосовують при визначенні товщини покриття на виробах. Метод передбачає нанесення на виріб речовини, яка флуоресцює під рентгенівським випромінюванням у залежності від основного металу, матеріалу покриття та його товщини.

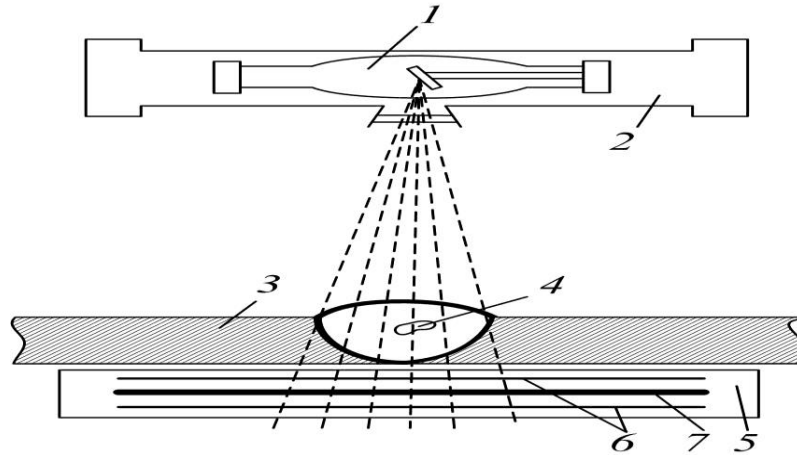


Рисунок 1.63 – Схема застосування радіаційної дефектоскопії [23]: 1 – джерело випромінювання; 2 – засіб вимірювання; 3 – матеріал (об’єкт дослідження); 4 - дефект; 5 – вимірювальний пристрій; 6 - реєстратор (наприклад, світлочутлива пластина); 7 - екран

Вартість рентгенівських установок висока, тому замість них останнім часом при дефектоскопії (інтроскопії) металевих виробів успішно застосовують *метод гамма-випромінювання* радіоактивними ізотопами, який по точності контролю не поступається рентгенівському методу, але відрізняється від нього за технікою реєстрації зображення (зйомки). Основою методу, як і рентгеноскопії, є здатність матеріалів з різною щільністю по-різному поглинати гамма-промені.

Але представлений метод гамма-дефектоскопії має малу продуктивність та непридатний для контролю виробів, що рухаються, а також таких, що мають гарячу поверхню.

Для виробів великої товщини з метою контролю якості останнім часом використовують *бетатронну дефектоскопію* променями, що отримуються за допомогою індукційних прискорювачів електронів («бетатронів») з енергією випромінювання 4...30 Мэв.

Основною перевагою *гальмівного бетатронного випромінювання* є можливість просвічування виробів завтовшки до 500 мм з реєстрацією зображення на екран. Контрольована товщина виробів може бути доведена до 900 мм при реєстрації дефектів за допомогою сцинтиляційних лічильників (див. вище). До того ж індукційні прискорювачі бетатронів забезпечують невеликий рівень бічного розсіяного випромінювання. Тому захист персоналу від випромінювання бетатрона легше та обходиться дешевше, ніж при використанні радіоактивних джерел.

До недоліків бетатронного випромінювання слід віднести меншу площу просвічування за одну експозицію, ніж при рентгенографічному способі контролю.

Варіантом цього методу при контролі покриттів є використання зворотного розсіяння бета-випромінювання, заснованого на результатах вимірювань інтенсивності *відбитого потоку* бета-часток, що зумовлюється відмінністю атомних номерів основного металу і покриття та залежить від товщини покриття.

Заходи безпеки

Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.

1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ

1.2. Перед початком роботи необхідно оглянути робоче місце і привести його в порядок, впевнитись, що на ньому відсутні сторонні предмети.

1.2 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.

1.3 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.

1.4 Перш ніж починати роботу з електроприладами необхідно уважно вивчити інструкцію по експлуатації даного електроприладу.

1.5 При роботі з електроприладами треба дотримуватись цієї інструкції та інструкції з їх експлуатації.

1.6 Слід перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.

1.7 Електроприлади встановлюються тільки на стабільну поверхню в сухому приміщенні на відстані від приладів опалення та металевих комунікацій, які заземлені.

1.8 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.

1.9 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху виключити пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).

1.10 Електроприлади встановлювати тільки на стабільну поверхню в сухому приміщенні на відстані від приладів опалення та металевих комунікацій, які заземлені.

1.11 Перевірити установку вимірювальних приладів на «0».

1.12 Перед початком роботи необхідно пересвідчитись у справному стані електроприладів, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок та розеток, наявності заземлення.

1.13 Електроприлади вмикають тільки в електромережу змінного струму напругою 220 В.

1.14 Користуватись несправним устаткуванням або використовувати його не за прямим призначенням забороняється.

1.15 При виявленні будь-яких недоліків у стані обладнання необхідно доповісти керівнику структурного підрозділу або відповідальній особі.

ПОПЕРЕДЖЕННЯ: вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) **ЗАБОРОНЕНО.**

2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

2.1 У будь-який момент виконання роботи при сигналі «Повітряна тривога» виключити все обладнання, електричне освітлення та під керівництвом викладача

(керівника) організовано спуститися до укриття. Перебувати в укритті до закінчення тривоги.

2.4 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.

2.3 Під час роботи не можна:

- піддавати прилади впливу дощу чи іншої вологи;
- самостійно проводити їх розбирання чи ремонт;
- блокувати вентиляційні отвори;
- кидати електроприлади з висоти;
- встановлювати на електроприлади сторонні предмети;
- вмикати або вимикати електроприлади вологими руками.

2.6 Якщо всередину електроприладу потрапила рідина чи сторонні предмети, його треба негайно вимкнути та віддати на перевірку до спеціаліста з ремонту.

2.5 ЗАБОРОНЕНО:

2.5.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;

2.5.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.

2.6 **ЗАБОРОНЕНО** будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.

2.7 **ЗАБОРОНЕНО** студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.

2.8 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).

2.9 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормально допустимого, появі сторонніх звуків та або запахів, порушені нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.10 **ЗАБОРОНЕНО** торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних та електричних установок та від'єднати їх від електромережі.

3.3 Виймаючи штепсельну вилку з розетки ні в якому разі не можна тягнути за шнур, тільки за вилку.

3.3 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.4 Необхідно прибрати своє робоче місце та привести у порядок лабораторну установку.

3.5 Прибрати робоче місце та при необхідності вимити руки з милом.

Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

ПРИМІТКА:

Якщо в процесі роботи були помічені недоліки в роботі лабораторної установка або електрообладнання, необхідно доповісти керівнику підрозділу або відповідальній особі.

Порядок виконання роботи студентом

1. Вивчає надані теоретичні відомості.

2. Складає перелік контрольно-вимірювальних приладів (КВП), що є в лабораторії кафедри СЯСМ, за групами фізичних величин, що вимірюються: геометричні параметри, маса, сила, витрати речовини (рідини), електричні параметри, радіаційні величини тощо.

3. Визначає вид фізичної величини, що вимірюється датчиком (на вході) вимірювального перетворювача КВП.

4. На основі лекційних матеріалів та інших джерел інформації фіксує перелік перетворень вимірюваної фізичної величини на виході перетворювача.

5. Визначає вид первинного та наступних перетворень в КВП: (А) неенергетичні на неенергетичні; Б) неенергетичні на енергетичні; В) енергетичні на неенергетичні; Г) енергетичні на енергетичні, - представляючи ці дані за формою таблиці 1.16.

Таблиця 1.16 – Характеристика послідовних перетворень фізичних величин у контрольно-вимірювальних приладах (з прикладом виконання)

№ з.п.	Назва, тип КВП	Величина, що вимірюється датчиком	Група вимірювань	Первинне перетворення		Перше проміжне перетворення		Друге проміжне перетворення	
				Величина на виході	Вид перетворення	Величина на виході	Вид перетворення	Величина на виході	Вид перетворення
1	Детектор електромагнітного випромінювання EMF-tester	Напруженість електричного поля, індукція магнітного поля, температура навколишнього середовища	Енергетичні	Фотоелектричний струм	Енергетична (Г)	Потенціал електричний	Електрична (Г)	-	-
2									
...									

6. Робить висновки та представляє звіт з роботи, що виконана, відмічаючи: а) актуальність; б) зміст виконання; в) коротко – отримані результати; г) корисність.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи: здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

3 ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

«Вибір засобів вимірювань із визначенням їх властивостей та виду перетворень фізичних величин (за місцем роботи студента)»

Мета: закріплення вмінь з ідентифікації меж та функцій технічних та технологічних засобів вимірювань та вимірювальних перетворювачів у промислових умовах.

Суть розробки: ідентифікація засобів вимірювань величин, меж і перетворень у технічних та технологічних пристроях та вимірювальних перетворювачах контрольно-вимірювальних приладів, у яких використовуються випромінювання (за місцем роботи студента).

Предметна сфера розробки: метрологічне забезпечення діяльності організації.

Загальні теоретичні положення – див. відповідні розділи практичних робіт №№ 1...5.

Порядок виконання Індивідуального завдання студентом.

1. Повторно ознайомлюється з матеріалами практичних робіт №№ 1...5.
2. Складає перелік 8...10 контрольно-вимірювальних приладів (КВП) та/або технічних і технологічних засобів в організації за місцем своєї роботи, які пов'язані з вимірюваннями та/або забезпеченням необхідного рівня фізичних величин (геометричні параметри, маса, сила, витрати речовини, електричні параметри, радіаційні величини тощо).

***Примітка:** при відсутності місця роботи студента допускається перелік КВП та побутових засобів складати на основі його побутових умов проживання.*

3. На основі лекційних матеріалів та інших джерел інформації фіксує перелік перетворень вимірюваної фізичної величини на вихідну.

4. Визначає вид фізичної величини, що вимірюється датчиком (на вході) вимірювального перетворювача КВП.

5. Визначає вид первинного та наступних перетворень в КВП: (А) неенергетичні на неенергетичні; Б) неенергетичні на енергетичні; В) енергетичні

на неенергетичні; Г) енергетичні на енергетичні, - представляючи ці дані за формою таблиці 1.17.

6. Робить висновки та представляє звіт з роботи, що виконана, відмічаючи:
а) актуальність; б) зміст виконання; в) коротко – отримані результати; г) корисність.

Таблиця 1.17 – Характеристика послідовних перетворень фізичних величин у контрольно-вимірювальних приладах (з прикладом виконання)

№ з.п.	Назва, тип КВП	Величина, що вимірюється датчиком	Група вимірювань	Первинне перетворення		Перше проміжне перетворення		Друге проміжне перетворення	
				Величина на виході	Вид перетворення	Величина на виході	Вид перетворення	Величина на виході	Вид перетворення
1	Ватметр щитовий	Витрата електроенергії	Енергетичні	Робота електричного струму	Г	Потенціал електричний	В	-	-
2									
...									

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи: здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

4 ЗАСОБИ САМОКОНТРОЛЮ

1. Дайте визначення категоріям: «фізична величина», «засіб вимірювальної техніки», «вимірювальний перетворювач», «вимірювальний прилад», «контрольно-вимірювальний прилад», «вимірювальна установка», «вимірювальна система».

2. Які є види вимірювань?

3. Надайте характеристику шкалам.

4. Надайте характеристику видам засобів вимірювань.

5. Що таке «принцип вимірювань»?
6. Що таке «функція перетворення засобу вимірювання»?
7. Які є типові з'єднання елементарного перетворення фізичної величини?
8. Якими параметрами визначають нормовані характеристики засобів вимірювань?
9. Надайте приклади засобів вимірювань за їх видами.
10. Приведіть приклади фізичних величин: геометричних, оптичних, механічних, електричних, магнітних, радіаційних. Приведіть приклади відповідних вимірювальних перетворювачів.
11. Які є види перетворень сигналів залежно від їх природи?
12. Якими параметрами характеризують випадкові величини?
13. Яка площа міститься під графіком нормального закону розподілу ймовірності?
14. Яка різниця між «похибкою вимірювань» та «невизначеністю вимірювань»?
15. Які є види вимірювальних перетворювачів за формою представлення інформації?
16. Надайте характеристику складовим електромагнітного випромінення.
17. У чому різниця між індуктивними та індукційними перетворювачами?
18. У чому різниця між статичним та динамічним режимами роботи перетворювачів?
19. Що таке і для чого використовується градувальна характеристика вимірювального перетворювача? Як її будують?
20. У чому різниця між «амплітудно-частотною» та «фазочастотною» характеристиками вимірювального перетворювача?
21. Що включає «узгодження сигналу вимірювального перетворювача»?
22. Опишіть суть «п'єзоефекту»/
23. У чому проявляється дія терморезистивних та тензорезистивних перетворювачів?
24. Якими контрольно-вимірювальними приладами вимірюють електричні величини?
25. Опишіть дію термопари.
26. Надайте приклади застосування вимірювальних перетворювачів у дефектоскопії.

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ПОСИЛАНЬ

Основна література

1. Технічне регулювання та контроль на підприємстві : підручник / А. М. Должанський та ін. ; за ред. А. М. Должанського. Дніпро : Видавець «Свідлер А. Л.», 2021. Том 1. 523 с.
2. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / Є. С. Поліщук та ін. ; за ред. проф. Є. С. Поліщука. Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2003. 544 с.
3. Бурштинський М. В., Хай М. В., Харчишин Б. М. Давачі : навч. посіб. Львів : ТзОВ «Простір М», 2013. 184 с.
4. Безвесільна О. М., Киричук Ю. В., Назаренко Н. М. Перетворювачі механічних величин в електричні: конспект лекцій : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 156 с. URL: <https://ela.kpi.ua/items/eea9b5a2-ff3a-4252-9ebb-f9f3b7f81ce6> (дата звернення: 12.01.2025).

Допоміжні джерела інформації

5. Сусліков Л. М., Студеняк І. П. Первинні вимірювальні перетворювачі фізичних величин : навч. посіб. Ужгород : Видавництво УжНУ, 2018. 311 с.
6. Шикалов В. С. Технологічні вимірювання : навч. посіб. Київ : Кондор, 2005. 200 с.
7. Безвесільна О. М., Киричук Ю. В., Назаренко Н. М. Перетворювачі механічних величин в електричні: конспект лекцій : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 156 с. URL: <https://ela.kpi.ua/items/eea9b5a2-ff3a-4252-9ebb-f9f3b7f81ce6> (дата звернення: 12.01.2025).
8. Електрохімічні резистивні перетворювачі. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/9711069/page:18/> (дата звернення: 12.01.2025).
9. Електрична провідність розчинів слабких електролітів. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/5193915/page:11/> (дата звернення: 12.01.25).

10. Особливості пристрою індукційного лічильника електроенергії. *Мой хороший дом*. URL: <https://horodom.cx.ua/856-osoblivosti-pristroju-indukcijnogo-lichilnika.html> (дата звернення: 10.01.2025).
11. Трансформаторні перетворювачі. *Освітній портал*. URL: <https://learn.ztu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=83786> (дата звернення 11.01.2025).
12. Ультразвукова дефектоскопія. *Diex*. URL: <http://ua.tuev-dieks.com/services/technical-diagnosis/methods-of-survey/ultrazvukovaya-defektoskopiya/> (дата звернення: 16.01.2025).
13. Електричні лампи. *КВАРТА-РАД* : URL: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.quarta-rad> (дата звернення: 12.01.2025).
14. Экспонометр SEKONIC L-208 Twinmate. *FOTOSALE*. URL: https://fotosale.ua/ua/product_N44968.htm?srsId=AfmBOoqOXuIXyygpRTZlhrfEnT a9ZC9jDY1LpFfYMM6dogHZQA37_740 (дата звернення: 12.01.2025).
15. Люксометри : URL : <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Feco-intech.com%2Farticle%2Flyuksmetr%2F&psig=AOvVaw2e1> (дата звернення: 12.01.2025).
16. Фоторезистор : URL : <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fedu.sputnix.ru%2Fdocs%2Forbicraft%2Farduino%2Fphotoresistor&psig> (дата звернення: 12.01.2025).
17. Фотодіод, фототранзистор : URL : https://www.google.com/search?sca_esv=d30c0cc97334f82b&sxsrf=АНТn8zpy0zQmcTePBKSc4Lq9gVRiqq_esFA (дата звернення: 12.01.2025).
18. Учасники проєктів Вікімедіа. Фототранзистор. *Вікіпедія*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Фототранзистор> (дата звернення: 12.01.2025).
19. Contributors to Wikimedia projects. Лазер. *Вікіпедія*. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Лазер> (дата звернення: 12.01.2025).
20. Міхєєв О. М., Шиліна Ю. В. Електромагнітне випромінювання. *Енциклопедія Сучасної України* / редкол. І. М. Дзюба та ін. ; НАН України, НТШ. Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2009. URL : <https://esu.com.ua/article-17747> (дата звернення: 12.01.2025).
21. Дефектоскопія : URL : <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fasnk.kpi.ua%2Fdocs%2Fanotations%2F> (дата звернення: 12.01.2025).

22. Види іонізуючого випромінювання та основні поняття дозиметрії. *Енергетика: історія, сучасність і майбутнє*. Київ, 2013. Т. 5 : Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-3/section-3/3-2/3-2-5>. (дата звернення: 12.01.2025).

23. Радіаційна дефектоскопія : URL : <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fstudfile.net%2Fpreview%2F7022634%2Fpage%3A32%2F&psig> (дата звернення: 12.01.2025).

24. Положення про виконання кваліфікаційної роботи в Українському державному університеті науки і технологій : рукопис / розроб. : Радкевич А. В. та ін. Дніпро : УДУНТ. 2022. 47 с.

Навчально-методичне видання

Должанський Анатолій Михайлович,
Брагинський Олег Борисович,
Чернецький Євгеній Вячеславович

Вимірювальні перетворювачі

Навчально-методичні рекомендації
до проведення практичних і лабораторних занять

Електронне видання

Експертний висновок склала канд. техн. наук, доц. Наталія Полякова

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 32 від 17.03.2025)

В авторській редакції
Комп'ютерна верстка А. М. Должанський

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 6,33. Обл.-вид. арк. 6,41.
Зам. № 36.

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010