

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
для студентів напряму підготовки
8.050502 «Технологія машинобудування»

Обговорено і рекомендовано до
видання на засіданні кафедри
технологій машинобудування та
деревообробки
протокол №9 від 14.06.16 р.

Чернігів ЧНТУ 2016

Метрологічне забезпечення сучасних технологій. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 8.050502 «Технологія машинобудування». – Чернігів: ЧНТУ, 2016. – 108 с.

Укладач: КОСМАЧ ОЛЕКСАНДР ПАВЛОВИЧ, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технологій машинобудування та деревообробки

Відповідальний за випуск: СТУПА ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ, завідувач кафедри технологій машинобудування та деревообробки, доктор технічних наук, професор

Рецензент: ЄРОШЕНКО АНДРІЙ МИХАЙЛОВИЧ, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування та деревообробки Чернігівського національного технологічного університету

Зміст

ВСТУП.....	4
Лабораторна робота № 1.....	5
Лабораторна робота №2.....	20
Лабораторна робота №3.....	34
Лабораторна робота № 4.....	44
Лабораторна робота №5.....	55
Лабораторна робота №6.....	71
Лабораторна робота №7.....	81
Лабораторна робота №8.....	95
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	107

ВСТУП

Вимірювання і контроль є базовими процедурами експериментальної інформатики, які дають, відповідно, кількісну, у вигляді числа, або якісну, у вигляді висновку, інформацію про стан об'єкта або технологічного процесу. В основі кожної процедури лежить експеримент, який стає більш складним з ускладненням процедури експериментальної інформатики - випробування, діагностування, дослідження, моніторинг. В зв'язку з цим без вимірювань фізичних величин на сьогодні неможливо уявити існування не тільки технічних наук і промисловості, але й сільського господарства, біології, медицини, охорони довкілля та ін.

Засоби експериментальної інформатики представляють собою технічні засоби, які мають нормовані метрологічні характеристики. Серед засобів створення інформації основними є засоби вимірювань і контролю, значимість яких визначається: по-перше, найбільш високим рівнем точності вимірюваної і ймовірності контрольованої інформації; по-друге, тенденцією не тільки до автоматизації, але й до їх інтелектуалізації; по-третє, їх широким використанням в усіх інших інформаційних процедурах.

Тому в експериментальній інформатиці поступово формуються загальні поняття, швидко розвиваються і поняття в галузі вимірювань і контролю. Прискорений темп розвитку науки про вимірювання та вимірювальну техніку в останні десятиріччя зумовив появу нових термінів та понять, а також нових підходів до принципів побудови засобів вимірювання та контролю.

Тому вивченню основних методів вимірювань та засад створення засобів вимірювальної техніки, що ґрунтуються на даних методах, і приділяється відповідна увага при підготовці фахівців напряму «Технологія машинобудування».

Слід зауважити, що поряд із знаннями про основні фізичні закони, що покладені в основу вимірювань, майбутньому спеціалісту необхідно засвоїти знання з розробки й проектування засобів вимірювань та джерел виникнення похибок останніх. Саме тому виконання лабораторних робіт з дисципліни «Метрологічне забезпечення сучасних технологій», в ході якого майбутні інженери здобувають науковий досвід розробки та удосконалення засобів вимірювальної техніки, набуває все більшої ваги та значущості.

Лабораторна робота № 1

ЗАСОБИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ТА ЇХ ПОВІРКА

1.1 Мета роботи

Ознайомитися з основними засобами вимірювання лінійних розмірів та виконати повірку штангенциркуля, зробити висновок про його придатність для проведення подальших вимірювань.

1.2 Теоретичні відомості

Основні положення системи метрологічного нагляду регламентовані ДСТУ. Ця система охоплює комплекс правил, положень і вимог технічного, економічного і правового характеру, які визначають організацію і порядок проведення робіт по повірці, метрологічній ревізії і експертизі засобів вимірювання.

Повірка засобів вимірювання проводиться, щоб ствердити їх придатність для застосування за призначенням. Передбачено первинну, періодичну, позачергову та інспекційну повірки.

Первинна повірка засобів вимірювання проводиться при їх випуску і після ремонту. Періодичній повірці підлягають засоби вимірювання, які перебувають в експлуатації або на зберіганні. Позачергова повірка проводиться: при пошкодженні клейма, пломби і при втраті документів про періодичну повірку; при введенні в експлуатацію імпортованих засобів вимірювання; коли минула половина гарантійного терміну на засоби вимірювання, які служать комплектуючими виробами тощо. Інспекційна повірка відбувається при метрологічній ревізії.

Метрологічна ревізія засобів вимірювання проводиться на підприємствах, які виготовляють, ремонтують чи експлуатують засоби вимірювання, а також у організаціях, які їх зберігають і продають. Мета ревізії – удосконалення парку засобів вимірювання і підвищення ефективності метрологічного забезпечення виробництва. Під час ревізії контролюють: наявність і правильність технічної документації на засоби вимірювання і на контрольно-вимірювальні операції; технічний рівень і правильність експлуатації засобів вимірювання; якість засобів вимірювання, які випускаються, ремонтуються чи зберігаються, умови їх зберігання і т. ін. На підставі результатів метрологічної ревізії вживають заходів по ліквідації недоліків, вносять пропозиції щодо удосконалення метрологічного забезпечення.

Метрологічна експертиза проводиться при виникненні спірних питань щодо оцінювання стану засобів вимірювань, методів і засобів їх повірки, правильності їх застосування.

Органи метрологічного нагляду. Метрологічний нагляд здійснюється єдиною метрологічною службою, яка підлегла Державному комітету стандартів.

Основні правила повірки засобів вимірювань. Всі засоби вимірювань підлягають обов'язковій державній або відомчій повірці. Виняток становлять індикатори, призначені для спостережень за зміною фізичних величин без оцінки їх значень з нормованою точністю, а також навчальні засоби вимірювань.

Повірку засобів вимірювань можуть проводити тільки органи метрологічної служби, які мають відповідний дозвіл. Цей дозвіл видається їм, якщо вони мають умови, необхідні для забезпечення належної якості повірки (засоби, кадри, нормативну документацію, приміщення).

Повірка має проводитися відповідно до вимог державних стандартів на методи і засоби вимірювань.

Основними операціями повірки засобів вимірювань є визначення їх похибок з допомогою зразкових засобів вимірювань, похибки яких в три-п'ять разів менші. Перелік характеристик і ознак, що підлягають повірці, регламентується нормативно-технічною документацією на засіб вимірювання, зокрема технічними умовами.

Результати повірки оформляються протоколом, у якому вказані формальні дані (назва, тип, завод-виготовлювач, рік випуску, номер) і номінальні характеристики засобу вимірювань; дані зразкових засобів вимірювань; дані про умови повірки (температура, тиск, вологість); результати кожного окремого спостереження при вимірюваннях у процесі повірки; висновки про придатність або непридатність засобу вимірювання, який повіряється, для його використання за призначенням.

Засоби вимірювань, які не задовольняють технічні вимоги хоча б по одній з ознак, що підлягають повірці, визнаються непридатними.

Плоскопаралельні кінцеві міри довжини.

Плоскопаралельні кінцеві міри довжини (ПКМ або плитки) – сталі прямокутники з двома плоскими взаємно паралельними сторонами, які є постійними, а розміри по висоті у них різні. Кінцевими мірами плитки називаються тому, що точний розмір у них утворюється по кінцям прямокутника (рис.1.1). Робочим розміром окремої плитки є "середня довжина", яка визначається довжиною перпендикуляра, опущеного з середини однієї з вимірювальних поверхонь плитки на протилежну вимірювальну поверхню.

ПКМ діляться по точності вимірювання, тобто за величиною допуску на виготовлення, на 7 класів: 00,0,1,2,3,4,5.

По точності атестації робочих розмірів, тобто по точності, з якою виміряний розмір самої плитки, на 5 розрядів: 1,2,3,4,5. Плиткам, у яких найбільш точно атестовані розміри, присвоюється перший розряд, а плитки 5-ого розряду мають більш грубу атестацію розміру. Так, у плитки першого

розряду з номінальним розміром 100 мм значення 100 мм визначено(атестовано) с точністю $\pm 0,1$ мкм, а у плитки 5-ого розряду той же розмір 100 мм – з точністю ± 2 мкм.

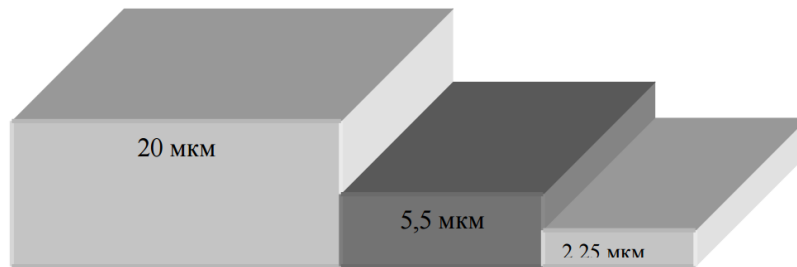


Рисунок 1.1 – Кінцеві міри довжини

По плиткам повіряють і наструюють різноманітні вимірювальні засоби, наприклад, при відносних методах вимірювання. Плитки мають різні розміри від 0,0991 до 175 мм та комплектуються в набори склад яких визначає ГОСТ 9038-73. Так названий мікронний набір плиток має у складі 19 плиток, які відрізняються один від одного розмірами. Існують різні набори плиток: міліметрові (має діапазон розмірів від 0,5 до 100 мм) та мікронні набори, можуть бути додатні та від’ємні.

Для того щоб налагодити вимірювальний засіб необхідно скласти блок кінцевих мір, для чого декілька плиток притираються одна до одної і збираються в блоки з двох, трьох. Але не більше 5-ти штук. Набір притертих плиток не розсипається, бо їх поверхні дуже ретельно оброблені та скріплюються між собою, якщо насувати одну плиту на другу.

З них можна складати блоки будь-яких розмірів (рис.1.2.). Зчеплення пластинок мір забезпечується силами молекулярного притягання найтонших мастильних плівок на їхніх поверхнях. Міри абсолютно знежирені або з товстим шаром мастила не притираються.

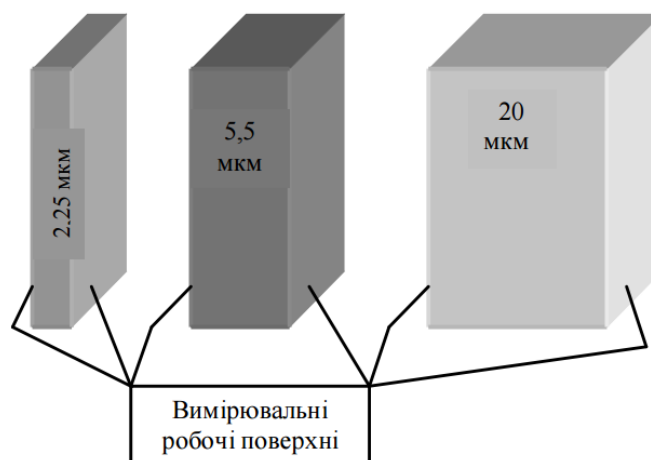


Рисунок 1.2 – Розмір блоку кінцевих мір

Для меншого зношення мір при складанні блоків з кінцевих мір слід прагнути, щоб вони склались із можливо меншої кількості. На кожній мірі гравірується її розмір. На мірах, менших за 5,5 мм, номінальний розмір наноситься на одній із вимірювальних поверхонь; більших за 5,5мм – на боковій неробочій поверхні.

Прийоми складання блоків зводяться до таких дій. Кінцеві міри попередньо очистити від мастила ватою, промити чистим бензином та витерти насухо. Потім одну з мір накласти на іншу, приблизно на третину довжини робочої поверхні, і щільно притискаючи пальцями, просунути вздовж великої осі до повного контакту робочих поверхонь. Якщо після цього легким зусиллям не можна роз'єднати складений блок, міри вважаються притертими. Після притирання двох кінцевих мір до них притирають третю.

Послідовність при складанні блоку звичайно така: спочатку притирають кінцеві міри малих розмірів, після чого складений з них блок притирають до міри середнього розміру, а потім вже до плитки великого розміру. 2.4. Правила роботи з плитками.

Для запобігання зайвого промивання кінцевих мір і дряпання їхніх робочих поверхонь потрібно виконувати такі правила:

- 1) не брати робочі поверхні промитих кінцевих мір руками;
- 2) кінцеві міри, більші за 5,5мм, класти на стіл тільки неробочими поверхнями;
- 3) не притирати робочу поверхню кінцевої міри до неробочої (це викликає появу подряпин на робочій поверхні);
- 4) до блоку складати не більше 4-5 мір для зменшення його похибки;
- 5) після закінчення роботи блок слід розібрати, кінцеві міри промити в бензині, змастити та покласти у відповідні гнізда футляра набору.

Для того, щоб скласти необхідний розмір з найменшої кількості плиток, слід підібрати перш за все такі міри, розмір яких має тисячні долі міліметра, потім – соті долі. В останню чергу підбираються пластини, розмір яких складає цілі та десятки цілих міліметрів. Розглянемо викладені положення на прикладі. Треба скласти блок розміром 28, 785 мм. Перша міра, що входить до блоку – 1,005 мм. Залишок – 27,78 мм. Друга міра, що входить до блоку – 1,28 мм. Залишок – 26,50 мм. Третя міра, що входить до блоку – 6,50 мм. Залишок (четверта міра блоку) – 20,00 мм.

До найбільш розповсюдженого вимірювального засобу лінійних розмірів на виробництві є *штангенінструмент*.

Штангенінструменти – це універсальні вимірювальні засоби, що застосовуються на машинобудівних і ремонтних підприємствах. Їх використовують для вимірювань неточних розмірів (10-ий квалітет і нижче),

розмітки деталей та інших робіт. Метод вимірювання штангенінструментами - прямий, який дає дійсне значення величини.

Штангенциркуль (рис. 1.3) використовується для вимірювання зовнішніх та внутрішніх розмірів з точністю 0,1 та 0,05 мм (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Метрологічні показники штангенциркуля у міліметрах

Тип	Межа вимірювання	Ціна поділки
ШЦ I	0 ... 125	0,1
ШЦ II	0 ... 160	0,05
ШЦ III	0 ... 250	0,05
...
ШЦ II	2000 – 4000	0,1

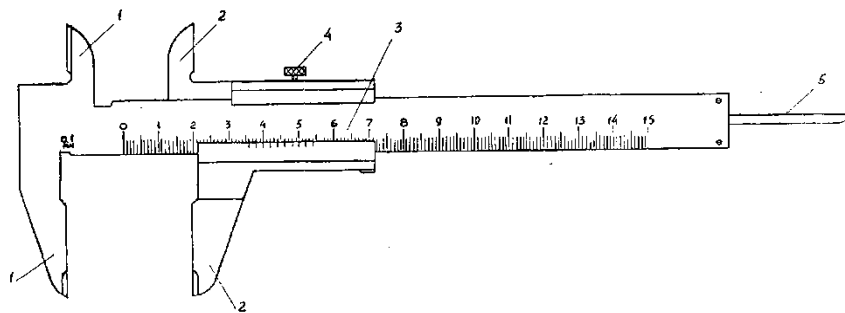


Рисунок 1.3 –Штангенциркуль типу ШЦ-I: 1 – штанга; 2 – рамка з ноніусом (точна шкала на рамці); 3 – шкала штанги; 4 – стопорний гвинт; 5 – глибиномір

Доштангенінструментів належать штангенциркуль, штангенглибиномір і штангенрейсмус. Усі види штангенінструментів мають штангу, на якій нанесено шкалу (міліметрові поділки), і відліковий пристрій з ноніусом(додаткові шкали) для відліку цілих і дробових величин з ціною штанги 0,1 та 0,05 мм.

Штангенциркулі випускають чотирьох типів.

Штангенциркулі типу ШЦ-I – двосторонній з глибиноміром, типу ШЦТ-I – односторонній з глибиноміром і покриттям з твердого сплаву(для зовнішніх вимірювань) з межами вимірювання 0...125 мм і ціною поділки ноніуса 0,1 мм.

Межі припустимих похибок штангенінструментів з ціною поділок 0,05 0,1 мм 1-ого класу точності розраховуються за належністю $\pm (50+0,1 L)$ мкм. Де L – вимірюване значення, мм.

Приклад умовного позначення штангенциркуля типу ШЦ-II з межами вимірювання 0...250 мм і ціною поділки ноніуса 0,05 мм:

Штангенциркуль ШЦ-II –250 –0,05, ГОСТ 166-80; штангенглибиномір (ШГ) з ціною поділки по ноніусу 0,05 мм і межами вимірювання 0...250 мм застосовується при вимірюванні глибин в отворах і пазах невеликих розмірів.

Для точного вимірювання лінійних розмірів, які мають не великі розсіювання значень використовують мікрометричні вимірювальні засоби.

До мікрометричних інструментів належать мікрометр, мікрометричний глибиномір, мікрометричний нутромір, мікрометр для внутрішніх вимірювань.

Мікрометри гладкі (типи МК) застосовують для вимірювання зовнішніх поверхонь (рис. 1.4).

Ціна поділки шкали 0,01 мм. Вимірювальне пересування мікрометричного гвинта 25 мм. Діапазон вимірювання 0...25 мм.

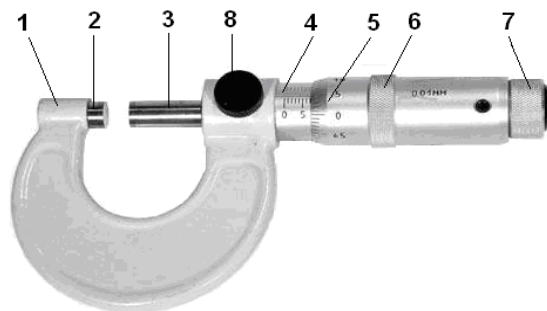


Рисунок 1.4 –Мікрометр гладкий: 1 – скоба; 2 – нерухома вимірювальна п'ятка; 3 – мікрометричний гвинт; 4 – стебло; 5 – кругова шкала барабана; 6 – барабан; 7 – тріскачка; 8 – стопорний гвинт або гайка

На стеблі 4 є дві шкали, верхня та нижня, з ціною поділки 1 мм, причому верхня зміщена вправо відносно нижньої на 0,5 мм. На барабані 6 є кругова шкала з ціною поділки 0,01 мм. Межа вимірювання шкали 0,5 мм.

Вимірювання виконується так: з нижньої шкали стебла 4 зчитуємо цілі міліметри, а потім, якщо до торця барабана ближче поділка нижньої шкали, то до цілих міліметрів додаємо значення кругової шкали барабана. Якщо ж до торця барабана ближче поділка верхньої шкали стебла то до цілих міліметрів додаємо 0,5 мм, а потім значення кругової шкали барабана.

Для обмеження вимірювального зусилля в межах (500 ± 200) Н. Мікрометри оснащені стабілізатором у вигляді тріскачки. Похибка вимірювання мікрометра залежить від верхньої межі вимірювання і може

становити від ± 4 мкм (для мікрометрів з діапазоном вимірювання 0...100 мм) до $+ 10$ мкм(для мікрометра з діапазоном вимірювання 0...6000 мм).

Мікрометр дає точні показання тільки в тому випадку, якщо деталь затискається без перекосу, плавним обертанням тріскачки 7, яка стабілізує силу закріплення деталі при вимірюванні (силу вимірювання). У процесі експлуатації, в результаті зносу деталей, мікрометр втрачає точність вимірювання, тому його періодично перевіряє служба метролога підприємства. Для перевірки мікрометр установлюється в спеціальну підставку. Перевірка виконується у відповідності з ГОСТ 6507-60.

Мікрометр вважається придатним для подальших вимірювань, якщо жодна з його похибок не перевищує допустимої похибки.

Вибирають вимірювальні засоби (від інструменту і ціни його поділки) відповідно до вимог технології виготовлення, ремонту і складання машин.

При складанні деталі, перевірені не досить точним інструментом, можуть дати інші зазори або натяги, ніж це передбачав конструктор. Коли ж застосовують надмірно точний, отже, й дорожчий та складніший в обслуговуванні інструмент, зростає вартість виготовлення і відновлення деталі.

При виборі вимірювальних засобів і методів контролю виробів враховують сукупність метрологічних, експлуатаційних і економічних показників. До метрологічних показників відносяться допустима похибка вимірювального приладу або інструмента, ціна поділки шкали, поріг чутливості, границі вимірювання та інші. До експлуатаційних і економічних показників відносять вартість і надійність вимірювальних засобів, тривалість роботи (до ремонту), час, затрачений на наладку і процес вимірювання, маса, габаритні розміри і робоче навантаження.

Основним фактором є допустима похибка вимірювальних засобів, що впливає з стандартизованого визначення дійсного розміру, як і розміру, який одержуємо в результаті вимірювання з допустимою похибкою.

Вибір вимірювальних засобів залежить від наступних факторів:

- тип виробництва;
- вид поверхні;
- точність розміру.

Для багатосерійного та масового виробництва застосовують спеціальні вимірювальні засоби або прилади.

Вибір вимірювального засобу в залежності від точності вимірювання залежить від допустимої похибки, яка розраховується по формулі:

$$\Delta = K \cdot T, \text{ мм}$$

де K – коефіцієнт, що залежить від квалітету, який вибирається по таблиці
 T – допуск розміру.

Таблиця 1.2 – Зв’язок квалітету коефіцієнту точності

Квалітет	01-5	6-7	8-9	10-16
“К”	0,35	0,3	0,25	0,2

Задача. Підібрати вимірювальний засіб для вимірювання розміру 45H8 (+0,039)

Розв’язання: $\Delta = 0,25 \cdot 0,039 = 0,0097$ мм.

При цьому необхідно дотримуватись умови $\Delta > i$.

Вибираємо вимірювальний засіб для вимірювання внутрішнього розміру з ціною поділки $-0,002$ мм, що відповідає умові (1). Це і є індикаторний нутромір.

1.3 Оснащення роботи

Прилади

1. Засіб: штангенциркуль;
2. Металева вимірювальна лінійка ГОСТ 427;
3. Плоскопаралельні кінцеві міри довжини ГОСТ 9038;
4. Ролик ГОСТ 2475;
5. Повірочна плита ГОСТ 10905.

Нормативно-технічна документація

1. ГОСТ 166-89 Штангенциркулі. Технічні умови;
2. ГОСТ 8.113-85 ГСИ. Штангенциркулі. Методика повірки;
3. Штангенциркуль. Паспорт.

Таблиця 1.3 – Метрологічні характеристики вимірювальних засобів

Характеристика	Штангенциркуль	Мікрометр	Вимірювальна лінійка	Пласкопаралельні кінцеві міри довжини
Діапазон вимірювання, мм				значення міри
Ціна поділки, мм				
Межа допустимої похибки, мм				
клас точності				

1.4 Методика виконання роботи

1. Визначити порядок та умови проведення повірки, вивчивши нормативно-технічну документацію;
2. Провести зовнішній огляд;
3. Провести опробування;
4. Визначити метрологічні характеристики;
5. Оформити результати повірки.

1.5 Умови повірки та підготовка

Умови повірки повинні відповідати умовам, встановленим в ГОСТ 8.113 п.2.

Визначте умови в аудиторії і зробіть висновок про можливість проведення повірки штангенциркуля в даних умовах. Підготуйте штангенциркуль до проведення повірки відповідно до ГОСТ 8.113 п.2.

1.6 Порядок виконання повірки

1.6.1 Зовнішній огляд

✓ При зовнішньому огляді повинна бути встановлено:

- Відповідність штангенциркуля вимогам ГОСТ 166 п.2.25 та п.2.26 в частині виразності та правильності оцифровки штрихів шкал, комплектності та маркування;
- Наявність затискного пристрою для затиску рамки, шкал на штанзі і рамці (ГОСТ 8.113 п.3.1).

Не допускаються:

- помітні при візуальному огляді дефекти, що погіршують експлуатаційні якості і перешкоджають відліку показань;
- перекис краю ноніуса до штрихів шкали штанги, що перешкоджає відлік показань.

Відобразіть в протоколі відповідність штангенциркуля вимогам ГОСТ 166 п.2.25 та п.2.26, а також ГОСТ 8.113 п.3.1.

1.6.2 Випробування

✓ При випробуванні перевіряють:

- плавність переміщення рамки разом з пристроєм тонкої настройки рамки;
- можливість поздовжнього регулювання ноніуса;
- відсутність переміщення рамки під дією власної маси;
- можливість затиску рамки в будь-якому положенні в межах діапазону вимірювання;
- знаходження рамки з ноніусом по всій її довжині на штанзі при вимірюванні розмірів, рівних верхній межі вимірювання;

- відсутність поздовжніх подряпин на шкалі штанги при переміщенні по ній рамки (візуально).

Відобразіть в протоколі працездатність штангенциркуля і дотримання вимог ГОСТ 8.113 п.3.2.

1.6.3 Визначення метрологічних характеристик

✓ Довжину вильоту губок визначають за допомогою металевої вимірювальної лінійки. Довжина вильоту губок (ГОСТ 166 п.1.1) повинна відповідати значенням, встановленим в ГОСТ 166 п.1.5. Допускається зменшення довжини вильоту губок до 30 мм і зменшення довжини губок для внутрішніх вимірювань на $\frac{1}{4}$ їх довжини порівняно зі значеннями, наведеними в ГОСТ 166 п.1.5.

Відобразіть в протоколі результати вимірювання довжини вильоту губок у вигляді таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Результати вимірювання довжини вильоту губок

Характеристика (ГОСТ 166 п.1.1 черт.1 - 4)	Вимірне значення	Нормативне значення за ГОСТ 166 п. 1.5	Висновок (відповідає / не відповідає)
1. Довжина вильоту губок для вимірювання зовнішніх розмірів l, мм			
2. Довжина вильоту губок для вимірювання внутрішніх розмірів l1, мм			

✓ Відхилення від паралельності плоских вимірювальних поверхонь губок для вимірювання зовнішніх розмірів визначають за допомогою кінцевих мір довжини і ролика (ГОСТ 8.113 п.3.3.6) при трьох положеннях рухомої губки, близьких до меж вимірювань і середині діапазону виміру штангенциркуля.

За відхилення від паралельності плоских вимірювальних поверхонь губок приймають найбільшу різницю вимірюваних відстаней при кожному положенні рухомої губки, яка не повинна перевищувати значень, встановлених в ГОСТ 166 п. 2.6.

Відобразіть в протоколі результати визначення відхилення від паралельності плоских вимірювальних поверхонь губок для вимірювання зовнішніх розмірів, заповнивши таблицю 1.5.

✓ Відхилення від паралельності вимірювальних поверхонь губок для внутрішніх вимірювань штангенциркулем типу ШЦ-І і відстань між ними визначають гладким мікрометром при затягнутому затиску рамки. Штангенциркуль встановлюють на розмір 10 мм за кінцевий міру довжиною 10 мм. Мікрометром вимірюють відстань між вимірювальними поверхнями губок в двох або трьох перетинах за довжині губок. Різниця відстаней дорівнює відхиленню від паралельності вимірювальних поверхонь і не повинна перевищувати значень, встановлених в ГОСТ 166 п. 2.6.

Таблиця 1.5 – Результати визначення відхилення від паралельності плоских вимірювальних поверхонь губок для вимірювання зовнішніх розмірів

Положення рухомої губки	Номер виміру, і	Результат вимірювання a_i , мм	Відхилення Δa_i , мм	Нормативне значення Δa_N , мм (ГОСТ 166 п. 2.6)	Висновок
Близько до нижньої межі вимірювання	1		$\Delta a_I = a_1 - a_2$		
	2				
В середині діапазону виміру	3		$\Delta a_{II} = a_3 - a_4$		
	4				
Близько до верхньої межі вимірювання	5		$\Delta a_{III} = a_5 - a_6$		
	6				

Відобразіть в протоколі результати визначення відхилення від паралельності плоских вимірювальних поверхонь губок для вимірювання внутрішніх розмірів, заповнивши таблицю 1.6.

Таблиця 1.6 – Результати визначення відхилення від паралельності плоских вимірювальних поверхонь губок для вимірювання внутрішніх розмірів

Номер виміру, i	Результат вимірювання b_i , мм	Відхилення $\Delta b = b_1 - b_2$, мм	Нормативне значення Δb_N , мм (ГОСТ 166 п. 2.6)	Висновок
1				
2				
3				

✓ Похибка штангенциркулів типу ШЦ-I при вимірюванні глибини визначають за кінцевими мірами довжиною 30 мм. Дві кінцеві міри встановлюють на плоску скляну пластину або перевірочну плиту. Торці штанги притискають до вимірювальних поверхонь кінцевих мір. Лінійку глибиноміра переміщують до зіткнення з площиною скла або плити і виконують відлік. Похибка штангенциркуля при вимірюванні глибини не повинна перевищувати значення, встановленого в ГОСТ 166 п. 2.4.

Відобразіть в протоколі результати визначення похибки штангенциркуля при вимірюванні глибини, заповнивши таблицю 1.7.

Таблиця 1.7 – Результати визначення похибки при вимірюванні глибини

Результат вимірювання h , мм	Еталонне значення $h_{\text{эт}}$, мм	Похибка $\Delta h = h - h_{\text{эт}}$, мм	Нормативне значення Δh_N , мм (ГОСТ 166 п. 2.4)	Висновок

✓ Похибка штангенциркулів визначають за кінцевим мірам довжини. Блок кінцевих мір довжини поміщають між вимірювальними поверхнями губок штангенциркуля. Зусилля зсування губок має забезпечувати нормальне ковзання вимірювальних поверхонь губок за вимірювальним поверхням кінцевих мір довжини при відпущеному стопорному гвинті рамки. Довге ребро вимірювальної поверхні губки повинно бути перпендикулярно до довгого ребра кінцевої міри довжини і перебувати в середині вимірювальної поверхні.

В одній з точок визначають похибку при затиснутому стопорному гвинті рамки, при цьому має зберігатися нормальне ковзання вимірювальних поверхонь губок за вимірювальним поверхням кінцевих мір.

У штангенциркулів, що випускаються з ремонту і перебувають в експлуатації, похибка визначають у трьох точках, рівномірно розташованих за довжині штанги і ноніуса.

Похибка для кожної пари губок не повинна перевищувати значень, встановлених в ГОСТ 166 п. 2.3.

Відобразіть в протоколі результати визначення похибки штангенциркуля, заповнивши таблицю 1.7.

Таблиця 1.8 – Результати визначення похибки

Положення рухомий губки	Номер виміру, і	Результат вимірювання, мм	Еталонне значення, мм	Похибка $\Delta c_i = c_i - c_N$, мм	Нормативне значення Δc_N , мм (ГОСТ 166 п. 2.6)	Висновок
Близько до нижньої межі вимірювання	1					
В середині діапазону виміру	2					
Близько до верхньої межі вимірювання	3					

Перевіряють нульову установку штангенциркуля. Для штангенциркулів типу ШЦ-I при зрушених до зіткнення губках зміщення штриха ноніуса має бути в плюсову сторону. Зміщення нульового штриха визначають за

допомогою кінцевої міри довжиною 1,05 мм, яку переміщують між вимірювальними поверхнями губок. При цьому показання штангенциркуля має бути не більше 1,1 мм (ГОСТ 8.113 п.3.3.11).

Ноніус

Шкала ноніуса ділить ціле число міліметрів основної шкали на певне число частин на рисунку 1.5 представлена шкала ноніуса з ціною поділки 0,1 мм. Довжина ноніуса в цьому випадку дорівнює 19 мм і розділена на 10 частин. Один розподіл (довжина поділу) ноніуса дорівнює $19:10 = 1,9$ мм, що на 0,1 мм менше цілого числа міліметрів.

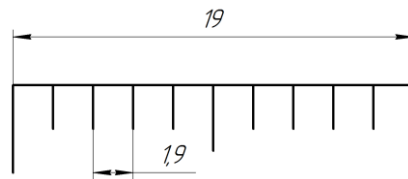


Рисунок 1.5 –Шкала ноніуса з величиною відліку 0,1 мм

На рисунку 1.6 представлена шкала ноніуса з ціною поділки 0,05 мм. Довжина ноніуса 39 мм розділена на 20 частин. Довжина поділки становить $39:20 = 1,95$ мм, що на 0,05 мм менше цілого числа міліметрів.

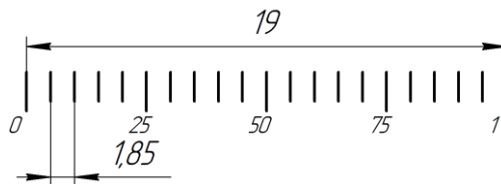


Рисунок 1.6 –Шкала ноніуса з величиною відліку 0,05 мм

Відобразіть в протоколі результати перевірки нульової установки штангенциркуля, заповнивши таблицю 1.9; вкажіть, чи є зміщення нульового штриха ноніуса, якщо є, то в яку сторону (позитивну / негативну) щодо нульового штриха шкали штанги.

Таблиця 1.9 – Перевірка нульової установки

Номер виміру, i	Результат вимірювання e_i , мм	Еталонне значення $e_{\text{эт}}$, мм	Нормативне значення e_N , мм ГОСТ 8.113 п.3.3.11	Висновок
1				
2				
3				

1.7 Порядок виконання роботи

Ознайомитися з принципом дії мікрометра і відліком розміру по його трьох шкалах.

Протерти вимірювальні поверхні мікрометра клаптиком бавовняної тканини, змоченим в авіаційному бензині, оцінити зовнішній вигляд приладу, перевірити дію тріскачки.

Перевірити і, в разі необхідності, відрегулювати нуль мікрометра (відгвинтити гайку 8 відносно барабана 6, сумістити нуль барабана з лінією основної шкали стебла 4 і затягніть гайку 8).

1.8 Оформлення результатів повірки

Відобразіть у висновках:

На підставі проведеної повірки штангенциркуль ____ (позначення штангенциркуля) ____ № __ (заводський номер) ____, виготовлений ____ (виробник штангенциркуля) ____ придатний / не придатний для застосування.

1.9 Питання до самостійної підготовки

1. Що називається повіркою метрологічного засобу?
2. З яких основних етапів складається повірка засобів для вимірювання лінійних розмірів?
3. Як перевіряється зовнішній вигляд вимірювального засобу?
4. Як перевіряється плавність переміщення рухомих елементів засобів вимірювання?
5. Як перевіряється паралельність робочих губок штангенциркуля?
6. Як перевіряється глибиномір штангенциркуля?
7. Який результат формується після повірки вимірювальних засобів?

Лабораторна робота №2

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТИПОВИХ СИГНАЛІВ ТА ЇХ ДИСКРЕТИЗАЦІЯ

2.1 Мета роботи

Ознайомитись з основними видами тестових сигналів та їх характеристиками, а також засобами для їх генерування та реєстрації.

2.2 Теоретична інформація

Аналіз та обробка сигналів лежить в основі вирішення прикладних задач у багатьох науково-технічних областях. Важливою складовою аналізу сигналів є їх класифікація, що базується на поділі сигналів за характером зміни та інформативним змістом.

Фізична природа сигналу може бути різноманітною. Тому до сигналів можна віднести сигнали електричні, магнітні, оптичний сигнал і фізичний процес, що представляє собою матеріальне втілення інформаційного повідомлення – зміни певного параметра носія інформації (напруги, частоти, потужності електромагнітних коливань, інтенсивності світлового потоку тощо) у часі, у просторі або залежно від зміни значень яких-небудь інших аргументів (незалежних змінних) і змістовності певного фізичного стану або процесу, як, наприклад, сигнали світлофора, звукові попереджуючі сигнали тощо.

Сигнали можна розглядати як певні відомості, повідомлення, інформацію про процеси, стани або фізичні величини об'єктів, виражені у формі, зручній для передачі, обробки, зберігання й використання цих відомостей. Якщо врахувати, що сигнали, як правило, описуються ще і математичною залежністю, то отримуємо повне визначення сигналу.

Отже, сигнал – це інформаційна функція, що несе повідомлення про фізичні властивості, стан або поведінку деякої фізичної системи, об'єкта чи середовища. Для виділення корисної інформації з отриманого сигналу проводиться його аналіз. Під "аналізом" сигналів мається на увазі не лише їх чисто математичні функціональні перетворення, але й отримані на основі цих перетворень результати та висновки про специфічні особливості відповідних процесів і об'єктів. Комп'ютерне зображення – результат реєстрації сигналів і їх переведення в цифрову форму, що дозволяє змінювати і відтворювати сигнали з параметрами, що задовольняють поставленим вимогам. Зображення, як об'єкт комп'ютерної обробки, може мати, наприклад форму звуку, графіки або відео. У загальному випадку, теорія комп'ютерної обробки звукової, графічної та відеоінформації підпорядковується положенням теорії цифрової обробки сигналів та зображень. Такі об'єкти комп'ютерної обробки представляються у вигляді набору дискретних значень, по відношенню до яких виконуються дії відповідно до законів обробки сигналів. При

використанні комп'ютерних технологій різні технічні засоби, що використовуються для обробки сигнальної інформації такого типу, об'єднуються на загальній цифровій основі. Незалежно від змісту сигнальної інформації, в комп'ютерах її можливо прийняти, перетворити, передати і т.п.

Звукове зображення (звук) - результат механічної дії звукового сигналу на органи слуху. У типовому випадку середовищем для передачі сигналу є повітря, в якому виникає рух молекул з причини різної щільності в різних ділянках. Коливання повітря проходять через слуховий апарат і збуджують нервові закінчення в корі головного мозку, який аналізує отриману інформацію і надає їй смисловий зміст.

Графічне зображення (графіка, живопис) - результат сприйняття статичних образів зовнішнього середовища за допомогою органів зору. Електромагнітні коливання видимого діапазону, потрапляючи в органи зору, впливають на спеціальні рецептори, зміни в яких повідомляються через нервові волокна в кору головного мозку.

Відеозображення (відео, фільм) - результат сприйняття динамічних образів зовнішнього середовища за допомогою органів зору.

Таким чином, в області комп'ютерної обробки сигналів важливо вивчити як фізичні характеристики об'єктів, так і психофізіологічні особливості сприйняття людиною цього виду інформації.

Метою аналізу сигналів є:

- визначення або оцінка кількісних параметрів сигналів (енергія, середня потужність, середнє квадратичне значення та ін.);
- розкладання сигналів на елементарні складові для отримання все сторонньої, більш повної інформації про сигнал;
- порівняння ступенів "подібності" або "спорідненості" різних сигналів, у тому числі з певними кількісними оцінками.

Сигнали можуть бути об'єктами теоретичних досліджень і практичного аналізу лише тоді, коли визначений їх математичний опис – математична модель.

Математичний опис дозволяє абстрагуватися від фізичної природи сигналу й матеріальної форми його носія, здійснювати класифікацію сигналів, виконувати їх порівняння, встановлювати ступінь тотожності, моделювати системи обробки сигналів. Переважно опис сигналу задається функціональною залежністю певного інформаційного параметра сигналу від незалежної змінної (аргументу) – $s(x)$, $y(t)$ і т.п. При цьому функції математичного опису сигналів можуть бути як дійсними, так і комплексними.

Існуючий математичний апарат для аналізу сигналів досить широкий і використовується на практиці в залежності від типів сигналів, їх характеру зміни, необхідної точності перетворення та обробки.

Детерміновані сигнали – це сигнали, які можна описати явними математичними залежностями і значення яких у будь-який момент часу або в

довільній точці простору (або в залежності від будь-яких інших аргументів) є апріорно відомими, або можуть бути досить точно визначені.

Сигнали, закони зміни яких неможливо описати явними математичними залежностями, оскільки вони носять випадковий характер, відносяться до випадкових. Переважно сукупність їх оцінюється статистичними характеристиками процесу, які вони утворюють, і характеризується законами розподілу ймовірностей, кореляційними функціями, спектральними густинами енергії. У випадку, якщо сигнал є ергодичним, то усі характеристики можуть бути оцінені по одній реалізації в часі.

Реальні сигнали завжди випадкові. На практиці здебільшого мають місце квазідетерміновані сигнали, що описуються функціями з невідомими випадковими параметрами.

1.2.1 Загальна класифікація сигналів

На рисунку 2.1 наведено графічне пояснення до класифікації сигналів.

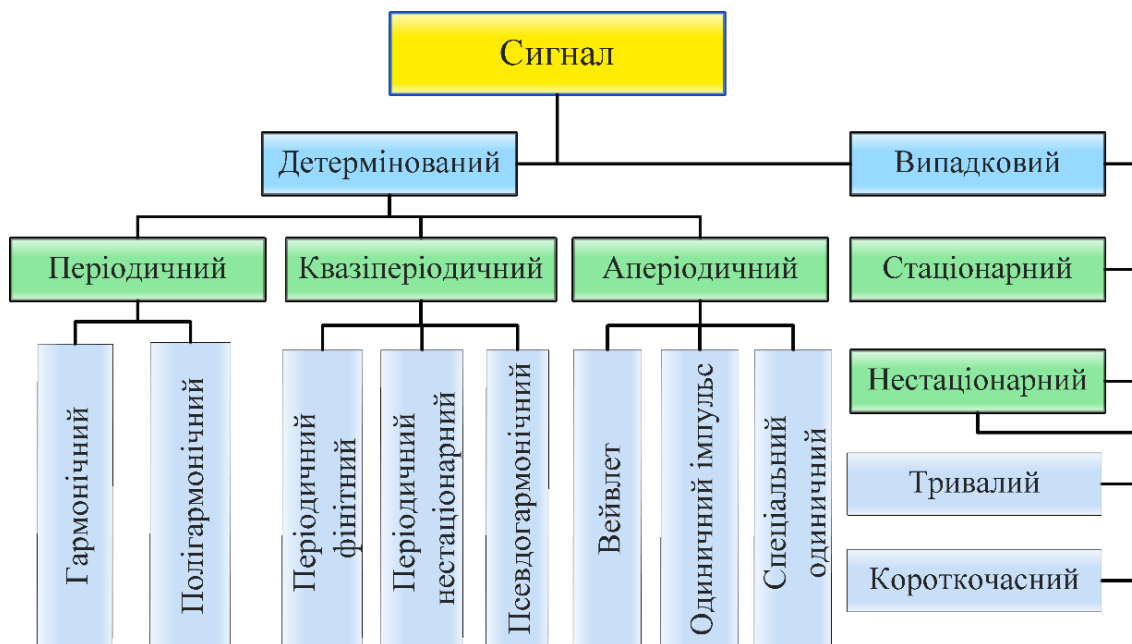


Рисунок 2.1 - Загальна класифікація сигналів

Класифікувати сигнали можна за наступними критеріями.

1. Достовірність представлення. Детерміновані сигнали повністю відомі і їх значення в будь-який момент часу можна визначити точно (звук камертона). Випадкові сигнали приймають конкретні значення з деякою ймовірністю.

2. Періодичність. Для періодичних сигналів виконується співвідношення $s(t+nT)=s(t)$ при будь-якому t , де T - період повторення, n -

довільне ціле число. У квазіперіодичні сигналів це вимога задовольняється при певному рівні відхилення.

3. Закон зміни. Гармонійні сигнали описується виразом $s(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$, тобто повністю визначаються трьома числовими параметрами: амплітудою A , круговою частотою ω , початковою фазою φ .

Полігармонічні сигнали є сумою гармонійних сигналів і описуються виразом $s(t) = \sum_k A_k \cos(\omega_k t + \varphi_k)$.

Періодичні фінітні сигнали існують і можуть розглядатися як періодичні тільки в обмеженому інтервалі часу.

Періодичні нестационарні сигнали мають стійкий напрямок до періодичності з невизначеною похибкою, наприклад інтенсивність сонячної активності, тобто результати вимірювання температури за багато років, що мають приблизно однорічний цикл.

Псевдогармонічні сигнали також є сумою гармонічних сигналів, але без стійкої періодичності, викликані відсутністю кратності в частотному наповненні сигналів.

Аперіодичні сигнали представлені вейвлетами, закон зміни яких відповідає певному набору вимог, одиничними імпульсами різної форми, які описуються математичними функціями, а також спеціальними сигналами, які використовуються, наприклад, в якості тестових.

Випадкові стаціонарні сигнали не визначені за своїми параметрами, але їх статистичні характеристики постійні і можуть бути представлені формалізовано (шум дощу, звук реактивного двигуна, рівень шуму при комп'ютерній обробці звуку).

Випадкові нестационарні сигнали завжди є сигналами кінцевої тривалості і розрізняються за різними ознаками нестационарності, наприклад тривалості перехідних процесів (звук від впади предмета, вібрація при запуску двигуна автомобіля, гуркіт грому, гул потягу, що проходить і т.п.).

До випадкових сигналів відноситься шум. Шум, в якому енергія розподілена по всьому спектру, називається широкосмуговим. Якщо в шумі домінує окрема частота, то шум називається тональним. Шум, у вигляді окремих імпульсів, називається імпульсним.

Усі сигнали володіють мірністю. Сигнал може бути одновимірним (звук, сейсмічні коливання, температура, рельєф поверхні), двовимірним (зображення, значення температури в залежності від часу і простору), тривимірним (об'ємне зображення), багатовимірним (кольорове рухливе зображення).

1.2.2. Загальна характеристика імпульсних сигналів

Сигнал - фізичний процес, що несе інформацію. За природою фізичного процесу діляться на електромагнітні, зокрема електричні (телефонія, радіо, телебачення, мобільний зв'язок, інтернет), світлові

(оптоволоконний кабель), звукові (спілкування людей), пневматичні і гідравлічні (певні галузі автоматики) і ін.

Сигнал має інформативний (несучий інформацію) і неінформативні (що не несе інформацію) параметр. Приклад: якщо інформацію несе амплітуда гармонічного сигналу, то частота і фаза цього сигналу будуть неінформативними.

Імпульсні сигнали - сигнали, інформацію в яких несуть параметри імпульсів. Імпульс - короточасне відхилення фізичного процесу від встановленого значення. Короточасне відхилення має не абсолютне, а відносне значення, тривалість відхилення менше або порівнянна з тривалістю процесу.

Імпульсні сигнали мають переваги перед безперервними сигналами: середня потужність імпульсного сигналу значно менше середньої потужності безперервного сигналу при порівнянній інформаційної ємності. Крім того, в паузах між імпульсами одного сигналу можна передавати імпульси іншого сигналу і тим самим збільшити інформаційну місткість каналу. Одним із спеціальних видів імпульсних сигналів є сигнали цифрової і комп'ютерної техніки.

Існують два види імпульсів: відеоімпульси і радіоімпульси. Відеоімпульси - це короточасне відхилення фізичного параметра, що несе інформацію, від встановленого значення.

Радіоімпульс – це відрізок високочастотного коливання певної форми. Радіоімпульси широко використовують для передачі інформації каналами радіозв'язку, в телебаченні та радіолокації. На практиці використовують послідовності імпульсів, що повторюються через певний інтервал часу.

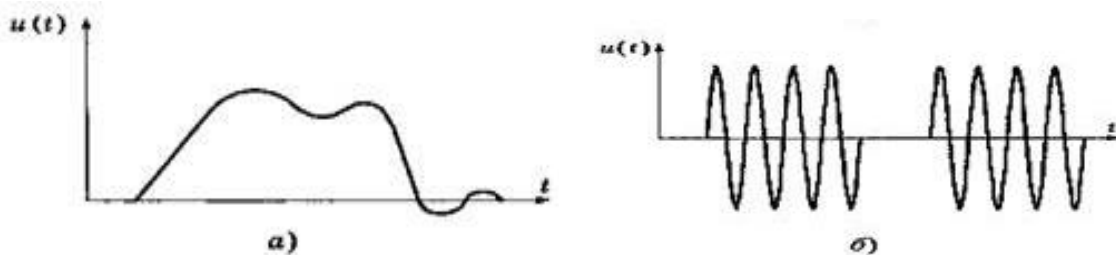


Рисунок 2.2 - Загальний вид імпульсних (а) та періодичних (б) сигналів

Імпульсні сигнали бувають періодичними і неперіодичними. Періодичність вважаються сигнали, значення яких повторюються через певний проміжок часу.

За формою імпульси діляться на: прямокутні, трикутні, пилоподібні та ін. Форми реальних імпульсів відрізняються від ідеальних, внаслідок перекручувань і перешкод, що діють в каналах імпульсних пристроїв.

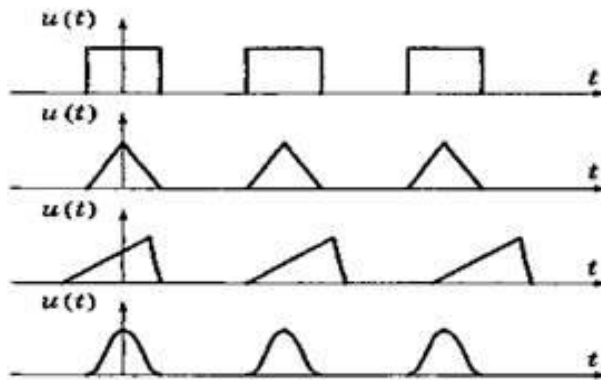


Рисунок 2.3 - Класифікація імпульсних сигналів за формою

Параметри імпульсних сигналів (рисунок 2.4):

Фронт - початкова частина імпульсу, що характеризує наростання інформативного параметра.

Спад - інформативний параметр падає до встановленого значення.

Вершина - частина імпульсу, що знаходиться між переднім і заднім фронтами.

Амплітуда - найбільше відхилення інформативного параметра сигналу від встановленого значення.

Тривалість імпульсу T_1 - відрізок часу, виміряний на рівні, відповідному половині амплітуди.

Період повторення імпульсів T в імпульсній послідовності - інтервал часу між двома сусідніми імпульсами в імпульсній послідовності.

Тривалість фронту імпульсу - це час τ_p наростання імпульсу від 0,1 до 0,9 амплітудного значення, або час спаду τ_c від 0,9 до 0,1 амплітудного значення.

Середнє квадратичне значення імпульсу - значення постійної напруги, який за однакові проміжки часу при однакових значеннях опору виділяє таку ж саму потужність.

Нерівномірність вершини δ - різниця значень на початку і в кінці імпульсу.

Викид на вершині b_1 - короткочасне відхилення сигналу на вершині імпульсу в початковій його частині. Викид в паузі b_2 - короткочасне відхилення сигналу після завершення дії імпульсу.

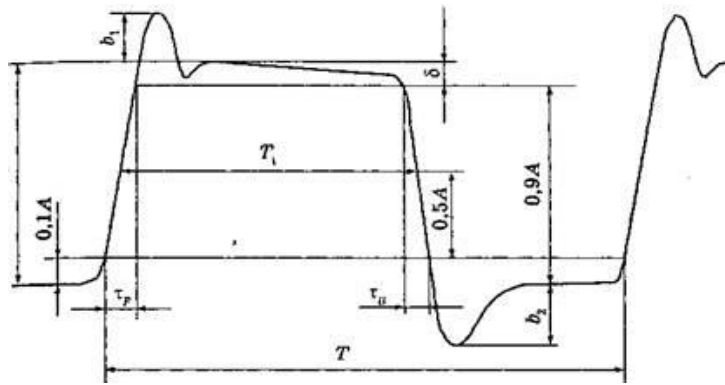


Рисунок2.4 - Основні параметри імпульсних сигналів

Імпульсні сигнали можуть відображатися в аналітичній (у вигляді рівняння) і графічній формах.

$$u(t) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } -\infty < t < 0 \\ U_m, & \text{якщо } 0 \leq t < \tau \\ 0, & \text{якщо } \tau \leq t < \infty \end{cases}$$

Види сигналів по характеру зміни сигналу в часі і по інформативному параметру:

1) безперервні (аналогові) по інформативному параметру і часі сигнали (рисунок2.5, а);

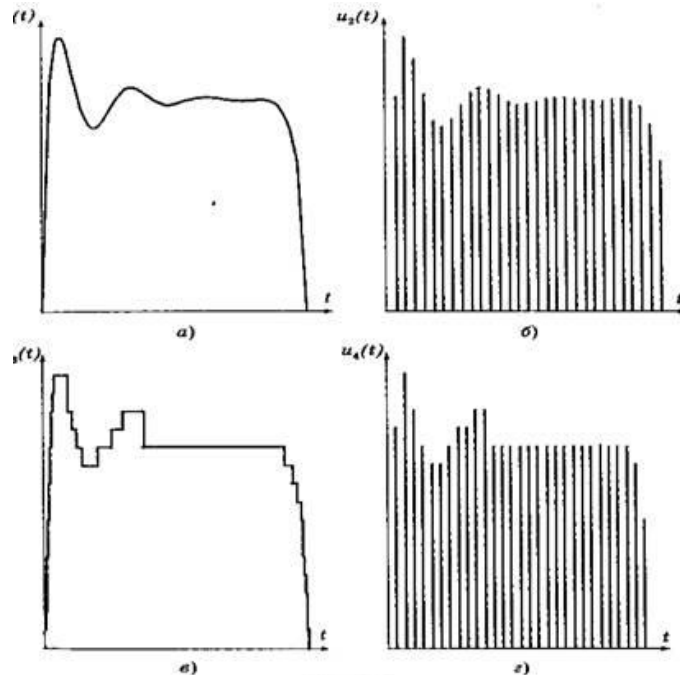


Рисунок2.5 - Класифікація сигналів по характеру зміни в часі

2) безперервні (аналогові) по інформативному параметру і дискретні за часом сигнали – зручно обробляти сучасними вимірювальними приладами, тому аналогові сигнали досліджуваних об'єктів найчастіше перетворюють на дискретні сигнали. (Дискретизація) – інтервал часу між сусідніми

значеннями дискретного сигналу називається інтервалом або періодом дискретизації; величина, обернена до періоду дискретизації - частота дискретизації; Дискретизація буває рівномірною і нерівномірною (рисунки 2.5, б).

3) безперервні (аналогові) за часом сигнали і квантовані (дискретні) по інформативному параметру визначені в будь-який момент часу. Перетворення безперервних сигналів в квантовані називається квантуванням сигналу. Інтервал між двома сусідніми дозволеними рівнями - квант. Квантування буває рівномірне і нерівномірне (рисунки 2.5, в).

4) сигнали дискретні за часом і квантовані за рівнем можуть мати тільки певні дозволени рівні. Саме такі сигнали використовуються в сучасних інформативних технологіях і обробляються сучасними комп'ютерними і мікропроцесорними засобами (рисунки 2.5, г).

Логічні сигнали. Логічні (булеві) величини, тобто величини, які можуть приймати одне з двох можливих значень 0 або 1. На практиці використовують два види логічних сигналів: імпульсні та потенційні. Якщо на початкових етапах розвитку цифрової техніки широко використовувалися імпульсні логічні сигнали, то зараз вони майже повністю витіснені потенційними логічними сигналами.

Імпульсний логічний сигнал приймає значення логічної 1, якщо в перебігу певного, заздалегідь визначеного інтервалу часу існує імпульс певної амплітуди, і значення логічного 0, якщо на протязі цього інтервалу часу такий імпульс відсутній. Система потенційних логічних сигналів вважається позитивною, якщо логічної 1 відповідає вищий, а логічному 0 нижчий з двох можливих рівнів, і негативною (інверсною), якщо логічної 1 відповідає нижчому, а логічному 0 - вищому з двох можливих рівнів.

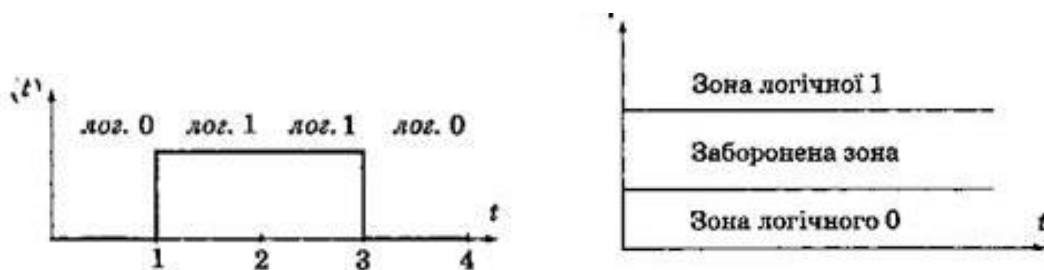


Рисунок 2.6 - Класифікація логічних сигналів: імпульсний (а) та потенційний (б) сигнали

Вхідні і вихідні сигнали реальних цифрових пристроїв мають не два рівня або значення, а нескінченно велику кількість значень в заданому діапазоні. Для того, щоб такі сигнали несли логічну інформацію, діапазон можливих значень цих сигналів ділять на такі піддіапазони (зони): піддіапазон (зона) логічного 0; піддіапазон (зона) логічної 1; заборонена зона, що розділяє дві перші зони.

Те, що одному значенню логічної величини ставиться у відповідність нескінченно велика кількість значень з певного діапазону, є надмірністю в кодуванні інформації. Чим більше ступінь надмірності в кодуванні інформації, тим вищий ступінь завадостійкості цієї інформації, тобто логічні сигнали є найбільш перешкодостійкими сигналами.

Типові елементарні сигнали і їх характеристики (рисунок 2.7).

- Одиничний імпульсний сигнал $\delta(t)$;
- Одиничний ступінчастий сигнал $U(t)$;
- Гармонійний сигнал $x(t)$;
- Експоненціальний сигнал.

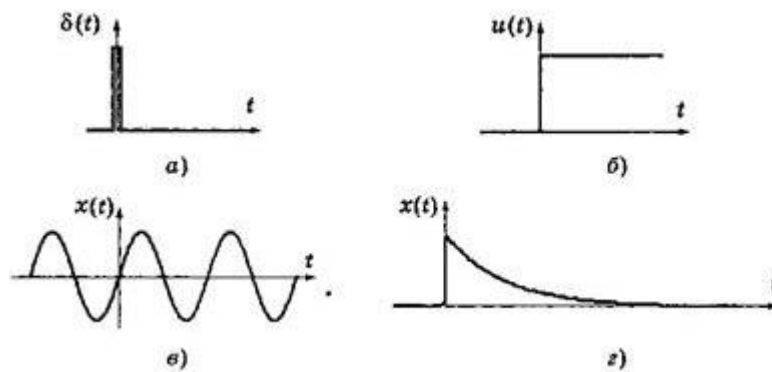


Рисунок 2.7 - Класифікація типових сигналів

Одиничний імпульсний сигнал має площу, яка дорівнює одиниці, тобто добуток тривалості імпульсу T_i на амплітуду імпульсу $u = 1$. Одиничний ступінчастий сигнал описується таким аналітичним виразом:

$$u(t) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } t < 0 \\ 1, & \text{якщо } t \geq 0 \end{cases}$$

Гармонійний сигнал використовується для дослідження амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик імпульсних пристроїв.

Експоненціальний сигнал описується таким аналітичним виразом:

$$u(t) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } t < 0 \\ U_m e^{-\frac{t}{\tau}}, & \text{якщо } t \geq 0 \end{cases}$$

Числовими характеристиками випадкового сигналу є середнє значення (математичне сподівання) та дисперсія. В нашому випадку будемо розглядати лише дискретні функції та їх статистичні характеристики.

Середнє значення сигналу (математичне сподівання) на кінцевому інтервалі часу з урахуванням гіпотези ергодичності дорівнює:

$$M = \sum_{j=1}^N x_j p_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i .$$

де j – номер інтервалу розбиття випадкової функції;
 p_j – значення ймовірності попадання в j -ий інтервал;
 x_j – значення випадкової величини;
 n – кількість точок дискретної функції.

Ступінь відхилення випадкової функції від свого середнього значення характеризує дисперсія. Дисперсією або розсіюванням дискретної випадкової величини називається математичне сподівання квадрата відхилення випадкової величини від її математичного сподівання і обчислюється за формулою:

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - M_x)^2 .$$

Середнім квадратичним відхиленням випадкової величини називається корінь квадратний із дисперсії:

$$\sigma = \sqrt{D} .$$

Середнє квадратичне відхилення, як і дисперсія, характеризує теж ступінь відхилення випадкової функції від свого середнього значення, але в тих одиницях, в яких вимірюється сам сигнал.

Математичне сподівання та дисперсія є важливими числовими параметрами випадкового сигналу, але вони характеризують його не повністю: по ним не можна судити про швидкість зміни сигналу у часі. Так, наприклад, для випадкових сигналів $x_1(t)$ та $x_2(t)$ математичне сподівання та дисперсія можуть бути однаковим, проте сигнали можуть дуже сильно відрізнятися оди від іншого: сигнал $x_1(t)$ змінюється, наприклад, повільніше, ніж сигнал $x_2(t)$.

Якщо розглядати випадковий сигнал на кінцевому інтервалі T , то функція $x_T(t)$ стає інтегрованою, і для неї існує пряме перетворення Фур'є:

$$X_T(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x_T(t) e^{-j\omega t} dt .$$

Зображення по Фур'є $X(j\omega)$ неперіодичного сигналу $x(t)$ характеризую розподілення відносних амплітуд сигналу по осі частот і називається спектральною щільністю амплітуд, а функція $|X(j\omega)|^2$ характеризує розподілення енергії сигналу серед його гармонік. Якщо розділити функцію $|X(j\omega)|^2$ на тривалість T випадкового сигналу, то вона буде визначати розподілення потужності кінцевого сигналу $x_T(t)$ серед його гармонік. Якщо

направити T до нескінченності, то функція $|X(j\omega)|^2$ буде прямувати до границі

$$S_x(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|X(j\omega)|^2}{T},$$

яка називається спектральною густиною потужності випадкового сигналу.

Спектральна щільність випадкового сигналу $x(t)$ характеризує розподілення квадратів відносних амплітуд гармонік сигналу вздовж осі ω .

Відповідно до визначення, спектральна густина – парна функція частоти. При $\omega \rightarrow \infty$ функція $S_x(\omega)$ звичайно прямує до нуля, причому, чим швидше змінюється сигнал з часом, тим ширше графік $S_x(\omega)$.

2.3 Оснащення роботи

Генератор аналогових сигналів, генератор цифрових сигналів, АЦП, ПК.

2.4 Методика виконання роботи

1. Ознайомитись з пристроями для генерування аналогових та цифрових сигналів, а також пристроями для їх реєстрації.

2. Отримати у викладача завдання для проведення генерування типових сигналів з їх різними параметрами.

3. Отримати графік заданої часової функції $x(t)$ для проведення її моделювання за допомогою програмних засобів.

4. Перевести неперервну функцію в дискретну у вигляді таблиці з 256 значень. Значення часу знаходяться в діапазоні від 0 до 25,6 с з кроком 0,1 с.

5. Розрахувати та побудувати графіки наступних статистичних функцій:

-математичного сподівання;

-дисперсії;

-середнього квадратичного відхилення;

-кореляційної функції;

-спектральної густини потужності сигналу.

6. Представити результати моделювання з визначенням величин основних параметрів.

7 Зробити висновки

2.5 Інформація до складання звіту

У підрозділі „Дані виконання роботи” описуються виразу, які описують формовані сигнали, а також їх графічне зображення. Приводиться опис даного сигналу з зазначенням його виду та його характеристик.

2.6 Індивідуальні завдання

Завдання визначаються особисто викладачем згідно таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Варіанти завдань

Варіант	Функція	Варіант	Функція
1	$x(t) = 2 \sin(3t) + rnd(1) + 3$	11	$x(t) = \cos\left(\frac{2t}{3}\right) + rnd(5) + 2$
2	$x(t) = 3 \cos\left(\frac{t}{2}\right) + rnd(2) + 5$	12	$x(t) = 2 \cos(3t) + rnd(2) + 3$
3	$x(t) = 4 \sin\left(\frac{3t}{2}\right) + rnd(5) + 4$	13	$x(t) = \sin\left(\frac{2t}{\pi}\right) + rnd(3) - 2$
4	$x(t) = \pi \sin\left(\frac{2t}{\pi}\right) + rnd(3) + 4$	14	$x(t) = 2 \sin\left(\frac{t}{6}\right) + \frac{\pi}{2} rnd(1) + 5$
5	$x(t) = \cos\left(\frac{\pi}{3}t\right) - rnd(4) + 1$	15	$x(t) = \cos\left(\frac{\pi}{3}t\right) + rnd(4) + 1$
6	$x(t) = 6 \sin(t) + rnd(1) + 4$	16	$x(t) = \frac{5}{\pi} \sin\left(\frac{t}{3}\right) + rnd(1) + 2$
7	$x(t) = \sin(4t) + 2rnd(1) + 2$	17	$x(t) = 3 \cos\left(\frac{t}{2}\right) + rnd(1) - 2$
8	$x(t) = 5 \cos\left(\frac{2\pi}{t}\right) + 2rnd(9) + 5$	18	$x(t) = \sin\left(\frac{2\pi}{3}t\right) - rnd(2) + 5$
9	$x(t) = 2\pi \sin\left(\frac{3t}{\pi}\right) + rnd(2) + 4$	19	$x(t) = \sin(3t) + 4rnd(1) - 1$
10	$x(t) = \cos\left(\frac{2t}{3}\right) + rnd(5) + 2$	20	$x(t) = \sin\left(\frac{\pi}{2}t\right) + rnd(4) + 1$

2.7 Приклад виконання лабораторної роботи

Початкова функція: $x(t) := 5 \sin(2\pi \cdot 0.5t) + \text{md}(5) + 5$
 Крок квантування: $\Delta t := 0.1$
 Тривалість сигналу: $T := 256 \cdot \Delta t$

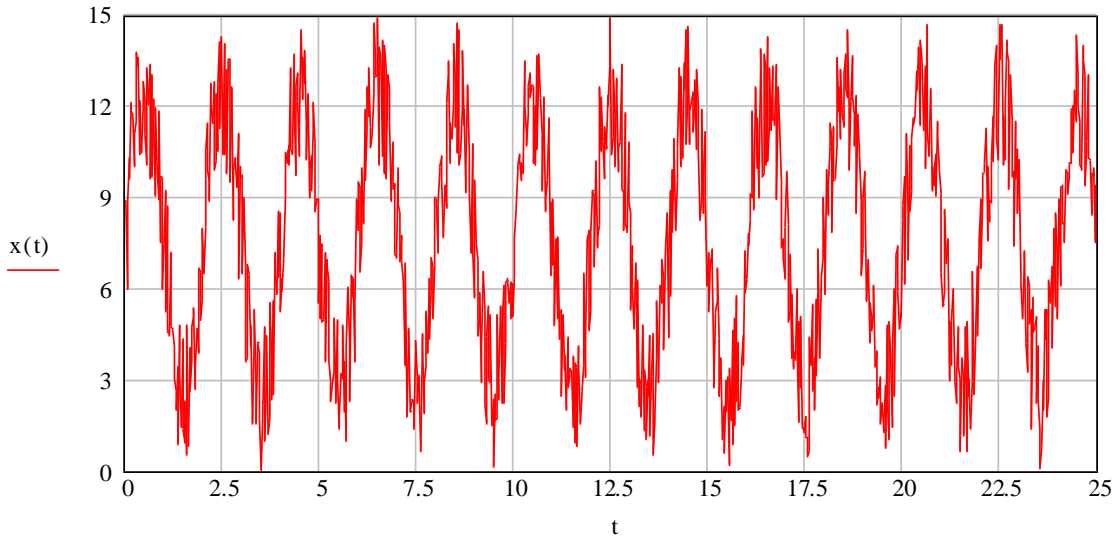


Рис. 1.1. Графік діагностичного сигналу

Дискретна функція: $i := 0..255$ $x_d := x(\Delta t \cdot i)$

$x_d^T =$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	0	8.086	11.401	8.334	12.278	13.906	12.662	12.572	12.407	12.728	10.327	6.998

Математичне сподівання: $M := \text{mean}(x_d)$ $M = 7.561$
 Дисперсія: $D := \text{var}(x_d)$ $D = 14.751$
 Середнє кв. відхилення: $\sigma := \text{stdev}(x_d)$ $\sigma = 3.841$
 Центрована функція: $x_dq := x_d - M$ $\tau := 0..255$

Автокореляційна функція: $R(\tau) := \frac{1}{255 - \tau} \cdot \sum_{i=0}^{255-\tau} x_dq \cdot x_dq_{i+\tau}$

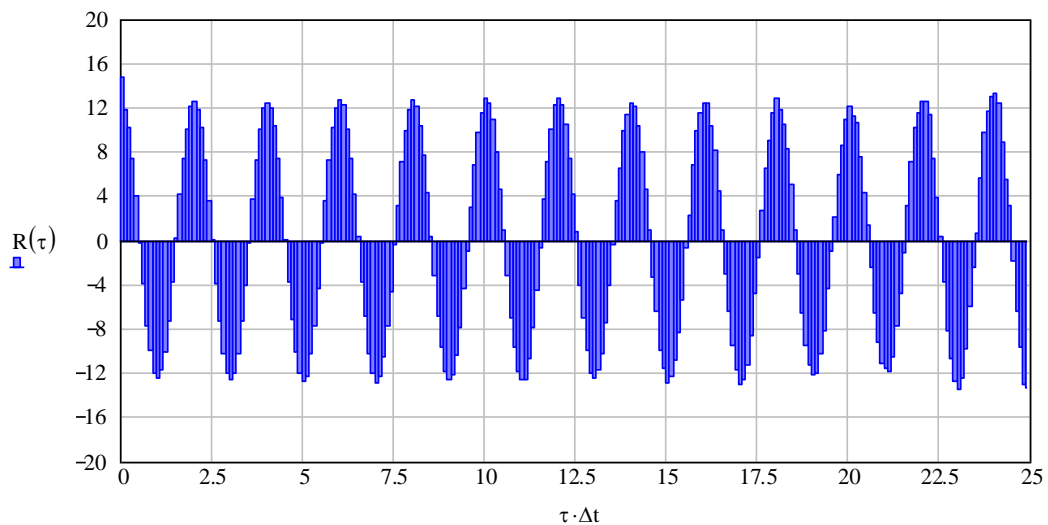


Рис. 1.2. Графік автокореляційної функції

Спектральна густина потужності сигналу:

$$S := \text{fft}(x) \quad j := 0.. \frac{256}{2} \quad A_j := |S_j| \quad \Omega_j := \frac{j}{T} \quad \Omega_{\max} := \frac{1}{2 \cdot \Delta t}$$

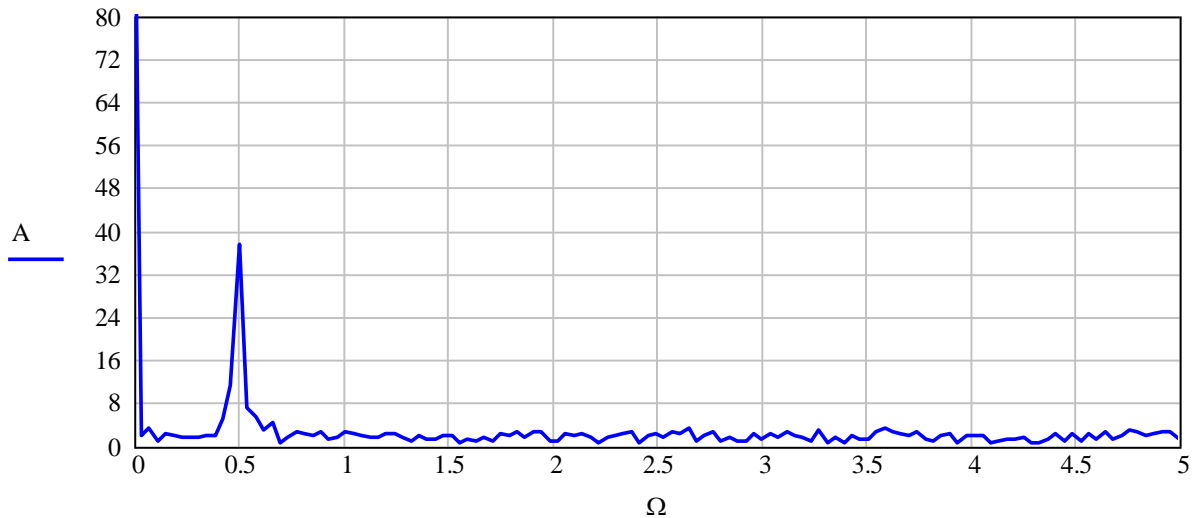


Рис. 1.3. Графік спектру Фур'є

2.8 Питання до самостійної підготовки

1. Дайте визначення поняття сигналу?
2. Які сигнали відносять до детермінованих сигналів?
3. Які сигнали відносять до випадкових сигналів?
4. Які сигнали відносять до стаціонарних сигналів?
5. Які сигнали відносять до гармонічних сигналів?
6. Які сигнали відносять до імпульсних сигналів?
7. Що таке логічні сигнали?
8. Де використовуються логічні сигнали?
9. Які показники відносять до числових характеристик сигналів?
10. Що таке спектральне перетворення сигналів?

Лабораторна робота №3

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

3.1 Мета роботи

Навчитися використовувати аналого-цифровий перетворювач при дослідженні сигналів, а також визначити його основні характеристики та показники точності.

3.2 Теоретичні відомості

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) - один з найважливіших електронних компонентів у вимірювальному і тестовому обладнанні. АЦП перетворює напругу (аналоговий сигнал) в код, над яким мікропроцесор і програмне забезпечення виконують певні дії. Навіть якщо досліджуються тільки з цифрові сигнали, швидше за все використовуєте АЦП у складі осцилографа, щоб визначити їх аналогові характеристики.

Більшість АЦП вважаються лінійними, хоча аналого-цифрове перетворення по суті є нелінійним процесом (оскільки операція перетворення безперервного простору в дискретне — операція необоротна і, отже, нелінійна). Термін лінійний стосовно АЦП означає, що діапазон вхідних значень, що відображається на вихідне цифрове значення, зв'язаний за лінійним законом з цим вихідним значенням, тобто вихідне значення k досягається при діапазоні вхідних значень від $m(k + b)$ до $m(k + 1 + b)$, де m і b — деякі константи. Константа b , як правило, має значення 0 або -0.5 . Якщо $b = 0$, АЦП називають *mid-rise*, якщо ж $b = -0.5$, то АЦП називають *mid-tread*.

Якби густина ймовірності амплітуди вхідного сигналу мала рівномірний розподіл, те співвідношення сигнал/шум (стосовно шуму квантування) було б максимально можливим. З цієї причини зазвичай перед квантуванням за амплітудою сигнал пропускають через безінерційний перетворювач, передавальна функція якого повторює функцію розподілу самого сигналу. Це покращує достовірність передачі сигналу, оскільки найважливіші області амплітуди сигналу квантуються з кращою розрядністю. Це той же принцип, що і використовуваний в компандерах, які застосовуються у магнітофонах і різних комунікаційних системах, він направлений на максимізацію ентропії.

Наприклад, голосовий сигнал має лапласовий розподіл амплітуди. Це означає, що близько нуля, амплітуда несе більше інформації, ніж в області з більшою амплітудою. З цієї причини логарифмічні АЦП часто застосовуються в системах передачі голосу для збільшення динамічного

діапазону значень, що передаються без зміни якості передачі сигналу в області малих амплітуд.

8-бітові логарифмічні АЦП з α -законом або μ -законом забезпечують широкий динамічний діапазон і мають високий дозвіл в найкритичнішому діапазоні малих амплітуд; лінійний АЦП з подібною якістю передачі повинен був би мати розрядність близько 12 біт.

Усім АЦП властиві помилки, пов'язані з нелінійністю, які є наслідком фізичної недосконалості АЦП. Це призводить до того, що передавальна характеристика (у вказаному вище сенсі) відрізняється від лінійної (точніше від бажаної функції, оскільки вона не обов'язково лінійна). Помилки можуть бути зменшені шляхом калібрування.

Важливим параметром, що описує нелінійність, є інтегральна нелінійність (INL) і диференціальна нелінійність (DNL).

Існує кілька основних типів архітектури АЦП, хоча в межах кожного типу існує також безліч варіацій. Різні типи вимірювального обладнання використовують різні типи АЦП. Наприклад, в цифровому осцилографі використовується висока частота дискретизації, але не потрібна висока роздільна здатність. В цифрові мультиметри потребують більшу роздільну здатність, але можна пожертвувати швидкістю вимірювання. Системи збору даних загального призначення по швидкості дискретизації і роздільній здатності зазвичай займають місце між осцилографами і цифровими мультиметрами. В обладнанні такого типу використовуються АЦП послідовного наближення або сигма-дельта АЦП. Існують також паралельні АЦП для випадків, що вимагають швидкісної обробки аналогових сигналів, і інтегрують АЦП з високою роздільною здатністю та завадостійкістю.

На рисунку 3.1 показані можливості основних архітектур АЦП в залежності від роздільної здатності та частоти дискретизації.

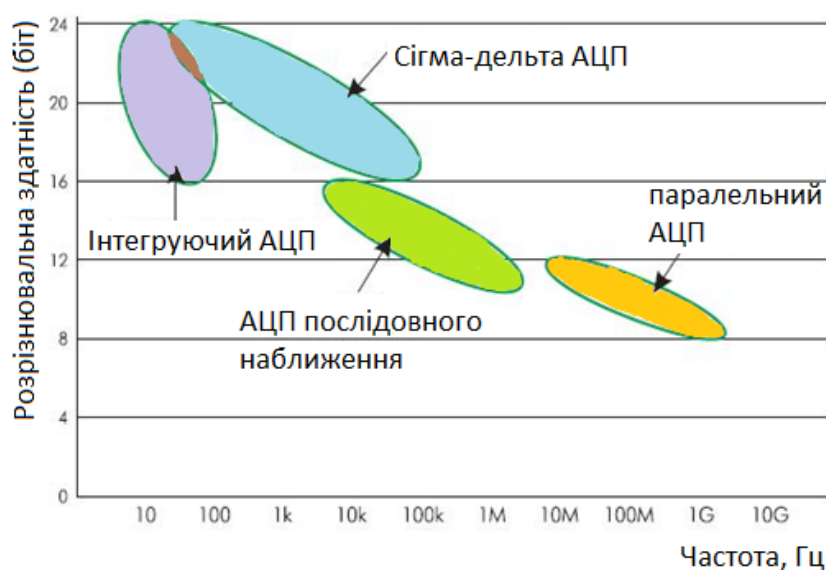


Рисунок 3.1 - Типи АЦП – роздільна здатність залежно від частоти дискретизації

Зворотне перетворення здійснюється за допомогою ЦАП (цифро-аналогового перетворювача, DAC). Як правило, АЦП - електронний пристрій, що перетворює напругу в двійковий цифровий код. Тим не менш, деякі неелектронні пристрої з цифровим виходом, слід також відносити до АЦП, наприклад, деякі типи перетворювачів кут-код. Найпростішим однорозрядним двійковим АЦП є компаратор.

Аналоговий сигнал є безперервною функцією часу, в АЦП він перетворюється в послідовність цифрових значень. Сам процес перетворення включає в себе три основні операції: дискретизацію, квантування та кодування (рисунки 3.1, 3.2).

Операція дискретизації полягає в тому, що по заданому аналоговому сигналу $S(t)$ (рис 3.2, а) будується дискретний сигнал $S(nT)$, причому $S(nT) = S(t)$. Фізично така операція еквівалентна миттєвої фіксації вибірки з безперервного сигналу $S(t)$ в моменти часу $t = nT$, після чого утворюється послідовність вибірових значень $\{S(nT)\}$. Звичайно, таку дискретизацію на практиці здійснити неможливо. Реальні пристрої, що запам'ятовують значення аналогового сигналу (вони називаються пристрої вибірки та зберігання - ПВЗ), не в змозі зробити цього миттєво - час підключення їх до джерела сигналу завжди є кінцевою величиною. Крім того, через не ідеальності ключів і ланцюгів заряду конденсаторів ПВЗ, значення взятої вибірки $S(nT)$ в тій чи іншій мірі відрізняється від величини вихідного сигналу $S(t)$. Проте в абстрактних міркуваннях рівність $S(t) = S(nT)$ вважається справедливою.

Оскільки дискретний сигнал $S(nT)$ в моменти часу $t = nT$ зберігає інформацію про аналоговому сигналі $S(t)$ і в спектрі сигналу $S(nT)$ міститься спектр сигналу $S(t)$, то останній, очевидно, може бути відновлений. Для цього дискретний сигнал досить пропустити через фільтр низьких частот, смуга якого відповідає смузі частот вихідного сигналу. Умова, при якій відновлення вихідного сигналу $S(t)$ за його дискретним значенням $S(nT)$ буде можливим, сформульовано у відомій теоремі Котельникова (теорема відліків): «Якщо найвища частота в спектрі функції $S(t)$ менше, f_{\max} , то функція $S(t)$ повністю визначається послідовністю своїх значень в моменти, віддалені один від одного не більше, ніж на $1/f_{\max}$ секунд.

Іншими словами, щоб відновлення було точним, частота дискретизації F повинна щонайменше в два рази перевищувати максимальну частоту f_{\max} в спектрі перетворюваного аналогового сигналу $S(t)$. Ця гранично допустима максимальна частота f_{\max} в спектрі сигналу називається частотою Найквіста f_n .

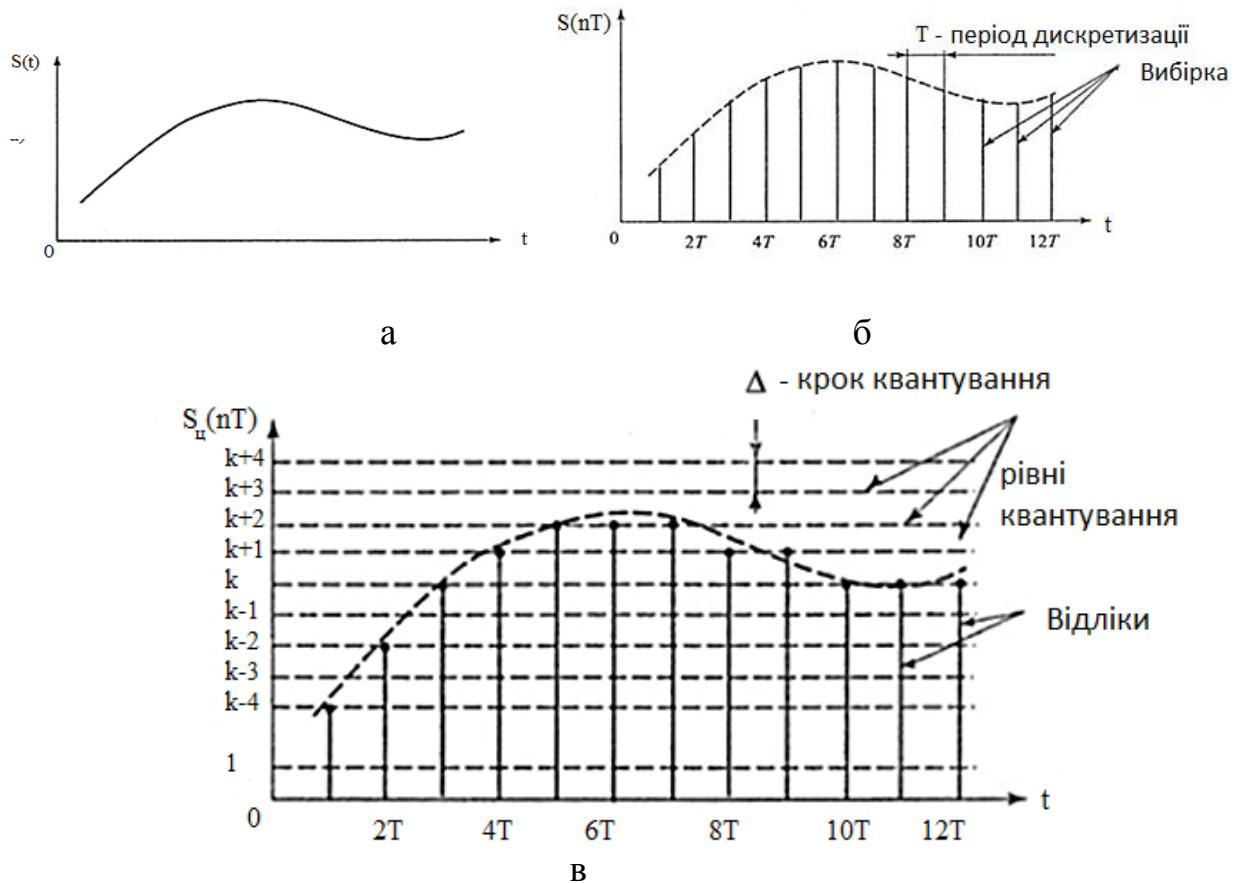


Рисунок 3.2 - Аналого-цифрове перетворення: (а) – вхідний аналоговий сигнал; (б) - дискретизація; (в) – квантування

Після того, як сигнал дискретизовано, проводиться його квантування і кодування, що, власне, і є основною операцією при аналого-цифровому перетворенні. На цьому етапі по заданому дискретному сигналу $S(nT)$ будується цифровий кодований сигнал $S_{ц}(nT)$. Також, як і дискретний, цифровий сигнал описується гратчастою функцією, але в даному випадку ця гратчаста функція є ще й квантований, тобто здатної приймати лише ряд дискретних значень, які називаються рівнями квантування (рисунку 3.2, в). Рівні квантування утворюються шляхом розбиття всього діапазону, в якому змінюється аналоговий сигнал, на ряд ділянок, кожному з яких присвоюється певний номер. Ці номери кодуються заздалегідь вибраним кодом, найчастіше двійковим, а їх число N вибирається рівним 2^m , де m - розрядність коду.

Якщо сигнал однополярний, то все 2^m рівнів будуть мати позитивні значення аналогового сигналу. Для двополярного одна половина ($2^m / 2 = 2^{m-1}$) рівнів буде мати негативні значення сигналу, інша (також 2^{m-1}) - позитивні.

Квантування може здійснюватися двома способами. При одному способі відстань між будь-якими двома сусідніми рівнями, яке називається

кроком квантування, буде однаковим, (так зване лінійне квантування). Спосіб, коли крок квантування змінюється, - це нелінійне квантування. Надалі будуть розглянуті лише лінійні АЦП.

Область значень напруги на аналоговому вході АЦП, обмежена значеннями напруги, відповідними початковою і кінцевою точками характеристики перетворення, називається діапазоном вхідної напруги.

Дискретні сигнали, як і аналогові, утворюють лінійний простір щодо операцій додавання, віднімання, множення, якщо виконується умова теореми Котельникова. Цифрові ж сигнали, отримані шляхом квантування, лінійного простору щодо операцій додавання і множення не утворюють. По-перше, процедура квантування майже завжди супроводжується появою невірної похибки. По-друге, лінійна комбінація цифрових сигналів, які висловлюються m -розрядними кодами, може мати розрядність більшу, ніж m (особливо при операціях множення), щоб отримати m -розрядний код результату, доводиться виконувати операцію округлення і відсікання. Тому пристрої цифрової обробки сигналів, що реалізують перетворення однієї цифрової послідовності $S_{ц1}(nT)$ в іншу $S_{ц2}(nT)$ шляхом виконання звичайних арифметичних операцій додавання і множення ϵ , в принципі, нелінійними.

Оскільки реальні АЦП не можуть виконати аналого-цифрове перетворення миттєво, вхідний аналогове значення має утримуватися постійним, принаймні від початку до кінця процесу перетворення (цей інтервал часу називають час перетворення).

В даний час випускається більше число інтегральних АЦП, які відрізняються конструктивною і функціональною закономірністю, але в основу роботи закладено деякі стандартні, фундаментальні принципи. При цьому в структурі деяких АЦП присутній пристрій ПВЗ, в інших ПВЗ відсутня.

Розрядність АЦП характеризує кількість дискретних значень, які перетворювач може видати на виході. У довічних АЦП розрядність вимірюється в бітах. Розрядністю АЦП визначає і його розрізнявальну здатність - мінімальна зміна величини вхідного аналогового сигналу, яке може бути зафіксовано даними АЦП. АЦП перетворює сигнал (напругу) який знаходиться в діапазоні вимірюваних сигналів. Нижня і верхня межа цього діапазону визначаються напругами, які подані на відповідні виходи. Для мікроконтролера (МК) з вбудованим АЦП, нижня межа - це рівень GND (0 В), а верхня - подається на окремий вихід (AREF- AnalogReference) або використовуються внутрішні джерела опорних напруг. При діапазоні вхідних напруги від 0 В до 5 В і використанні 10-бітного АЦП ми маємо наступну роздільну здатність АЦП (див. рисунок 3.3). Тобто АЦП в змозі розрізнити сигнали які відрізняються на 4,9 мВ. При збільшенні сигналу на 4,9 мВ - результат перетворення збільшується на 1. Якщо для такого ж діапазону вхідних сигналів використовувати АЦП з більшою розрядністю, то можна зафіксувати менші значення, тобто отримати більш точне значення сигналу

(на рисунку 3.4 представлені значення при використанні 24-бітного АЦП). При відсутності різного роду помилок, розрядність АЦП визначає теоретично можливу точність АЦП. На практиці роздільна здатність АЦП обмежена відношенням сигнал/шум вхідного сигналу. При великій інтенсивності шумів на вході АЦП розрізнення сусідніх рівнів вхідного сигналу стає неможливим, тобто погіршується роздільна здатність. При цьому реально досяжна роздільна здатність описується ефективною розрядністю (EffectiveNumberOfBits - ENOB), яка менша, ніж реальна розрядність АЦП. При перетворенні сильно зашумлений сигналу молодші розряди вихідного коду практично марні, оскільки містять шум.

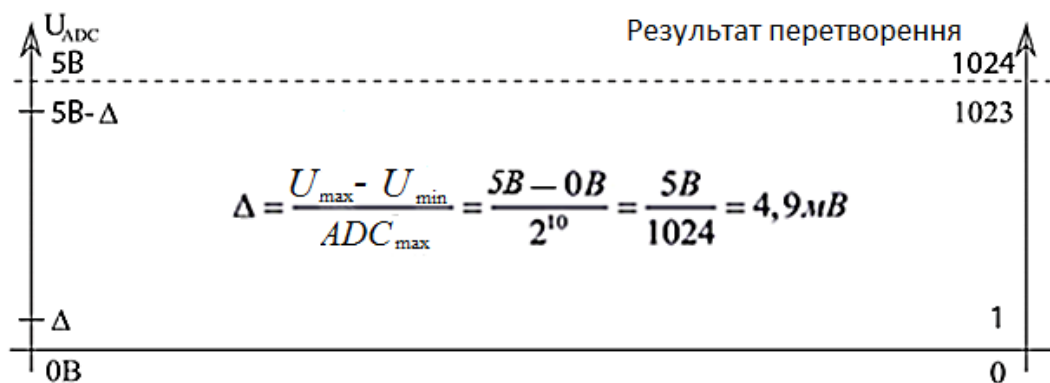


Рисунок 3.3 - Роздільна здатність 10-бітного АЦП

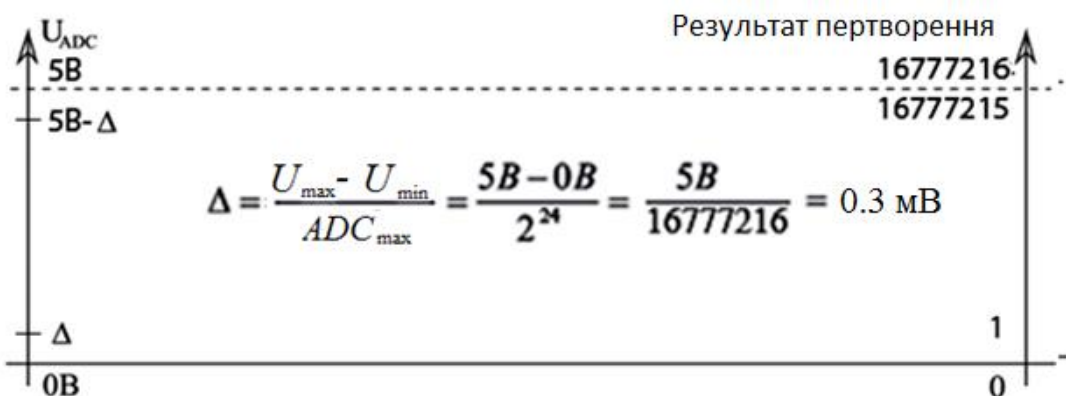


Рисунок 3.4 - Роздільна здатність 24-бітного АЦП

Існують загальні визначення, які прийнято використовувати щодо аналого-цифрових перетворювачів. Тим не менш, характеристики, наведені в технічній документації виробників АЦП, можуть здатися досить плутаними. Правильний же вибір оптимального за поєднанням своїх характеристик АЦП для конкретного додатка вимагає точної інтерпретації даних, наведених у технічній документації.

Найбільш часто плутають параметрами є роздільна здатність і точність, хоча ці дві характеристики реального АЦП вкрай слабо пов'язані між собою. Роздільна здатність не ідентично точності, 12-розрядний АЦП може мати меншу точність, ніж 8-розрядний. Для АЦП роздільна здатність являє собою міру того, на яку кількість сегментів може бути поділений вхідний діапазон вимірюваного аналогового сигналу (наприклад, для 8-розрядного АЦП це $2^8 = 256$ сегментів). Точність ж характеризує сумарне відхилення результату перетворення від свого ідеального значення для даної вхідної напруги. Тобто, роздільна здатність характеризує потенційні можливості АЦП, а сукупність точнісних параметрів визначає реалізованість таких потенційних можливостей.

АЦП перетворює вхідний аналоговий сигнал у вихідний цифровий код. Для реальних перетворювачів, що виготовляються у вигляді інтегральних мікросхем, процес перетворення не є ідеальним: на нього впливають як технологічний розкид параметрів при виробництві, так і різні зовнішні перешкоди. Тому цифровий код на виході АЦП визначається з похибкою. У специфікації на АЦП вказуються похибки, які дає сам перетворювач. Їх зазвичай ділять на статичні і динамічні. При цьому саме кінцеве додаток визначає, які характеристики АЦП будуть вважатися визначальними, найважливішими в кожному конкретному випадку. У більшості застосувань АЦП використовують для вимірювання повільно змінюваного низькочастотного сигналу (наприклад, від датчика температури, тиску, від тензодатчика і т.п.), коли вхідна напруга пропорційна відносно постійною фізичної величиною. Тут основну роль грає статична похибка вимірювання. У специфікації АЦП цей тип похибки визначають адитивна похибка (Offset), мультиплікативна похибка (Full-Scale), диференціальна нелінійність (DNL), інтегральна нелінійність (INL) і похибка квантування. Ці п'ять характеристик дозволяють повністю описати статичну похибку АЦП.

Передавальна характеристика АЦП - це функція залежності коду на виході АЦП від напруги на його вході. Такий графік являє собою кусково-лінійну функцію з $2N$ "ступенів", де N - розрядність АЦП. Кожен горизонтальний відрізок цієї функції відповідає одному зі значень вихідного коду АЦП (див. рисунок 3.5). Якщо з'єднати лініями початку цих горизонтальних відрізків (на кордонах переходу від одного значення коду до іншого), то ідеальна передавальна характеристика буде являти собою пряму лінію, що проходить через початок координат.

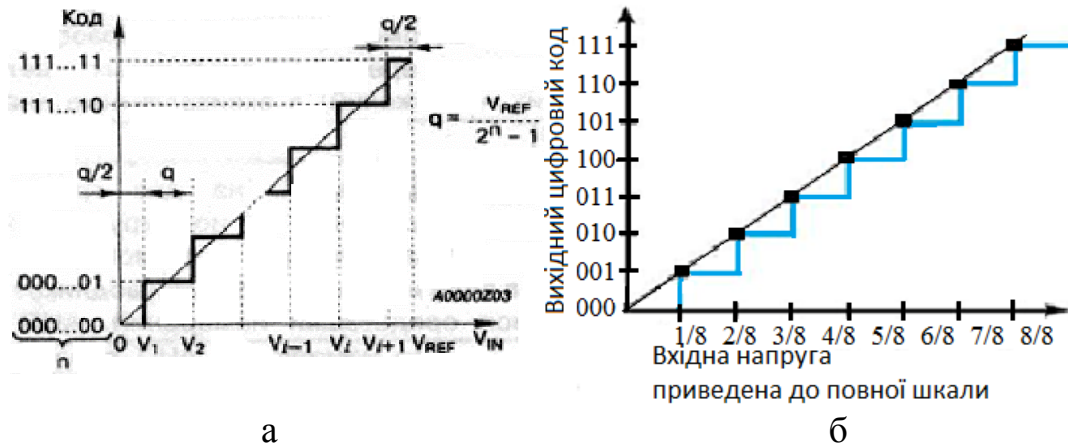


Рисунок 3.5 - Ідеальна передавальна характеристика (а) та передавальна характеристика 3-х розрядного АЦП (б)

Рисунок 3.5 ілюструє ідеальну передавальну характеристику для 3-х розрядного АЦП з контрольними точками на кордонах переходу коду. Вихідний код приймає найменше значення (000b) при значенні вхідного сигналу від 0 до 1/8 повної шкали (максимального значення коду цього АЦП). Також слід зазначити, що АЦП досягне значення коду повної шкали (111b) при 7/8 повної шкали, а не при значенні повної шкали, тобто перехід в максимальне значення на виході відбувається не при напрузі повної шкали, а при значенні, меншому на найменший значущий розряд (LSB), ніж вхідна напруга повної шкали. Передавальна характеристика може бути реалізована зі зміщенням $-1/2$ LSB. Це досягається зміщенням передавальної характеристики вліво, що зміщує похибка квантування з діапазону $-1 \dots 0$ LSB в діапазон $-1/2 \dots +1/2$ LSB.

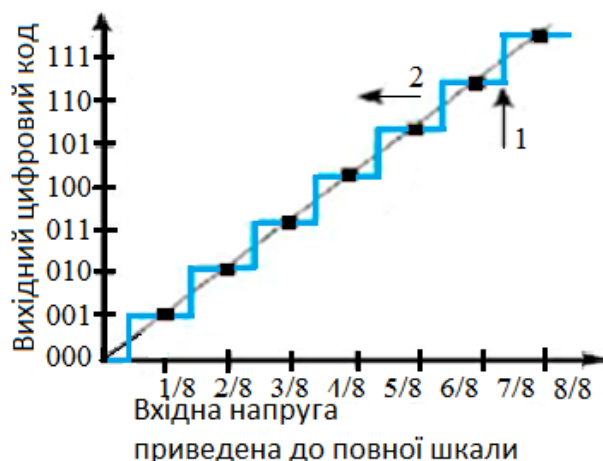


Рисунок 3.6 - Передавальна характеристика 3-розрядного АЦП зі зміщенням на $-1/2$ LSB: 1- найбільше значення коду при значенні вхідної напруги, меншому на $1/2$ LSB, ніж вхідна напруга до повної шкалою; 2 - передавальна функція зміщується вліво на $1/2$ LSB для зменшення похибки квантування на $1/2$ LSB.

Час перетворення складається з двох інтервалів часу - часу затримки запуску t_3 і часу циклу кодування $t_{ц}$, де t_3 – мінімальний інтервал часу від моменту подачі стрибкоподібного вхідного сигналу до моменту подачі сигналу запуску АЦП, при якому вихідний код відрізняється від номінального не більше ніж на значення статичної похибки; $t_{ц}$ – час, протягом якого здійснюється безпосереднє перетворення вхідного напруги в код.

Час затримки запуску t_3 характеризує тривалість перехідних процесів в аналогових ланцюгів АЦП (підсилювачі, атенюатори тощо), викликаних стрибкоподібною зміною вхідного сигналу. Для перетворювачів з пристроєм вибірки-зберігання (ПВЗ) на вході t_3 фактично відповідає часу вибірки ПВЗ.

Поряд з часом перетворення використовують і іншу динамічну характеристику АЦП – максимальну частоту перетворення.

У загальному випадку максимальної частотою перетворення називають найбільшу частоту дискретизації вхідного сигналу, при якій обраний параметр АЦП не виходить за задані межі. Досить часто під максимальною частотою перетворення розуміють величину, зворотний $t_{пр}$ або $t_{ц}$. Проте останнє правило справедливо не для всіх типів АЦП, так в перетворювачах використовують конвеєрний алгоритм роботи частота дискретизації вище ніж $1/t_{пр}$ цього АЦП.

Похибки квантування є наслідком обмеженої розрядності АЦП. Цей недолік не може бути усунений при жодному типі аналого-цифрового перетворення. Абсолютна величина помилки квантування при кожному відліку знаходиться в межах від нуля до половини МЗР.

Як правило, амплітуда вхідного сигналу значно більша, ніж МЗР. В цьому випадку помилка квантування не корельована з сигналом і має рівномірний розподіл. Її середньоквадратичне значення збігається з середньоквадратичним відхиленням розподілу, який дорівнює. У випадку 8-бітового АЦП це складе 0.113 % від повного діапазону сигналу.

При розрахунках динамічних похибок аналого-цифрового перетворення часто необхідно, крім розглянутих, враховувати й інші характеристики АЦП: вхідну ємність, в особливості її складову, залежну від вхідного сигналу; нерівномірність амплітудно-частотної характеристики АЦП; швидкість зміни вхідного сигналу; діапазон частот вхідного сигналу; час відновлення після перевантаження; коефіцієнт нелінійних спотворень; час зберігання (для АЦП з ПВЗ); відношення сигнал-шум (SNR) при синусоїдальному вхідному сигналі в заданому частотному діапазоні і т.п.

Аналого-цифрове перетворення використовується скрізь, де потрібно обробляти, зберігати або передавати сигнал в цифровій формі:

- АЦП є складовою частиною систем збору даних;
- швидкі відео АЦП використовуються, наприклад, у ТВ-тюнери (це паралельні і конвеєрні АЦП);

- повільні вбудовані 8, 10, 12 або 16-бітові АЦП часто входять до складу мікроконтролерів (як правило вони будуються за принципом порозрядного врівноваження, точність їх невисока);
- дуже швидкі АЦП необхідні в цифрових осцилографах (паралельні і конвеєрні);
- сучасні ваги використовують АЦП з розрядністю до 24 біт, що перетворюють сигнал безпосередньо від тензOMETричного датчика (сигма-дельта АЦП);
- АЦП входять до складу радіомодемів та інших пристроїв радіопередачі даних, де використовуються спільно з процесором цифрової обробки сигналів в якості демодулятора;
- надшвидкі АЦП використовуються в антенних системах базових станцій (у так званих SMART-антенах) і в антенних решітках радіолокаційних станцій.

3.3 Оснащення роботи

Генератор сигналів, джерело постійного струму, АЦП різного типу, ПК.

3.4 Методика виконання роботи

1. Під'єднати до джерела постійного струму вимірювальні щупи АЦП.
2. Встановити мінімальне значення напруги живлення джерела постійного струму.
3. Зареєструвати значення постійної напруги джерела та АЦП при її зростанні з деяким незмінним кроком.
4. Порівняти отримані значення АЦП та джерела живлення.
5. З використанням генератору сигналів встановити прямокутну форму сигналу з незмінною частотою.
6. Провести реєстрацію сигналів з постійною частотою дискретизації АЦП.
7. Визначити кількість отриманих дискретних значень АЦП, а також розрахункову кількість значень згідно частоти генерованого сигналу.
8. Визначити похибку, яка відповідає різниці розрахункових дискретних значень, а також зареєстрованих значень з використанням АЦП.
9. Зробити загальні висновки про визначені метрологічні характеристики досліджуваних АЦП.

3.5 Питання до самостійної підготовки

1. Що представляє собою АЦП?
2. Які основні характеристики має АЦП?
3. Які існують типи АЦП?
4. Яка операція АЦП називається дискретизація?
5. Яка операція АЦП називається квантування?
6. Яка операція АЦП називається кодування?
7. Які похибки виникають при перетворенні сигналів?

володіє чотирма додатними зарядами, а кожна пара атомів кисню – чотирма від’ємними (по два на атом). Тому без прикладених механічних напружень кварцова комірка є електрично нейтральною. Коли вздовж x прикласти зовнішню силу F_x , кристалічна решітка деформується. Показано, як стискальна сила зсуває атоми кристалу таким чином, що додатній атом кремнію пересувається в одну сторону решітки, а від’ємно заряджена пара атомів кисню – в іншу (рисунок 4.1, б). В результаті вздовж осі y спостерігається перерозподіл зарядів. Якщо кристал розтягнути вздовж осі x (рисунок 4.1, в), то внаслідок деформації розтягом заряди перерозподіляються вздовж осі y у протилежному напрямі. Ця спрощена модель показує, як на поверхні кристалічного матеріалу можуть утворитись електричні заряди у відповідь на прикладену механічну дію.

П’єзоелектричні елементи можуть використовуватись у формі монокристала, або у вигляді багат шарової структури, в котрій окремі пластини з’єднують разом за допомогою електродів, розміщених між ними. Двошаровий п’єзосенсор (рисунок 4.2). Коли до цього сенсора прикладається зовнішня сила, одна з його частин стискається, в той час як інша розтягується, що при коректному з’єднанні веде до подвоєння сигналу.

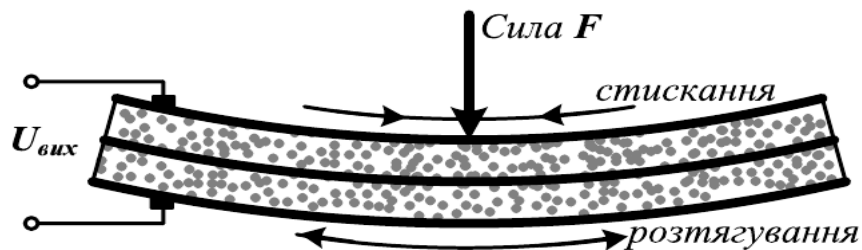


Рисунок 4.2 - Двошаровий п’єзоелектричний сенсор

В свою чергу вхідна змінна напруга $U_{вх}$, прикладена до п’єзоелектричного елемента, примушує його вигинатися, збуджуючи тим самим ультразвукові хвилі (рисунок 4.3).

Оскільки п’єзоелектричний ефект є явищем зворотним, то дія ультразвукових хвиль на цей же керамічний елемент призводить до появи на його поверхні електричних зарядів, що коливаються, і, отже, змінної різниці потенціалів $U_{вих}$ на електродах (рисунок 4.3, б). Типова будова збудника та/або сенсора ультразвукових хвиль (рисунок 4.3, в). Отож п’єзоелектричний елемент може працювати і як збудник випромінювача, і як сенсор (чутливий елемент) приймача одночасно (рисунок 4.4). За таким принципом побудована більшість сучасних ультразвукових давачів, хоча можливе вирішення, де функції збудника випромінювань виконує один п’єзоелектричний елемент, а функції сенсора – інший.

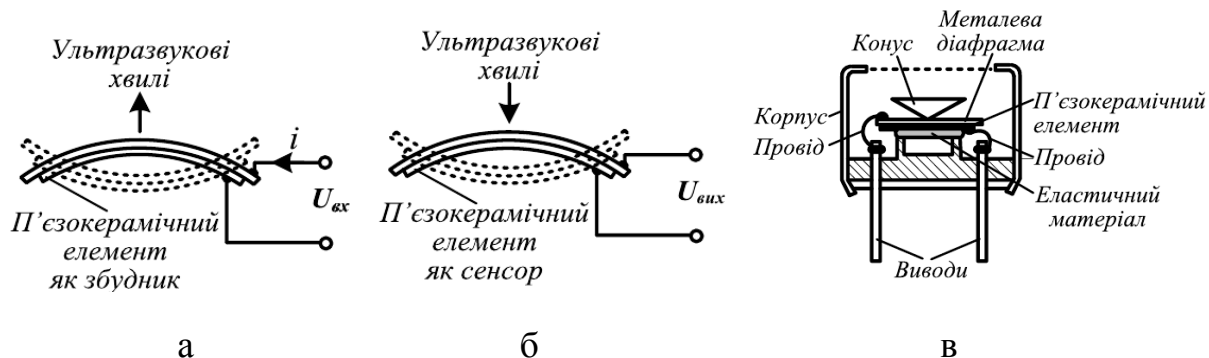


Рисунок 4.3 - П'єзоелектричний ультразвуковий перетворювач: а – збудник хвиль; б – сенсор хвиль; в – типова будова

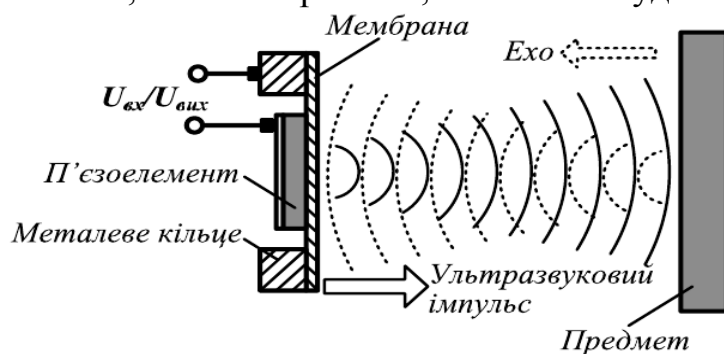


Рисунок 4.4 - Принцип роботи п'єзоелектричного елемента у режимі випромінювача та сенсора

Структурна схема ультразвукового давача (рисунок 4.5), у якого роль випромінювача ультразвукових хвиль та чутливого елемента – сенсора приймача виконує одночасно п'єзоелектричний елемент.

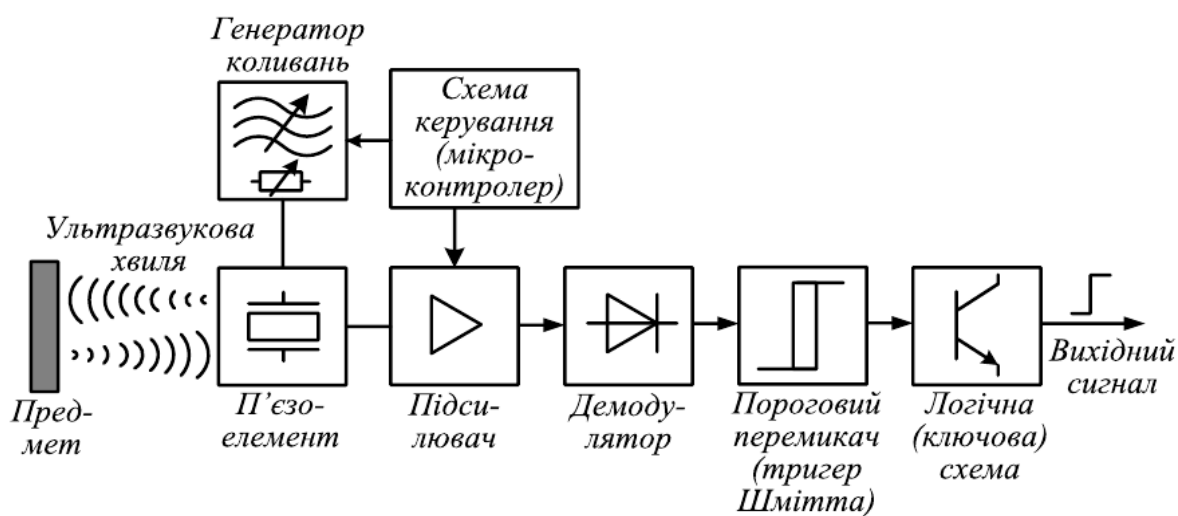


Рисунок 4.5 - Структурна схема ультразвукового давача зі спільним п'єзоелектричним випромінювачем/сенсором

Принцип дії ультразвукового давача з п'єзоелектричним елементом такий. Збуджений генератором коливань п'єзоелемент, який працює у моторному режимі, виробляє пакет ультразвукових імпульсів. Частота імпульса зазвичай лежить від 65 до 400 кГц. Посилаються такі імпульси з частотою від 14 Гц до 140 Гц залежно від типу давача (рисунок 4.6). У порівнянні зі звуковими хвилями ультразвукові коливання мають значно більшу енергію, оскільки остання пропорційна квадратові частоти. Крім того, порівняно просто здійснюється скероване випромінювання ультразвуку.

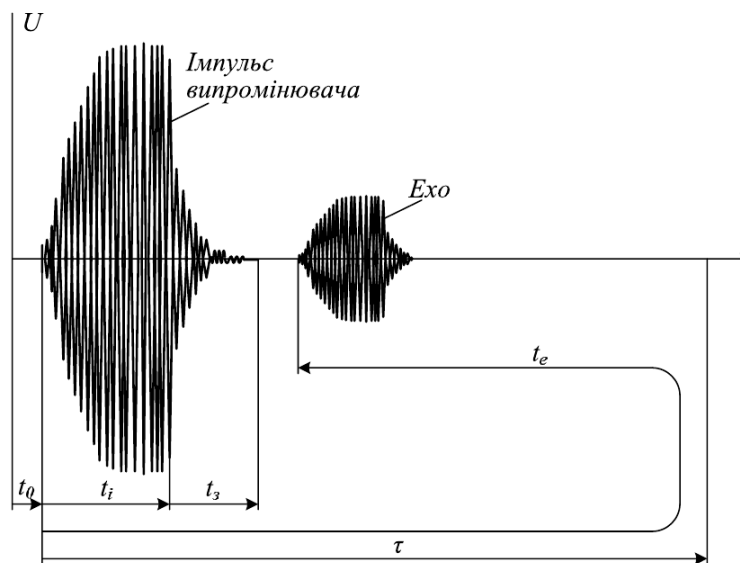


Рисунок 4.6 - Діаграма роботи перетворювача з п'єзоелектричним елементом:

t_i – тривалість імпульса; t_z – час згасання імпульса; τ – час розповсюдження імпульса до предмета; $t_e=2\tau$ – час очікування ехо

Відбите від предмета ехо посланого ультразвукового імпульса своєю чергою досягає п'єзоелектричного елемента, який на цей раз працює як сенсор, тобто в режимі генератора. Отримана за рахунок дії еха напруга на затискачах п'єзоелемента підсилюється, де модулюється і в подальшому перетворюється у вихідний сигнал (рисунок 4.5). Перемикання роботи давача з режиму випромінювача в режим приймача здійснює схема керування.

Тривалість випромінювання імпульсаті та час затухання t_z є причиною формування так званої „сліпої” зони, яка розташована між чутливою поверхнею та мінімальною віддаллю дії, в діапазоні якої неможливо виявити предмет. Діаграма зон та віддалей дії, які визначають здатність ультразвукового давача виявляти предмет (рисунок 4.7).

Зона чутливості S_d , інакше активна зона визначає діапазон виявлення, що регулюється. Ультразвуковий давач виявляє предмети в

границях чутливої зони незалежно від того, чи наближаються ці предмети до чутливого елемента в осьовому напрямі чи рухаються через звуковий конус у поперечному напрямі.

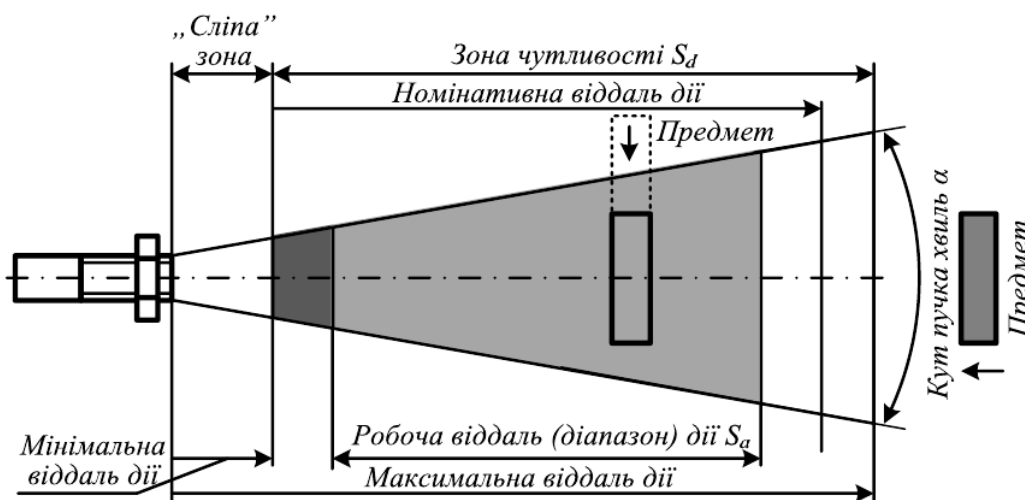


Рисунок 4.7 - Діаграма зон та віддалей дії ультразвукового давача

Пучок ультразвукових хвиль має кут розхилу α (робочий конус), що дорівнює зазвичай 10° . Рівень звукового тиску за границями цього конуса – менше ніж половина значення на осі давача.

Кут розхилу α визначає просторовий розмір звукового конуса. Діаметр D звукового конуса залежить від віддалі S предмета до давача і може бути обчислений за формулою:

$$D = 2 \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot S.$$

Сфера застосування ультразвукових давачів визначається в першу чергу їх нечутливістю до світла, здатністю працювати за поганих умов довкілля (порох, водяні бризки, пара, мряка), вони нечутливі до звуку.

Ультразвукові давачі:

- без проблем виявляють прозорі об'єкти, наприклад, віконні скла, прозорі пляшки або плівки навіть за несприятливих умов довкілля;
- контролюють прозорі стрічки;
- ведуть лічбу прозорих флаконів;
- ведуть контроль підходу автомобіля, віддалі між транспортними каретками, віддалі від вагона до рампи;
- контролюють прохід людей, де виступають як двоблочні, працюючи в бар'єрному режимі;
- контролюють рівень будь-яких рідин у відкритих та закритих резервуарах: оптично прозорих і непрозорих, електрично провідних та непровідних;
- знаходять дефекти в металевих деталях: тріщини у виробках, порожнини у відливках тощо;

- вони відіграють важливу роль у дефектоскопії та інших неруйнівних методах контролю. Відоме ультразвукове дослідження (УЗД) є неінвазійним дослідженням організму людини чи тварини за використання ультразвукових хвиль.

Правда, застосовують ультразвукові давачі тільки для вирішення специфічних задач через їх відносно високу ціну.

Сфери застосування ультразвукових давачів продемонстровано прикладами (рисунок 4.8).

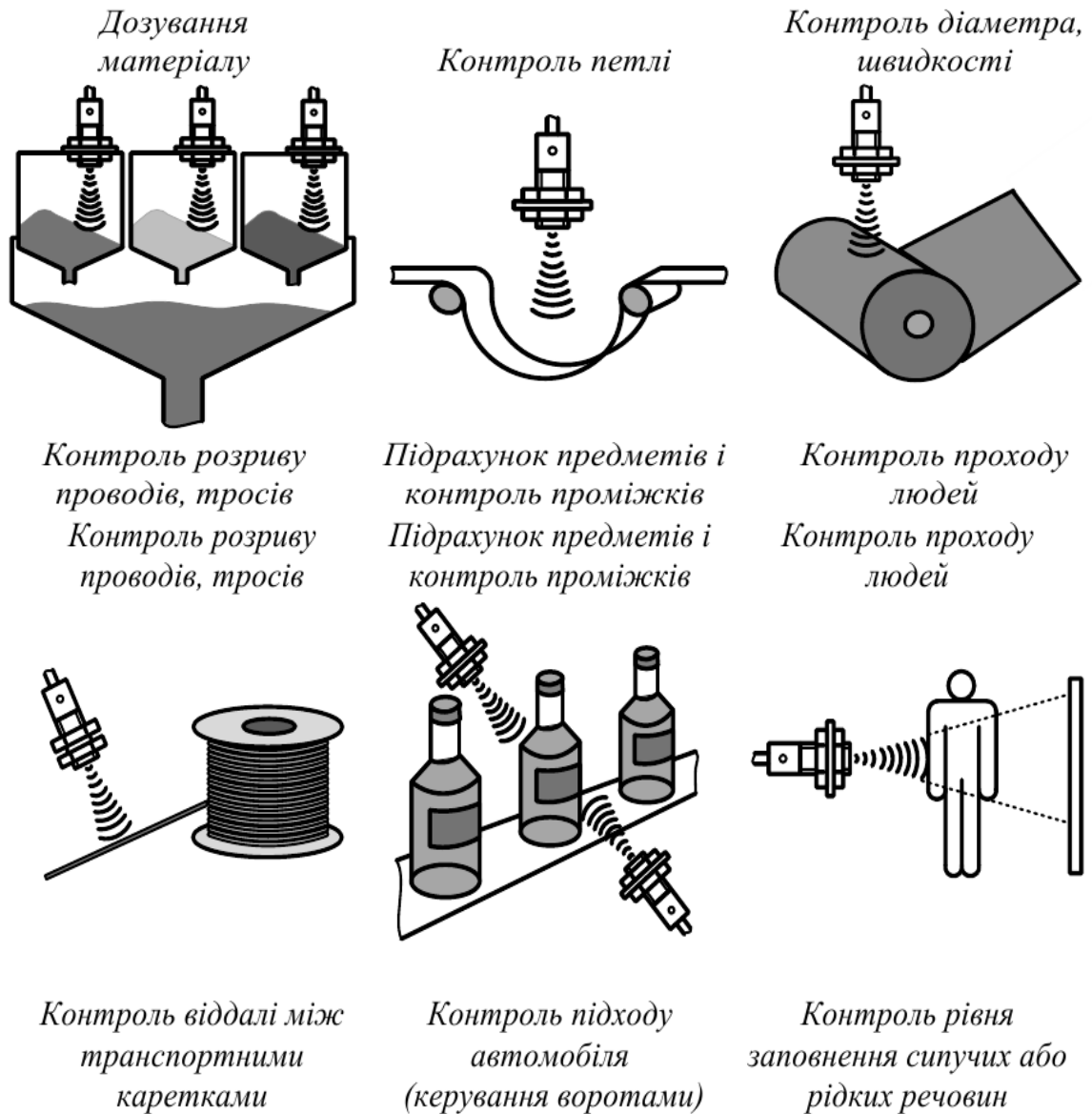
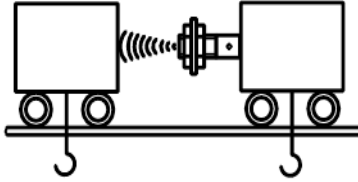
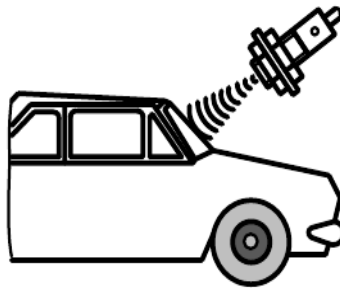


Рисунок 4.8 - Приклади застосування ультразвукових давачів

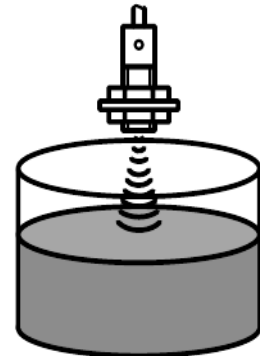
Контроль віддалі між транспортними каретками



Контроль підходу автомобіля (керування воротами)



Контроль рівня заповнення сиучих або рідких речовин



Продовження рисунку 4.8

В лабораторній роботі буде розглянуто ультразвуковий датчик вимірювання відстані HC-SR04 (Ultrasonic ranging module HC-SR04) (рисунок 4.9).



Рисунок 4.9 - Зовнішній вигляд датчика переміщення HC-SR04

Технічні характеристики:

- 1) Напруга живлення: 5V DC
- 2) Струм: <2mA
- 3) Ефективний кут: 15°
- 4) Діапазон вимірювання відстані: 2–250 см
- 5) Роздільна здатність: 0.3 см

Габаритні розміри та діаграма направленості (рисунок 4.10).

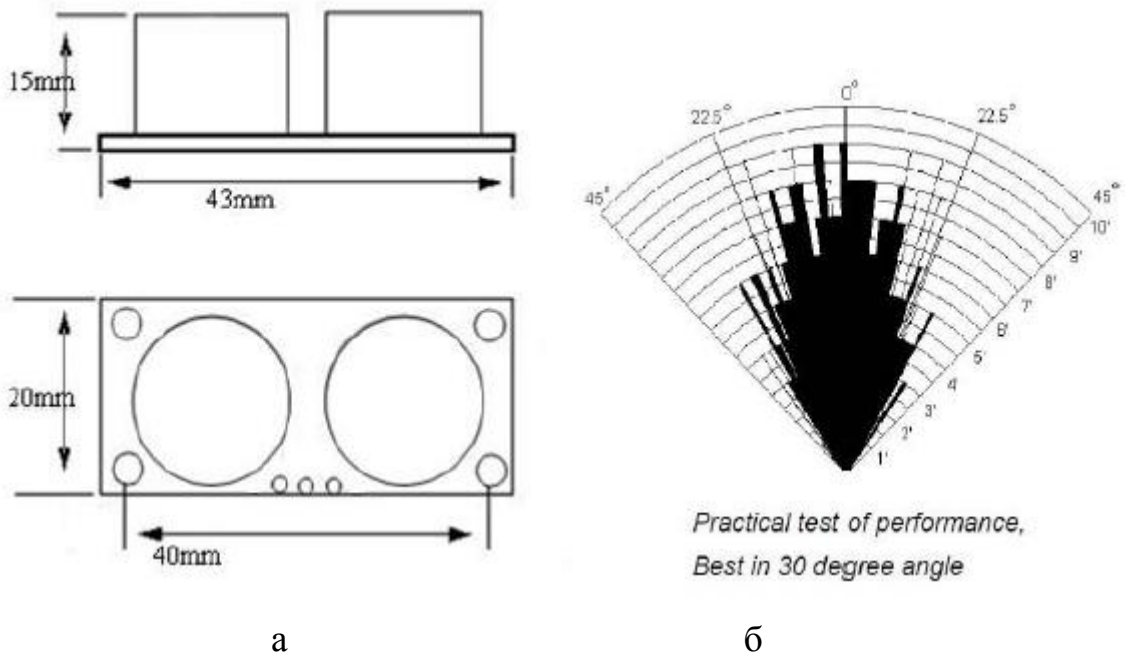


Рисунок 4.10 - Розміри датчика (а) та його діаграма направленості (б)

Сенсор випромінює короткий ультразвуковий імпульс (в момент часу 0), який відбивається від об'єкта і приймається сенсором. Відстань розраховується виходячи з часу до отримання ехо і швидкості звуку в повітрі (рисунок 4.11).

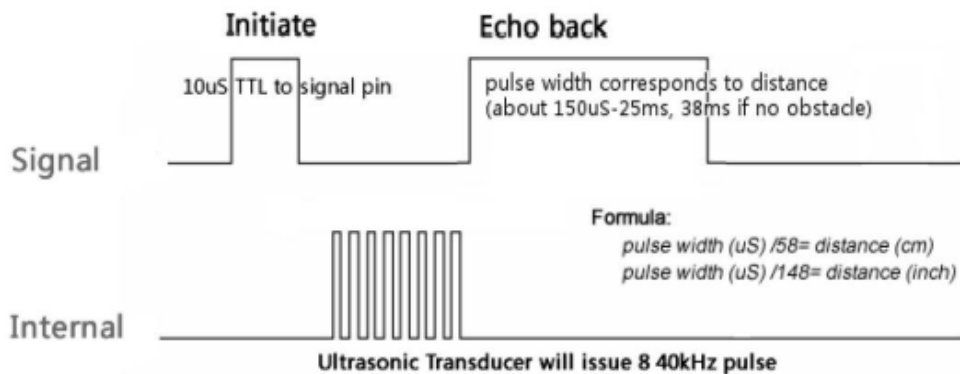


Рисунок 4.11 - Вхідний та вихідний сигнал ультразвукового датчика переміщення

Таким чином сенсор отримує сигнал ехо, і видає відстань, яка кодується тривалістю електричного сигналу на виході датчика (Echo). Наступний імпульс може бути випромінений, тільки після зникнення ехо від попереднього. Цей час називається періодом циклу (cycleperiod). Рекомендований період між імпульсами повинен бути не менше 50 мс.

Якщо на сигнальний пін (Trig) подається імпульс тривалістю 10 мкс, то ультразвуковий модуль буде випромінювати вісім ультразвукових сигналів з частотою 40кГц і виявляти їх ехо. Виміряна відстань до об'єкта пропорційна ширині ехо (Echo) і може бути розраховане за формулою, наведеною на графіку вище.

Документація на сенсор, так само вказує, що якщо ніяких перешкод не виявлено, то на виході буде сигнал з тривалістю 38ms.

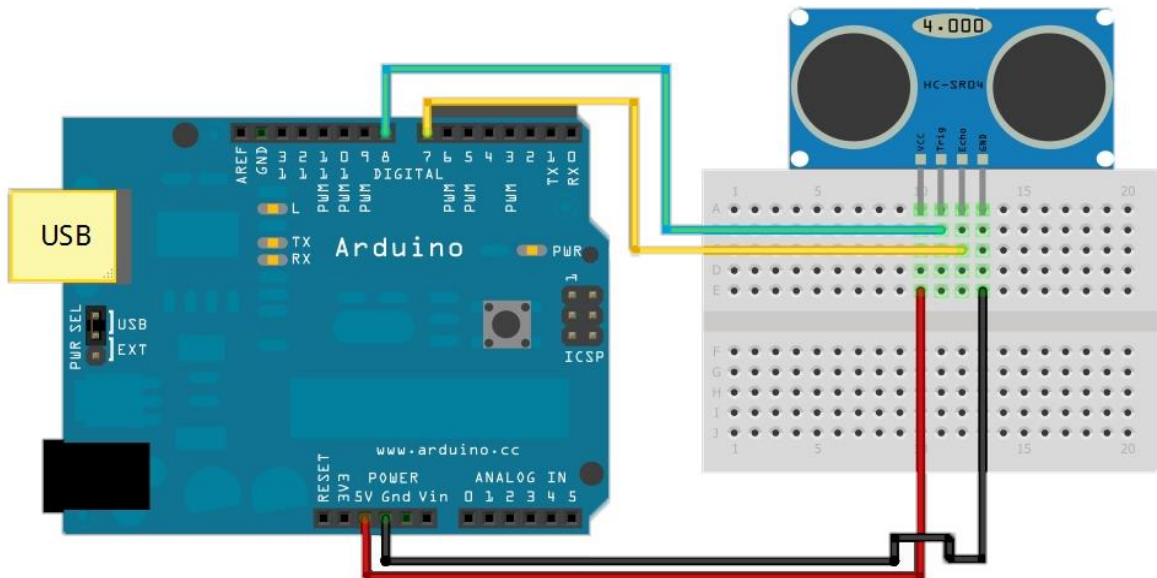


Рисунок 4.12 - Схема підключення датчика

Програма для визначення переміщення в середовищі Arduino:

```

constintTrig = 8;
constintEcho = 7;
voidsetup()
{
pinMode(Trig, OUTPUT);
pinMode(Echo, INPUT);
Serial.begin(9600);
}
unsignedinttime_us=0;
unsignedintdistance_mm=0;
voidloop()
{
digitalWrite(Trig, HIGH); // Подаємо сигнал на вихід мікроконтролера
delayMicroseconds(10); // Утримуємо 10 мікросекунд
digitalWrite(Trig, LOW); // потім прибираємо
time_us=pulseIn(Echo, HIGH); // Вимірюємо тривалість імпульсу

```

```

distance_mm=time_us/5.8; // Перераховуємо в міліметри
Serial.println(distance_mm); // Виведення на порт
delay(100);
}

```

4.3 Оснащення роботи

Джерело живлення постійного струму, ультразвуковий перетворювач, АЦП, ПК, з'єднувальні провідники, рухомий механізм з системою відліку, досліджуваний об'єкт.

4.4 Методика виконання роботи

1. Зібрати схему для вимірювання відстані до об'єкта.
2. Визначаємо відстань від датчика до об'єкта дослідження зміщуючи його на 1-10 мм та проводимо повторні випробування в зворотному напрямку. Результати досліджень заносяться до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Експериментальні данні та результати розрахунків

№ п/п	Відстань l , мм (відліковий механізм)	Відстань l_d , мм (перетворювач)	Абсолютна похибка Δ , мм	Відносна похибка δ , %

3. Визначаємо абсолютну та відносну похибки та зображаємо їх графічно.

$$\Delta = l - l_d; \quad \delta = \frac{l - l_d}{l};$$

$$\Delta = f(l); \quad \delta = f(l)$$

4. Замінити об'єкт який має незначні виступи або впадини, а також провести повторні випробування.

5. Виконавши лабораторну роботу, дослідили принцип роботи та основні характеристик ультразвукового датчика переміщення.

4.5 Питання до самостійної підготовки

1. В чому полягає п'єзоефект?
2. В яких сферах використовуються п'єзоперетворювачі?
3. З яких матеріалів складаються п'єзоперетворювачі?

4. В чому полягає зворотній п'єзоефект?
5. В чому полягає принцип роботи перетворення переміщення?
6. Як виглядає діаграма ультразвукового перетворювача переміщення?
7. Яка сфера застосування ультразвукових перетворювачів переміщення?
8. Яка схема підключення перетворювача переміщення?
9. Яким чином отримується значення відстані від перетворювача до досліджуваного об'єкту?
10. Який принцип роботи ультразвукового перетворювача переміщення?

Лабораторна робота №5

ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ТЕМПЕРАТУРИ

5.1 Мета роботи

Розглянути принцип роботи та характеристики температурних перетворювачів.

5.2 Теоретична інформація

В енергетичних установках і системах теплотехнічні вимірювання служать для безперервного виробничого контролю за роботою устаткування. При проведенні робіт з енергетичного аудиту різних систем, у яких основним об'єктивним показником відповідності їх експлуатаційних характеристик з нормативними вимогами або вимогами технологічних умов є температура, точність її вимірювання буде обумовлювати прийнятність подальших заходів щодо впровадження енергозберігаючих заходів. Як правило, величина температури найбільш значуща в системах з потужними енергетичними потоками, в яких головним чином проводяться вимірювання ряду основних величин (тиску, температури, витрати та ін.) таких робочих речовин:

- свіжої пари, перегрітої пари, відібраної і відпрацьованої пари;
- води живильної, охолодженої, хімічно очищеної, мережевої і конденсату;
- димових газів у топці і газоходах котлоагрегату;
- повітря атмосферного, а також повітря для охолодження турбогенератора;
- насосів, вентиляторів, димососів і в системах перетворення енергій;
- палива твердого, рідкого і газоподібного.

Температурою називається ступінь нагріву речовини. Це ствердження про температуру засновано на теплообміні між двома тілами, що перебувають у тепловому контакті. Тіло, більше нагріте, що віддає тепло, має і більш високу температуру, ніж тіло, що сприймає тепло. За відсутності передачі тепла від одного тіла до іншого, тобто в стані теплової рівноваги, температури тіл рівні.

Головним завданням інженера, що проводить температурні вимірювання, є подальше забезпечення надійної і раціональної експлуатації обстежуваної енергосистеми. Успішне виконання цього завдання, а також організація технічного обліку роботи устаткування неможливі без енергетичного контролю, здійснюваного за допомогою вимірювальних приладів різного призначення, що дозволяє забезпечити:

- надійну і безпечну експлуатацію енергетичних установок;
- економічно найвигідніший режим роботи устаткування;
- організацію технічного обліку роботи агрегатів у цілому.

5.1 Методи вимірювання температури і види температурних шкал

Виміряти температуру певного тіла безпосередньо, тобто так, як вимірюють інші фізичні величини, наприклад довжину, масу, об'єм або час, не є можливим, тому що в природі не існує еталона або зразка одиниці цієї величини. Тому визначення температури речовини роблять за допомогою спостереження за зміною фізичних властивостей іншої, так званої термометричної речовини, яка зіткнулася з нагрітим тілом, вступає з ним через деякий час у теплову рівновагу. Такий метод вимірювання дає не абсолютне значення температури нагрітого середовища, а лише різницю щодо вихідної температури робочої речовини, умовно прийнятої за нуль.

Внаслідок зміни при нагріванні внутрішньої енергії речовини практично всі фізичні властивості останнього більшою або меншою мірою залежать від температури, але для її вимірювання вибираються по можливості ті з них, які однозначно міняються зі зміною температури, не піддані впливу інших факторів і порівняно легко вимірюються. Цим вимогам найбільше повно відповідають такі властивості робочих речовин, як об'ємне розширення, зміна тиску в замкнутому об'ємі, зміна електричного опору, виникнення термоелектрорушійної сили та інтенсивність випромінювання, покладені в основу будови приладів для вимірювання температури.

Зміна агрегатного стану хімічно чистої речовини (плавлення або затвердіння, кипіння або конденсація), як відомо, проходить при постійній температурі, значення якої визначаються складом речовини, характером її агрегатної зміни і тиском. Значення цих відтворених температур рівноваги між твердою і рідкою або рідкою і газоподібною фазами різних речовин при нормальному атмосферному тиску, що дорівнює 101325 Па (760 мм рт. ст.), називаються *реперними точками*.

Якщо взяти за основу інтервал температур між реперними точками плавлення льоду і кипіння води, позначивши їх відповідно 0 і 100, у межах цих температур виміряти об'ємне розширення певної робочої речовини, наприклад ртуті, що перебуває у вузькій циліндричній скляній посудині, і розділити на 100 рівних частин зміну висоти її стовпа, то в результаті буде побудована так звана температурна шкала.

Для вимірювання температури, що лежить вище або нижче обраних значень реперних точок, отримані поділки наносять на шкалі і за межами відміток 0 і 100. Поділки температурної шкали називаються градусами.

При побудові зазначеної температурної шкали була довільно взята пропорційна залежність об'ємного розширення ртуті від температури, що, однак, не відповідає дійсності, особливо при температурах вище 100 градусів. Тому за допомогою такої шкали можна точно виміряти температуру тільки у двох вихідних точках 0 і 100 градусів, тоді як результати вимірювання у всьому іншому діапазоні шкали будуть неточними. Те саме явище спостерігалось б і при побудові температурної шкали з використанням

інших фізичних властивостей робочої речовини, таких, як зміна електричного опору провідника, збудження термоелектрорушійної сили і т.п.

Користуючись другим законом термодинаміки, англійський фізик Кельвін у 1848 р. запропонував дуже точну і рівномірну, що не залежить від властивостей робочої речовини шкалу, яка отримала назву термодинамічної температурної шкали (шкали Кельвіна). Остання заснована на рівнянні термодинаміки для оборотного процесу (циклу Карно).

Термодинамічна температурна шкала починається з абсолютного нуля і у цей час є основною. Одиниці термодинамічної температури позначаються знаком K (кельвін), а умовне значення її буквою T .

На Генеральній конференції по мірах і вагах Міжнародний комітет мір і ваг прийняв нову практичну температурну шкалу 1968 р. (МПТШ-68), градуси якої позначаються знаком $^{\circ}C$ (градус Цельсія), а умовне значення температури – буквою t . Для цієї шкали градус Цельсія дорівнює градусу Кельвіна.

Крім Міжнародної практичної температурної шкали, існує ще шкала Фаренгейта, запропонована у 1715 р. Шкала побудована шляхом поділу інтервалу між реперними точками плавлення льоду і кипіння води на 180 рівних частин (градусів), позначуваних знаком $^{\circ}\Phi$. За цією шкалою точка плавлення льоду дорівнює 32, а кипіння води $212^{\circ}\Phi$.

Для перерахування температури, вираженої в кельвінах або градусах Фаренгейта, у градуси Цельсія користуються рівнянням

$$t^{\circ}C = T K - 273,15 = 0,556 (n^{\circ}\Phi - 32),$$

де $n^{\circ}\Phi$ — число градусів за шкалою Фаренгейта.

5.2 Класифікація приладів для вимірювання температури

Прилади для вимірювання температури поділяють залежно від використовуваних ними фізичних властивостей речовин на такі групи з діапазоном показань:

Термометри розширення ($-190\dots+650^{\circ}C$) засновані на властивості тіл змінювати під дією температури свій об'єм.

Манометричні термометри ($-160\dots+200^{\circ}C$) працюють за принципом зміни тиску рідини, газу або пари з рідиною в замкнутому об'ємі при нагріванні або охолодженні цих речовин.

Термометри опору ($-200\dots+650^{\circ}C$) засновані на властивості металевих провідників змінювати залежно від нагрівання їх електричний опір.

Термоелектричні термометри ($-50\dots+1800^{\circ}C$) побудовані на властивості різнорідних металів і сплавів утворювати в парі (спаї) термоелектрорушійну силу, що залежить від температури спаю.

Пірометри (-30...+6000⁰С) працюють за принципом вимірювання випромінюваної нагрітими тілами енергії, що залежить від температури цих тіл.

Термометри розширення. Фізична властивість тіл змінювати свій об'єм залежно від нагрівання широко використовується для вимірювання температури. На цьому принципі заснований пристрій *рідинних скляних і дилатометричних* термометрів, які з'явилися дуже давно і послужили для створення перших температурних шкал.

У *рідинних термометрах*, побудованих на принципі теплового розширення рідини в скляному резервуарі, як робочі речовини використовуються ртуть і органічні рідини — етиловий спирт, толуол і ін.

Найбільш широкого застосування дістали ртутні термометри, що мають у порівнянні з термометрами, заповненими органічними рідинами, істотні переваги: великий діапазон вимірювання температури, при якому ртуть залишається рідкою, незмочення скла ртуттю, можливість заповнення термометра хімічно чистою ртуттю через легкість її одержання та ін. При нормальному атмосферному тиску ртуть перебуває в рідкому стані при температурах від -39 (точка замерзання) до 357⁰С (точка кипіння) і середній температурний коефіцієнт об'ємного розширення $0,18 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$.

Термометри з органічними рідинами здебільшого придатні лише для вимірювання низьких температур у межах до 100⁰С.

Рідинні термометри, виготовлені зі скла, є місцевими показуючими приладами. Вони складаються з резервуара з рідиною, капілярної трубки, приєднаної до резервуара і закритої із протилежного кінця, шкали і захисної оболонки.

5.3 Ртутні термометри

Ртутні термометри за призначенням поділяють на *промислові (технічні), лабораторні і зразкові*. Основна похибка ртутних термометрів залежить від діапазону показань і ціни поділки шкали, зі збільшенням яких вона зростає. Внаслідок невеликого відхилення видимого коефіцієнта розширення ртуті в склі при зміні температури ртутні термометри мають майже рівномірну шкалу. Ртутні термометри виготовляються двох видів: із вкладеною шкалою і паличні (рис.5.1).

Термометр із вкладеною шкалою має заповнений ртуттю резервуар 1 (рис.5.1 *a*), капілярну трубку 2, циферблат 3 з молочного скла зі шкалою і зовнішньою циліндричною оболонкою 4, у якій укріплені капіляр і циферблат. Зовнішня оболонка з одного кінця щільно закрита, а з іншого - припаяна до резервуара.

Паличний термометр складається з резервуара 1 (рис.5.1 б), з'єднаного з товстостінним капіляром 2 зовнішнім діаметром 6-8 мм. Шкала термометра нанесена безпосередньо на поверхні капіляра у вигляді насічки на склі. Паличні термометри є більш точними в порівнянні з термометрами із вкладеною шкалою.

Недоліками ртутних термометрів є їх крихкість, неможливість дистанційної передачі і автоматичного запису показань, більша інерційність і труднощі відліку через нечіткість шкали і поганої видимості ртуті в капілярі.

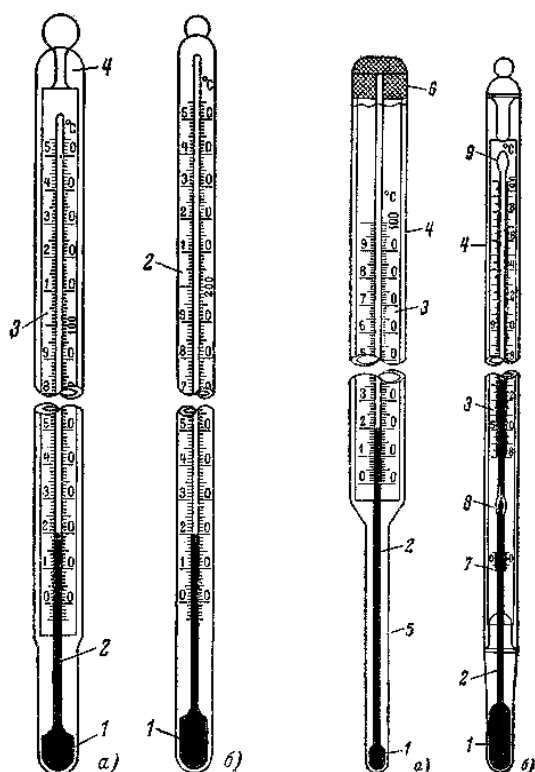


Рисунок 5.1 - Ртутні термометри:

а - звкладеною шкалою; б - паличний

частин приладу, а при газовій і паровій - ще додатковим обміном тепла випромінюванням з навколишніми поверхнями. Крім того, уведена у вимірюване середовище чутлива частина приладу тією чи іншою мірою змінює навколишнє температурне поле внаслідок відведення тепла. У цих умовах вимірювання температури не дає правильних результатів, тому що показання приладу відповідають його власній температурі, що відрізняється від температури вимірювального середовища. Неправильне установлення термометра, що дає більшу втрату тепла в навколишнє середовище, може привести до зниження його показань на 10-15%.

головним чином область місцевого контролю і лабораторні вимірювання.

Точність показань ртутного термометра, як і будь-якого приладу, що вимірює температуру, залежить від способу його установлення, тобто від правильного вирішення питань, пов'язаних із теплообміном між вимірюваною речовиною, термометром і зовнішнім середовищем. Це завдання зводиться до двох основних вимог: по-перше, до забезпечення найбільш сприятливих умов передачі тепла від вимірюваного середовища чутливої частини (резервуара) термометра і, по-друге, до зменшення по можливості віддачі тепла приладом навколишньому повітрю.

Особливо значно впливає на точність вимірювання витікання тепла від термометра, що при рідкому вимірюваному середовищі визначається теплопровідністю

Розглянуті нижче способи установлення ртутних термометрів є в основному загальними для різних типів термометрів.

Застосовуються два способи установлення ртутних термометрів: у захисних оправках (або гільзах) і шляхом безпосереднього занурення термометрів у вимірювальне середовище.

Досить поширеним є установлення термометра в захисній гільзі (рис.5.2), що оберігає його від поломки і забезпечує необхідну щільність з'єднання у місці розміщення приладу. Довжина захисної гільзи вибирається залежно від необхідної глибини занурення термометра.

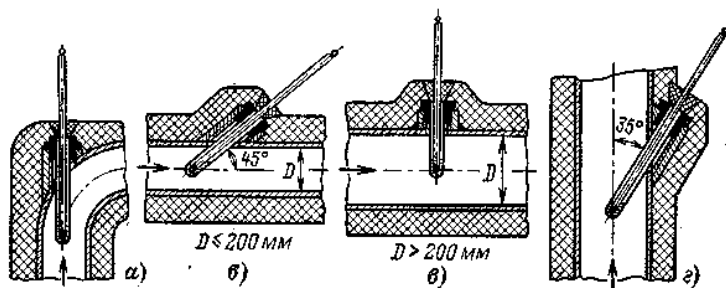


Рисунок 5.2 - Установлення ртутного термометра у захисній гільзі

Для поліпшення теплопередачі від гільзи до резервуара термометра кільцевий зазор, що утвориться в гільзі, між резервуаром та її стінкою заповнюється при вимірюванні температури до 150⁰С машинним маслом, а при більш високій температурі - мідною стружкою.

Заповнення гільзи маслом або стружкою проводиться так, щоб у це середовище був занурений тільки резервуар термометра. Надмірне заповнення гільзи знижує точність вимірювання через зростання відтоку тепла і збільшує інерційність приладу.

При вимірюванні температури в трубопроводі термометр установлюється в положення, при якому вісь труби проходить посередині резервуара. Занурення кінця термометра до центра труби, тобто в зону найбільшої швидкості потоку, поліпшує теплообмін між середовищем, що рухається.

Найбільш правильним є установлення термометра уздовж осі трубопроводу на коліні з висхідним потоком (рис.5.2, а), тому що при цьому умови обтікання кінця гільзи досить сприятливі. На горизонтальному трубопроводі діаметром до 200 мм термометр установлюється похило до осі труби, назустріч потоку (рис.5.2, б). При діаметрі трубопроводу більше 200 мм термометр може бути розміщений за нормаллю до осі труби (рис.5.2, в). На прямій вертикальній ділянці трубопроводу з висхідним потоком термометр завжди встановлюється похило, назустріч потоку (рис.5.2, з). Установлювати термометри на вертикальних трубопроводах зі спадним потоком не рекомендується.

5.4 Дилатометричні термометри

До дилатометричних термометрів відносять *стрижневі* і *пластинчастий* (біметалічний) термометри, дія яких заснована на

відносному подовженні під впливом температури двох твердих тіл, що мають різні температурні коефіцієнти лінійного розширення.

Стрижневий термометр (рис.5.3 а) має закрити з одного кінця трубку 1, що розміщується у вимірювальному середовищі і виготовлена з матеріалу з більшим коефіцієнтом лінійного розширення. У трубку вставлений стрижень 2, що притискається до її дна важелем 3, з'єднаним із пружиною 4. Стрижень виготовлений з матеріалу з малим коефіцієнтом розширення. При зміні температури трубка змінює свою довжину, що приводить до переміщення в ній стрижня, який зберігає майже постійні розміри і з'єднаний за допомогою важеля 3 із вказівною стрілкою приладу.

Пластинчастий термометр (рис.5.3 б) складається із двох вигнутих і спаяних між собою по краях металевих смужок, з яких смужка 1 має великий коефіцієнт лінійного розширення, а смужка 2 — малий. Отримана пластинка змінює залежно від температури ступінь свого вигину, величина якого за допомогою тяги 3, важеля 4 і з'єднаної з ним стрілки зазначається за шкалою приладу. При збільшенні температури пластинка вигинається у бік металу з меншим коефіцієнтом лінійного розширення.

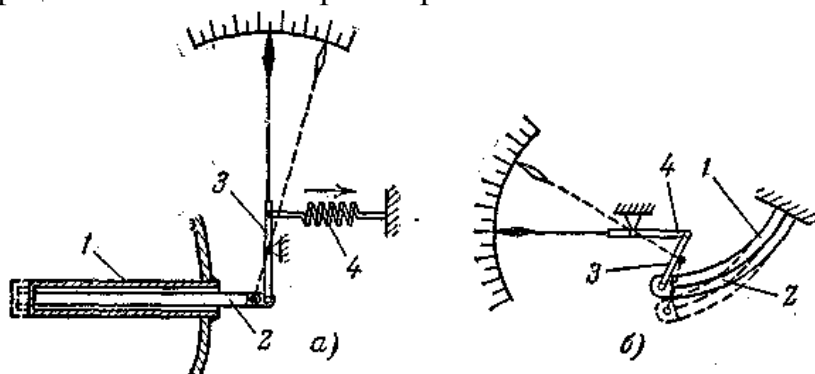


Рисунок 5.3 - Дилатометричні термометри:

а – стрижневий; б – пластинчастий

Дилатометричні термометри не дістали поширення як самостійні прилади, а використовуються головним чином як чутливі елементи в сигналізаторах температури. Крім того, пластинчасті термометри іноді застосовуються для компенсації впливу змінної температури навколишнього повітря на показання інших приладів, у які вони вбудовуються.

5.5 Манометричні термометри

Дія манометричних термометрів заснована на залежності тиску рідини, газу або пари з рідиною в замкнутому об'ємі (термосистемі) від температури. Зазначені термометри є показуючими промисловими і самописними приладами, призначеними для вимірювання температури в діапазоні до 200°C. Клас точності їх 1-2,5.

Залежно від робочої речовини, яка використовується в термосистемі, манометричні термометри поділяють на газові, рідинні і конденсаційні (мають як робочу речовину органічні рідини з низькою температурою

кипіння: хлористий метил, ацетон і фреон). Вибір робочої речовини виконується виходячи із заданого діапазону показань і умов вимірювання.

Схема манометричного термометра, що показує, наведена на рис.5.4. Термосистема приладу, заповнена робочою речовиною, складається з термобалона 1, що занурюється у вимірювальне середовище, манометричної трубчастої пружини 2, що діє за допомогою тяги 3 на вказівну стрілку 4, і капіляра 5, що з'єднує пружину з термобалоном.

Термобалон являє собою металеву трубку, закриту з одного кінця, а з іншого - з'єднану з капіляром. За допомогою знімного штуцера 6 з різьбленням і сальником термобалон установлюється в трубопроводах, баках і т.п. Можливе установлення його і у захисній гільзі. При нагріванні термобалона збільшення тиску робочої речовини передається через капіляр трубчастій пружині і приводить до розкручування останньої до того часу, доти діюче на неї зусилля, пропорційне різниці тисків у системі і навколишнім повітрі, не зрівноважиться силою її пружної деформації.

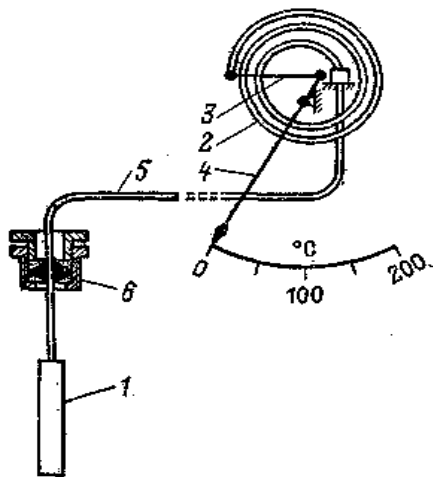


Рисунок 5.4 - Схема манометричного показуючого термометра

5.6 Термоелектричні термометри

Дія термоелектричних термометрів заснована на властивості металів і сплавів створювати термоелектрорушійну силу (термоерс), що залежить від температури місця з'єднання (спаю) кінців двох різнорідних провідників (термоелектродів), що утворюють чутливий елемент термометра — термопару. Маючи у своєму розпорядженні закон зміни термоерс термометра від температури і визначаючи значення термоерс електровимірювальним приладом, можна знайти реальне значення температури в місці вимірювання.

Термоелектричний термометр, що складається із двох спаяних і ізольованих по довжині термоелектродів, захисного чохла і головки із затискачами для підключення сполучної лінії, є первинним вимірювальним перетворювачем. Як вторинні прилади, що працюють із термоелектричними термометрами, застосовуються магнітоелектричні мілівольтметри і потенціометри.

Термоелектричні термометри широко застосовуються в енергетичних установках для вимірювання температури перегрітої пари, димових газів, металу труб котлоагрегатів і т.п. Позитивними властивостями їх є: великий діапазон вимірювання, висока чутливість, незначна інерційність, відсутність стороннього джерела електричного струму і легкість здійснення дистанційної передачі показань.

Для одержання порівняно високих значень термоерс вибір термоелектродів проводиться таким чином, щоб у парі із платиною один з них створював позитивну, а інший - негативну термоерс.

Термоелектричні термометри, що набули практичного застосування, поділяють за матеріалами термоелектродів на дві групи: із благородних (платина, платинородій) і неблагородних металів або сплавів (хром-алюмель, хромель-копелевий сплав). Термометри типів ТПП і ТПР із термоелектродами із благородних металів і сплавів застосовуються головним чином для вимірювання температури вище 1000°C, тому що вони мають високу термостійкість. Незважаючи на відносно малі значення, що розвиває термоерс, термометри типу ТПП завдяки винятковій сталості термоелектричних властивостей і великому діапазону вимірювання дістали великого поширення головним чином як лабораторні, зразкові та еталонні.

Випускаються *одинарні* (з одним чутливим елементом) і *подвійні* (із двома чутливими елементами) термоелектричні термометри різних типів.

Подвійні термометри застосовуються для вимірювання температури в тому самому місці одночасно двома вторинними приладами, установленими в різних пунктах спостереження. Вони містять два однакових чутливих елементи, з'єднаних у загальні арматури. Термоелектроди ізольовані один від одного і знаходяться у захисному чохлі.

На рис.5.5 показано будову термометра типу ТПП. Термоелектроди, що утворюють робочий кінець (спай) 1, ізольовані по довжині порцеляновими трубками 2 і 3 і поміщені в захисний чохол 4, розрахований на атмосферний тиск. Для надання чохлу додаткової міцності неробоча частина його вставлена в сталеву трубку 5. За допомогою сталевих втулок 6 і 7 захисний чохол з'єднаний з корпусом 8, у якому закріплені два затискачі 9 із припаяними до них термоелектродами, ущільненими мастикою 10. Корпус закритий знімною кришкою 11 на різьбленні, ущільненим прокладкою 12. Для уведення в корпус зовнішніх сполучних проводів служить штуцер 13 з ущільненням 14. На поверхні закріплена металева табличка 15, на якій зазначені: тип термометра, тиск, що допускається, і кінцева температура вимірюваного середовища, матеріал захисного чохла, дата виготовлення термометра і марка підприємства-виробника.

На точність вимірювання термоелектричного термометра значно впливають спосіб установлення і правильність проведення перевірки термометра і вторинного приладу.

Одним з основних вимог, які рекомендуються при установленні термоелектричного термометра, є досягнення мінімального витоку тепла по його арматурах. Для цього термометр можливо глибше занурюють у вимірювальне середовище, що приводить до збільшення теплосприймаючої поверхні і розташовується в місцях з великою швидкістю потоку, що поліпшує умови теплообміну.

5.7 Пірометри

Пірометри застосовуються для вимірювання температури тіл у діапазоні від мінус 30 до плюс 6000°C. Дія цих приладів заснована на залежності теплового випромінювання нагрітих тіл від їх температури і фізико-хімічних властивостей. На відміну від термометрів первинний перетворювач пірометра не підпадає під вплив високої температури і не змінює температурне поле, тому що перебуває поза вимірювальним середовищем.

З підвищенням температури нагрітого тіла інтенсивність його теплового випромінювання у вигляді електромагнітних хвиль різної довжини швидко зростає. При нагріванні до 500°C тіло випромінює невидимі інфрачервоні промені великої довжини хвилі, однак подальше збільшення температури викликає появу видимих променів меншої довжини, завдяки яким тіло починає світитися. Спочатку розпечене тіло має темно-червоні кольори, у міру підвищення температури і появи променів, що поступово зменшуються за довжиною хвилі, переходить у червоний, жовтогарячий, жовтий і, нарешті, білі кольори, що складається з комплексу променів різної довжини хвилі.

Одночасно зі збільшенням температури нагрітого тіла і зміною його кольору сильно зростає інтенсивність часткового (монохроматичного або одноколірного) випромінювання (яскравість) для даної ефективної довжини хвилі, а також помітно збільшується інтенсивність сумарного випромінювання (радіація) тілом енергії, що дозволяє використовувати ці властивості для вимірювання температури нагрітих тіл.

Різні фізичні тіла, що нагріті до тієї самої температури, мають неоднакові часткову і сумарну інтенсивності випромінювання і мають різні коефіцієнти поглинання, що являє собою відношення енергії, поглиненої тілом, до енергії, що падає на тіло.

Найбільшу здатність випромінювання і поглинання енергії має так зване *абсолютно чорне тіло*, у природі не існуюче, що становить собою уявлюваний ідеальний випромінювач. Це тіло поглинає всі падаючі на нього промені, тобто має коефіцієнт поглинання, що дорівнює одиниці, і має найбільшу інтенсивність випромінювання. Фізичні тіла мають здатність відбивати частину падаючих на них променів і, отже, завжди мають коефіцієнт поглинання менше одиниці. Інтенсивність випромінювання і коефіцієнт поглинання при даній температурі залежать від складу речовини і стану його поверхні. Тіло, що має темну і шорсткувату поверхню, ближче за своїми властивостями до чорного тіла, ніж тіло зі світлою і полірованою поверхнею.

Внаслідок цього шкалу пірометра доводиться градувати за випромінюванням чорного тіла, тому що випромінювальна здатність реальних тіл менша, ніж чорних тіл, то показання пірометра будуть відповідати не дійсній температурі реального тіла, а дають умовну

температуру або у цьому випадку так звану температуру яскравості. Пірометри, що вимірюють температуру яскравості за спектральною яскравістю у видимій частині спектра, називають *оптичними (квазімонохроматичними) візуальними пірометрами і фотоелектричними*.

Прилади, що вимірюють температуру за значенням відношень енергетичних яскравостей у двох спектральних інтервалах, називають *колірними пірометрами, або пірометрами спектрального відношення*.

Оптичні пірометри широко застосовуються в лабораторних і виробничих умовах для вимірювання температур вище 800°C . Принцип дії оптичних пірометрів заснований на порівнянні спектральної яскравості тіла зі спектральною яскравістю градуйованого джерела випромінювання. Як чутливий елемент, що визначає збіг спектральних яскравостей у візуальних оптичних пірометрах, служать очі людини. Найпоширенішим є оптичний пірометр зі зникаючою ниткою, схема якого наведена на рис.5.5 а. Для вимірювання температури об'єктів приладу спрямовується на об'єкт вимірювання *ОВ* так, щоб спостерігач на його фоні побачив в окулярі 7 нитку оптичної лампи 4.

Порівняння спектральних яскравостей об'єкта вимірювання і нитки лампи 4 здійснюються звичайно при довжині хвилі, що дорівнює $0,65\ \mu\text{м}$, для чого перед окуляром установлений червоний світлофільтр 6. Вибір червоного світлофільтра обумовлений тим, що око людини сприймає через цей фільтр тільки частину спектра його пропущення, що наближається до монохроматичного променя. Крім того, застосування червоного світлофільтра дозволяє знизити нижню межу вимірювання пірометра. Діафрагми (вхідна 3 і вихідна 5) обмежують вхідний і вихідний кути пірометра, оптимальні значення яких дозволяють забезпечити незалежність показань приладу від зміни відстані між об'єктом вимірювання і об'єктивом.

Спостерігаючи за зображенням нитки лампи на фоні об'єкта вимірювання (світлий фон — темна нитка (рис.5.5 б), темний фон — світла нитка (рис.5.5 з), за допомогою реостата змінюють силу струму, що йде від батареї *Б* до нитки лампи, до того часу, доти яскравість нитки не стане рівною видимій яскравості об'єкта вимірювання. При досягненні зазначеної рівності нитка «зникає» на фоні зображення об'єкта вимірювання (рис.5.5 в). У цей момент за шкалою міліамперметра, попередньо градуйованого за значеннями температури яскравості нитки лампи, визначають яскравісну температуру об'єкта. За обмірюваною яскравісною температурою і відповідними виразами розраховують істинну температуру об'єкта.

Звичайно в оптичних пірометрах є дві шкали, однією з яких користуються при невстановленому поглинаючому світлофільтрі, наприклад від 800 до 1200°C , а іншою — при встановленому світлофільтрі від 1200 до 2000°C . Існуючі в цей час оптичні пірометри призначені для вимірювання температур в інтервалі від 800 до 6000°C і мають різні модифікації з різними межами вимірювання. Клас точності оптичних пірометрів 1,5-4,0.

На точність вимірювання температури оптичними пірометрами впливають ступінь відхилення властивостей випромінювача від властивостей чорного тіла, а також поглинання променів проміжним середовищем, через яке проводиться спостереження. На результати вимірювання впливають наявність у навколишньому повітрі пилу, диму і великого вмісту двоокису вуглецю. Крім того, усяке забруднення оптичної системи пірометрів також проводить до збільшення похибки вимірювання.

Перевагами оптичних пірометрів є порівняно висока точність вимірювання, компактність приладу і простота роботи з ними. До недоліків варто віднести потребу в джерелі живлення, неможливість стаціонарного вимірювання температури і автоматичного її запису, а також суб'єктивність методу вимірювання, заснованого на спектральній чутливості очей спостерігача.

Багато реальних тіл, такі, як кераміка, оксиди металів, вогнестійкі вироби, графіт та ін. є практично сірими. У цьому зв'язку переваги колірною методу вимірювання очевидні, тому що колірна температура багатьох твердих і рідких тіл значно менше відрізняється від істинної температури, ніж яскравісна або радіаційна.

Фотоелектричні пірометри. На відміну від оптичних візуальних пірометрів фотоелектричні пірометри є автоматичними. Чутливими елементами, що сприймають променисту енергію, у цих приладах можуть служити *фотоелементи*, *фотомножники*, *фотоелементи опору* і *фотодіоди*. Вимірювання температури фотоелектричними пірометрами, як і оптичними візуальними, засновано на залежності спектральної яскравості тіла від його температури.

Фотоелектричні пірометри за принципом дії бувають двох типів. До першого типу відносять прилади, у яких сприймана приладом промениста енергія, потрапляючи на чутливий елемент, змінює його параметри (фотострум, опір). У приладах другого типу вимірювання променистої енергії здійснюється компенсаційним методом, тут чутливий елемент працює в режимі нуль-індикатора, порівнюючи інтенсивності випромінювання від вимірюваного тіла і стабільного джерела випромінювання - мініатюрної

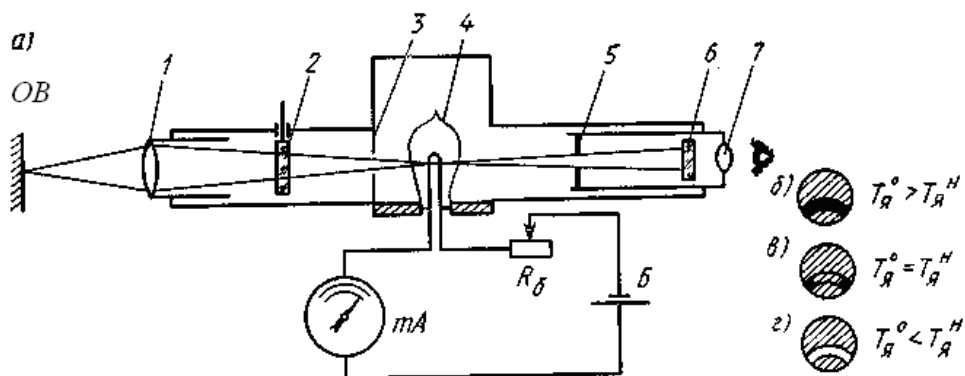


Рисунок 5.5 - Схема візуально-оптичного пірометра

лампочки розжарювання.

Пірометри сумарного випромінювання. Вимірювання температури пірометрами сумарного випромінювання засновано на використанні теплового випромінювання нагрітих тіл. Теплові промені, які уловлюються пірометром, концентруються за допомогою збірної лінзи на термочутливому елементі, що складається з невеликої термобатарей. Променистий потік направляється лінзою на робочі кінці термобатарей, за ступенем нагрівання яких роблять висновок про температуру випромінювача. Вторинним приладом пірометра служить мілівольтметр або автоматичний потенціометр.

Пірометр сумарного випромінювання характеризується рядом переваг у порівнянні з візуальним, що полягають в об'єктивності методу вимірювання, відсутності стороннього джерела живлення і можливості застосування дистанційної передачі показань на вторинні прилади, але уступає йому, як було зазначено раніше, у точності вимірювання.

Шкала пірометра, градуйована в $^{\circ}\text{C}$ радіаційної температури, має нерівномірні розподіли, сильно стислі на початку і розтягнуті наприкінці.

Для вимірювання температур вище 3000°C методи пірометрії є практично єдиними, тому що вони безконтактні, тобто не вимагають безпосереднього контакту датчика приладу з об'єктом вимірювання. Теоретично верхня межа вимірювання температури пірометрами випромінювання необмежена.

Серед усього різноманіття датчиків, які можна підключати до АЦП для обробки за допомогою віртуального вимірювального комплексу, одним з самих корисних буде датчик температури. Завдяки широкому робочому діапазону він може застосовуватися і для реєстрації метеорологічних процесів, і для аналізу температурного режиму акумулятора при швидкому заряді, і навіть для перевірки роботи автоматики холодильних камер.

Широкі можливості масштабування, що закладаються в ПО для віртуального вимірювального комплексу, дозволяють істотно спростити попередню обробку сигналу або навіть повністю від неї відмовитися.

З урахуванням виняткової простоти схемотехніки пропонованих АЦП логічно використовувати такий же простий датчик температури. Не може бути й мови про платиновий дріт, оскільки його низька чутливість і нелінійність параметрів зажадають застосування декількох операційних підсилювачів; не підійдуть і термопари, так як їх компенсатор «холодного спаю» складний по конструкції і вимагає дуже серйозної настройки.

4.8 Термометри опору

Для вимірювання температури широкого застосування дістали термометри опору, дія яких заснована на зміні електричного опору металевих провідників залежно від температури. Метали, як відомо, збільшують при нагріванні свій опір. Отже, знаючи залежність опору провідника від температури і визначаючи цей опір за допомогою електровимірювального приладу, можна робити висновки про температуру провідника.

Застосовуються *технічні* (промислові), *зразкові* та *еталонні платинові* термометри опору (рис. 5.6).

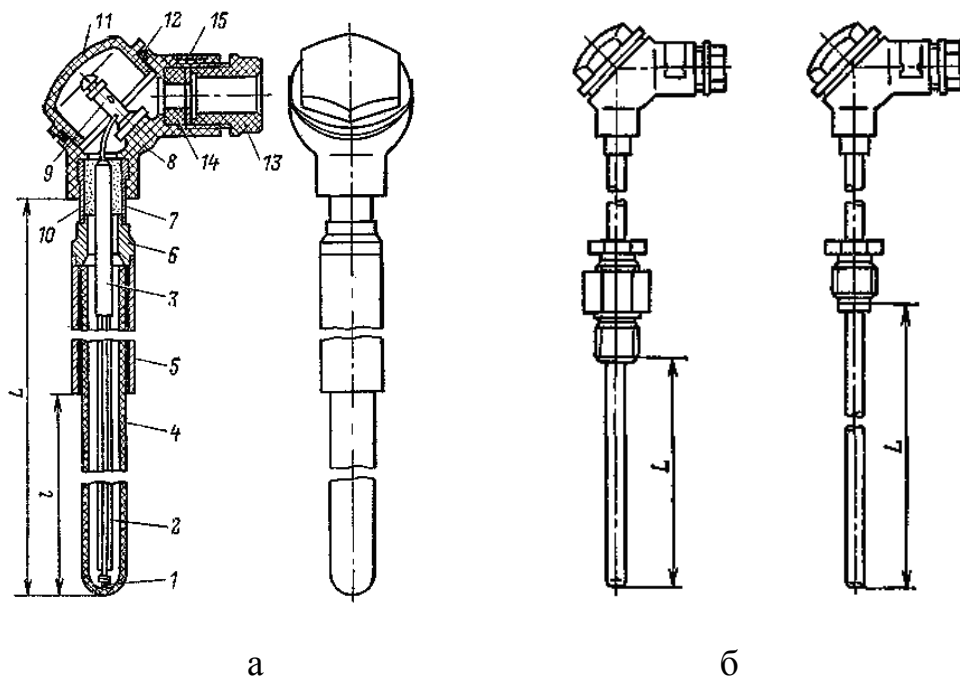


Рисунок 5.6 - Термоелектричний термометр типу ТПП (а) і ТХА (б)

Термометр опору, чутливий елемент якого складається з тонкого спірального дроту (обмотки), ізолюваного і поміщеного в металевий захисний чохол з голівкою для підключення з'єднувальних проводів, є первинним вимірювальним перетворювачем, який живиться від стороннього джерела струму.

Терморезистор (термістор) - це напівпровідниковий резистор, в якому використовується залежність електричного опору від температури (рис.5.7). Зміна температури терморезистора, а отже, його опір може бути викликано або зміною температури навколишнього середовища, або нагрівом терморезистора проходять через нього струмом, або впливом обох цих факторів (терморезистори з прямим підігрівом). Деякі типи терморезисторів мають спеціальну підігрівальну обмотку, електрично не пов'язану з терморезистором, що служить для його підігріву (терморезистори непрямого підігріву).



Рисунок 5.7 – Терморезистори

Основні характеристики терморезисторів:

1. Температурна залежність опору, показує, як змінюється опір терморезистора в робочому інтервалі температур (рис. 5.8).

Для більшості терморезисторів ця залежність визначається відношенням:

$$R_{T2} = R_{T1} \exp \left[\frac{B(T1 - T2)}{T1 \cdot T2} \right]$$

де R_{T1}, R_{T2} - опір терморезистора при абсолютних температурах $T1$ и $T2$ відповідно;

B – постійний коефіцієнт.

2. Температурний коефіцієнт опору %/град

$$TKR = \frac{\Delta R}{\Delta T \cdot R_{20^{\circ}C}} \cdot 100\%$$

де ΔR – зміна опору терморезистора, викликана малою зміною температури навколишнього середовища ΔT (параметр розглядається при будь-якій певній температурі). Залежно від знака TKR розрізняють терморезистори з негативним і позитивним температурним коефіцієнтом. Терморезистори з позитивним TKR називають позисторами. Вольтамперна характеристика визначає залежність струму через терморезистор від прикладеної до нього напруги (за умови теплової рівноваги між тілом терморезистора і зовнішнім середовищем). Типова вольтамперна характеристика терморезистора (рисунок 5.9) (пунктиром показана зміщена характеристика при більш високій температурі навколишнього середовища при більшому струмі підігріву).

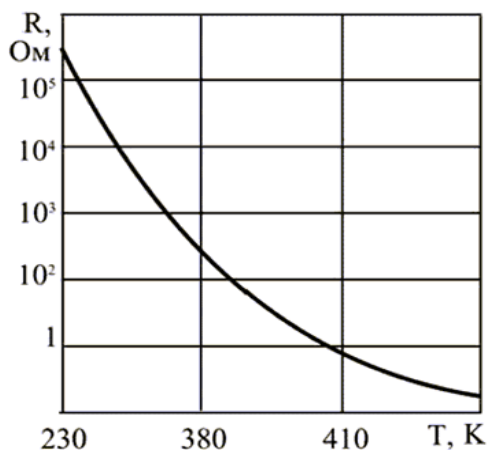


Рисунок 5.8 – Температурна залежність опору

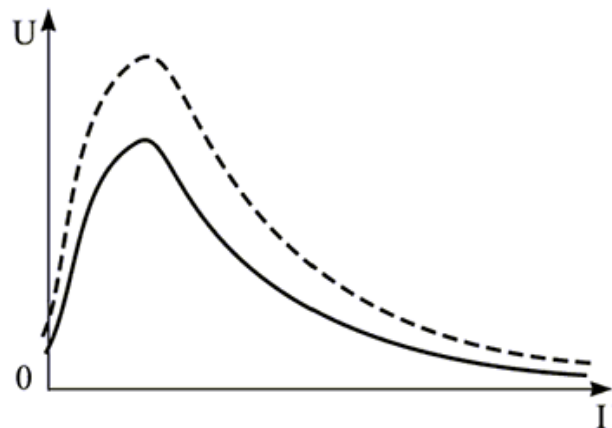


Рисунок 5.9 - Залежність опору терморезистора від температури

3. На принципових схемах термістори позначаються символом . Англійське написання : thermistor, thermoresistor.

Як вторинні прилади, що працюють із термометрами опору, застосовуються врівноважені і неуврівноважені вимірювальні мости і магнітоелектричні логометри.

Кінцева межа вимірювань дрових термометрів опору, обумовлена стійкістю їх при нагріванні, дорівнює 650°C .

Перевагами термометрів опору є висока точність вимірювання, можливість одержання приладів з безнульовою шкалою на вузький діапазон температур, легкість здійснення автоматичного запису і дистанційної передачі показань і можливість приєднання до одного вторинного приладу за допомогою перемикача декількох однотипних термометрів. До недоліків цих приладів відносять потребу в сторонньому джерелі струму.

Терморезистори з позитивним чи негативним температурним коефіцієнтом опору (ТКО) дуже чутливі до змін температури. Вони просто підключаються, але їх характеристики нелінійні, так що їх надзвичайно складно калібрувати.

У температурному діапазоні від -50°C до $+150^{\circ}\text{C}$ великі переваги мають кремнієві датчики. Досить чутливі і часто володіють хорошою лінійністю характеристик, вони, до всього іншого, дешеві й доступні.

5.3 Оснащення роботи

Ртутний термометр, термопара, терморезистор, пірометр, ємність, нагрівальний елемент, вода, джерело живлення, вольтметр.

5.4 Методика виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкціями перетворювачами температури.
2. Зібрати вимірювальну схему для визначення температури з використанням термопари та терморезистора.
3. Провести нагрівання води в ємності з фіксацією температури термопари та терморезистора, а також ртутного термометра.
4. Побудувати залежності між показниками температури ртутного термометра, а також показниками термопари та терморезистора.
5. Вказати можливі довірчі межі вимірювання температури з використанням термопари та терморезистора.

5.5 Питання до самостійної підготовки

1. Які існують основні перетворювачі температури?
2. В чому полягає особливість ртутних термометрів?
3. В яких сферах використовуються термопари?
4. Яких фізичний ефект використовуються в термопарах?
5. Яких фізичний ефект використовуються в терморезисторах?
6. В яких сферах використовуються терморезистори?
7. Що представляє собою температурна залежність терморезисторів?
8. Який фізичний ефект використовується в пірометрах?
9. В яких випадках використовуються пірометри?
10. В чому полягають переваги та недоліки пірометрів?

Лабораторна робота №6

МЕТРОЛОГІЧНІ ЗАСОБИ ДЛЯ МІКРОСКОПІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХОНЬ

6.1 Мета роботи

Набути навички використання поверхонь світлового мікроскопа для визначення лінійних розмірів об'єктів, а також проводити його калібрування.

6.2 Теоретичні відомості

Мікроскоп (від лат мікроскопії - малий і scopein - розглядати, спостерігати) - прилад, дозволяє отримувати збільшене зображення об'єктів і структур, недоступних оку людини. У практиці медико-біологічних досліджень застосовуються методи світлової і електронної мікроскопії.

Світлові мікроскопи можуть збільшувати об'єкт (розмір об'єкта 0,5 мкм і більше, з дозволем окремих структур об'єкта до 0,1 мкм) більш ніж в 1500 разів, а електронні мікроскопи - більш ніж в 20 000 разів. Світлова мікроскопія ґрунтується на законах геометричної оптики і хвильової теорії утворення зображення (рис. 6.1).

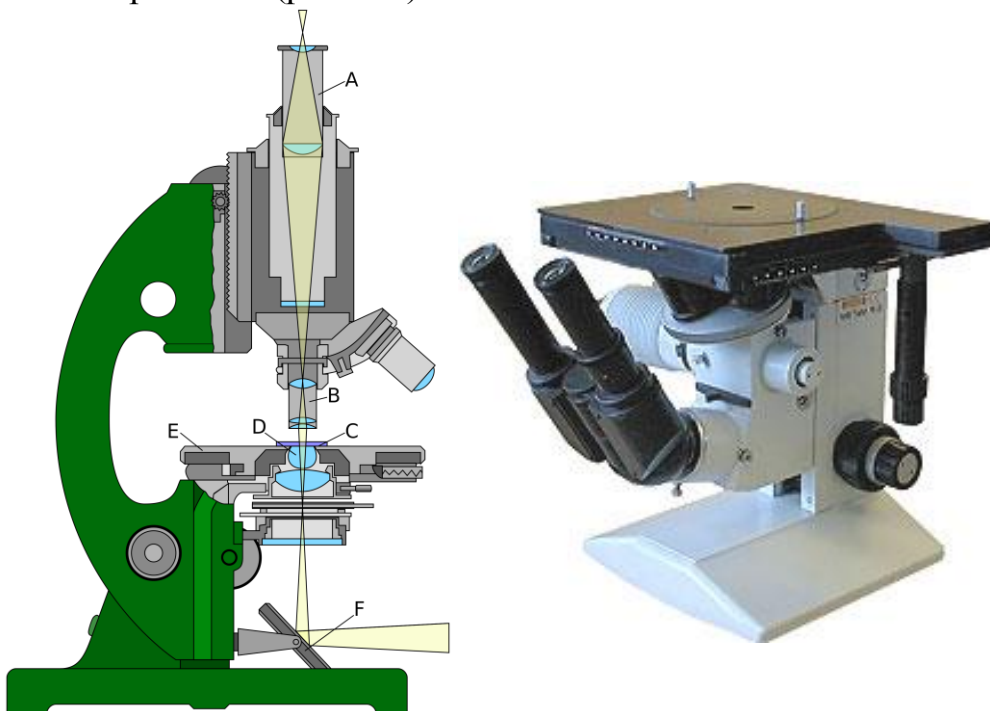


Рисунок 6.1 – Зовнішній вигляд світлового мікроскопу

Класифікація світових мікроскопів

Класифікація світових мікроскопів пов'язана з геометричними параметрами об'єкта та його зображення, а також з фізичними явищами,

пов'язаними з хвильової природою світла , які реалізуються в конструкції мікроскопа.

Світлові мікроскопи діляться на мікроскопи плоского поля (двомірне зображення об'єкта) і стереоскопічні (об'ємне або тривимірне зображення об'єкта). Парк сучасних мікроскопів для досліджень включає всебі такі основні групи:

- Біологічні мікроскопи (мікроскопи прохідного світла) ;
- Інвертовані біологічні мікроскопи (інвертовані мікроскопи прохідного світла) ;
- Люмінесцентні мікроскопи ;
- Поляризаційні мікроскопи проходить світла ;
- Аналізатори зображення;
- Стереоскопічні мікроскопи .

За ступенем складності (і, відповідно , вартості) кожену групу можна розділити

на наступні групи:

- Навчальні ;
- Рутинні ;
- Робочі ;
- Лабораторні ;
- Дослідницькі.

Для визначення дійсних розмірів об'єктів використовуються *системи відліків*.

Під системами прямого відліку розуміють зняття відліку по шкалам без попереднього суміщення зображення штрихів (рис. 6.2). Оптичні системи в таких пристроях призначені тільки для збільшення видимих розмірів поділок шкал і об'єкта.

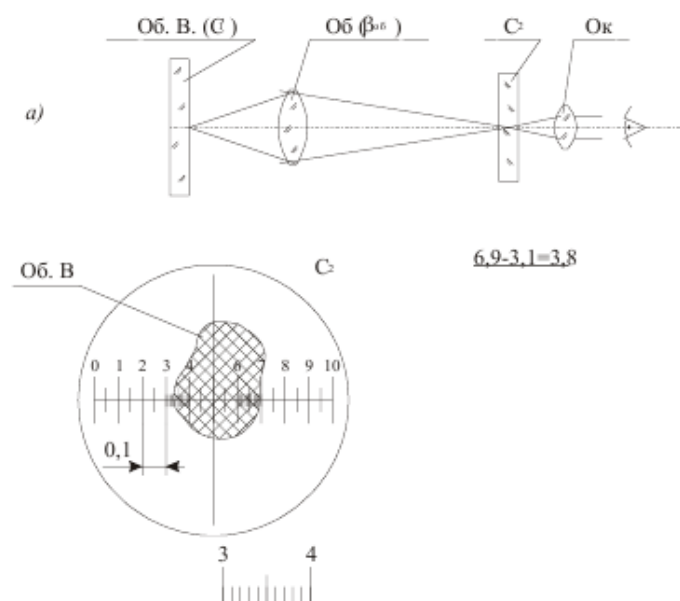


Рисунок 6.2 – Система прямого відліку

По шкалі візирного мікроскопа роблять безпосереднє вимірювання об'єктів невеликого розміру, зображення яких не перевищують довжини шкали (діапазон вимірювань). Реальний розмір об'єкта буде в β раз менше, де β - збільшення об'єктива мікроскопа. В шкалах поперечного масштабу використовується дві сітки - рухома міліметрова (С1) і нерухома окулярна. Великий міліметровий інтервал окулярної шкали (С2) розділений бісекторами по горизонталі на десять частин з ціною ділення 0,1 мм. В свою чергу, кожен малий інтервал з ціною поділки 0,1 мм поділений також на десять частин за допомогою одинадцяти бісекторів, рознесених по вертикалі і зсунутих по горизонталі на однакову величину - 0,01 мм. Таким чином міліметрова шкала виявляється інтерпольованою на 100 поділок. При високій якості зображення можлива оцінка "на око" тисячних часток міліметра.

Відлікові системи з оптико-механічними мікрометрами

Оптико-механічні мікрометри - це відлікові пристрої, які містять оптично сполучені рухомі і нерухомі шкали, причому ціна поділки рухомої шкали в декілька раз менше ціни поділки нерухомої шкали, за рахунок чого і відбувається її інтерполяція. Переміщення рухомої шкали здійснюється механічним способом. Оптико-механічні мікрометри призначені для безпосередніх лінійних вимірювань об'єктів, зображення яких, надане оптичною системою, не перевищують межі переміщення шкали мікрометра. Оптико-механічні мікрометри називають окулярними, якщо вони встановлені в площині сітки окуляра, екранними, якщо вони встановлені в площині екрана, на який проектується зображення об'єкта і об'єктними, якщо вони встановлюються в площині вимірюваного об'єкта.

Мікроскоп і його складові частини

На відміну від лупи, мікроскоп має як мінімум два ступені збільшення.

Функціональні та конструктивно-технологічні частини мікроскопа призначені для забезпечення роботи мікроскопа і отримання стійкого, максимально точного, збільшеного зображення об'єкта. Мікроскоп включає в себе три основні функціональні частини:

1. Освітлювальна частина призначена для створення світлового потоку, який дозволяє освітити об'єкт таким чином, щоб наступні частини мікроскопа гранично точно виконували свої функції. Освітлювальна частина мікроскопа проходить світла розташована за об'єктом під об'єктивом в прямих мікроскопах і перед об'єктом над об'єктивом в інвертованих мікроскопах.

Освітлювальна частина включає джерело світла (лампа і електричний блок живлення), і оптико-механічну систему (колектор, конденсор, польова та апертурні регульовані / ірисові діафрагми).

1.1 Джерела світла

Джерела світла в мікроскопі можуть бути природними і штучним.

1.2 Колектор

При вбудованій освітлювальній системі проходить світла колектор розташований поблизу джерела світла в підставі мікроскопа і призначений для збільшення розміру світиться тіла . Для забезпечення настройки колектор може бути виконаний рухомим і переміщатися уздовж оптичної осі. Поблизу колектора розташовується польова діафрагма мікроскопа.

1.3 Конденсор

Оптична система конденсора призначена для збільшення кількості світла, що надходить в мікроскоп. Конденсор розташовується між об'єктом (предметним столиком) і освітлювачем (джерелом світла). Найчастіше в навчальних і простих мікроскопах конденсор може бути виконаний незнімним і нерухомим. В інших випадках конденсор є знімною частиною і при налаштуванні освітлення має фокусує переміщення вздовж оптичної осі і центрує переміщення перпендикулярно оптичної осі. При конденсорі завжди знаходиться освітлювальна апертура ірисова діафрагма.

Конденсор є одним з основних елементів, що забезпечують роботу мікроскопа при різних методах освітлення і контрастування.

2. Відтворювальна частина призначена для відтворення об'єкта в площині зображення з необхідним для дослідження якістю зображення і збільшення (тобто для побудови такого зображення , яке якомога точніше і у всіх деталях відтворювало б об'єкт з відповідним для даної оптики мікроскопа дозволом , збільшенням, контрастом і передачею кольору) . Відтворювальна частина забезпечує перший ступінь збільшення і розташована після об'єкту до площини зображення мікроскопа.

Відтворювальна частина включає об'єктив і проміжну оптичну систему (рис. 6.3). Сучасні мікроскопи останнього покоління базуються на оптичних системах об'єктивів, скоригованих на нескінченність. Це вимагає додатково застосування так званих тубусних систем (лінз) , які паралельні пучки світла, що виходять з об'єктиву , « збирають » в площині зображення мікроскопа.



Рисунок 6.3 – Пристрої освітлення

3. Візуалізуюча частина призначена для отримання реального зображення об'єкта на сітківці ока , фотоплівці або платівці , на екрані

телевізійного або комп'ютерного монітора з додатковим збільшенням (другий ступінь збільшення).

Візуалізуюча частина розташована між площиною зображення об'єктива і очима спостерігача (або площиною зображення відеокамери або фотокамери).

Візуалізуюча частина включає монокулярну, біноклярну або тринокулярну візуальну насадку із спостережною системою (окулярами , які працюють як лупа). Крім того , до цієї частини відносяться системи додаткового збільшення ; проєкційні насадки , в тому числі для спостереження декількома дослідниками (при колективному аналізі обговоренні мікроструктури препаратів); малювальні апарати ; системи аналізу та документування зображення з відповідними адаптерними елементами .

4.Механічна частина. Основним конструктивно-механічним блоком мікроскопа є механічна частина - штатив.

Штатив включає в себе такі основні блоки : підстава і тубусотримач . Підстава являє собою блок , на якому кріпиться весь мікроскоп. У простих мікроскопах на підставу встановлюються освітлювальні дзеркала або накладні освітлювачі. У складніших моделях мікроскопів освітлювальна система вбудована в основу з блоком живлення або без нього.

Тубусотримач являє собою блок , на якому закріплюються практично всі оптичні елементи мікроскопа :

1) Вузол зміни об'єктивів , що має наступні варіанти виконання

- револьверне пристрій для кріплення декількох об'єктивів ,
- різьбовий пристрій для вгвинчування об'єктива ,
- « санчата» для безрізєвого кріплення об'єктивів за допомогою напрямних,
- комбіновані (різьбове кріплення для кожного об'єктива і салазки для установки об'єктива в робоче положення) .

2) Фокусуєчий механізм грубого і точного налаштування мікроскопа на різкість - механізм фокусіровочного переміщення об'єктивів або столиків,

3) Вузол кріплення змінних предметних столиків ,

4) Вузол кріплення , а також фокусуєчий і центруючий переміщення конденсора ,

5) Вузол кріплення змінних насадок (візуальних , фото- , теле- , та ін.)

У мікроскопах можуть використовуватися стійки для кріплення вузлів (наприклад, фокусуєчий механізм в стереомікроскопів або кріплення освітлювача в деяких моделях інвертованих мікроскопів) .

До механічних вузлів мікроскопа відноситься предметний столик , призначений для кріплення або фіксації в певному положенні об'єкта спостереження . Столики бувають:

- нерухомі,
- координатні

- обертові (центрована і не центровані).

Об'єктиви представляють головні оптичні деталі мікроскопів. Від апертури об'єктивів залежить розрізнявальна здатність мікроскопа.

Об'єктиви мікроскопа являють собою оптичні системи , які використовуються для побудови мікроскопічного зображення в площині зображення з відповідним збільшенням , дозволом елементів , точністю відтворення за формою і кольором об'єкта дослідження . Вони мають складну оптико-механічну конструкцію , яка включає кілька одиночних лінз і компонентів, склеєних з 2 -х або 3 -х лінз.

Кількість лінз і конструкція об'єктивів визначають цілі, які можна вирішувати при використанні різних типів об'єктивів. Чим вище якість зображення, що дається об'єктивом, тим складніше його оптична схема . Загальне число лінз в складному об'єктиві може доходити до 14 (наприклад , в планохроматичному об'єктиві із збільшенням 100x і числовий апертурою 1,40).

Об'єктив складається з фронтальної лінзи і набору внутрішніх лінз. Фронтальна лінза (або система лінз) звернена до препарату і є основною при побудові зображення відповідної якості , визначає робоче відстань і числову апертуру об'єктива.

Інші лінзи в поєднанні з фронтальним забезпечують необхідне збільшення , фокусна відстань і якість зображення , а також визначає висоту об'єктива і довжину тубуса мікроскопа.

Збільшення об'єктива. При кінцевої довжині тубуса (наприклад, 160 мм) збільшення об'єктива визначається наступним чином:

$$\beta = \frac{Д.Т.}{F} = 160/F_{об}$$

де Д.Т. - Механічна довжина тубуса, $F_{об}$ - фокусна відстань об'єктива.

Збільшення окуляра визначається за формулою:

$$\beta_{ок} = 250/F_{ок}$$

де 250 - відстань найкращого бачення в мм, $F_{ок}$ - фокусна відстань окуляра.

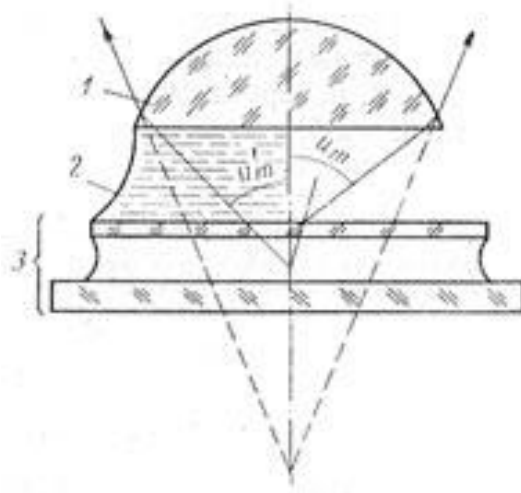
Розмір поля зору в площині предмета розраховується з урахуванням лінійного поля зору окуляра і збільшення об'єктива, а також додаткових оптичних елементів, які мають збільшення і розташовані до окуляра всередині мікроскопа. При роботі з монокулярною насадкою (1x) і об'єктивом 40x розмір поля зору в площині препарату становитиме: 18 мм: 40x = 0,45 мм. при роботі з біноклярної насадкою АУ- 12 , збільшення якої 1,5 x з тим же об'єктивом розмір поля зору в площині препарату буде дорівнює: 18 мм: 40x : 1,5 x = 0,21 мм.

Числова апертура об'єктиву

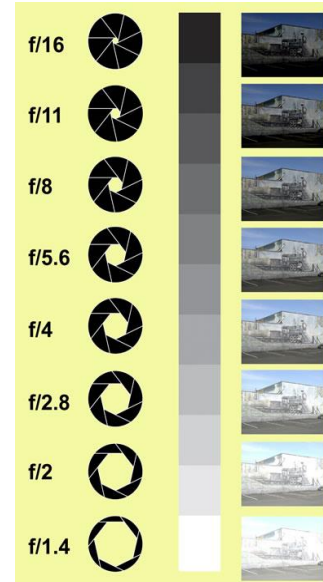
Числова апертура об'єктива (А) дорівнює добутку синуса половини апертурного кута об'єктива на показник заломлення середовища між предметом і об'єктивом

$$A = n \cdot \sin\left(\frac{U}{2}\right)$$

де n - показник заломлення середовища, що лежить між об'єктом спостереження і об'єктивом ,
 u - апертурний кут об'єктива (рис. 6.4).



а



б

Рисунок 6.4– Визначення апертурного кута (а) та вплив числової апертури на якість зображення

Числова апертура визначає ряд найважливіших властивостей мікроскопа : яскравість зображення і дозвіл мікроскопа : чим більше числова апертура об'єктива , тим більше дрібні деталі об'єкта можна розрізнити .

Роздільна здатність.

Роздільна здатність мікроскопа – це здатність побачити за допомогою мікроскопа дрібні деталі предмета з найменшою відстанню між ними (рис. 6.5).

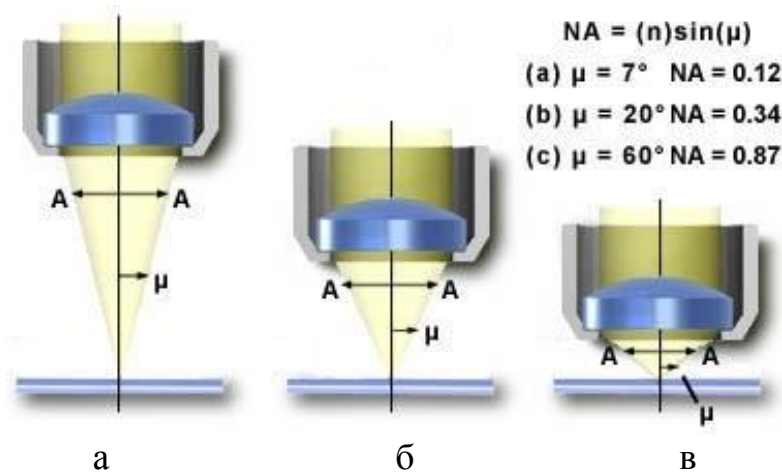


Рисунок 6.5 – Мікроскопічні вимірювання при різних значеннях числової апертури

Роздільна здатність визначається як найменша відстань між двома точками в зображенні об'єкта, коли вони добре видно як дві окремі точки. Для нормального («неозброєним») очі граничне кутовий дозвіл на сітківці становить близько $1'$, що відповідає мінімальній відстані між двома помітними точками - 0,0045 мм.

Хвильові властивості світла визначають межу роздільної здатності в оптичних приладах. Згідно дифракційної теорії утворення зображення (теорія Аббе), в світловому мікроскопі не можна бачити об'єкти, розмір яких менше половині довжини хвилі і не можна отримати зображення менше напівдовгому хвилі:

$$d \geq 0.5 \cdot \frac{\lambda_0}{A}$$

де d - роздільна здатність мікроскопа (мкм), λ_0 - довжина хвилі (мкм) і A - числова апертура об'єктива.

Коли світло від різних точок зразка проходить через об'єктив і відновлюють у вигляді зображення, різні точки зразка з'являться в образі як дрібним малюнком (не точок), відомих як Ейрі візерунків. Це явище викликане дифракцією або розсіюванням світла при його проходженні через найдрібніших деталей і місць у зразку та кругової задньої апертури об'єктива. Центральний максимум з шаблонів Ейрі часто згадується в якості диска Ейрі, яка визначається як в області, охопленій першого мінімуму картини Ейрі і містить 84 відсотків від світлової енергії (рис. 6.6). Ці Ейрі диски складаються з невеликої концентричних темних і світлих кіл, як показано на малюнку. Ця цифра показує, Ейрі та їх розподілу інтенсивності в залежності від відстані поділу.

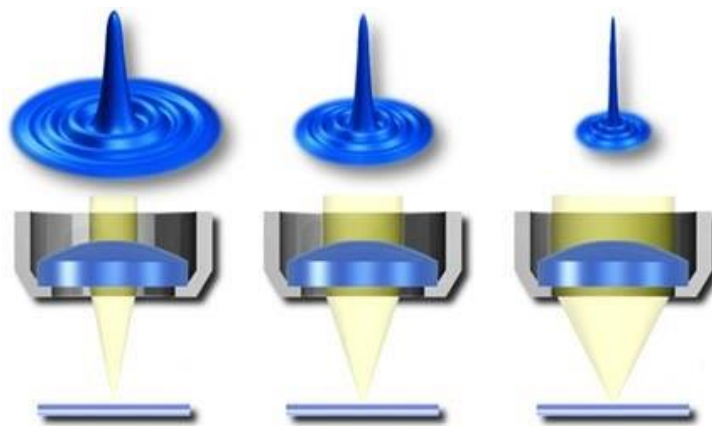


Рисунок 6.6– Візерунки Ейрі при проходженні світла через об'єктив

На рис. 6.6 показаний ефект числової апертури на розмір Ейрі отриманого з використанням серії гіпотетичних чиним з тією ж фокусною

відстанню, але різною числовою апертурою. З невеликими числовими апертурами, розмір Ейрі диску великий, як показано на рис. 6.5, а. Якщо числова апертура і світловий кут конуса об'єктивних збільшується, то розмір диска Ейрі зменшується, як показано на рис. 6.6, б,с. Отримане зображення на рівні окуляра діафрагми насправді собою мозаїку, який сприймається як світло і темрява.

Терміни та визначення

1. Рельєф поверхні твердого тіла (Рельєф поверхні): Поверхня твердого тіла, відхилення якої від ідеальної площини обумовлені природними причинами або спеціальною обробкою.
2. Елемент рельєфу поверхні (елемент рельєфу) : Просторово локалізована частина рельєфу поверхні.
3. Піксель : Найменший дискретний елемент зображення , що отримується в результаті математичної обробки сигналу.
4. Сканування елемента досліджуваного об'єкта (сканування) : Порядкове переміщення зонда над обраним елементом рельєфу поверхні досліджуваного об'єкта з одночасною реєстрацією сигналу.
5. Зображення на екрані монітора мікроскопа (відеозображення) : Зображення на екрані монітора мікроскопа у вигляді матриці з рядків пікселів у кожній , яскравість яких прямо пропорційна значенню сигналу відповідної точки матриці.
Яскравість пікселя визначається силою світла , випромінюваної в напрямку ока спостерігача .
6. Відеопрофіль інформативного сигналу (відеопрофіль) : Графічна залежність значення інформативного сигналу, що надходить з детектора мікроскопа , від номера пікселя в цьому рядку відеозображення.
7. Масштабний коефіцієнт відеозображення мікроскопа (масштабний коефіцієнт) : Відношення значення довжини досліджуваного елемента рельєфу на об'єкті вимірювань до числа пікселів цього елемента на відеозображенні. Масштабний коефіцієнт визначають для кожного мікроскопа.
8. Рельєфна міра : Засіб вимірювань довжини , що представляє собою твердий об'єкт , лінійні розміри елементів рельєфу якого встановлені з необхідною точністю. Рельєфна міра може бути виготовлена за допомогою засобів мікро- і нанотехнології або представляти собою спеціально оброблений об'єкт природного походження.
9. Елемент рельєфу у формі виступу (виступ): Елемент рельєфу, розташованої вище прилеглих до нього областей.

6.3 Оснащення роботи

Мікроскоп з комплектом об'єктивів, об'єкт мікрометр, зразки шорсткостей поверхонь.

6.4 Методика виконання роботи

6.4.1. Визначити коефіцієнт збільшення β мікроскопа для 300 дрі для різних об'єктів.

6.4.2. Визначити натуральні розміри та площу зображення з врахуванням роздільної здатності камери для різних об'єктів.

6.4.3. Визначити масштабний коефіцієнт відео зображення мкм/піксель

6.4.4. Визначити апертурний кут для різних об'єктів.

$$A = n \cdot \sin\left(\frac{U}{2}\right)$$

де $n=1$, A – марнування на об'єкти.

6.4.5. Визначити мінімальну роздільну здатність мікроскопа

$$d = 0.5 \cdot \frac{\lambda_0}{A}$$

Довжина хвилі для видимого світла прийємо рівним 550 нм.

6.4.6. Визначення стандартної сумарної невизначеності мікроскопа при вимірюванні розмірів об'єктів

$$u_c(m) = \frac{\sqrt{4u^2(a) + m^2(u^2(A_L) + u^2(A_R))}}{A_L + A_R}$$

де $u(a)$ – стандартна невизначеність вимірювання проекції нахилу еталону (приводиться в методиках вимірювання). Приймаємо 1 мкм.

m - масштабний коефіцієнт, мкм/піксель;

$u(A_L)$, $u(A_R)$ – стандартні невизначеності вимірювань проекції еталону, піксель (0,5 піксель)

A_L та A_R – відстань між контрольними точками

6.4.7. Представити зображення шорсткості вибраних класів.

6.4.8. На рисунках визначити розміри виступів або впадин, а також їх крок.

6.5 Питання до самостійної підготовки

1. Перерахуйте загальну класифікацію сучасних мікроскопів?
2. Що називається система відліку мікроскопа?
3. З яких основних частин складається мікроскоп?
4. Для чого використовується конденсор?
5. Яким чином визначається збільшення об'єктива?
6. Як визначається числова апертура мікроскопа?
7. Що представляє собою роздільна здатність мікроскопа?
8. Що таке візерунки Ейрі?
9. Дайте визначення поняття піксель?
10. Від яких чинників залежить стандартна невизначеність мікроскопа?

Лабораторна робота №7

ПРИНЦИП РОБОТИ ПОЗИЦІЙНИХ ВИМИКАЧІВ

7.1 Мета роботи

Набути навички використання позиційних вимикачів різного типу для автоматизації технологічних процесів

7.2 Теоретичні відомості

До безконтактних давачів переміщення (позиційних) звичайно відносять:

індуктивні, які реагують на наявність металевих предметів;

ємнісні, здатних виявляти неметалеві предмети;

фотоелектричні, що реагують на предмет, який відбиває або перериває світлове випромінювання, видиме чи невидиме;

ультразвукові, які передають і приймають ультразвукові сигнали, відбиті від предмета.

Вихідний сигнал перелічених давачів є дискретним, вони зазвичай призначені для комутації електричних кіл з номінативною напругою не більше 250 В АС або 320 В БС.

Функцію вихідного перетворювача у таких давачів виконує напівпровідниковий комутаційний елемент, важливою перевагою якого перед електромеханічним комутаційним елементом є практично відсутність зносу та висока частота перемикачів, наближено 3000 за секунду.

Загальні вимоги до таких давачів викладені у стандарті ІЕС 60947-5-2-97.

Безконтактні індуктивні давачі

Зазначений вище безконтактний індуктивний давач інакше називають індуктивним давачем наближення. Він активізується з наближенням металевого предмета до сенсора давача.

Структурна схема індуктивного давача наближення зображена на рис.7.1.

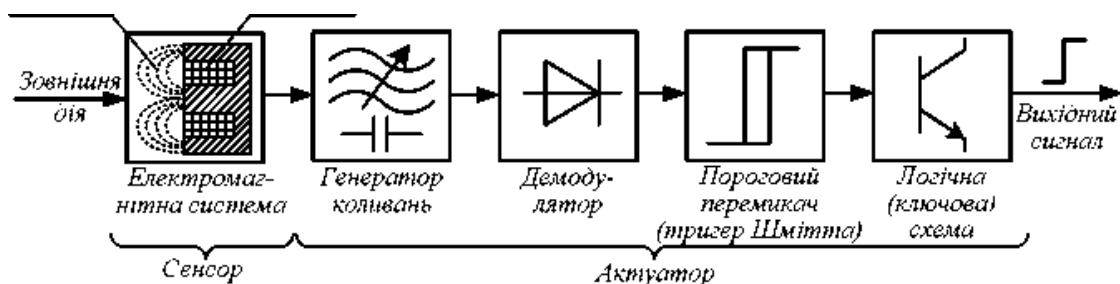


Рис. 7.1 – Структурна схема індуктивного давача наближення

На рис.7.2. представлені приклади, які демонструють можливі застосування індуктивних давачів наближення.

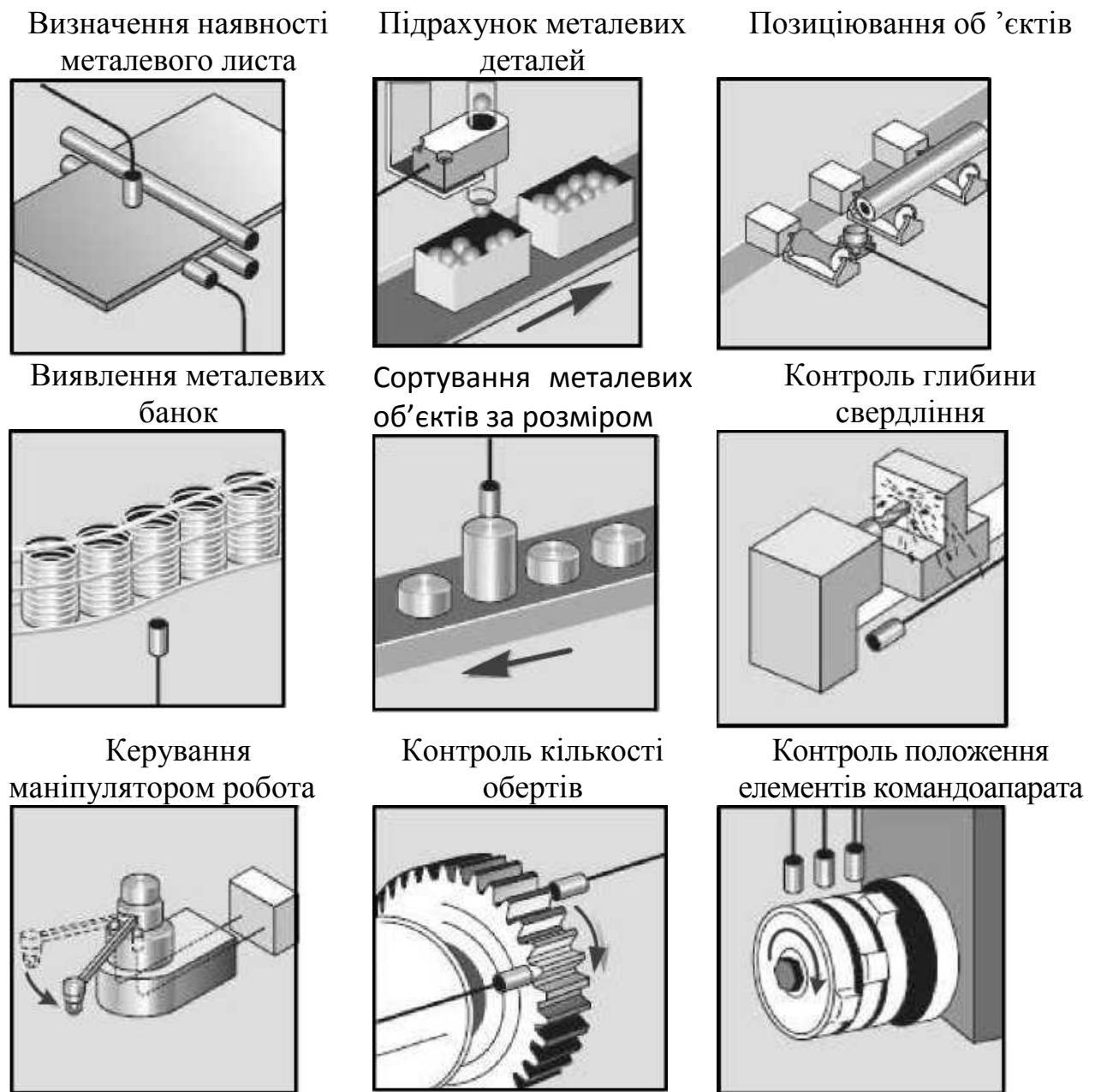


Рис.7.2 –Приклади, які демонструють можливі застосування давачів наближення

Принцип дії такого давача полягає у зміні амплітуди коливань генератора. Зображена на рисунку котушка сукупно з ємністю утворюють коливний контур, який збуджується генератором з частотою у декілька кілогерц. Високочастотний струм у котушці формує відповідно високочастотне магнітне поле. У разі входження у зону поля металевого

предмета, його можна розглядати як вторинну у відношенні до котушки сенсора обмотку трансформатора. Спрощена заступна схема такого трансформатора має вигляд як на рис.7.3.

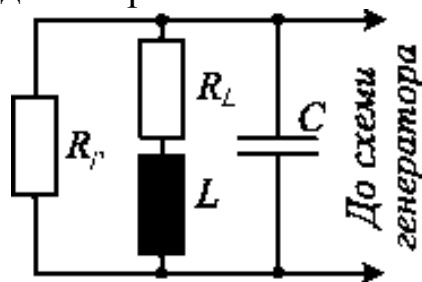


Рис.7.3 – Заступна схема паралельного коливного контура за наявності полі сенсора металевго предмета: R_1 - зведений до контура активний опір предмета

Поява паралельно під'єданого до коливного контура активного опору R_1 призводить до збільшення згасання контура і помітного зниження амплітуди коливань генератора. Після демодуляції сигнал генератора надходить на вхід порогового елемента з заданим рівнем спрацьовування і за допомогою логічної (ключової) схеми перетворюється у дискретний сигнал: комутаційний увімкнено/вимкнено з вихідним ключем КРК чи РКР для постійного струму або симетричним тріодним тиристором для змінного/постійного струму.

Гістерезис вимикача H - різниця між точкою вмикання при наближенні вимірювальної пластинки і точкою вимикання при її віддаленні від безконтактного вимикача. Величина гістерезису вказується у відсотках (%) від номінальної відстані перемикавання (рис. 7.4).

Відтворюваність точки перемикавання R - точність повторення відстані перемикавання при двох послідовних вмиканнях протягом 8 годин при температурі навколишнього середовища $25^{\circ}\text{C} \pm 5$, напрузі, яка відхиляється від номінальної на 5%, відносної вологості 50...70% ($R < 0,05S_r$).

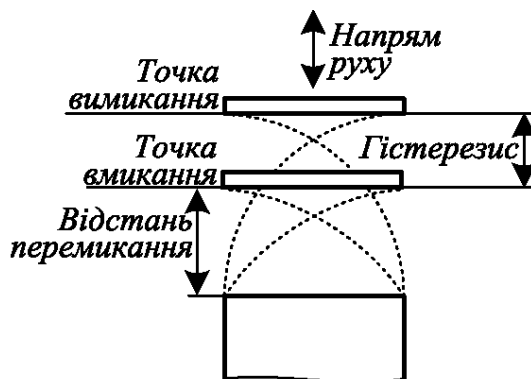


Рис. 7.4 – Безконтактний вимикач
Максимальна частота циклів оперування P_{\max} -максимальна можлива

кількість перемикачів вимикача в секунду.

Об'єктами впливу використовуються стандартні вимірювальні пластинки з відстанню між ними

$$P_{\max} = 1 / (I_1 + I_2),$$

де I_1 - час перебування давача в увімкненому стані; I_2 - час перебування давача у вимкненому стані.

Затримка вмикання - це час, необхідний безконтактному вимикачеві для того, щоб цілком прийти в робочий стан з моменту подачі живлення.

Вихідний опір R_0 - внутрішній опір джерела вихідного сигналу.

Власний струм споживання I_0 - це струм, споживаний безконтактним вимикачем від джерела живлення при вимкненій навантазі.

Залишковий струм - це струм, що протікає в колі навантаги при вимкненому стані давача.

Діапазон робочих струмів I_e - діапазон струмів навантаги, при яких забезпечується нормальне функціонування вимикачів.

Максимальний робочий струм I_{\max} - максимальний струм, під дією якого вимикач може знаходитися тривалий час.

Імпульсний струм $I_{\text{имп}}$ - максимальний імпульсний струм, що може забезпечити вимикач при тривалості імпульсу t .

Комплексний захист вимикача - це електричний захист пристрою від неправильного під'єднання живлення, короткого замикання виходу, кидків напруги живлення.

Діапазон робочих напруги E - це допустимий діапазон напруги, при якому гарантується надійна робота вимикача (включаючи пульсацію).

Спад напруги на вимикачі E_a - постійна або діюча напруга на увімкненому вимикачі при максимальному робочому струмі I_{\max} або в діапазоні робочих струмів I_e .

Пульсація робочої напруги - це відношення амплітуди змінної складової напруги до номінальної робочої напруги (допустимий максимум зазвичай 15%).

Ємнісні давачі - позиційні вимикачі.

Характерною ознакою безконтактних індуктивних давачів наближення є їх вибірковість: визначаючи наявність металевих предметів, їм не є завадою наявність у чутливій зоні діелектричних матеріалів, які є бар'єром між предметом і чутливою поверхнею давача. Таким бар'єром може бути навіть покриття металевого предмету фарбою з метою його захисту від корозії чи інші діелектричні конструктивні покриття.

В певному сенсі така вибірковість індуктивних давачів є їх перевагою, але вони не здатні виявити об'єкт з будь-якого матеріалу. Така властивість притаманна ємнісним давачам наближення. Вони здатні виявити як металеві так і діелектричні об'єкти, в тому числі

рідини та сипучі матеріали.

Принцип діємнісного давача наближення розглянемо за структурною схемою (рис.7.5). Чутлива поверхня давача утворюється двома концентрично розташованими металевими електродами *A* та *B*. Електроди увімкнені у коло зворотного зв'язку генератора коливачь. Об'єкт, наближаючись до чутливої поверхні, входить у чутливу зону давача, збільшує проникливість середовища і відповідно ємність конденсатора; це своєю чергою веде до зростання амплітуди коливачь генератора практично від нуля до амплітуди, яка після перетворень здатна перемкнути вихідний ключ. Хід подальших перетворень такий самий, як і у разі індуктивного давача; він демонструється структурною схемою (рис.7.5).

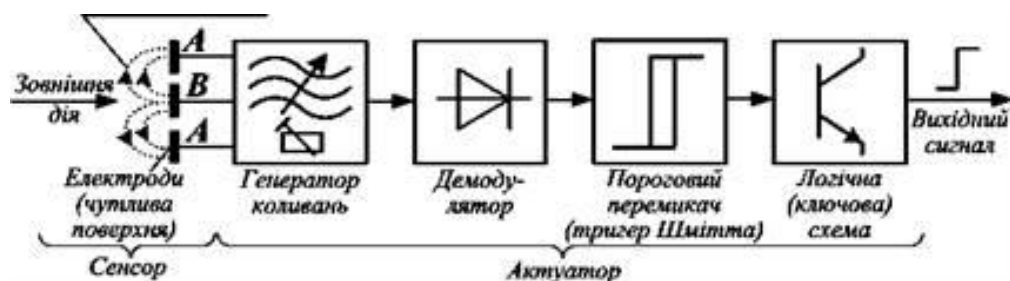


Рис.7.5. Структурна схема ємнісного давача наближення

У разі дії предметів з електропровідних матеріалів віддаль перемикання S_r є максимальною, причому природа електропровідного матеріалу практично не має значення, а при дії об'єктів із діелектричних матеріалів віддаль S_r порівняно з металами зменшується залежно від діелектричної проникливості матеріалів ϵ_r . (рис. 7.6).

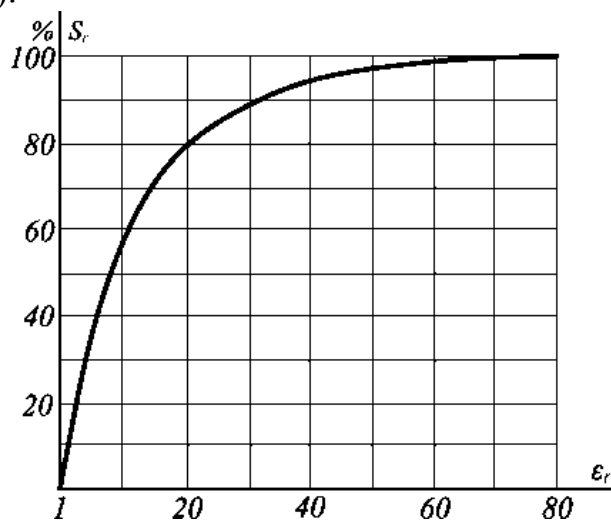


Рис.7.6 –Залежність віддалі перемикання S_r від діелектричної проникливості матеріалів ϵ_r

Під час експлуатації належить рахуватись з вологістю деяких

органічних матеріалів (дерево, зерно тощо), діелектрична проникливість яких може зрости за рахунок води, оскільки $\epsilon_{Г\text{ води}}=80$.

Номинальна віддаль перемикання S_n , робочий проміжок S_a , які вказують у технічних характеристиках, а також ефективний проміжок S_r зв'язані між собою, як і у разі індуктивних давачів наступним чином:

$$0,9S_n < S_r < 1,1S_n;$$
$$0 < S_a < 0,8S_n.$$

Зазначимо, що віддаль спрацьовування для металевих предметів прийнята за 100 % лише у разі неуземленого металевого предмета, для уземлених металевих предметів віддаль збільшується на 20 %.

Убудування ємнісних давачів у метал та у відношенні один до одного. Так як і у разі безконтактних індуктивних давачів, ємнісні давачі можуть бути утоплені в метал або неутоплені. Віддаль між двома сусідніми давачами в обох випадках для ємнісних давачів також, як і для індуктивних, з тією різницею, що величина виступання над поверхнею неутопленого давача є меншою: $>1,5S_n$, а не $>2S_n$, як для індуктивного давача.

Налаштовування ємнісних давачів. Ємнісний давач може мати убудований регульовальний резистор для налаштування чутливості.

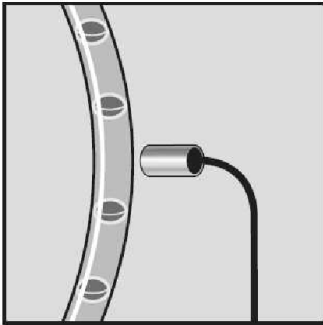
Якщо предметом, що наближається є метал, вода, то попереднє регулювання здійснюється на металеву уземлену пластину, що має форму квадрата зі стороною, яка дорівнює діаметру чутливої поверхні давача або потрійній номінальній віддалі перемикання залежно від того, яка величина є більшою. Товщина пластини 1 мм. Робочий проміжок S_a при цьому приймають від 0 до $0,8S_n$.

У разі об'єкта зовнішньої дії з низькою діелектричною проникливістю S_r регулювання здійснюють за місцем установки, при цьому стараються контролюваний об'єкт дії підвести до чутливої поверхні давача якнайближче.

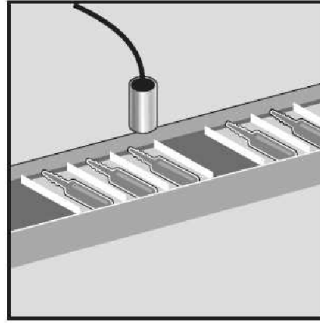
Є можливим застосувати ємнісні давачі у харчовій та хімічній промисловості. Очевидно, сенсор давача не може входити в контакт з харчовими продуктами чи агресивним хімічним середовищем, і давач повинен бути винесений за оболонку, в якій перебуває контролюваний об'єкт. Зазвичай такою оболонкою є метал, тому для роботи давача слід зробити у металі вікно, закрите діелектричною перегородкою з малою діелектричною проникливістю (оргскло тощо), перед якою розмістити давач.

Сфери застосування ємнісних давачів продемонстровано прикладами, поданими на рис.7.7

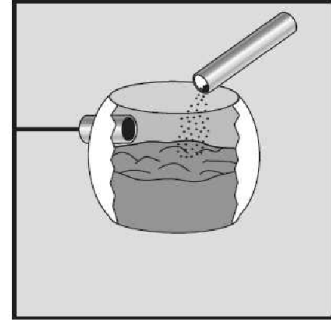
*Підрахунок об'єктів,
що рухаються, у
трубці*



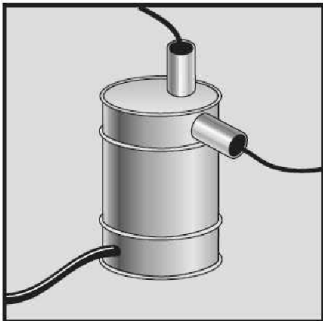
*Підтвердження
присутності виробу
при упакуванні*



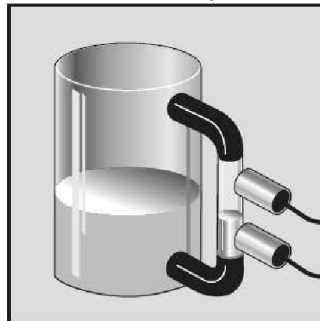
*Контроль рівня
сипучого матеріалу в
ємності*



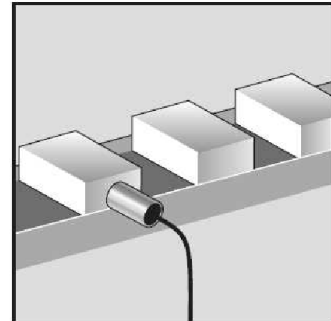
*Контроль рівня рідини
в пластикових бочках*



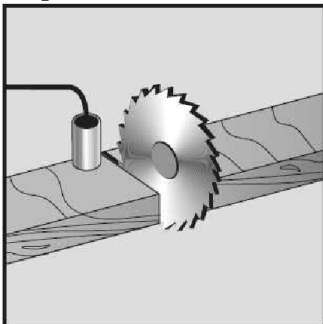
*Контроль рівня рідини
в скляних посудинах*



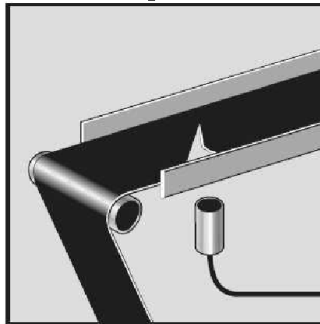
*Виявлення і підрахунок
об'єктів*



*Визначення наявності
деревини і її товщини*



*Контроль цілісності
стрічки*



*Підрахунок пляшок і
контроль заповнення*

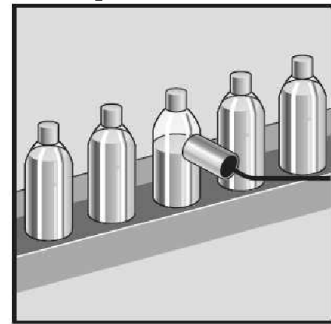


Рис.7.7 – Приклади застосування ємнісних давачів

Умовне графічне позначення та схеми під'єднань ємнісних давачів - позиційних вимикачів нічим не відрізняються у цьому від індуктивних давачів, з тією лише різницею, що замість символу букви L використовують букву С. На рис.7.8 зображено можливі позначення ємнісних давачів.



Рис. 7.8 – Умовне графічне позначення на схемах ємнісних давачів-вимикачів:

NO - замикальний контакт;

NC -розмикальний контакт

Фотоелектричні давачі - позиційні вимикачі.

Фотоелектричний давач є безконтактним давачем, сигнал на виході якого визначає наявність або відсутність певного предмета, який відбиває або перериває видиме чи невидиме світлове випромінювання, яке надходить від випромінювального пристрою.

Фотоелектричні давачі інакше називають скорочено фото- давачами, оптичними давачами, або безконтактними оптичними вимикачами.

Фотодавачі мають ряд переваг. Діапазон дії фотодавачів суттєво підвищує діапазон індуктивних, ємнісних, магнітних та ультразвукових давачів. Вони реагують на непрозорі і напівпрозорі предмети, на водяну пару, дим, аерозолі. Висока чутливість навіть у разі мініатюрного виконання та численні варіанти конструкцій корпусу дають змогу безконтактним фотодавачам розв'язувати практично будь-які задачі. Використання у фотодавачах невидимого інфрачервоного випромінювання дозволяє мінімізувати вплив на перемикання давачів сторонніх, фонових джерел світла.

Будова і принцип дії. В принципі фотодавач складається з двох функціональних частин: випромінювача і приймача. Залежно від типу фотодавача за конструкцією він може бути моноблочним, де обидві функціональні частини об'єднані в один блок, або двоблочними, коли випромінювач і приймач виступають як окремі блоки.

Структурна схема фотодавача зображена на рис.7.9. Випромінювач складається з генератора імпульсів та світлодіода - джерела випромінювання. На перший погляд здавалось би достатнім жити світлодіод постійним струмом, та у разі освітлення середовища лампами розжарювання, у спектрі світла яких наявні інфрачервоні промені, можливий хибний вплив світлового фону з частотою 50 Гц. Щоби запобігти хибним перемиканням, світлодіод живлять від генератора імпульсів частотою декілька кілогерц. У схемі демодулятора, своєю чергою, застосовують фільтр, що усуває шкідливі низькочастотні гармоніки.

Якщо не брати до уваги сенсора, яким у фотоприймача в нашому випадку є фотодіод, то подальші перетворення структурно такі ж, як в індуктивного чи ємнісного давача.

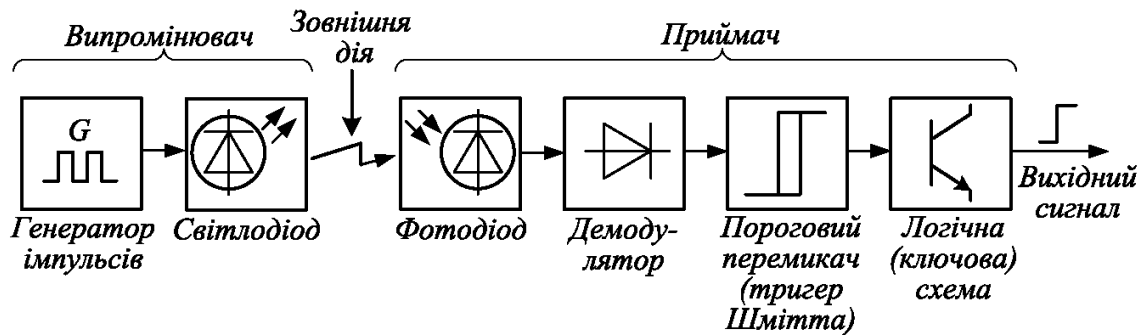


Рис.7.9 – Структурна схема безконтактного фотоелектричного давача

Зупинимось коротко на явищі фотогальванічного ефекту, на підставі якого діють фотодіоди та фототранзистори. В основу явища покладено ефект випускання електронів внаслідок поглинання речовиною (наприклад, металом) світлової енергії, який називають фотоелектричним ефектом або просто фотоелектом (рис. 7.10).

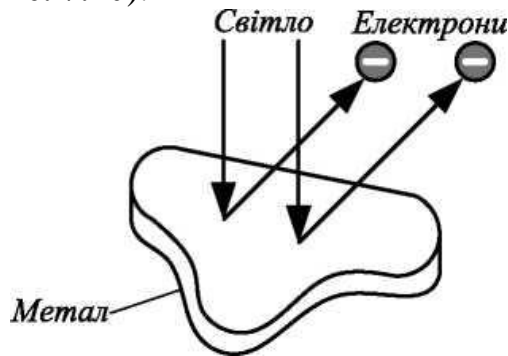


Рис.7.10 – Явище фотоелекту

Об'єднавши напівпровідники р-типу та n-типу, отримаємо напівпровідниковий р-n-перехід, на якому внаслідок фотоелекту виникне різниця потенціалів. Таке явище називають фотогальванічним ефектом.

Різниця потенціалів і відповідно величина струму в колі в кожний момент визначається інтенсивністю світла.

Фотодіод є не що інше, як напівпровідниковий прилад, в основу дії якого покладено явище фотогальванічного ефекту. Струм у колі з фотодіодом тече від катода до анода. У такому разі фотодіод виступає як пасивний сенсор, що керується світлом або інфрачервоними променями.

Згідно зі стандартом ІЕС 60947-5-2 фотодавачі залежно від методу виявлення об'єкта (предмета) діляться на три основних типи (з модифікацією за кожним типом):

- **тип Т** - давачі бар'єрного типу (прийом променя від випромінювача, що стоїть окремо);
- **тип R** - давачі рефлекторного типу (прийом променя, відбитого світловідбивачем, інакше катафотом (від грецького ката - назад, фос -

світло));

- **тип D** - давачі дифузійного типу (прийом променя, розсіяно відбитого об'єктом).

У **давачів бар'єрного типу** приймач і випромінювач розміщені в окремих корпусах, отож вони є двоблочними.

Особливості давачів типу T :

- виявлення непрозорих і дзеркальних об'єктів;
- дальність дії до 100 метрів;
- випромінювач і приймач зазвичай замовляються як окремі вироби.

Особливості давачів типу R:

- виявлення непрозорих об'єктів;
- виявлення напівпрозорих об'єктів;
- дальність дії до 8 метрів;
- рефлектор (відбивач) входить у комплект постачання. Фотодавачі типу Я можуть працювати з поляризаційним фільтром або без нього.

Фотодавачі без поляризаційного фільтра нездатні виявляти блискучі предмети, оскільки відбитий від блискучого об'єкта промінь сприймається як промінь від відбивача. Цей недолік відсутній у фотодавачів з поляризаційним фільтром.

На сьогодні існує технічна можливість залишити електричне поле, наприклад, лише в одній площині. Таке явище називають поляризацією, а саме світло поляризованим. Поляризація може бути вертикальною, горизонтальною тощо.

Для виявлення блискучих об'єктів явище поляризації використовують наступним чином. Промінь, який генерує випромінювач, пропускають через фільтр з горизонтальною поляризацією (рис.7.11). Як відбивач використовують призму кубічної форми, так звану тригель-призму, яка міняє горизонтальну поляризацію на вертикальну. На вході приймача встановлюють фільтр, здатний пропускати лише вертикально поляризовані промені. Якщо промені, які йдуть від випромінювача перегородити блискучим об'єктом, то від нього в напрямку приймача відіб'ються горизонтально поляризовані промені. Приймач таких променів не детектує, і давач, таким чином, виявляє блискучий об'єкт.

Дачачі типу R з придушенням фронту є ще однією модифікацією давачів з відбивачем для виявлення блискучих об'єктів. Принцип дії полягає в тому, що приймач контролює віддаль, на якій розташований відбивач і не реагує на промені, відбиті від об'єкта, який є ближче до приймача.

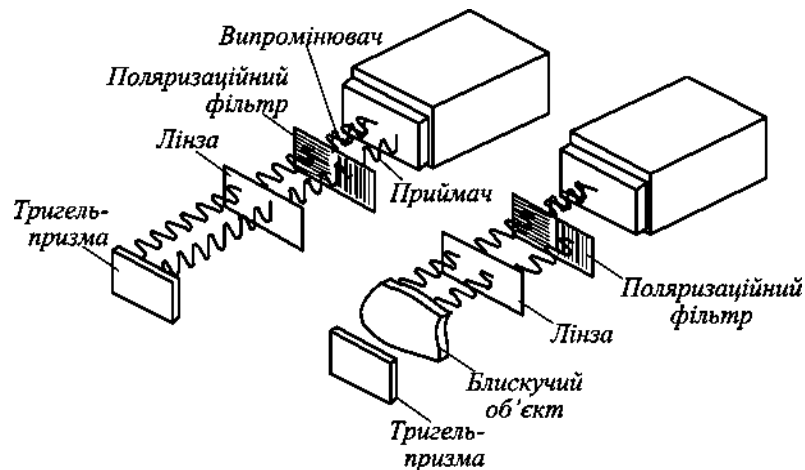


Рис.7.11 –Фотодавачі для виявлення блискучих об'єктів

Ще однією модифікацією давачів з відбивачем є давачі для виявлення напівпрозорих об'єктів. Такі давачі розпізнають навіть малі зміни світлового потоку, які виникають у разі проходження променя через напівпрозорий об'єкт. Досягається це застосуванням у схемі приймача порогового елемента з вузькою петлею гістерезису, а для боротьби з хибними перемиканнями давача внаслідок відбитих від напівпрозорого об'єкта променів використовують поляризаційні фільтри на випромінювачі та на давачі.

Давачі дифузійного типу - це третій основний тип фотодавачів. Інколи їх називають фотодавачами близьких віддалей. Як і давачі типу D, вони є моноблочними. Жмуток світла, який генерує випромінювач, потрапляє на об'єкт і розсіюється під різними кутами. Частина відбитого світла повертається до приймача, і об'єкт таким чином реєструється (рис.7.12). Через те, що більша частина випроміненого, а потім відбитого від об'єкта світла тратиться, давачі дифузійного типу застосовують у задачах близького виявлення об'єкта.

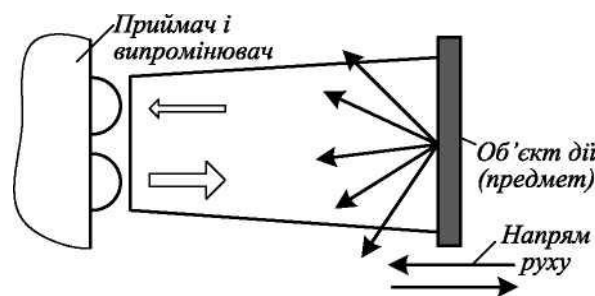


Рис. 7.12 – Фотодавач типу D

Перевага фотодавачів дифузійного типу полягає в тому, що для їх роботи є зайвим відбивач.

Особливості давачів типу

- дальність дії залежить від відбивальних властивостей об'єкта і у разі використання стандартної мішені (коефіцієнт відбиття дорівнює 0,9) може

досягати 2 метри;

- на чутливість фотодавача впливають: колір, розмір, дифузійні характеристики об'єкта; саме ці параметри визначають здатність об'єкта розсіювати світло. У табл.6 подано поправкові коефіцієнти для визначення дальності дії для об'єктів з різними характеристиками відбиття.

Оптоволоконні насадки до фотодавачів. Такі насадки зазвичай працюють у сукупності з моноблочними фотодавачами типу R або D (рис.7.13).

Застосування оптоволоконних насадок у задачах з виявлення дрібних об'єктів або об'єктів, які знаходяться в труднодоступних місцях, може бути найвдалішим вирішенням.

Оптоволоконний кабель у насадках може бути скляний або пластиковий.

Скляний оптоволоконний кабель виготовляють з тонких скляних волокон, складених одне з одним і охоплених спеціальним обплетенням. Такий скляний кабель жорсткіший, ніж кабель з

пластику, зате він має менші втрати, що важливо у разі великих віддалей, і по ньому можна передавати як видимий червоний, так і інфрачервоний промінь.

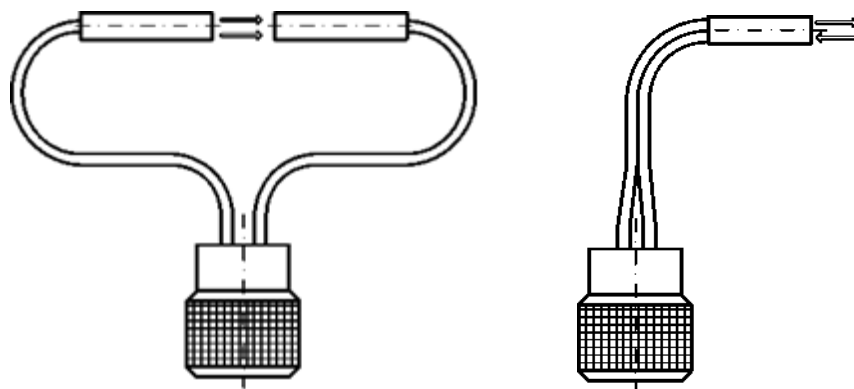


Рис.7.13 – Оптоволоконні насадки до фотодавачів: а - робота за принципом бар'єрного давача; б - робота за принципом дифузійного давача

Пластиковий оптоволоконний кабель виробляють з волокон, що проводять світло і охоплені ПВХ оболонкою. Це гнучкіший і відносно дешевий оптичний кабель; його можна оперативно різати на потрібні довжини, чого не допускає скляний кабель.

Сфери застосування фотодавачів продемонстровано прикладами, поданими на рис.7.14.

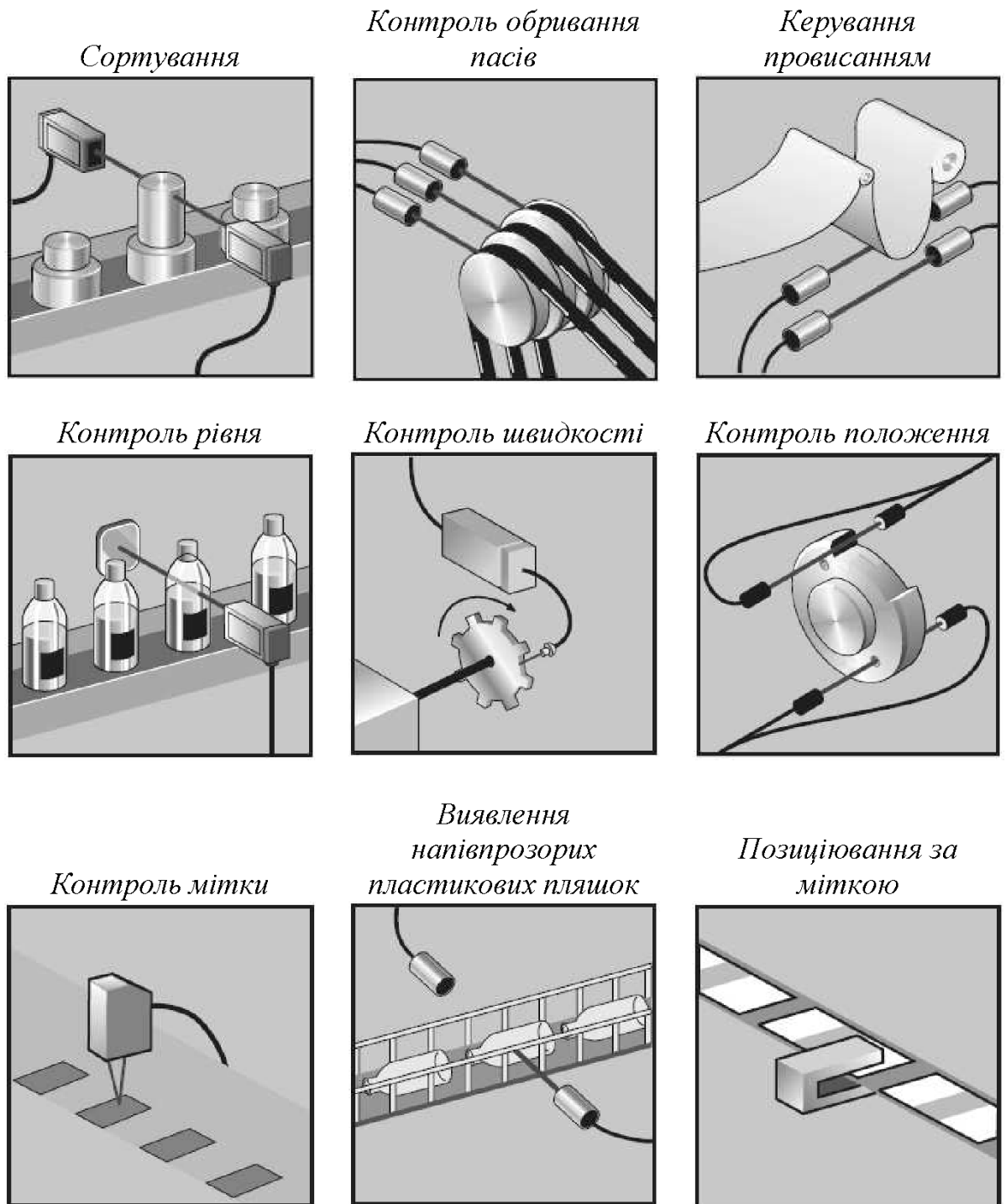


Рис.7.14 – Приклади застосування фотодавачів

7.3 Оснащення роботи

Кінцеві позиційні перетворювачі, рухомі механізми з системою відліку, контрольовані об'єкти (з різною прозорістю, електропровідністю, блиском тощо), вольтметр, набір провідників та джерело живлення постійного струму 0...24 В.

7.4 Методика виконання роботи

1. Проаналізувати конструкцію типових кінцевих позиційних перетворювачів.
2. Провести підключення перетворювачів до джерел живлення
3. Провести налагодження вимикачів для певного виду контролю об'єктів.
4. Провести позиційне зміщення об'єктів з реєстрацією відліків, а також вимиканням позиційного вимикача.
5. Величини зміщення в момент вимикання перетворювача зафіксувати не менше 10–15 разів.
6. Порівняти результати досліджень для різних типів позиційних вимикачів.
7. Розрахувати абсолютну та відносну похибку позиціювання вимикачів.

7.5 Питання до самостійної підготовки

1. Які існують безконтактні позиційні перетворювачі?
2. В чому особливість індуктивних позиційних перетворювачів?
3. Яка сфера використання індуктивних позиційних перетворювачів?
4. Дайте визначення поняття гістерезис перемикача?
5. Які технічні характеристики має позиційних перемикач?
6. В чому особливість ємнісних позиційних перетворювачів?
7. Яка сфера використання ємнісних позиційних перетворювачів?
8. Як проводять налаштування ємнісних позиційних перетворювачів?
9. В чому особливість фотоелектричних позиційних перетворювачів?
10. Яка сфера використання фотоелектричних позиційних перетворювачів?

Лабораторна робота №8

БУДОВА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ЕНКОДЕРІВ

8.1 Мета роботи

Набути навички використання енкодерів різного типу при автоматизації виробничих процесів

8.2 Теоретичні відомості

Слово «енкодер» має англomовне походження. Воно виникло від слова encode, що означає «перетворювати». Найбільш відомими світовими виробниками даних приладів є такі відомі бренди як Siemens, HEIDENHAIN RLS, Baumer, SICK AG, Balluff, Schneiderelectric (AutonicsTelemecanique), OMRON.

Енкодер - це перетворювачі інформації про абсолютне чи відносне кутове положення вала в кодовий цифровий сигнал. За допомогою нього визначається, наприклад, положення вала електричного двигуна (рис. 8.1). У зв'язку з тим що кожен пристрій, в якому застосовується обертання, обов'язково повинно бути оснащений приладом, контролюючим точність обертального моменту, популярними сферами використання подібних перетворювачів є системи точного переміщення. Основна мета, з якою застосовується енкодер, - це вимірювання кута повороту об'єкта під час обертання. Енкодери незамінні в процесі виробництва на верстатобудівних підприємствах, в робототехнічних комплексах. Використовують їх також у багатьох сучасних вимірювальних приладах, які потребують реєстрації високоточних вимірювань кутів, обертання, поворотів і нахилів.



Рисунок 8.1.—Зовнішній вигляд енкодера

Вони можуть бути однооборотні і багатооборотні, абсолютного положення (абсолютні датчики) і відносного (інкрементальні датчики). За принципом дії поділяються на оптичні, магнітні і магніторезисторні.

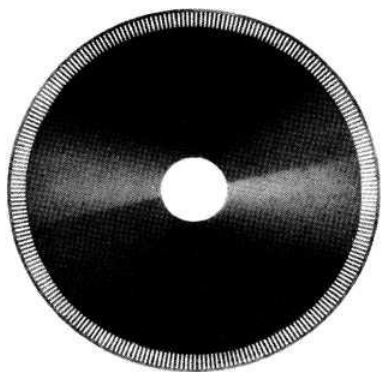


Рис. 8.2– Оптичний диск інкрементального датчика

Всі нині відомі енкодери підрозділяються на абсолютні і інкрементальні, резисторні, магнітні та оптичні, що працюють через промислові мережі або шинний інтерфейс.

Залежно від загального принципу роботи виділяють абсолютні енкодери і інкрементальні. Різниця між цими двома видами полягає в виконуваних ними завданнях. Перелік завдань абсолютного енкодера набагато ширше переліку, який охоплюється енкодером інкрементального.

Оптичні енкодери мають жорстко і співвісно закріплені на валу скляний або металевий диск з прорізами (рис. 8.2). Диски виготовляють з металеві пластини при малій розрядності датчика (до 1024 імп./об.) або скла при розрядності до 36000 імп./об.

Вісі енкодера і об'єкта з'єднуються між собою спеціальною гнучкою перехідною муфтою або жорсткою втулкою, або диск з'єднується безпосередньо з валом об'єкта. При обертанні об'єкта імпульси формуються оптичними парами при обертанні диска з прорізами (рис. 8.3, а), а електронний блок перетворює їх в послідовність дискретних електричних імпульсів.

Магнітний енкодер має вал з одним або кількома магнітами і датчик Холла (рис. 8.3, б). Останній реєструє послідовність проходження магнітних полюсів і перетворює їх в електричні імпульси.

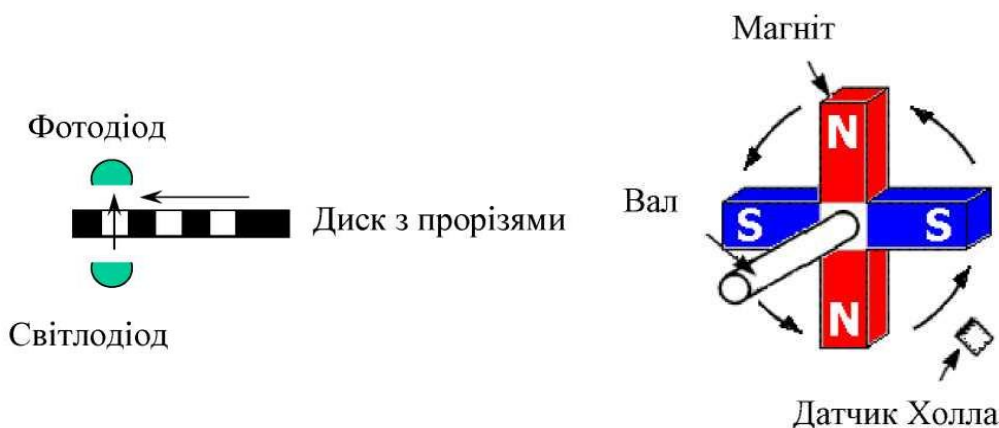


Рис. 8.3 – Принцип формування сигналів в оптичних енкодерах (а) та схема магнітного енкодера (б)

Магніторезистивний енкодер складається з котушки, закріпленої на валу і поміщеної в магнітне поле. При обертанні котушки її витки змінюють

положення відносно поля, внаслідок чого струм в котушці буде змінюватися залежно від кута повороту вала. Зараз магніторезистивні датчики використовуються рідко.

Однооборотними (рис.8.4) називаються датчики, які видають абсолютне значення кута повороту в межах одного оберту. З початком наступних обертів код повторюється. Такі датчики переважно застосовують для вимірювання кута повороту об'єкта.

В багатооборотних енкодерах (рис.8.5) додатково до вимірювання кута повороту за допомогою вбудованого передаточного механізму (редуктора, що складається з кількох кодових оптичних дисків) одночасно реєструється кількість обертів.

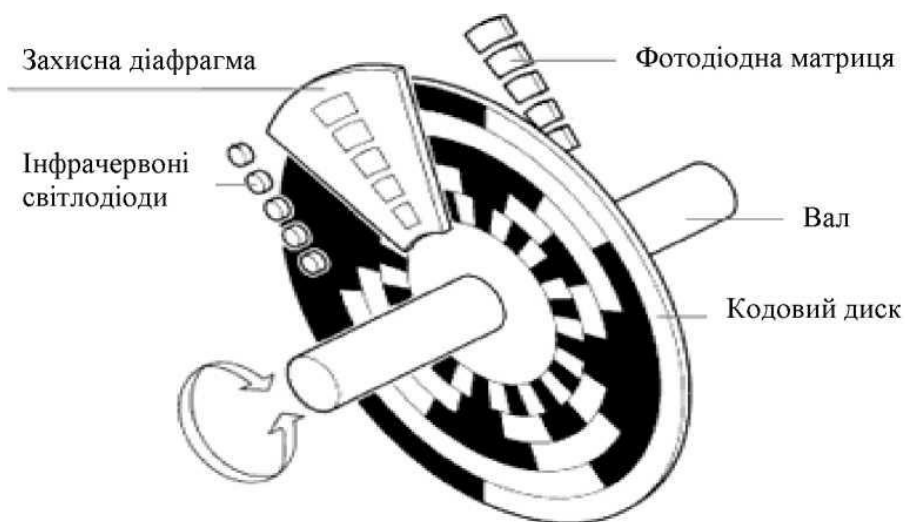


Рис. 8.4 – Будова однооборотного енкодера

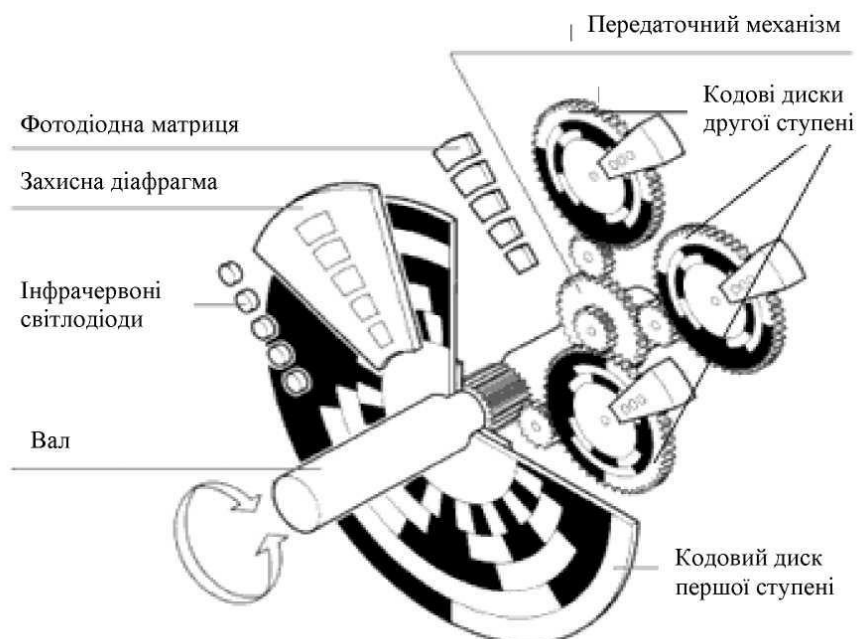


Рис. 8.5 – Будова багатооборотного енкодера

Енкодери характеризуються розрядністю (3...20 біт). Датчики з розрядністю 3 в основному використовують в якості датчика положення ротора в синхронних двигунах. Датчики з великою розрядністю(16..20 біт) використовуються вметалообробних верстатах з числовим програмним керуванням. Багатооборотні енкодери придатні для вимірювання кутових переміщень в крановому обладнанні, ліфтових установках, складських системах, роботизованих комплексах.

Абсолютні енкодери.

Так називають абсолютний датчик положення.Зазвичай у подібних енкодер спостерігаються більш складні процеси електронної обробки сигналів і є оптична схема. Але зате вони видають реквізити об'єкта відразу після включення, що найчастіше є обов'язковим для коректного функціонування системи в цілому. У порівнянні з інкрементальних використання абсолютних енкодерів дозволяє вирішувати значно ширше коло завдань, так як вимірювання проводяться не за допомогою фіксації імпульсів, а спеціальними цифровими кодами. Одиниця виміру подібного апарату - це число унікальних цифрових кодів за одиницю обертання (1 оборот).



Рисунок 8.6 – Загальний вигляд абсолютного енкодера

У зв'язку з тим, що всі цифрові коди, що видаються датчиком, унікальні, визначити поточну координату лінійного переміщення відразу ж після включення приладу не складає труднощів і без використання референтної мітки. У момент включення на виходах датчика з'являється код з цифр. Він і є позначенням поточного положення кута повороту об'єкта. Таким чином, абсолютний енкодер відмінно справляється не тільки з завданням відстеження швидкості повороту (обертання) об'єкта, але і видає коректні дані про його точне розташування в даний момент часу, незалежно від того, підключений він чи ні.

Різновиди абсолютних енкодерів.

Залежно від особливостей характеристик абсолютні енкодери можуть відрізнятися типом кріплення, наявністю некрізного або наскрізного, полого

або виступаючого валу. Асортимент таких пристроїв також дуже різноманітний з точки зору зовнішніх характеристик: довжини, діаметру корпусу і так далі. Крім того, відомо, що абсолютні датчики вимірювання положень під час обертання бувають багатооборотні і однооборотний. Однооборотні виробляють визначення поточної координати в межах 1 обороту, а багатооборотні здатні до розпізнавання ще кількох додаткових обертів.

Абсолютний енкодер, як правило, відрізняється наявністю унікальної комбінації міток у вигляді ліній або секцій змінної кутової ширини для кожного кутового положення, а інкрементальний енкодер використовує диск, на якому рівномірно нанесені однотипні мітки (за виключенням нульової, індексної), оскільки основна задача даного датчика – детектування покрокового переміщення з опорою на нульову мітку при вмиканні живлення.

Абсолютний енкодер видає цифровий код, відмінний для кожного положення об'єкта, дозволяє визначати кут повороту вісі навіть у випадку зникнення і відновлення напруги живлення і не вимагає повернення об'єкта в початкове положення. Сигнал абсолютного енкодера не піддається завадам і вібрації, а тому для нього не потрібна точна установка вала. Абсолютний енкодер використовується у високоточних системах: робототехніка, верстати з числовим програмним керуванням тощо.

Принцип роботи абсолютних енкодерів полягає у визначенні кількості прорізів у спеціальній кодовій масці при обертанні чи переміщенні механізму (рис.8.7). Для кожного розряду енкодера відповідний сигнал формується за допомогою фотодіода, який відкривається при отриманні сигналів від світлодіода при переміщенні кодової маски. При переміщенні кодової маски за допомогою сигналів оптичних пар формується число у двоїчному коді, що відповідає поточному положенню механізму.

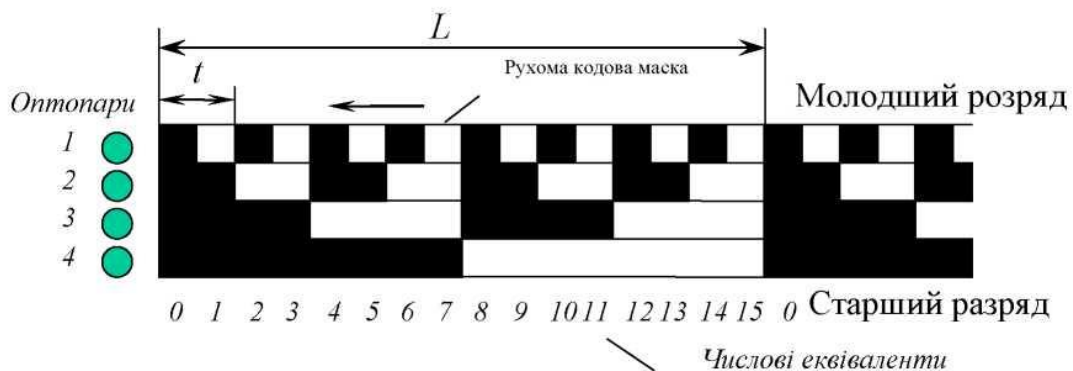


Рис. 8.7 –Кодова маска енкодера

Максимальна відстань при переміщенні визначається кроком растру t , та кількістю розрядів N за формулою:

$$L = t \cdot 2^{N-1} .$$

Такі енкодери прості у використанні, оскільки не потребують складної математичної обробки сигналів двійкового коду кодового диска через неминучі відхилення при виробництві кодового диска зміна інформації від кожної з доріжок окремо ніколи не відбудеться одночасно. Внаслідок цього при переході від одного числа до іншого короткочасно буде видана невірна інформація. Таким чином, використання звичайного двійкового коду може привести до значних похибок, оскільки дві сусідні комбінації можуть відрізнятися одна від іншої не в одному, а в кількох розрядах. Щоб уникнути цього, застосовують однокроковий код, наприклад, код Грея.

Код Грея переважає звичайний двійковий тим, що має властивість безперервної бінарної комбінації: зміна кодового числа на одиницю відповідає зміні кодової комбінації тільки в одному розряді. Тобто код Грея однокроковим, в якому при переході від одного числа до іншого завжди змінюється лише один біт. Похибка при зчитуванні інформації з механічного кодового диска приведе до того, що перехід від одного положення до іншого буде лише дещо зміщеним в часі, а видача невірного значення кутового положення при цьому повністю виключається.

Інформація, видана в Грей-коді, має чисто кодований характер і не несе реальної числової інформації. Тому перед подальшою обробкою її необхідно перетворити в стандартний двійковий код.

З табл.8.1 видно, що при переході від одного числа до іншого (сусіднього) в коді Грея лише один біт інформації змінює свій стан, тоді як у двійковому коді можуть змінювати свій стан кілька біт одночасно.

Таблиця 8.1 – Перетворення коду Грея в десятковий код

Десятковий код	Двійковий код				Код Грея
	2^3	2^2	2^1	2^0	
0	0	0	0	0	0 0 0 0
1	0	0	0	1	0 0 0 1
2	0	0	1	0	0 0 1 1
3	0	0	1	1	0 0 1 0
4	0	1	0	0	0 1 1 0
5	0	1	0	1	0 1 1 1
6	0	1	1	0	0 1 0 1
7	0	1	1	1	0 1 0 0
8	1	0	0	0	1 1 0 0
9	1	0	0	1	1 1 0 1
10	1	0	1	0	1 1 1 1
11	1	0	1	1	1 1 1 0
12	1	1	0	0	1 0 1 0
13	1	1	0	1	1 0 1 1
14	1	1	1	0	1 0 0 1
15	1	1	1	1	1 0 0 0

Найчастіше на практиці використовується рефлексивний двійковий код Грея, але можуть бути й інші.

Назва рефлексивний (відбитий) двійковий код походить від факту, що друга половина значень в коді Грея еквівалентна першій половині, тільки у зворотному порядку, за винятком старшого біта, який просто інвертується. Якщо ж розділити кожен з половин ще раз навпіл, властивість буде зберігатися для кожної з половин половини і т. д.

Кодовий датчик Грея може бути лінійного (рис.8.8, а) та кругового (рис.8.8, б) типу.

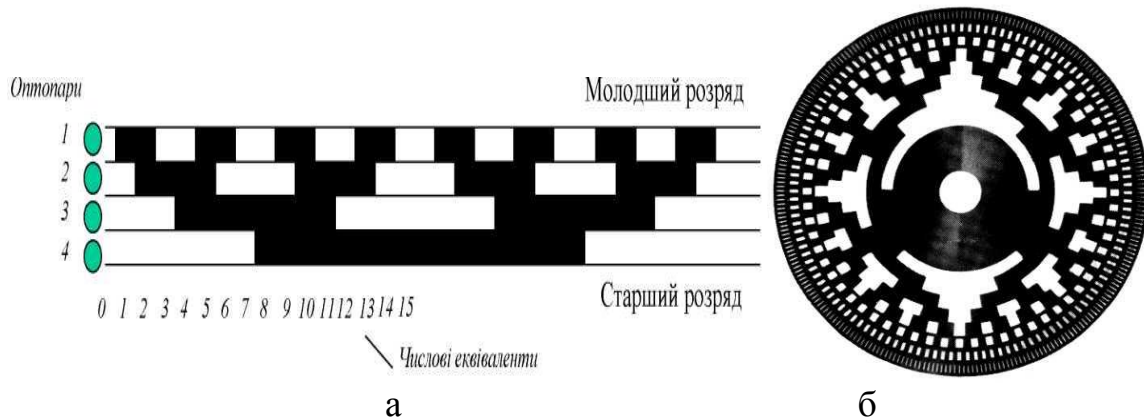


Рис. 8.8 – Кодовий датчик Грея: а - лінійний; б – круговий

До недоліків абсолютних енкадерів слід віднести необхідність додаткової математичної обробки сигналів, тобто перетворення кодованого сигналу у змінну цілочисельного формату.

Інкрементальні енкадери представляють собою імпульсний датчик. В процесі повороту об'єкта на його виходах фіксуються імпульси, кількість яких прямо пропорційно кутку обертання предмета. Зазвичай інкрементальні перетворювачі застосовують в процесі верстатобудування з метою реєстрації кутового переміщення вала або в автоматизованих системах в колі зворотного зв'язку для вимірювання та реєстрації швидкості повороту вала (рис. 8.9).



Рис. 8.9 – Загальний вигляд інкрементального енкадера

Кількість імпульсів на одиницю обороту - це і є основний робочий параметр даного пристрою. Поточне значення визначається датчиком за методом підрахунку кількості імпульсів від точки відліку. З метою прив'язки систем відліку на імпульсному енкодер встановлюються референтні мітки, які є стартовими після включення обладнання. Визначення даних за допомогою інкрементального перетворювача можливо лише під час обертання або повороту. При зупинці обертання всі дані енкодера обтулюються. У підсумку при подальшому включенні попередні дані лічильника будуть невідомі. Для зручності його експлуатації слід привести вал у вихідне положення. Інкрементальний енкодер ідеально справляється із завданням вимірювання швидкості повороту. За допомогою підрахунку кількості імпульсів від референтної мітки можна з точністю визначити також поточну координату кута обертання об'єкта.

Інкрементальний енкодер визначає кут повороту обертового об'єкта і перетворює його в імпульсний цифровий код. Пристрій, що приймає імпульси, визначає поточне положення координати шляхом підрахунку лічильником числа імпульсів. Якщо вал зупиняється, то зупиняється і передача імпульсів. Процесор в тахометрі виконує диференціювання кількості імпульсів по часу, показуючи таким чином величину швидкості (рад/с) або частоту обертання (об/хв). Для прив'язки системи відліку до початку обрахунку інкрементальні датчики мають нуль-мітку, одну на повний оберт диска, через яку необхідно пройти після вмикання обладнання (рис. 8.10).

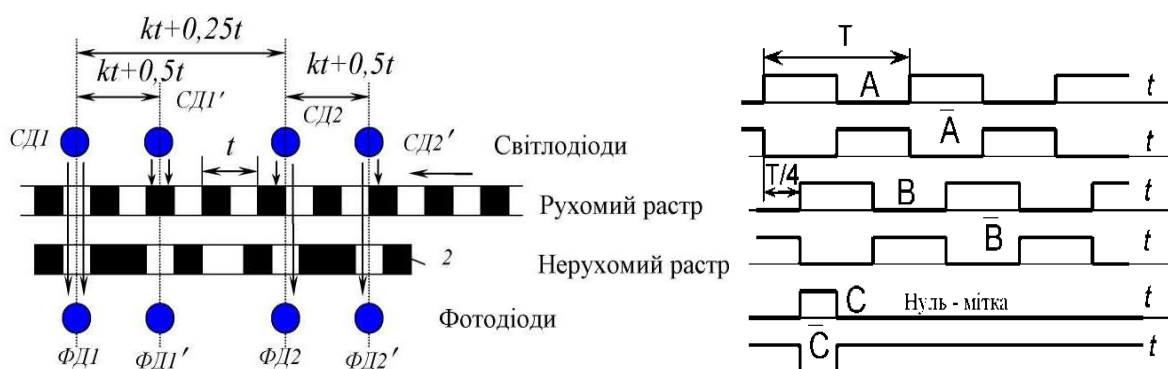


Рис. 8.10 – Розміщення оптичних пар (а) та вихідні сигнали (б) датчика відносно положення

Для визначення напрямку руху використовуються дві оптичні пари $СД1$ і $ФД1$ та $СД2$ і $ФД2$ (рис.8.10), розташовані через відстань $kt+0,25t$, де k - ціле число, t - крок растру. При переміщенні рухомого растру визначення напрямку руху відбувається шляхом детекції послідовності спрацювання фотодіодів. Так, якщо першим приходить задній фронт сигналу $ФД1$ (рис.8.10, а), то це означає, що рухомий растр переміщується вліво, а при спрацюванні $ФД2$ - вправо. Оптичні пари $СД1$ і $ФД1$ та $СД2$ і $ФД2$ забезпечують надходження

інверсних сигналів відносно до основних та дозволяють забезпечити підвищену точність при опитуванні сигналів енкодера. Інверсні пари розташовуються на відстані $kt+0,5t$ від основних, де k - ціле число, t - крок растру.

В більшості сучасних енкодерів сигнали від оптичних пар маркуються буквами A, B, A, B (рис. 8.10, б). Сигнали нуль-мітки найчастіше позначаються буквами Z або Z_0 .

Основними перевагами інкрементальних енкодерів є їх простота, надійність і відносна низька вартість.

Оптичний енкодер.

Даний перетворювач являє собою жорстко закріплений на валу диск, зроблений зі скла. Енкодер оптичний, на відміну від вищеописаних датчиків, додатково обладнаний оптичним растором, який в процесі повороту вала переміщається і перетворює обертальний момент в потік світла, що приймається згодом фотодатчиком (рис.8.11).

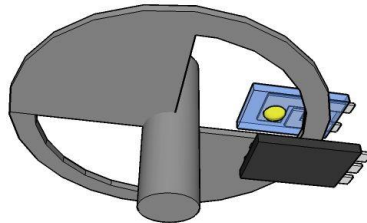


Рис. 8.11 – Загальний принцип роботи оптичного енкодера

Даний тип перетворювача фіксує кути обертання, де кожному унікальному положенню відповідає спеціальний неповторний код з цифр. Він разом з кількістю оборотів і являє собою одиницю виміру датчика. Підключення енкодера і принцип його дії ідентичні функціонуванню інкрементального пристрої, описаного вище.

Типи датчиків залежно від принципу роботи

За характеристиками роботи енкодери діляться на магнітні та фотоелектричні.

Фізичний принцип роботи перших базується на застосуванні ефекту Холла, відкритого в 1879 році Е. Холлом. В даному випадку різниця потенціалів виникає лише при приміщенні провідника постійного струму в область магнітного поля (рис. 8.12).

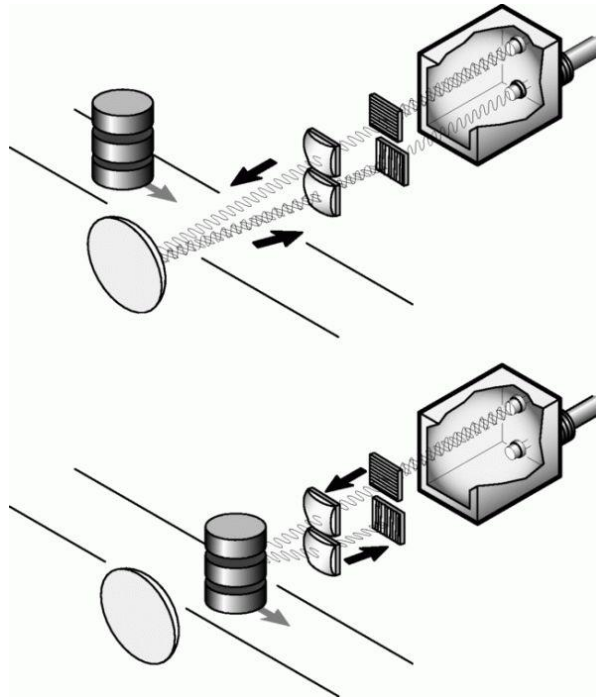


Рис. 8.12 – Принцип роботи магнітного енкодера

За характеристиками роздільної здатності і точності магнітний енкодер поступається фотоелектричному, але його реалізація простіше. Він є набагато менш вимогливим до просторів і умов функціонування.

Представник магнітного енкодера являє собою прилад, що фіксує цикл проходження магнітного полюса обертового магніту, розташованого поблизу від чутливого елемента. Вираз даних передавача також має вигляд цифрового коду.

Фотоелектричний енкодер - це датчик, що функціонує на базі фотоелектричного ефекту, який спостерігається в результаті впливу світла на речовину. Відкрито даний принцип в 1887 році Г. Герцем. У процесі роботи датчика даного типу спостерігається постійне перетворення світлового променя в електричний сигнал.

Синонімом фотоелектричного енкодера є оптрон, оптичний і оптоелектронний. Датчики даного типу більш вимогливі до характеристик виробництва, експлуатації і багато чому іншому, ніж інші енкодери, але це виправдано, оскільки потенціал їх точності значно вище, ніж у конкурентів. Типові технічні характеристики енкодера представлені в табл. 8.2.

Також в електромеханічних системах для визначення кута повороту вала двигуна використовуються енкодери з вбудованими промисловими інтерфейсами, такими як Profibus, Profinet, CANopen, EtherCAT, HyperFace, SSI та інші. При цьому в самому енкодері розташовуються вузол обробки двійкового коду та його переводу у послідовний інтерфейс.

Таблиця 8.2 – Технічні характеристики енкодера

Тип E40S		Інкрементальний обертий енкодер осьового типу діаметром 40 мм
Розрізнення імпл/об		1, 2, 5, 10, 12, 100, 1000, 2000, ..., 5000
Вихід (на вибір)	Комплементарний (каскадний)	<ul style="list-style-type: none"> • L Струмове навантаження: max 30 мА, залишкова напруга: max 0,4 В; • H Струмове навантаження: max 10 мА, вихідна напруга: min 1,5 В (напруга живлення)
	NPN, відкритий колектор	Струмове навантаження: max 30 мА, залишкова напруга: max 0,4 В
	Диференційний (вихід лінійного підсилювача)	<ul style="list-style-type: none"> • L Струмове навантаження: max 20 мА, залишкова напруга: max 0,5 В • H Струмове навантаження: max -20 мА, вихідна напруга: min 2,5 В (напруга живлення)
Максимальна частота відгуку		180 кГц
Струм споживання		Max 60 мА (без навантаження)
Температура довкілля		Від -10 °С до +70 °С, зберігання від -25 °С до +85 °С
Маса		Наближено 120 г
Максимальна частота обертання		5000 об/хв

В якості датчиків зворотного зв'язку за швидкістю та положенням у сучасних сервоприводних системах найчастіше використовуються енкодери таких фірм як Mitsubishi, Yaskawa, Schneider Electric, AC Tech.

8.3 Оснащення роботи

Енкодери різного виду, обертальні механізми з системою кутового відліку, контрольовані промислові об'єкти, наприклад, електродвигун постійного струму або ділительний механізм, вольтметр, осцилограф, набір провідників та джерело живлення постійного струму 0...24 В.

8.4 Методика виконання роботи

1. Проаналізувати конструкцію типових конструкцій енкодерів.
2. Провести підключення перетворювачів до джерел живлення.
3. Провести під'єднання енкодерів до контрольованого рухомого об'єкту.

4. Провести обертання об'єкту з реєстрацією відліків.
5. Провести повторне випробування досліджуваного об'єкту в межах 30 разів.
6. Порівняти результати досліджень для різних типів еncoderів.
7. Розрахувати абсолютну та відносну похибку позиціювання еncoderів. Побудувати гістограму розподілу зареєстрованих значень.

8.5 Питання до самостійної підготовки

1. Яка сфера використання еncoderів?
2. В чому відмінність оптичних та магнітних еncoderів?
3. В чому відмінність однооборотних та багатооборотних еncoderів?
4. Що таке абсолютні еncoderи?
5. Дайте характеристику інкрементальних еncoderів?
6. В чому полягає принцип роботи оптичних еncoderів?
7. Які основні характеристики еncoderів?
8. Від яких чинників залежить точність позиціювання еncoderа?

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бурдун, Г. Д. Основы метрологии [Текст] / Г. Д. Бурдун, Б. Н. Марков. – Учеб. Пособие, изд. 2-е. — М.: Изд. стандартов. — 1975. — 336 с.
2. Полищук, Е. С. Измерительные преобразователи [Текст] / Е. С. Полищук. – Учебник К.: Вища школа. — 1981. — 296 с.
3. Долинский, Е. Д. Обработка результатов измерений [Текст] / Е. Д. Долинский. — Л.: Изд. стандартов. — 1973. — 190 с.
4. Исакович, Р. Я. Технологические измерения и приборы [Текст] / Р. Я. Исакович. – Учебник для ВУЗов. — М.: Недра. — 1979. — 344 с.
5. Кремлевский, П. П. Расходомеры и счетчики количества [Текст] / П. П. Кремлевский. – Л.: Машиностроение. — 1989. — 701 с.
6. Кошарский, В. Д. Автоматические приборы, регуляторы и управляющие машины [Текст] / В. Д. Кошарский. – Справочник под редакцией В. Д. Кошарского, 5е изд. — Л.: Машиностроение. — 1990. — 485 с.
7. Кошарский, В. Д. Справочные материалы по автоматическим приборам и регуляторам [Текст] / В. Д. Кошарский. — М.: Машиностроение. — 1976. — 488 с.
8. Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник [Текст]. - Івано-Франківськ: «Сімик», 2004. – 160 с.
9. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник [Текст] / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, В. О. Яцук, В. М. Ванько, Т. Г. Бойко; За ред. проф. Є. С. Поліщука. — Львів: Видавництво «БескідБіт», 2003. — 544 с.
10. Тищенко, О. Ф. Атлас конструкций элементов приборных устройств [Текст] / О. Ф. Тищенко. — М.: Машиностроение. — 1982. — 116 с.
11. Дмитриев, С. И. Метрологическое обеспечение производства в машиностроении: Курс лекций [Текст] // С. И. Дмитриев, И. Г. Ершова. — Псков: Издательство ППИ, 2010. — 184 с.
12. Рішан, О. Й. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади. Ден. та заочн. форм. навчан. [Текст] / О. Й. Рішан. — К.: НУХТ, 2007. — 162 с.
13. Поліщук, Є. Метрологія та вимірювальна техніка [Текст] / Є. Поліщук. — Львів, 2003. — 544 с.
14. Шаповаленко, О. Г. Основы электрических измерений [Текст] / О. Г. Шаповаленко, В. М. Бондар. — Київ, 2002. — 319 с.
15. Володарський, Є. Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю [Текст] / Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. — ВДТУ, 2001. — 219 с.
16. Датчики: Справочное пособие [Текст] / Подобщ. ред. В. М. Шаропова, Е. С. Полищука. — Москва: Техносфера, 2012. — 624 с.
17. Володарський, Є. Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю [Текст] / Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. — Вінниця: ВДТУ, 2001. — 219 с.
18. Кэррил, С. А. Бабушкин. Как работать с осветовым микроскопом

[Текст] / Ф. М. Кэррил; (перевод с английского и подредакцией И. Я. Барского, М. М. Аптинова), С. А. Бабушкин. - Москва.: Вест Медика, 2010.— 112 с.

19. Клюев А.С. Наладка средств измерений и систем технологического контроля: Справочное пособие . 2-е изд., перераб. и доп [Текст] / А.С. Клюев, Л.М. Пин, Е.И. Коломиец, С.А. Клюев —М.: Энергоатомиздат, 1990. — 400 с.