

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет технології виробництва і переробки продукції тваринництва,
стандартизації та біотехнології**

Кафедра птахівництва, якості та безпеки продукції

МЕТРОЛОГІЯ

**методичні рекомендації для виконання лабораторно-практичних занять
для здобувачів вищої освіти СВО «Бакалавр» спеціальності 152
«Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»
денної форми навчання**

**Миколаїв
2021**

УДК 006.91
М54

Друкується за рішенням науково-методичної комісії факультету ТВПШТСБ Миколаївського національного аграрного університету протокол №8 від 18.03.2021 р.

Укладачі:

Л. С. Патрєва – доктор с.-г. наук, професор, завкафедри птахівництва, якості та безпечності продукції Миколаївського національного аграрного університету;

О. О. Стародубець – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри птахівництва, якості та безпечності продукції;

І. В. Каницька – асистент кафедри птахівництва, якості та безпечності продукції Миколаївського національного аграрного університету.

Рецензенти:

Г. А. Коцюбенко – доктор с.-г. наук, доцент кафедри птахівництва, якості та безпечності продукції Миколаївського національного аграрного університету;

Л.О. Стріха - кандидат с.-г. наук, доцент кафедри технології переробки, стандартизації та сертифікації продукції тваринництва Миколаївського національного аграрного університету.

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2021

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Тема 1. Виникнення метрології як науки. Теоретичні основи метрології	5
Тема 2. Основні поняття метрології. Задачі та зміст дисципліни. Об'єкт та предмет метрології	7
Тема 3. Основні положення закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність»	9
Тема 4. Структура державної метрологічної служби України	12
Тема 5. Еталони одиниць фізичних величин. Класифікація вимірювань	15
Тема 6. Вимірювальні операції. Вимірювальні сигнали. Інформативні параметри вимірювальних сигналів	18
Тема 7. Фізична величина та її розмір. Міжнародна система одиниць СІ	20
Тема 8. Основна задача вимірювання. Об'єкт вимірювання та його модель	22
Тема 9. Методи вимірювань – зіставлення, метод ноніуса	24
Тема 10. Методи вимірювань – зрівноважування, диференційний, заміщення	25
Тема 11. Засоби вимірювальної техніки: міри, вимірювальні прилади	27
Тема 12. Вимірювальні перетворювачі, вимірювальні установки, вимірювальні системи, допоміжні засоби	29
Тема 13. Точність та похибка вимірювань. Результат вимірювань, істинне та дійсне значення фізичної величини	31
Тема 14. Класифікація похибок	33
Тема 15. Випадкові, систематичні та грубі похибки	35
Тема 16. Виявлення та вилучення систематичних похибок	39
Тема 17. Абсолютні та відносні похибки вимірювання	41
Тема 18. Опрацювання результатів вимірювання	43
Тема 19. Методичні похибки вимірювань різними приладами	45
Тема 20. Розширення меж вимірювання аналогових приладів	48
Тема 21. Дослідження вимірювання похибки лабораторних ваг	49
Тема 22. Характеристика елементів і властивостей вимірювальних приладів	53
Тема 23. Позначки на шкалах приладів	56
Тема 24. Прямі вимірювання лінійних розмірів	59
Тема 25. Класи точності вимірювальних приладів	63
Тема 26. Калібрування засобів вимірювальної техніки та устаткування. Національні особливості калібрування. Повірка засобів вимірювальної техніки	65
Тема 27. Аналогові електровимірювальні прилади	69
Тема 28. Електронні вимірювальні прилади. Електронно-променеві осцилографи	73
Тема 29. Методи вимірювань параметрів напівпровідникових кристалів та мікроструктур	77
Тема 30. Цифрові вимірювальні прилади	80
Література	83

Вимірювання - один з найважливіших шляхів пізнання природи людиною. Вони грають величезну роль в сучасному суспільстві. Наука, техніка і промисловість не можуть існувати без них. Кожну секунду в світі виробляються багато мільярдів вимірювальних операцій, результати яких використовуються для забезпечення належної якості та технічного рівня продукції, що випускається, забезпечення безпечної та безаварійної роботи транспорту, для медичних і екологічних діагнозів і інших важливих цілей. Практично немає жодної сфери діяльності людини, де б інтенсивно не використовувалися результати вимірювань, випробувань і контролю

Інший фактор, який підтверджує важливість вимірювань, їхню соціальну значимість. Основою будь-якої форми управління, аналізу, прогнозування, планування контролю або регулювання є достовірна вихідна інформація, яка може бути отримана тільки шляхом вимірювання необхідних ФВ, параметрів і показників. Природно, що тільки висока і гарантована точність результатів вимірювань забезпечує правильність прийнятих рішень.

Завдання методичного посібника – надати студентам основні знання в галузі метрології та метрологічного забезпечення, теорії похибок та невизначеності, теоретичній основі побудови електровимірювальної техніки та методів її застосування для оцінки режимів та параметрів електротехнічних та електроенергетичних об'єктів. Вивчення дисципліни має надавати вміння обґрунтованого вибору метода вимірювань, схеми та електровимірювальної техніки, складання схеми вимірювань та користування електровимірювальними технічними засобами, оцінки похибки та невизначеності вимірювання та надання рекомендації щодо їх зменшення.

ТЕМА 1. ВИНИКНЕННЯ МЕТРОЛОГІЇ ЯК НАУКИ. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ

Мета заняття: ознайомитись з історією виникнення метрології та основними засадами формування як науки.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Вже багато тисячоліть люди користуються різними мірами. Так, першою мірою довжини первісного мисливця був крок. Довжина ліктя, ступні, ширина зап'ястка, довжина суглоба пальця, товщина пальця - все це також слугувало людині за міру довжини. Зрозуміло, що точність і постійність цих і подібних їм мір були незначними. Тому з розвитком суспільства людина намагалася вдосконалити міри, створити певну систему мір. Для цього необхідно було знайти природній незмінний зразок основної міри. За давнину, наприклад, для вимірювання довжини служили зерно пшениці, ячменю, проса. За одиницю міри маси в ювелірній справі було обране зерно стручка ріжкового дерева (арабською - карат).

У давній пам'ятці римського права, кодексі дванадцяти таблиць (середина Vст. до н.е.), наведені давньоримські стандарти на дорожнє будівництво. Вже тоді ширина доріг нормувалася. Пішохідна частина повинна була мати ширину лише один фут (римський фут дорівнював 295 мм), дорога для вершника - 3 фути (88,5см) дорога для колісниць - 4 фути (118 см). При побудові фортець сторожові вежі ставили на відстані пострілу з лука, що дозволяло забезпечити зв'язок між стрільцями.

За часів Стародавньої Русі використовували міри довжини. Еталонами більшості з них були розміри частин людського тіла: лікоть, проста сажень (відстань між кінцями великих пальців рук, розведених в сторони на висоті плечей) - 150 см, мала п'ядь (максимальна відстань по прямій між кінцями витягнутих великого і вказівного пальців, що дорівнює 19 см).

Свого часу Генріх Штаден, аналізуючи діяльність Івана Грозного, зазначав, що він досяг того, що по всій землі Російській, по всій його державі одна віра, одна вага, одна міра".

В Англії за наказом короля Генріха I (1100 р.) ярд рахувався відстанню від кінчика носа до кінця великого пальця витягнутої руки. Пізніше, 1324 р., закон встановив, що три круглих і сухих ячмінних зерна, витягнутих з середньої частини колоска і покладених у довжину, становлять один дюйм. Фут складається з 12 дюймів, ярд - з трьох футів. Виходячи з цього, у 1496 р. був виготовлений основний еталон ярда. Це був латунний стрижень восьмикутного перетину.

Законодавством Петра I запроваджено міри й ваги. У 1700 р. видано Указ про митні збори в Архангельську, де наказувалося проводити догляд ваги, гир, аршинів, сальних діжок. Метрологічною реформою Петра I в Росії дозволено користуватися англійськими мірами. Для полегшення обрахунків видано таблиці мір і співвідношень між російськими та іноземними мірами. У 1725 р. створено Петербурзьку академію наук, що займалася питаннями відтворення кутових одиниць, одиниць часу і температури . У 1736 р. згідно з рішенням Сенату

створено Комісію ваг і мір під керівництвом головного директора Монетного двору М.Г. Головкина. Комісія вивчала становище російських мір і ваг, займалася створенням еталонів, організувала повірочну справу в державі.

Одночасно з системою мір довжини створювалася й система мір ваги. За основну вагову одиницю метричної системи була прийнята маса одного кубічного дециметра чистої дистильованої води при температурі її найбільшої щільності, тобто при 4 °С. Ця одиниця отримала назву "кілограм", а похідні міри - "міліграм", "грам", "центнер", "тонна".

Метрична система мір є першою системою, у якій одиниці довжини, площі, об'єму і маси пов'язані між собою. У 1875 р. було підписано Метричну конвенцію, що стала основою міжнародного наукового співробітництва, сприяла уніфікації мір і розширенню метрологічної діяльності в міжнародних масштабах. У межах Метричної конвенції держави дали згоду на утворення Міжнародного бюро мір і ваг.

Історія розвитку метрології у колишньому СРСР розпочалася з декрету. Уряду від 14 вересня 1918р. про введення метричної десяткової системи мір і ваг. Декрет постановляв покласти в основу всіх вимірювань міжнародну метричну систему мір і ваг.

У 1993р. видано Декрет Кабінету Міністрів України "Про забезпечення єдності вимірювань", який поклав початок розвитку вітчизняної метрології. 11 лютого 1998 року N 113/98-ВР був прийнятий Закон "Про метрологію та метрологічну діяльність".

Метрологія виникла як наука про різні міри і співвідношення між ними. Слово метрологія утворено з двох грецьких слів: «метро» – міра і «логос» – вчення, що буквально можна перекласти як «вчення про міри».

Виміри є одним з найважливіших шляхів пізнання природи, дають кількісну характеристику оточуючого світу, допомагають розкрити діючі в природі закономірності. Д. І. Менделєєв, підкреслюючи значення вимірювання для науки, писав, що «наука починається відколи починають вимірювати, точна наука неможлива без міри».

Виміри грають величезну роль в сучасному суспільстві. Наука і промисловість не можуть існувати без вимірювання. Кожну секунду у світі відбувається багато мільярдів вимірювальних операцій, результати яких використовуються для забезпечення належної якості і технічного рівня продукції, що випускається, безпечної і безаварійної роботи транспорту і промисловості, для медичних і екологічних діагнозів і інших важливих цілей. Практично немає жодної сфери діяльності людини, де б інтенсивно не використовувалися результати вимірювання, випробувань і контролю.

Значимість вимірювання визначається тим, що тільки шляхом вимірювання необхідних фізичних величин, параметрів і показників можна отримати достовірну початкову інформацію, що становить основу будь-якої форми управління, аналізу, прогнозування, планування, контролю або регулювання. Причому, правильність рішень, які приймаються, може бути забезпечена тільки при високій і гарантованій точності результатів вимірювання.

З 1 січня 2001р. на території України і країн СНД замість ГОСТ 16263-70 введені рекомендації РМГ 29-99, які містять основні терміни і визначення в області метрології, узгоджені з міжнародними стандартами ISO, що регламентують використання одиниць вимірювання.

ТЕМА 2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ МЕТРОЛОГІЇ. ЗАДАЧІ ТА ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ. ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ МЕТРОЛОГІЇ

Мета заняття: ознайомитись з об'єктами і предметами, змістом за задачами дисципліни метрології.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Метрологією (від грецьких метрон - міра і логос - учення) називають науку про вимірювання, методи й засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності.

Метрологія є теоретичною основою вимірювальної техніки, одного з основних факторів технічного прогресу у всіх галузях діяльності людини. Розвиток метрології полягає, в першу чергу, в удосконаленні теоретичних основ вимірювань, узагальненні практичного досвіду в галузі вимірювань і формуванні подальшого розвитку вимірювальної техніки.

Методи вимірювання електричних величин застосовуються для вимірювання неелектричних і магнітних величин. Засоби вимірювання електричних величин застосовуються не тільки для отримання вимірювальної інформації, але і для здійснення контролю за станом параметрів різноманітних матеріальних об'єктів.

Для керування процесом вимірювання, оброблення результатів та їх подальшого більш ефективного використання все частіше застосовуються мікропроцесори, мікроконтролери, персональні комп'ютери.

Однією з найважливіших характеристик вимірювань є точність, яка характеризує міру відповідності наукового знання про досліджувані об'єкти теорії, сформульовану з використанням кількісних відношень, що отримані в процесі вимірювального експерименту. Точність на кожному етапі розвитку науки і техніки є кінцевою.

Єдність вимірювань - це стан вимірювань, за яким їх результати подаються в узаконених одиницях і похибки вимірювань відомі із заданою ймовірністю.

Предметом метрології є витяг шляхом вимірювання кількісної інформації про властивості об'єктів і процесів із заданою точністю і достовірністю.

Найважливішим завданням метрології є розробка методів і засобів вимірювання, а також забезпечення єдності вимірювання, яка вирішується при дотриманні двох умов: вираз результатів вимірювання в узаконених одиницях і

встановлення допустимих похибок результатів вимірювання і меж, за які вони не повинні виходити, при заданій імовірності.

Похибки вимірювання вказуються в паспорті, технічних умовах (ТУ) та іншій нормативній документації, що надається засобу вимірювання.

Об'єктами метрології є одиниці фізичних величин, засоби і методи вимірювання, методики виконання вимірювання, еталони.

Метрологія ґрунтується на трьох китах, першим з яких є філософія. Глибокий філософський сенс вимірювання полягає в тому, що вони є одним з шляхів пізнання світу, органічно пов'язаним із спостереженням і експериментом. Виміри разом із спостереженням і експериментом утворюють емпіричну основу пізнання. Вони є найважливішим елементом віддзеркалення об'єктивно існуючих співвідношень між реальними об'єктами.

У своєму розвитку метрологія пройшла шлях від «опису всякого роду мір по їх найменуваннях і взаємному співвідношенню» (Ф. І. Петрушевський) до точної науки про виміри. Ставши точною наукою, метрологія базується на відповідному математичному апараті. Отже, математика є другим «китом».

Третім «китом», на якому стоїть метрологія, являються прикладні науки: для техніки – відповідні галузі фізики, для вивчення громадських явищ – соціологія, для вивчення людини – психологія і т. п.

Для забезпечення науково-технічного прогресу метрологія повинна випереджати у своєму розвитку інші галузі науки, тому що для кожної з них точні виміри і достовірна інформація є засадничими.

Методи метрології - це сукупність фізичних і математичних методів, що використовуються для отримання вимірювальної інформації. До них належать: методи вимірювання, відтворення величин заданого розміру, порівняння величин, вимірювальне перетворення, обробка результатів спостережень, планування вимірювального експерименту.

Методи метрології дозволяють перевірити істинність інформації метрологічними експериментами. Різноманітність каналів отримання вимірювальної інформації, сукупність методів її обробки сприяють підвищенню точності і достовірності, а отже, і поглибленню пізнання людиною матеріальних об'єктів.

Засоби метрології - різноманітні засоби вимірювань і контролю, які вдосконалюються і розвиваються на основі об'єктивних законів.

Збільшення числа структурних елементів, програмно-апаратна реалізація засобів вимірювання і контролю приводять до їх якісної зміни. Вони неперервно вдосконалюються - від найпростіших мір до приладів, установок, комп'ютерно-вимірювальних систем і метрологічних роботів.

Відбувається перехід кількості структурних елементів в нові якості.

Всі засоби вимірювання і контролю регламентуються державними і міжнародними правилами, законодавчими актами, що мають за мету підтримання єдності вимірювань і підвищення їх достовірності.

Таким чином, засоби метрології включають у себе:

- сукупність засобів вимірювання і контролю;

- систему державних еталонів одиниць фізичних величин;
- систему передачі розмірів одиниць фізичних величин від еталонів усім засобам вимірювання за допомогою зразкових засобів повірки;
- систему обов'язкової державної і відомчої повірки, або метрологічної атестації засобів вимірювання;
- систему стандартних зразків складу і властивостей речовин, матеріалів.

ТЕМА 3. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ЗАКОНУ УКРАЇНИ «ПРО МЕТРОЛОГІЮ ТА МЕТРОЛОГІЧНУ ДІЯЛЬНІСТЬ»

Мета заняття: ознайомитись з основними розділами і положеннями закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність».

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Важливою подією у справі вдосконалення метрологічної діяльності в Україні стало прийняття Верховною Радою України в лютому 1998 р. Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» №113/98-ВР.

Цей закон визначає правові основи забезпечення єдності вимірювань в Україні, регулює суспільні відносини у сфері метрологічної діяльності та спрямований на захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань. Закон замінив Декрет Кабінету Міністрів України «Про забезпечення єдності вимірювань» від 27.04.1993 р. Закон має ряд суттєвих відмінностей від Декрету та складається з преамбули і 7 розділів з 42 статтями.

У розділі 1 «Загальні положення» значно розширено номенклатуру застосовуваних термінів. Додатково введено такі ключові терміни з їх визначеннями, як «метрологія», «вимірювання», «одиниця вимірювань», «методика виконання вимірювань», «вимірювальна лабораторія», а також терміни «робочий еталон», «вихідний еталон», «засіб вимірювальної техніки», «тип засобу вимірювальної техніки», «атестація методики виконання вимірювань».

У Законі вперше встановлюються положення щодо Державної метрологічної системи, функціонування та розвиток якої координує Державний комітет стандартизації, метрології та сертифікації України, а саме:

1. Державна метрологічна система забезпечує єдність вимірювань у державі і спрямована на:

- реалізацію єдиної технічної політики в галузі метрології;
- захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань;
- економію всіх видів матеріальних ресурсів;
- підвищення рівня фундаментальних досліджень і наукових розробок;
- забезпечення якості та конкурентоспроможності вітчизняної продукції;

- створення науково-технічних, нормативних та організаційних основ забезпечення єдності вимірювань в державі.

2. Діяльність щодо забезпечення функціонування та розвитку Державної метрологічної системи координує Державний комітет стандартизації, метрології та сертифікації України – центральний орган виконавчої влади.

Розділ I Закону регламентує також питання розроблення і затвердження нормативних документів (НД) із метрології:

1. Розроблення і затвердження НД із метрології здійснюється відповідно до законодавства.

2. Вимоги НД із метрології, які затверджені Державним комітетом стандартизації, метрології та сертифікації України, є обов'язковими для виконання центральними та місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, підприємствами, організаціями, громадянами – суб'єктами підприємницької діяльності та іноземними виробниками.

3. Вимоги НД із метрології, затверджені центральними органами виконавчої влади, є обов'язковими для виконання підприємствами і організаціями, що належать до сфери керування цих органів.

4. Підприємства і організації можуть розробляти та затверджувати у сфері своєї діяльності документи з метрології, що конкретизують затверджені Державним комітетом стандартизації, метрології та сертифікації України НД з метрології і не суперечать їм.

У розділ II Закону «Одиниці вимірювань, їх відтворення та зберігання. Здійснення вимірювань. Засоби вимірювальної техніки» регламентовані питання застосування одиниць вимірювань в Україні, особливостей застосування одиниць вимірювань стосовно товарів та послуг, призначених для експорту, відтворення та зберігання одиниць вимірювань, застосування, ввезення, виробництво, ремонт, продаж і прокат засобів вимірювальної техніки, а також питання вимірювань та використання їх результатів.

Основні з них:

- еталонна база створюється та удосконалюється відповідно до Державних науково-технічних програм, а за виконання цих програм, технічний рівень державних еталонів і оптимальність структури еталонної бази несе відповідальність Державний комітет стандартизації, метрології та сертифікації України;

- державні еталони є виключно державною власністю, затверджуються Державним комітетом стандартизації, метрології та сертифікації України і знаходяться у його віданні, а відповідальність за додержання правил і умов зберігання та застосування покладається на керівників організацій і вчених зберігачів цих еталонів;

- засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), на які поширюється Державний метрологічний нагляд (ДМН), дозволяється застосовувати, випускати з виробництва, ремонту та у продаж і видавати напрокат лише за умови, що вони пройшли повірку чи Державну метрологічну атестацію;

- ввезення на територію України ЗВТ партіями може здійснюватися, якщо типи цих ЗВТ занесені до Державного реєстру ЗВТ, допущених до застосування в Україні, а порядок ввезення встановлюється Кабінетом Міністрів.

- підприємства, організації та громадяни-суб'єкти підприємництва, які займаються випуском з виробництва, ремонтом, продажем і прокатом ЗВТ, повинні письмово повідомити відповідні територіальні органи (ТО) Державному комітету стандартизації, метрології та сертифікації України про свою діяльність;

- вимірювання у сферах поширення ДМН можуть здійснюватись вимірювальними лабораторіями лише за умови їх акредитації відповідними органами на право виконання вимірювань.

Розділ III Закону «Метрологічна служба України» подає структуру метрологічної служби України, структуру Державної метрологічної служби (ДМС) та метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій, а також регламентує у своїх статтях питання їх компетенції.

Розділ IV Закону «Державний метрологічний контроль і нагляд» визначає мету та об'єкти Державного метрологічного контролю і нагляду, сфери ДМН, види Державного метрологічного контролю і нагляду, детально регламентує права та обов'язки державних повірників та вперше – правовий захист державних інспекторів з метрологічного нагляду.

Розділом V Закону «Метрологічний контроль і нагляд, що здійснюють метрологічні служби органів виконавчої влади, підприємств і організацій» регламентовано діяльність МС міністерств, відомств, підприємств і організацій, їх функції і права із здійснення метрологічного контролю і нагляду. У цьому розділі більш чітко регламентовано діяльність цих служб, значно розширено їх функції і права із здійснення метрологічного контролю і нагляду, а з метою гармонізації з міжнародними нормами передбачено добровільність калібрування ЗВТ, що знаходяться в експлуатації.

До метрологічного контролю МС належать:

- метрологічна атестація та калібрування ЗВТ;
- акредитація калібрувальних і вимірювальних лабораторій;
- метрологічна експертиза документації та звітів про науково-дослідні роботи та атестація МВВ. ЗВТ, які не підлягають державним приймальним випробуванням і на які не поширюється ДМН, підлягають метрологічній атестації. ЗВТ, які підлягають державним випробуванням і на які не поширюється ДМН, підлягають калібруванню під час випуску з виробництва.

Необхідність проведення калібрування в експлуатації ЗВТ, на які не поширюється ДМН, визначається їх користувачем. Калібрувальні лабораторії, які проводять калібрування ЗВТ для інших підприємств, організацій і для громадян-суб'єктів підприємництва, повинні бути акредитовані згідно з встановленими вимогами. МС центральних органів виконавчої влади і уповноважених ними підприємств і організацій здійснюють акредитацію калібрувальних і вимірювальних лабораторій підприємств і організацій, що належать до сфери їх керування. Акредитація вимірювальних лабораторій, які

виконують вимірювання у сфері поширення ДМН, здійснюється за обов'язковою участю ТО Державного комітету стандартизації, метрології та сертифікації України.

Ці служби здійснюють акредитацію:

- калібрувальних лабораторій підприємств і організацій – на право проведення калібрування ЗВТ для власних потреб цих підприємств і організацій;
- вимірювальних лабораторій підприємств і організацій – на право проведення вимірювань. Регламентовано положення стосовно метрологічної експертизи документації (технічних завдань, НД, конструкторської, проектної і технологічної документації) та звітів про науково-дослідні роботи і геологічне вивчення надр та атестації МВВ, які здійснюються згідно із вимогами НД Державного комітету стандартизації, метрології та сертифікації України. Атестація МВВ, що використовуються у сферах поширення ДМН, може проводитись МС центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій за умови їх відповідної акредитації.

ТЕМА 4. СТРУКТУРА ДЕРЖАВНОЇ МЕТРОЛОГІЧНОЇ СЛУЖБИ УКРАЇНИ

Мета заняття: ознайомитись з структурою метрологічних служб, їх завданнями та повноваженнями.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

До національної метрологічної служби належать:

- 1) Центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності;
- 2) Центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності;
- 3) Центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрологічного нагляду;
- 4) Наукові метрологічні центри;
- 5) Державні підприємства, які належать до сфери управління центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності, та провадять метрологічну діяльність в Автономній Республіці Крим, областях, містах Києві та Севастополі, містах обласного значення (далі - метрологічні центри);
- 6) Служба єдиного часу і еталонних частот, Служба стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, Служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів;
- 7) метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, інших державних органів, підприємств та організацій;

8) органи з оцінки відповідності засобів виміральної техніки та повірочні лабораторії.

Центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності, здійснює державне управління забезпеченням єдності вимірювань в Україні.

До повноважень центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності, належать:

- забезпечення нормативно-правового регулювання у сфері метрології та метрологічної діяльності;
- організація проведення фундаментальних досліджень у сфері метрології;
- забезпечення функціонування та вдосконалення національної еталонної бази;
- розроблення або участь у розробленні державних наукових і науково-технічних програм, що стосуються забезпечення єдності вимірювань;
- представництво та участь від України в діяльності міжнародних, європейських та інших регіональних організацій з метрології;
- здійснення інших повноважень, визначених законами та покладених на нього актами Кабінету Міністрів України.

До повноважень центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності, належать:

- координація діяльності щодо забезпечення функціонування метрологічної системи України;
- організація функціонування та підготовка пропозицій з удосконалення національної еталонної бази;
- уповноваження на проведення перевірки законодавчо регульованих засобів виміральної техніки, що перебувають в експлуатації;
- здійснення інших повноважень, визначених законами та покладених на нього актами Кабінету Міністрів України.

Наукові метрологічні центри визначаються Кабінетом Міністрів України з числа державних підприємств, установ та організацій, що належать до сфери управління центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності, і створюють, удосконалюють, зберігають і застосовують національні еталони.

Положення про наукові метрологічні центри затверджуються центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності.

Наукові метрологічні центри у сферах діяльності, визначених положеннями про них та нормативно-правовими актами:

1) здійснюють фундаментальні наукові дослідження у сфері метрології, а також виконують роботи, пов'язані з розробленням та реалізацією державних програм з метрології та концепції розвитку метрологічної системи України;

2) здійснюють науково-прикладні дослідження та виконують науково-дослідні роботи, пов'язані із створенням, удосконаленням, зберіганням, звіренням, застосуванням національних еталонів, створенням систем передачі розмірів одиниць вимірювання;

3) беруть участь у розробленні проектів технічних регламентів, інших нормативно-правових актів, а також нормативних документів у сфері метрології та метрологічної діяльності;

4) здійснюють координацію та науково-методичне супроводження робіт із забезпечення єдності вимірювань за відповідними напрямками діяльності;

5) проводять оцінку відповідності засобів вимірювальної техніки;

6) проводять калібрування та повірку засобів вимірювальної техніки;

7) проводять вимірювання у сфері законодавчо регульованої метрології;

8) ведуть інформаційний фонд за напрямками своєї діяльності;

9) здійснюють міжнародне співробітництво з питань, що належать до їх компетенції.

Наукові метрологічні центри за договорами з юридичними та фізичними особами можуть виконувати інші роботи (надавати інші послуги), пов'язані із забезпеченням єдності вимірювань.

Служба єдиного часу і еталонних частот здійснює міжгалузеву координацію та виконання робіт, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань часу і частоти та визначення параметрів обертання Землі та надання часо-частотної інформації споживачам в економіці, у сфері науки та оборони, а також фізичним та юридичним особам, у тому числі надання інформації для забезпечення застосування єдиного обліково-звітного часу.

У центральних органах виконавчої влади, крім центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності, центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності, і центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрологічного нагляду, в інших державних органах, в органах управління об'єднань підприємств, на підприємствах та в організаціях можуть утворюватися метрологічні служби для проведення робіт (надання послуг), пов'язаних із забезпеченням єдності вимірювань у визначених сферах діяльності.

На підприємствах та в організаціях, які виконують роботи у сфері законодавчо регульованої метрології, обов'язково утворюються метрологічні служби або призначаються особи, відповідальні за забезпечення єдності вимірювань.

Структура, функції, права та обов'язки метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, інших державних органів, органів управління об'єднань підприємств, підприємств та організацій, які виконують роботи у сфері законодавчо регульованої метрології, визначаються положеннями про такі служби, які затверджуються керівниками цих органів, підприємств та організацій.

ТЕМА 5. ЕТАЛОНИ ОДИНИЦЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН. КЛАСИФІКАЦІЯ ВИМІРЮВАНЬ

Мета заняття: ознайомитись з поняттям еталон одиниці фізичної величини, класифікацією еталонів та вимірювань.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Для забезпечення єдності вимірювань необхідна чітка тотожність одиниць, в яких були б проградуйовані усі засоби технічних вимірювань однієї й тієї самої фізичної величини. Це досягається шляхом точного відтворення та збереження прийнятих на Міжнародній конференції з мір і ваги одиниць фізичних величин і передачі їх розмірів засобам вимірювань.

Відтворення, збереження та передача розмірів одиниць проводиться за допомогою еталонів та зразкових засобів вимірювань. Вищою ланкою у метрологічному колі передачі розмірів одиниць вимірювання фізичних величин є еталони.

Еталон одиниці фізичної величини — це засіб вимірювальної техніки, який забезпечує відтворення та зберігання одиниці фізичної величини та передавання її розміру відповідним засобам, що стоять нижче за повірочною схемою, офіційно затверджений як еталон.

Всі основні одиниці фізичних величин відтворюються з найвищою точністю за допомогою міжнародних еталонів відповідних одиниць і зберігаються у Міжнародному бюро мір та ваги у спеціальних лабораторіях у м. Севра поблизу Парижа. Програмою діяльності Міжнародного бюро мір та ваги передбачені систематичні міжнародні зіставлення національних еталонів великих метрологічних лабораторій різних держав з міжнародними еталонами та між собою.

Еталони метра та кілограма звіряються раз на 25 років, електричні та світлові еталони (ампера, вольта, ома, кандели та ін.) — раз на 3 роки. Проводяться також епізодичні міжнародні звіряння еталонів джерел іонізаційного випромінювання, платинових термометрів опору, температурних ламп та ін.

Основне призначення еталонів — бути матеріальною базою для відтворення та збереження одиниць фізичних величин.

Класифікація еталонів

Міжнародні та національні еталони поділяються на первинні та вторинні еталони. Первинним називається еталон, за допомогою якого відтворюється одиниця фізичної величини з найвищою точністю відповідно у світі й державі. За точністю відтворення одиниці він є найточнішим. Первинні еталони одиниць основних фізичних величин відтворюють одиниці відповідно до їхнього визначення, прийнятого Міжнародною конференцією з мір та ваги. Наприклад, первинний еталон метра у довжинах світлових хвиль випромінювання криптону-86. Для відтворення одиниць в особливих умовах, в яких пряма передача розміру одиниці від еталонів технічно неможлива із заданою точністю (високий тиск,

температура, частота та ін.), розробляються та затверджуються спеціальні еталони.

Первинні та спеціальні еталони офіційно затверджуються для держави як первинні і називаються державними еталонами. Державні еталони затверджуються Держстандартом, і на кожний з них ухвалюється державний стандарт.

Державні еталони зберігаються у метрологічних інститутах або центрах держави, а для проведення робіт з ними призначаються відповідальні вчені, зберігачі еталонів.

У метрологічній практиці широко використовують вторинні еталони, значення яких встановлюється за найточнішими первинними еталонами.

За своїм метрологічним призначенням вторинні еталони поділяються на еталони-копії, еталони передавання, еталони-свідки та робочі еталони.

Еталон-копія є вторинним еталоном, призначеним для зберігання одиниці та передачі її розміру робочим еталонам. Він не завжди може бути фізичною копією державного еталону.

Еталон передавання — вторинний еталон, який призначений для звіряння еталонів, котрі з тих чи інших причин не можуть безпосередньо звірятися один з одним. Прикладом еталону передавання може бути група нормальних елементів, яка використовується для звіряння державного еталона вольт з еталоном вольт Міжнародного бюро мір та ваги.

Еталон-свідок — вторинний еталон, призначений для перевірки збереження державного еталона та для заміни його у разі псування або втрати. Еталон-свідок має найвищу серед вторинних еталонів точність та використовується лише тоді, коли державний еталон не можна відтворити.

Робочий еталон — вторинний еталон, призначений для збереження одиниці й передачі її розміру зразковим засобам вимірювальної техніки а в окремих випадках — робочим засобом вимірювальної техніки найвищої точності.

Державні еталони завжди представляють комплекс засобів вимірювань та допоміжних пристроїв, які забезпечують відтворення одиниці фізичної величини, а в необхідних випадках її збереження та передачу розміру одиниці вторинним еталоном.

Вторинні еталони можуть подаватися у вигляді комплексу засобів вимірювань, поодиноких і групових еталонів та еталонних приладів.

Поодинокий еталон складається з одного вимірювального засобу (міри, приладу), який забезпечує відтворення та збереження одиниці самостійно, без участі інших засобів вимірювання того самого типу. Прикладом поодинокого еталона є вторинний еталон одиниці маси — кілограм у вигляді платино-іридієвої та сталеві гіри.

Груповий еталон складається із сукупності однотипних засобів вимірювань, що використовуються як одне ціле для підвищення надійності збереження одиниці. Прикладом групового еталона є еталон-копія вольт у вигляді 20 нормальних елементів.

Класифікація вимірювань

Для класифікації вимірювань необхідно встановити їх найбільш суттєві ознаки. До найбільш суттєвих ознак, різних вимірювань відносять:

- відсутність чи наявність в процедурі вимірювання перетворення роду вимірюваної величини та обчислення її значення за відомими залежностями;
- за характером рівнянь вимірювання;
- призначення вимірювання для незмінних чи змінних в часі вимірюваних величин;
- особливості визначення похибок вимірювань;
- наявність чи відсутність розмірності у вимірюваної величини;
- співвідношення між кількістю вимірюваних величин та кількістю вимірювань.

За відсутністю чи наявністю в процедурі вимірювань перетворення роду вимірюваної ФВ та обчислення її значення за відомими залежностями вимірювання класифікують: прямі та непрямі.

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

Для реалізації прямих вимірювань фізичної величини необхідно мати компаратор, а також багатозначну міру з відповідним діапазоном зміни значень, чи однозначну міру та масштабний вимірювальний перетворювач. При всіх інших однакових умовах прямим вимірюванням властиві мінімальні похибки.

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

Непрямі вимірювання поділяються на опосередковані, сукупні та сумісні.

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

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

Метою сукупних вимірювань є знаходження шляхом числових вимірювальних перетворень значень декількох ФВ за неможливістю їхнього окремого прямого вимірювання. При цьому завдяки усередненню інколи досягається ще й зменшення випадкової похибки вимірювання.

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

За призначенням вимірювань для незмінних чи змінних в часі вимірюваних величин їх класифікують на статичні та динамічні вимірювання.

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

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

Вимірювання за ознакою особливостей визначення їх похибок класифікують на лабораторні та технічні.

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

Лабораторні вимірювання виконуються висококваліфікованими спеціалістами найчастіше універсальними взірцевими засобами вимірювання в наукових дослідках, в метрологічних дослідженнях еталонів одиниць та при розробці і атестації методик виконання технічних вимірювань.

Технічні вимірювання. Вимірювання, які виконуються в заданих умовах згідно з розробленою та рекомендованою раніше методикою, при цьому похибки вимірювання, які при її проведенні окремо не визначають, повинні бути нижче встановлених нею.

ТЕМА 6. ВИМІРЮВАЛЬНІ ОПЕРАЦІЇ. ВИМІРЮВАЛЬНІ СИГНАЛИ. ІНФОРМАТИВНІ ПАРАМЕТРИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ

Мета заняття: ознайомитись з поняттями: вимірювальний сигнал, вимірювальні операції, визначити параметри вимірювальних сигналів.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Вимірювальна операція — це операція з фізичними величинами або їх значеннями під час вимірювання. До вимірювальних операцій належать: відтворення фізичної величини, порівняння фізичних величин і вимірювальне перетворення.

В процесі вимірювання виконуються такі метрологічні операції:

- відтворення фізичної величини заданого розміру (створення міри);
- порівняння (порівнюються дві однорідні фізичні величини: одна з них – вимірювана, а друга – вихідне квантоване значення міри);
- вимірювальне перетворення (якщо для фізичної величини не існує міри і пристрою порівняння, тоді фізичну величину однієї природи перетворюють у пропорційне значення фізичної величини іншої природи);
- масштабне перетворення – зміна розміру фізичної величини в задане число разів без зміни природи цієї величини.

Фізичний ефект, на якому ґрунтується вимірювальне перетворення, називають принципом вимірювального перетворення.

Вимірювальні перетворення поділяють на перетворення без зміни роду та зі зміною роду вихідної фізичної величини, а також на лінійні та нелінійні за видом функціональної залежності (лінійна чи нелінійна) між початковою величиною й тією величиною, що одержують після перетворення. Одним з поширених видів лінійного перетворення фізичної величини є масштабне вимірювальне перетворення, під яким розуміють лінійне вимірювальне перетворення фізичної величини без зміни її роду.

Сигнал - це фізичний процес, властивості якого визначаються взаємодією між матеріальним об'єктом та засобом його дослідження. Сигнали характеризуються параметрами.

Параметр сигналу - одна з властивостей, яка є фізичною величиною. Параметри сигналів розділяють на інформативні та неінформативні.

Інформативний параметр сигналу - параметр сигналу, який функціонально зв'язаний з досліджуваною (вимірюваною) величиною або ж має задане значення.

Сигнал, функціонально пов'язаний з вимірювальною фізичною величиною, називають сигналом вимірювальної інформації. Сигнал вимірювальної інформації має інформативний параметр, що функціонально пов'язаний з вимірюваною величиною. Параметри сигналу, не пов'язані з вимірюваною фізичною величиною, є неінформативними параметрами.

У засобах вимірювання електричних і магнітних величин часто застосовують електричні сигнали, інформативними параметрами яких є миттєві значення величин: постійних струмів і напруг, амплітудні, середні або середні квадратичні значення змінних струмів і напруг, а також їх частота, фаза тощо.

Щоб забезпечити високу якість вимірювань, сигнали вимірювальної інформації необхідно перетворювати з одного виду в інший. Застосування того чи іншого виду сигналу залежить від багатьох чинників: необхідної точності, швидкодії, діапазону. У протилежному випадку параметр сигналу є неінформативним.

Окремий вид сигналів складають вимірювальні сигнали, що виконують функцію взаємозв'язку між об'єктом вимірювання та засобом (засобами) вимірювальної техніки.

Вимірювальним сигналом називають сигнал, один чи декілька параметрів якого є інформативними. Розрізняють вхідні вимірювальні сигнали та сигнали вимірювальної інформації.

Вхідний вимірювальний сигнал - це вимірювальний сигнал, який подається на вхід засобу вимірювальної техніки з виходу об'єкта вимірювання чи джерела вимірювального сигналу або з виходу останнього на вхід об'єкта вимірювання.

Вимірювальний сигнал, що утворюється на виході джерела вимірювального сигналу, називають зразковим сигналом. Під зразковим сигналом розуміють вимірювальний сигнал, один чи декілька параметрів якого мають задані значення.

Сигнал вимірювальної інформації - це вимірювальний сигнал, який представляє вимірювальну інформацію на виході засобу вимірювальної техніки.

Сигнали вимірювальної інформації розділяють на візуальні та кодові. Візуальним називають сигнал вимірювальної інформації, який сприймається оператором візуально. Кодовим називають сигнал вимірювальної інформації, який представляється заданим кодом і призначається для сприйняття технічними засобами.

ТЕМА 7. ФІЗИЧНА ВЕЛИЧИНА ТА ЇЇ РОЗМІР. МІЖНАРОДНА СИСТЕМА ОДИНИЦЬ СІ

Мета заняття: ознайомитись з поняттями «величина», «фізична величина», вивчити основні фізичні величини у системі СІ.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Для кількісного опису різних властивостей, процесів і фізичних тіл вводиться поняття величини. Величина – це властивість чого-небудь, яке може бути виділене серед інших властивостей і оцінене тим або іншим способом, у тому числі і кількісно.

Величина не існує сама по собі, вона має місце, поки існує об'єкт з властивостями, вираженими цією величиною.

Аналіз величин дозволяє розділити їх на два види: реальні і ідеальні.

Ідеальні величини відносяться до області математики, і метрологія як наука ними не займається, хоча і використовує в практиці обробки результатів вимірювання. Ідеальні величини можуть бути обчислені тим або іншим способом і за певних умов можуть не мати похибки обчислення, чого не можна сказати про величини реальні.

Реальні величини діляться на фізичні і нефізичні. Фізична величина може бути визначена як величина, властива матеріальним об'єктам (процесам, явищам), що вивчаються в природних (фізика, хімія) і технічних науках. До нефізичних відносяться величини, властиві громадським наукам – філософії, соціології, економіці, управлінню якістю, інформатиці тощо.

Нефізичні величини, для яких одиниця вимірювання в принципі не може бути введена, можуть бути оцінені з використанням експертних оцінок, бальної системи, набору тестів. Нефізичні величини, при оцінці яких неминучий вплив суб'єктивного чинника, так само, як і величини ідеальні, до області метрології не відносяться.

Метрологія як наука займається фізичними величинами.

Фізичні величини розділяють на вимірювані і оцінювані. Вимірювані ФВ виміряні технічними засобами вимірювання, виражені кількісно в певних одиницях вимірювання.

Стандарт ДСТУ 2681-94 визначає, що фізична величина – це властивість, загальна в якісному відношенні для багатьох фізичних об'єктів, але в кількісному відношенні індивідуальна для кожного об'єкту.

Кожна ФВ має свої якісну і кількісну характеристики. Якісна характеристика визначає «рід» величини (маса, температура, щільність, довжина.), виражаючи відмінність або спільність з іншими величинами. Кількісна характеристика визначає розмір вимірюваної величини (довжина конкретного предмета, щільність конкретного предмета). Наприклад, властивість «міцність» в якісному відношенні характеризує такі матеріали, як сталь, дерево, тканина, скло і багато інших, тоді як міра (кількісне значення) міцності – величина для кожного з них абсолютно різна.

Уперше систему фізичних величин запропонував К.Ф.Гаус у 1832 р. У нашій країні, як і в багатьох інших, діє міжнародна система фізичних величин (СІ). Основними фізичними величинами у системі СІ є такі: довжина, час, маса, електричний струм, термодинамічна температура, кількість речовини, сила світла. Крім основних величин, до системи СІ входять дві додаткові величини: плоский і тілесний кут.

Взаємозв'язок основних і похідних величин характеризується таким поняттям, як розмірність фізичних величин.

Розмірність основної фізичної величини – це умовний символ фізичної величини у даній системі величин. Так, розмірність

- довжини – L;
- часу – T;
- маси – M;
- електричного струму – I;
- термодинамічної температури – θ

Розмірність похідної фізичної величини визначається через розмірності основних фізичних величин за формулою розмірності. Ця формула виводиться відповідно до фізичного закону, який установлює співвідношення даної похідної фізичної величини з основними фізичними величинами. Наприклад, розмірність

- швидкості – L/T;
- прискорення – L/T²;
- електричного заряду – I·T.

Одиниця фізичної величини – це значення величини, розмір якої приймається за одиницю.

У системі СІ для основних фізичних величин прийнято такі одиниці:

- маси – кілограм (кг);
- довжини – метр (м);
- часу – секунда (с);
- електричного струму – ампер (А);
- термодинамічної температури – кельвін (К);
- сили світла – кандела (Кд);
- кількості речовини – моль (моль).

Одиниці додаткових фізичних величин:

- плоского кута – радіан;
- тілесного кута – стерадіан.

Одиниці найбільш уживаних похідних фізичних величин електромагнетизму такі:

- напруги – Вольт (В),
- потужності – ват (Вт),
- електричного опору – Ом (Ом),
- магнітного потоку – вебер (Вб) та інші.

Одиниці фізичних величин, які вводяться незалежно від системи одиниць, називаються позасистемними одиницями. Вони тривалий час ще традиційно застосовуються, звичні у користуванні. Це такі одиниці, як кіловат-година, градус Цельсія, міліметр ртутного стовпчика тощо.

У системі СІ одиниці фізичних величин, названі на честь великих учених, прийнято позначати з великої літери.

ТЕМА 8. ОСНОВНА ЗАДАЧА ВИМІРЮВАННЯ. ОБ'ЄКТ ВИМІРЮВАННЯ ТА ЙОГО МОДЕЛЬ

Мета заняття: ознайомитись з основними задачами вимірювання, об'єктами та моделями.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Процедура вимірювання є сукупністю вимірювальних операцій, які потрібно виконати, щоб отримати значення фізичної величини.

Вимірювальні операції є наступними:

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

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

У цьому визначенні закладені такі «головні ознак» поняття «вимірювання»:

- вимірювати можна властивості реально існуючих об'єктів пізнання — фізичні величини;
- вимірювання вимагає проведення дослідів, тобто теоретичні міркування чи розрахунки не замінять експеримент;
- результатом вимірювання є фізична величина, котра відбиває значення вимірюваної величини.

Згідно із Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність», що набрав чинності з 01.01. 2016 року, «вимірюванням» вважається процес

експериментального визначення одного або декількох значень величини, які можуть бути обґрунтовано приписані величин.

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

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

При сукупних та сумісних вимірюваннях одночасно вимірюється декілька величин.

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

За типом вимірюваної ФВ виміри підрозділяються на області вимірювання.

Область вимірювання – це сукупність вимірювання ФВ, властивих якій-небудь галузі науки і техніки, і виділяються своєю специфікою.

Розрізняють області вимірювання:

001 – виміри геометричних величин: довжин, відхилень форми поверхні, параметрів складних поверхонь, кутів;

002 – виміри механічних величин: маси, сили, напруги, деформацій, твердості, крутних моментів, параметрів руху;

003 – виміри параметрів потоку: витрати, рівня, об'єму речовин;

004 – виміри тисків, вакуумні виміри;

005 – виміри фізико-хімічних властивостей і складу речовин: в'язкості, щільності, концентрації, вологості, електрохімічні виміри;

006 – теплофізичні і температурні виміри;

007 – виміри часу і частоти;

008 – виміри електротехнічних і магнітних ФВ на постійному і змінному струмі: сили струму, заряду, напруги, потужності, енергії, кута зрушення фаз, опору, ємності тощо;

009 – радіотехнічні і радіоелектронні виміри: інтенсивності сигналів, параметрів форми і спектру сигналів;

10 – виміри акустичних величин: частоти, сили звуку;

11 – оптико-фізичні виміри: коефіцієнта пропускання, віддзеркалення, заломлення;

12 – виміри іонізуючих випромінювань і ядерних констант;

13 – виміри біологічних і біомедичних величин і характеристик.

На початковому етапі процесу вимірювання необхідно прийняти фізичну модель об'єкта вимірювання (ФМ ОВ), а точніше вимірюваної величини (ФМ ВВ). Вона вибирається, виходячи з мети вимірювання, і мусить відображати з

множини властивостей реального ОВ тільки ті з них, які підлягають вимірюванню відповідно до поставленої технічної задачі і мети вимірювання. При цьому фізична модель об'єкта вимірювання (вимірюваної величини), як правило, не збігається з самим об'єктом вимірювання (вимірюваною величиною). У галузі електрорадіовимірювань вимірюваними величинами є характеристики і параметри електричних кіл і сигналів.

Приклад 1.1. Об'єкт вимірювання - довільне джерело змінної напруги, мета вимірювання – оцінка вихідної напруги джерела. Вимірювана величина – середнє квадратичне значення вихідної напруги джерела; фізична модель об'єкта вимірювання (вимірюваної величини) може бути представлена різними варіантами.

Наприклад, одна, найбільш загальна, модель – випадковий сигнал; інша, конкретна, модель – синусоїдний сигнал.

Приклад 1.2. Об'єкт вимірювання – електронний вольтметр, мета вимірювання – оцінка складових його вхідного опору в заданому частотному діапазоні. Вимірювана величина – вхідний опір електронного вольтметра, фізична модель об'єкта вимірювання (вимірюваної величини) – повний опір, який складається із зосереджених активної і ємнісної складових. Один і той самий ОВ може бути поданий різними фізичними моделями (зважаючи на режим його роботи), що відбивається на характеристиках вимірюваної величини і на необхідному ступені наближення до неї фізичної моделі ОВ.

Наприклад, опір резистора можна розглядати, по-перше, як лінійний у вузькому діапазоні значень струму, що проходить через нього, так і нелінійний у широкому діапазоні значень струму, а по-друге, – як активний опір у колах постійного і низькочастотного струму, так і повний опір у високочастотних колах, де починає впливати поверхневий ефект.

На другому етапі процесу вимірювання, після визначення ФМ ОВ, виконується вибір і обґрунтування методу вимірювання і засобу (засобів) вимірювальної техніки, виходячи з необхідності забезпечення потрібної похибки вимірювання.

ТЕМА 9. МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ – ЗІСТАВЛЕННЯ, МЕТОД НОНІУСА

Мета заняття: ознайомитись з методами фізичних вимірювань та закріпити знання.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Метод вимірювання – це прийом або сукупність прийомів використання принципів і засобів вимірювання, вибраних для вирішення конкретного вимірювального завдання.

Вибір методу залежить від виду вимірюваної величини, її розміру, точності результату вимірювання, швидкості його отримання, умов при яких робляться виміри, і ряду інших ознак.

Метод зіставлення. Метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням вимірюваної величини з усіма вихідними величинами багатозначної нерегульованої міри. Прикладами даного методу є вимірювання довжини лінійкою з поділками, вимірювання інтервалу часу годинником.

Цей метод, зокрема, забезпечує максимальну швидкодію вимірювання електричної напруги та механічних переміщень. Його покладено в основу побудови цифрових хронометрів, частотомірів, швидкодійних цифрових вольтметрів, цифрових вимірювачів індуктивності.

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

При вимірюванні нульові відмітки мір зсувають на вимірювану величину X , а потім визначають її числове значення за номером найближчої відмітки, що збігається. Таким чином, завдяки надлишковості методу ноніуса (замість однієї багатозначної нерегульованої міри використовуються дві), ступінь квантування «зменшується» в n разів. Це можна трактувати також як «збільшення» розміру величини X в n разів.

Метод ноніуса використовується тоді, коли неможливо створити міру з надто малими ступенями (наприклад лінійку з поділками 0.1 мм). Метод подвійного збігу (метод коінциденції) полягає в одноразовому порівнянні n зістиківаних вимірюваних величин X одного і того самого розміру із зразковою величиною X_0 , що відтворюється багатозначною нерегульованою мірою зі ступенем ΔX_0 .

Результат вимірювання визначається за формулою:
$$x = \frac{\Delta X_0}{N}$$

Приклад. Вимірювання зістиківаних інтервалів часу або зістиківаних відрізків довжини за допомогою, відповідно, послідовності періодичних імпульсів з відомим значенням їх періоду або лінійки з відомим значенням поділок.

ТЕМА 10. МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ – ЗРІВНОВАЖУВАННЯ, ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ, ЗАМІЩЕННЯ

Мета заняття: ознайомитись з методами та схемами вимірювання.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Метод зрівноваження. Метод прямого вимірювання з багаторазовим порівнянням вимірюваної величини та величини, що відтворюється мірою, яка регулюється, до їх повного зрівноваження.

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

В загальному випадку значення вимірюваної величини X може відрізнятись від величини, що відтворює міра (M). Тоді різницю отримують $\Delta X = X - X_N$ на виході пристрою порівняння (ПП) і вимірюють за допомогою засобу вимірювання (ЗВ), а значення невідомої величини визначається: $\Delta X = X_N + \Delta X$.

В цьому випадку зрівноваження вимірюваної величини X і X_N виконується не повністю. Диференціальний метод забезпечує високу точність вимірювання, якщо зразкова величина X_N відтворюється мірою з високою точністю, а різниця X мала.

Застосування непрямих вимірювань як більш складних, останнім часом значно поширилось. Розглянемо коротко особливості цих методів.

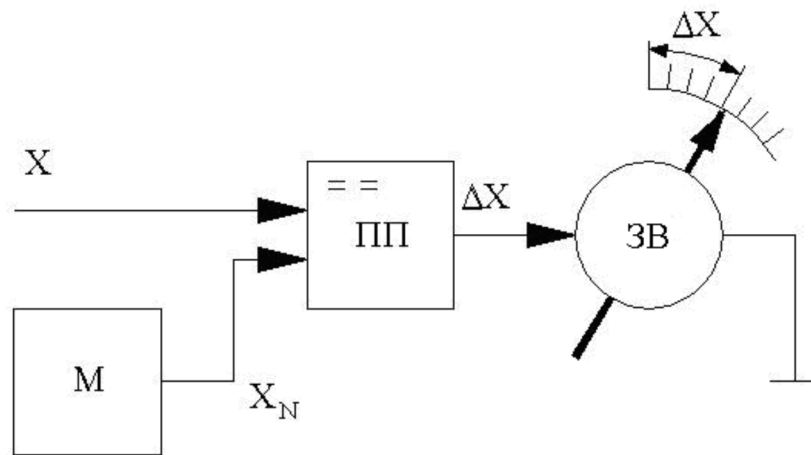


Рис. 1. Структурна схема диференціального методу

Окремим випадком диференціального методу є **нульовий**. В нульовому методі величину X_N , що відтворює міра, роблять регульованою, а різницю $\Delta X = X - X_N = 0$, доводять до нуля.

Високочутливий засіб вимірювання (нуль-індикатор) в цьому методі фіксує момент рівності $X = X_N$. Прикладом нульового методу є вимірювальні мости.

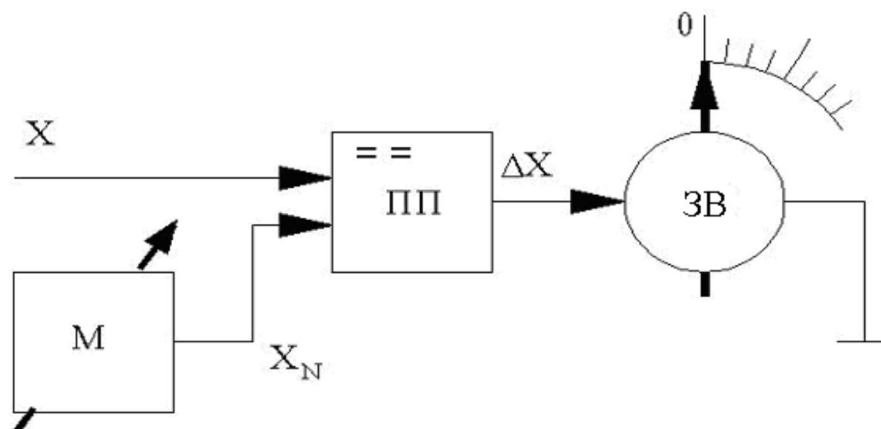


Рис. 2. Структурна схема нульового методу

Перший метод непрямого опосередкованого вимірювання полягає у використанні перетворення вимірюваної величини X в іншу фізичну величину, для якої створені засоби вимірювання.

Другий метод непрямого опосередкованого вимірювання в якому також використано вимірювальний перетворювач роду вимірюваної величини є метод заміщення.

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

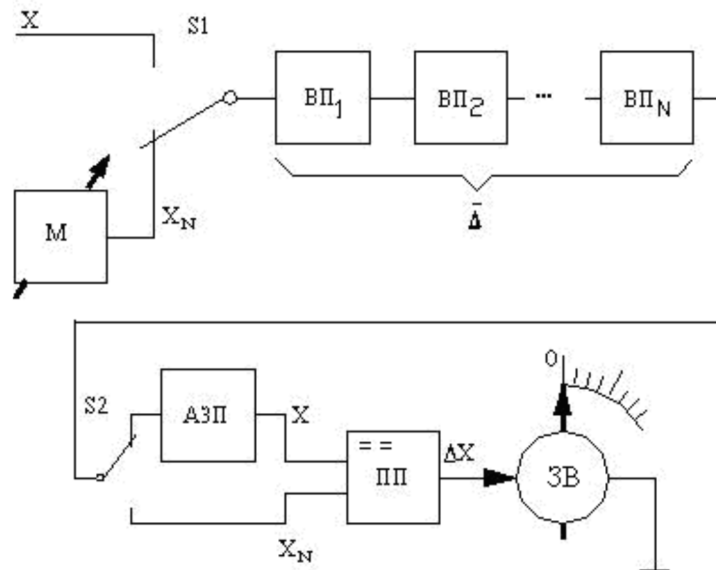


Рис. 3. Структурна схема методу заміщення

Даний метод доцільно застосовувати у тому випадку, коли для величини X не створені компаратори, але створені регульовані одноканальні міри (M). Метод реалізується за два етапи (рис. 3). На першому етапі на вхід вимірювального перетворювача (VP_i) подається невідома величина ΔX і запам'ятовується аналоговим запам'ятовуючим пристроєм ($A3П$). На другому етапі на VP_i подається зразкова величина від регульованої міри. Тут, як і в нульовому методі, різницю $X=0$ доводять до нуля за допомогою регульованої міри, а значення вимірюваної величини визначають за значенням регульованої міри в момент рівності $X=X_N$.

ТЕМА 11. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ: МІРИ, ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

Мета заняття: ознайомитись з поняттями «засоби вимірювальної техніки», «міри», класифікацією та функціями вимірювальних приладів

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

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

Засобами вимірювальної техніки є міри, вимірювальні перетворювачі, вимірювальні прилади, вимірювальні установки та вимірювальні системи.

Засіб вимірювання: призначений для вимірювань, має нормовані метрологічні характеристики, відтворює та зберігає одиницю фізичної величини, розмір якої приймають незмінною протягом відомого інтервалу часу.

Метрологічними називаються ті характеристики засобів вимірювань, від яких залежить точність результатів, одержаних за їх допомогою. Нормування метрологічних характеристик полягав в законодавчому регламентуванні їх складу і нормативних значень.

Приведені визначення виражають сутність засобу вимірювання, який:

- по-перше, зберігає або відтворює одиницю фізичної величини;
- по-друге, ця одиниця незмінна.

Ці найважливіші чинники і визначають можливість проведення вимірювань, тобто роблять технічний засіб саме засобом вимірювань. Цим засоби вимірювань відрізняються від інших технічних пристроїв.

До засобів вимірювальної техніки відносяться засоби вимірювань (ЗВ) та вимірювальні пристрої. Засіб вимірювання це ЗВТ, який реалізує процедуру вимірювань. Види ЗВ: вимірювальні прилади, вимірювальні канали, вимірювальні системи, кодові ЗВ (АЦП), реєструвальні ЗВ.

Вимірювальний пристрій (ВП) - ЗВТ, в якому виконується лише одна зі складових частин процедури вимірювань (вимірювальна операція). ВП це міри, набори і магазини мір, компаратори, вимірювальні перетворювачі, масштабні перетворювачі та обчислювальні компоненти.

Міра - засіб вимірювань, призначений для відтворення і (або) зберігання фізичної величини заданого розміру. Міра виступає в якості носія одиниці фізичної величини і служить основою для вимірювань. До заходів відносяться гирі, кінцеві міри довжини, нормальні елементи (заходи ЕРС); кварцовий резонатор (міра частоти електричних коливань).

Заходи, які відтворюють фізичну величину одного розміру, називають однозначними. Заходи, які відтворюють фізичну величину різних розмірів, називають багатозначними. Прикладом багатозначної міри є міліметрова лінійка, яка відтворює не тільки міліметрові, але і сантиметрові розміри довжини.

Вимірювальний прилад - засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття людиною (оператором). Конструктивно вимірювальні прилади являють собою сукупність первинних і проміжних перетворювачів.

Особливе місце займають прилади *прямої дії*. Вони перетворюють вимірювану величину, як правило, без зміни її роду і відображають її на показує пристрої, який в одиницях цієї величини. Наприклад, амперметр, вольтметр і ін.

Більш точними є *прилади порівняння*, які призначені для порівняння вимірюваних величин з величинами, значення яких відомі. Порівняння здійснюється за допомогою компенсаційних ланцюгів приладу. Наприклад, вимірювання маси здійснюється через установку еталонних гир на рівноплечих вагах.

Вимірювальні прилади поділяються на аналогові і цифрові. Відповідно до рівняння вимірювань значення величини дорівнює добутку її числового значення на розмір одиниці вимірювання. Інформація про числовому значенні фізичної величини, яка називається вимірювальною інформацією, в процесі вимірювань передається за допомогою тих чи інших сигналів.

В аналогових приладах встановлюється прямий зв'язок між значенням вимірюваної величини і значенням сигналу фізичної величини. Наприклад, в ртутному термометрі висота стовпчика ртуті відповідає конкретному значенню температури. При цьому, очевидно, використовується не саме числове значення, а аналогова величина.

У цифрових вимірювальних приладах сигнали вимірювальної інформації піддаються дискретизації і передаються для відображення у вигляді окремих короткочасних імпульсів, які є носіями вимірювальної інформації.

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

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

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

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

ТЕМА 12. ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ, ВИМІРЮВАЛЬНІ УСТАНОВКИ, ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ, ДОПОМІЖНІ ЗАСОБИ

Мета заняття: ознайомитись із засобами вимірювальної техніки.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

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

Вимірювальний прилад, що дає можливість тільки відлічувати покази, називається показуючим, а прилад, в якому передбачена автоматична фіксація вимірювальної інформації, - реєструючим. Залежно від виду реєстрації реєструючі прилади поділяються на самописні і друкуючі.

Самописний прилад (самописець) записує вимірювальну інформацію в аналоговій формі у вигляді діаграми, а друкуючий здійснює друкування вимірювальної інформації у цифровій формі.

Залежно від виду значення вимірюваної величини, тобто інформативного параметра вхідного сигналу розрізняють прилади миттєвих або інтегральних (середнє, середнє за модулем, середнє квадратичне) значень, а також інтегруючі та підсумовуючі прилади. Інтегруючий прилад інтегрує вхідний сигнал за часом або іншою незалежною змінною (наприклад, лічильник електричної енергії інтегрує миттєву потужність за часом).

Підсумовуючим називається прилад, покази якого функціонально пов'язані з сумою двох або декількох величин, що підводяться до нього по різних каналах (наприклад, ватметр для вимірювання потужності декількох генераторів).

Залежно від виду значення вимірюваної величини, тобто інформативного параметра вхідного сигналу розрізняють прилади миттєвих або інтегральних (середнє, середнє за модулем, середнє квадратичне) значень, а також інтегруючі та підсумовуючі прилади. **Інтегруючий** прилад інтегрує вхідний сигнал за часом або іншою незалежною змінною (наприклад, лічильник електричної енергії інтегрує миттєву потужність за часом). **Підсумовуючим** називається прилад, покази якого функціонально пов'язані з сумою двох або декількох величин, що підводяться до нього по різних каналах (наприклад, ватметр для вимірювання потужності декількох генераторів).

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

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

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

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

Вимірювальні системи можна вважати різновидом вимірювальних інформаційних систем (ВІС), до яких належать також системи автоматичного контролю, системи технічної діагностики і системи розпізнавання образів. ВІС також входять до складу автоматизованих систем управління.

Отже, ВІС це сукупність ЗВТ, засобів контролю, діагностики та інших технічних засобів для створення сигналів вимірювальної та інших видів інформації. Незалежно від виду інформації, що формується будь-якою ВІС основним елементом її є ЗВТ.

ТЕМА 13. ТОЧНІСТЬ ТА ПОХИБКА ВИМІРЮВАНЬ. РЕЗУЛЬТАТ ВИМІРЮВАНЬ, ІСТИННЕ ТА ДІЙСНЕ ЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНОЇ ВЕЛИЧИНИ

Мета заняття: вивчити поняття точність вимірювання та похибка, навчитись знаходити різницю між істинним і дійсним значенням фізичної величини.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Точність вимірювання є ступенем відповідності результату вимірювання істинним значенням вимірюваної величини та позитивною якісною ознакою вимірювання. Чим ближче результат вимірювання до істинного значення, тим точніше вимірювання і навпаки.

Зазвичай точність вимірювання не має числового вираження, а є лише суто якісною характеристикою. Процедура вимірювання складається з етапів: прийняття моделі об'єкта вимірювання, вибір методу вимірювання, вибір засобу вимірювання та проведення експерименту для отримання результату вимірювань. На кожному з етапів виникає та існує невідповідність між ідеальними і реальними умовами, тому то результат вимірювання відрізняється від істинного значення фізичної величини.

У метрології точність вимірювання — ступінь наближення результату вимірювання до істинного значення вимірюваної фізичної величини. Чим менша різниця між результатом вимірювання і істинним значенням, тим вища точність вимірювання. Кількісно точність може бути оцінена через:

- похибку вимірювання;
- збіжність та правильність;
- невизначеність вимірювання.

Точність вимірювального приладу — ступінь наближення показів приладу до істинного значення вимірюваної фізичної величини. Кількісно оцінюють через похибку приладу.

Будь-який процес вимірювання незалежно від умов, в яких його проводять, пов'язаний з похибками, які перекручують уявлення про дійсне значення вимірюваної величини. Якість вимірювання тим вище, чим ближче результат вимірювання до дійсного значення. Кількісною характеристикою якості вимірювання є похибка вимірювання, яка залежить від професіоналізму оператора, від устаткування, похибки ЗВТ, методів вимірювання, дії зовнішніх чинників тощо.

Введення поняття «похибка» вимагає визначення і чіткого розмежування трьох понять: істинного, дійсного і вимірюваного значення.

Істинне значення ФВ ідеальним чином в якісному і кількісному сенсах відображає певну властивість об'єкту. Воно не залежить від засобів нашого пізнання і є тією абсолютною істиною, до якої ми прагнемо, намагаючись виразити її у вигляді числових значень. На практиці це абстрактне поняття доводиться замінювати поняттям «Дійсне значення».

Дійсне значення ФВ – знайдено експериментальним шляхом і настільки наближається до істинного значення, що для цієї мети може бути використано замість нього.

Виміряне значення ФВ (результат вимірювання) – є наближеною оцінкою істинного значення величини, отримано при вимірі із застосуванням конкретних методів і засобів вимірювання.

Поняття «похибка» – одне з центральних в метрології, де використовуються поняття «Похибка результату вимірювання» і «похибка засобу вимірювання». Похибка має бути обов'язково оцінена.

Експериментатор, виконуючи операції процесу вимірювань, одержує результати спостережень про значення вимірюваної величини, які називають результатами спостережень при вимірюваннях. Вони можуть бути однократними (одноразовими) або многократними (багаторазовими). Результати спостережень при вимірюваннях ще не є результатами вимірювань.

Результат вимірювання, як значення величини, що знайдено шляхом її вимірювання, одержують після відповідної обробки результатів спостережень, на основі якої визначають кількісні показники точності і вибирають форму подання результату вимірювання згідно з відповідними державними стандартами. У випадку однократного спостереження результат вимірювання знаходять, оцінюючи за відомими метрологічними характеристиками засобів вимірювань границі, в яких за даних умов із заданою ймовірністю може бути значення похибки вимірювання і подають результат у належній стандартній формі.

Отже, результат вимірювання - це знайдено значення вимірюваної величини з стандартною оцінкою його точності, яка визначається характеристиками похибки вимірювань. Звідси виходить, що необхідно уміти коректно оцінювати значення похибок результатів вимірювань.

ТЕМА 14. КЛАСИФІКАЦІЯ ПОХИБОК

Мета заняття: ознайомитись із способами, характером та джерелами виникнення похибок.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Похибки, що виникають в процесі вимірювання, можна розділити:

1. За способом вираження:

– абсолютна похибка – це алгебраїчна різниця між отриманим при вимірі і дійсним значенням вимірюваної ФВ, виражена в одиницях вимірювання цієї величини:

$$\Delta = x - Q$$

де x – результат вимірювання; Q – дійсне значення вимірюваної величини;

– відносна похибка – похибка, що визначається відношенням абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини і виражається в долях або у відсотках від значення вимірюваної ФВ:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{Q}$$

2. За характером прояви:

– **систематична похибка** – складова похибки результату вимірювання, яка при повторних вимірах однієї і тієї ж величини в одних і тих же умовах залишається постійною або закономірно змінюється. Наприклад, лінійка має неточність ціни ділення, отже, ця похибка перенесеться на усі результати вимірювання, оператор систематично робить одну і ту ж помилку.

Як правило, систематичні похибки можуть бути визначені до початку вимірювання. Оскільки істинне значення визначити неможливо, не можна визначити і систематичну похибку вимірювання.

– **випадкова похибка** – складова похибки результату вимірювання, змінюється випадковим чином (за знаком і значенням) при повторних вимірах однієї і тієї ж величини в одних і тих же умовах, наприклад, неправильне функціонування вимірювального пристрою, зміна зовнішніх умов вимірювання випадкового характеру.

У появі таких похибок не спостерігається якої-небудь закономірності, вони проявляються у вигляді розкиду отриманих даних. Випадкові похибки завжди присутні в результатах вимірювання, причому, чим більше вимірювання, тим менше випадкова похибка. Випадкові похибки не передбачені, не усунені, їх вплив може бути зменшений шляхом обробки результатів вимірювання методами теорії імовірності і математичної статистики;

– **груба похибка (промах)** – випадкова похибка результату окремого спостереження, що входить в ряд вимірювання, яка для цих умов різко відрізняється від інших результатів вимірювання. Наприклад, помилка оператора, різка зміна умов вимірювання, збій ЗВТ.

- **інструментальні похибки**, що зумовлені недосконалістю ЗВТ та залежністю їх властивостей від впливу зовнішніх умов. Така похибка присутня завжди, так як вимірювання неможливе без вимірювальних засобів;

- під час вимірювань різні за кваліфікацією виконавці вимірювань по-різному визначають покази аналогових приладів, при цьому похибка може сягати до половини поділки, а то і більше. Така похибка має назву *особиста*. Слід відзначити, що під час застосування цифрових ЗВТ така похибка не виникає;

- **методичні похибки** зумовлені методом вимірювання та вимірювального перетворення. Такі похибки пов'язані з невідповідними моделями вимірюваних об'єктів та їх величин, а виникають вони при взаємодії засобів вимірювальної техніки та об'єктів. На вибір моделі вимірюваної величини впливає мета вимірювання, яка встановлює потрібну точність вимірювання;

- причинами виникнення **обчислювальної похибки** можуть стати ефекти заокруглення та обчислювальні проблеми розв'язування вимірювальної задачі. Так як при проведенні вимірювань для отримання результату опрацьовують первинні результати спостережень за відповідними виразами, алгоритмами та залежностями, тому виконують певні обчислення. В залежності від складності вимірювальної задачі обчислення здійснюють за допомогою обчислювальних засобів різної складності: від олівця та паперу до калькулятора та обчислювальних комплексів. При обчисленні виконують заокруглення чисел, так й виникає похибка від заокруглень. Сам алгоритм розв'язування вимірювальної задачі є нестійким, так як при невеликих похибках у вихідних даних (тисячні чи сотні частки відсотка) результат розрахунку може містити похибку, яка дорівнює одиниці чи десяткам відсотків і навіть більше;

- **динамічні похибки** – це похибки, які виникають під час динамічних вимірювань, в яких вимірювана величина під час вимірювального експерименту може змінюватися, або якщо у застосовуваних ЗВТ ще не закінчилася перехідні процеси при поданні на їх вхід вимірюваної величини;

- **адитивні похибки** – це абсолютні похибки, які не залежать від значення вимірюваної величини, та які ніби то алгебраїчно додаються (від англ. *add* – додавати) до вимірюваної величини;

- **мультиплікативні похибки** – це абсолютні похибки, які лінійно зростають чи зменшуються при збільшенні значення вимірюваної величини, а саме, є пропорційними до добутку (від англ. *multiplication* – множення) певного коефіцієнту і значення вимірюваної величини;

- **нелінійні похибки** – це абсолютні похибки, які нелінійно залежать від значення вимірюваної величини;

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

- 1) температура 20 °С,
- 2) вологість 70 %,
- 3) атмосферний тиск 105 Па,
- 4) параметри живлення мережі 220 В, 50 Гц, тощо.

Основна похибка існує за відсутності дії впливових величин (факторів). Додаткова похибка – це похибка, яка виникає під впливом дії впливових факторів, тобто в робочих умовах використання.

ТЕМА 15. ВИПАДКОВІ, СИСТЕМАТИЧНІ ТА ГРУБІ ПОХИБКИ

Мета заняття: вивчити поняття випадкові, грубі та систематичні похибки, ознайомитись з принципами їх виявлення.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Випадкова похибка обумовлена дією неконтрольованого впливу випадкових факторів і проявляється у хаотичній зміні результатів повторних спостережень. Під неконтрольованим впливом розуміють сукупність факторів, які неможливо наперед передбачити. Тому врахувати їх можна тільки за допомогою методів теорії ймовірностей та математичної статистики.

Для того, щоб виявити випадкову похибку, вимірювання необхідно провести декілька разів. Багаторазові вимірювання однієї і тієї ж фізичної величини X , проведені на одному і тому ж приладі, називають повторними, або рівноточними. N рівноточних вимірювань фізичної величини X позначають x_1, x_2, \dots, x_N . Довільне рівноточне вимірювання позначають x_i і кажуть, що це i -те вимірювання.

Випадкові похибки являють собою похибки, у появі кожної з яких не спостерігається якої-небудь закономірності. Випадкові похибки неминучі і непереборні й завжди присутні в результаті вимірювання. Вони викликають розсіювання результатів при багатократному і достатньо точному вимірюванні однієї і тієї ж величини при незмінних умовах, викликаючи відмінність їх в останніх значущих цифрах (результати багаторазових вимірювань однієї і тієї ж постійної величини в одних і тих же умовах за допомогою одного і того ж вимірювального пристрою одним і тим же оператором можуть відрізнитися один від одного).

Кожна випадкова похибка виникає внаслідок впливу багатьох факторів, кожен з яких сам по собі не чинить значного впливу на результат. Так як випадкові похибки не піддаються виключення з результатів вимірювань, то при розгляді їх впливу на результат вимірювань завдання зводиться до вивчення властивостей сукупностей результатів окремих спостережень.

Природа і фізична сутність випадкових і систематичних складових похибок вимірювань різна. Однак оцінки невиключних залишків систематичних похибок і випадкових похибок здійснюються на основі обробки статистичного матеріалу, що представляє собою сукупність результатів вимірювань. Для вивчення випадкових похибок використовуються методи теорії ймовірностей і математичної статистики. Ці методи застосовні і для невиключних систематичних складових.

По своїй фізичній природі вимірювані величини можуть бути детермінованими та випадковими.

Дискретною (перериваною) називають випадкову величину, значення якої можна перенумерувати. Приклади дискретних випадкових величин є кількість виробів, що відмовили в процесі випробувань, кількість бракованих деталей в партії і т. д.

Неперервною називають випадкову величину, можливі значення якої безперервно заповнюють деякий проміжок. Приклади неперервних випадкових величин: відхилення розміру виготовленої деталі від номіналу, похибка виміру величина відхилення форми деталі, висота мікронерівностей в даній точці поверхні і т. д.

Випадкова величина не може характеризуватися якимось одним значенням. Для неї необхідно обов'язково вказати множину можливих значень і імовірнісні характеристики, задані на цій множині.

Дискретні випадкові величини повністю характеризуються вірогідністю своїх окремих значень

Систематична похибка — це похибка, обумовлена дією сталих у часі факторів. Зазначимо суттєву особливість такого типу похибок — їхня величина і знак зберігаються під час проведення експерименту. Такі похибки можуть бути пов'язані з помилками під час вимірювання недосконалими приладами (неправильна шкала, нерівномірний крок мікрометричного гвинта, не рівні плечі ваги тощо) і з самою постановкою досліду (наприклад, визначення швидкості поїзда на ділянці, де рух проходить з прискоренням, яке не було враховано експериментатором). Унаслідок систематичних похибок результати досліду, які відмінні між собою через випадкові похибки, коливаються не навколо істинного x , а навколо деякого зміщеного x значення.

Систематична похибка є наслідком недосконалості приладів та недоліків методики експерименту.

У метрологічній практиці при оцінці систематичних похибок повинен враховуватися вплив наступних чинників:

1. Об'єкт вимірювання. Перед виміром він має бути добре вивчений з метою коректного вибору його моделі. Наприклад, при вимірі площі сільськогосподарських угідь кривизна земної поверхні може не враховуватися, оскільки вона не вносить відчутної похибки, проте при вимірі океанів нею нехтувати вже не можна.

2. Суб'єкт вимірювання. Щоб зменшити похибку вимірювання необхідно підібрати оператора високої кваліфікації.

3. Метод і засіб вимірювання. Надзвичайно важливий їх правильний вибір.

4. Умови вимірювання. Забезпечення і стабілізація нормальних умов необхідна вимога.

Відомий ряд способів виключення систематичних похибок, які умовно можна розділити на чотири основні групи:

– усунення джерел похибок до початку вимірювання;

- виключення похибок в процесі вимірювання способами заміщення, компенсації похибок по знаку, протиставлення (перестановки), симетричних спостережень;

- внесення відомих поправок до результату вимірювання (виключення похибок обчисленням);

- оцінка меж систематичних похибок, якщо їх не можна виключити.

За характером прояви систематичні похибки поділяються:

1. За характером зміни в часі:

- постійні систематичні похибки – залишаються незмінними протягом усієї серії вимірювання. Наприклад, похибка від того, що неправильно встановлений нуль на шкалі приладу, похибка від постійної додаткової ваги на чашці ваг тощо.

- змінні (прогресивні) систематичні похибки – змінюються в процесі вимірювання, при цьому зростаючи або убуючи.

Періодичною називається похибка, значення якої є періодичною функцією часу. Наприклад, похибки, що виникають внаслідок зносу контактуючих деталей засобів вимірювання, при поступовому розряді батареї, що живить засіб вимірювання, коливання температури довкілля.

2. З причин виникнення:

- методичні;

- інструментальні;

- особисті (суб'єктивні).

Відмінність між систематичними та випадковими похибками не є абсолютною. Вона пов'язана з постановкою досліду. Проводячи вимірювання опору не одним, а декількома омметрами, ми перетворюємо систематичну похибку, пов'язану з неточністю шкали, у випадкову, величина і знак якої залежить від того, який омметр використаний у кожному досліді. Однак у конкретному досліді різницю між випадковими та систематичними похибками завжди можна і потрібно встановлювати з повною визначеністю. Оскільки фактори, що призводять до виникнення систематичних похибок, з часом не змінюються, їх можна передбачити і повністю або частково усунути. Якщо цього не вдається зробити, то систематичну похибку враховують як складову загальної похибки.

Груба похибка або промах – це похибка результату окремого вимірювання, що входить в ряд вимірювання, яка для цих умов різко відрізняється від інших результатів цього ряду.

Джерела грубих похибок:

- різкі зміни умов вимірювання;

- несправність засобів вимірювальної техніки (ЗВТ);

- помилки оператора (неправильно вибрано ЗВТ, неправильний запис результату вимірювання).

При одноразових вимірах виявити промах неможливо. Для зменшення імовірності появи промахів вимірювання проводять два-три рази і за результат приймають середнє арифметичне отриманих значень.

При багатократних вимірах грубі похибки можуть сильно перевернути довірчий інтервал, тому їх необхідно виключити з серії вимірювання і перерахувати параметри розподілу.

При багатократних вимірах для виявлення промахів використовують статистичні критерії, заздалегідь визначивши, якому виду розподілу відповідає результат вимірювання.

Критерій σ застосовується для результатів вимірювання, розподілених за нормальним законом. За цим критерієм вважається, що результат, що виникає з імовірністю $\alpha \leq 0,003$ малоімовірний і його можна вважати промахом. $P=0,997$, $\alpha \leq 0,003$

Розглянемо способи усунення систематичних похибок. Усунення джерел похибок до початку вимірювання. Цей спосіб є найбільш раціональним, оскільки він звільняє від необхідності усувати похибки в процесі вимірювання або обчислювати результат з урахуванням поправок. Наприклад, для усунення температурної похибки потрібно забезпечити необхідну температуру довкілля з допустимими коливаннями. Коливання температури в заданих межах може бути забезпечене на рівні цеху, лабораторії, засобів вимірювання і т. д. вплив вологості і тиску на точність вимірювання може бути виключений, якщо для вимірювання використовувати, наприклад, спеціальні камери.

Спосіб введення поправок заснований на знанні систематичної похибки і закономірності її зміни. В цьому випадку в результат вимірювання, що містить систематичні похибки, вносять поправки, рівні цим похибкам, але із зворотним знаком. Наприклад, до лінійних шкал універсального мікроскопа додається атестат, в якому вказані значення і знак поправки для кожного ділення шкали.

Послідовних різниць, дисперсійний аналіз тощо. Розглянемо детальніше метод послідовних різниць (критерій Аббе). Застосовується для виявлення систематичної похибки, що змінюється в часі, і полягає в наступному. Обчислюють дисперсію результатів вимірювання двома способами:

– звичайним – визначають незміщену оцінку дисперсії

$$D_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2}{n - 1}$$

– і способом обчислення суми Q_2 х квадратів послідовних (в порядку проведення вимірювання) різниць $(x_{i+1} - x_i)^2$.

$$Q_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i+1} - x_i)^2}{2(n - 1)}$$

Завдання 1. Випадкова похибка має нормальний розподіл з такими параметрами: $m_A = 7,5 \text{ мВ}$; $\zeta_A = 5,6 \text{ мВ}$. Визначити довірчі границі випадкової похибки для довірчих ймовірностей $P_{\text{дов}} = 0,90$ та $P_{\text{дов}} = 0,95$.

Завдання 2. Відомі параметри нормального розподілу трьох складових випадкової похибки вимірювання опору: $m_1 = 0,26 \text{ Ом}$, $\delta = 0,38 \text{ Ом}$; $m_2 = -0,35 \text{ Ом}$, $\delta_2 = -0,43 \text{ Ом}$; $m_3 = 0,13 \text{ Ом}$, $\delta_3 = 0,26 \text{ Ом}$. Знайти математичне сподівання, дисперсію та стандартне відхилення сумарної похибки. Розрахувати довірчі границі похибки для $P_{\text{дов}} = 0,95$.

ТЕМА 16. ВИЯВЛЕННЯ ТА ВИЛУЧЕННЯ СИСТЕМАТИЧНИХ ПОХИБОК

Мета заняття: ознайомитись з методикою вилучення систематичних похибок та закріпити знання.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Обов'язковим елементом опрацювання результатів вимірювання є виявлення і коригування систематичних похибок. Виявлення систематичних похибок є найскладнішою операцією і її ефективність залежить від досвіду та кваліфікації експериментатора, а також від обсягу наявної інформації про об'єкт дослідження, вимірювальні засоби та умови вимірювань. Універсальних методів виявлення систематичних похибок не існує.

Насамперед, аналізується можливість появи методичних похибок, які обумовлені спрощеннями об'єкта моделі і моделі вимірюваної величини та взаємодією засобів вимірювань з об'єктом досліджень. На основі аналізу нормованих метрологічних характеристик ЗВТ та умов вимірювань можна встановити причини і рівень інструментальних систематичних похибок.

Для оцінювання фактичних характеристик додаткових систематичних похибок виконуються додаткові вимірювання впливних величин - температури, вологості, тиску та інтенсивності магнітного поля.

Загальний спосіб виявлення прогресуючої похибки – це виконання двох або трьох зміщених на інтервал часу серій багаторазових вимірювань однієї вимірювальної величини з подальшим визначенням середніх значень окремих серій спостережень. На основі порівняння отриманих середніх значень роблять висновок про наявність чи відсутність прогресуючої похибки. Для виявлення регулярних похибок застосовується спосіб, який полягає у реєстрації послідовності результатів вимірювань у вигляді графіка з подальшим його аналізом.

Існують типові методи зменшення впливу систематичних похибок вимірювальних приладів, серед них:

- методи коригування сталих у часі систематичних похибок: метод введення поправок до показань приладу, метод зразкових величин, метод заміщення, метод протиставлення;

- методи коригування змінних у часі систематичних похибок: метод симетричних у часі спостережень для корекції прогресуючих похибок та усереднення періодичних похибок;

- аналітичні методи розрахунку та внесення поправок.

Ще одним способом виявлення та усунення постійних систематичних похибок є експериментальне їх визначення з метою визначення їх значень та внесення поправок в результати вимірювання.

Інструментальні складові повної систематичної похибки можуть бути виявлені шляхом повірки (калібрування) засобів вимірювань в робочих умовах експлуатації.

Ефективним способом усунення систематичних похибок є застосування спеціальних методів вимірювання, тобто вилучення похибок безпосередньо в процесі вимірювання. Серед них найбільш універсальними є *методи порівняння з мірою*, а саме, *метод заміщення* та *метод протиставлення*. Вони дозволяють вилучити більшість систематичних похибок. За цими методами за допомогою приладу порівняння (компаратора) значення вимірювальної величини порівнюють зі значенням величини, яка відтворюється мірою.

Розглянемо методи порівняння з мірою більш детально.

Метод протиставлення полягає в тому, що вимірювання проводять двічі таким чином, щоб причина похибки першого результату виявляла протилежну дію на результат другого вимірювання. Наприклад, під час першого зважування на рівноплечих вагах маса тіла, що перебуває на одній тарілці, врівноважується гирями, що розташовані на протилежній тарілці. Під час повторного зважування тіло і гирі міняють місцями. Таким чином вилучають похибку від не рівності плечей ваг.

За *методом заміщення* вимірюваний об'єкт замінюють відомою мірою, яка перебуває в тих же умовах. Наприклад, під час вимірювання опору невідомий опір включається в електричне коло (часто для цього використовують мостову схему) і коло врівноважують. Після цього, не змінюючи схеми, вимірюваний об'єкт замінюють магазином опору. За результат вимірювання приймається значення опору магазину, за якого відновлюється рівновага кола. В будь-якому разі при порівнянні з мірою в результат буде входити похибка міри порівняння. Однак, оскільки точність мір зазвичай вища від точності інших засобів вимірювань, ці методи часто забезпечують істотне підвищення точності вимірювання.

В ряді випадків вилучити систематичну похибку можна *способом компенсації за знаком*, суть якого полягає в тому, що вимірювання проводять двічі таким чином, щоб похибка входила в результати з протилежними знаками. Її вилучають, розраховуючи середнє значення. Прикладом може бути вилучення похибки, обумовленої магнітним полем Землі, коли вимірювання проводять двічі, повертаючи прилад перед другим вимірюванням на 180° в горизонтальній площині.

До цього способу належить також спосіб вилучення похибки від паразитної термо-ЕРС під час вимірювання напруги потенціометричним методом зі зміною напрямку протікання струму. Таким чином, в кінцевому результаті вимірювання завжди залишається певна систематична похибка, яку часто називають *невилученим залишком систематичної похибки* або просто *невилученою систематичною похибкою*.

Після проведення вимірювальних експериментів здійснюється опрацювання результатів вимірювань з метою визначення результату вимірювання, тобто кінцевої мети вимірювання.

При опрацюванні результатів оператору необхідно розв'язати дві задачі:
- знайти найкращу оцінку значення вимірюваної величини;

- оцінити характеристики точності вимірювання у вигляді характеристик похибки чи невизначеності (непевності) результату вимірювання. Результат вимірювання є лише тоді повноцінним, коли він супроводжується оцінкою його точності. Обсяг опрацювання результатів вимірювань залежить від виду вимірювань, від кількості отриманих експериментальних даних, вимог щодо точності вимірювань, від апріорної інформації про систематичні та випадкові похибки вимірювань.

ТЕМА 17. АБСОЛЮТНІ ТА ВІДНОСНІ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ

Мета заняття: ознайомитись з методикою визначення абсолютної та відносної похибки.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Похибки вимірювання за способом вираження поділяються на абсолютні та відносні. Як було зазначено вище, абсолютна похибка (Δ) вимірювання – це різниця між результатом вимірювання x та істинним значенням вимірюваної величини X :

$$\Delta = x - X_1 = x - X_0$$

Абсолютна похибка є розмірною величиною, яка має таку ж розмірність, що і величина, що вимірюється. Якщо вимірюють електричну напругу, то абсолютна похибка вимірювання має таку ж розмірність, що й напруга (В, мВ, кВ).

Гранична абсолютна похибка – це оцінка різниці точного і наближеного числа $\Delta_a = |A - a|$.

$$a - \Delta_a < A < a + \Delta_a \quad \text{або} \quad A = a \pm \Delta_a$$

Приклад 1. Знайдемо похибки чисел, де

1. точне значення $A = 3,141592$, і наближене $a = 3.14$

$$\text{Абсолютна похибка} \quad \Delta = |A - a| = |3.141592 - 3.14| = 0.001592$$

$$\delta = \frac{\Delta}{|A|} = \frac{0.001592}{3.141592} = 0.00507$$

Відносна похибка

2. $A = 1000000$, $a = 999996$

$$\Delta = |1000000 - 999996| = 4, \quad \delta = \frac{4}{1000000} = 0.000004$$

3. $A = 0.000012$, $a = 0.000009$

$$\Delta = |0.000012 - 0.000009| = 0.000003, \quad \delta = \frac{0.000003}{0.000012} = 0.25$$

З наведених прикладів можна зробити висновок, що якщо числа середні за значеннями, то різниці між абсолютною та відотною похибками майже

немає, а чим далі числа віддаляються від одиниці в сторону збільшення або зменшення, тим кращим індикатором стає відносна похибка

Приклад 2. Істинне (дійсне) значення струму $I = 10,3 \text{ мА}$, а в результаті вимірювання отримано значення вимірювання струму $10,5 \text{ мА}$, то абсолютна похибка вимірювання струму становить:

$$\Delta I = I - I_0 = 10,5 - 10,3 = 0,2 \text{ мА}$$

Така послідовність величин в означенні похибки потрібна для коригування систематичних похибок, зокрема, введення відповідних поправок до результату вимірювань. Коли при вимірюванні говорять «похибка вимірювання», то мають на увазі абсолютну похибку.

Для порівняння якості вимірювань різних значень однієї величини або різних вимірюваних величин абсолютна похибка є незручною. У таких випадках для кількісної характеристики якості вимірювання використовують *відносну похибку*. Теоретично це відношення абсолютної похибки до істинного (дійсного) значення вимірюваної величини, а практично – це відношення до вимірюваного значення, виражене у відсотках:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_0} * 100\%$$

Приклад 3. Здійснено вимірювання ємності $0,225 \text{ мкФ}$ з похибкою $\Delta C = 0,003 \text{ мкФ}$ і індуктивності $20,1 \text{ мГн}$ з похибкою $\Delta L = 0,15 \text{ мГн}$. Встановити, в якому випадку точність вимірювання краща.

Знайти істинне значення фізичної величини x неможливо. Можна тільки вказати на інтервал (x_{\min}, x_{\max}) , в якому з ймовірністю α знаходиться значення досліджуваної величини.

Розв'язання.

1. При вимірюванні ємності відносна похибка дорівнює

$$\delta_C = \frac{\Delta C}{C_0} * 100\% = \frac{0,003}{0,225} * 100\% = 1,33\%$$

2. Під час вимірювання індуктивності відносна похибка дорівнює

$$\delta_L = \frac{\Delta L}{L_0} * 100\% = \frac{0,15}{20,1} * 100\% = 0,7\%$$

3. Точність вимірювання індуктивності є найвищою, оскільки відносна похибка вимірювання індуктивності є меншою.

Приклад 4. Поглядом вимірюють зріст студента в сантиметрах. Ми можемо припустити, що зріст студента може бути визначений між $1,5 \text{ м}$ і $2,0 \text{ м}$ з ймовірністю $0,9$. Тоді ми можемо стверджувати, що зріст студента може бути визначений між $1,6 \text{ м}$ і $1,8 \text{ м}$ з меншою ймовірністю $0,6$ і так далі.

Цей інтервал називають *довірчим інтервалом*. На рис 1. зображено довірчий інтервал досліджуваної величини x , де \bar{x} – найбільш ймовірне значення вимірюваної величини; Δx – півширина довірчого інтервалу для заданого α . Тому, істинне значення вимірюваної величини може бути визначене як

$$x = \bar{x} \pm \Delta x,$$

з ймовірністю α , або $x - \Delta x \leq x \leq x + \Delta x$.

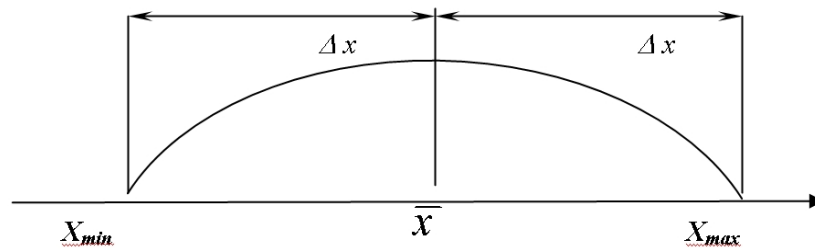


Рис. 1. Довірчий інтервал величини

Ймовірність знаходження істинного значення вимірюваної величини в інтервалі $\pm \Delta x$ залежить від кількості вимірювань n .

ТЕМА 18. ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

Мета заняття: навчитися визначати кінцевий результат і оцінювати характер точності вимірювань.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Після проведення вимірювальних експериментів здійснюється опрацювання результатів вимірювань з метою визначення результату вимірювання, тобто кінцевої мети вимірювання. При опрацюванні результатів оператору необхідно розв'язати дві задачі:

- знайти найкращу оцінку значення вимірюваної величини;
- оцінити характеристики точності вимірювання у вигляді характеристик похибки чи невизначеності (непевності) результату вимірювання.

Результат вимірювання є лише тоді повноцінним, коли він супроводжується оцінкою його точності. Обсяг опрацювання результатів вимірювань залежить від виду вимірювань, від кількості отриманих експериментальних даних, вимог щодо точності вимірювань, від апріорної інформації про систематичні та випадкові похибки вимірювань.

При прямих разових вимірюваннях результат спостереження є результатом вимірювань, і лише за умови, що систематичні похибки вимірювань не коригують.

При сукупних і сумісних вимірюваннях обов'язковим є розв'язування систем рівнянь методом найменших квадратів.

Основні операції опрацювання результатів вимірювань:

- попередній аналіз результатів спостережень, їх систематизація, відкидання явно недостовірних;
- виявлення та коригування систематичних ефектів, а саме, вивчаються умови вимірювань, розраховуються та вносяться поправки;
- виконання розрахунків згідно пунктів алгоритму опрацювання;
- аналіз випадкових ефектів, перевірка гіпотез про їх розподіл;
- оцінювання похибок від впливу завад;

- оцінювання характеристик похибок числового алгоритму та його стійкості;
- підсумовування складових похибок результатів;
- аналіз отриманих результатів;
- подання за відповідною формою результатів вимірювань та характеристик їх точності.

Кожен вид вимірювань має свої особливості, тому то зміст вищеназваних операцій опрацювання результатів кожного виду відрізняється. Розглянемо суть *нехтування похибками*. Серед складових похибок під час оцінювання можуть виникати як більші, а також й менші та дуже малі, які практично не змінюють оцінки сумарної похибки. Такими похибками необхідно знехтувати. При використанні апріорної інформації та інформації експериментів неможливо не тільки абсолютно точно встановити значення вимірюваної величини, але й неможливо точно оцінити характеристики похибок чи непевності результату вимірювання. Слід зауважити, що термін «непевність» результату вимірювання (з оригінального терміна з англійської «uncertainty») є у змістовому плані по суті не-достовірністю (сумнівністю) результату вимірювання.

У метрологічній практиці при високоточних вимірюваннях непевність оцінювання похибки складає 5% ($p_n = 1/20$) від її значення і навіть менше, при лабораторних вимірюваннях непевність оцінювання похибки може досягати 10%-15% ($p_n = 1/10-1/7$) від її значення, а при технічних вимірюваннях – 20% ($p_n = 1/5$). Як наслідок, можна встановити умову нехтування малою похибкою порівняно з більшою похибкою, за якої сумарна похибка наближено дорівнює більшій. Але для різних характерів похибок і вимірювань така умова буде різною.

Приклад 1. При лабораторних дослідженнях систематична похибка вимірювання температури містить чотири складові $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4$. На першому етапі планування та аналізу похибок вимірювань температури було встановлено, що в найгіршому випадку $\Delta_1 \leq \pm 0,53^\circ\text{C}$, $\Delta_2 \leq \pm 0,31^\circ\text{C}$, $\Delta_3 \leq \pm 0,72^\circ\text{C}$, $\Delta_4 \leq \pm 0,1^\circ\text{C}$.

Завданням є перевірка умови нехтування найменшої похибки.

Розв'язання.

У найгіршому випадку сума перших трьох складових становить:

$$\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 \leq \pm(0,53 + 0,31 + 0,72)^\circ\text{C} = \pm 1,56^\circ\text{C}$$

Відношення граничного значення четвертої найменшої складової до граничного значення суми перших трьох становить $p = 0,1^\circ\text{C} / 1,56^\circ\text{C} \approx 1/1$.

Отже, встановлено, що четверту складову похибки вимірювання температури можна не враховувати, так як в найгіршому випадку вона не перевищує 1/1 від суми трьох інших складових похибки.

Після порівняння її з іншими похибками приймається рішення про нехтування похибкою чи про її залишення. Після проведення експерименту і оцінювання відповідних похибок може статися так, що деякі складові похибок є достатньо малими порівняно з іншими. Але немає сенсу ними нехтувати, так як були затрачені зусилля для оцінювання їх значень.

Отже, при визначенні характеристики сумарної похибки слід враховувати всі складові, що залишилися після попереднього аналізу, а сенс нехтування похибками полягає у тім, що слід ще на попередньому етапі встановити які складові похибок будуть незначними у найнесприятливіших умовах, тобто ними необхідно знехтувати і не витратити зусиль для їх оцінювання після виконань вимірювань.

При опрацюванні результатів вимірювань здійснюють заокруглення результатів до того самого розряду, до якого заокруглена абсолютна похибка, тобто одиниця останнього розряду прикінцевої заокругленої похибки та результату мають бути однакові. Результат вимірювання подається як заокруглене його числове значення разом з характеристиками його точності, а також наявність одиниці величини.

Так, для разового вимірювання за відсутності інформації щодо характеристики складових похибки результат вимірювання має вигляд:

$$X=(x\pm\Delta_{gp})$$

де X - фізична величина;

x - числове значення результату заокруглене за правилами;

Δ_{gp} - граничні значення (заокруглені) похибки результату.

Приклад 2. Записати результат вимірювань струму при лабораторних дослідженнях згідно правил заокруглення, якщо значення струму дорівнює $I = 3,648$ мА, а оцінка граничної похибки при його вимірювання дорівнює $\Delta_{гр} = \pm 0,079$ мА.

Розв'язання.

Так як перша значуща цифра похибки 7, то похибка заокруглюється до однієї значущої цифри, а саме: $\Delta_{гр} = \pm 0,08$ мА.

Результат вимірювання струму також слід заокруглити так, щоб він закінчувався таким самим розрядом, що й похибка (до сотих міліампера):

$$I = (3,65 \pm 0,08), \text{ мА.}$$

ТЕМА 19. МЕТОДИЧНІ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ РІЗНИМИ ПРИБЛАДАМИ

Мета заняття: вивчити визначення методичної похибки і формули для її розрахунку у разі вимірювання сили струму амперметром і напруги вольтметром.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Алгоритм розрахунку методичних похибок у разі вимірювання сили струму амперметром: для нерозгалуженого електричного ланцюга методична похибка вимірювання сили струму амперметром розраховується як відносна похибка за формулою:

$$\delta_{мет.I} = - \frac{100\%}{1+R_n/R_A}$$

де R_A - опір амперметра; R_H - опір навантаження (ланцюга).

Для розгалуженого електричного ланцюга методична похибка вимірювання сили струму амперметром визначається за формулою

$$\delta_{мет.I} = \frac{I - I_0}{I_0} \cdot 100\%,$$

де I_0 - сила струму в ланцюзі, який містить тільки джерело живлення і опір, R_H навантаження (тобто це схема без підключення амперметра в дану гілку ланцюга); I - сила струму в ланцюзі, який містить джерело живлення, опір R_H навантаження і амперметр з опором R_A , включений в цю ж гілку.

Тому, спочатку розраховують струми I_0 в кожній гілці розгалуженого ланцюга без підключення амперметра, а потім розраховують струми I в кожній гілці розгалуженого ланцюга після підключення амперметра з опором R_A . Для цього рисують схеми, в гілки яких поперемінно включається амперметр.

Алгоритм розрахунку методичних похибок у разі вимірювання напруги вольтметром для електричних схем з відомими опорами навантаження R_H і вольтметра R_V відносна методична похибка розраховується по формулі:

$$\delta_{мет.U} = - \frac{100\%}{1 + R_V/R_H}$$

Для схем, у яких за умовами завдання опір навантаження R_H невідомий, його значення необхідно заздалегідь розрахувати. Для цього слід нарисувати вимірювальну схему з вольтметром, а потім скласти її еквівалентну схему з урахуванням двох додаткових правил:

- а) джерело живлення на цій схемі має бути короткозамкненим;
- б) схема рисується відносно затискачів вольтметра.

Користуючись складеною еквівалентною схемою навантаження потрібно розрахувати її опір R_H .

І, нарешті, розрахувати методичну похибку по формулі:

$$\delta_{мет.U} = - \frac{100\%}{1 + R_V/R_H}$$

Приклад 1. Показ вольтметра U дорівнює 80 В, опори резисторів $R_1 = R_2 = R_3$ і дорівнюють 1 кОм, опір вольтметра R_V складає 20 кОм. Визначити відносну і абсолютну методичні похибки вимірювання напруги вольтметром у схемі (рис. 1). Виключити методичну похибку з результату вимірювання.

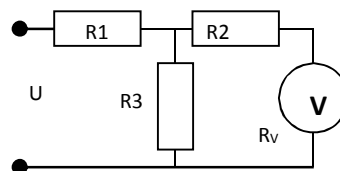


Рисунок 1. Вимірювальна схема

Розв'язання. Відносну методичну похибку вимірювання напруги вольтметром розрахуємо за формулою:

$$\delta_{мет.U} = - \frac{100\%}{1 + R_V/R_H},$$

де R_H - опір навантаження (ланцюга).

Для розрахунку опору R_H ланцюга, до якого підключений вольтметр, складемо еквівалентну схему вимірювального ланцюга з урахуванням вище наведених правил (рис. 2).

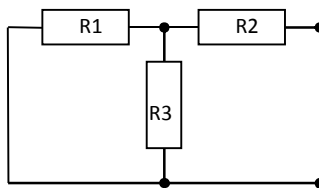


Рисунок 2 Еквівалентна вимірювальна схема

Розрахуємо еквівалентний опір навантаження R_H відносно затискачів вольтметра:

$$R_H = R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} = 10^3 + \frac{10^6}{2 \cdot 10^3} (\text{Ом}) = 1500 (\text{Ом})$$

Визначимо відносну методичну похибку, як:

$$\delta_{\text{мет.}U} = -\frac{100\%}{1 + R_V/R_H} = -6,97\%$$

Розрахуємо абсолютну методичну похибку, як:

$$\Delta U_{\text{мет}} = \frac{\delta_{\text{мет.}U} \cdot U}{100\%} = \frac{-6,97 \cdot 80}{100} = -5,6 (\text{В})$$

Виключимо методичну похибку з результату вимірювання:

$$U_0 = U - \Delta U = 80 - (-5,6) = 85,6 (\text{В})$$

Отже, дійсне значення напруги у схемі складає 85,6 В.

Завдання 1. У схему для вимірювання струму підключений мікроамперметр класу точності 1,0 з межею вимірювання 1 мкА і внутрішнім опором $R_A = 500$ Ом. Схема має джерело живлення з напругою $U = 10$ мВ і навантаження з опором $R = 10$ кОм. Визначити відносну методичну та найбільшу інструментальну похибки вимірювання струму мікроамперметром. Порівняти значення методичної і інструментальної похибок вимірювання струму.

Завдання 2. Два паралельно з'єднаних резистори з опорами 100 Ом і 200 Ом підключені до джерела живлення з напругою 100 В. Визначити абсолютні методичні похибки вимірювання струмів в паралельних гілках амперметром з внутрішнім опором 0,1 Ом.

Завдання 3. Вольтметром з межею вимірювання 250 В і струмом повного відхилення 5 мА вимірюють падіння напруги на резисторах $R_1 = 100$ Ом і $R_2 = 400$ Ом, з'єднаних послідовно з джерелом напруги 100 В, що має нульовий внутрішній опір. Визначити покази приладу і відносну методичну похибку вимірювання напруги.

ТЕМА 20. РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРЮВАННЯ АНАЛОГОВИХ ПРИЛАДІВ

Мета заняття: ознайомитись з основами розширення меж амперметра і вольтметра

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Розширення меж вимірювання амперметра. Силу електричного струму вимірюють за допомогою амперметра (міліамперметра, мікроамперметра), який вмикають в електричне коло послідовно з резистором опором R . Опір амперметра повинен бути в багато разів меншим від опору електричного кола.

Для вимірювання сили струму, що перевищує значення, на яке розрахований прилад, тобто для розширення меж його вимірювання, до амперметра підключають шунт.

Шунт — це звичайний резистор, який під'єднують до приладу паралельно. Визначимо опір шунта, який необхідно підключити до амперметра у випадку, якщо потрібно виміряти силу струму, що в n разів перевищує силу струму, на яку розрахований прилад.

Розширення меж вимірювання вольтметра. На практиці часто виникає потреба підвищити межу вимірювання вольтметра. Це завдання розв'язується за допомогою підключення до приладу резистора (який називають додатковим опором).

Додатковий опір R під'єднують до вольтметра послідовно, тому сила струму в ньому та на приладі однакова: $I = I_d = I_v$.

Використовуючи резистори для розширення меж вимірювання вольтметра й амперметра, можна досить легко та економічно вигідно збільшити межу їх вимірювання, що дозволяє використовувати дані прилади в колах, параметри яких перевищують межу вимірювання цих пристроїв.

Приклад завдання 1. Межа вимірювання амперметра з шунтом 1,0 А. Він виконаний на базі магнітоелектричного міліамперметра з опором 90 Ом, межею вимірювання 0,1 А і шкалою на 100 поділок. Визначити опір шунта і силу струму в ланцюзі, куди включений амперметр, якщо його стрілка відхилилася на 80 поділок.

Розв'язання: спочатку нарисуємо схему амперметра з шунтом (рис. 1). В умовах завдання сказано, що прилад виконаний на базі магнітоелектричного міліамперметра. Це означає, що його вимірювальний механізм (ВМ) магнітоелектричної системи.

На схемі прийняті наступні позначення: ВМ - вимірювальний механізм магнітоелектричного міліамперметра; U - постійна напруга джерела сигналу в схемі; $R_{ш}$ - опір шунта; R_n - опір навантаження; $R_{ВМ}$ - опір магнітоелектричного вимірювального механізму; I - вимірювана амперметром з шунтом сила струму; $I_{ВМ}$ - номінальне (максимальне) значення сили струму у вимірювальному механізмі.

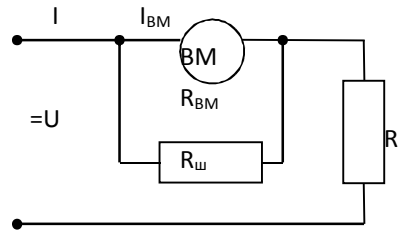


Рисунок 1 - Схема амперметра з шунтом

Розглянемо умови завдання. Межа вимірювання амперметра з шунтом 1,0 А означає, що це величина сили струму I , яка підлягає вимірюванню цим амперметром. Сила струму у вимірювальному механізмі I_{BM} - це граничне значення струму, вимірюване міліамперметром і за умовою завдання воно дорівнює 0,1 А. Відхилення стрілки від початкового «нульового» положення $\alpha = 80$ поділок. Кількість поділок шкали $N = 100$.

Визначимо коефіцієнт шунтування, як:

$$k = I/I_{BM} = 1/0,1 = 10.$$

Далі розрахуємо опір шунта за формулою:

$$R_{ш} = R_{BM}/(k - 1) = 90/(10 - 1) = 10(\text{Ом})$$

Щоби визначити струм I в ланцюзі, до якого підключений амперметр, спочатку необхідно розрахувати ціну поділки амперметра:

$$c = I/N = 1/100 = 0,01 (\text{А/под})$$

Визначимо струм в ланцюзі з амперметром (покази амперметра):

$$I_x = c \cdot \alpha = 0,01 \cdot 80 = 0,8$$

Завдання для розв'язання 1. Визначити значення додаткових резисторів для розширення меж вимірювання вольтметра постійного струму до 75 В, 150 В і 300 В, якщо його межа вимірювання 30 В і відповідна потужність споживання 0,5 Вт. Накреслити схему вольтметра з багатьма межами вимірювань.

Завдання 2. Магнітоелектричний міліамперметр має межу вимірювання 15 мА і внутрішній опір 15 Ом. Яким чином, використовуючи цей прилад, можна побудувати вольтметр з трьома межами 1 В, 5 В і 10 В? Визначити методичні похибки вимірювання напруги вольтметром в ланцюзі з еквівалентним опором 50 Ом.

ТЕМА 21. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОХИБКИ ЛАБОРАТОРНИХ ВАГ

Мета заняття: дослідження вимірювання похибки лабораторних ваг з метою врахування похибки їх нерівноплечності.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Як технічні засоби, що мають нормовані метрологічні характеристики і використовуються для виміру маси, застосовують міри і вимірювальні прилади.

Однозначними мірами, тобто мірами, номінальні значення яких відповідають масі одного розміру, є гирі. Їх формують у набори (комплекти), що дозволяють використовувати їх не тільки окремо, але й у різних сполученнях з метою відтворення значень маси різного розміру.

До вимірювальних приладів відносяться ваги, вагові дозатори і контрольні вагові автомати (контрольні ваги). Останні призначені для контролю відхилень маси об'єктів, що зважуються, від установленого номінального значення, і для вироблення керуючого сигналу на розбракування. Різноманіття класифікаційних ознак дозволяє створювати численні класифікаційні схеми для ваг і гирь. Однак слід враховувати, що в практиці виробництва й експлуатації засобів вимірів маси діють нормативно-технічні документи, що регламентують технічні умови, норми точності й методи перевірки визначених груп ваг і гирь. Іншими словами, нормативна база сформована таким чином, що вона визначає логіку класифікації ваговимірювальної техніки, впливаючи з якої можна, класифікувати міри і прилади, спираючись на діючі нормативно-технічні документи.

Аналіз нормативно-технічної документації показує, що група мір маси не має потреби в подальшому розвитку класифікації, тоді як ваги і вагові дозатори, що входять у групу ваговимірювальних приладів, вимагають більш глибокого класифікаційного розгорнення.

Однією з найважливіших класифікаційних ознак, що розділяють ваги і дозатори на дві основні групи, є принцип дії, на підставі якого розрізняють ваговимірювальні прилади дискретної чи безупинної дії.

Залежно від способу перетворення вимірювального сигналу ваги і вагові дозатори розділяються на механічні, гідравлічні, електромеханічні, оптико-механічні, пневматичні та ін. Подальший класифікаційний поділ ваговимірювальних приладів на підгрупи всередині кожної групи може бути виконаний за рядом ознак – призначенням, конструкцією, способом установки.

Властивості засобів вимірів можна бути розділити на дві групи. Одні властивості, будучи якісними категоріями, не мають впливу на результати і похибки вимірів. До них можна віднести, наприклад, ергономічні, естетичні, та ряд інших властивостей.

Властивості засобів вимірів, які називаються метрологічними, впливають на результати і похибки вимірів. Для їхньої кількісної оцінки використовують відповідні метрологічні характеристики засобів вимірів.

До метрологічних характеристик засобів вимірювань відносять характеристики метрологічних властивостей засобів вимірів, що впливають на результати і похибки вимірів, призначені для оцінки технічного рівня і якості засобів вимірів, для визначення результатів вимірів, розрахункової оцінки характеристик інструментальної складової похибки вимірів, оптимального вибору засобів вимірів і використання як кількісних критеріїв при оцінці відповідності засобів вимірів установленим нормам.

Властивості засобів вимірів можуть бути розділені на дві групи. Одні властивості, будучи якісними категоріями, не мають впливу на результати і

похибки вимірів. До них можна віднести, наприклад, ергономічні, естетичні та ряд інших властивостей.

Властивості засобів вимірів, які називаються метрологічними, впливають на результати і похибки вимірів. Для їхньої кількісної оцінки використовують відповідні метрологічні характеристики засобів вимірів.

До метрологічних характеристик засобів вимірювань відносять характеристики метрологічних властивостей засобів вимірів, що впливають на результати і похибки вимірів, призначені для оцінки технічного рівня і якості засобів вимірів, для визначення результатів вимірів, розрахункової оцінки характеристик інструментальної складової похибки вимірів, оптимального вибору засобів вимірів і використання як кількісних критеріїв при оцінці відповідності засобів вимірів установленим нормам.

Однією із стандартизованих метрологічних властивостей засобу вимірів, що характеризують його досконалість у відношенні систематичних похибок, є правильність. Правильність - це якість, що відображає близькість до нуля його систематичних похибок.

Для виміру маси іноді використовують нестандартизований термін —вірність ваг, що позначає ту ж якість ваг, що і правильність. Оскільки виникнення систематичних похибок підйомних ваг головним чином обумовлено недосконалістю технології виготовлення підйомної системи, їхня вірність залежить від строго витриманого співвідношення плечей важелів. Нормовані метрологічні характеристики правильності рівноплечих ваг – похибка через нерівноплечність.

Для нерівноплечових підйомних вагових систем використовується інша нормована метрологічна характеристика – похибка, обумовлена положенням вантажу на вагоприймальному пристрої. У більшості випадків причиною нерівноплечності є неможливість виготовлення абсолютно симетричного коромисла. Але технологічний фактор – не єдина перешкода для ліквідації нерівноплечності. На зміну співвідношення плечей коромисла впливає також температура. Нерівномірний (однобічний) нагрів плеча коромисла на $0,1-0,2^\circ$ може викликати, залежно від матеріалу, з якого воно виготовлено, подовження плеча на кілька десятих часток мікрометра, що приводить при зважуванні на аналітичних вагах до виникнення похибки через нерівноплечність, значення якої набагато перевершує ціну розподілу шкали ваг. Нерідко причиною появи похибки через нерівноплечність є знос робочих граней призм та інші фактори, вплив яких не може бути заздальгідь врахований. Тому похибка через нерівноплечність, будучи, власне кажучи систематичною, на практиці виявляється як випадкова. Неможливість повної ліквідації нерівноплечності обумовила необхідність нормування значень похибки, що допускається, через нерівноплечність для лабораторних ваг різних типів і класів точності залежно від найбільших меж зважування.

Значення похибки, що допускаються, через нерівноплечність виражаються безпосередньо в одиницях маси. Для зважування вантажів значної маси однопідйомні рівноплечові ваги із зрозумілих причин є непридатними. Для цієї

мети використовують багатопідйомві нерівноплечові ваги. Діюче на вагоприймний пристрій таких ваг навантаження розподіляється між вагоприймними важелями нерівномірно, причому значення кожної зі складових навантаження, яка сприймається окремими важелями, залежить від розташування вантажу на платформі ваг, тобто зміна місця розташування об'єкта зважування приводить до перерозподілу сил, які діють на важелі.

Кожна складова навантаження передається за допомогою передатних важелів на відліковий пристрій, послідовно зменшуючись у заданому співвідношенні. Підйомова система повинна бути сконструйована таким чином, щоб зміна місця розташування вантажу не викликала зміни показань ваг. Іншими словами, похибка, зв'язана з положенням вантажу на вагоприймному пристрої, має бути мінімальною.

Оскільки основною причиною її виникнення є конструктивно-технологічна недосконалість підйомової вагової системи, дана похибка відноситься до систематичних похибок. У практиці використання засобів вимірів показання, отримані при багаторазовому вимірі однієї і тієї ж вимірюваної величини, виявляються незбіжними навіть у випадках, коли вимір виконують тим самим приладом при незмінних умовах в обмеженому інтервалі часу. Очевидно, що причиною розбіжності результатів вимірів є виникнення випадкових похибок.

Стандартизованим терміном, що характеризує розглянуту властивість засобів вимірів, є збіжність показань – якість засобу виміру, що відображає близькість до нуля його випадкових похибок. Звичайно нормованою метрологічною характеристикою збіжності показань засобу вимірів є варіація вихідного сигналу вимірювального приладу чи перетворювача варіація його показань.

Варіація вихідного сигналу вимірювального перетворювача (або показань вимірювального приладу) – це різниця між значеннями інформативного параметра вихідного сигналу вимірювального перетворювача (або показань вимірювального приладу), що відповідають даній точці діапазону виміру при двох напрямках повільних змін інформативного параметра вхідного сигналу в процесі підходу до даної точки діапазону вимірів. При декількох підходах до даної точки діапазону вимірів у кожному з двох напрямків варіація визначається як середня різниця.

Порядок проведення роботи:

1. Викладач перевіряє готовність студентів до роботи і засвоєння ними теоретичних положень про види ваг, їх класифікацію, метрологічні характеристики ваг, види похибок, порядок роботи з вагами.
2. Викладач знайомить студентів з порядком виконання експериментальної частини.
3. Студенти виконують виміри маси досліджуваних деталей за допомогою ваг.
4. Роблять розрахунки середніх арифметичних значень отриманих результатів.

5. Розраховують випадкові відхилення результатів вимірювань.
 6. Визначають квадрати випадкових відхилень результатів вимірювань, а також середнє квадратичне відхилення результатів експериментальних вимірювань.
 7. Заносять результати вимірів та розрахунків у зошит.
- Для рівноточкових вимірів, які виконуються на одному й тому ж пристрої в одних і тих же умовах однією людиною, обробку результатів вимірів слід виконувати в наступній послідовності. Потрібно:
1. Знайти середнє арифметичне значення ряду результатів вимірів x_1 ; x_2 ; x_3 ; ... x_n за формулою.
 2. Розрахувати випадкові відхилення результатів вимірів, тобто різниці v_i між кожним з результатів вимірів і середнім арифметичним значенням: $v_i = x_i - X_{\text{ср}}$.
 3. Визначити квадрати випадкових відхилень результатів вимірів та їх суму: $v_i^2 = (x_i - X_{\text{ср}})^2$.
 4. Розрахувати середнє квадратичне відхилення результатів вимірів.

ТЕМА 22. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕМЕНТІВ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Мета заняття: ознайомитись з основними частинами вимірювальних приладів та методикою використання.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Кожний вимірювальний прилад складається з ряду частин і вузлів і має задані метрологічні властивості. Головними вузлами вимірювального приладу є вимірювальний і відліковий пристрої. Перший з них безпосередньо здійснює вимірювання фізичної величини за допомогою чутливого елемента і при необхідності підсилює вхідний сигнал, а другий - показує, записує або інтегрує отримане значення.

Вимірювальний пристрій приладів досить різний і залежить від роду вимірювальної величини (тиск, температура і т.д.) і принципу дії приладу (механічний, електричний та ін.). У більшості випадків вимірювальний пристрій складається з рухливої і нерухомої частин. Переміщення рухливої частини відбувається під впливом вимірювальної величини на чутливий елемент приладу. Відліковий пристрій залежно від характеру показань приладів виконується у вигляді: шкали і покажчика (прилади, які показують), записуючого пристрою і діаграмного паперу (самописні прилади) і рахункового пристрою (інтегруючі прилади).

Шкала приладу, який показує, складається з ряду послідовно нанесених на плоскому або профільному (циліндричному) циферблаті поділок, що відповідають числовим значенням вимірюваної величини. Оцінки і числа на

циферблаті називаються градируванням шкали. Різниця значень, що відповідають двом сусіднім поділкам шкали, виражена в одиницях виміру, називається ціною поділки шкали.

Показання приладу, що характеризує значення вимірювальної величини, визначається згідно як число відлічених поділок, помножених на ціну поділки шкали. У деяких випадках показання знаходиться множенням відліку на постійну приладу, що виражається в одиницях виміру, а також по даним градуйованої характеристики приладу, що представляє залежність (синусоїді).

Точність відліку показань по рівномірній шкалі вище, ніж по нерівномірній. Якщо шкала приладу починається з нуля, то вона називається односторонньою, якщо поділки розташовані по обох сторонах від нуля — двосторонньою. Іноді вимірювальні прилади виконуються з безнульовою шкалою, що починається не з нуля, а з деякого значення. Вимірювання по приладу з безнульовою шкалою точніше, ніж з односторонньою або двосторонньою шкалою, тому що вона має меншу ціну поділки. У деяких вимірювальних приладів циферблат зі шкалою робиться обертовим.

Початкове і кінцеве значення шкали визначають собою діапазон показань (межі шкали) приладу, а область вимірювання, що допускається по шкалі за умовами точності представляє діапазон вимірювання приладу. В окремому випадку діапазони показання і вимірювання можуть бути рівні між собою.

Шкала вимірювальних приладів буває прямолінійна, дугова і кругова (рис.1.1). Дугова шкала має центральний кут менше, а кругова — більше 180°. Крім того, шкала може бути рівномірною і нерівномірною (рис.1.2). Рівномірна шкала має однакові відстані між поділками і тому більше зручна для вимірювання, чим нерівномірна, у якої ці відстані звичайно змінюються за певним законом (параболі).

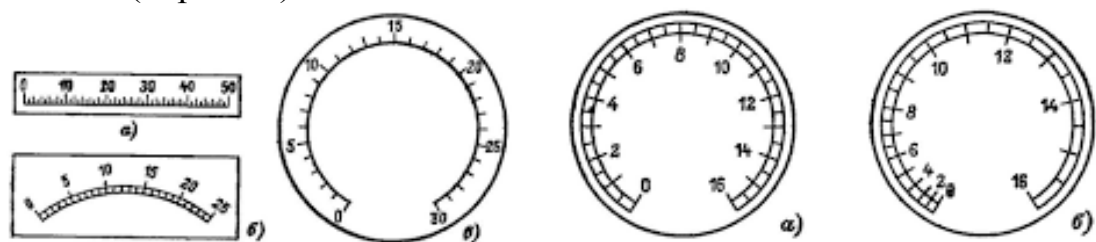


Рисунок 1.1 - Шкали вимірювальних приладів: Рисунок 1.2 - Кругові шкали приладів: а – прямолінійна; б – дугова; в – кругова. а – рівномірна; б – нерівномірна

Покажчиком у промислових приладах служить добре помітна на відстані клинова або клинова стрижнева стрілка, тоді як більш точні прилади забезпечуються ножовою стрілкою, кінець якої має вигляд леза, розташованого за нормаллю до площини шкали.

У рідинних скляних приладів покажчиком служить видимий рівень (меніск) рідини у вимірювальній трубці. Якщо рідиною є вода або спирт, то із-за гарної змачуємості стінок утвориться ввігнутий меніск і відлік показань проводиться по нижній його границі, а у випадку застосування ртуті - опуклий меніск дозволяє робити відлік по верхній його границі. Діаграмний диск

діаметром 250-300 мм має полярну координатну сітку у вигляді концентричних окружностей, що відповідають значенням вимірюваної величини, і радіальних дуг, що відповідають значенням часу. Частота обертання діаграмного диска - 1 або 2 об/добу.

Вимірювальний прилад може бути конструктивно виконаний як одне ціле (у загальному корпусі) або складатися з декількох частин (в окремих корпусах), що самостійно беруть участь у процесі вимірювання і представляють собою вимірювальний комплект. Прилад, що має один корпус, найчастіше є місцевим, а який складається з декількох корпусів - дистанційним. В обох випадках прилад зв'язується з місцем вимірювання за допомогою сполучної лінії (проводів або трубок), яка передає йому значення вимірюваної величини.

Більшість вимірювальних приладів з дистанційною передачею показань містять у собі дві самостійні частини: первинний вимірювальний перетворювач (датчик) і вторинний прилад.

Первинний перетворювач - є сприймаючою і передавальною частиною комплекту, чутливий елемент розташовується, як правило, у місці вимірювання і піддається безпосередньому впливу вимірювальної величини. Вторинний прилад, або частина, що вимірює, видає показання вимірювальної величини, перетворюючи за допомогою вимірювального пристрою одержуваний їм сигнал. Сигнал виходу надходить від первинного перетворювача у відповідне переміщення відлікового пристрою. 4

Вторинний прилад зв'язується з первинним перетворювачем сполучною лінією і встановлюється звичайно на щиті управління агрегату.

Практичні аспекти при виконанні вимірювальних робіт

При виборі конкретних видів вимірювального приладу користувач повинен брати до уваги три наступні аспекти:

1. Технічні аспекти (діапазон вимірювання, похибка, відтворюваність результатів).

Необхідний діапазон буде залежати від знання користувачем очікуваних величин вимірювання. Якщо відсутні переносні для експрес-аналізу вимірювальні прилади, діапазон вимірювання необхідно оцінювати або розраховувати на основі власного досвіду користувача. Максимальне навантаження може бути розраховано, наприклад, на основі максимального навантаження технологічного процесу. Максимальні величини вимірювання попередньо можуть бути встановлені з технічних паспортів обстежуваних систем або механізмів. Ціль полягає в тому, щоб максимально припустима величина по шкалі вимірювального приладу перевищувала максимально можливу величину вимірюваного параметра в досліджуваній системі. Крім того, вимірювальний прилад повинен забезпечити корисний робочий діапазон вимірюваної змінної величини із прийнятною точністю (мінімальною похибкою). При проведенні робіт з енергообстеження енергетичних систем і механізмів дуже часто доводиться перевіряти ще раз вимірювальні величини у відповідних режимах експлуатації обстежуваних технологічних процесів, з метою уточнення проведених результатів аналізу їхньої роботи. Тому обраний

вимірювальний прилад повинен мати максимальну можливість відтворювати величини повторюваних вимірювань.

2. Практичні аспекти (обмеження по установці, вимоги до технічного обслуговування).

При виборі вимірювального приладу варто брати до уваги вимоги до його механічної надійності і вимоги до корисного технічного обслуговування, можливості переградирування. У технологічній системі при її роботі можуть виникати часті і різкі коливання вимірювального параметра, тому необхідно вибрати такий прилад, що не вийде з ладу при такому динамічному режимі вимірювання, особливо, якщо прилад відноситься до контактних видів вимірювальних пристроїв.

3. Врахування властивості рідини і газу (коливання тиску і температури, ступінь сухості).

Якщо існують умови перегріву, нестабільного тиску в системах або техпроцесах, на яких проводяться вимірювання, то вимірювальний прилад повинен бути додатково оснащений компенсаторами тиску, контрольного датчика температури і вологості, або мати можливість коректувати показання із введенням поправочних коефіцієнтів.

ТЕМА 23. ПОЗНАЧКИ НА ШКАЛАХ ПРИЛАДІВ

Мета заняття: вивчити принцип дії і особливості конструкції електромеханічних приладів усіх систем, теорію їх роботи, переваги і недоліки.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Приклад завдання 1. Вкажіть призначення приладу. Розшифруйте усі позначки на шкалі і вкажіть її вид. Які елементи конструкції приладу відображені в символі його системи? Як створюється обертовий і протидіючий моменти сил у вимірювальному механізмі приладу на рис. 1?



Рисунок 1. Шкала приладу

Приведіть функцію перетворення вимірювального механізму. Вкажіть переваги і недоліки цього приладу при вимірюванні відповідної фізичної

величини. Визначте діапазон показів і діапазон вимірювань приладу. Визначте ціну поділки. Визначте результат одноразового спостереження, якщо стрілка вказує на 86-ту поділку. Розрахуйте точність вимірювання вказаної величини цим приладом. Запишіть результат одноразового вимірювання.

Розв'язання.

Даним приладом є електромеханічний амперметр електромагнітної системи. Шкала приладу - пряма і частково нерівномірна.

У лівій нижній частині шкали приведений логотип виробника, тип приладу - Э59, серійний номер (№68113) і рік випуску (1968). У правій нижній частині вказаний рід струму - постійний і змінний; тип системи приладу - електромагнітна; випробувальна напруга пробою ізоляції приладу складає 2 кВ; робоче положення шкали - горизонтальне; клас точності - 0,5; прилад відповідає вимогам стандарту ГОСТ 8711-60.

У центральній частині шкали вказано призначення приладу - амперметр; частотний діапазон при вимірюванні змінного струму (45-55) Гц, в якому зберігається клас точності, і розширений частотний діапазон показів приладу до 1000 Гц, в якому клас точності не гарантується. Прилад має 2 межі вимірювання струму - 2,5 А і 5 А. На межі 2,5 А активний опір приладу складає 0,015 Ом, а індуктивність котушки електромагнітного вимірювального механізму - 0,009 мГн, а на межі 5 А ці значення складають 0,005 Ом і 0,0023 мГн відповідно.

У символі електромагнітної системи приведено символічне зображення котушки і рухливого сердечника, за допомогою яких створюється обертовий момент сил.

Обертовий момент створюється взаємодією магнітного поля нерухомої котушки, по витках якої протікає струм, з рухливим феромагнітним сердечником, сполученим з віссю і покажчиком (стрілкою). При включенні приладу під дією магнітного поля котушки сердечник втягується всередину котушки. Рухлива частина механізму повертається до тих пір, поки обертовий момент не урівноважиться протидіючим моментом, який створюється пружинкою. Функція перетворення вимірювального механізму (перетворювача) електромагнітного приладу:

$$\alpha = \frac{1}{2m} \cdot \frac{dL}{d\alpha} \cdot I^2$$

де L - індуктивність котушки з сердечником; I - вимірюваний струм; m - питомий протидіючий момент; α - кут відхилення рухливої частини вимірювального механізму від первинного положення.

Переваги: можливість вимірювань постійних і змінних сигналів; простота конструкції і висока технологічність виготовлення; висока надійність; висока перевантажувальна здатність; невисока вартість.

Недоліки: часткова нерівномірність шкали; відносно невисока точність; відносно невисока чутливість до вимірюваної величини; підвищена споживана потужність від вимірюваного сигналу; вплив зовнішніх електромагнітних полів на роботу приладу.

Діапазон показів приладу складає (0-5) А, а діапазон вимірювань - (1-5) А на межі вимірювання 5 А.

На межі вимірювання 2,5 А ціна поділки шкали дорівнює:

$$C = X_n/N = 2,5/100 = 0,025 \text{ (А/под.)}$$

На межі вимірювання 5 А ціна поділки дорівнює 0,05 (А/под.).

Результат одноразового спостереження на межі 2,5 А, якщо стрілка вказує на 86-ту поділку шкали, дорівнює:

$$I = c \cdot N_x = 0,025 \cdot 86 = 2,15 \text{ (А)}$$

Результат одноразового спостереження на межі 5 А, якщо стрілка вказує на 86-ту поділку шкали, дорівнює 4,3 А.

Точність вимірювань визначається відносною похибкою. Оскільки вимірювання проводилися на двох межах, то точність вимірювань можна розрахувати знаючи клас точності приладу (границю зведеної похибки γ), межу вимірювання I_n і покази приладу I , по формулі:

$$\delta = \pm \frac{\gamma \cdot I_n}{I}$$

Тоді на межі 2,5 А відносна похибка складе $\pm 0,58\%$, а на межі 5,0 А вона складе теж $\pm 0,58\%$.

Щоби записати результат вимірювання, необхідно заздалегідь розрахувати абсолютну похибку вимірювання по формулі:

$$\Delta I = \pm \frac{\gamma \cdot I_n}{100\%}$$

На межі вимірювання 2,5 А вона складає $\pm 0,0125$ (А), а на межі 5,0 А відповідно $\pm 0,025$ А. Тоді результат вимірювання на першій межі:

$$I_{01} = 2,15 \pm 0,0125 \text{ (А)}$$

Результат вимірювання на межі 5,0 А буде відповідно дорівнювати:

$$I_{02} = 4,3 \pm 0,025 \text{ (А)}$$

Завдання 1.

1. Отримайте у викладача вимірювальний прилад і виконайте наступні завдання.

2. Вкажіть призначення приладу. Розшифруйте усі позначки на шкалі і вкажіть її вид. Які елементи конструкції приладу відображені в символі його системи?

3. Як створюється обертовий і протидіючий моменти в приладі? Приведіть функцію перетворення вимірювального механізму.

4. Вкажіть переваги і недоліки цього приладу при вимірюванні відповідної фізичної величини.

5. Визначте діапазон показів і діапазон вимірювань приладу.

6. Визначте ціну поділки шкали приладу. Якщо прилад має декілька меж вимірювання, то потрібно отримати у викладача додаткові вказівки відносно даних меж. Визначте результат одноразового спостереження, якщо стрілка вказує на поділку N_x (чисельне значення отримати у викладача).

7. Розрахуйте точність вимірювань вказаної величини цим приладом. Запишіть результат одноразового вимірювання.

Завдання 2. Маємо 2 вольтметри з рівномірними шкалами і межами вимірювань 30 В і 100 В і класами точності 1,5 і 0,5 відповідно. Визначити, який з вольтметрів забезпечує найбільшу точність вимірювання напруги 25 В.

Розв'язання. Точність вимірювань визначається відносною похибкою δ і залежить не лише від класів точності приладів, але і від співвідношення їх меж вимірювання і значень вимірюваної величини. Для визначення точності вимірювань конкретним приладом застосовуємо формулу зв'язку відносної δ і зведеної γ похибок, оскільки зведена похибка γ застосовується для нормування класу точності аналогових приладів з рівномірними шкалами. Розраховуємо відносну похибку вимірювання напруги 25 В кожним приладом:

$$\delta_1 = \pm(\gamma_1 \cdot U_{н1}/U) = \pm(1,5 \cdot 30/25) = \pm 1,8\%$$

$$\delta_2 = \pm(\gamma_2 \cdot U_{н2}/U) = \pm(0,5 \cdot 100/25) = \pm 2,0\%$$

Відповідь: незважаючи на нижчий клас точності першого вольтметра, він забезпечує більш високу точність вимірювання заданої величини.

ТЕМА 24. ПРЯМІ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ

Мета заняття: провести прямі виміри лінійних розмірів циліндричного стержня за допомогою інструментів, що мають різну точність

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

При проведенні лінійних вимірювань необхідно розуміти, у якому інтервалі значень знаходяться досліджувані довжини. Вимірювання довжини (відстані) у діапазоні від 10⁻⁸ до 10⁻¹¹ м вимагає використання абсолютно різних методів і засобів вимірювань. У даній роботі будемо досліджувати ту область довжин, де застосовані повсякденні уявлення.

Навіть обмеживши себе вимірюваннями довжин в інтервалі від 1 мкм до 1 м, ми зштовхнемося з вибором цілого ряду приладів. До рішення питання, яким з них скористатися, варто підходити з урахуванням наступного:

- а) яка природа довжини, що ми хочемо вимірювати; приміром, може бути відстань між двома мітками або між кінцями стержня або бруска або діаметр отвору чи стержня;
- б) яка приблизно ця довжина,
- в) яка необхідна точність вимірювань.

На вимірювальних лінійках довжина розподілів збігається з ціною одного розподілу і звичайно дорівнює 1 мм. Якщо при вимірюванні довжини якого-небудь предмета його край розташовується між сусідніми розподілами лінійки (більше a мм і менше $a + 1$ мм), то можна подумки розділити 1 мм на 10 частин і оцінити «на око», скільки таких частин займає надлишок довжини.

Таким способом вимірюють довжини з точністю до 0,1 мм, однак надійна оцінка досягається тільки з досвідом, тому в загальному випадку точність вимірювального інструмента відповідає половині мінімального розподілу.

Таблиця 1

Різновиди вимірювальних приладів

Прилад	Межа вимірювань, м	Точність, мкм	Характер застосування
Вимірювальна лінійка (дерев'яна)	0,5	1000	Загальний. Використовуються при дуже грубих наближених вимірюваннях.
Вимірювальна лінійка (металева)	1,0	200	Загальний.
Штангенциркуль (з величиною відліку за ноніусом 0,1 мм)	0,3	50	Для вимірювань зовнішніх розмірів предметів, ширини зазору, діаметра отвору, для вимірювань глибин.
Штангенциркуль (з величиною відліку за ноніусом 0,05 мм)	0,3	20	Для вимірювань зовнішніх розмірів предметів, ширини зазору, діаметра отвору, для вимірювань глибин.
Мікрометр	0,1	5	Вимірювання зовнішніх розмірів

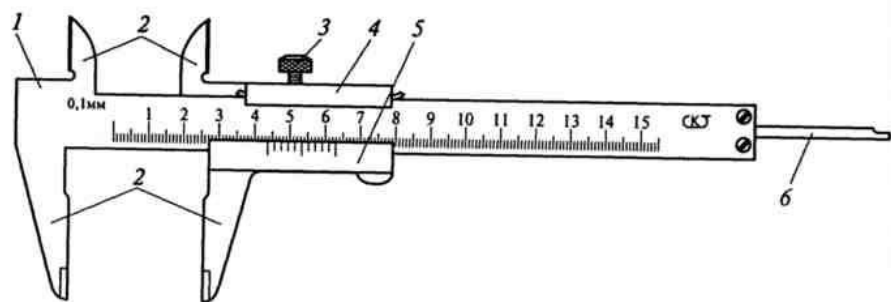


Рисунок 1.- штанга, 2 – губки для внутрішніх вимірювань, 3 затиск рамки, 4- рухлива рама, 5 – ноніус, 6 – лінійка для вимірювання глибин,

Ціле число міліметрів у штангенциркуля відраховується по шкалі штанги зліва направо нульовим штрихом ноніуса. Ноніус призначений для визначення дробової величини ціни розподілу штанги, тобто для визначення частки міліметра (рис. 1). На ноніусі нанесене деяке число розподілів – n ; ціна розподілу ноніуса l_n знаходиться у визначеному відношенні до 7 ціни розподілу шкали

штанги l_m ; звичайно загальна довжина всіх n розподілів ноніуса дорівнює довжині $n - 1$ роз- поділів шкали штанги:

$$L_n * n = L_m * (n - 1), L_m - L_n = L_m / n$$

Формула дає вираження точності ноніуса. Застосовуються штангенциркулі з різною точністю (яка зазвичай показується на приладі): 1) з ноніусом довжиною 19 мм, розділеним на 10 частин, для якого при $l_m = 1$ мм точність дорівнює 0,1 мм (рис 2.).

Читання показань на штангенциркулі з певною величиною відліку здійснюється в такий спосіб: ціле число міліметрів відраховується по шкалі штанги зліва направо нульовим штрихом ноніуса; дробова величина (кількість десятих часток міліметра) визначається множенням величини відліку на порядковий номер штриха ноніуса, що збігається зі штрихом штанги. На рис. 2. показаний приклад відліку для штангенциркуля з величиною відліку 0,05 мм: ціле число міліметрів 16, збігається 5-ий штрих ноніуса, тому лінійний розмір 16,25 мм.

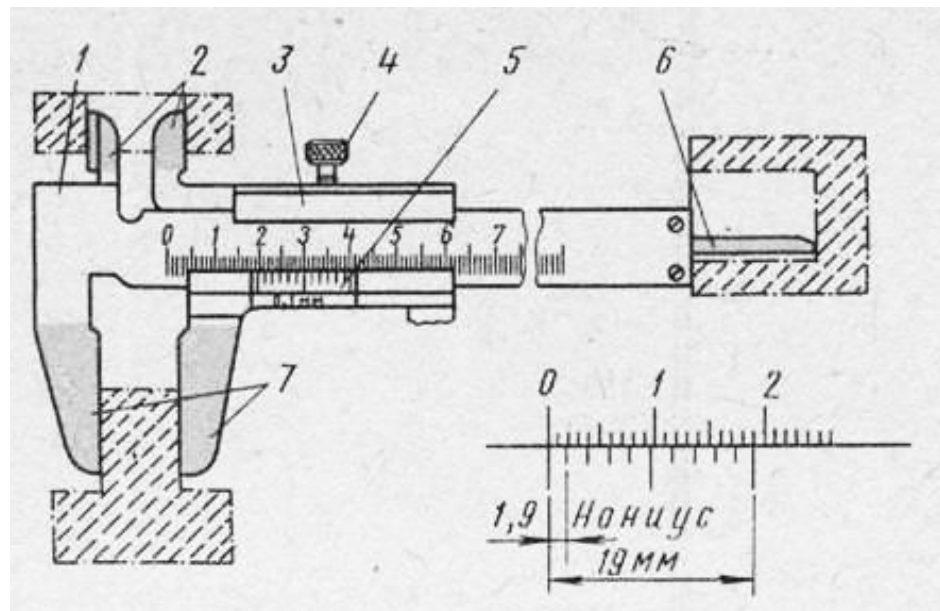


Рисунок 2. Шкала штангенциркуля

Мікрометр дозволяє вимірювати зовнішні розміри твердих тіл з точністю до 0,01 мм. Зовнішній вигляд мікрометра наведено на рис. 3.

Для вимірювань тверде тіло розміщується у вимірювальну частину приладу де затискається за допомоги мікрометричного гвинта. Для цього необхідно обертати мікрометричний гвинт до появи «поклацання» (проводити цю процедуру в інший спосіб не можна, тому що це приведе до появи надмірної похибки). Відлік цілих міліметрів і половинок проводиться по нерухомій шкалі, а відлік додаткових сотих часток – по рухомій. При повному оберті барабан зміщується на 50 поділок, тобто на 0,5 мм.

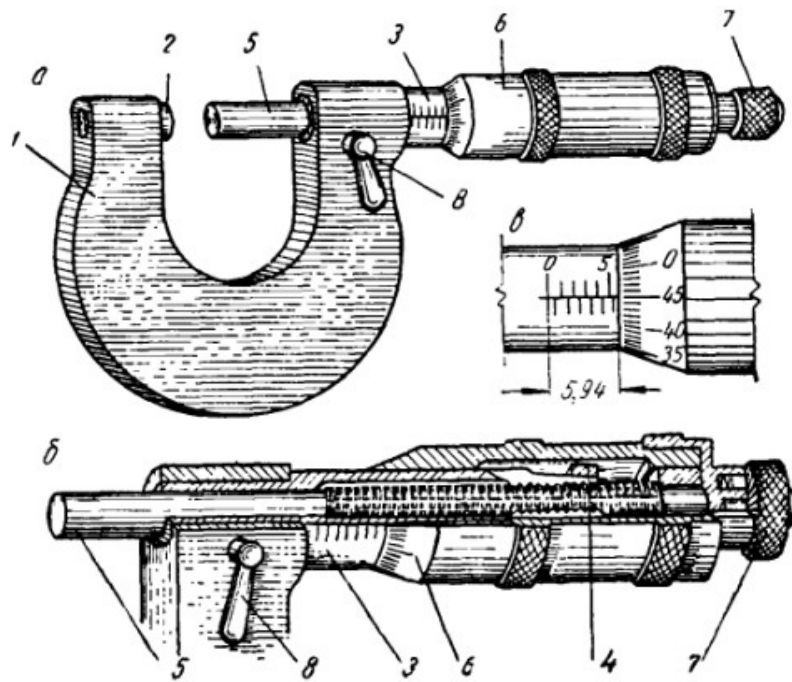


Рисунок 3. Мікрометр

а — общий вид; б — разрез по барабану; в — пример отсчета; 1 — скоба или корпус; 2 — неподвижная пятка; 3 — стержень; 4 — регулировочная гайка; 5 — измерительный шпindel; 6 — барабан; 7 — трещотка; 8 — стопор.

Барабан розділений по окружності на 50 рівних частин. При повороті на один розподіл мікрометричний гвинт, з'єднаний з барабаном, переміщається уздовж осі на $1/50$ кроку, тобто $(0,5 \text{ мм}):50=0,01 \text{ мм}$. Ціле число міліметрів і половину міліметра відраховують краєм скошу барабана по шкалі. Соті частки міліметра визначають за порядковим номером штриха барабана, що збігається з подовжнім штрихом стебла.

На рис. 4 (б, в, г) показано приклади читання показань. Слід відзначити, що відлік по нерухомій шкалі (показана ціла або половинна поділка) потребує певного навичку через деяке зміщення обертальної частини мікрометра відносно вірного положення.

Рекомендується перед початком вимірювань встановити мікрометр на «нуль» при обертанні мікрометричного гвинта. Ця процедура також дозволить встановити наявність систематичної похибки мікрометра. На скобі певного мікрометра вказують межі (діапазон) вимірювань (наприклад, 0-25 мм, як показано на рис. 4, 25-75 мм).

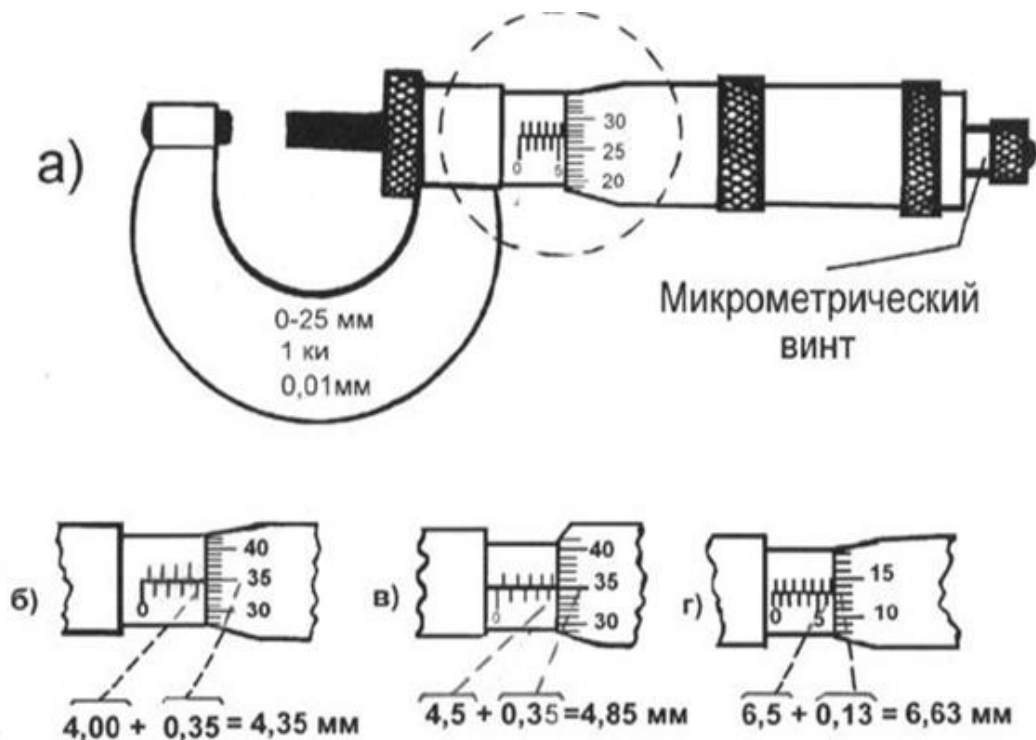


Рисунок 4. Приклади читання показань по шкалі мікрометра

Звичайно, вибравши потрібний прилад, необхідно правильно провести самі вимірювання. Це стосується підготовки інструмента, який використовується (збіг нульових штрихів ноніуса і штанги, нульового штриха барабана з подовжнім штрихом стебла, скіс барабана має відкривати нульовий штрих стебла, відсутність мертвого ходу гвинта) і 10 проведення вимірювань (правильне положення губок щодо зовнішніх або внутрішніх циліндричних і рівнобіжних поверхонь дозволяє уникнути завищення або заниження показань). При читанні показань інструмент варто тримати прямо перед очима.

ТЕМА 25. КЛАСИ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Мета заняття: ознайомитися з видами засобів вимірювання, їхніми структурними елементами, визначити клас точності засобів вимірювання та відповідних до нього абсолютної та відносної похибок.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Клас точності засобу вимірювальної техніки (засобу вимірювань) – узагальнена характеристика, котра визначається межами допустимої основної і додаткової похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на його точність, значення яких регламентується. Клас точності засобу вимірювань, хоч і характеризує його властивості щодо точності, але не є безпосереднім показником точності вимірювань, які виконані з його допомогою.

Засобам вимірювань з двома чи більшою кількістю діапазонів вимірювань даної фізичної величини допускається присвоювати два і більше класів точності. Засобам вимірювань, які призначені для вимірювань двох і більше фізичних величин, також допускається присвоювати різні класи точності для кожної вимірюваної величини.

Межі допустимих основної і додаткової похибок засобів вимірювань встановлюють у формі абсолютних, зведених або відносних значень, залежно від характеру їх зв'язку з інформативним параметром вхідного чи вихідного сигналів.

Приклади позначення класів точності засобів вимірювань відповідно до міждержавного стандарту ГОСТ 8.401-80 наведені в таблиця 1.

Таблиця 1

Класи точності засобів вимірювань				
Формула для меж допустимих похибок	Приклади меж допустимої основної похибки	Позначення класу точності		Примітка
		в документації	на засобах вимірювань	
$\Delta = \pm a$	-	Клас точності М	М	-
$\Delta = \pm (a + bx)$	-	Клас точності С	С	-
$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} = \pm p$	$\gamma = \pm 1,5$	Клас точності 1,5	1,5	Якщо X_N виражається в одиницях вимірюваної величини
	$\gamma = \pm 1,5$	Клас точності 1,5	1,5	Якщо X_N визначається довжиною шкали
$\delta = \frac{\Delta}{x_N} = \pm q$	$\delta = \pm 0,5$	Клас точності 0,5	0,5	-
$\delta = \frac{\Delta}{x} = \pm \left[c + d \left(\left \frac{X_k}{x} \right - 1 \right) \right]$	$\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left \frac{X_k}{x} \right - 1 \right) \right]$	Клас точності 0,02/0,01	0,02/0,01	-

Приклад розв'язання завдання. Аналоговий амперметр з рівномірною шкалою і межею вимірювання 100 мА має найбільшу абсолютну похибку 0,7 мА. Знайти клас точності приладу і похибки вимірювань сили струму 20 мА; 50 мА; 100 мА.

Розв'язання: У аналогових приладів з рівномірною шкалою у вигляді класу точності нормується границя допустимої зведеної похибки. Тому, спочатку необхідно розрахувати її максимальне значення, а потім округлити це значення у більший бік до найближчого числа із стандартного ряду чисел для нормування класів точності.

Визначимо границю зведеної похибки, як:

$$\gamma(\Delta I_{n_{max}}(0,7/100))_{max}$$

Найближчим до числа 0,7 при округленні його у більшій бік є стандартне число 1,0. Тому встановлюємо, що цифрою класу точності цього приладу є 1,0.

Похибка вимірювання визначається відносною похибкою. Тому відносні похибки вимірювань для кожного показу приладу складуть:

$$\delta_1 = \pm(\Delta I_{\max} / I_1) \cdot 100\% = \pm(0,7 / 20) \cdot 100\% \approx \pm 3,5\%$$

$$\delta_2 = \pm(\Delta I_{\max} / I_2) \cdot 100\% = \pm(0,7 / 50) \cdot 100\% \approx \pm 1,4\%$$

$$\delta_3 = \pm(\Delta I_{\max} / I_3) \cdot 100\% = \pm(0,7 / 100) \cdot 100\% \approx \pm 0,7\%$$

Звідси видно, що похибка вимірювань зменшується при наближенні вимірюваної величини до межі вимірювання приладу.

Завдання для самостійного опрацювання:

Завдання 1. При повірці після ремонту амперметра класу 1,0 з межею вимірювання 10 А в точках шкали 2 А, 5 А і 10 А отримані відповідні покази зразкового амперметра: 2,01 А; 5,08 А і 9,98 А. Визначити, чи зберігся клас точності приладу.

Завдання 2. При повірці амперметра класу $\textcircled{1,0}$ в точках шкали 1 А, 3 А, 5 А отримані відповідні покази зразкового амперметра: 1,02 А; 3,02 А; 4,99 А. Визначити, чи зберігся клас точності приладу.

Завдання 3. Комбінований прилад має клас точності 2,5 . Довжина шкали складає 100 мм. Знайти абсолютну похибку вимірювань опору 1000 Ом, якщо чутливість в точці вимірювання дорівнює 0,1 мм/Ом. Записати результат вимірювання опору.

ТЕМА 26. КАЛІБРУВАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА УСТАТКУВАННЯ. НАЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ КАЛІБРУВАННЯ. ПОВІРКА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Мета заняття: ознайомитись з особливостями повірки та калібрування засобів вимірювальної техніки, закріпити знання

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Калібрування - сукупність операцій, за допомогою яких за заданих умов на першому етапі встановлюється співвідношення між значеннями величини, що забезпечуються еталонами з притаманними їм невизначеностями вимірювань, та відповідними показами з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань, а на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показу.

Калібрування робочих еталонів проводиться науковими метрологічними центрами, які мають міжнародно визнані калібрувальні та вимірювальні можливості за відповідними видами та підвидами вимірювань із застосуванням

національних еталонів; науковими метрологічними центрами, метрологічними центрами, калібрувальними лабораторіями, акредитованими національним органом України з акредитації.

Для калібрування робочих еталонів наукові метрологічні центри, які мають міжнародно визнані калібрувальні та вимірювальні можливості за відповідними видами та підвидами вимірювань; наукові метрологічні центри, метрологічні центри та калібрувальні лабораторії, акредитовані національним органом України з акредитації (далі - виконавці) повинні визначити та задокументувати власні можливості щодо їх калібрування - діапазони вимірювань з установленними значеннями розширеної невизначеності (далі - калібрувальні можливості).

Калібрувальні можливості визначають на підставі:

- наявних міжнародно визнаних калібрувальних та вимірювальних можливостей за відповідними видами та підвидами вимірювань виконавця;
- сфери акредитації виконавця.

Калібрування робочих еталонів проводиться згідно з методиками калібрування, які містяться в національних стандартах або розроблені виконавцями з урахуванням національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології.

Переліки методик калібрування робочих еталонів розміщуються на офіційних вебсайтах виконавців.

Якщо для калібрування робочого еталона використовують еталони різних величин, кожен із цих еталонів повинен мати документ про калібрування з інформацією щодо метрологічної простежуваності.

Під час калібрування робочих еталонів необхідно дотримуватися меж діапазону, визначеного калібрувальними можливостями виконавця.

Для проведення калібрування робочого еталона науковий метрологічний центр, метрологічний центр, повірочна лабораторія (далі - замовник) подає виконавцю заявку, у якій зазначає таку інформацію:

- об'єкт калібрування, що надається на калібрування;
- діапазон вимірювання або значення величин точок вимірювання та максимальне значення розширеної невизначеності вимірювання для цих діапазону або точок. Якщо в робочому еталоні реалізовано декілька методів вимірювання, про це обов'язково зазначається в заявці;
- найменування методики калібрування, відповідно до якої необхідно провести калібрування робочого еталона (за потреби);
- необхідність включення до документа про калібрування інформації щодо відповідності робочого еталона метрологічним вимогам, наведеним замовником (за потреби);
- строк проведення калібрування (за потреби), який узгоджується з можливостями виконавця.

Калібрування робочих еталонів проводять у стаціонарних калібрувальних лабораторіях; безпосередньо на місці експлуатації.

Умови калібрування робочих еталонів повинні відповідати вимогам, установленим у методиках калібрування. Виконавці повинні відстежувати, контролювати та реєструвати умови навколишнього середовища відповідно до методик калібрування.

Калібрування робочих еталонів необхідно припинити, якщо умови навколишнього середовища не відповідають вимогам до них, установленим методиками калібрування.

Результати калібрування робочих еталонів повинні бути задокументовані відповідно до методик калібрування.

Документ про калібрування робочого еталона повинен містити таку інформацію:

- найменування та адресу виконавця, а також місце проведення калібрування;
- серію, номер, нумерацію сторінок та загальну кількість сторінок у ньому;
- дату проведення калібрування;
- стан робочого еталона, його назву, умовне позначення та заводський номер;
- найменування та місцезнаходження замовника;
- назву методики калібрування, яка була використана під час калібрування робочого еталона;
- докази метрологічної простежуваності: назву та умовне позначення еталона, який використано при калібруванні, дату та номер його документа про калібрування і ким він виданий. У разі калібрування за кількома величинами зазначають інформацію про кожний еталон, який був застосований;
- результати калібрування із зазначенням одиниць вимірювання;
- умови, за яких проводили калібрування;
- розширені невизначеності результатів вимірювання, отриманих під час калібрування, які враховують усі невизначеності вимірювань, отримані через задокументований нерозривний ланцюг калібрувань, кожне з яких робить свій внесок у невизначеність вимірювання;
- відповідно до заявки замовника, документ про калібрування може містити висновок щодо відповідності робочого еталона метрологічним вимогам, які зазначив замовник у своїй заявці на калібрування;
- ім'я, прізвище, посаду та підпис особи (осіб), що проводила(и) калібрування робочого еталона;
- ім'я, прізвище, посаду та підпис особи, що затвердила документ про калібрування.

Повірка засобів вимірювальної техніки - сукупність операцій, що включає перевірку та маркування та/або видачу документа про повірку ЗВТ, які встановлюють і підтверджують, що зазначений засіб відповідає встановленим вимогам.

Повірка здійснюється у відповідності до вимог «Порядку проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів» (затверджений наказом Мінекономрозвитку України № 193 від 08.02.2016р.)

Періодичній повірці підлягають законодавчо регульовані ЗВТ, визначені в «Переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці»(затверджений постановою Кабінету Міністрів України № 374 від 04 червня 2015 року), що застосовуються в сфері законодавчо регульованої метрології, тобто в наступних видах діяльності:

- 1) забезпечення захисту життя та охорони здоров'я громадян;
- 2) контроль якості та безпечності харчових продуктів і лікарських засобів;
- 3) контроль стану навколишнього природного середовища;
- 4) контроль безпеки умов праці;
- 5) контроль безпеки дорожнього руху та технічного стану транспортних засобів;
- 6) топографо-геодезичні, картографічні та гідрометеорологічні роботи, роботи із землеустрою;
- 7) торговельно-комерційні операції та розрахунки між покупцем (споживачем) і продавцем (постачальником, виробником, виконавцем), у тому числі під час надання транспортних, побутових, комунальних, телекомунікаційних послуг, послуг поштового зв'язку, постачання та/або споживання енергетичних і матеріальних ресурсів (електричної і теплової енергії, газу, води, нафтопродуктів тощо);
- 8) обчислення сум податків і зборів, податковий та митний контроль;
- 9) роботи, пов'язані з визначенням параметрів будівель, споруд і території забудови;
- 10) роботи із забезпечення технічного захисту інформації згідно із законодавством;
- 11) роботи з використання апаратури глобальних супутникових навігаційних систем;
- 12) роботи, що виконуються за дорученням органів досудового розслідування, органів прокуратури та судів;
- 13) реєстрація національних і міжнародних спортивних рекордів.

Види повірки

Первинна повірка, яку проводять при випуску засобів вимірювань на виробництві та після ремонту. У разі необхідності, первинну повірку проводять також при введенні засобів вимірювальної техніки в експлуатацію. Первинній повірці перед введенням в експлуатацію підлягають також засоби вимірювальної техніки, які ввозять з-за кордону партіями, типи яких занесені до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки, в разі якщо не визнані результати перевірки, проведеної в іноземних державах.

Періодична повірка - поширюється на ті засоби вимірювальної техніки, які перебувають в експлуатації, в тому числі і ті, які видають в прокат. Така перевірка виконується виходячи від встановленого міжповірочного інтервалу.

Позачергова повірка засобів вимірювальної техніки проводиться до настання строку чергової періодичної повірки, в наступних випадках:

- якщо заявнику необхідно переконаватися в придатності засобів вимірювальної техніки до застосування;
- в разі пошкодження відбитка повірочного тавра або втрати свідоцтва про повірку;
- в разі застосування засобів вимірювальної техніки як комплектуючих, якщо час, що минув після останньої повірки, перевищує половину міжповірочного інтервалу;
- в разі продажу (відправки) споживачеві засобів вимірювальної техніки в тому випадку, коли час, що минув після останньої повірки, перевищує половину міжповірочного інтервалу;
- при введенні в експлуатацію засобів вимірювань, які пройшли первинну повірку (в разі необхідності).

Інспекційна повірка виконується в процесі здійснення державного метрологічного нагляду з метою визначення придатності засобів вимірювальної техніки до експлуатації.

Експертна повірка виконується в разі виникнення спірних питань метрологічних характеристик, придатності до застосування і правильності експлуатації засобів вимірювальної техніки. Експертну перевірку проводять за письмовою заявою державних органів (суду, прокуратури і т.д.) або юридичних і фізичних осіб. У заяві повинна бути визначена мета експертної повірки та причина, зумовила її проведення.

ТЕМА 27. АНАЛОГОВІ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

Мета заняття: познайомитися з будовою й дією шкільних демонстраційних аналогових електровимірювальних приладів та оволодіти навиками їх застосування в навчальному фізичному експерименті.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Аналогові вимірювальні прилади – це ЗВ покази яких є безперервною функцією зміни вимірюваної (вхідної) величини. Це прилади такі, що показують – тобто вони мають пристрій відліку, що містить шкалу та вказівник.

За конструкцією та способом індикації значені вимірюваної величини вони поділяються на електромеханічні стрілкові, які здійснюють безпосередній відлік величини, та електронні. Останні можуть мати стрілкові, найчастіше магнітоелектричної системи, вимірювальні системи, або електронні із світлодіодними індикаторами. Загальна схема аналогового універсального приладу розрахованого на вимірювання як змінної, так і постійна напруги (сили струму), показана на рис. 1.

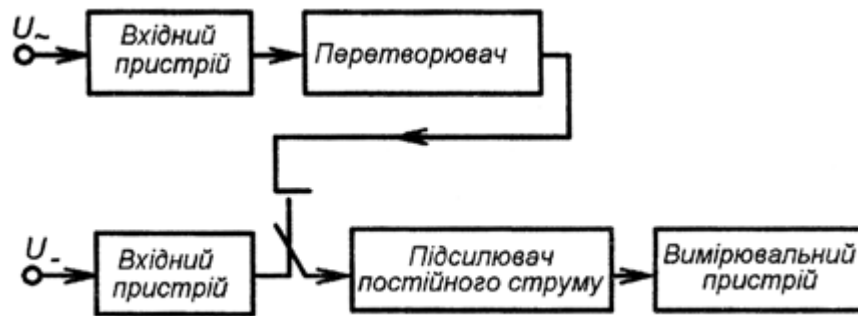


Рисунок 1. Схема аналогового універсального приладу для вимірювання змінного і постійного струму

Вхідний ланцюг (ВЛ) – вхідний пристрій, необхідний для перетворення сигналу на вході у величини зручні для перетворення у механічне пересування вказівника (шунти, додаткові резистори, ВТН, ВТС, випрямлячі тощо).

Вимірювальний перетворювач (ВП) – перетворює електричну величину на механічне пересування вказівника.

Пристрій відліку (ПВ) – шкала та вказівник. В якості вказівника використовується або стрілка, що нерухомо кріпиться до рухомої частини механізму, або світловий промінь, що відбивається від дзеркала, яке нерухомо кріпиться до рухомої частини механізму.

В більшості механізмів, що вимірюють, (ВМ) рухома частина має одну ступень свободи, тобто може обертатися навколо нерухомої вісі на кут α (або, рідше, робити лінійне переміщення). Тоді на рухома частину діє сила, що створює обертальний момент.

Ампервольтметр із гальванометром (рис. 2) є багатофункціональним електровимірювальним приладом. Застосовується для визначення значень сили постійного та змінного струму, постійної та змінної напруги, а також як чутливий гальванометр для виявлення електричного струму в колах і визначення його напрямку. Використовується для проведення демонстраційних дослідів з фізики. Прилад експлуатується в умовах типового кабінету фізики загальноосвітньої школи.

Електровимірювальний механізм приладу магнітоелектричної системи змонтований у прямокутному вертикальному корпусі з пластмаси. Усередині корпусу знаходяться також напівпровідниковий випрямляч, шунти, додаткові опори й перемикач режимів роботи.

Передня панель корпусу має прозоре вікно, крізь яке видно стрілку й матову задню панель зі шкалою. Задня панель може зніматися. Шкали нанесені на двох поверхнях панелі. З однієї сторони нанесена шкала гальванометра. Її особливість у тім, що нульовий штрих розташований посередині. По обидві сторони від нульового штриха - по десять поділок. Крайні оцифровані штрихи мають позначки «-500» і «+500». Чутливість гальванометра складає 50 мкА/под.

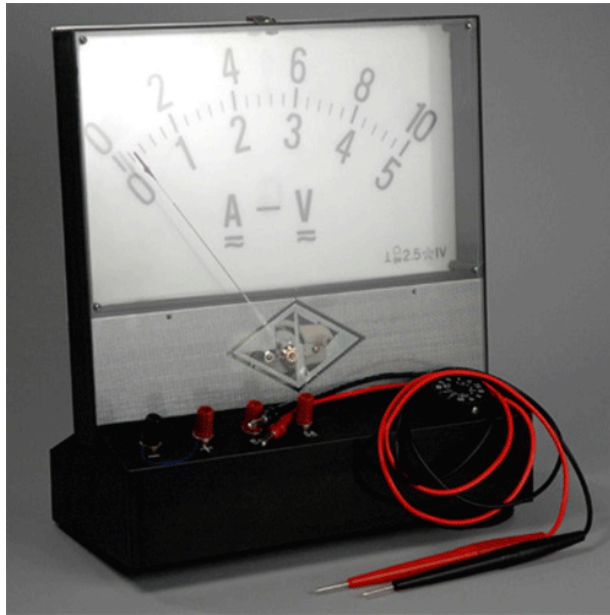


Рисунок 2. Ампервольтметр демонстраційний стрілковий

На іншій стороні панелі нанесена рівномірна шкала з верхньою і нижньою оцифровками. Її використовують при вимірюваннях сил струмів і напруг в колах постійного і змінного струму. Кожен п'ятий штрих шкали оцифрований. Межі оцифровки верхньої шкали 0...10. Ціна поділки шкали при цьому складає 0,4 значення вимірюваної напруги чи струму. Нижня оцифровка має межі 0...5. Ціна поділки шкали при цьому складає 0,2.

На передню панель виведена ручка перемикача режиму роботи й меж вимірювань та чотири гнізда для вмикання приладу в електричне коло. Гнізда, позначені знаками «-» і «+» використовуються для вимірювання напруг, а також сили постійного та змінного струму в межах 0...1 А; 0...100 мА. Для вимірювання сили постійного та змінного струмів значенням до 5 А використовують гнізда відповідно «-», «5 А=» і «-», «5 А~». Необхідний режим роботи встановлюється повертанням ручки перемикача, розміщеної на правій стороні нижньої частини передньої панелі.

У нижній частині задньої поверхні корпусу знаходить ручка коректора стрілки й ніша для зберігання з'єднувальних провідників. Ніша закрита кришкою із засувкою. Похибка вимірювань ампервольтметра не перевищує 2,5% від верхньої межі шкали.

Технічні характеристики

№	Параметр	Значення параметра
1	Клас точності приладу	2,5
2	Межі вимірювання в режимі гальванометра, мкА	0±500
3	Діапазони вимірювання сили струму (постійного), мА	0-10; 0-100 ; 0-5000
4	Діапазони вимірювання сили струму (змінного), мА	0-10; 0-100; 0-5000
5	Діапазони вимірювання постійної напруги, В	0-10; 0-50; 0-250
6	Діапазони вимірювання змінної напруги, В	0-10; 0-50; 0-250
7	Внутрішній опір гальванометра, Ом	510

Будова й принцип дії вольтметра

Принципова схема вольтметра показана на рисунку 3. Рамка вимірювального механізму вольтметра намотана мідним дротом (ПЕВ, ПЕЛ) діаметром 0,23 мм (40 витків). При вимірюванні постійної напруги струм проходить безпосередньо через рамку приладу. При вимірюванні змінної напруги струм випрямляється за допомогою напівпровідникового діода VD1.

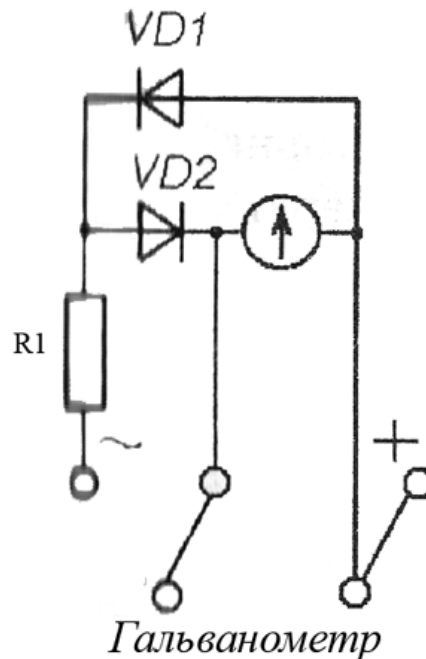


Рисунок 3.Схема гальванометру

У робочий півперіод випрямлений (однопівперіодний) струм проходить через рамку приладу. У неробочий півперіод струм проходить мимо рамки через діод VD2. Це зроблено для того, щоб діод VD1 у неробочий півперіод не перебував під дією високої напруги (щоб запобігти його пробую).

Технічні характеристики

Без додаткових опорів вольтметр демонстраційний є гальванометром, який має:

- чутливість (ціна поділки) - $C_{гв}=0,002$ В/под;
- внутрішній опір $R_{г}=2,3$ Ом.

З додатковим опором (у комплект входять два додаткові опори на 5 В і 15 В для вимірювання напруг постійного струму два додаткові опори на 15 В і 250 В для вимірювання напруг змінного струму) прилад може служити вольтметром постійної або змінної напруги з межами:

- для вимірювання постійної напруги 0...5 В або 0...15 В;
- для вимірювання змінної напруги 0...15 В або 0...250 В.

Вимірювачі електронні аналогові ид-2 та ид-2/1

Вимірювачі електронні аналогові ИД-2 і ИД-2/1 призначені для використання в демонстраційних дослідах, пов'язаних з вимірюванням електричних величин. Вимірювачі можуть також використовуватися при організації лабораторних робіт, регулюванні, ремонті й обслуговуванні електроапаратури.

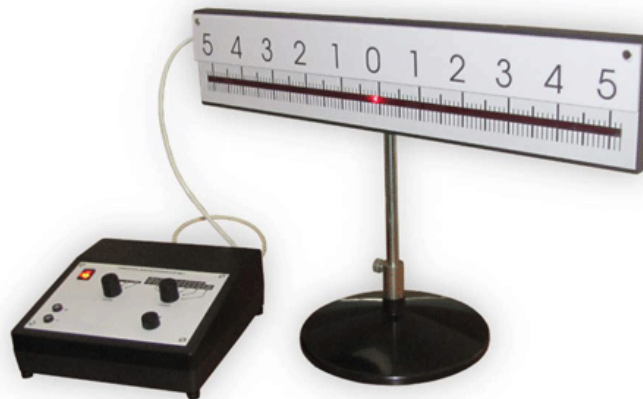


Рисунок 4. Вимірювачі ИД-2 і ИД-2/1

Вимірювачі ИД-2 і ИД-2/1 складаються з електронного блоку та панелі індикації (рис. 4). Електронний блок розміщений у пластмасовому корпусі, в якому встановлені джерело живлення, перетворювачі (струм - напруга, опір - напруга та ін.), подільник, нормуючі підсилювачі.

Результати вимірювання виводяться на панель індикації вимірювального пристрою, яка складається із лінійки світлодіодів та мікроконтролера зі вбудованим аналого-цифровим перетворювачем, який керує світлодіодами. На лицьовій стороні панелі нанесена шкала. Передбачені також змінні шкали з «0» зліва, посередині та справа.

Основні технічні характеристики

№	Параметр	Значення параметра
1	Клас точності приладу	2,5
2	Діапазон вимірювання напруги постійного струму, В	0,01...1000
3	Діапазони вимірювання сили струму (постійного), мкА	0,001...100
4	Частота змінної напруги живлення, Гц	50±0,8%
5	Напруга живлення, В	220±10%

ТЕМА 28. ЕЛЕКТРОННІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ. ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВІ ОСЦИЛОГРАФИ

Мета заняття: ознайомитись з будовою та принципом роботи електронно-вимірювальних приладів, їх перевагами та недоліками.

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Електронні вимірювальні прилади – це ЗВТ, вузлами яких є різноманітні електронні вимірювальні перетворювачі. Такі ЗВТ можуть бути як цифровими, так і аналоговими. В останньому випадку покази приладу – є безперервною функцією вимірювальної величини.

Завдяки використанню електронних пристроїв (вузлів) вдається розширити функціональні можливості ЗВ та забезпечити високий рівень їх метрологічних характеристики:

- висока чутливість;
- великий діапазон вимірювання;
- мале власне споживання;
- великий частотний діапазон тощо.

Широко використовуються електронні аналогові ЗВ такі: осцилографи, вольтметри, омметри, аналізатори спектру.

Електронно-променеві осцилографи (ЕПО) розроблені для візуального спостереження, вимірювання та реєстрації електричних сигналів. Тобто осцилографи відносяться до реєструючих ЗВ.

Таким чином, в основу роботи осцилографа покладено перетворення вимірювальної величини у видиме (те, що можна побачити) зображення, яке отримують на екрані електронно-променевої трубки (ЕПТ).

На рис. 1 наведено структуру ЕПТ. Тут позначено:

K^+ – катод із підігрівом;

M – модулятор (сітка – анод; кількість електронів у промені змінюється додатковою напругою, що регулює яскравість);

$A1, A2$ – аноди (напруга позитивна відносно K^+), які розганяють пучок електронів та здійснюють фокусування;

VP_y – відхиляючі пластини каналу Y (вертикальне зміщення під впливом UY);

VP_x – відхиляючі пластини каналу X (вертикальне зміщення під впливом UX); E – екран;

HN – нитка накалювання (емітує електрони).

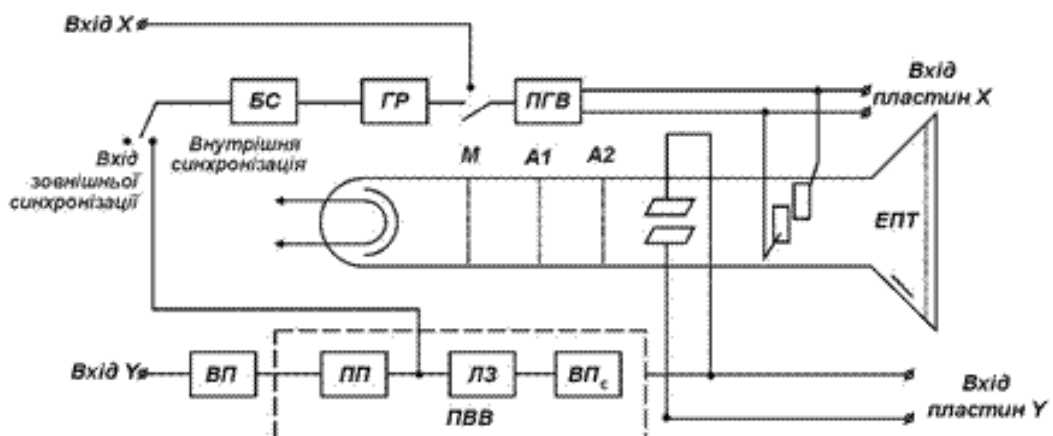


Рисунок 1. Структурна схема електронно-променевого осцилографа

Основний елемент електронного осцилографа - електронно-променева трубка (ЕПТ) з електростатичним керуванням променя та люмінесцентним екраном для перетворення досліджуемого сигналу у видиме зображення на екрані, вертикально та горизонтально відхиляючі пластини ЕПТ переміщують електронний промінь в двох взаємно перпендикулярних напрямках, які можна розглядати як координатні вісі. Тому для спостереження на екрані електронного осцилографа картини зміни сигналу в часі, напруга цього сигналу подається на вертикально відхиляючі пластини, та одночасно електронний промінь відхиляється з постійною швидкістю в горизонтальному напрямку за допомогою лінійно змінної напруги, прикладеної до горизонтально відхиляючих пластин. Напругу, відхиляючу промінь в горизонтальному напрямку, називають розгортуючою. По закінченні циклу розгортки розгортуюча напруга приймає первинне значення, при цьому промінь повертається в початкове положення і цикл починається спочатку. Чутливість ЕПТ мала, тому для відхилення променя на весь екран необхідна досить велика напруга (3-200В). Напруги досліджуемого сигналу та розгортки можуть бути малими, тому в каналах вертикального (ВВ) і горизонтального (ГВ) відхилень електронного осцилографа передбачаються підсилювачі. Підсилювач вертикального відхилення, на вхід якого подається досліджуемий сигнал, повинен мати великий вхідний опір та малу вхідну ємність, що зумовлює мінімальний вплив підключення осцилографа на електричний режим вимірювального кола.

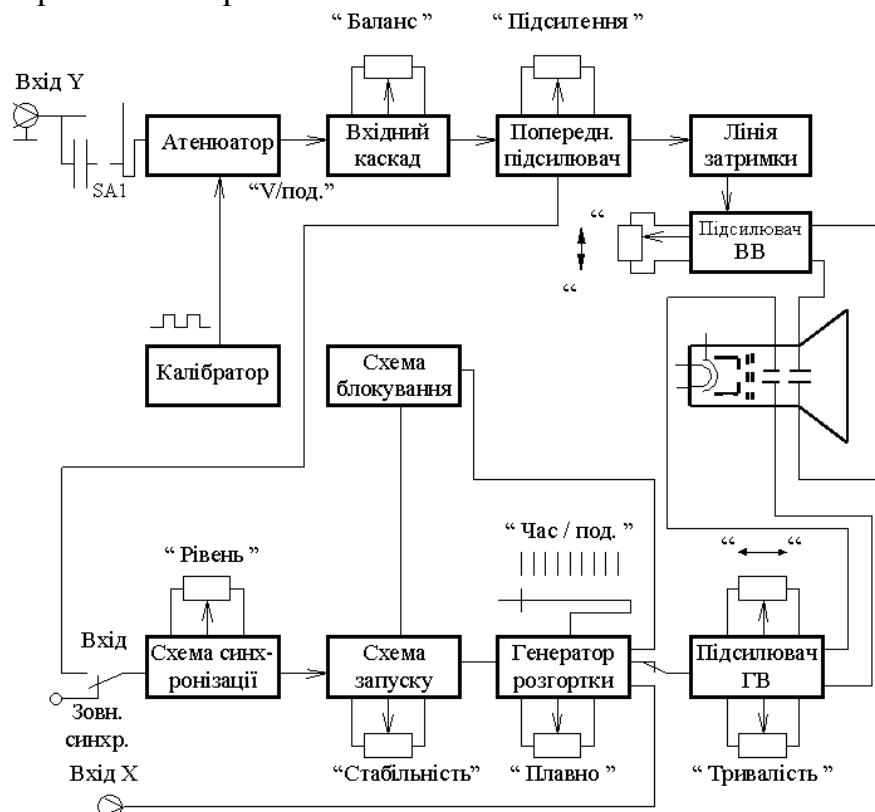


Рисунок 2. Структурна схема осцилографа

Смуга пропускання підсилювача - діапазон частот, в межах якого вихідна напруга підсилювача падає в $\sqrt{2}$ від максимального значення при незмінній вхідній напрузі. Чим ширше смуга пропускарємих частот, тим менше частотні спотворення.

Досліджуємиий сигнал подається безпосередньо (вхід Y відкритий, або через роздільний конденсатор вхід - Y закритий) на атенюатор каналу вертикального відхилення осцилографа. За допомогою атенюатора встановлюється необхідне послаблення сигналу, що дозволяє забезпечити роботу підсилювача ВВ в режимі мінімальних нелінійних спотворень. З виходу атенюатора досліджуємиий сигнал через вхідний каскад (емітерний або стоковий повторювач) подається на попередній підсилювач.

Підсилений сигнал затримується лінією затримки на час, необхідний для спрацьовування каналу горизонтального відхилення осцилографа, тобто генератора розгортки та підсилювача ГВ, щоб рух променя по горизонталі почався раніш, ніж підсилений сигнал поступить на вертикально відхиляючі пластини ЕПТ.

Вихідний підсилювач ВВ, зібраний по балансній схемі, підсилює затриманий сигнал до значення, необхідного для спостереження на екрані. З його виходу сигнал поступає на вертикально відхиляючі пластини ЕПТ. Стійкість зображення на екрані досягається синхронізацією напруги розгортки з сигналом, що досліджується.

Запуск схеми синхронізації може бути як від внутрішнього, так і від зовнішнього сигналу. Крім того, схема синхронізації дає можливість змінювати рівень та полярність сигналу синхронізації. При роботі осцилографа в режимі внутрішньої синхронізації з каналу вертикального відхилення (до лінії затримки) знімається досліджуємиий сигнал та подається на вхід схеми синхронізації. Остання сумісно зі схемою запуску розгортки формує короткі запускаючі імпульси незалежно від значення та форми поступаючого на вхід сигналу. Завдяки цьому досягається стійкий запуск генератора розгортки.

Вихідний сигнал генератора розгортки поступає на вихідний підсилювач ГВ, призначений для перетворення пилкоподібної напруги, що поступає з генератора розгортки в два протифазних сигнали та підсилення їх до значення, достатнього для відхилення променя по горизонталі на весь екран ЕПТ. Потім сигнал подається на горизонтально відхиляючі пластини. В осцилографі передбачена можливість надходження зовнішнього сигналу на горизонтально відхиляючі пластини при подачі його на вхід X. При цьому підсилювач ГВ відключається від схеми генератора розгортки та підключається до входу X. Генератор розгортки може працювати в режимі:

а) автоколивальної періодичної розгортки (схема синхронізації переводиться в режим неперервних коливань, тобто на її вхід не подається сигнал);

б) опікуючої розгортки (запускається тільки при наявності синхронізуючого сигналу).

Основні характеристики осцилографів.

1. Коефіцієнт відхилення m_u

Визначається співвідношенням коефіцієнтів підсилення П1, П2 (ПВВ):

$$m_u = 1/S_u,$$

де S_U – чутливість за напругою.

Найчастіше діапазон становить $50 \text{ мкВ/под.} - 10 \text{ В/под.}$.

2. Коефіцієнт розгортки m_t

Визначається напругою ГР (періодом сигналу розгортки):

$$m_t = 1/V_x,$$

де V_X – швидкість зміщення проміню за віссю X .

Частотний діапазон $0,01 \text{ мкс/под.} - 0,05 \text{ с/под.}$

3. Смуга пропускання :

Діапазон частоти, в межах якого m_u змінюється («пливе») не більш ніж на 3 дБ ($\approx 30\%$). Для низькочастотних осцилографів верхня межа становить приблизно 5 МГц .

ТЕМА 29. МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ КРИСТАЛІВ ТА МІКРОСТРУКТУР

Мета заняття: ознайомитись з різними методиками вимірювань параметрів напівпровідникових кристалів та мікроструктур

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Зондові методи вимірювання електропровідності

При дослідженні електричних властивостей напівпровідників і у виробництві напівпровідникових матеріалів і приладів виникає необхідність у визначенні питомого опору зразків (ρ) напівпровідникових матеріалів у вигляді злитків, пластин, дифузійних і епітаксійних шарів.

Для вимірювання питомої електричної провідності (σ) напівпровідникових матеріалів широке розповсюдження знайшли зондові методи.

Методи визначення базуються на вимірюванні падіння напруги на деякій ділянці зразка, через яку пропускається електричний струм, для чого до напівпровідникового зразка прикладають струмові і потенціальні металеві електроди (зонди). На контакті напівпровідникового матеріалу і металевого електрода при протіканні електричного струму може виникати ряд фізичних ефектів і явищ, які вносять суттєву похибку у результати вимірювань, а в деяких випадках навіть роблять їх неможливими.

Найбільш суттєвими з них є:

- високий перехідний опір контакту, особливо коли контакт має випрямляючу характеристику і включений в зворотному напрямку;

- інжекція неосновних носіїв заряду з контакту, що істотно впливає на величину провідності зразка;
- ефект Пельт'є, який призводить до виникнення градієнту температури на зразку і, відповідно цьому градієнту, термо-ЕРС;
- нагрівання зразка електричним струмом.

Зазначені явища необхідно враховувати не тільки при вимірюванні σ , але і в усіх випадках, коли через вимірювальний зразок з металевими контактами протікає електричний струм.

Для вимірювання питомої електричної провідності використовуються двозондовий і чотиризондовий методи.

Двозондовий метод вимірювання питомої провідності застосовується для вимірювання ρ зразків правильної геометричної форми з відомим поперечним перетином.

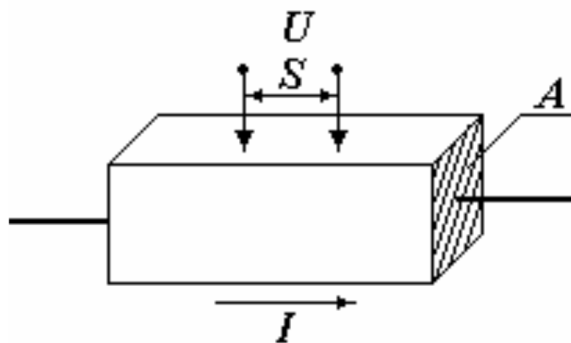


Рисунок 1. Двозондовий метод вимірювання провідності

Через торцеві грані зразка (рис. 1) з нанесеними на них омичними контактами пропускається електричний струм I . На по-верхні зразка уздовж лінії струму розташовуються два зонди на відстані S один від одного і вимірюється різниця потенціалів U між ними. Питомий опір зразка обчислюється за формулою:

$$\rho = UA/IS$$

де A – поперечний перетин зразка.

Похибка методу визначається помилками у визначенні величин, що входять у розрахункову формулу. Щоб виключити вплив падіння напруги на контактних опорах потенційних зондів, різниця потенціалів вимірюється або потенціометром або вольтметром, вхідний опір яких приблизно у 10^5 разів вище опору зразка. На точність вимірювання також впливає фотопровідність і фото-ЕРС, тому бажано проводити вимірювання у затемненій камері.

Щоб забезпечити рівномірне проходження струму по перетину зразка в місці розташування потенційних зондів, їх розташовують від найближчого струмового контакту на відстані, яка b перевищувала в три рази найбільшу сторону поперечного перетину зразка. Для даного методу необхідні протяжні зразки правильної форми і омичні контакти, що потребують спеціальної технології нанесення (сплавні або електролітично нанесені). З метою оперативного технологічного контролю двозондовий метод не застосовується.

Чотиризондовий метод вимірювання ρ напівпровідників є найбільш поширеним, оскільки не потребує створення омичних контактів до зразка і забезпечує проведення вимірювань на зразках найрізноманітнішої форми і розмірів. На вимірювальну поверхню зразка встановлюють чотири зонди.

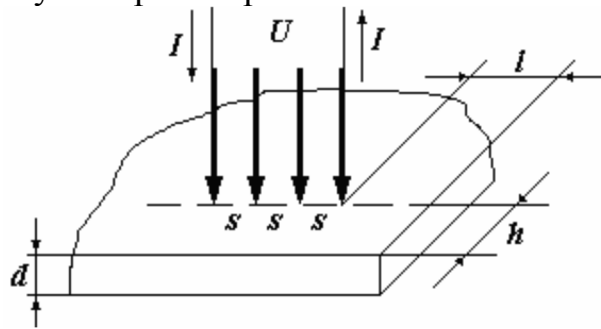


Рисунок 2. Чотиризондовий метод вимірювання

Зонди (рис. 2), розташовані уздовж однієї лінії на рівній відстані S один від одного. Через крайні зонди 1 і 4 пропускають електричний струм I (струмові зонди), а між двома внутрішніми зондами 2 і 3 вимірюють різницю потенціалів U (потенціальні зонди).

Для зразка, коли $d, l, h \gg S$, ρ обчислюється за формулою:

$$\rho = 2\pi \cdot S U / I.$$

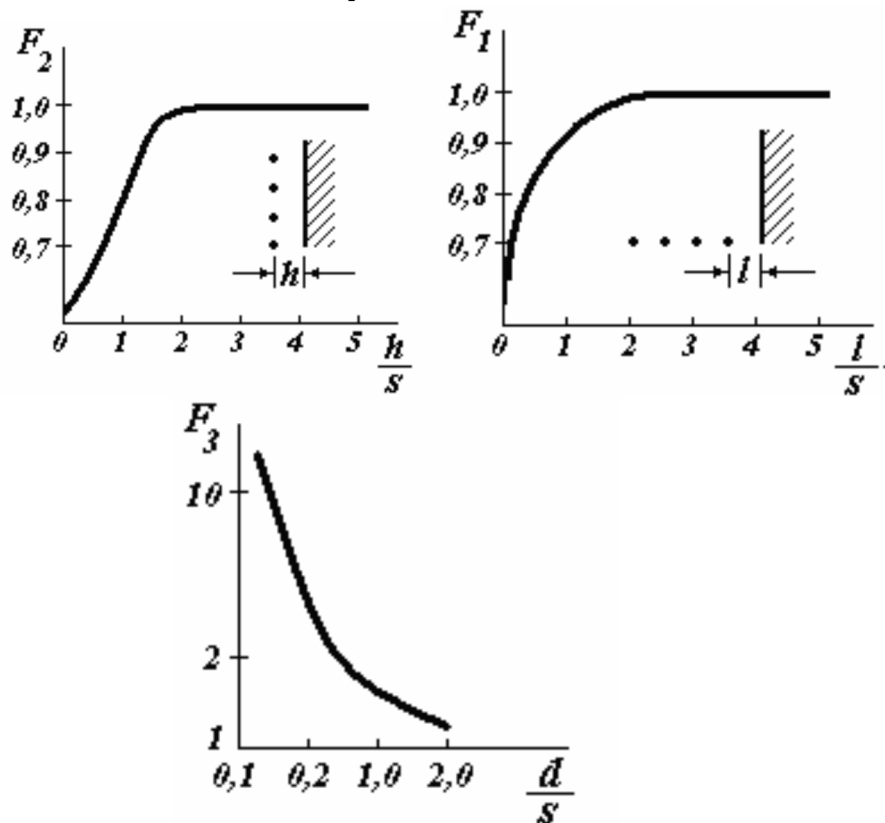


Рисунок 3. Поправочні функції для деяких граничних умов, які найбільш часто зустрічаються на практиці

Джерелами випадкових похибок можуть бути фотопровідність і фото-ЕРС на контактних опорах. Тому вимірювання бажано проводити в затемненій камері. Для усунення ефекту нагрівання зразка при проходженні струму і впливу термо-ЕРС, яка виникає на контактах, робочий струм вибирається мінімальним, а потенціал на зондах 2 і 3 вимірюють при двох полярностях струму. Отримані значення усереднюють.

Для зменшення інжекції неосновних носіїв через струмові зонди, що призводить у напівпровідниках із великим часом життя неосновних носіїв до зменшення значення ρ , поверхню зразка піддають механічній обробці абразивними порошками. Внаслідок такої обробки сильно зростає швидкість поверхневої рекомбінації і глибина модуляції провідності різко падає.

ТЕМА 30. ЦИФРОВІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

Мета заняття: ознайомитись з видами цифрових вимірювальних приладів, особливостями і принципами роботи

ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТТЯ

Цифрові вимірювальні прилади (ЦВП) здійснюють автоматичне перетворення вхідної вимірюваної величини в цифровий код. Покази ЦВП представлені в цифровій формі, що усуває похибку відліку наявну в АВП. Для цього в ЦВП виконуються операції квантування вимірюваної величини по рівню, дискретизація її за часом і кодування (рис.1).

Вони широко застосовуються для вимірювання частоти, інтервалів часу, напруги тощо. До переваг можна віднести: широкий діапазон вимірюваних величин з високою точністю вимірювання, висока швидкодія за рахунок відсутності рухомих електромеханічних елементів, можливість представлення результатів вимірювання в цифровому виді з можливістю подальшого збереження і обробки.

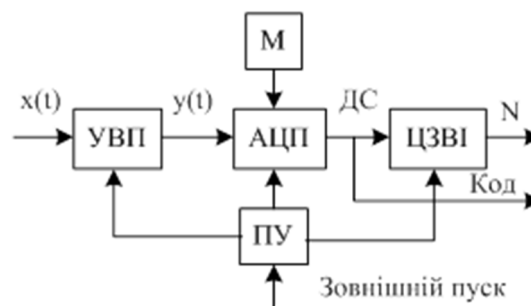


Рис. 1. Узагальнена структура ЦВП

Вимірювана аналогова величина $x(t)$ поступає на уніфікуючий вимірювальний перетворювач (УВП), що містить дільники, підсилювачі, випрямлячі, фільтри, перетворювачі лінеаризації і тому подібне. Нормалізований аналоговий сигнал $y(t)$ поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача

(АЦП), який виконує операції квантування по рівню і за часом $x(t)$, порівняння $x(t)$ з мірою M і кодування результатів. При цьому на виході формується дискретний сигнал ДС, який перетворюється в цифровому засобі відображення інформації (ЦЗВІ) в цифровий відлік N або у вигляді коду передається на ЕОМ. Пристрій управління (ПУ) реалізує необхідний алгоритм вимірювання.

З метою уніфікації елементної бази та забезпечення зручності в користуванні, фізичним носієм вимірювальної інформації у них найчастіше є напруга постійного струму.

За функціональним призначенням ЦЗВТ розділяються на:

- аналого-цифрові перетворювачі (АЦП),
- цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП),
- цифрові вимірювальні прилади та цифрові вимірювальні системи.

В АЦП здійснюються три базові операції над вхідною величиною: її часова дискретизація, квантування за рівнем і кодування отриманих квантованих значень.

ЦАП призначені для зворотного перетворення кодових сигналів в пропорційні аналогові (напругу, струм, кут, тощо). АЦП і ЦАП серійно виготовляються у вигляді інтегральних мікросхем

Дискретизація – процес перетворення неперервного сигналу вимірюваної інформації в дискретний. Дискретизація може здійснюватись як за часом так і за рівнем.

Дискретизація за часом здійснюється шляхом відбору відліків значень сигналу $X(t)$ у визначені моменти часу (від сигналу вимірювальної інформації зберігається лише сукупність окремих значень). Звичайно крок дискретизації Δt є сталим.

Дискретизація значень вимірюваного сигналу за рівнем називається *квантуванням*. Процес квантування за рівнем зводиться до округлення дискретних значень сигналу до значень, що відповідають найближчим дозволеним рівням.

Кодування – останній етап, який полягає у перетворенні квантового сигналу $X(t)_{\text{кв}}$ у цифровий код. Число імпульсів в кодовій групі прямо пропорційне до рівня квантового сигналу.

Часова дискретизація вимірювального сигналу має сенс, коли його величина змінюється в часі. Якщо вимірювальний сигнал постійний, достатньо здійснити квантування.

Особливим випадком є вимірювання часу (часового інтервалу). Процес дискретизації тут втрачає значення, і здійснюється квантування самого часу.

При дискретизації і квантуванні сигналу виникає похибка перетворення. Безперервна функція $X(t)$ аналізується тільки в моменти дискретизації. На інтервалі між двома відліковими точками сигнал вважається незмінним. Зменшення інтервалу Δt , тобто зближенням відлікових точок можна добитися зближенням відлікових точок можна добитися зниження похибки до допустимої величини. При вимірюванні постійних величин похибка перетворення, пов'язана з дискретизацією, дорівнює нулю. Похибка, що виникає при квантуванні

безперервної величини, що вимірюється, обумовлена кінцевим числом рівнів квантування. Ця похибка характерна для всіх ЦВП, вона носить назву похибки дискретності Δ_d . При рівномірному квантуванні похибка Δ_d знаходиться в межах $0 \leq \Delta_d \leq \Delta X$.

Наступний етап перетворень в ЦВП полягає в перетворенні цифрового коду в показ цифрового відлікового пристрою. Для цього необхідний дешифратор, який перетворює кодові групи у відповідні напруги, що управляють роботою цифрового індикатора.

Розглянута послідовність перетворень, здійснювана в аналого-цифровому перетворювачі (АЦП), дешифраторі і цифровому індикаторі, звичайно дає спрощене уявлення про роботу ЦВП. Прикладом може служити випадок вимірювання постійної величини. Для цього достатньо одного циклу перетворень, в результаті якого вийде кодова група. Але кодова група це «пакет» імпульсів, переданий протягом короткого інтервалу часу. Результат вимірювань повинен зберігатися на екрані достатньо довго, наприклад до наступного циклу. Тому до складу ЦВП повинен входити пристрій, що запам'ятовує (ЗП).

Крім АЦП до цифрових перетворювачів відносяться цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП), які призначені для виконання зворотної (оберненої) для АЦП операції, тобто для перетворення цифрового коду в аналогову і величину. АЦП і ЦАП застосовуються також у вимірювальних, інформаційних, керуючих системах відслідковування і діагностики об'єкту, тому виготовляються промисловістю у вигляді автоматичних пристроїв.

Залежно від виду вимірюваних величин ЦВП діляться на:

- 1) вольтметри постійного та змінного струму;
- 2) вимірювачі частоти та інтервалу часу;
- 3) омметри та мости постійного та змінного струму;
- 4) комбіновані прилади (мультиметри);
- 5) вимірювачі потужності;
- 6) фазометри;
- 7) спеціалізовані ЦВП, призначені для вимірювання температури, витрати, швидкостей, механічних напружень тощо.

Література

1. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення. Чинний від 2021-01-01. Вид. офіц. Київ : ДержстандарТ України, 1994. URL : <https://metrology.com.ua/ntd/skachat-dstu-gost-gost-r/dstu/dstu-2681-94/> (дата звернення: 18.05.2021).
2. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05.06.2014 р. № 1314-VII : станом на 1 трав. 2021 р. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18> (дата звернення: 18.05.2021).
3. Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т., Грабко В. В. Основи метрології та електричних вимірювань: підруч. Херсон : Олді-плюс, 2013. 538 с.
4. Метрологія і стандартизація : метод. вказівки до практ. занять для студ. бакалаврського рівня вищ. освіти «Архітектура та будівництво», спец. 193 «Геодезія та землеустрій» / уклад. О. І Терещук та ін. Чернігів : ЧНТУ. 2018. 59с.
5. Нестерчук Д. М., Квітка С. О., Галько С. В. Основи метрології та засоби вимірювань : навч. посіб. Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. 256 с.
6. Основи метрології та електричних вимірювань. Частина I : конспект лекцій / уклад. В. В. Кухарчук. Вінниця : ВНТУ, 2020. 148 с.

Навчальне видання

МЕТРОЛОГІЯ

методичні рекомендації для виконання практичних та лабораторних
занять для здобувачів вищої освіти СВО «Бакалавр»
спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»
денної форми навчання

Укладачі:

Патрєва Людмила Семенівна
Стародубець Олексій Олександрович
Каницька Ірина Вікторівна

Формат 60×84 1/16 Ум. друк. арк. 3,9
Тираж 15 прим. Зам № _____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.