

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ „ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

**М.В. Бурштинський, М.В. Хай,
Б.М. Харчишин**

ДАВАЧІ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

2-ге видання доповнене

Львів-2014

УДК 621.316.54
ББК 31.264
Б 918

*Рекомендовано науково-методичною радою
Національного університету „Львівська політехніка”
як навчальний посібник для студентів електромеханічного
профілю вищих навчальних закладів
(протокол №7/2013 від 22 березня 2013 року)*

Рецензенти:

Лозинський О.Ю., зав. кафедри “Електропривод та автоматизація промислових установок” Національного університету “Львівська політехніка”,
д. т. н., професор

Білонога Ю.Л., доктор технічних наук,
професор Національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З.Гжицького

Бурштинський М.В., Хай М.В., Харчишин Б.М.

Давачі / М.В. Бурштинський, М.В. Хай, Харчишин Б.М. – 2-ге вид.
доповн. – Львів: ТзОВ „Простір М”, 2014. – 202 с.

Навчальний посібник поряд з загальними поняттями про давачі, які структурно відносяться до апаратів та елементів комутації для кіл керування, пропонує вивчення та лабораторне дослідження конкретних давачів: позиційних вимикачів, перетворювачів переміщення з аналоговим виходом, струму, температури, тиску та енкодерів відомих світових виробників.

УДК 621.316.54
ББК 31.264

© Бурштинський М.В., Хай М.В., Харчишин Б.М., 2014

ЗМІСТ

1. Загальні відомості.....	4
2. Визначення і структура давача.....	5
3. Класифікація давачів.....	12
4. Безконтактні давачі – позиційні вимикачі.....	16
4.1. Загальні відомості.....	16
4.2. Безконтактні індуктивні давачі.....	16
4.3. Ємнісні давачі – позиційні вимикачі.....	28
4.4. Фотоелектричні давачі – позиційні вимикачі.....	34
4.5. Ультразвукові давачі – позиційні вимикачі.....	47
5. Безконтактні давачі – перетворювачі переміщення з аналоговим виходом.....	58
6. Магніточутливі безконтактні давачі – позиційні вимикачі.....	66
7. Давачі струму.....	77
8. Давачі температури.....	88
9. Енкодери.....	125
10. Давачі тиску.....	140
11. Контрольні запитання.....	175
ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	179
1. Фотоелектричний давач дифузійного типу як позиційний вимикач.....	179
2. Індуктивний давач – позиційний вимикач.....	181
3. Ємнісний давач – позиційний вимикач.....	183
4. Давач температури з аналоговим виходом.....	185
5. Давач надлишкового тиску з аналоговим виходом.....	189
6. Ультразвуковий давач з аналоговим виходом.....	192
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	196

1. Загальні відомості

Непотамована спрага людства пізнати себе і світ, що нас оточує, є чи не одним із наших найпотужніших рушійних інстинктів. Наукові спостереження проводились з давен-давна, й інструменти, які використовувались для цього, існують вже тисячоліття. Проте у другій половині XX віку розвиток вимірювальних технологій і у зв'язку з тим теорії управління був вельми стрімким.

Основою пізнання світу, що нас оточує, є експериментальні дані. В науці та інженерному мистецтві всі гіпотези і теорії до того, як вони стануть правилами і законами, повинні бути старанно перевірені для підтвердження їх справедливості і ступеня відповідності істині.

Кельвіну приписують такий вислів:

„Коли ви можете виміряти те, про що говорите, і можете записати це у цифрах – ви знаєте про що говорите; але коли ви не можете це виміряти, не можете записати у цифрах – ваші знання є скутими і незадовільними”.

Філософія вимірів як складова філософії систем автоматичного керування та реєстрації полягає у прагненні отримати деяку уявну точну або істинну кількісну характеристику об'єкта, його властивість або якість, які необхідно сприйняти і перетворити в *електричний сигнал* і які мають назву *зовнішні дії*. В деяких книжках, каталогах чи стандартах [8] з цією метою використовують термін *вимірювана величина*, який має аналогічне значення, проте у цьому терміні робиться акцент на кількісну характеристику перетворювальної функції. Але, не завжди у гру входить кількісна характеристика. Наприклад, давач наближення чи присутності може засвідчувати лише явище. Зазвичай вихідним сигналом такого реле є дискретний сигнал.

В контексті сказаного будь-яка сучасна система вимірів не обходиться без застосування давачів, які є „перекладачами” аналогової

природи, що оточує нас, на мову електричних сигналів: аналогових, дискретних чи цифрових (саме такі давачі ми розглядатимемо); можна сказати, що давачі є „очима, вухами і носами” електроніки.

2. Визначення і структура давача

На сьогодні існує безлад у визначенні поняття „давач”. Зазвичай визначення відповідають практиці використання терміну виробниками давачів.

Зупинимось на деяких із визначень давача:

- чутливий елемент, який перетворює параметри середовища (зовнішню дію) у придатний для технічного використання електричний сигнал;
- закінчений виріб на підставі вказаного вище чутливого елемента, у склад якого, залежно від потреби, входять проміжні вимірювальні перетворювачі для вироблення електричного сигналу у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення і оброблення та інтерфейсу для інтеграції в системи керування.

У першому випадку давач це невеликий, зазвичай монолітний пристрій електронної техніки, наприклад, терморезистор, фотодіод тощо, який використовують для створення більш складних електронних приладів.

У другому випадку – це закінчений за своїми функціями прилад, який під’єднують за одним із відомих інтерфейсів до автоматичної системи керування чи ресстрації; у такому разі *чутливий елемент* давача сам по собі може називатись *сенсором* (від лат. sensorium – орган чуття), що є на сьогодні тенденцією в автоматизованому виробництві.

На наш погляд, друге визначення давача достатньо адекватно відображає сутність справи, на нього й будемо опиратись.

Структурна схема давача зображена на рис.1.

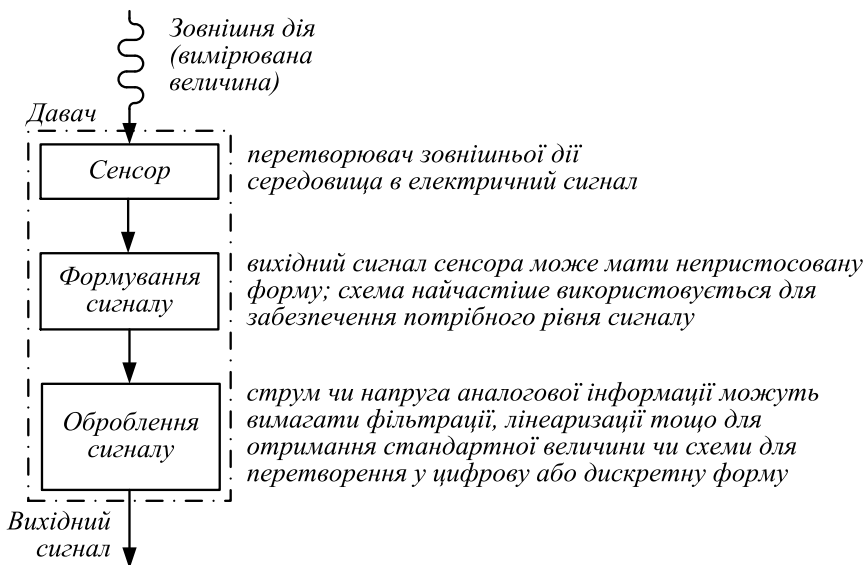


Рис.1. Структурна схема давача

Вживаючи поняття „сенсор”, у промисловості все частіше відходять від терміну „перетворювач” і сукупність всіх перетворювачів, крім сенсора, які формують і обробляють вихідний сигнал, зручний для використання в автоматизованих системах керування та реєстрації, називають *актуатор* (від англ. actuator – виконавчий пристрій). У такому разі структурна схема давача має вигляд як на рис.2.

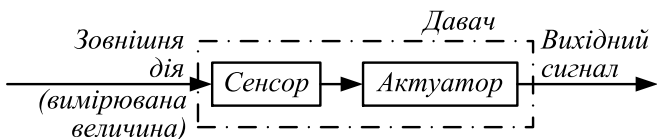


Рис.2. Структурна схема давача в інтерпретації у промисловості

Як було сказано, вихідними сигналами давача можуть бути стандартні аналогові сигнали струму чи напруги, дискретний сигнал або цифровий двійковий код. Цей набір характеристик називають *форматом вихідного сигналу*. Отож, кожен давач характеризується

набором вхідних параметрів, які можуть бути будь-якої фізичної природи та набором вихідних електричних параметрів.

На рис.3 зображено принцип апаратної реалізації перетворювачів сигналів у певну форму на виході.

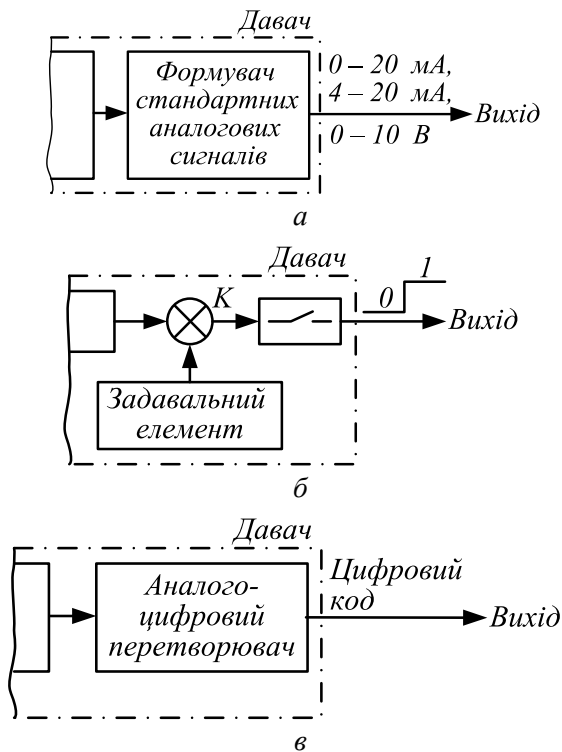


Рис.3. Принцип апаратної реалізації вихідних перетворювачів:

а – формування стандартних аналогових сигналів;

б – формування дискретного сигналу;

в – формування цифрового коду;

К – порівнювальний пороговий елемент (компаратор)

Давач може виступати як суцільний завершений пристрій або як функціональна група, де, наприклад, сенсор – це окремий конструктивний елемент групи. Прикладом конструктивно завершеного давача є позиційний вимикач – індуктивний давач

наближення, який виробляє дискретний сигнал, коли феромагнітний об'єкт (предмет) наблизиться до сенсора на визначену віддаль (рис.4, а), а прикладом функціональної групи є позиційний вимикач – фотоелектричний давач; такий давач виробляє дискретний сигнал, якщо предмет перериває видиме чи невидиме світлове випромінювання, яке надходить від випромінювального пристрою (рис.4, б).

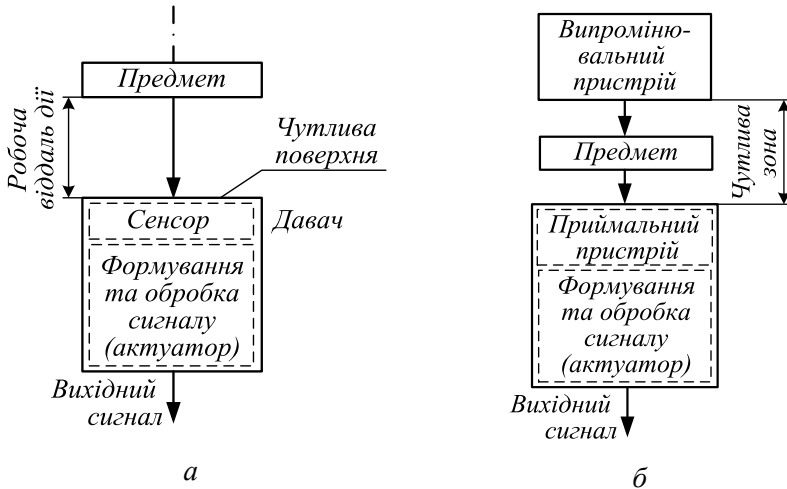


Рис.4. Структурна схема індуктивного давача наближення (а) та фотоелектричного давача присутності (б)

Конструктивно розділена сукупність пристроїв випромінювального та приймального разом зі схемою перетворення та обробки сигналу утворюють функціональну групу – фотоелектричний давач.

Розрізняють сенсори прямої дії та сенсори складені.

Сенсори прямої дії перетворюють зовнішню дію безпосередньо в електричний сигнал, використовуючи для цього відповідні фізичні явища. Прикладом сенсорів прямої дії є фотодіод, п'єзоелемент, терморезистор, давач Холла (тут термін „давач” є даниною історії).

У складених сенсорах перед тим як отримати електричний сигнал на виході кінцевого сенсора прямої дії необхідно здійснити

декілька перетворень енергії. Наприклад, у склад хімічного сенсора можуть входити два перетворювачі, один з яких конвертує енергію хімічних реакцій у тепло, а інший, термоелемент, перетворює отримане тепло в електричний сигнал. Отож, комбінація двох перетворювачів являє собою хімічний сенсор – пристрій, що виробляє електричний сигнал у відповідь на хімічну реакцію. Як правило, у структуру складених сенсорів входить хоча би один сенсор прямої дії і декілька перетворювачів.

Усі сенсори прямої дії можна поділити на дві категорії: *активні* і *пасивні*. Активний сенсор не потребує додаткового джерела енергії і у відповідь на зміну зовнішньої дії на його виході завжди з'являється електричний сигнал. Прикладом активних сенсорів є термопари, фотодіоди, п'єзоелектричні чутливі елементи. На відміну від активного пасивний сенсор для своєї роботи потребує зовнішньої енергії, яку називають *сигналом збудження*. Під час формування вихідного сигналу пасивний сенсор тим чи іншим способом діє на сигнал збудження. Оскільки такі сенсори міняють свої характеристики у відповідь на зміну зовнішньої дії, їх інколи називають *параметричними*. Активні сенсори, своєю чергою, інакше називають *генераторними*: у них внаслідок зовнішньої дії на виході з'являється різниця електричних потенціалів, які є безпосередньо вихідним сигналом. В пасивних же сенсорах, фактично, відбувається зміна їх параметрів, які моделюють сигнали збудження, і ця модуляція несе у собі інформацію про зміну зовнішньої дії.

Давачі можуть перебувати у безпосередньому контакті з об'єктом: розташовуватись на поверхні чи всередині об'єкта або не мати безпосереднього зв'язку з ним. Давачі, які не перебувають у безпосередньому зв'язку з об'єктом, називають *безконтактними*. У таких давачів обмін енергією між сенсором і об'єктом може здійснюватись за допомогою магнітного поля (безконтактний індуктивний давач наближення), ультразвуковим сигналом (безконтактний ультразвуковий сигнал присутності) тощо.

Залежно від вибору точки відліку давачі можна поділити на

абсолютні та відносні.

Абсолютний давач визначає зовнішній сигнал в абсолютних одиницях, які не залежать від умов проведення вимірів, тоді як вихідний сигнал *відносного* давача в кожному окремому випадку може трактуватися по-різному. Прикладом абсолютного давача є давач із терморезисторним сенсором. Його електричний опір напряду залежить від абсолютної температури за шкалою Кельвіна. Інший же популярний давач із сенсором – термопарою є відносним пристроєм, оскільки сигнал на його виході є функцією градієнта температури на провідниках термопари. Тому визначити конкретну температуру за вихідним сигналом давача можна тільки відносно відомої базової точки відліку.

Іншим прикладом абсолютних та відносних давачів є давач тиску. Покази абсолютного давача відповідають тиску відносно абсолютного нуля за шкалою тисків, тобто відносно повного вакууму. Відносний давач визначає тиск відносно атмосферного, який не є нульовим.

На завершення підрозділу зазначимо, що історично та логічно давачі зв'язані з технікою вимірів і вимірювальними приладами, наприклад, термометри, витратоміри, барометри тощо. Узагальнювальний же термін *давач* закріпився у зв'язку з розвитком автоматичних систем керування як елемент узагальненої логічної концепції: давач – пристрій керування – виконавчий пристрій (двигун, клапан тощо) – об'єкт керування (рис.5).

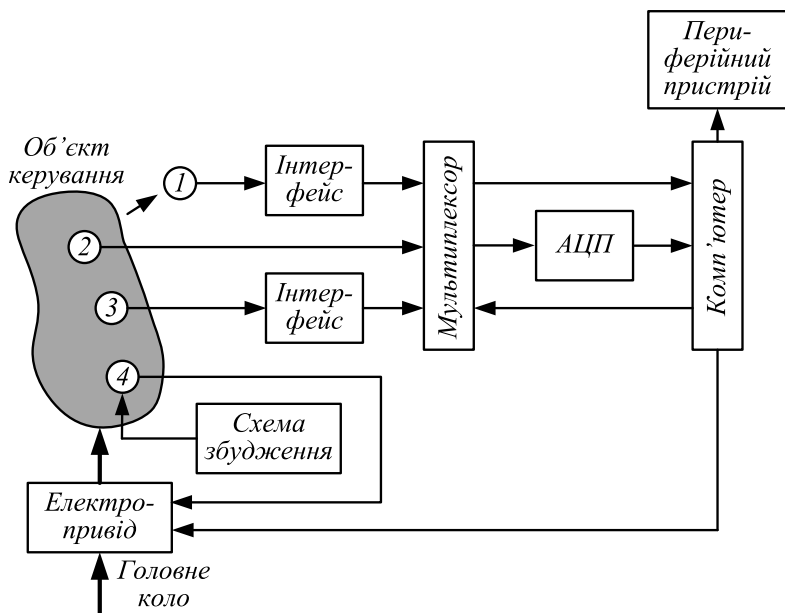


Рис.5. Автоматизований керувальний комплекс,
який показує роль давачів у системі збору даних:

1 – безконтактний давач;

2, 3 – активні давачі;

4 – пасивний давач

3. Класифікація давачів

Системи класифікації давачів можуть бути різними, від дуже простих до складних. Критерій класифікації завжди вибирається залежно від мети проведення класифікації.

Наведемо одну із схем можливої класифікації давачів.

Класифікація за видом сенсора:

- активні (генераторні);
- пасивні (параметричні).

Класифікація за вибором точки відліку:

- абсолютні;
- відносні.

Класифікація за зовнішньою дією (вимірювальною величиною):

- давачі тиску:
 - абсолютного тиску;
 - відносного тиску;
 - розрідження;
 - тиску-розрідження;
 - різниці тисків;
 - гідростатичного тиску;
- давачі витрати:
 - механічні лічильники витрати;
 - перепадоміри;
 - ультразвукові витратоміри;
 - електромагнітні витратоміри;
 - коріолісові витратоміри;
 - вихрові витратоміри;
- давачі рівня:
 - поплавкові;
 - ємнісні;
 - радарні;
 - ультразвукові;

- давачі температури:
 - відносні (сенсор – термопара);
 - абсолютні (сенсор – терморезистор);
 - пірометр;
- давачі концентрації:
 - кондуктометри;
- давачі радіоактивності (інакше детектори радіоактивності або випромінювання):
 - іонізаційна камера;
 - давач прямого заряду;
- давачі переміщення:
 - абсолютний шифратор;
 - відносний шифратор;
 - LVDT (лінійний диференційний перетворювач, що регулюється);
- позиційні вимикачі:
 - контактні;
 - безконтактні;
- давачі кутового положення:
 - сельсин;
 - перетворювач кут – код (енкодер);
 - RVDT (обертний диференційний перетворювач, що регулюється);
- давачі вібрацій:
 - п'єзоелектричний;
 - вихрострумний;
- давач механічних величин:
 - відносного розширення;
 - абсолютного розширення.

Класифікація за характеристиками:

- чутливість;
- стабільність;
- точність;
- гістерезис;
- швидкодія;
- діапазон вхідних значень;
- формат вихідного сигналу;
- інші.

Класифікація за кількістю вхідних величин:

- одномірні;
- багатомірні.

Класифікація за принципом дії:

- фотоелектричні (оптичні);
- магнітоелектричні (на підставі ефекту Холла);
- п'єзоелектричні;
- тензодавачі;
- ємнісні;
- потенціометричні;
- індуктивні;
- індукційні;
- ультразвукові.

Класифікація за принципом реалізації вихідних перетворювачів:

- з дискретним виходом:
 - статичні;
 - електромеханічні;
- з аналоговим виходом;
- з цифровим виходом.

Класифікація за конструкцією:

- суцільний, інакше компактний, або моноблочний;
- складений (складається з окремих конструктивних частин), тобто виступає як функціональна група, інакше, наприклад, двоблочний.

Приклад загального опису безконтактного фотоелектричного давача – позиційного вимикача подано у табл.1.

Таблиця 1.

Тип давача	Фотоелектричний типу Т
Принцип дії	Сигнал на виході визначає наявність або відсутність певного предмета, який перериває невидиме світлове випромінювання, що надходить від випромінювального пристрою до приймача
Формат вихідного сигналу	Дискретний
Комутаційний елемент на виході	Напівпровідниковий
Конструкція	Складений

Примітка. Повна інформація про конкретний виріб подається у каталозі виробника або/та в інструкції з експлуатації.

4. Безконтактні давачі – позиційні вимикачі

4.1. Загальні відомості

Підрозділ присвячений вивченню безконтактних давачів:

- індуктивних, які реагують на наявність металевих предметів;
- ємнісних, здатних виявляти неметалеві предмети;
- фотоелектричних, що реагують на предмет, який відбиває або перериває світлове випромінювання, видиме чи невидиме;
- ультразвукових, 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 DC.

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

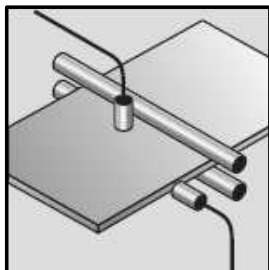
Загальні вимоги до таких давачів викладені у стандарті ІЕС 60947-5-2-97.

4.2. Безконтактні індуктивні давачі

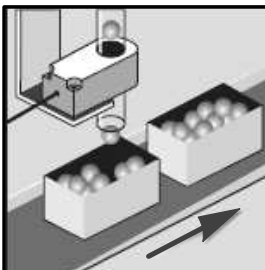
Зазначений вище безконтактний індуктивний давач інакше називають індуктивним давачем *наближення*. Він активізується з наближенням металевого предмета до сенсора давача.

На рис.6 подані приклади, які демонструють можливі застосування індуктивних давачів наближення.

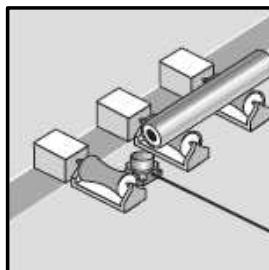
*Визначення наявності
металевого листа*



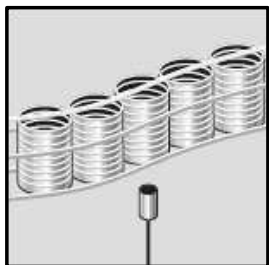
*Підрахунок
металевих деталей*



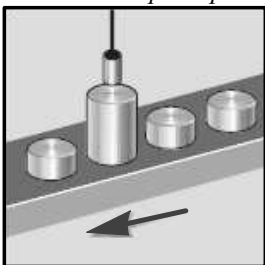
*Позиціювання
об'єктів*



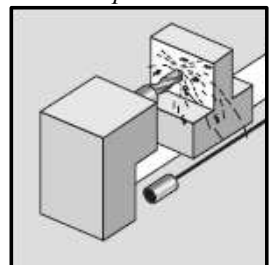
*Виявлення
металевих банок*



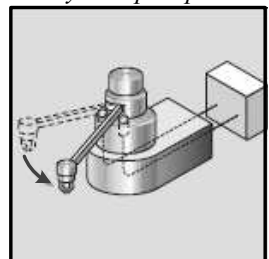
*Сортування металевих
об'єктів за розміром*



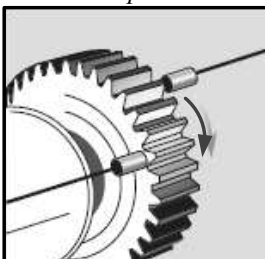
*Контроль глибини
свердління*



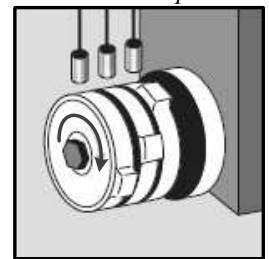
*Керування
маніпулятором робота*



*Контроль кількості
обертів*



*Контроль положення
елементів
командоапарата*



*Рис.6. Приклади, які демонструють можливі застосування
давачів наближення*

Структурна схема індуктивного давача наближення зображена на рис.7.

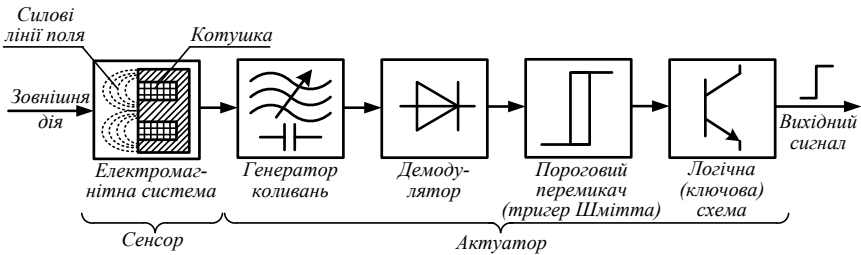


Рис.7. Структурна схема індуктивного давача наближення

Принцип дії такого давача полягає у зміні амплітуди коливаний 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.8.

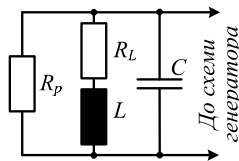


Рис.8. Заступна схема паралельного коливного контура за наявності у полі сенсора металевого предмета:

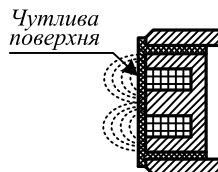
R_p – зведений до контура активний опір предмета

Поява паралельно під'єданого до коливного контура активного опору R_p призводить до збільшення згасання контура і помітного зниження амплітуди коливаний генератора. Після демодуляції сигнал генератора надходить на вхід порогового елемента з заданим рівнем спрацьовування і за допомогою логічної

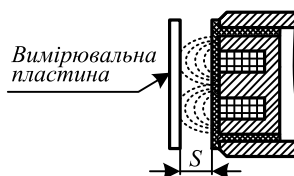
(ключової) схеми перетворюється у дискретний сигнал: комутаційний увімкнено/вимкнено з вихідним ключем NPN чи PNP для постійного струму або симетричним тріодним тиристором для змінного/постійного струму.

Основні визначення.

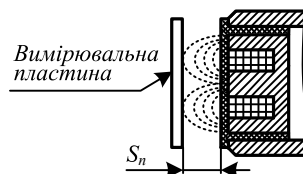
Чутлива поверхня – це площадка, обмежена зовнішнім діаметром феритового осердя, на якому зібрана електромагнітна система вимикача. Діаметр цієї поверхні приблизно дорівнює діаметрові вимикача.



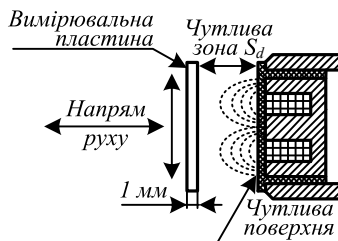
Відстань перемикання S – відстань, за якої об'єкт, що наближається до чутливої поверхні вимикача, викликає зміну вихідного логічного сигналу.



Номінальна відстань перемикання S_n – теоретична величина, що не враховує розкид виробничих параметрів вимикача, зміни температури і напруги живлення.



Чутлива зона безконтактного індуктивного вимикача S_d – та область перед його чутливою поверхнею, де найбільше сконцентроване магнітне поле чутливого елемента вимикача. Вона, як правило, сумірна з розмірами чутливого елемента.



Вимірювальна пластина – сталева квадратна пластинка (сталь 40) товщиною 1 мм зі сторонами, рівними діаметрові чутливої поверхні. Однак, якщо добуток $3S_n$ є більшим від діаметра чутливої поверхні, то пластина вибирається зі сторонами $3S_n$.

Ефективний проміжок S_r визначається при номінативній робочій напрузі і температурі навколишнього середовища $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 0,5$. У ньому враховані виробничі розкиди вимикача ($0,9S_n < S_r < 1,1S_n$).

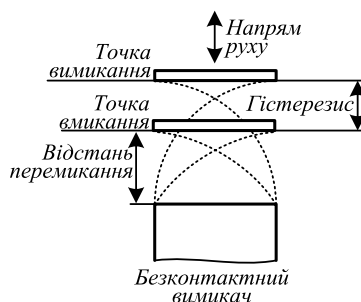
Корисний проміжок S_u – це відстань перемикання, що враховує усі виробничі розкиди вимикача, зміни температури і напруги ($0,81S_n < S_u < 1,21S_n$).

Робочий проміжок S_a – це будь-яка відстань, що забезпечує надійну роботу безконтактного вимикача в допустимих межах температури і напруги ($0 < S_a < 0,8S_n$).

Поправковий коефіцієнт робочого проміжку – дає можливість визначити робочий проміжок, що залежить від металу, з якого виготовлений об'єкт впливу.

Матеріал	Коефіцієнт	Матеріал	Коефіцієнт
сталь 40	1,0	алюміній	0,30...0,45
чавун	0,93...1,05	латунь	0,35...0,50
нікель	0,65...0,75	мідь	0,25...0,45
нерж.сталь	0,60...1,0		

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 номінативної відстані перемикання.



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

Максимальна частота циклів оперування $F_{\max}$ – максимальна можлива кількість перемикачів вимикача в секунду. Об'єктами впливу використовуються стандартні вимірювальні пластинки з відстанню між ними $2d$.

$$F_{\max} = 1/(t_1 + t_2),$$

де t_1 – час перебування давача в увімкненому стані;

t_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.

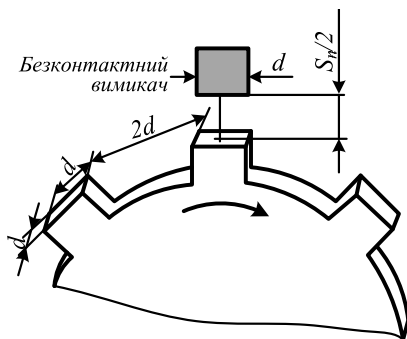
Діапазон робочих струмів I_e – діапазон струмів навантаги, при яких забезпечується нормальне функціонування вимикачів.

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 напруг U_e – це допустимий діапазон



напруги, при якому гарантується надійна робота вимикача (включаючи пульсацію).

Спад напруги на вимикачі U_d – 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%).

Убудовування індуктивних давачів у метал та у відношенні один до одного. Безконтактні вимикачі можуть бути *утоплені* в метал до торцевої чутливої поверхні без зміни робочих параметрів або *неутоплені*, в яких для підтримки їх встановлених параметрів потрібна вільна зона, в якій повинні бути відсутні матеріали, що впливають на ці параметри.

Віддаль між двома сусідніми давачами у першому випадку повинна бути не менше діаметра давача, а в другому – не менше двох діаметрів (рис.9).

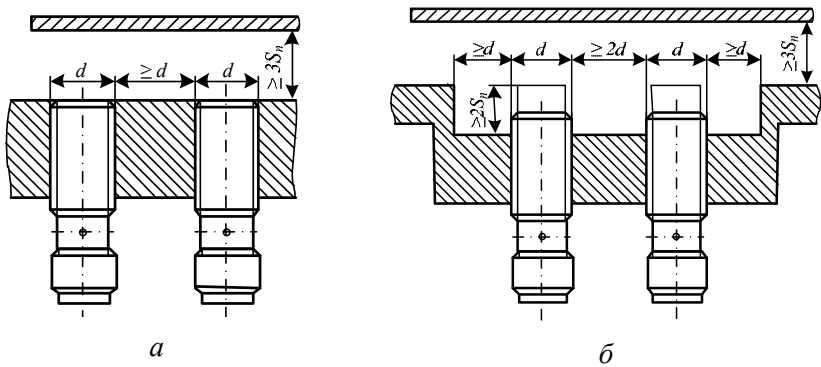


Рис.9. Убудовування індуктивних давачів у метал та у відношенні один до одного:

a – утоплений;

б – неутоплений

Схема під'єднання позиційного вимикача задається виробником.

Розглянемо приклади можливих схем під'єднання індуктивних давачів наближення.

Структура виходу давача визначається його комутаційним елементом NPN або PNP.

Вихід NPN забезпечує протікання струму від контакту „Вихід” до контакту „-”; навантага під'єднується між контактами „+” та „Вихід”.

Вихід PNP забезпечує протікання струму від контакту „+” до контакту „Вихід”; навантага під'єднується між контактами „Вихід” та „-” (табл.2).

Схеми під'єднання у разі постійної чи змінної напруги подано у табл.3. У табл.2 та табл.3 подається рівно ж умовне графічне позначення індуктивного давача наближення а також цифрове позначення і відповідно колір виводів давача згідно зі стандартом ІЕС60947-5-2-97.

Символ „ Φ ” є загальним позначенням безконтактних давачів – позиційних вимикачів, інакше вимикачів наближення.

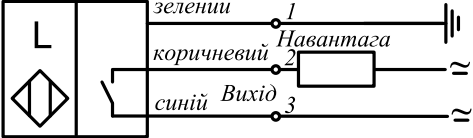
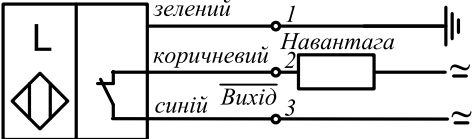
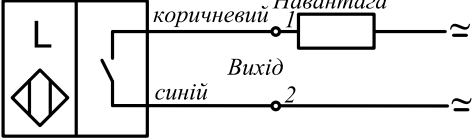
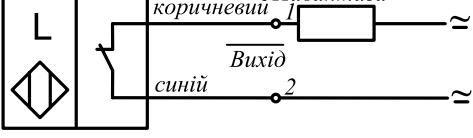
Таблиця 2

**Схеми під'єднання 3-, 4-провідних
індуктивних датчиків наближення за постійної напруги**

Вихідний транзистор NPN		Замикальний контакт	
		Розмикальний контакт	
		Перемикальний контакт	
Вихідний транзистор PNP		Замикальний контакт	
		Розмикальний контакт	
		Перемикальний контакт	

Таблиця 3

**Схеми під'єднання 2-, 3- провідних індуктивних датчиків
наближення за постійної/змінної напруги**

З уземленням	Замикальний контакт	
	Розмикальний контакт	
Без уземлення	Замикальний контакт	
	Розмикальний контакт	

Не завжди умови організації схеми керування та напруга у колі навантаги дають змогу під'єднати навантагу до одного із входів живлення датчика. У такому разі застосовують датчик з відкритим колектором (табл.4).

Таблиця 4

**Схеми під'єднання індуктивних датчиків наближення
з відкритим колектором за постійної напруги**

Вихідний транзистор NPN	Замикальний контакт	
	Розмикальний контакт	
Вихідний транзистор PNP	Замикальний контакт	
	Розмикальний контакт	

Якщо до системи збору даних ставиться вимога виробити керувальний сигнал за умови, що такий сигнал виробляє одночасно декілька індуктивних датчиків наближення, то вони повинні бути під'єднані за комбінаційною схемою, яка реалізує функцію „І”, тобто послідовною схемою (рис.10).

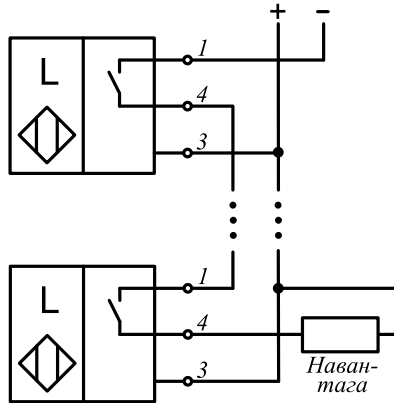


Рис.10. Послідовна схема під'єднання індуктивних датчиків наближення

Примітка. У разі послідовного з'єднання кількість датчиків повинна бути обмеженою, оскільки на кожному з них має місце спад напруги наближено 1 В.

Подібним чином можна організувати під'єднання датчиків за схемою, яка реалізує функцію „АБО” (паралельне з'єднання) (рис.11).

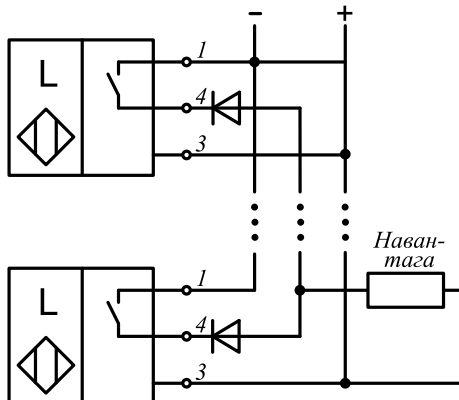
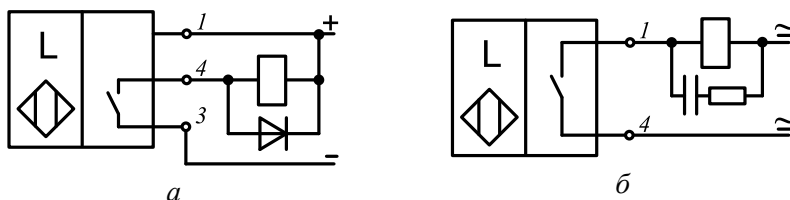


Рис.11. Паралельна схема під'єднання індуктивних датчиків наближення

Захист вихідних напівпровідникових ключів давача полягає в обмеженні перенапруг. Причиною таких перенапруг є зазвичай вимикання індуктивної навантаги; це призводить до появи проти-ЕРС, яка в сумі з прикладеною до кола навантаги напругою може перевищити допустиму. Одним із засобів боротьби з перенапругами є шунтування ланки навантаги діодом у випадку постійної напруги або *RC*-ланкою у разі змінної чи постійної напруги (рис.12), [7].



*Рис.12. Приклади захисту вихідних ключів давачів від перенапруг:
а – для постійної напруги;
б – для постійної чи змінної напруги*

Звернемо увагу на те, що не всі давачі вимагають зовнішнього захисту від перенапруг – у переважній більшості такий захист є складовою частиною їх внутрішнього комплексного захисту, який, крім цього, захищає схему від хибної полярності та перевантажень за струмом.

4.3. 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 дії ємнісного давача наближення розглянемо за структурною схемою (рис.13). Чутлива поверхня давача утворюється двома концентрично розташованими металевими електродами *A* та *B*. Електроди увімкнені у коло зворотного зв'язку генератора коливаль. 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 коливаль 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 (див.рис.13).

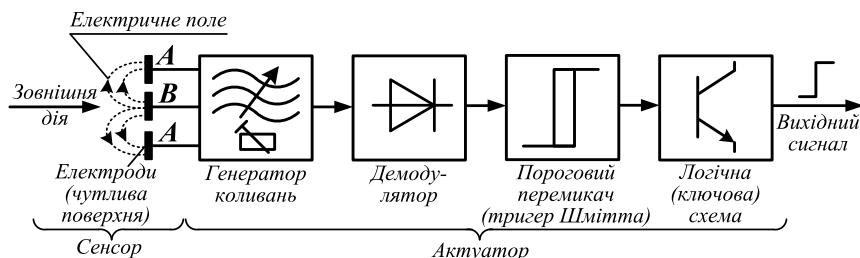


Рис.13. Структурна схема ємнісного давача наближення

Особливості роботи. Як було сказано, ємнісні давачі наближення (ємнісні вимикачі) перемикаються як від електропровідних, так і від діелектричних об'єктів.

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 . Графік залежності S_r від ϵ_r подано на рис.14, а значення діелектричної проникливості матеріалів – у табл.5.

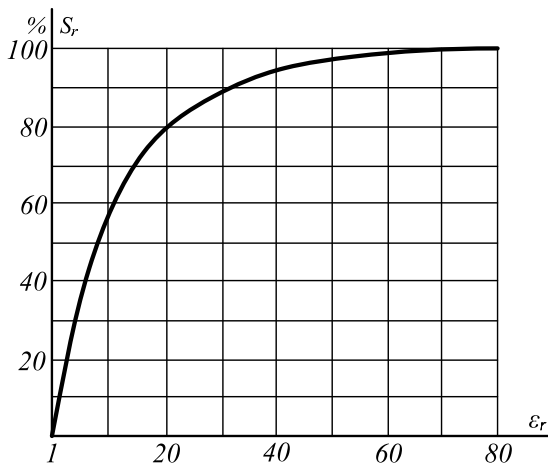


Рис.14. Залежність віддалі перемикання S_r від діелектричної проникливості матеріалів ϵ_r

Таблиця 5

Діелектрична проникливість матеріалів

Матеріал	ϵ_r	Матеріал	ϵ_r	Матеріал	ϵ_r
Аміак	16,0	Гума силіконова	2,8	Слюда	6,0
Аралдит	3,6	Парафін	2,2	Спирт етиловий	25,8
Бакеліт	3,6	Мармур	8,0	Скло	5,0
Бензол	2,3	Нафта	2,2	Склотекстоліт	5,5
Папір	2,3	Оргскло	3,2	Тальк	1,6
Папір промаслений	4,0	Олива трансформаторна	2,2	Фторопласт (тефлон)	2,0
Вініпласт	4,0	Поліамід	5,0	Толуол	2,4
Вода	80,0	Полівінілхлорид	2,9	Фанера	4,0
Повітря	1,0	Поліпропілен	2,3	Порцеляна	4,4
Гетинакс	4,5	Полістирол	3,0	Текстоліт	7,5
Деревина	2...7	Поліетилен	2,3	Целулоїд	3,0
Ебоніт	4,0	Гума м'яка	2,5	Цемент	2,0
Кварцовий пісок	3,7	Компаунд кабельний	2,5	Кварцове скло	4,5
Гас	2,2	Скипидар	2,2	Електрокартон	4,0

Під час експлуатації належить рахуватись з вологістю деяких органічних матеріалів (дерево, зерно тощо), діелектрична проникливість яких може зрости за рахунок води, оскільки $\epsilon_{\text{води}}=80$.

Номінальна віддаль перемикавання 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 %.

Убудовування 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: $\geq 1,5S_n$, а не $\geq 2S_n$, як для індуктивного (див.рис.9).

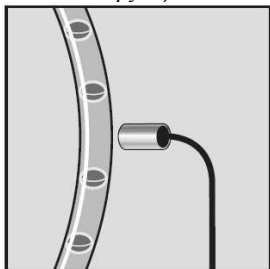
Налаштовування ємнісних давачів. Ємнісний давач може мати убудований регулювальний резистор для налаштування чутливості.

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 потрібній номінальній віддалі перемикавання залежно від того, яка величина є більшою. Товщина пластини 1 мм. Робочий проміжок S_a при цьому приймають від 0 до $0,8S_n$.

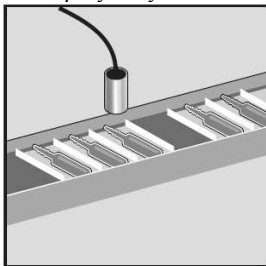
У разі об'єкта зовнішньої дії з низькою діелектричною проникливістю ϵ_r регулювання здійснюють за місцем установки, при цьому стараються контролюваний об'єкт дії підвести до чутливої поверхні давача якнайближче.

Сфери застосування ємнісних давачів продемонстровано прикладами, поданими на рис.15.

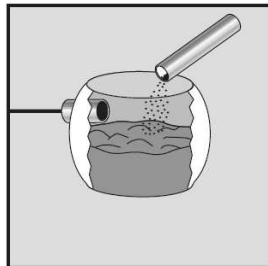
*Підрахунок об'єктів,
що рухаються, у
трубці*



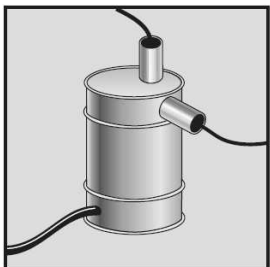
*Підтвердження
присутності виробу
при упакованні*



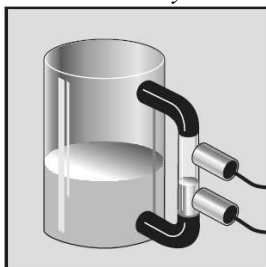
*Контроль рівня
сипучого матеріалу в
ємності*



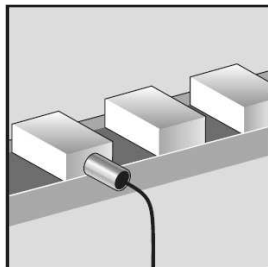
*Контроль рівня рідини
в пластикових бочках*



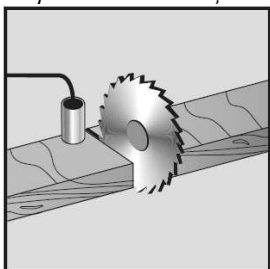
*Контроль рівня рідини
в скляних посудинах*



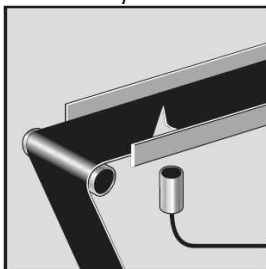
*Виявлення і підрахунок
об'єктів*



*Визначення наявності
деревини і її товщини*



*Контроль цілісності
стрічки*



*Підрахунок пляшок і
контроль заповнення*

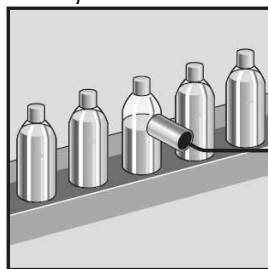


Рис.15. Приклади застосування ємнісних давачів

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 контрольований 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. При цьому товщина перегородки повинна бути меншою, ніж віддаль дії ємнісного вимикача (рис.16).

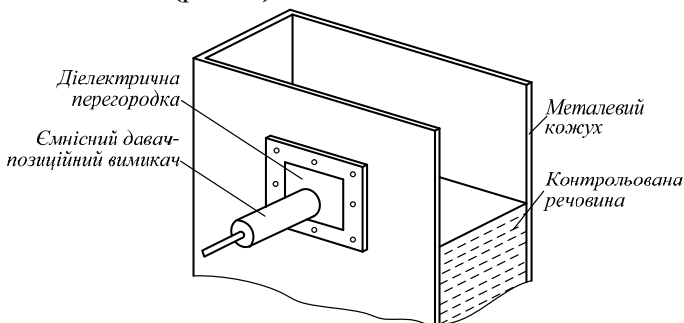


Рис.16. Приклад застосування ємнісних давачів у харчовій та хімічній промисловості

Умове 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 *C*. На рис.17 зображено можливі позначення ємнісних давачів.



*Рис.17. Умове графічне позначення на схемах ємнісних давачів-вимикачів:
NO – замикальний контакт;
NC – розмикальний контакт*

4.4. 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.18. Випромінювач складається з генератора імпульсів та світлодіода – джерела випромінювання. На перший погляд здавалось би достатнім живити 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.

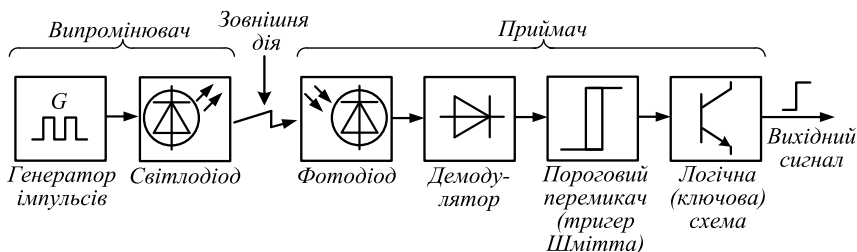


Рис.18. Структурна схема
безконтактного фотоелектричного давача

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.

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 *фотоефектом* (рис.19).

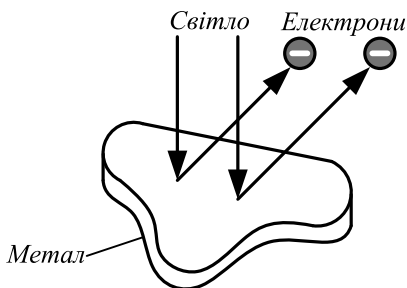


Рис.19. Явище фотоефекту

Об'єднавши напівпровідники *p*-типу та *n*-типу, отримаємо напівпровідниковий *p-n*-перехід, на якому внаслідок фотоефекту виникне різниця потенціалів (рис.20). Таке явище називають *фотогальванічним ефектом*.

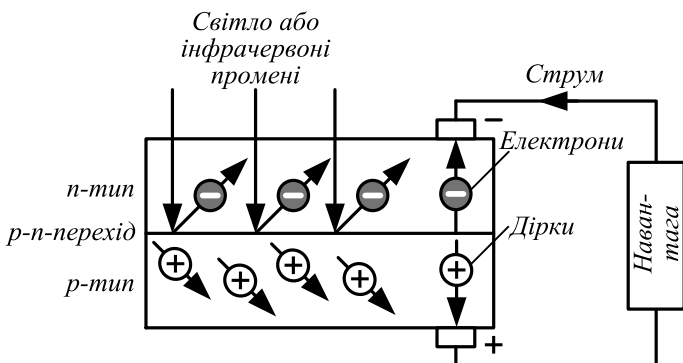


Рис.20. Принцип появи фотогальванічного ефекту

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 (рис.21, а). Електричний струм, що виникає за рахунок падіння світла на p - n -перехід є дуже малим, тому фотодіод, як правило, використовують, застосовувавши зворотне зміщення (рис.21, б). У такому разі фотодіод виступає як пасивний сенсор, що керується світлом або інфрачервоними променями.

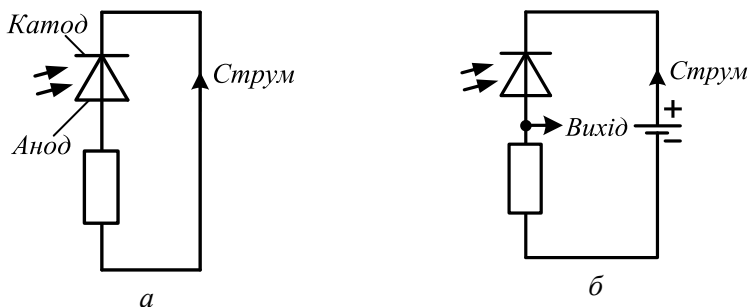


Рис.21. Принцип роботи (а)
та схема вмикання фотодіода в коло (б)

Фотодіод, об'єднаний з транзистором, називають фототранзистором (рис.22).

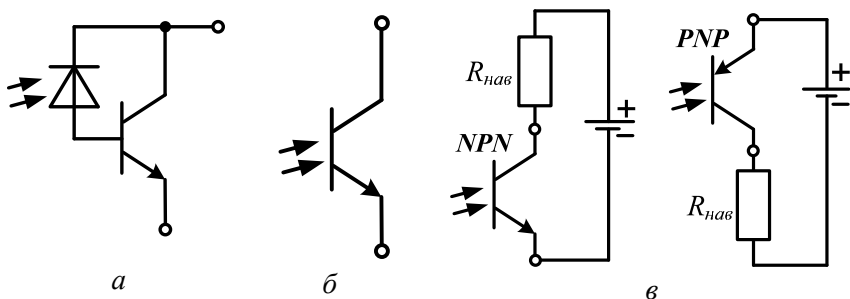


Рис.22. Функціональна схема (а), умовне графічне позначення (б) та схема вмикання (в) фототранзистора

Як видно з рис.22, а фотодіод, що діє у схемі як сенсор, визначає керувальний струм у базі транзистора, величина якого залежить від інтенсивності світлового потоку.

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 (рис.23).

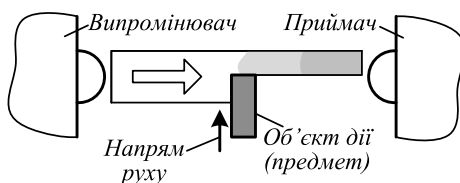


Рис.23. Фотодавач типу Т

Система налаштована так, що промінь від випромінювача націлений строго на сенсор приймача, і коли об'єкт перетинає цей

промінь, відбувається перемикання вихідного ключа, розташованого на виході приймача. Це найефективніший із усіх типів фотодавачів.

Особливості давачів типу *T*:

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

Давачі рефлекторного типу є моноблочними. У них випромінювач і приймач містяться в одному корпусі. Для відбивання променя, який йде від випромінювача до приймача, використовують спеціальний рефлектор. Давач перемикається тоді, коли контрольований об'єкт перериває світловий потік (рис.24).

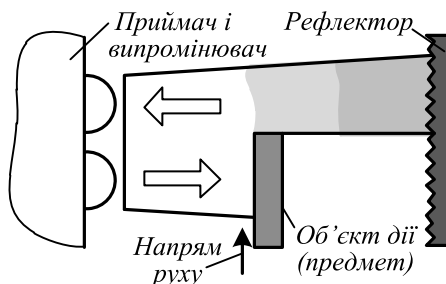


Рис.24. Фотодавач типу *R*

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 *R* 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.

Зупинимось коротко на явищі поляризації світла. Згідно з хвильовою теорією світло подають як пульсацію електричного і магнітного полів. Оскільки детектори електромагнітних випромінювань найчастіше чутливі до зміни електричних полів, розглянемо електричну поляризацію світла. Якщо прийняти, що хвиля електричного поля рухається вздовж осі X , то у площині, проведеній перпендикулярно до осі X у будь-якій її точці, пульсуватиме вектор електричного поля від $+E$ до $-E$. Пульсація поля у кожній сусідній площині зсунена за фазою. На рис.25, *а* показано розподіл електричного поля за площинами, які розміщені вздовж осі X в момент часу $t=t_1$. За чверть періоду ($t=t_1+\frac{1}{4}T$) поле в точці *а* зростає до максимуму, а в точці *б*, навпаки, падає до нуля і так далі (рис.25, *в*). Отож, вздовж осі X „біжить” електрична хвиля, хоча насправді має місце лише пульсація поля у площинах, перпендикулярних до осі X , яка зміщена у цих площинах за фазою.

Звернемо увагу на таке. Якщо вздовж осі X провести довільну кількість площин, перетин яких збігається з віссю X , то в кожній із площин пульсуватиме своє поле. На рис.25, *б* номери векторів відповідають номерам площин, в яких вони пульсують. Величини векторів, зображених на цьому рисунку, відносяться до часу $t=t_1$.

Так в загальних рисах виглядає природа світла та інфрачервоних променів.

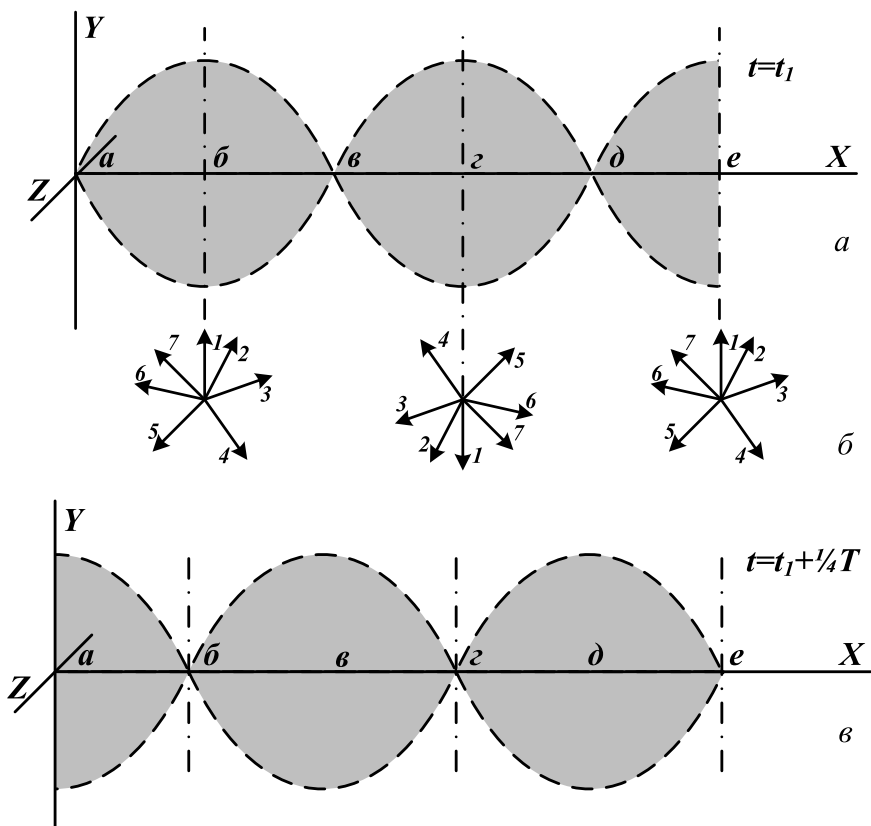


Рис.25. Розподіл пульсацій електричного поля
вздовж осі X та в часі t

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.26). 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.

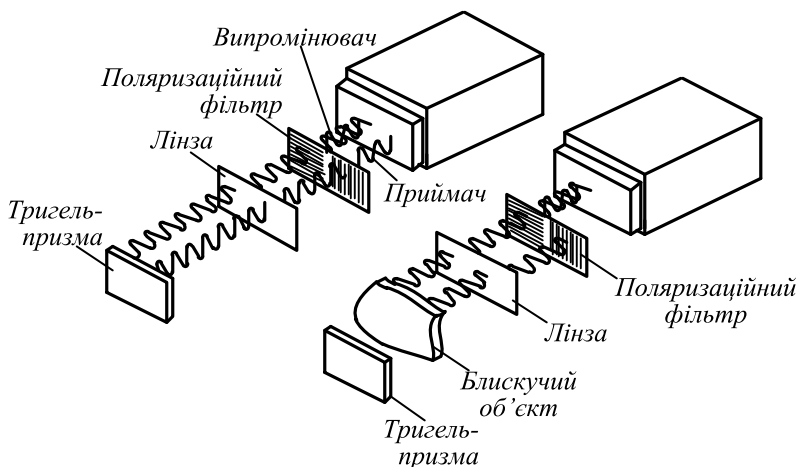


Рис.26. Фотодавачі для виявлення блискучих об'єктів

Давачі 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. 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 *R*, 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.27). Через те, що більша частина випроміненого, а потім відбитого від об'єкта світла тратиться, давачі дифузійного типу застосовують у задачах близького виявлення об'єкта.

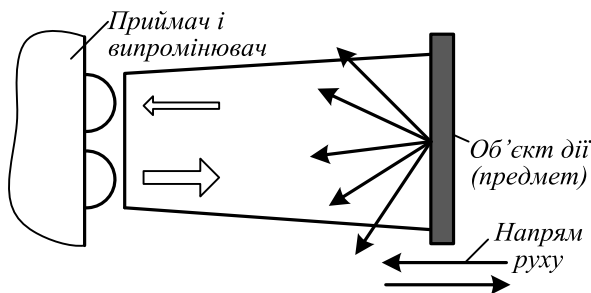


Рис.27. Фотодавач типу *D*

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

Особливості давачів типу *D*:

- 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.

Таблиця 6

**Поправкові коефіцієнти для визначення дальності дії
давачів типу D**

Об'єкт, поверхня	Поправковий коефіцієнт
Папір білий, матовий	1
Метал полірований	1,2–1,6
Пінопласт білий	1
Тканина бавовняна	0,6
Полівінілхлорид сірий	0,5
Дерево необроблене	0,4
Картон чорний, блискучий	0,3
Картон чорний, матовий	0,1
Прозорі пластикові пляшки	0,4

Дифузійні давачі з *конвергенцією потоку* є модифікацією, в якій найефективніше використано збільшення корисного сигналу. У разі конвергенції (від лат. *convergo* – сходжусь, наближаюсь) світловий потік від випромінювача за допомогою лінзи фокусується на певній точці перед ним, при цьому лінза приймача також фокусована у цю ж точку. Отож, діапазон чутливості визначається цією точкою фокуса. У такому разі давач здатний реєструвати об'єкт у цій фокальній точці, плюс–мінус деяка віддаль, що називається „вікно чутливості”. Об'єкти перед або за „вікном чутливості” не реєструються. Величина „вікна чутливості” залежить від відбивальних властивостей об'єкта і особливостей налаштування давача. Внаслідок того, що вся випромінювана енергія сфокусована в одній точці, давачі такої конструкції мають високу чутливість, що дає змогу виявляти об'єкти досить малі або з низькими властивостями відбиття.

Ще однією модифікацією дифузійного фотодавача є давачі з *придушенням фону*. Такі давачі реєструють об'єкт тільки в границях певної обмеженої віддалі, а об'єкти, що знаходяться на більшій віддалі, ніж обмежена, не реєструються. Отож, їх перевагою є те, що

вони не реагують на об'єкти, що знаходяться за об'єктом, що реєструється. Такий фотодавач у своїй будові має два світлочутливі сенсори (рис.28). Один з них приймає світловий потік, відбитий від об'єкта, що реєструється, а інший – від фонового. Якщо величина світлового потоку, відбитого від об'єкта, що реєструється, більша ніж величина світлового потоку від фонового об'єкта, давач визначає наявність об'єкта, що реєструється, і вихідний контакт перемикається. Віддаль до точки фокуса можна змінювати.

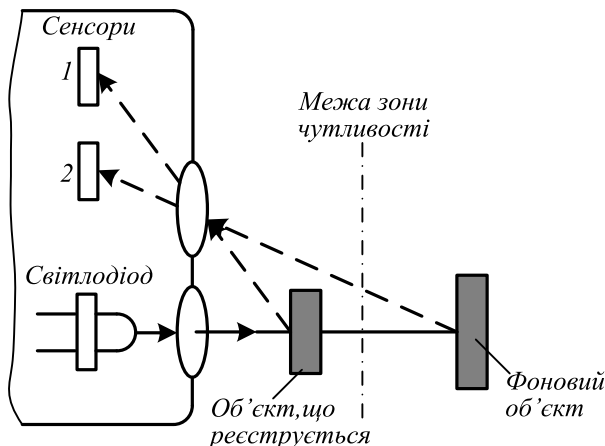


Рис.28. Принцип роботи давача з придушенням фону

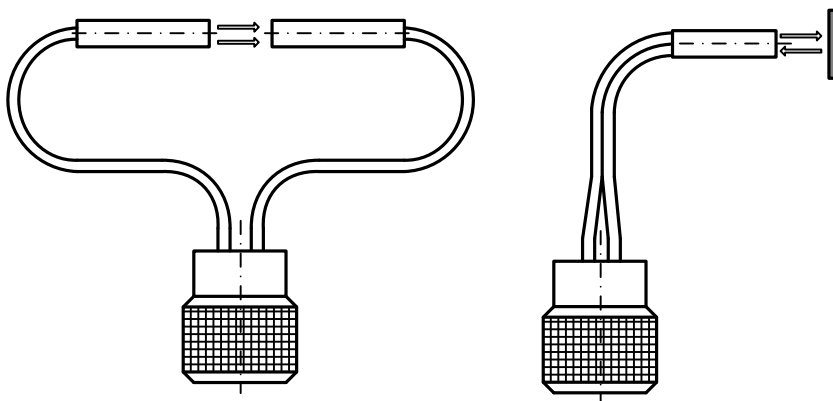
Оптоволоконні насадки до фотодавачів. Такі насадки зазвичай працюють у сукупності з моноблочними фотодавачами типу *R* або *D* (рис.29).

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.

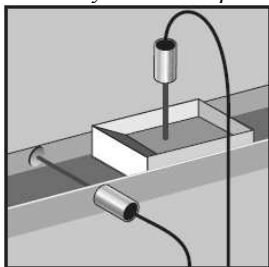


*Рис.29. Оптиковолоконні насадки до фотодавачів:
а – робота за принципом бар'єрного давача;
б – робота за принципом дифузійного давача*

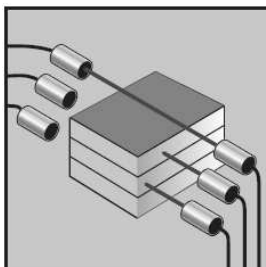
Пластиковий оптиковолоконний кабель виробляють з волокон, що проводять світло і охоплені ПВХ оболонкою. Це гнучкіший і відносно дешевий оптичний кабель; його можна оперативнo різати на потрібні довжини, чого не допускає скляний кабель.

Сфери застосування фотодавачів продемонстровано прикладами, поданими на рис.30.

*Визначення розміру і
вмісту контейнера*



*Визначення висоти
пакета*



Керування воротами

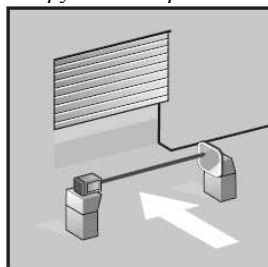
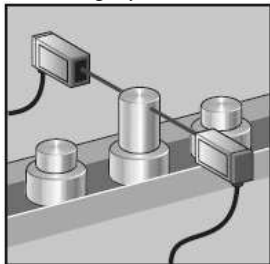
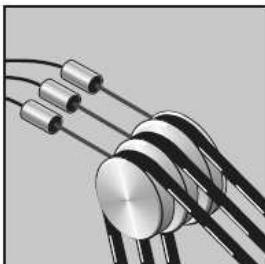


Рис.30. Приклади застосування фотодавачів

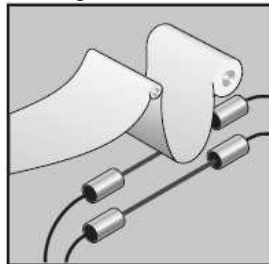
Сортування



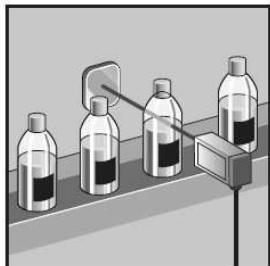
Контроль обривання пасів



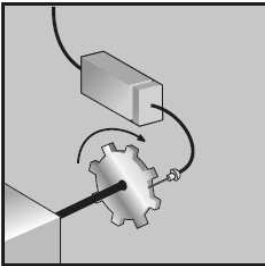
Керування провисанням



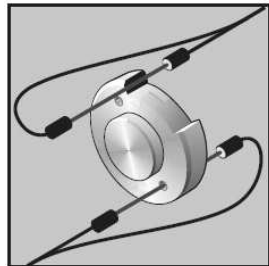
Контроль рівня



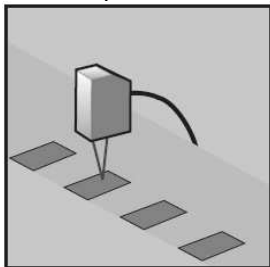
Контроль швидкості



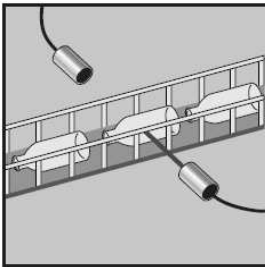
Контроль положення



Контроль мітки



Виявлення напівпрозорих пластикових пляшок



Позиціювання за міткою

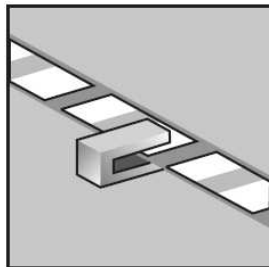


Рис.30. (Продовження). Приклади застосування фотодавачів

4.5. Ультразвукові давачі – позиційні вимикачі

Ультразвуковий давач як позиційний вимикач є безконтактним давачем, сигнал на виході якого визначає наявність або відсутність певного предмета в зоні чутливості. Такий предмет відбиває ультразвукову енергію, що надходить від чутливої поверхні давача, тобто поверхні, яка випромінює і приймає ультразвукові сигнали. Збудником ультразвукових хвиль випромінювача, як правило, є п'єзоелектричний перетворювач, який працює у так званому *моторному* режимі. У такому режимі п'єзоелектричний пристрій безпосередньо перетворює електричну енергію у механічну.

Зупинимось коротко на явищі, що носить назву *п'єзоелектричний ефект*. Останній полягає в тому, що у певному кристалічному матеріалі у разі прикладання до нього механічних напруг утворюються електричні заряди. Цей ефект спостерігається у природних кристалах, таких як кварц (хімічна формула SiO_2), поляризованих керамічних матеріалах тощо. Слово *п'єзен* від грецького, що означає *тиск*.

У 1927 році німецький вчений А. Майснер запропонував спрощену модель для пояснення п'єзоелектричного ефекту. Кристал кварцу у цій моделі поданий у вигляді елементарних комірок, що складаються з атомів Si та спарених атомів O_2 (рис.31).

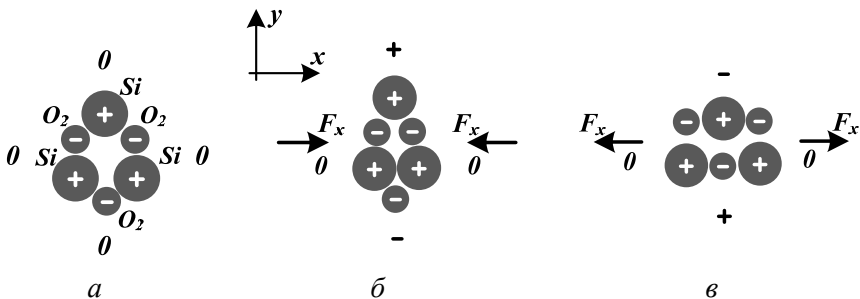


Рис.31. П'єзоелектричний ефект кварцового кристала

Кристал має зрізи вздовж осей x , y , z . На рис.31 показано поперечний переріз вздовж осі z . В елементарну монокристалічну

комірку входять три атоми кремнію і шість атомів кисню. Кожний атом кремнію володіє чотирма додатними зарядами, а кожна пара атомів кисню – чотирма від’ємними (по два на атом). Тому без прикладених механічних напруг кварцова комірka є електрично нейтральною. Коли вздовж x прикласти зовнішню силу F_x , кристалічна решітка деформується. На рис.31, б показано, як стискальна сила зсуває атоми кристалу таким чином, що додатний атом кремнію пересувається в одну сторону решітки, а від’ємно заряджена пара атомів кисню – в іншу. В результаті вздовж осі y спостерігається перерозподіл зарядів. Якщо кристал розтягнути вздовж осі x (рис.31, 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.

Для збору електричних зарядів до кристалу на протилежних сторонах від зрізу прикріплюють електроди (рис.32). Побудований таким чином п’єзоелектричний елемент можна вважати конденсатором, у якому як діелектрик виступає сам кристал, що працює як генератор електричних зарядів, які призводять до появи різниці електричних потенціалів, тобто напруги $U_{вих}$ на електродах.

П’єзоелектричний ефект є *зворотним* фізичним явищем. Це значить, що прикладена до кристалу електрична напруга $U_{вх}$ призводить до появи механічних деформацій.

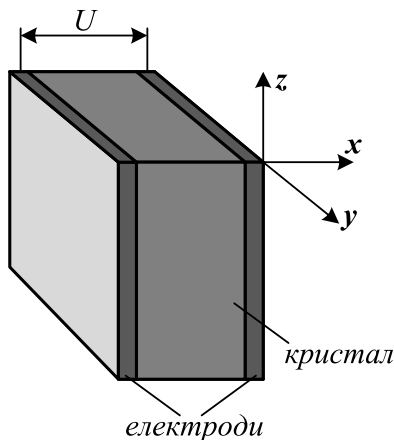


Рис.32. П'єзоелектричний елемент, сформований за допомогою електродів, нанесених на кристал

На практиці для виготовлення п'єзоелектричних елементів широко використовують спеціальні керамічні сполуки, отримані шляхом спікання порошків оксидів металів дуже високої чистоти, які шляхом певних технологічних процесів перетворюються у матеріал з кристалічною структурою. Кристаліти (кристалічні елементарні комірки) матеріалу можна розглядати як електричні диполі. У деяких матеріалах, таких як кварц, ці комірки зазвичай орієнтовані вздовж осей кристала, тому такі структури володіють достатньо високою чутливістю до механічних напруг. В інших матеріалах диполі орієнтовані довільним чином, і для того, щоб такі структури проявили свої п'єзоелектричні властивості, їх необхідно попередньо поляризувати. Існує декілька технологій поляризації. Найпопулярнішою вважається теплова поляризація, яка коротко складається з таких етапів:

- отриманий кристалічний матеріал, у якого диполі мають довільну орієнтацію, повільно нагрівають до температури, що не перевищує точку Кюрі. Висока температура призводить до збудження диполів, що дає змогу порівняно легко їх переорієнтувати у потрібному напрямку (рис.33, а);

- матеріали розташовують у сильне електричне поле E (рис.33, б), в якому диполі налаштовуються вздовж силових ліній;
- матеріал охолоджують при одночасній дії на нього електричного поля;
- після охолодження до потрібної температури, електричне поле усувають, і диполі підтримують орієнтацію, отриману за високої температури в електричному полі (рис.33, в).

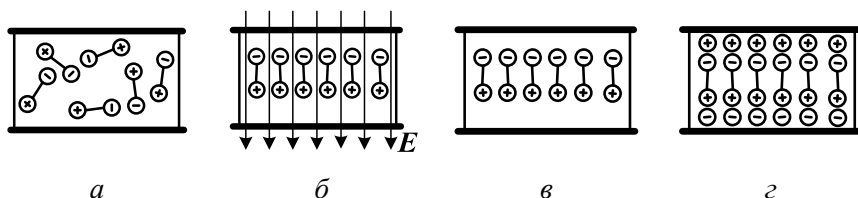


Рис.33. Теплова поляризація п'єзоелектричних матеріалів

Останніми операціями під час виготовлення чутливого елемента є надання йому потрібної форми, обрізка, механічна обробка та шліфування. По закінченні останніх процедур обробки чутливий п'єзоелемент вставляють в корпус давача, де його електроди з'єднують з електричними виводами інших електронних компонентів.

Після поляризації кристали стають постійно поляризованими, але електрично зарядженими вони залишаються коротко. Це пояснюється тим, що в довідці є багато заряджених іонів, а також достатня кількість вільних носіїв зарядів міститься всередині самого матеріалу, які можуть пересуватися під дією електричного поля і, наблизившись до відповідних кінців диполів, нейтралізувати їх (рис.33, г). Тому невдовзі поляризований п'єзоматеріал стає електрично розрядженим. Але, якщо до матеріалу прикласти механічну напругу, стан рівноваги порушується, і на поверхні п'єзоелектрика з'являється електричний заряд. Проте, коли механічна напруга буде підтримуватись деякий час, то заряди у матеріалі знову нейтралізуються. Отож, можна зробити висновок,

що п'єзоелектричні сенсори є чутливими лише до змін тензозусиль, а не до їх постійного рівня. Інакше кажучи, п'єзоелектричні давачі – це *пристрої змінного*, а не постійного струму.

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. На рис.34 зображено двошаровий п'єзосенсор. 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.

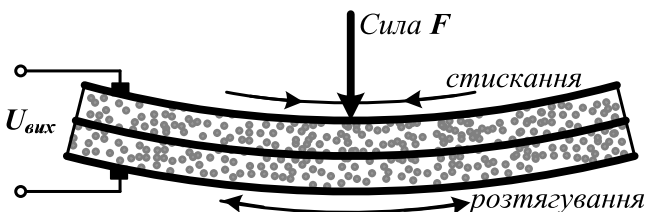


Рис.34. Двошаровий п'єзоелектричний сенсор

На рис.35, а своєю чергою, як вхідна змінна напруга $U_{вх}$, прикладена до п'єзоелектричного елемента, примушує його вигинатися, збуджуючи тим самим ультразвукові хвилі.

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 (рис.35, б). На рис.35, в показана типова будова збудника та/або сенсора ультразвукових хвиль. Отож п'єзоелектричний елемент може працювати і як збудник випромінювача, і як сенсор (чутливий елемент) приймача одночасно (рис.36). За таким принципом побудована більшість сучасних ультразвукових давачів, хоча можливе вирішення, де функції збудника випромінювань виконує один п'єзоелектричний елемент, а функції сенсора – інший.

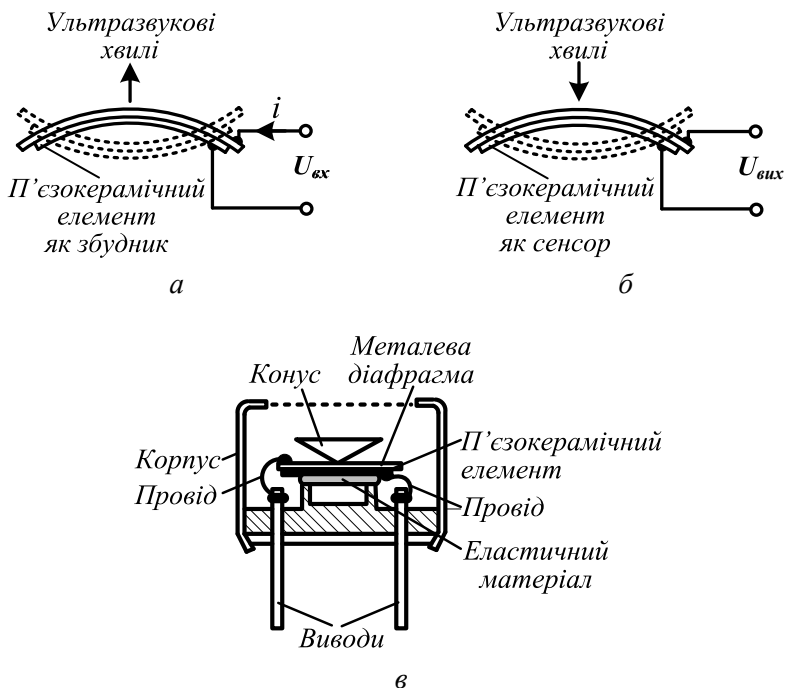


Рис.35. П'єзoeлектричний ультразвуковий перетворювач:

а – збудник хвиль;

б – сенсор хвиль;

в – типова будова

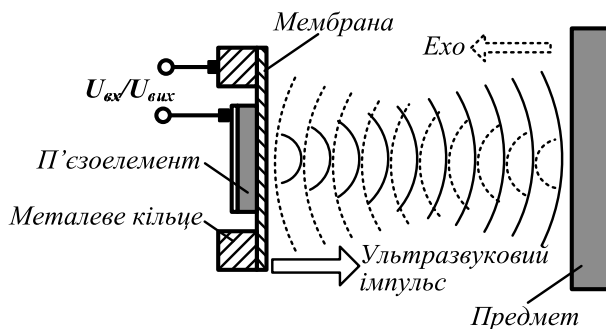


Рис.36. Принцип роботи п'єзoeлектричного елемента у режимі випромінювача та сенсора

На рис.37 зображена структурна схема ультразвукового давача, у якого роль випромінювача ультразвукових хвиль та чутливого елемента – сенсора приймає одночасно п'єзоелектричний елемент.

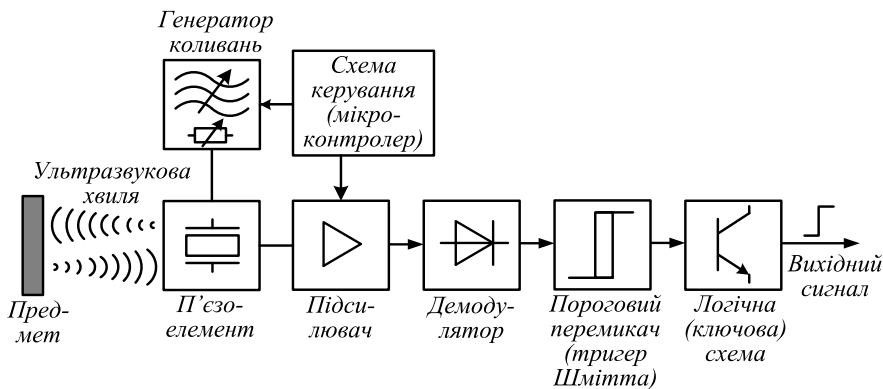


Рис.37. Структурна схема ультразвукового давача зі спільним п'єзоелектричним випромінювачем/сенсором

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 (рис.38). У порівнянні зі звуковими хвилями ультразвукові коливання мають значно більшу енергію, оскільки остання пропорційна квадратові частоти. Крім того, порівняно просто здійснюється скероване випромінювання ультразвуку.

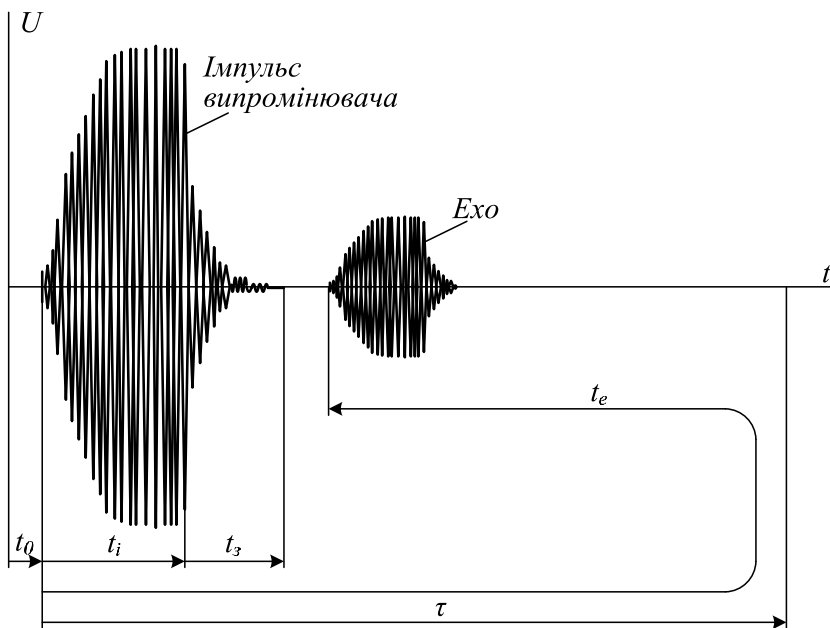


Рис.38. Діаграма роботи перетворювача з п'єзоелектричним елементом:

t_i – тривалість імпульса;

t_3 – час згасання імпульса;

τ – час розповсюдження імпульса до предмета;

$t_e = 2\tau$ – час очікування еха

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 (див. рис.37). Перемикання роботи давача з режиму випромінювача в режим приймача здійснює схема керування.

Тривалість випромінювання імпульса t_i та час затухання t_3 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, зображена на рис.39.

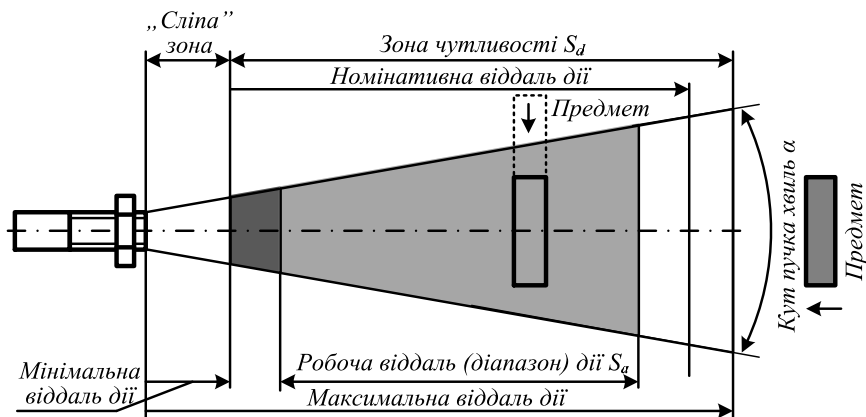


Рис.39. Діаграма зон та віддалей дії ультразвукового давача

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.

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

$$D = 2tg(\alpha/2) \cdot S$$

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 неінвазивним дослідженням організму людини чи тварини за використання ультразвукових хвиль.

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

На завершення підрозділу „Безконтактні давачі – позиційні вимикачі” нагадаємо, що схема під'єднання позиційного вимикача задається виробником, а структура виходу давача визначається його комутаційним елементом NPN чи PNP. Цифрове позначення і кольорове маркування терміналів (выводів) давача ведеться згідно зі стандартом ІЕС60947-5-2-97.

Сфери застосування ультразвукових давачів продемонстровано прикладами, поданими на рис.40.

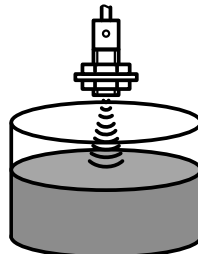
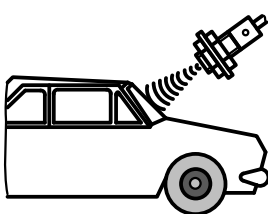
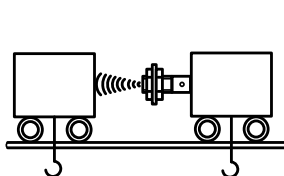
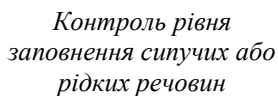
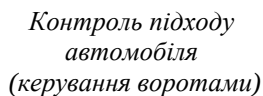
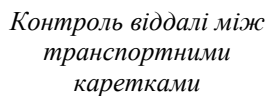
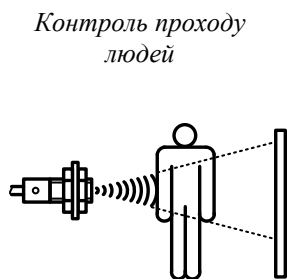
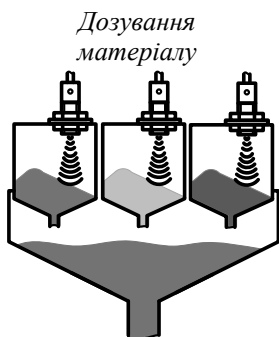


Рис.40. Приклади застосування ультразвукових датчиків

5. Безконтактні давачі – перетворювачі переміщення з аналоговим виходом

Розглянені вище індуктивні, ємнісні та ультразвукові давачі як позиційні вимикачі відзначалися вихідними перетворювачами, що формують на виході дискретний сигнал: логічний „0” чи „1”. Перемикання таких давачів задається технічними характеристиками як умови роботи:

- зона чутливості (S_d);
- номінальна дальність дії (S_n);
- робоча дальність (діапазон) (S_a) тощо.

Ці умови можуть залишатись незмінними або бути зміненими шляхом попереднього налаштування.

Проте є випадки, коли схема автоматизованого керувального комплексу може бути мінімізована, а сам процес оптимізованим, якщо застосувати безконтактні давачі з аналоговим виходом. Віртуальні (програмні) прилади успішно використовують такі давачі для взаємодії з об'єктами реального світу. За допомогою давачів аналоговий сигнал передається у програмний прилад, обробляється і видається у реальний світ за допомогою різного роду виконавчих пристроїв.

Не вдаючись у деталі організації перетворення зовнішньої дії (вимірюваної величини) у вихідний аналоговий сигнал, зазначимо, що у разі індуктивного давача віддаль предмета визначає індуктивність коливного контура генератора, у разі ємнісного – ємність, а у випадку ультразвукового давача до уваги береться швидкість v розповсюдження ультразвуку в повітряному середовищі, яка дорівнює 331 м/с (у сухому повітрі за температури 20 °C), тобто, така сама як і звуку, що ми його чуємо. На цій підставі віддаль l_0 до предмета можна визначити за швидкістю ультразвукових хвиль

$$l_0 = vt_e / 2,$$

де $t_e=2\tau$ – час, за який ультразвукова хвиля розповсюдиться від випромінювача до предмета і назад до приймача.

Характеризуються давачі з аналоговим виходом *передавальною характеристикою*, яка зв'язує сигнали на вході та виході, інакше кажучи, передавальна характеристика встановлює взаємозв'язок між вихідним електричним сигналом давача s та зовнішньою дією S : $s=f(S)$ (рис.41). Ця функція може бути як лінійною, так і нелінійною. В багатьох випадках нелінійні давачі можна вважати лінійними всередині обмеженого діапазону значень.

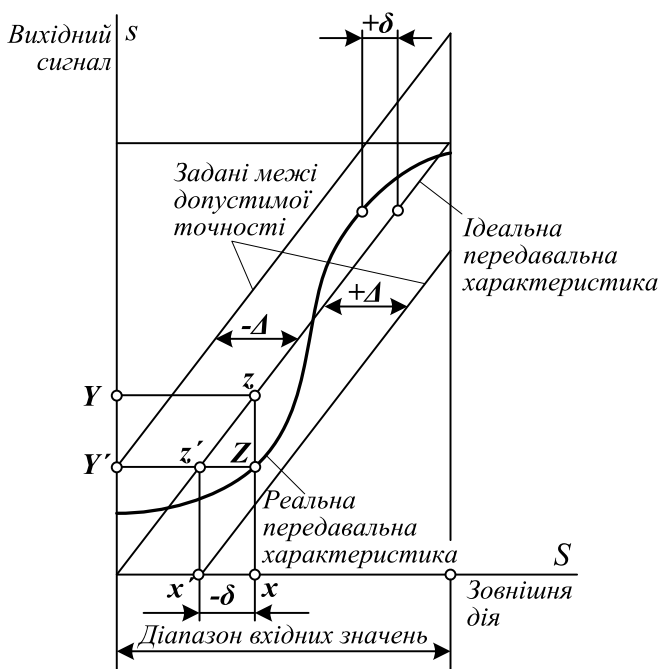


Рис.41. Передавальна характеристика давачів з аналоговим виходом

Важливою характеристикою будь-якого давача є *точність*. Правда, коли говорять про точність давача, найчастіше розуміють його неточність або *похибку вимірів*. Під похибкою вимірів, як правило, розуміють величину максимального розбігу між показами реального та ідеального давачів. На рис.41 показана ідеальна та

реальна передавальні характеристики. Реальна характеристика майже ніколи не збігається з ідеальною. Проте вона не повинна виходити за межі певної зони, що лежить в межах гранично допустимих похибок, які знаходяться від лінії ідеальної передавальної характеристики на віддалі $\pm A$. Отже, різниця між реальною та ідеальною передавальною характеристикою δ завжди повинна бути меншою або дорівнювати A . Для прикладу розглянемо ситуацію, коли вхідний сигнал давача дорівнює x . В ідеальному випадку вихідний сигнал при цьому повинен дорівнювати Y , що відповідає точці z на ідеальній характеристиці. Замість цього по реальній кривій при значенні x ми потрапляємо у точку Z , і, отже, отримуємо вихідний сигнал, що дорівнює Y' , який відповідає точці z' на ідеальній вихідній характеристиці, якій, своєю чергою, повинен відповідати вхідний сигнал x' . Оскільки $x' < x$, то похибка вимірів у цьому випадку дорівнює $-\delta$.

Похибка давачів може бути подана у такому вигляді:

- безпосередньо в одиницях виміряної величини;
- у відсотках від значення максимальної виміряної величини;
- в одиницях вихідного сигналу.

Для прикладу розглянемо деякі давачі-перетворювачі переміщення відомих європейських фірм.

1. Давач індуктивний безконтактний з вольтовим аналоговим виходом. Зовнішній вигляд давача показано на рис.42.

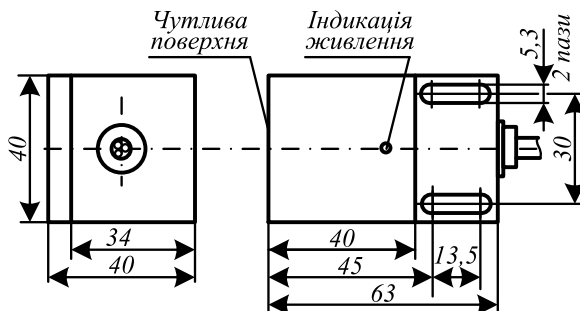


Рис.42. Зовнішній вигляд давача

Технічні характеристики давача подано у табл.7; умовне графічне позначення та схема під'єднання – на рис.43.

Таблиця 7

Технічні характеристики індуктивного безконтактного давача з вольтовим аналоговим виходом

Розмір корпуса, мм		40×40×63
Спосіб установлення в метал		невбудований
Робочий проміжок S_a , мм		від 5 до 30
Лінійна зона робочого проміжку, мм		від 6 до 25
Нелінійність		≤5 %
Номінативна напруга живлення, В DC		24
Вихідна напруга, В	при $S=0$ мм	≤1,5
	при $S_{\text{лін}}=\text{min}$, мм	2,2±0,3
	при $S_{\text{лін}}=\text{max}$, мм	8,7±0,3
	при $S_{\text{роб}}=\text{max}$, мм	≥10
Опір навантаги $R_{\text{мін}}$, кОм		≥4,7
Максимальна швидкість зміни напруги на навантазі, В/мс		2,5

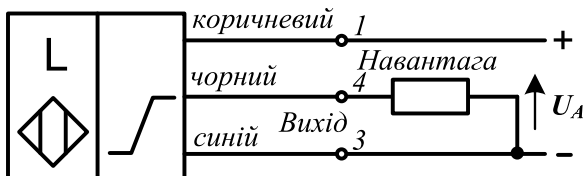


Рис.43. Умовне графічне позначення та схема під'єднання індуктивного безконтактного давача з вольтовим аналоговим виходом

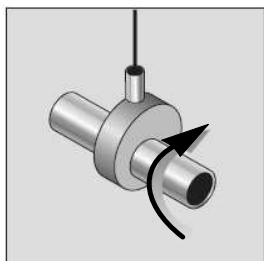
Безконтактні індуктивні давачі з аналоговим виходом як перетворювачі переміщення знайшли застосування у промисловості для вирішення таких задач:

- вимірювання відстані;
- вимірювання товщини з використанням конфронтуючих давачів;
- вимірювання товщини з використанням копіру;
- вимірювання співвідношення;

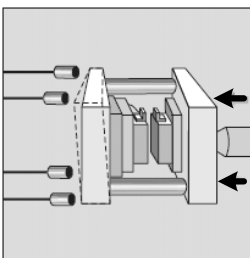
- вимірювання круглості;
- вимірювання механічних коливань;
- вимірювання прогинів, провисання;
- вимірювання ступеня зносу;
- визначення ступеня однорідності металів;
- сортування металевих об'єктів за розміром, формою та матеріалом;
- визначення орієнтації об'єкта;
- побудова систем позиціювання з використанням стандартної металевої виміральної пластини;
- побудова систем позиціювання з використанням клинкової металевої поверхні для збільшення ефективного діапазону вимірів;
- вимірювання абсолютного кута повороту вала за допомогою ексцентрика;
- побудова систем виміру напрямку і швидкості обертання за допомогою двох ексцентриків.

Приклади застосування безконтактних індуктивних давачів з аналоговим виходом продемонстровано на рис.44.

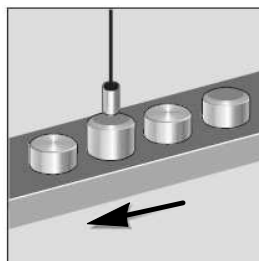
*Вимірювання
абсолютного кута
повороту вала*



Вимірювання перекосу

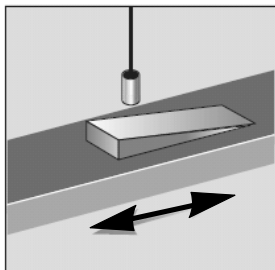


*Сортування металевих
об'єктів за формою і
розміром*

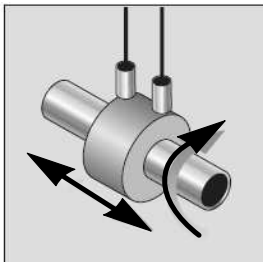


*Рис.44. Приклади застосування
безконтактних індуктивних давачів з аналоговим виходом*

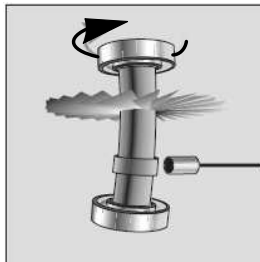
*Вимірювання відстані
з використанням похи-
лої металевої поверхні
для збільшення
ефективного діапазону
вимірів*



*Виявлення центра
симетричних
переміщувальних й
обертальних деталей
машин*



*Вимірювання биттів і
деформацій валів
тихохідних турбін,
генераторів, двигунів,
редукторів, колісних
пар рухомого складу*



*Рис.44. (Продовження). Приклади застосування
безконтактних індуктивних давачів з аналоговим виходом*

2. Давач ємнісний рівня нафтопродуктів зі струмовим аналоговим виходом, пропорційним рівню матеріалу, що вимірюється. Чутливий елемент виконаний у вигляді стержня, за допомогою якого визначається зміна ємності між стержнем і стінкою бака, тому його умовно можна вважати безконтактним. Сучасне покриття чутливого елемента захищає його не тільки від корозії, але й від електромеханічних завад. Зовнішній вигляд давача показано на рис.45.

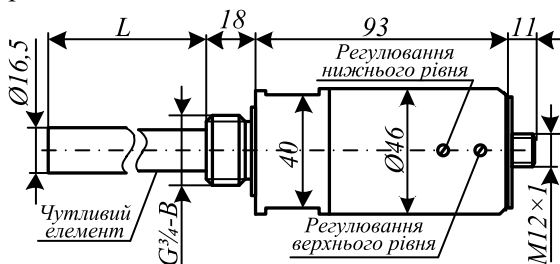


Рис.45. Зовнішній вигляд давача

Технічні характеристики давача подані у табл.8; схема приєднання – на рис.46.

Таблиця 8

**Технічні характеристики ємнісного давача
зі струмовим аналоговим виходом**

Розмір корпусу, мм	Ø 46
Границі виміру L^* , мм *Ряд довжин стержня (сенсора)	250, 500, 750, 1000, 1500, 2000
Номінативна напруга живлення, В DC	24
Вихідний струм, мА	4–20
Похибка	$\leq 5 \%$
Споживана потужність, Вт	$\leq 2 \%$
Вимірюване середовище	олива, дизельне паливо, гас тощо
Опір навантаги R_{min} , кОм	$\geq 1,0$
Діапазон робочих температур, °C	Від -40 до +105

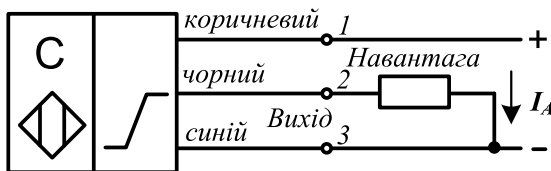


Рис.46. Умове графічне позначення та схема під'єднання ємнісного давача зі струмовим аналоговим виходом

3. Давач ультразвуковий безконтактний зі струмовим аналоговим виходом (від 4 мА до 20мА). Його **технічні характеристики:**

- корпус металевий різьбовий М30×1,5 довжиною 153 мм, діаметр активної поверхні 65 мм (рис.47);
- вимірювана віддаль від 60 см до 600 см для об'єкта 10×10 см;
- напруга живлення, В DC – від 20 до 30;
- кут розходження (робочий конус) – 6°;
- наявність регулювання початку і кінця діапазону вимірів.

Особливості застосування:

- ультразвукова частота – 80 кГц (частота відносно невисока, але вона забезпечує відносно велику віддаль виміру);
- довжина хвилі 4,25 мм, що забезпечує гарантовану роздільну здатність 4,25 мм;
- максимальна швидкість руху об'єкта:
 - за осового руху, м/с – 18;
 - за поперечного руху, м/с – 1.5;
- діапазон вимірів задається двома потенціометрами (рис.47):
 - П1 – початок діапазону S1;
 - П2 – кінець діапазону S2;
- нахил вихідної характеристики встановлюється автоматично;
- схема приєднання подана на рис.48.

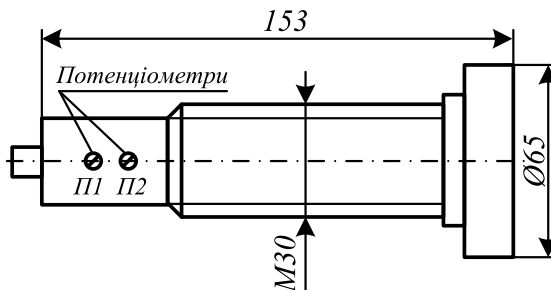


Рис.47. Зовнішній вигляд ультразвукового давача з аналоговим виходом



Рис.48. Умове графічне позначення та схема під'єднання ультразвукового давача зі струмовим аналоговим виходом

6. Магніточутливі безконтактні давачі – позиційні вимикачі

Розрізняють декілька видів магніточутливих давачів:

- герконові;
- давачі Холла;
- магніторезистивні;
- магнітострикційні.

Як позиційні безконтактні вимикачі найчастіше зустрічаються герконові давачі та давачі Холла.

Безконтактні герконові давачі. Найпростіший герконовий давач (геркон – скорочення від „герметичний контакт”) зображено на рис.49, де сам геркон є не що інше як магнітокерований механічний контакт. Елементи такого контакта – це плоскі феромагнітні пружини 1 та 4, розміщені у запаяному скляному балоні, заповненому інертним газом. Під час підходу до геркона 3 постійного магніта $N-S$, який встановлено на рухомій деталі 5, його потік Φ замикається через пружини; це створює електромагнітну силу в повітряному проміжку між ними, і контакти 2 замикаються. З відходом постійного магніта $N-S$ від геркона, магнітний потік зникає і контакти 2 розходяться під дією пружних сил плоских пружин 1 і 4. Характерною рисою такого давача є суміщення сенсора та актуатора в одному елементі – герконі.

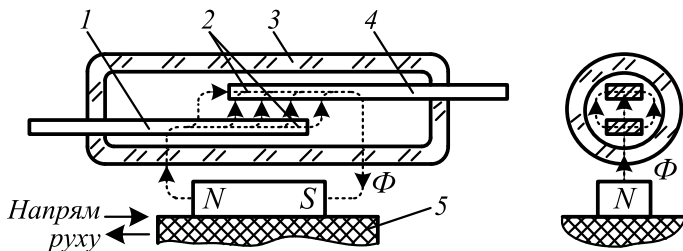


Рис.49. Позиційний вимикач на герконі

На рис.50 показано способи керування герконом за допомогою феромагнітного екрана.

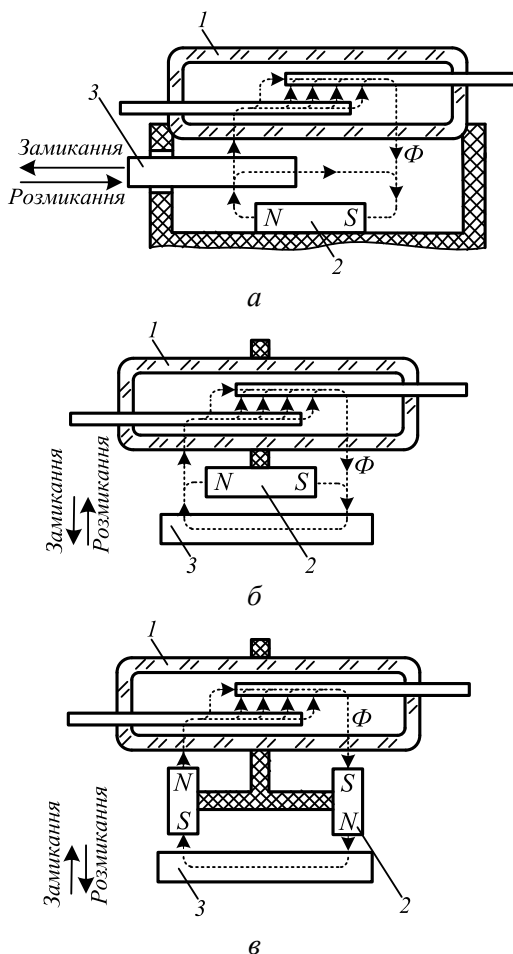


Рис.50. Керування герконом за допомогою феромагнітного екрана:
 а – геркон 1 розмикається за наявності у робочому проміжку зв'язаного з контрольованим елементом механізму феромагнітного екрана, який шунтує потік магніта N-S, і замикається після усунення екрана;
 б – геркон 1 розмикається з наближенням екрана 3, який шунтує потік магніта;
 в – геркон 1 замикається з наближенням до постійних магнітів 2 екрана 3, який зменшує магнітний опір кола потоку

Основні переваги магніточутливих безконтактних позиційних герконових вимикачів такі:

- простота конструкції;
- можливість роботи на змінному та/чи постійному струмі напругою від 0,05 до 250 В (для спецвиконання до 5000 В);
- низький опір контактів (не більше 0,15 Ом у сучасних пристроях);
- незалежність характеристик від температури (температурний діапазон від -60 °С до +155 °С для спец-виконань).

До недоліків можна віднести відносно невисока кількість робочих циклів (до 10^7) та невисока частота комутації (до 400 Гц).

Сфера застосування герконових давачів у системах автоматизації технологічних процесів різноманітна. Володіючи розширеним температурним діапазоном, вони дають змогу автоматизувати процеси у важких температурних умовах:

- крайня північ;
- холодильні установки, залізничний транспорт, автокрани, бульдозери, снігоприбиральні машини;
- хімічне та металургійне виробництво.

Можливі інші варіанти побудови позиційних вимикачів на герконах.

Вигідним і надійним вирішенням задачі вимірювання та регулювання рівня рідини є застосування поплавкових герконових давачів. Крім серійних рядів, деякі фірми виготовляють їх на замовлення і вони здатні задовільнити будь-які вимоги щодо кріплення та кількості контрольованих рівнів рідини. Принцип дії таких давачів демонструє рис.51, *а*, а умовне графічне позначення – рис.51, *б*.

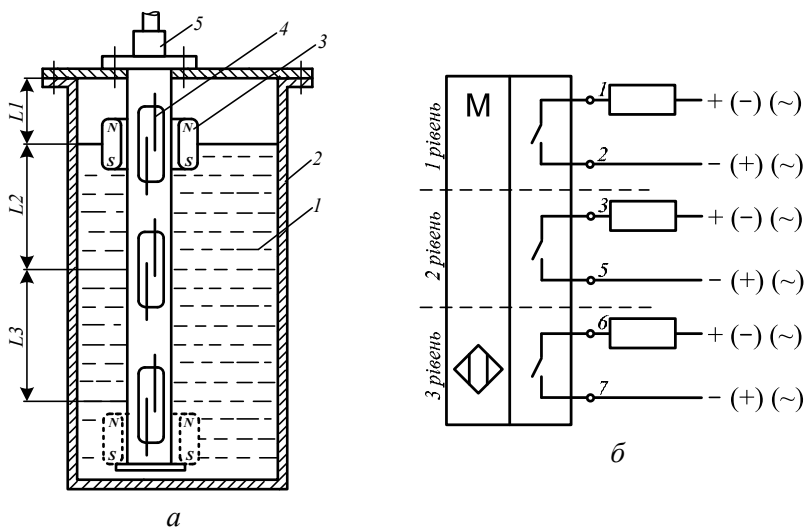


Рис.51. Принцип дії поплавкових давачів рівня рідини на геконах(а) та його умовне графічне позначення (б):

1 – рідина; 2 – бак; 3 – поплавок; 4 – геркон;
5 – поплавок магніточутливий давач

Безконтактні давачі Холла. Чутливим елементом давача Холла є сенсор Холла, принцип дії якого ґрунтується на ефекті Холла – фізичному явищі, відкритому Едвіном Гербертом Холлом у 1879 році під час вивчення електропровідності тонких золотих пластинок. Сьогодні давачі Холла використовують для виявлення магнітних полів і відповідно явищ, що їх породжують, для побудови безконтактних давачів наближення та переміщення тощо.

Ефект Холла ґрунтується на взаємодії між рухомими носіями електричного заряду (у металах це електрони) та зовнішнім магнітним полем. Як відомо, під час руху електронів у магнітному полі на них діє відхилювальна сила

$$F = qvB,$$

де q – величина заряду електрона;

v – швидкість руху електрона;

B – магнітна індукція (густина магнітного потоку).

Сила $\mathbf{F}$ та індукція $\mathbf{B}$ є векторами. Це значить, що напрям сили та її величина залежить від просторового розташування магнітного потоку і напрямку руху електрона.

Нехай електрони рухаються всередині електропровідної пластини, розташованої у магнітному полі з індукцією $\mathbf{B}$ (рис.52, а).

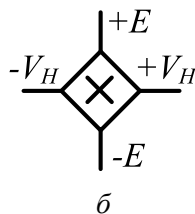
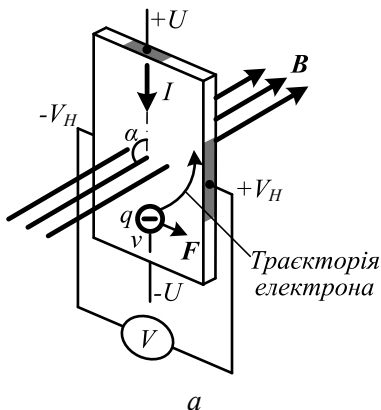


Рис.52. Сенсор Холла (а) та його умовне графічне позначення (б)

Зверху та знизу пластини розміщені два електроди, до яких прикладена різниця потенціалів $+U$ та $-U$ як ініціатор струму керування I . На бокові сторони пластини нанесені додаткові два електроди, під'єднані до вольтметра V . Внаслідок дії зовнішнього магнітного поля виникає відхилювальна сила $\mathbf{F}$, яка зсуває електрони ближче до правого краю пластини, що веде до збільшення від'ємного заряду з правої сторони і зменшення з лівої. Це призводить до появи *поперечної різниці потенціалів*, яка отримала назву *напруга Холла* V_H . Знак і амплітуда цієї напруги залежить як від величини, так і від напрямку магнітного потоку та електричного поля (для визначеності струму). У разі фіксованої температури вона визначається за виразом

$$V_H = h^2 \mathbf{B} \sin \alpha,$$

де α – кут між вектором магнітного потоку і площиною пластини;

h – повна чутливість сенсора Холла, на значення якої впливає тип матеріалу пластини, площа її активної зони і температура.

Умовне графічне зображення сенсора Холла подано на рис.52, б, де символ $\otimes$ засвідчує напрям потоку (від глядача).

Аномальний ефект Холла – явище, яке полягає в тому, що за відсутності постійного магнітного потоку, але за наявності струму керування на вихідних виводах сенсора Холла появляється напруга Холла (тобто має місце явище, аналогічне до ефекту Холла, але спостерігається воно без зовнішнього постійного магнітного поля). Пояснення фізичної природи аномального ефекту Холла не є простим; зазначимо лише, що сукупно з градієнтами внутрішнього опору, геометричними неоднорідностями, п'єзорезистивним ефектом тощо на вихідних виводах сенсора Холла за відсутності постійного магнітного потоку можлива наявність напруги, яку називають *напругою зміщення*.

Більшість сенсорів Холла виготовляють із матеріалів, що мають кристалічну структуру, зокрема із кремнію, напруга Холла якого за рівних умов наближено в 4,5 рази більша ніж міді; проте, кремній володіє *п'єзорезистивними властивостями* – зміною електричного опору у разі механічної деформації, з чим належить рахуватись під час виготовлення давача. Крім цього, такий сенсор Холла є чутливим до коливань температури, що також призводить до зміни його внутрішнього опору. Якщо сенсор під'єднаний до джерела напруги, то зміни температури впливатимуть на значення його опору і, відповідно, на струм у колі керування. Тому для зменшення впливу зміни внутрішнього опору на роботу давача виводи сенсора зазвичай під'єднують до джерела струму, а не напруги.

Зробимо короткий екскурс у визначення поняття „джерело напруги” та „джерело струму”. Заступна схема реального джерела напруги подана на рис.53. Схемі відповідає рівняння рівноваги напруг

$$U_a = E - R_{\text{вн}} \cdot I_a,$$

де E – ЕРС джерела;

$R_{\text{вн}} = dU_{\text{вн}}/dI_a$ – диференційний внутрішній опір джерела;

$R_{\text{нав}}$ – опір навантаги.

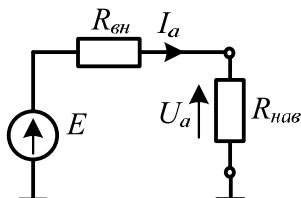


Рис.53. Заступна схема реального джерела напруги

В ідеального генератора напруги внутрішній опір $R_{\text{вн}}=0$, отож вихідна напруга U_a точно передає величину ЕРС, яка, своєю чергою, є аналогом зовнішньої дії, тобто $U_a=E$.

Насправді опір $R_{\text{вн}} \neq 0$ і наявність опору навантаги $R_{\text{нав}}$ веде до відповідного спаду напруги $R_{\text{вн}} \cdot I_a$, що призводить до неточної передачі напругою U_a ЕРС E . У певному випадку зменшити вплив опору $R_{\text{вн}}$ на точність передачі E можна, якщо застосувати т.зв. джерело струму, в якого аналогом E є струм навантаги I_a , а не напруга U_a .

На підставі рівняння рівноваги напруг отримуємо

$$I_a = \frac{E - U_a}{R_{\text{вн}}} = \frac{E}{R_{\text{вн}}} - \frac{U_a}{R_{\text{вн}}}.$$

Рівняння можна інтерпретувати таким чином: струм навантаги I_a дорівнює струмові короткого замикання $I_{\kappa} = E/R_{\text{вн}}$ мінус струм витоку $I_{\text{в}} = U_a/R_{\text{вн}}$. У такому разі заступна схема, яку називають схемою джерела струму має вигляд як на рис.54.

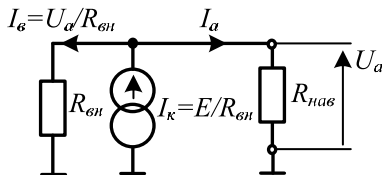


Рис.54. Заступна схема реального джерела струму

Ідеальним джерелом струму було б джерело, у якого $R_{вн} \rightarrow \infty$ або $R_{нав} \rightarrow 0$.

Вибір форми заступної схеми залежить від того, яким є співвідношення між внутрішнім опором $R_{вн}$ джерела та опором навантаги $R_{нав}$: якщо відносно мале, то вибирають джерело напруги, якщо велике – джерело струму.

Зазначимо, що поняття „джерело струму” є поняття абстрактним – не може бути струму без ЕРС, тому джерело струму, схема якого зображена на рис.54, можна назвати джерелом струму, що керується напругою.

Очевидно, чим ближче джерело до ідеального, тим ближче до ідеальної його передавальна характеристика $U_a=f(E)$ чи $I_a=f(E)$.

Можливі й інші міркування, наприклад, щоб зменшити вплив зміни величини опору навантаги $R_{нав}$ на струм I_a , який належить підтримувати постійним у разі постійної ЕРС E живлення вдаються до організації джерела струму із великим внутрішнім опором $R_{вн}$, використовуючи для цього напівпровідникові прилади: транзистори, операційні підсилювачі [8].

Нижче перераховано найпопулярніші застосування давачів Холла.

Логічні (дискретні) давачі Холла:

- давачі наближення (виявляють наближення з точністю менше 0,5 мм);
- давачі частоти обертання;
- лічильники імпульсів;
- вентильні двигуни постійного струму;
- давачі витрати тощо.

Лінійні (аналогові) давачі Холла:

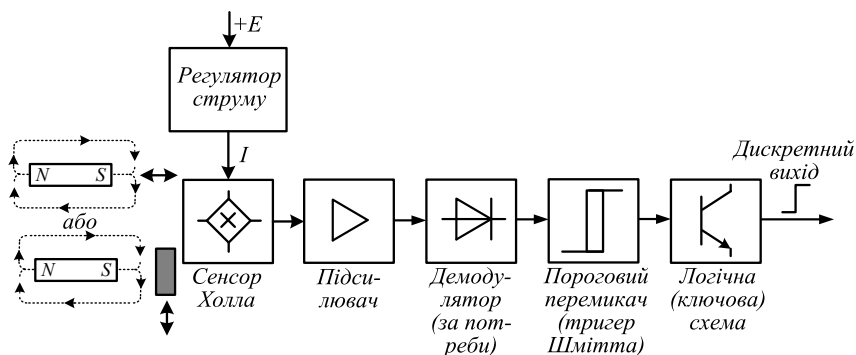
- давачі переміщення;
- давачі струму;
- приводи змінної частоти обертання;
- давачі витрати;
- вентильні (безколекторні) двигуни постійного струму;

- давачі кута повороту;
- детектор феромагнітних тіл;
- давачі вібрації;
- тахометри тощо.

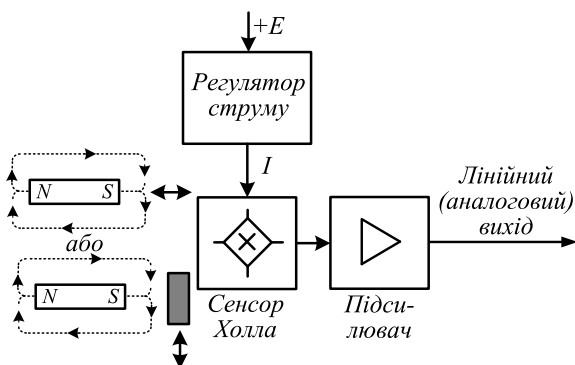
Давачі Холла як давачі наближення та переміщення.

Виступають такі давачі відповідно як давачі логічні (дискретні, порогові) та лінійні (аналогові).

Структурні схеми таких давачів зображені на рис.55.



а



б

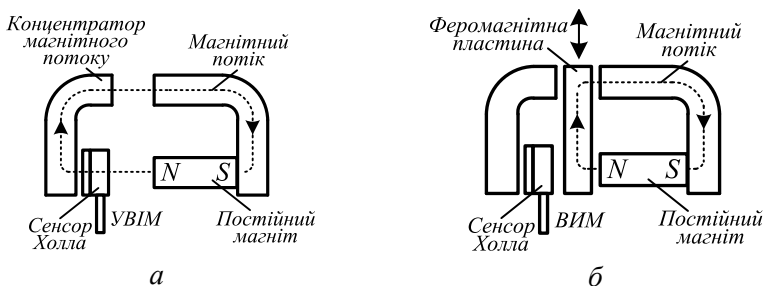
Рис.55. Структурна схема давача Холла:

а – логічний (дискретний);

б – лінійний (аналоговий)

Характерна особливість позиційних давачів Холла та герконових давачів полягає в тому, що вони виявляють об'єкти, які генерують магнітне поле. Джерелом такого поля є, як правило, постійні магніти. Залежно від ситуації такі магніти кріпляться на об'єкти, що підлягають виявленню або сукупно з давачем утворюють систему – щілинний давач. Характеристика потрібного постійного магніта визначається вимогами, які ставить давач щодо густини магнітного потоку (індукції) або величини намагнічувальної сили, яка утворить потрібний потік за умови, що конфігурація і матеріал шляхів відомі. Деякі виробники поряд з давачами виготовляють ряд спеціалізованих постійних магнітів, які рекомендують до цього чи іншого давача, в іншому разі вибір магніта покладається на користувача.

Принцип будови щілинного давача зображено на рис.56. Зазвичай вся конструкція виступає у вигляді моноблочного давача екранного типу з невеликим повітряним проміжком. У разі вільного повітряного проміжку давач перебуває у стані УВІМКНЕНО. Якщо у повітряному проміжку появиться феромагнітна пластина, вона веде себе як магнітний шунт, що забирає магнітний потік на себе, і як наслідок, давач Холла переходить у стан ВІМКНЕНО. Феромагнітна пластина, яка перериває магнітний потік, може рухатись лінійно або кріпитись на об'єкт, що обертається.



*Рис.56. Принцип будови щілинного давача Холла:
а – магнітний потік замикається через сенсор Холла;
б – магнітний потік шунтується феромагнітною пластиною*

Нижче для прикладу подано основні характеристики позиційного вимикача за використання сенсора Холла (рис.57, табл.9).

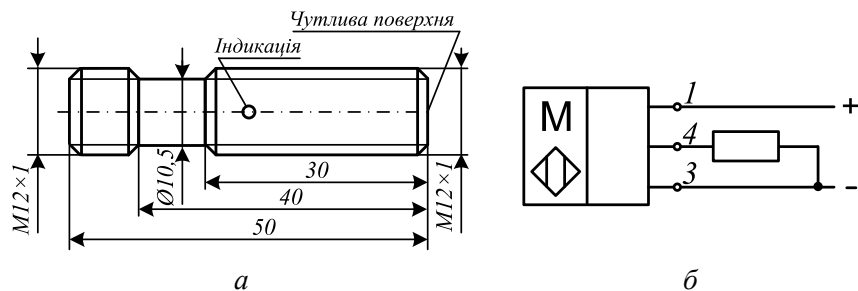


Рис.57. Зовнішній вигляд (а), умовне графічне позначення та схема під'єднання позиційного вимикача за використання сенсора Холла (б)

Таблиця 9

Технічні характеристики позиційного вимикача з використанням сенсора Холла

Напруга живлення $U_{роб}$, В DC	10–30
Робочий струм $I_{роб}$, мА	200
Падіння напруги при $I_{роб}$, В	$\leq 2,5$
Максимальна частота перемикань F_{max} , кГц	20
Номінальна намагнічувальна сила, кА/м	1,2
Гістерезис, %	≤ 50
Комплексний захист	є
Діапазон робочих температур, °C	від -25 до +75

7. Давачі струму

Розвиток вимірювальної техніки призвів до розробки та виробництва різноманітних типів давачів струму, здатних у різний спосіб сприймати та перетворювати у вихідний сигнал (лінійний чи дискретний) змінний, пульсуючий постійний, згладжений постійний чи імпульсний струми з більшою чи меншою точністю за різного частотного діапазону, ваги, ціни тощо. Це можуть бути такі давачі струму:

- резистивні;
- на базі трансформатора струму;
- на основі ефекту Холла;
- котушки (пояси) Роговського;
- магнітооптичні;
- оптичні на підставі ефекту Фарадея;
- магніторезистивні.

Усі вони мають свої переваги та недоліки, які визначають їх сферу застосування.

Найбільшого розповсюдження набули давачі, що є вже, можна сказати, класичними: резистивні (шунти) та побудовані на трансформаторах струму; сюди ж можна віднести і давачі, розроблені в кінці 1960-х років, що ґрунтуються на ефекті Холла, а також котушки Роговського, які дістали „друге дихання” у зв’язку з розвитком цифрової техніки, зокрема, недорогих мікропроцесорів обробки сигналів, обладнаних вбудованими аналого-цифровими перетворювачами.

Порівняльний аналіз їх основних характеристик подано у табл.10. Інші методи зазвичай застосовують лише у випадку коштовного лабораторного устаткування.

Резистивний метод за використання шунта є найточнішим і недорогим. Його суттєвим недоліком є поглинання потужності і, відповідно, нагрів та відсутність гальванічної розв’язки. Крім цього, паразитна індуктивність більшості потужних резисторів обмежує частотний діапазон. Високочастотні потужні вимірювальні

резистори суттєво дорожчі, але дають змогу працювати в діапазоні частоти понад 500 кГц.

Таблиця 10

**Порівняльні характеристики
найрозповсюдженіших давачів струму**

Давачі	Струм	Поглинання потужності	Гальванічна розв'язка	Зовнішнє живлення	Частотний діапазон	Напруга зміщення	Відносна вартість
Резистивні	DC	є	немає	немає	<100 кГц	немає	дуже низька
	AC	є	немає	немає	>500 кГц	немає	низька
На ефекті Холла прямого підсилення	AC	немає (при N=1)	є	є	<100 кГц	є	середня
На ефекті Холла компенсаційні	DC і AC	є	є	є	>1 МГц	немає	вище серед- ньої
Трансформа- тори струму	AC	є	є	немає	фіксова- ний до мережі	немає	висока
Пояс Роговського	AC	немає	є	немає	<100 кГц	немає	середня

Трансформатори струму застосовують лише для виміру змінного струму зазвичай в мережах 50, 60 або 400 Гц; вони не здатні вимірювати постійні струми. Широкосмугові ж трансформатори струму за ціною перевищують давачі струму на ефекті Холла. Ще один їх недолік – насичення магнітопроводу у разі наявності постійної складової, що веде до деградації точності перетворення. Їх перевага, як і резистивних, – вони не потребують джерела живлення і не мають напруги зміщення.

Зупинимось коротко на будові та принципі дії котушки Роговського та в подальшому розглянемо давачі на ефекті Холла.

Котушка, або пояс Роговського за своєю будовою нагадує соленоїд, зведений торцями до купи. Намотують таку котушку на гнучкому гумовому осердді круглої або прямокутної форми. Причому, кінцевий провідник намотки пропускають через внутрішній простір до початкового для зручності користування виводами (рис.58).

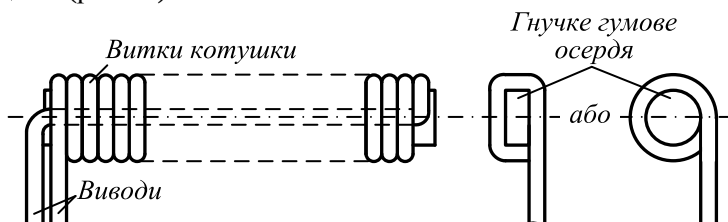


Рис.58. Пояс, або котушка Роговського

В певному сенсі котушку, зображену на рис.58, коректно було б назвати сенсором Роговського, а його сукупність з актуатором – давачем струму Роговського.

Якщо крізь площину, охоплену сенсором Роговського, провести провідник зі струмом, то по осі котушки протікатиме магнітний потік Φ (рис.59), і у разі його зміни на виводах котушки появиться ЕРС, наведена у витках змінним потоком.

Із сказаного стає зрозумілим, що давач струму Роговського здатний вимірювати лише змінний струм і він не реагує на струм постійний.

У разі змінного синусоїдального струму у провіднику за потреби виміряти середньоквадратичне, амплітудне чи середнє значення струму за аналог струму можна взяти напругу на виводах котушки. Та коли ставиться питання амплітудно-часової характеристики струму, тим більше у разі імпульсного струму, аналогом вхідного струму може бути тільки струм. Такий струм одержують шляхом інтегрування ЕРС, наведеної у котушці:

$$e(t) = -\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{d\Psi}{di(t)} \cdot \frac{di(t)}{dt} \equiv L_0 \frac{di(t)}{dt}.$$

Звідси

$$i(t) = \frac{1}{L_0} \int e(t) dt.$$

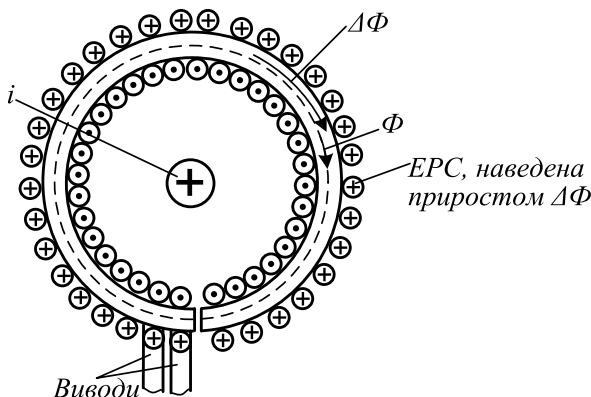


Рис.59. До принципу дії котушки Роговського:

i – вхідний струм у провіднику;

Φ – утворений струмом магнітний потік;

$\Delta\Phi$ – приріст магнітного потоку

Оскільки магнітний потік Φ протікає по середовищі, магнітна проникливість якого є сталою за будь-якого потоку (феромагнітне середовище, яке здатне насичуватись, відсутнє), то диференційна індуктивність L_0 є статичною, тобто сталою: $L_0 = \text{const}$, у висліді, що є принциповим, передавальна характеристика $I_{\text{вих}} = f(I_{\text{вх}})$ після інтегрування ЕРС є лінійною на всьому діапазоні струмів.

Основні переваги давачів струму Роговського:

- гнучкість пояса Роговського дає змогу охопити один чи декілька провідників у місцях з важким доступом або шинопроводи з перерізом довільної форми;
- мала вага;
- теоретично, не існує граничних розмірів пояса і діапазону перетворень;

- під'єднання давача та виміри струму виконуються без механічної чи електричної дії на провідник, у якому контролюється струм.

Основною проблемою давачів на базі котушки Роговського є надійний захист від зовнішніх магнітних полів, особливо низькочастотних, коли екранування стає малоефективним; відсутність захисту може суттєво збільшити похибку вимірювання.

Вимірювальна котушка малочутлива до розташування провідників зі струмом, охопленого котушкою, похибка, що вноситься, зазвичай менша 1%. Більш високі значення струму, що протікають поруч у сусідніх провідниках вносять додаткову похибку у виміри не більше, ніж 1%.

Давачі струму на ефекті Холла сьогодні є найцікавішою групою широко розповсюджених приладів безконтактного виміру струму. Їх переваги – відсутність у деяких типів поглинання потужності, здатність вимірювати змінний, пульсуючий та постійний струм, добра гальванічна розв'язка, широкий діапазон частот. Недоліком, у порівнянні з розгляненими вище методами, є наявність (у деяких конструкціях) напруги зміщення, невисока точність і потреба в джерелі живлення.

У найпростішому випадку давач струму на ефекті Холла є конструкцією, у якій давач Холла розташовують поряд з проводом, по якому протікає струм I_{ex} (рис.60, *а*). Такі давачі використовують для вимірювання великих струмів, зокрема в лініях електропередач. Дійсно, якщо лінійний давач Холла розташований поблизу провідника зі струмом, то вихідна напруга давача пропорційна індукції магнітного поля, яке оточує провідник. Індукція, своєю чергою, пропорційна струмові.

Чутливість давача струму може бути значно збільшена, якщо застосувати *концентратор* магнітного потоку у вигляді магнітопровода зі щільною, в якій розміщують лінійний давач Холла (рис.60, *б*). Концентратор, правда, вносить додаткове зміщення за рахунок залишкового магнетизму. За потреби збільшити чутливість давача крізь отвір у концентраторі

пропускають не один провідник зі струмом, а намотують N провідників.

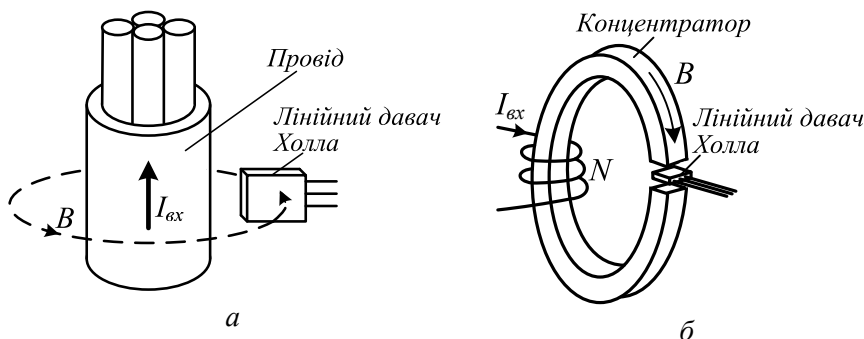


Рис.60. Лінійні давачі Холла:

а – без концентратора;

б – з концентратором

Розрізняють три характерні типи давачів струму на ефекті Холла: лінійний прямого підсилення, лінійний компенсаційного типу та давачі з логічним виходом.

Лінійні давачі залежно від виробника здатні вимірювати змінний, пульсуючий та постійний струм від десятків міліампер до десятків, сотень кілоампер.

Структуру та принцип дії *лінійного давача прямого підсилення* відображає рис.61.

Такі давачі відзначаються низькою споживаною потужністю, зменшеними геометричними розмірами та відносно малою вагою, особливо у разі великих номінативних струмів. Вони відносно недорогі, і, власне, їх переважно застосовують у промисловості. Перерахуємо найхарактерніші сфери застосування давачів прямого підсилення:

- частотні перетворювачі та трифазні приводи (контроль фазних струмів);
- електричне зварювальне обладнання (керування та контроль струмів зварювання);

- електромобілі, транспортні перетворювачі, системи контролю зарядного та розрядного струмів і стану батарей тощо.

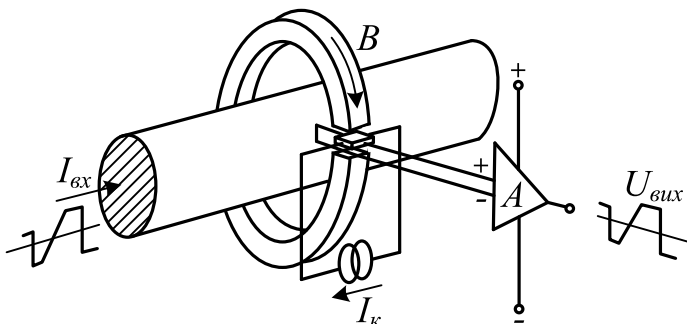


Рис.61. Структура та принцип дії
лінійного датчика прямого підсилення:
 A – операційний підсилювач

Передавальна характеристика $U_{вих} = f(I_{вх})$ датчиків прямого підсилення переважно зміщена (крім прецизійних) на величину, що зазвичай складає половину напруги живлення $U_{зм} = 0,5U_{живл}$, а розмах передавальної характеристики (її лінійної частини) лежить в границях $0,25U_{живл} \leq U_{вих} \leq 0,75U_{живл}$ (рис.62).

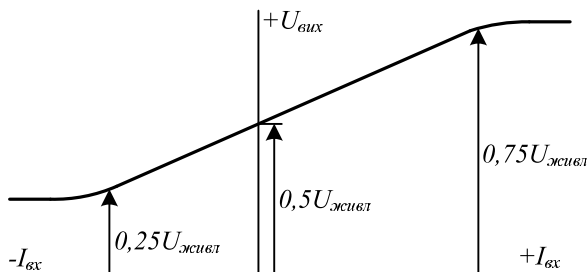


Рис.62. Типова передавальна характеристика
датчика прямого підсилення

Діапазон вимірюваних струмів задається лінійною частиною характеристики, яка своєю чергою визначається лінійною частиною

кривої намагнічування магнітного кола давача, концентратора зокрема (рис.63).

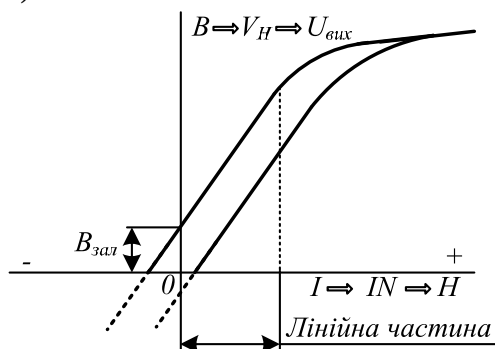


Рис.63. До визначення поняття лінійної частини передавальної характеристики

Залишкова індукція $B_{зал}$ є додатковою причиною, крім аномального ефекту Холла, появи напруги Холла V_H за відсутності вхідного струму $I_{вх}$.

В основному цей діапазон залежно від типу давача складає від 1 до 3 величин номінального струму. Не важко показати, що у разі, коли напругу живлення можна вибирати із заданих границь – верхньому значенню відповідає найбільший струм лінійної частини передавальної характеристики.

Точність перетворення вхідної величини (струму) залежить від різних факторів і в першу чергу від температури зовнішнього середовища та робочої температури, які впливають на:

- зміщення вихідної напруги;
- нелінійність передавальної характеристики;
- зміну коефіцієнта передачі підсилювача.

Примітка. Під час виготовлення давачі перевіряються при температурі 25 °C і номінальному струмі.

Час відгуку – це затримка між моментом, коли первинний струм на вході та відповідна напруга на виході досягнуть певної величини, зазвичай 0,9 від кінцевого значення (рис.64).

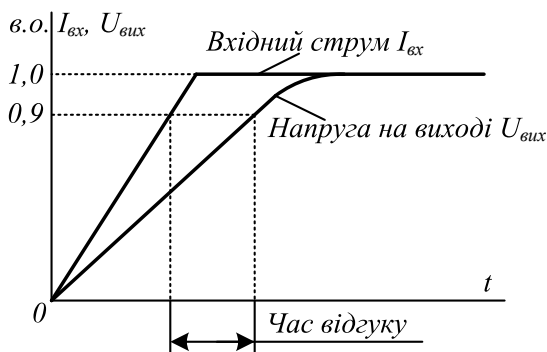


Рис.64. Визначення часу відгуку

Частотний діапазон давача обмежується двома факторами:

- частотним діапазоном електронної схеми (підсилювач тощо);
- нагрівом концентратора, який залежить від вихрових струмів і втрат на перемагнічування, які, своєю чергою, залежать від частоти.

Зростання температури призводить до перегріву компонентів, які використані у давачі, і виходу останнього з ладу, тому частотний діапазон є обмеженим.

Структура лінійного давача компенсаційного типу зображена на рис.65.

Принцип дії такого давача полягає у наступному. Тоді як вихідна напруга $U_{вих}$ давача прямого підсилення безпосередньо пропорційна підсиленій напрузі Холла V_H , у давачів компенсаційного типу напруга Холла лише керує операційним підсилювачем A ; його струм $I_{дж}$ підсилюється вихідним каскадом і протікає по компенсаційній обмотці як вихідний струм зворотного зв'язку $I_{вих}$. Компенсаційна обмотка намотана таким чином, що створювана намагнічувальна сила компенсує намагнічувальну силу, створювану первинним вхідним струмом $I_{вх}$. Зміна первинного струму призводить до відповідної зміни вихідного струму і перехідний процес завершується, коли намагнічувальні сили

зрівняються. Отож, система діє за нульового магнітного потоку в осерді.

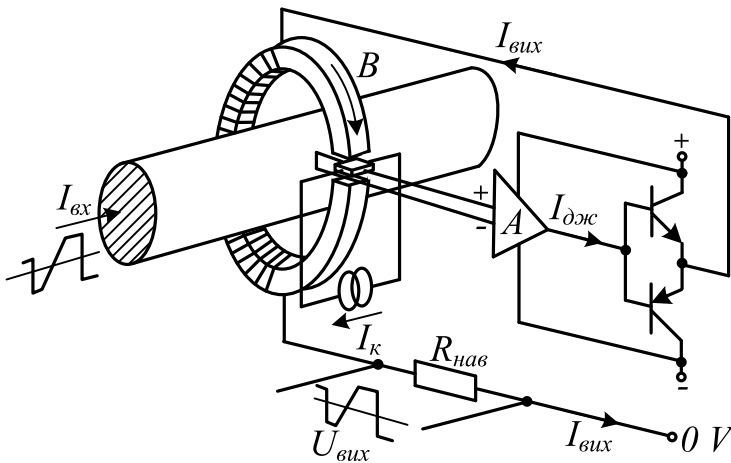


Рис.65. Структура та принцип дії лінійного давача компенсаційного типу

У такому разі, виходячи із рівноваги намагнічувальних сил, можна записати

$$I_{ox} N_{ox} = I_{vix} N_{vix},$$

де N_{ox} – кількість витків первинного кола, намотаних на осердя;

N_{vix} – кількість витків компенсаційної обмотки.

Це дає змогу підвищенню кількості витків компенсаційної обмотки зменшити вихідний струм до зручної для вимірювання величини. Дійсно, при $N_{ox}=1$, $I_{ox}=100A$ та $N_{vix}=1000$, отримаємо

$$I_{vix} = I_{ox} N_{ox} / N_{vix} = 100 / 1000 = 0,1A = 100mA.$$

Якщо у вихідне коло увімкнути шунт $R_{нав}$, то вихідний сигнал може бути поданий у вигляді напруги $U_{вих}$.

Додаткове регулювання чутливості давача можна здійснити двома шляхами: збільшенням кількості витків N_{ox} навколо осердя давача або за допомогою відпайок чи перемичок у компенсаційній обмотці.

Характерні особливості компенсаційних давачів струму такі:

- відмінна точність;
- дуже добра лінійність;
- малий температурний дрейф;
- малий час відгуку;
- широкий частотний діапазон;
- струмовий вихід цих давачів особливо придатний до застосування за наявності завад навколишнього середовища;
- за необхідності струмовий сигнал давача можна легко перетворити в напругу за допомогою навантажувального опору, величина якого, віднесена до номінативного струму, вказується у технічному паспорті.

Давачі компенсаційного типу відносно дешеві в діапазонах малих струмів, у діапазоні ж великих струмів ці давачі більш дорогі і мають більші габарити у порівнянні з аналогічними давачами прямого підсилення.

Їх основний недолік – втрати потужності у компенсаційній обмотці.

Давачі струму з логічним виходом відрізняються від лінійних давачів прямого підсилення лише структурою актуатора, тобто наявністю в останнього додаткового порогового елемента (див. рис.55, а). Ці давачі дають змогу виявити перевищення струму у контрольованому провіднику понад певне значення і виробити дискретний сигнал „Увімкнено”/„Вимкнено”.

Значення порогу спрацьовування та гістерезис визначаються моделлю давача і можуть наставлятись меншими від номінативного значення шляхом збільшення кількості витків навколо кільця давача.

8. Давачі температури

Давачі температури призначені для неперервного вимірювання та контролю температури на поверхні чи у середовищі твердих тіл, у рідких та газоподібних середовищах (пара, вода, сипучі матеріали, хімічні реагенти тощо).

Вимірювання температури завжди полягає у передачі невеликої порції теплової енергії від об'єкта до давача, який повинен перетворити цю енергію в електричний сигнал. Коли сенсор *контактного давача* розташовують усередині об'єкта або на ньому, між об'єктом і сенсором відбувається передача тепла за рахунок явища теплопередачі. При цьому чутливий елемент як складова сенсора або розігрівається або охолоджується. Те саме відбувається і під час передачі тепла за допомогою випромінювання у разі *безконтактного давача*.

Безконтактні давачі використовують для оперативного контролю температури без потреби встановлення на об'єкті, а також у випадках, коли таке встановлення є неможливим (полум'я, розтоплений метал тощо). Такі давачі можуть бути без вихідного сигналу або мати його).

Існує два основних методи вимірювання температури: *рівноважний* та *прогнозований*. За рівноважного методу проведення виміру температури виконують тоді, коли між вимірювальною поверхнею і чутливим елементом, що знаходиться у корпусі сенсора, настане тепла рівновага, тобто між сенсором і об'єктом вимірювання немає суттєвої різниці температур. У методі прогнозування під час проведення вимірів тепла рівновага не настає, а значення температури визначають за швидкістю зміни температури сенсора.

У разі рівноважного методу вимірювання температури для досягнення повної теплової рівноваги між об'єктом і сенсором теоретично потрібен нескінченно великий час. Але оскільки зазвичай вимірювання температури проводять з заданою точністю, у більшості випадків вважають, що за інтервал від 5 до 10 постійних часу τ настає квазірівноважний* стан, взявши, зрозуміло, до уваги,

що перехідний процес встановлення температури сенсора, як правило, відповідає експоненціальній характеристиці (рис.66).

*квazi (від лат. quasi – ніби, якби, майже).

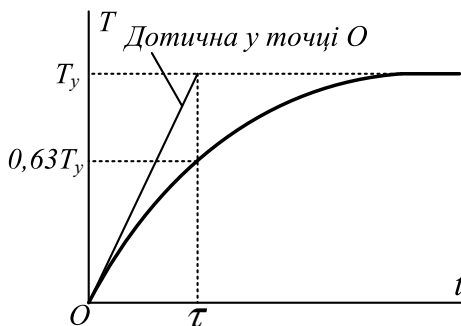


Рис.66. Перехідна характеристика чутливого елемента:

T_y – усталена температура

Отож, за час $t=\tau$ біжуча температура $T=0,63T_y$, при $t=5\tau$ – $T=0,7T_y$, а при $t=10\tau$ – $T=0,995T_y$.

У зв'язку зі сказаним термоперетворювачі опору характеризуються таким показником, як *теплова інерція*, яка зазвичай лежить в границях від одиниць до десятків секунд.

Типовий контактний сенсор складається з таких компонентів (рис.67):

- чутливого елемента;
- виводів, якими можуть бути пластинки або провідники, а за наявності комутаційної головки вони під'єднуються до відповідних терміналів;
- захисного корпусу – спеціальної оболонки чи покриття, що захищає чутливий елемент від оточуючого середовища.

На рис.68 зображено типовий *безконтактний* оптичний сенсор температури, який складається з таких частин:

- чутливого елемента, що реагує на електромагнітне випромінювання;
- опорної конструкції з низькою теплопровідністю;

- герметичного корпусу, заповненого інертним газом (аргоном або азотом) чи сухим повітрям;
- захисного віконця, прозорого для випромінювання досліджуваного діапазону хвиль.

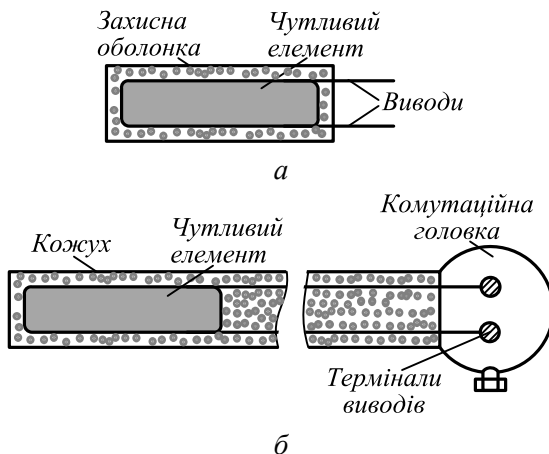


Рис.67. Основні структурні схеми будови контактних сенсорів температури:

а – з кабельним виводом;

б – з комутаційною головкою

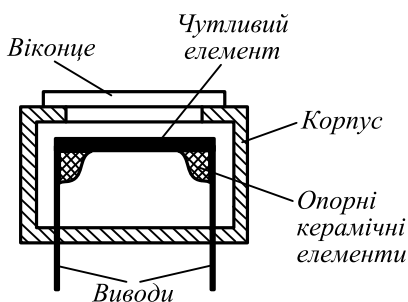


Рис.68. Типовий безконтактний оптичний сенсор температури

Принцип дії безконтактних давачів опертий на перетворенні теплового випромінювання у тепло з подальшим перетворенням

рівня тепла чи теплового потоку безпосередньо в електричний сигнал (активний сенсор) чи зміну сигналу (пасивний сенсор).

Вимірювана давачами температура може виступати на виходах як аналоговий лінійний сигнал (струм чи/та напруга), як цифровий код або бути логічним сигналом („Увімкнено”/„Вимкнено”). У випадку логічного сигналу на виході давачів температури їх зазвичай називають давачами-реле і їх розглядають як реле контролю температури.

Давачі температури можуть бути одноблочними або двоблочними. У випадку двоблочного давача, що трапляється частіше, він складається з двох функціональних частин: сенсора і перетворювача (актуатора).

Залежно від того, для яких вимірів призначений контактний давач, і наскільки достеменним буде результат вимірів, на практиці застосовують сенсори, побудовані на трьох різних типах чутливих елементів:

- термоперетворювачах опору;
- термісторах;
- термоелектричних перетворювачах.

Термістори є, по суті, термоперетворювачами опору. Принцип роботи одних і других полягає у зміні опору провідника, чи у разі термістора – напівпровідника, від температури.

Термін *термістор* утворився внаслідок об'єднання двох слів: термічний та резистор.

Термоперетворювачі опору виготовляють із міді або платини; вони відзначаються високою точністю (до 0,1 °C), стабільністю показів, наближеністю характеристики до лінійної, взаємозамінністю.

Для виготовлення термісторів використовують керамічні напівпровідники, що складаються з окислів металів. Перевагою термісторів є висока чутливість (зміна опору на одиницю зміни температури), малий розмір та невисока ціна.

Недолік – нелінійність характеристики, слабка завадостійкість, відсутність взаємозамінності. Останнє означає, що у разі виходу з

ладу сенсора давач стає, фактично, розхідним матеріалом. Щодо нелінійності, то є випадки, коли якраз різка зміна температурного коефіцієнта стає у пригоді, наприклад, термісторне реле захисту двигунів (див. розділ 1).

Як відомо, опір матеріалу при зміні температури T визначається температурним коефіцієнтом опору α :

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)],$$

де R_0 – опір матеріалу при еталонній температурі T_0 (зазвичай 0°C).

Метали мають додатний температурний коефіцієнт опору (1) (рис.69), а термістори це резистори, що мають великий від’ємний (2) або додатний температурний коефіцієнт (3), що різко змінюється. Опір термісторів лежить у границях від часток Ом до багатьох МОм. Термістори з додатним на робочому діапазоні температурним коефіцієнтом часто називають позисторами.

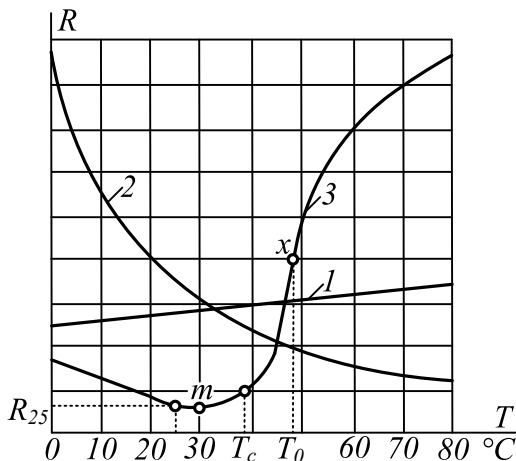


Рис.69. Передавальні характеристики сенсорів температури:

- 1 – терморезисторів;
- 2 – термісторів з від’ємним температурним коефіцієнтом;
- 3 – термісторів з додатним температурним коефіцієнтом;
- m – точка Кюрі

Залежність опору чутливого елемента сенсора від температури називають *номінальною статичною характеристикою* (НСХ) сенсора температури. НСХ сенсора відповідають міжнародному стандарту [17], стандарту СНД [18] або стандартам окремих фірм, наприклад, Philips, NXP Semiconductors тощо.

У табл.11 подані типи НСХ термоперетворювачів опору за стандартами [17] та [18], їх основні параметри та порівняльний опис, а на рис.70 – деякі типові НСХ як передавальні функції – залежність опору від температури.

Таблиця 11

Характеристики типів НСХ термоперетворювачів опору

Тип	R_0 , Ом	$W_{100} = R_{100}/R_0$	$I_{\text{вим. макс.}}$, мА	Макс. робочий діапазон, °С	Порівняльний опис
50М	50	1,428	3	-50 – +180	Стандарт СНД. Лінійна характеристика. Невисока термостабільність, піддаються ефектові „старіння”. Найнижча вартість.
100М	100		3		
Pt100	100	1,385	1	-196 – +750	Міжнародний стандарт. Нелінійна характеристика. Найкращі показники надійності і термостабільності. Найменші габарити. Технологія напилювання. Високоомні моделі мають обмеження за величиною струму.
Pt500	500		0,3–1		
Pt1000	1000		0,3–1		
50П	50	1,391	3	-196 – +600	Стандарт СНД. Нелінійна характеристика. Добра термостабільність. Досить великі габарити і висока вартість.
100П	100		3		

Чутливі елементи зі стандартними характеристиками 50М, 100М, 50П та 100П виготовляють зазвичай ручним способом шляхом намотування тонкого мідного чи платинового дроту, елементи Pt100, Pt500, Pt1000 виконують методом напилювання тонкого шару платини на керамічну підкладку. Технологія напилювання дає змогу виготовляти платинові чутливі елементи гранично малих габаритів з мінімальною витратою платини (вміст платини 0,001 г). При цьому платина повністю зберігає свої

властивості: стійкість до високих температур, термостабільність, практично лінійну НСХ.

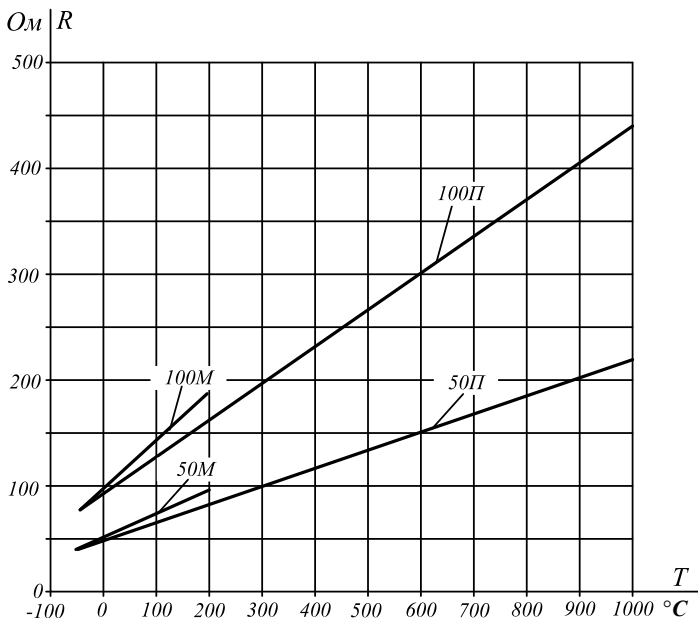


Рис.70. Залежності опорного термперетворювачів (НСХ) від температури

Названі вище фірми виготовляють на основі кремнію чутливі елементи сенсорів температури типу КТҮ. Вони мають досить добру лінійність (яка може бути покращена за допомогою простих термокомпенсаційних кіл), широкий діапазон вимірюваних температур (верхня границя сягає 300 °C), високу стабільність вимірів з бігом часу (понад 450 000 год.), широкий вибір діапазонів вимірюваних температур. Сенсор виготовляють переважно методами порошкової металургії у вигляді стержнів, трубок, дисків, шайб, кораликів і тонких пластинок в границях від 1–10 мкм до 1–2 см; різні корпуси, зокрема скляні, можуть застосовуватись безпосередньо в агресивних середовищах. Типова передавальна характеристика сенсорів КТҮ зображена на рис.71.

У табл.12 для прикладу подано діапазон робочих температур і точність виміру деяких сенсорів з НСХ типу КТҮ фірми NXP Semiconductors та Philips, а їх зовнішній вигляд зображено на рис.72.

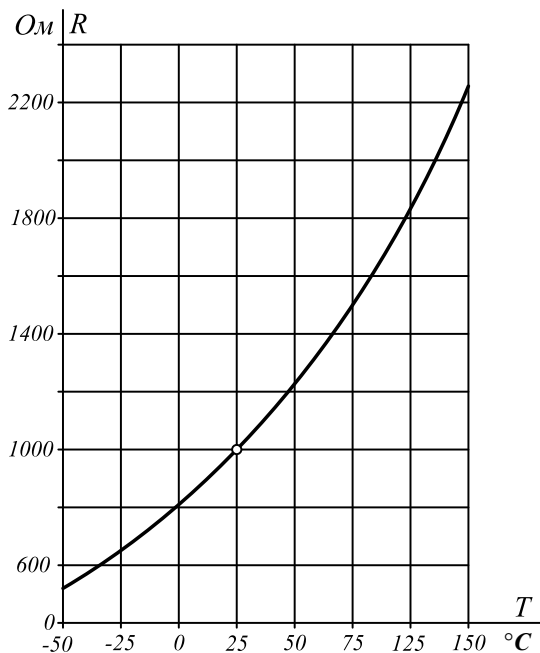


Рис.71. Передавальна характеристика сенсора КТҮ81-120

Таблиця 12

Технічні характеристики сенсорів з НСХ типу КТҮ

Тип	КТҮ81-120	КТҮ83-120	КТҮ84-130
Робочі температури, °C	-55 – +150	-55 – +175	-40 – +300
Точність, °C	±2,5	±2,5	±4,8

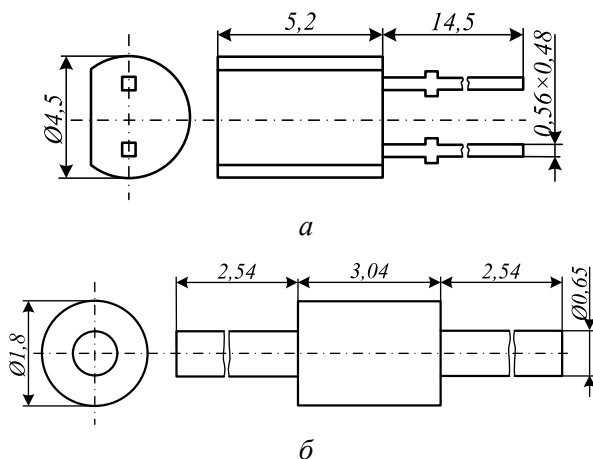


Рис.72. Зовнішній вигляд сенсорів КТҮ:

a – КТҮ81-120;

б – КТҮ83-120, КТҮ84-130

Термістори на сьогодні представлені серіями з НСХ типу NTC (Negative Temperature Coefficient) – з від’ємним температурним коефіцієнтом та PTC (Positive Temperature Coefficient) – з додатнім температурним коефіцієнтом.

Типова передавальна характеристика **NTC-термістора** має вигляд як на рис.69 (крива 2), а НСХ визначають за математичною моделлю, яких є три. Одна з них під назвою „проста” має вигляд

$$R = R_{\kappa} e^{\beta(1/T - 1/T_{\kappa})},$$

де R – опір термістора при температурі, що вимірюється;

R_{κ} – опір термістора при калібрувальній температурі T_{κ} , К;

β – характеристична температура матеріалу, інакше коефіцієнт температурної чутливості, К.

Вважають, що значення β в певному діапазоні не залежить від температури і його розраховують за даними двох калібрувальних точок: T_{κ} , R_{κ} та T'_{κ} , R'_{κ} .

Температуру термістора, своєю чергою, визначають за формулою, отриманою шляхом інвертування функції $R=f(T)$ у функцію $T=f(R)$.

Зазначимо, що похибка апроксимації функції $T=f(R)$ є малою в околицях температури калібрування, але значно збільшується у разі розширення робочого діапазону.

Застосовують NTC-термістори, зокрема, там, де потрібні значні зміни величини вихідного сигналу у відносно вузькому діапазоні температур, наприклад, медичний електронний термометр.

Для прикладу у табл.13 подано технічні дані термістора 10kNTC003.

Таблиця 13

Технічні дані термістора 10kNTC003

R_{25} , Ом	Границя допустимого відхилення R_{25} , %	β , К (25°C/80°C)	Границя допустимого відхилення $\beta(25/85)$, %	Робочий діапазон, °C	Теплова інерція, с
10000	±1	3970	±1,3	-40...+150	5

РТС-термістори характеризуються швидкою зміною фероелектричних властивостей композиційних матеріалів при температурах, що перевищують їх точку Кюрі, тобто точку мінімального електричного опору. Це призводить до значного збільшення опору, інколи на декілька порядків. На рис.69 зображена типова передавальна характеристика РТС-термістора (3). Як видно із рисунка, для таких термісторів важко підібрати математичну апроксимацію, тому для них зазвичай подають такі характеристики:

- опір при лабораторній температурі – R_{25} , коли обмін енергією між термістором і оточуючим середовищем відсутній (нульова прикладена потужність) і ефект саморозігріву незначний;
- мінімальний опір R_m при якому термістор міняє знак свого температурного коефіцієнта (точка Кюрі – m);
- температура переходу T_c , починаючи з якої, опір швидко міняється. Вона наближено збігається з точкою Кюрі матеріалу. Значення температури переходу зазвичай лежить в діапазоні від -30 °C до +160 °C;
- температурний коефіцієнт опору

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T}.$$

Цей коефіцієнт сильно залежить від температури оточуючого середовища та ефекту саморозігріву і його часто визначають у точці x , тобто там, де він має найбільше значення;

- максимальна напруга E_m , яка відповідає гранично допустимому значенню напруги, що її витримує термістор;
- теплова інерція, яка визначає швидкодію термістора.

Сфера застосування РТС-термісторів є широкою і специфічною. Подамо деякі приклади:

1. різка зміна опору РТС-термістора за досягнення певної температури дає змогу побудувати реле прямого теплового захисту електродвигунів з чутливим порогом спрацьовування [7];
2. у пристроях захисту електронних схем РТС-термістори можуть виконувати роль неруйнівних запобіжників, що реагують на струми, значення яких перевищує допустимі рівні. На рис.73 зображена схема з увімкненим послідовно з навантагою РТС-термістора. При кімнатній температурі опір термістора незначний (порядку 10...100 Ом), і спад напруги $U_m \leq U_{нав}$. Потужність, що розсіюється на термісторі: $P = U_m \cdot i$, віддається в оточуюче середовище, температура термістора незначно зростає. Але при значному зростанні струму відбувається підвищення температури термістора до величини T_c , після досягнення якої його опір починає зростати, що попереджує подальше збільшення струму. У разі короткого замикання у ланці навантаги $U_m = E$ і після перехідного процесу опір різко зростає, а струм падає до мінімального значення. При цьому слід рахуватись з перегрівом і руйнуванням термістора, для чого слід виконати умову $E \leq 0,9E_m$.

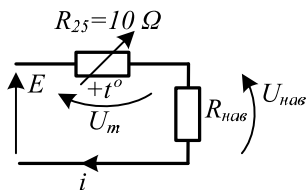


Рис.73. Схема з увімкненим послідовно з навантагою
PTC-термістора

3. PTC-термістори широко застосовують у різних опалювальних пристроях, пристроях для нагрівання повітря, де вони себе ведуть як пристрої з саморегуляцією. Під час подачі напруги термістор починає нагріватись, і, перейшовши точку T_c , його опір різко збільшується, обмежуючи протікаючий по ньому струм, який стабілізується у так званій „точці перемикання x ”. Цей зворотній зв’язок не допускає нагріву елементів понад точку перемикання (як правило, 250 °C). Ця температура підтримується у тілі PTC-термістора навіть у разі найінтенсивнішого зняття тепла з його поверхні. Завдяки цим властивостям саморегулювання, нагрівальні пристрої, що базуються на PNC-термісторах, можуть обходитись без елементів системи керування і стабілізувальних компонентів, рівно ж і без захисту від перегрівання.

Технічні дані PTC-термісторів, що їх пропонує фірма EPCOS подано для прикладу: у табл.14 – давачі температури; табл.15 – захист від перевантажень; табл.16 – нагрівальні елементи.

Таблиця 14

Технічні дані PTC-термісторів давачів температури

Зовнішній вигляд	
Номінативна порогова температура, °C	-20...+180
Робоча напруга, В	30
Опір, Ом	550...2300

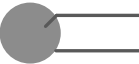
Таблиця 15

Технічні дані РТС-термісторів для захисту від перевантажень

Зовнішній вигляд	
Номінативний струм, А	0,008...2,9
Характеристична температура, °С	80...160
Максимальна напруга, В	20...1000
Типорозмір d , мм	4...26

Таблиця 16

Технічні дані РТС-термісторів нагрівальних елементів

Зовнішній вигляд	
Характеристична температура, °С	0...280
Робоча напруга, В	12, 230
Мінімальний опір, Ом	2...1750
Типорозмір d , мм	8, 12

Термоелектричні перетворювачі температури – терморезистори є активними сенсорами, в яких тепло перетворюється безпосередньо в електричний сигнал. Принцип дії терморезисторів базується на ефекті Зеебека. Фізик Т.Зеебек (1770–1831), народжений в Естонії, і який вчився у Німеччині, вивчаючи теплові ефекти у гальванічних пристроях, з'єднав два напівкруглих елементи із вісмуту та міді. Неочікувано стрілка компаса, що випадково лежав поруч, відхилилась (рис.74).

Зеебек назвав явище термомагнетизмом, не здогадавшись, що через елементи протікає електричний струм.

Дальшу дорогу проклав В.Томсон, який відкрив ефект, названий його іменем. Було відомо, якщо взяти провідник і один кінець розмістити у холодному місці, а другий – у теплому, від теплового краю до холодного передаватиметься теплова енергія. В додаток до цього градієнт температури призводить до появи у провіднику електричного поля, що й відкрив В.Томсон у 1850 році.

Електричне поле, яке індукується у провіднику, веде до появи різниці потенціалів

$$dV = \alpha_a \frac{dT}{dx} dx = \alpha_a dT ,$$

де dT^* – градієнт температури на невеличкій ділянці dx ;

α_a – абсолютний коефіцієнт Зеебека матеріалу, який не залежить від довжини провідника, якщо матеріал однорідний.

*значна кількість авторів приріст температури ΔT на окремій ланці Δx називає градієнтом температури, і ми пішли цим шляхом, хоча градієнт температури це зміна температури на одиницю довжини: $gradT = \Delta T / \Delta x$.

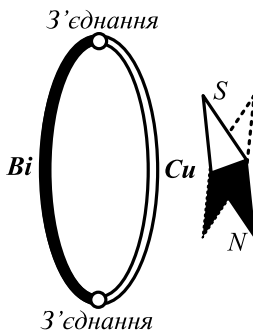


Рис.74. До принципу дії термонари

На рис.75 зображено провідник з нерівномірним розподілом температури T вздовж його довжини x . Градієнт температури між довільно розташованими точками визначає термо-ЕРС між ними. Інші значення температур (наприклад, T_2 , T_3 , T_4) не впливають на значення ЕРС між точками 1 та 5.

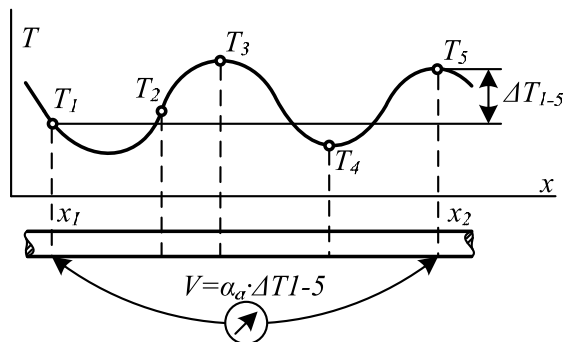


Рис.75. ЕРС, що виникає на ділянці зі змінною температурою вздовж ділянки

Виявляється, якщо щупи вимірювача зроблені з такого ж матеріалу, як сам провідник, то відхилення стрілки приладу відсутнє, у разі ж різних матеріалів вимірювач фіксує різницю потенціалів, тобто появу ЕРС (рис.76).

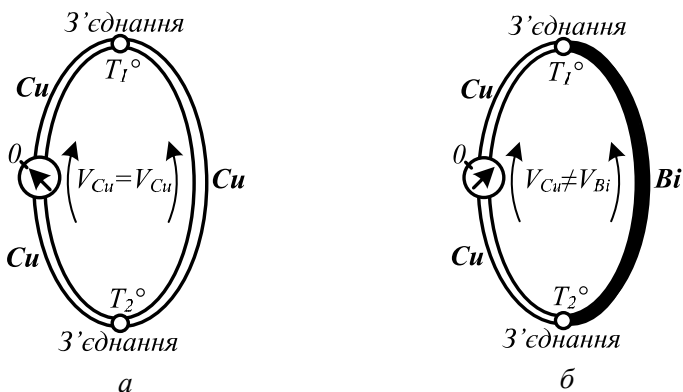


Рис.76. Термоелектричний контур за умови $T_1^\circ \neq T_2^\circ$:
 а – з'єднання ідентичних контурів ($\Delta V = V_{Cu} - V_{Cu} = 0$);
 б – з'єднання контурів з різних матеріалів ($\Delta V = V_{Cu} - V_{Bi} \neq 0$)

Отож, якщо контур складений із двох різних матеріалів (або із однакових матеріалів, але один із них перебуває, наприклад, у напруженому стані, а інші ні!), і їх з'єднання мають різну

температуру, у контурі виникає різниця потенціалів, яку називають *напругою Зеебека*. Зазначимо, що ця різниця потенціалів визначається *тільки* типом матеріалів і температурою з'єднань і *не залежить* ні від яких інших чинників: форми та/чи розмірів провідників. Інша річ струми, які протікали б по контурах, якщо об'єднати провідники у місці вимірювання ЕРС. Ці струми *залежать* від форми і розміру провідників контура тощо. Саме ці струми були причиною відхилення стрілки компаса, яке спостерігав Зеебек.

Наступні дослідження показали, що ефект Зеебека за своєю природою є електричним і термоелектричні властивості – це такі ж об'ємні властивості матеріалів, як електро- і теплопровідність, а коефіцієнт α_a – унікальна характеристика матеріалу.

У разі з'єднання двох різних матеріалів напруга Зеебека дорівнює

$$dV_{AB} = \alpha_{AB} dT,$$

де $\alpha_{AB} = \alpha_A - \alpha_B$ – диференційний коефіцієнт Зеебека.

Цей коефіцієнт є лінійною функцією від температури. Інакше його називають коефіцієнтом термо-ЕРС, або *чутливістю* термopарного з'єднання.

Еталонне з'єднання, яке, як правило, перебуває при холоднішій температурі, називають *холодним спаям*, а інше з'єднання – *гарячим спаям*.

Коефіцієнт Зеебека не залежить від фізичної природи з'єднання: метали можуть бути скрученими, звареними, спаяними тощо.

У 1826 році А.Беккерель запропонував використати ефект Зеебека для вимірювання температури, але першу конструкцію термopари розробив Генрі Ле-Шательє. Він вивчив і описав термоелектричні властивості багатьох комбінацій металів. Отримані ним дані донині використовуються під час проведення температурних вимірів і знайшли своє оформлення у вигляді стандартів, поданих у табл.17, де „тип” термopари вказаний за стандартом ДСТУ23837-94, а „позначення” відповідає міжнародному стандарту.

Таблиця 17

Технічні дані стандартизованих термопар

Тип	Позначення	Назва	Робочий діапазон, °C	Порівняльний опис
МКн	T (Cu-CuNi)	Мідь- константан	-200–260	Міжнародний стандарт. Специалізація – низькі температури, вакуум, інертні і відновлювальні атмосфери, окисні – частково.
ХК	L	Хромель- копель	-40–600	Стандарт СНД. Гарна термочутливість. Чутлива до деформації. Мінус – відсутність проводів із сучасними типами ізоляції.
ЖК	J (Fe-CuNi)	Залізо- константан	-40–750	Міжнародний стандарт. Гарна термостабільність. Може працювати також у відновлювальному середовищі. Неізольованої – не використовувати.
ХА	K (NiCr-NiAl)	Хромель- алюмель	0–1200	Міжнародний стандарт. Посередня термостабільність. Розповсюджена як у СНД, так і у світі. Відносно недорого.
НН	N (NiCrSi-NiSi)	Ніхросил- нісил	0–1250	Міжнародний стандарт. Термостабільність у кілька разів краща, ніж у ХА. Ідеальна для застосування в діапазоні від 1000 до 1250°C.
ПП	S (Pt10Rh-Pt)	Платинородій- платина	0–300	Міжнародний стандарт. Відмінна термостабільність і стійкість до окисних середовищ. Чутлива до забруднення. Дорога.
ПП	R (Pt13Rh-Pt)	Платинородій- платина	0–1300	Міжнародний стандарт. Те ж саме, що і тип S, але з трохи іншою характеристикою. Раніше застосовувалася тільки за кордоном.
ПР	B (Pt30Rh-Pt6Rh)	Платинородій- платинородій	600–1600	Міжнародний стандарт. Більш стійка до забруднення і менш термочутлива, ніж ПП. Компенсується звичайним мідним проводом.

На рис.77 зображені криві залежності напруги Зеебека стандартних термопар від градієнта температур між гарячим і холодним спаями.

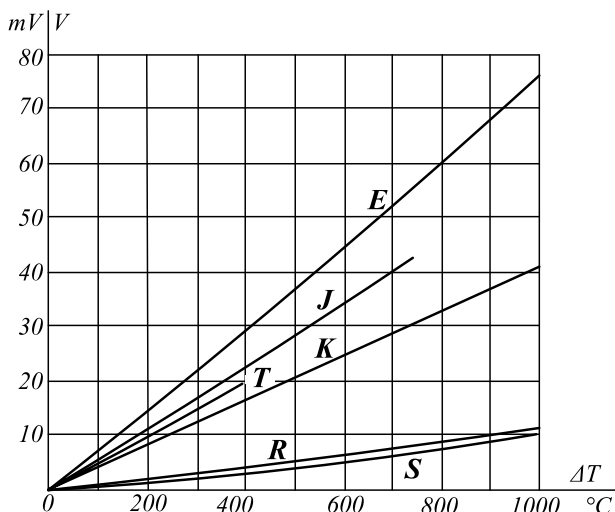


Рис.77. Залежність вихідної напруги термопар від градієнта температур між холодним і гарячим спаями

Вище було показано, що при вимірюванні різниці потенціалів між двома кінцями провідників, які перебувають у різних температурних умовах, у колі може виникнути термо-ЕРС, якщо матеріал ланки і щупів вимірювального пристрою є різними. У зв'язку з тим виникає питання, як увімкнути вимірювальний пристрій у коло термопари без внесення похибки. Звернемось до другого закону термо-електрики:

„Алгебрична сума всіх термо-ЕРС кола, що складається з будь-якої кількості термопар (з'єднань різних матеріалів), завжди дорівнюватиме нулеві, якщо всі з'єднання перебувають при однаковій температурі.”

Це означає, що в будь-яке плече термоелектричного контура можна ввести додатковий матеріал C , без страху змінити результуючу ЕРС за умови, що обидва з'єднання матимуть однакову температуру (T_3 на рис.78). Звідси й випливає, що метали можуть

бути спаяними, скрученими, звареними, затиснутими без впливу на результат вимірювання.

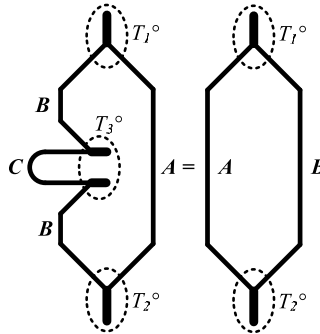


Рис.78. Ілюстрація правила приєднання вимірювального пристрою у коло термопар:

C – ланка вимірювального пристрою

Виходячи з рис.78, не складно показати, як можна організувати схему вимірювання різниці температур між двома точками одного об'єкта, чи між двома різними об'єктами (рис.79).

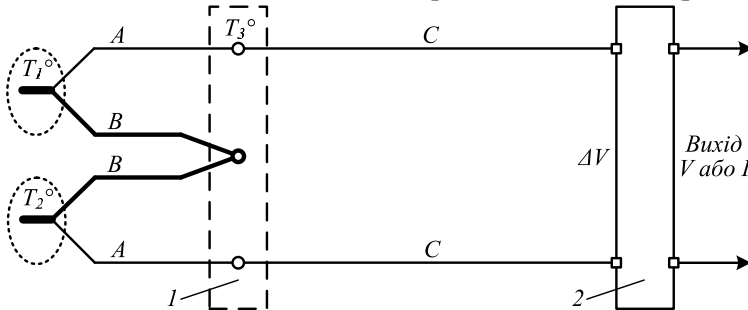


Рис.79. Структурна схема термопарного вимірювання різниці температур (варіант 1):

A, B – матеріали термопар;

C – довільний матеріал з'єднувальних провідників;

1 – ізоtermічне середовище

(ізо... – від грецького ісокс – рівний, однаковий);

2 – актуатор, або вторинний перетворювач (мається на увазі, що термопарі є первинними перетворювачами);

$$\Delta V \equiv T_2^\circ - T_1^\circ$$

Ізотермічне середовище може бути зосередженим у корпусі актуатора, що має місце у сучасних розробках, але в такому разі з'єднання клемної коробки термопар з терміналами актуатора повинно виконуватись за допомогою провідників з матеріалу аналогічного до матеріалу розірваного провідника термопар або подібного за характеристиками матеріалу (рис.80).

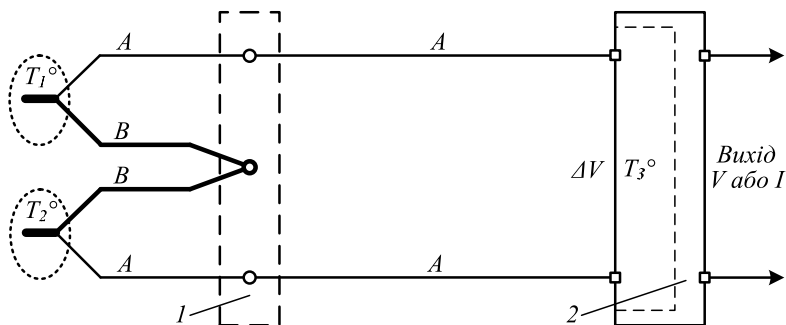


Рис.80. Структурна схема термопарного вимірювання різниці температур (варіант 2):

1 – клемна коробка;

2 – актуатор (вторинний перетворювач)

Зробимо заувагу, що потреба використовувати з'єднувальні провідники з матеріалу такого ж як і в термопарах, виникає лише тоді, коли клемна коробка не забезпечує ізотермічного середовища.

Для вимірювання температури об'єкта на практиці широке застосування знайшов метод *прямого* вмикання актуатора. У такому разі останній вмикається безпосередньо до різних матеріалів термопари, утворюючи пару холодних спайів, температура яких повинна бути однаковою (рис.81).

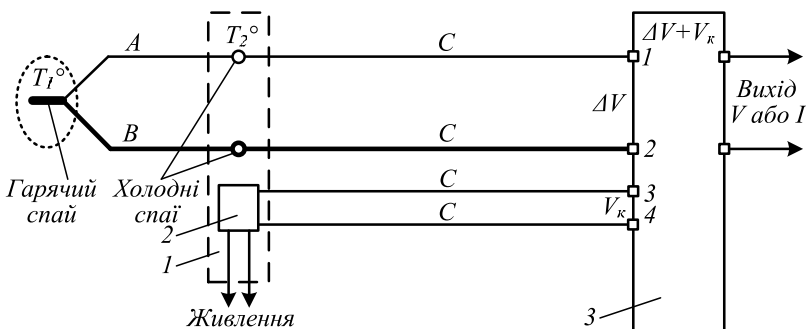


Рис.81. Структурна схема термопарного вимірювання температури T_1° об'єкта (варіант 1):

- 1 – ізотермічне середовище;
- 2 – абсолютний сенсор температури (наприклад, резистивний термоперетворювач термістор) – компенсатор температури холодного спаю;
- 3 – актуатор (вторинний перетворювач);

$$\Delta V \equiv \Delta T^\circ; V_\kappa \equiv T_2^\circ$$

Очевидно, подана на затискачі 1–2 актуатора напруга Зеебека ΔV є аналогом різниці температур гарячого і холодного спаїв

$$\Delta T^\circ = T_1^\circ - T_2^\circ.$$

Звідси температура гарячого спаю

$$T_1^\circ = \Delta T^\circ + T_2^\circ.$$

Температура холодного спаю T_2° відповідно діє на абсолютний сенсор температури 2, інформація від якого V_κ поступає на входи 3–4 актуатора, який після обробки даних, що надходять на входи 1–2 та 3–4, виробляє стандартний аналоговий сигнал у вигляді напруги чи струму.

Перевага схеми: з'єднувальні провідники C можуть бути з будь-якого матеріалу.

Недолік: потреба додаткових інформаційних провідників сенсора 2 і провідників його кола живлення; необхідність організації ізотермічного середовища T_2° .

У зв'язку з відзначеним недоліком на практиці широко застосовують актуатори, у яких ізотермічне середовище зосереджене у його корпусі (рис.82).

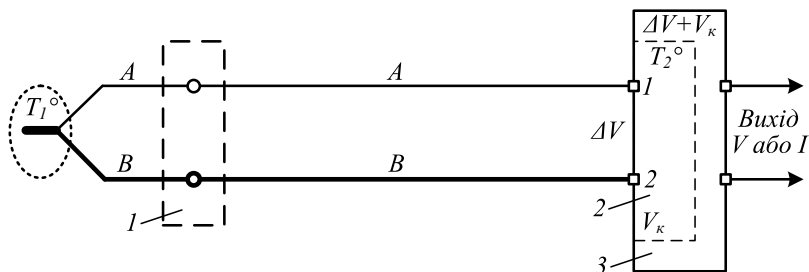


Рис.82. Структурна схема термопарного вимірювання температури T_1° об'єкта (варіант 2):

- 1 – клемна коробка;
- 2 – ізотермічне середовище;
- 3 – актуатор

Переваги схеми: простота з'єднань.

Недолік: з'єднувальні провідники A та B повинні бути із таких самих матеріалів, що й матеріали термопари, або матеріалами з близькими до A та B характеристиками.

Зображений на рис.81 абсолютний сенсор температури холодного спаю часто називають компенсатором температури, а з'єднувальні провідники A та B на рис.82 – *компенсаційними*.

Як було сказано, контактні давачі температури можуть бути одноблочними або двоблочними. У разі двоблочного давача сенсори температури (термоперетворювачі опору, термістори чи термопари) виступають як окремі блоки або елементи, а актуатори, яких інакше називають вторинними перетворювачами сигналів, чи нормувальними перетворювачами, або просто перетворювачами (із вказівкою для яких сенсорів), є також окремими блоками, що зазвичай кріпляться на DIN-рейку.

Відомі європейські фірми ABB, ASCON, OBEN тощо випускають серії чи окремі типи актуаторів, які можуть виконувати

лише одну функцію або бути універсальними. У першому випадку актуатор здійснює вимірювання температури лише в одному певному діапазоні (наприклад, $-50 - +50\text{ }^{\circ}\text{C}$) з певним типом сенсора (наприклад, 100M), але за потреби вимірювання температури в діапазоні $-80 - +200\text{ }^{\circ}\text{C}$ з цим самим сенсором 100M потрібно застосовувати іншу модифікацію з цієї ж серії.

Універсальний перетворювач може вимірювати температуру у різних діапазонах з різними типами сенсорів температури, очевидно, при відповідному попередньому налаштуванні. Таке налаштування може здійснюватись за допомогою DIP-перемикачів або з комп'ютера, наприклад, по інтерфейсу USB.

На рис.83 показано зовнішній вигляд та схему з'єднань, а в табл.17 та табл.18 наведені деякі технічні дані та відповідно характеристики давачів, організованих на базі універсального нормувального перетворювача ОБЕН НПТ1, який призначений для перетворення значення температури, виміряної за допомогою термопари або термоопору, в уніфікований сигнал постійного струму $0(4)-20\text{ мА}$. Він може використовуватися вторинними приладами систем автоматичного контролю, регулювання і керування технологічними процесами в різних галузях промисловості, а також у комунальному господарстві, диспетчеризації, телемеханічних інформаційно-вимірювальних комплексах тощо.

Таблиця 17

Деякі технічні дані давачів на базі ОБЕН НПТ1

Номінативне значення напруги живлення, В DC	24
Номінативний діапазон вихідного струму перетворювача, мА	0–20, 4–20
Розрядність аналого-цифрового перетворювача, біт не менше:	
• при роботі з термометрами опору	15
• при роботі з термопарами	14
Розрядність ЦАП, біт, не менше	11
Опір кожного сполучного проводу, що з'єднує перетворювач з сенсором, Ом, не більше	100
Номінальне значення опору навантаги (при напрузі живлення 24 В), Ом	$250 \pm 5\%$

Таблиця 18

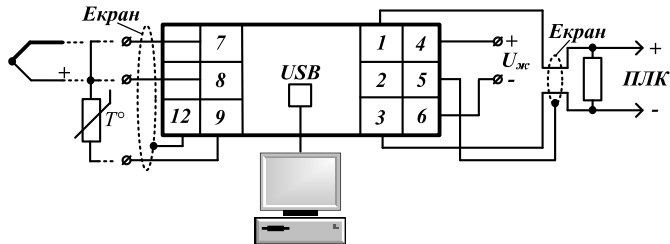
Характеристики давачів і вхідних сигналів

Умовне позначення НСХ сенсора	Діапазон вимірів, °C	Умовне позначення НСХ сенсора	Діапазон вимірів, °C
Термоперетворювачі опору за ГОСТ Р 8.625 або за ГОСТ Р 6651		Термопари за ГОСТ Р 8.585-2001	
Cu50 ($\alpha=0,00426\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	-50...+200	ТХК (L)	-200...+800
50M ($\alpha=0,00428\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	-180...+200	ТЖК (J)	-200...+1200
Pt50 ($\alpha=0,00385\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	-200...+750	ТНН (N)	-200...+1300
50П ($\alpha=0,00391\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	-200...+750	ТХА (K)	-200...+1300
Cu100 ($\alpha=0,00426\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	-50...+200	ТПП (S)	0...+1750
100M ($\alpha=0,00428\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	-180...+200	ТПП (R)	0...+1750
Pt100 ($\alpha=0,00385\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	-200...+750	ТПР (У)	+200...+1800
100П ($\alpha=0,00391\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	-200...+750	ТВР (А-1)	0...+2500
100Н ($\alpha=0,00617\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	-60...+180	ТВР (А-2)	0...+1800
500П і 1000П ($\alpha=0,00391\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	-200...+850	ТВР (А-3)	0...+1800
Pt1000 ($\alpha=0,00385\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	-200...+850	ТМК (Т)	-200...+400

50, 100, 500, 1000 (М, П, Н);
ТП(L, К, ...)



а



б

Рис.83. Зовнішній вигляд (а) та схема з'єднань (б) давача, організованого на базі універсального перетворювача ОВЕН НПТ1

Якщо дозволяє середовище, можна використати одноблочний давач температури, у якого перетворювач вбудований у комутаційну головку. Перевага такого давача:

- можна збільшити довжину інформаційної лінії зв'язку „давач температури – приймальний елемент системи збору інформації”;
- можливість понизити вплив завад на лінію зв'язку;
- інформаційна лінія може бути з довільного матеріалу.

Недолік – потреба додаткової лінії кола живлення перетворювача.

На рис.84 показано зовнішній вигляд, а в табл.19 та табл.20 наведені деякі технічні дані та відповідно характеристики давачів, які побудовані за використання відповідних модулів серії однофункційних перетворювачів ОВЕН НПТ2 і сенсорів термоперетворювачів опору за ГОСТ Р 8.625 або за ГОСТ Р 6651 та термопар за ГОСТ Р 8.585-2001. Давачі застосовуються у вторинній апаратурі систем автоматичного контролю, регулювання і керування технологічними процесами в різних галузях промисловості тощо.

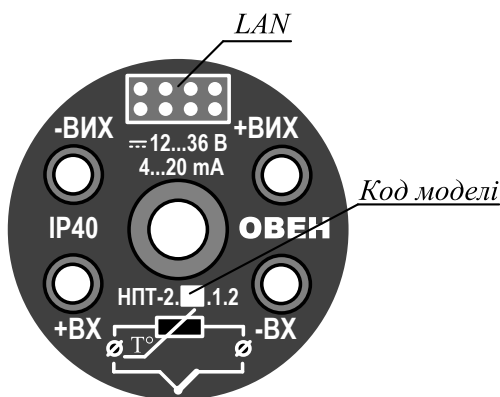


Рис.84. Зовнішній вигляд перетворювача ОВЕН НПТ2:
LAN – інтерфейс зв'язку з персональним комп'ютером

Таблиця 19

Деякі технічні дані перетворювача ОВЕН ННТ2

Номінативне значення напруги живлення, В DC	24
Діапазон вихідного струму перетворювача, мА	4–20
Розрядність ЦАП, біт, не менше	12
Номінальне значення опору навантаги (при напрузі живлення 24 В), Ом	250±5%

Таблиця 20

Характеристики давачів і вхідних сигналів перетворювача ОВЕН ННТ2

Код моделі перетворювача	Умове позначення НСХ сенсора	Діапазон вимірів, °C	Код моделі перетворювача	Умове позначення НСХ сенсора	Діапазон вимірів, °C
2.01	50М $\alpha=0,00428$ °C ⁻¹	-80...+200	2.04	ТХК (L)	-40...+600
2.11		-50...+50	2.14		0...+400
2.21		0...+50	2.24		0...+600
2.31		0...+100	2.34		0...+800
2.41		0...+150	2.05	ТХА (K)	-40...+800
2.02	100П $\alpha=0,00391$ °C ⁻¹	-50...+500	2.15		0...+400
2.12		-100...+100	2.25		0...+600
2.22		0...+100	2.35		0...+800
2.32		0...+150	2.45		0...+1000
2.42		0...+300	2.55		0...+1300
2.52		0...+500	2.06	100М $\alpha=0,00428$ °C ⁻¹	-50...+180
2.03	Pt100 $\alpha=0,00385$ °C ⁻¹	-50...+500	2.16		-50...+50
2.13		-100...+100	2.26		0...+50
2.23		0...+100	2.36		0...+100
2.33		0...+150	2.46.		0...+150
2.43		0...+300	2.56		-50...+150
2.53		0...+500			

Безконтактні давачі температури, як уже згадувалось, по суті, вимірюють теплове випромінювання, яке є функцією температури об'єкта. В подальшому рівень тепла чи тепловий потік (електромагнітна хвиля) перетворюється безпосередньо в електричний сигнал. Називають такі давачі *пірометрами*. Ця назва походить від грецького слова *pur*, що означає вогонь. Назва склалась

історично, оскільки перші безконтактні теплові давачі використовувались для визначення інфрачервоних випромінювань середнього і дальнього інфрачервоних діапазонів, які інакше називають тепловими. Замість назви пірометри можна зустріти назву інфрачервоні термометри (ІЧ-термометри), оскільки в техніці оперують температурами, які випромінюють основну кількість теплової енергії в інфрачервоному діапазоні. Сьогодні ж безконтактні методи вимірювання температури використовують дуже широко: для визначення як мінусових температур так і температур різного полум'я. Тому коректною є загальна назва *радіаційні термометри*. Отож, на шляху вивчення принципу дії безконтактних давачів температури і правил користування ними зупинимось, у першу чергу, на пізнанні явища теплового випромінювання.

Все в нашій вселенній перебуває у русі. Можна вважати, що температура є мірою кінетичної енергії атомів та молекул, що перебувають у русі. На рівні мікросвіту рух цих частинок є різним, і, відповідно, різною є їх температура. Проте, згідно з тим, як вивчаються ці процеси у статистичній механіці, середня кінетична енергія великої кількості частинок, що вібрують, визначає *макроскопічну* температуру об'єкта, тобто зв'язана з його абсолютною температурою.

За законами термодинаміки електричний заряд, що вібрує, викликає появу змінного електричного поля, яке своєю чергою призводить до створення змінного магнітного поля, далі магнітне поле діє на електричне і т. д. У двох словах, частинки, що вібрують, є джерелом електромагнітного поля, яке підкоряється усім законам оптики: вони можуть відбиватись, фільтруватись, фокусуватись тощо і розповсюджуються зі швидкістю світла. У конкретному середовищі довжина хвилі λ зв'язана з частотою ν і швидкістю світла c як

$$\lambda = \frac{c}{\nu}.$$

Виходячи з поняття макроскопічної температури об'єкта, за однієї і тієї ж температури T теплове випромінювання є спектром електромагнітних хвиль від $\lambda=0$ до $\lambda=\infty$, причому максимальна потужність електромагнітного потоку на одиницю довжини хвилі зосереджена навколо однієї певної хвилі λ_m і досить швидко спадає в сторону зменшення ($\lambda \rightarrow 0$) та збільшення ($\lambda \rightarrow \infty$) довжини хвилі.

Потужність електромагнітного потоку на одиницю довжини хвилі називають густиною потоку випромінювання.

Німецький фізик Планк (лауреат Нобелівської премії) у 1901 році встановив аналітичну залежність між щільністю потоку випромінювання W_λ , довжиною хвилі λ та абсолютною температурою T

$$W_\lambda = \frac{\varepsilon(\lambda) \cdot C_1}{\pi \lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)},$$

де $\varepsilon(\lambda)$ – випромінювальна здатність об'єкта;

C_1, C_2 – константи;

e – основа натурального логарифму.

На рис.85 подано повний спектр електромагнітного випромінювання, де вказані границі ультрафіолетової, видимої та інфрачервоної зон, а також зображено розподіл щільності електромагнітних випромінювань для різних температур T .

Інший Німецький вчений Він (також лауреат Нобелівської премії), взявши похідну від рівняння Планка і прирівнявши її нулеві, знайшов вираз для визначення довжини хвилі λ_m , в околиці якої випромінюється найбільша потужність при даній температурі

$$\lambda_m = \frac{2898}{T},$$

де λ_m [мкм], T [Кельвін].

Закон Віна стверджує, що чим вища температура, тим коротша довжина хвилі за максимальної густини випромінювання.

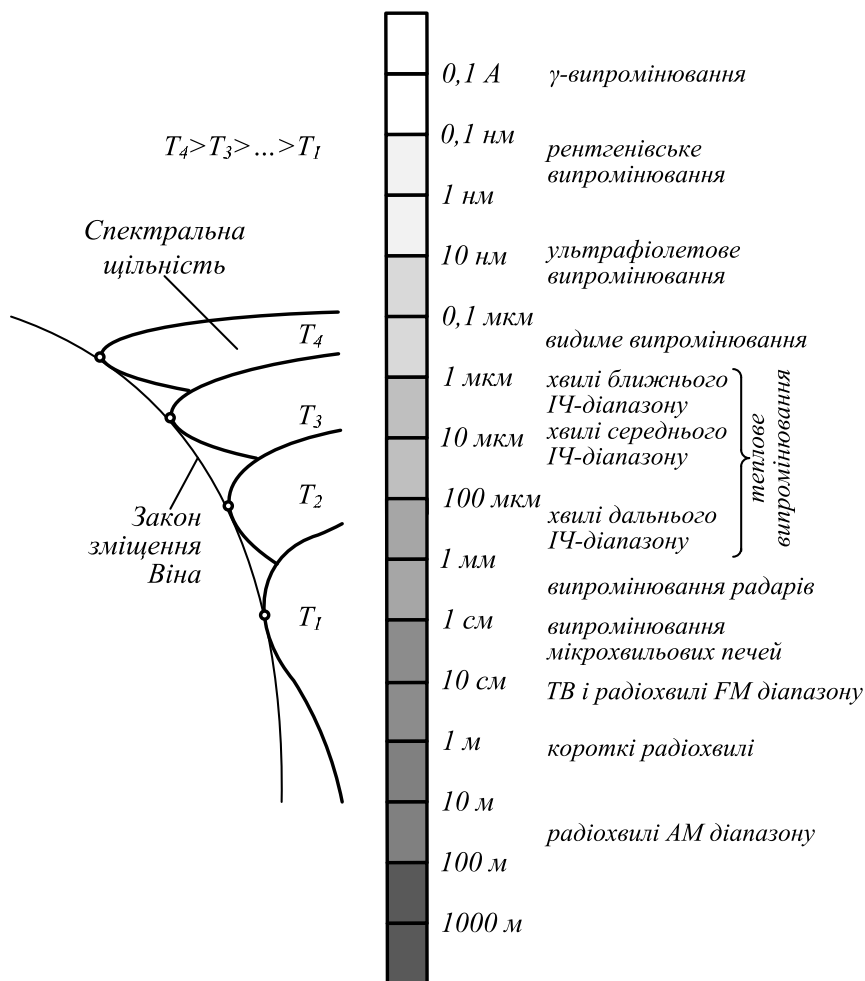


Рис.85. Спектр електромагнітного випромінювання

У табл.21 подано значення температур при максимальній щільності випромінювання для видимого та інфрачервоного діапазонів: близького, середнього і далекого.

Таблиця 21

**Значення температур при максимальній густині
випромінювання**

Діапазон	Довжина хвилі λ_m , мкм	Температура t , °C
Видимий	0,4...0,8	7000...3500
ІЧ-близький	0,8...2,5	3500...890
ІЧ-середній	2,5...50	890...215
ІЧ-дальній	50...2000	-215...-272

На рис.86 показана густина потоку випромінювання ідеального випромінювача, оточеного нескінченно холодним простором, в границях $\lambda_1=0$; $\lambda_2=\infty$ для трьох різних температур. З рисунка видно, що потужність випромінювання розподіляється у спектральному діапазоні дуже нерівномірно, а зміщення максимумів відповідає законові Віна: гарячий об'єкт випромінює значну частину своєї енергії ближче до видимого діапазону, а енергія, яку випромінюють більш холодні об'єкти, зміщується в інфрачервоний діапазон.

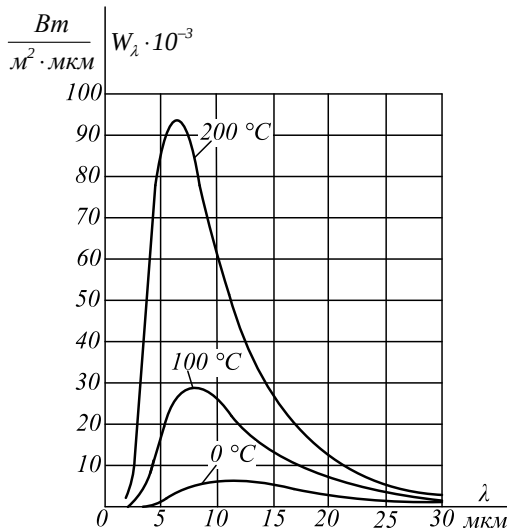


Рис.86. Спектральна густина потоку випромінювання для трьох температур ідеального випромінювача, оточеного нескінченно холодним простором

Що таке ідеальний випромінювач? Це т.зв. *чорне тіло*, випромінювальна здатність якого $\varepsilon=1$.

Причиною такої назви є зовнішній вигляд об'єкта при кімнатній температурі. Всі інші поверхні відзначаються випромінювальною здатністю меншою ніж 1.

Найкращим способом визначити температуру об'єкта було б виміряти теплове випромінювання по всьому частотному діапазоні від $\lambda=0$ до $\lambda=\infty$. Отож, для того, щоб визначити повну потужність випромінювання Φ_T залежно від температури, слід проінтегрувати рівняння Планка від $\lambda=0$ до $\lambda=\infty$

$$\Phi_T = \int_0^{\infty} W_{\lambda}(\lambda, T) d\lambda.$$

Знайти аналітичний вираз цього інтеграла практично неможливо. Його апроксимація у разі абсолютно чорного тіла, для якого $\varepsilon=1$, відома під назвою закону Стефана-Больцмана

$$\Phi_T = A\sigma T^4,$$

де A – площа випромінювальної поверхні;

σ – постійна Стефана-Больцмана.

Формула Стефана-Больцмана може бути застосована для будь-якого об'єкта, а не тільки абсолютно чорного тіла, а саме

$$\Phi_T = A\varepsilon(\lambda)\sigma T^4.$$

Проблемою стає випромінювальна здатність $\varepsilon(\lambda)$, що є залежною від довжини хвилі. Досліди показали, що випромінювальна здатність на окремих ланках спектра змінюється мало, її можна прийняти сталою (наприклад, від 8 до 16 мкм), тоді для окремого діапазону хвиль від λ_1 до λ_2 формула Стефана-Больцмана приймає вигляд

$$\Phi_T = A\varepsilon\sigma T^4.$$

Зазначимо при цьому, що смуга від λ_1 до λ_2 повинна охоплюватись більше як 50% всієї випромінювальної потужності.

Випромінювальна здатність поверхні ε , яку часто називають *коефіцієнтом випромінювання*, є характеристикою поверхні, що

випромінює теплову енергію. При цій самій температурі потужність випромінювання з поверхні може бути більшою чи меншою залежно від коефіцієнта випромінювання, який може мати значення від дуже малих, менше 0,1 до близьких 1. Коефіцієнт випромінювання є відношення потоку випромінювання з конкретної поверхні до потоку випромінювання ідеального випромінювача за такої ж при цій самій температурі. Максимальний коефіцієнт випромінювання дорівнює 1, він відповідає, як було сказано, ідеальному джерелу електромагнітних випромінювань – абсолютно чорному тілу.

Кірхгоф знайшов, що випромінювальна і поглинальна здатність є однією і тією ж фізичною величиною. Отож, абсолютно чорне тіло не пропускає і не відбиває, а повністю поглинає випромінювання, що падає на нього, воно ж є ідеальним випромінювачем.

Звичайні тіла в загальному випадку не є чорними тілами. Вони поглинають тільки частину випромінювання, що падає на них, а частину відбивають або пропускають. Різні матеріали мають різну випромінювальну здатність, яку інакше називають *показником* (або *ступенем*) *чорноти*.

Із сказаного витікає, що на підставі вимірюного теплового потоку можна говорити про температуру об'єкта лише за умови, що нам відомі площа випромінювальної поверхні та показник чорноти матеріалу. Саме визначення показника чорноти є головною трудностю у вимірі температури тіла.

Реальні пірометри можуть бути призначені для вимірювання температури тіла лише заданої чорноти або бути універсальними – вимірювати температуру тіл будь-якої чорноти, але перед вимірюванням такий пірометр належить налаштувати на потрібну чорноту. У будь-якому разі користувачеві потрібно знати показник чорноти тіла, температуру якого вимірюють. З цією метою існують довідникові таблиці, які подають дані про ступінь чорноти різних матеріалів і різної обробки поверхні. Крім того, виникають труднощі врахування випромінювання, яке випускає сусідня зона та випромінювання відбитого від сусідніх об'єктів тощо. На жаль, не

існує ні одного методу безконтактного вимірювання температури, який міг би охопити весь набір ситуацій, що зустрічаються. Проте розроблені різні підходи, кожен з яких здатен подолати одну чи дві згаданих труднощі.

За спектральним діапазоном пірометри можуть бути поділені на такі види:

- повного випромінювання;
- широкосмугового випромінювання;
- вузькосмугового випромінювання, інакше монохроматичні.

Спектральний діапазон пірометра повного випромінювання практично необмежений, але похибка вимірювання може бути значною, якщо не точно визначено показник чорноти, а він залежить від довжини хвилі: що коротша хвиля, то вищий показник чорноти одного і цього ж тіла. Більш точними є широкосмугові пірометри, які працюють зазвичай в широкому, але обмеженому діапазоні хвиль від 0,3 мкм до 2,5–20,5 мкм, де показник чорноти є практично сталим. Але там, де потрібна висока точність вимірів температури поверхні рекомендують використати вузькосмуговий пірометр.

Проте, для прецезійних вимірювань застосовують конструктивно більш складні і відносно дорогі пірометри *спектральних відношень*. Такі пірометри визначають температуру об'єкта за співвідношенням сигналів від двох приймачів, що працюють на різних довжинах хвиль. Такий принцип вимірювання температури дає змогу позбутись більшості недоліків, притаманних іншим однодіапазонним пірометрам. Побічні фактори для обох приймачів однакові, тому на відношення сигналів вони не впливають. Та й відхилення показника чорноти від 1 найчастіше призводить до однакового зменшення сигналів від обох приймачів. Тому відношення сигналів незначно залежить від ступенів чорноти, і під час обчислень останні скорочуються.

Показник візитування, як синонім оптичної розрізнявальної здатності, є другим важливим параметром пірометра.

Показник візування – це відношення віддалі l між пірометром і об'єктом випромінювання до діаметра d майданчика на вимірювальній поверхні, названого плямою (рис.87).

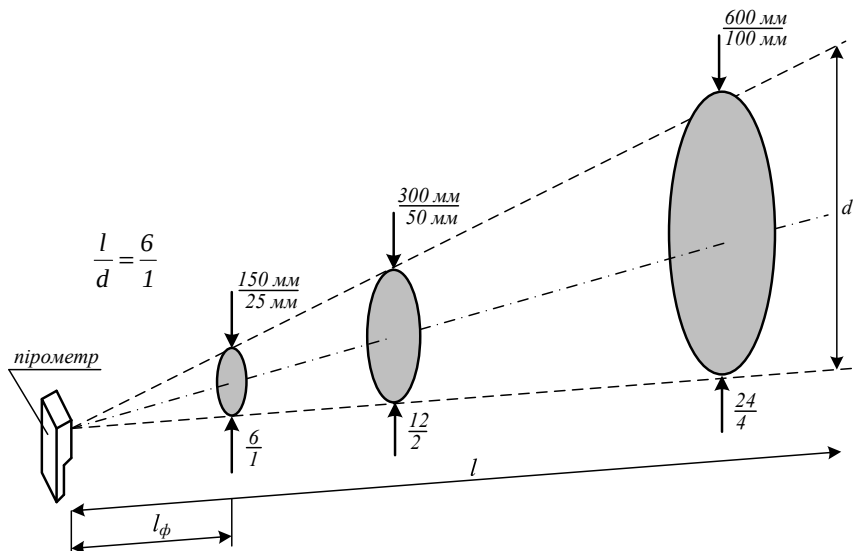


Рис.87. До визначення поняття “показник візування”:
 l_ϕ – фокусна віддаль, для якої здійснено
 налагоджування пірометра

За потреби підтримувати один і той же діаметр плями на об'єкті показник візування повинен бути відповідно різним для різної віддалі: чим більша віддаль до об'єкта, тим більшим повинен бути показник візування. За сталого ж показника діаметр плями залежить від віддалі. Рекомендується вибирати такий показник візування, щоб пляма візування на об'єкті була більшою від мінімально допустимої, не виходила за межі об'єкта і не була занадто великою, щоб усунути з поля зору сторонні предмети. У сучасних пірометрів показник візування може досягнути значення 500:1 і вище, а системи візування можуть бути двох видів:

- з постійною фокусною віддаллю;
- зі змінною віддаллю, тобто такою, що її можна регулювати.

Як уже згадувалось, принцип дії безконтактних давачів базується на перетворенні теплового (в загальному випадку електромагнітного) випромінювання у тепло з подальшим перетворенням рівня тепла чи теплового потоку безпосередньо в електричний сигнал або зміну сигналу.

Щодо сенсорів електромагнітних хвиль, то їх можна розділити на дві групи: *квантові* та *теплові перетворювачі*. Квантові сенсори працюють в інтервалі від ультрафіолетового до середнього інфрачервоного діапазону, тоді як теплові сенсори частіше використовують в діапазонах середнього і дальнього інфрачервоного випромінювання.

Принцип дії квантових сенсорів ґрунтується на явищі фотоефекту, відкритого Ейнштейном. Для їхньої будови використовують фотодіоди, фототранзистори чи фоторезистори. Як теплові сенсори можуть бути використані будь-які розглянені вище сенсори температури: термопара (активний сенсор), терморезистор чи термістор (пасивні сенсори), а також активний сенсор – піроелектричний елемент.

Піроелектрики – це матеріали з кристалічною структурою, в яких у разі дії на них теплового потоку появляються електричні заряди. Піроелектричний заряд дуже близький до п'єзоелектричного ефекту. Тому багато з того, що було викладено про п'єзоелектрики, справедливе й для піроелектриків. Вони виступають у вигляді тонких плівок, з протилежних сторін яких нанесені електроди для збору наведеного тепловим потоком зарядів (рис.88).

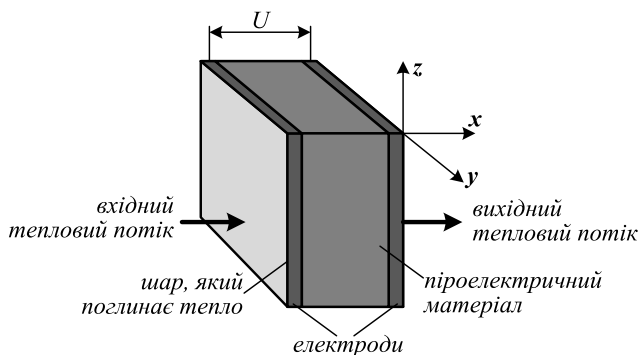


Рис.88. Піроелектричний елемент

Такий сенсор як і термопара, не потребує жодних зовнішніх сигналів збудження, але на відміну від термопар, які працюють при різній, але сталій температурі на спаях, у піроелектриках формується заряд у відповідь на зміну температури. При сталій температурі кристали залишаються постійно поляризованими, але за рахунок вільних носіїв зарядів, що містяться у середині матеріалу і які переміщуються під дією електричного поля, зібрані на електродах заряди нейтралізуються. Зміна ж температури відбувається лише у разі руху теплових хвиль, тому пірометричні елементи є сенсорами потоку тепла.

На рис.89 показано зовнішній вигляд, а в табл.22 наведені деякі технічні дані безконтактного інфрачервоного термометра моделі IR4 серії IR фірми Dwyer, який застосовується для вимірювання температури на великих віддальх. Ця модель має показник візурування 20:1 і лазерний вказівник цілі. Для вимірювання температури практично будь-якої поверхні в цьому термометрі є можливість налаштування коефіцієнта випромінювання (показника чорноти). Для попередження про зниження ємності батареї на дисплеї є індикатор батареї. Цей зручний ручний пристрій має убудовані програмувальні точки уставок для аварійних сигналів. До моделі IR4 підключається будь-яка термопара K-типу

для одночасного показу як інфрачервоного, так і контактного показу температури.

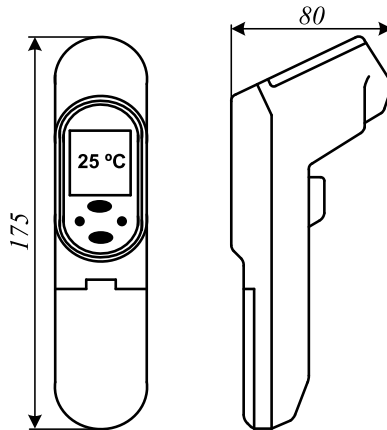


Рис.89. Зовнішній вигляд безконтактного інфрачервоного термометра IR4

Таблиця 22

**Деякі технічні дані
безконтактного інфрачервоного термометра IR4**

Діапазон вимірювання, °C	-70 – +760
Точність	1% від показу або не більше 1 °C
Роздільна здатність, °C	0,1
Час відгуку, с	1
Показник візурування	20:1
Діапазон коефіцієнта випромінювання	за замовчуванням 0,95; налаштування коефіцієнта від 0,05 до 1,00
Додатковий вхід	термопара К-типу
Ресурс батареї 2 AAA	180 годин безперервного використання

9. Енкодери

Енкодером називають давач кута; він є перетворювачем кута повороту обертного об'єкта (вала) в електричні сигнали, які дають змогу визначити цей кут. Своєю чергою, на підставі часу, затраченого на поворот вала від одного певного кута до іншого, можна визначити миттєву частоту обертання вала на цьому відрізку. Таке визначення частоти обертання вала може здійснюватись процесором самого енкодера або відповідним інструментом системи керування диференціюванням кута повороту у часі. Отож, енкодер може бути рівнож давачем частоти обертання.

Енкодери поділяють на *інкрементальні* та *абсолютні*, але без різниці ті чи ті досягають дуже високого розрізнення кута повороту – інкрементальні, зокрема.

Інкрементальний енкодер видає за один оберт певну кількість імпульсів, яку називають розрізненням; воно є основним параметром енкодера і його подають як відношення: імпульс/оберт. Кількість порохованих імпульсів в границях одного оберта, починаючи від нульової точки, є мірою кута повороту. Підрахунок імпульсів є окремим питанням. Абсолютний енкодер у будь-якому положенні вала виробляє цифровий код (Грея, двійковий чи двійково-десятковий), який безпосередньо свідчить про положення вала. Абсолютні енкодери, крім цього, здатні підраховувати і зберігати кількість повних обертів осі.

Енкодери можуть бути фотоелектричні (оптичні), резисторні чи магнітні. Наш підрозділ присвячений вивченню оптичних енкодерів.

Інкрементальний енкодер в принципі є оптичним давачем переміщення, побудованим на двох ґратках, що перекриваються; вони виконують роль модуляції інтенсивності світла (рис.90, а). Випромінювання від еталонного світлодіода спочатку потрапляє на першу стаціонарну ґратку, яка пропускає на другу рухому ґратку лише 50 % світла. Коли непрозорі смужки рухомої ґратки точно збігаються з пропускальними зонами стаціонарної ґратки, шлях для

світла буде повністю перекритим. Така комбінація ґраток дає змогу модулювати інтенсивність світлового жмутка від 0 до 50 % інтенсивності еталонного світлодіода (рис.90, б). Світло, що пройшло через ґратку, фокусується на чутливу поверхню фотодіода (фотосенсора), за допомогою якого перетворюється в електричний сигнал.

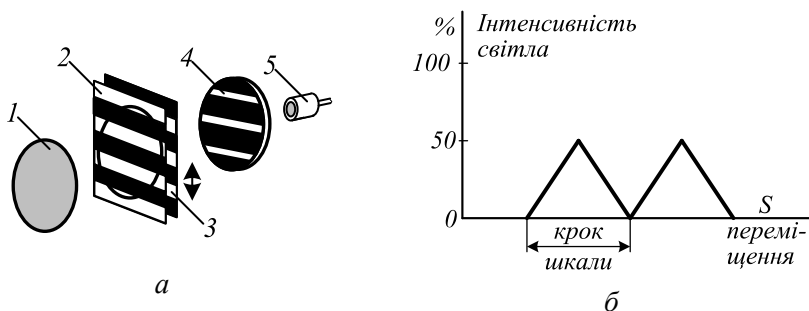


Рис.90. Оптичний давач переміщення,
побудований на двох ґратках, що перекриваються:

а – принцип будови:

1 – еталонна лампа (світлодіод);

2 – стаціонарна ґратка;

3 – рухома ґратка;

4 – лінза;

5 – фотодіод;

б – передавальна функція

Конструктивно у разі обертного (поворотного) інкрементального енкадера як ґратку використовують два диски: рухомий 1, жорстко зв'язаний з валом, і нерухомий 2, прив'язаний до станини (рис.91). Рухомий диск зазвичай виготовляють із багатошарової пластмаси, а непрозорі ланки на ньому формують фотографічним методом. Такий диск має малу вагу та інерційність і невелику ціну, він стійкий до ударів і вібрацій. Нанесені на ньому непрозорі і прозорі ділянки утворюють так звану *растрову шкалу* (лімб) *Р*. Для розширення температурного діапазону диски виготовляють з металу, тоді рисунок на них виготовляють за

A 3D perspective view of the mechanical assembly. It shows two circular plates, 1 and 2, with a central hole. Plate 1 has a gear-like outer edge with teeth 4. Plate 2 has a similar gear-like outer edge with teeth 5. A central shaft 3 passes through the center of both plates. A curved arrow indicates the direction of rotation. Labels 6 and 7 point to the outer edges of the plates. Labels 8 and 9 point to the teeth of the plates. Labels 10 and 11 point to the central hole of the plates. Labels 12 and 13 point to the shaft 3.

- 1 – рухомий диск;
- 2 – нерухомий диск (діафрагма);
- 3 – інфрачервоні світлодіоди для каналів А та В;
- 4 – інфрачервоні світлодіоди для референтної мітки R (нульового сигналу) та опорного сигналу Г;
- 5, 6 – фотодіоди зчитування;
- 7 – конденсор

В енкодерах одностороннього руху достатньо використати лише один оптичний канал, але для визначення напрямку у разі двостороннього руху поруч з вікном A розташовують вікно B , яке утворює другий інформаційний канал.

Вікно B зміщене таким чином, щоб його трикутна інтенсивність світла була зміщеною відносно трикутної інтенсивності вікна A на $1/4$ кроку (рис.92).

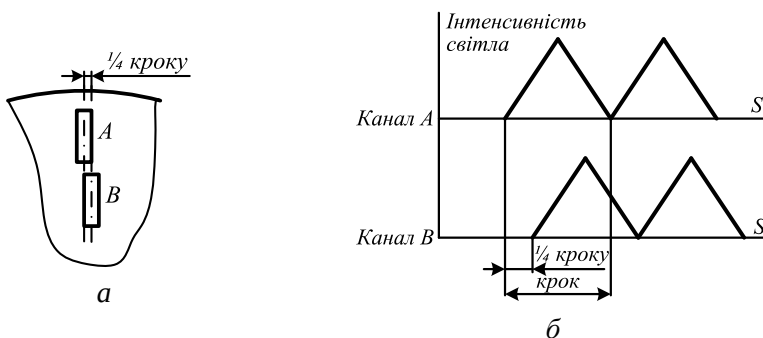


Рис.92: а – розміщення вікон A та B у растрі аналізатора;
б – передавальні функції інформаційних каналів A та B

Для отримання сигналу початку відліку імпульсів на аналізаторі і на лімбі утворюють узгоджені між собою вікна референтної мітки R (нульового сигналу). Обертаючись, рухомий диск дає змогу утворити у каналі R за один оберт один імпульс. З цією ж метою на рухомому диску у ряді растра аналізатора розташовують вікно Γ для створення опорного сигналу.

Світлові потоки після їх первинного перетворення за допомогою фотодіодних зчитувачів в електричні сигнали трикутної форми поступають на плату електричної схеми, яка здійснює подальші перетворення. У простому випадку трикутна напруга каналів перетворюється у прямокутну і подається залежно від конструкції енкодера на виходи A , B або A , B , R (рис.93).

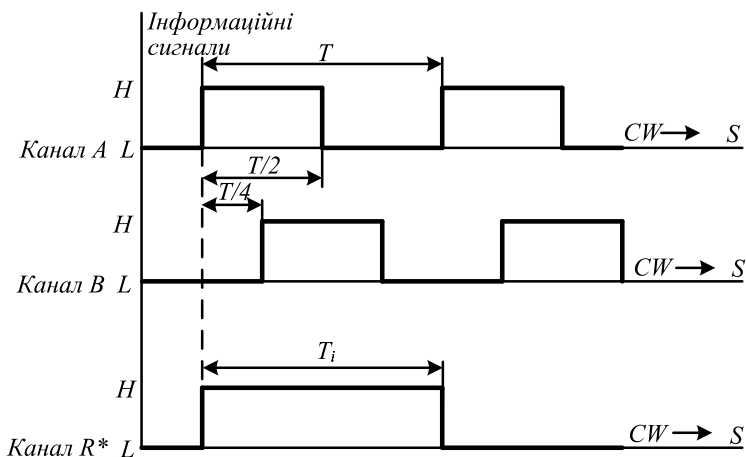


Рис.93. Часові діаграми сигналів:

H – високий рівень (від англ. – hight);

L – низький рівень (від англ. – low);

CW – напрям руху за годинниковою стрілкою=обертання праворуч

*тільки один імпульс за один оберт тривалістю $T_i \leq T$

Щодо визначення напрямку руху, то до уваги береться зсув фаз імпульсів A та B . У разі руху праворуч фаза A випереджує фазу B , а у разі руху ліворуч – навпаки. Аналіз зсуву фаз можна організувати по-різному, але за наявності на ринку дешевих мікроконтролерів (наприклад, Atmega) задача визначення зсуву фаз каналів A та B вирішується просто.

Сьогодні ринок пропонує прецизійні енкодери, серед моделей яких є модель з синусно/косинусними виходами. З цією метою у растрі аналізатора крім вікон A та B створено вікна $\bar{A}$ та $\bar{B}$ (рис.94, а), зміщені функціонально відносно A та B на $1/2$ кроку. Утворені фотодіодами електричні сигнали обробляються, і як результат у каналі A формується синусоїдальний, а в каналі B – косинусоїдальний сигнали (рис.94, б). На підставі цих сигналів сучасні методи обробки інформації дають змогу визначити шляхом координатної інтерполяції проміжні значення кута на одному кроці. У такому разі, наприклад, за наявності 36000 штрихів у растрі лімба

при інтерполяції 1:1024 досягають крок вимірювання наближено $0,00001^\circ$.

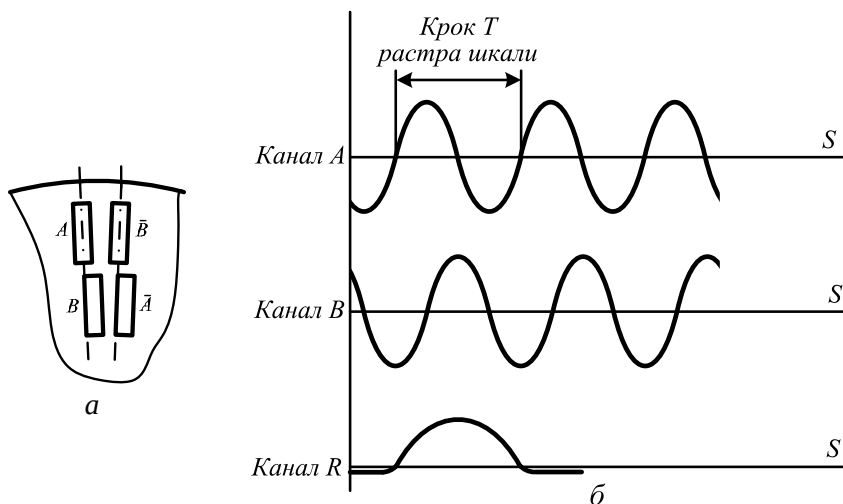
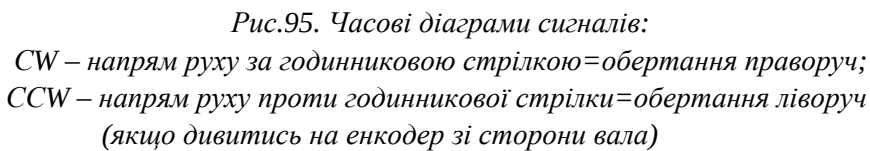


Рис.94: а – розміщення вікон A і B та вікон $\bar{B}$ і $\bar{A}$ у растрі аналізатора;
б – часові діаграми вихідних сигналів

У найпростішому випадку синусно/косинусні сигнали можна перетворити у напруги прямокутної форми U_A та U_B . Зрештою, можна безпосередньо застосувати енкадер з прямокутною формою U_A та U_B . Ці напруги додаються, і як результат руху растрової шкали отримують імпульсну напругу U_Σ (рис.95). Після її диференціювання за допомогою відповідної ланки отримують імпульси для руху праворуч/ліворуч: у разі фронту імпульсу U_Σ дістають додатній імпульс U_i , а при зрізі – від'ємний імпульс U_i .

Аналізуючи часові діаграми напруг U_A , U_B та імпульсів U_i доходимо висновку, що за руху праворуч імпульси U_i збігаються з напругою U_A , а за руху ліворуч – з напругою U_B . Це дає змогу за наявності двох виводів (канал A та канал B) визначити напрям руху: у разі руху праворуч імпульси наявні лише в каналі A , а за руху ліворуч – лише у каналі B .



Застосований метод підвищив розрізняльну здатність енкодера в чотири рази, тобто на один крок растру шкали виробляється чотири імпульси U_i .

Зауважимо, що в літературі можна зустріти таке позначення виводів як A, B, R ; A, B, Z чи A, B, N та синоніми назви енкодер: давач переміщення, давач кутовий, давач повороту, давач кута, давач кутових переміщень, інкрементний енкодер, оптичний енкодер.

Абсолютний енкодер у складі своєї вимірювальної системи містить такі компоненти (рис.96):

- вал (1), змонтований на двох високопрецизійних підшипниках;
- кодовий диск (2), закріплений на валу;
- фотоелектронна зчитувальна матриця (3);
- захисна діафрагма (4);
- джерело інфрачервоних променів (5), які випромінює матриця світлодіодів.

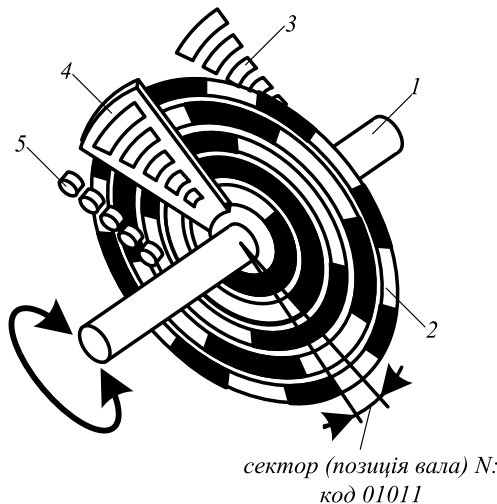


Рис.96. Конструкція обертного абсолютного енкодера:

■ – 0; □ – 1

На кожному кроці кутового положення кодового диска темні ділянки коду запобігають потраплянню світла на ті чи інші фотодіоди фотоелектронної зчитувальної матриці, розміщеної з протилежної сторони кодового диска. Темні та ясні ділянки розташовують на кодовому диску по секторній зоні вздовж радіуса таким чином, щоб чергуванням темних та ясних ділянок відповідало цифровому кодові біжучого кута повороту вала; причому, темна ділянка – це логічний 0, а ясна – логічна 1. Прочитані фотоелектронною матрицею темні та ясні ділянки перетворюються в електричні сигнали, які, своєю чергою, підсилюються і видаються у вигляді цифрового бінарного сигналу.

У табл.23 подано розгорнений диск з двійковим кодом.

Таблиця 23

Розгортка кодового диска з двійковим кодом

Сектор (позиція) №	Вага розрядів у доріжках			Десятковий еквівалент
	4	2	1	
0	■	■	■	0
1	■	■	□	1
2	■	□	■	2
3	■	□	□	3
4	□	■	■	4
5	□	■	□	5
6	□	□	■	6
7	□	□	□	7

Як відомо, кількість двійкових комбінацій m , а отже, кількість позицій вала, визначається кількістю двійкових розрядів і обчислюється за виразом

$$m = 2^n,$$

де m – число комбінацій;

n – кількість розрядів (доріжок).

Отож, розрізнявальна здатність абсолютного енкодера, якою є кількість позицій на оберт визначається кількістю ділянок вздовж радіуса, інакше кількістю доріжок на кодовому диску. Так, у разі 10 доріжок ($n=10$) розрізнявальна здатність абсолютного енкодера дорівнює $m = 2^n = 2^{10} = 1024$ поз/оберт.

Зазначимо, що кількість виводів енкодера відповідає кількості доріжок.

Недоліком цифрового двійкового коду є зміна стану значної кількості розрядів у разі переходу від одної деякої позиції в іншу. Наприклад, при переході від позиції 3 до позиції 4 змінюються всі три розряди: розряд одиниць та розряд двійок – з 1 на 0, а розряд четвірок – з 0 на 1. Зчитування такого коду з кодового диска призвело б до того, що через неминучі відхилення при виготовленні кодового диска зміна інформації від кожної окремої ділянки ніколи не відбудеться одночасно. Це значить, що при переході від одного числа до іншого короткочасно буде видана хибна інформація. Так, при вже згаданому переході від числа 3 до числа 4 дуже ймовірна короткочасна видача числа 7. Використання звичайного двійкового коду може призвести до великих похибок, оскільки дві сусідні кодові комбінації можуть різнитися одна від іншої не в одному, а в декількох розрядах. Цього недоліку позбавлений так званий однокроковий код, наприклад, код Грея.

Код Грея має ту властивість, що при зміні будь-якого числа на одиницю кодова комбінація міняється тільки в одному розряді, тому його й називають однокроковим. Для коду Грея не існує поняття ваги розряду. У табл.24 подано двійковий і відповідно код Грея для чотирьох розрядів, а на рис.97 зображено кодовий диск абсолютного енкодера, побудованого на коді Грея.

Напрям обертання абсолютного енкодера визначають шляхом порівняння величин двох сусідніх кодових комбінацій: якщо у числовому виразі різниця є додатною, то напрямок руху йде за годинниковою стрілкою, якщо від'ємною – то проти годинникової стрілки.

Таблиця 24

Двійковий і відповідно код Грея для чотирьох розрядів

Двійковий код			Код Грея			Десятковий еквівалент
4	2	1				
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1	1
0	1	0	0	1	1	2
0	1	1	0	1	0	3
1	0	0	1	1	0	4
1	0	1	1	1	1	5
1	1	0	1	0	1	6
1	1	1	1	0	0	7

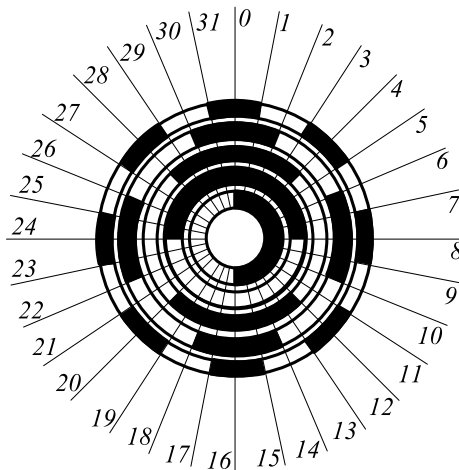


Рис.97. Кодовий диск абсолютного енкодера, побудованого на коді Грея

Характерною рисою абсолютного енкодера є те, що він не втрачає свого значення у разі втрати живлення, воно відновлюється з появою останнього; він не потребує у такому разі повернення в початкову позицію. Крім того, якщо навіть кодований сигнал не може бути прочитаний енкодером, наприклад, у разі надто швидкого обертання вала, правильний кут буде зареєстрований, коли частота обертання зменшиться.

За потреби перетворити код Грея у двійковий код застосовують схему, зображену на рис.98 [8].

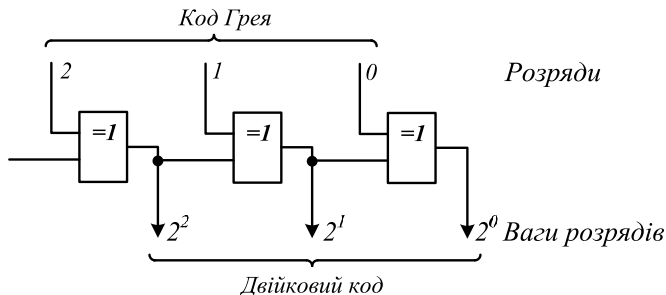


Рис.98. Функціональна логічна схема перетворення коду Грея у двійковий код

Абсолютний енкодер може бути *однооборотним*, який видає абсолютні значення положення вала в границях одного оберта, або *багатооборотним*. В однооборотних енкодерах після одного оберта код є повністю прочитаним і наступне зчитування починається з його початкового значення. У разі лінійного переміщення застосування однооборотних енкодерів є неприйнятним. Лінійне переміщення може вимагати обортових приводів, у яких слід вести підрахунок кількості обертів приводного вала. Таку функцію виконують багатооборотні енкодери, які додатково до вимірювання кута повороту в границях одного оберта реєструють кількість обертів за допомогою додатково вбудованого своєрідного редуктора з декількома кодовими оптичними дисками. Зауважимо, що у разі сукупної роботи однооборотного енкодера з мікроконтролером останній здатний вести підрахунок обертів.

За конструкцією розрізняють енкодери: осьового типу, з порожнистою віссю, з убудованою порожнистою віссю, з нормальним кабельним виводом або кабельним виводом з роз'ємом. На рис.99 для прикладу подано зовнішній вигляд інкрементального енкодера фірми Autronics [20] з нормальним кабельним виводом, а в табл.25 та табл.26 дано його основні технічні характеристики та варіанти схем виходів за вибором.

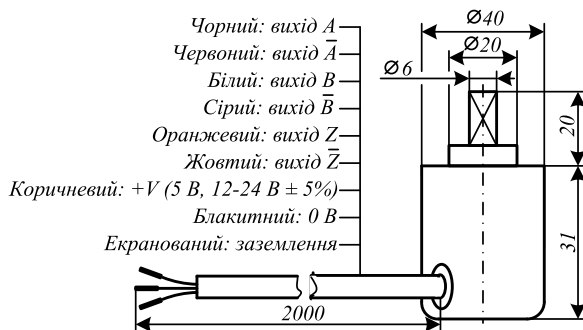


Рис.99. Зовнішній вигляд
інкрементального енкодера E40S фірми Autonics

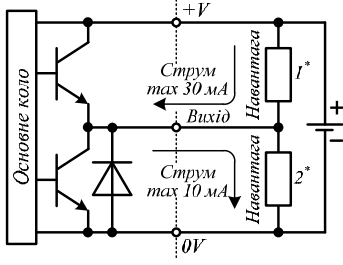
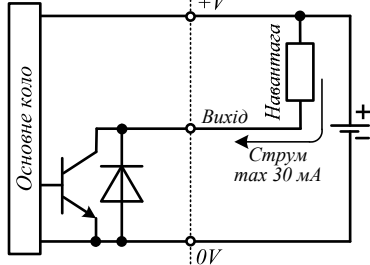
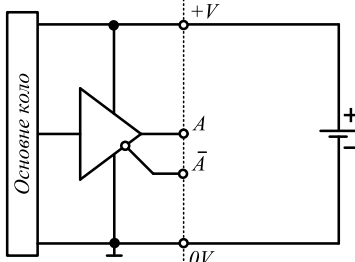
Таблиця 25

Основні технічні характеристики

Тип E40S		Інкрементальний обертний енкодер осьового типу діаметром 40 мм
Розрізнення імпульсів		1, 2, 5, 10, 12, ..., 100, ..., 1000, ..., 2000, ..., 5000
Вихід (на вибір)	Комплементарний (каскадний)	• L Струмове навантаження: max 30 мА, залишкова напруга: max 0,4 В; • Н 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)	• L Струмове навантаження: max 20 мА, залишкова напруга: max 0,5 В • Н 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

***Примітка.** Максимально допустима частота обертання додатково обмежується максимальною частотою відгуку і вона дорівнює $\frac{\text{максимальна частота відгуку}}{\text{розрізнення}} \times 60 [\text{об} / \text{хв}]$.

Варіанти виходів

Комплементарний вихід		Вихід NPN, відкритий колектор	
Коло енкодера	Під'єднання	Коло енкодера	Під'єднання
			
Вихідні фази (на вибір): <i>A, B</i> або <i>A, B, Z</i>		Вихідні фази (на вибір): <i>A, B</i> або <i>A, B, Z</i>	
Комплементарний вихід можна використати як вихід NPN з відкритим колектором (1*) або як вихід за напругою (2*)			
Диференційний вихід			
Коло енкодера	Під'єднання		
			
Вихідні фази (на вибір): <i>A, A̅ ; B, B̅</i> або <i>A, A̅ ; B, B̅ ; Z, Z̅</i>			

Визначення енкодера як давача кута, подане у тексті, є спрощеним, оскільки поруч з обертними енкодерами виготовляють лінійні енкодери, призначені для виміру дистанції між точками A та B . Принцип роботи лінійного енкодера нічим не відрізняється від функціонування обертного енкодера. Різниця полягає у способі формування растрової шкали: в обертного енкодера – це диск, що обертається, а в лінійного – рейка, що рухається (рис.100).

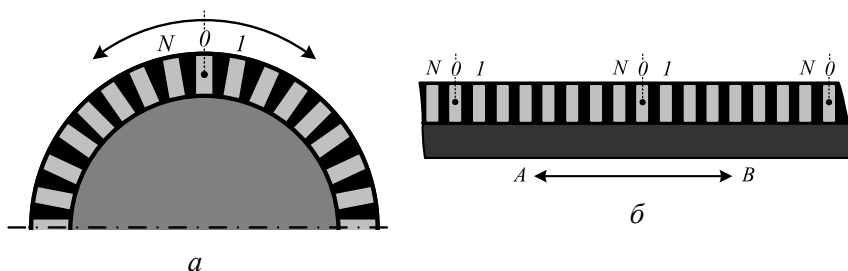


Рис.100. До різниці між обертним та лінійним енкодерами.

Растрові шкали інкрементальних енкодерів:

a – обертного;

b – лінійного

Лінійний енкодер, так як обертний, може бути інкрементальним чи абсолютним.

10. Давачі тиску

Загальні відомості. Великий французький фізик Блез Паскаль у 1647 році провів один дослід: він виміряв висоту ртутного стовпця біля підніжжя гори і на її вершині. При цьому він виявив, що тиск, який діє на стовпець ртуті залежить від висоти підйому. Свій прилад, який він використав у цьому експерименті, Паскаль назвав *барометром*. Звідси і назва барометричний, або атмосферний тиск.

У загальному вигляді, всі матеріали можна розділити на тверді тіла та рідкі середовища. Під терміном рідке середовище тут розуміється все, що здатне текти. Це можуть бути як рідини так і гази, оскільки між ними не існує серйозної різниці. При зміні тиску рідини перетворюються в гази і навпаки, тому поняття „рідини та гази” є умовним.

До рідких середовищ неможливо прикласти тиск ні в якому іншому напрямку, окрім перпендикулярного до поверхні. За будь-якого кута окрім 90° рідина буде просто сповзати або стікати.

Для рідин та газів у стаціонарних умовах тиск це фізична величина, яка чисельно дорівнює силі, що діє на одиницю площі поверхні тіла та діє перпендикулярно до цієї поверхні. Тиск позначають латинською літерою p . За визначенням

$$p = F / S,$$

де F – сила, перпендикулярна до поверхні;

S – площа поверхні, на яку діє сила.

У Міжнародній системі одиниць (СІ) за одиницю тиску прийнятий паскаль: $1\text{Па}=1\text{Н}/\text{м}^2$. Використовуються й позасистемні одиниці: технічна атмосфера ($1\text{ ат}=1\text{ кгс}/\text{см}^2$), фізична атмосфера ($1\text{ атм}=1,033\text{ кгс}/\text{см}^2$), бар ($1\text{ бар}=10^5\text{ Па}$). У системі одиниць США тиск вимірюється у фунт-силі на квадратний дюйм. Ця одиниця позначається як psi ($1\text{ psi}=6,89\cdot 10^3\text{ Па}=0,0703\text{ атм}$).

Співвідношення між основними одиницями тиску наведені у табл.27.

Таблиця 27.

Співвідношення між основними одиницями тиску

	<u>Пас- каль</u> (Па)	<u>Бар</u> (bar, бар)	<u>Технічна атмосфера</u> (at, ат)	<u>Фізична атмосфера</u> (atm, атм)	<u>Міліметр ртутного стовпа</u> (mmHg, мм рт.ст., torr, торр)	<u>Фунт-сила на квад- ратний дюйм</u> (psi)
1 Па (Н/м²)=	1	10 ⁻⁵	0,102 · 10 ⁻⁴	0,987 · 10 ⁻⁵	0,0075	145,04 · 10 ⁻⁶
1 бар=	100000	1	1,02	0,987	750	14,504
1 технічна атмосфера (кгс/см²)=	98100	0,981	1	0,968	736	14,223
1 фізична атмосфера (760 торр)=	101325	1,013	1,033	1	760	14,696
1 торр = 1 мм рт.ст.=	133	0,00133	0,00132	0,00132	1	19,34 · 10 ⁻³
1 psi=	6895,0	68,95 · 10 ⁻³	70,307 · 10 ⁻³	68,046 · 10 ⁻³	51,715	1

Часто виникає необхідність виміряти тиск висотою стовпа h якої-небудь рідини (ртуті, води тощо). Тоді справедливе таке співвідношення:

$$p = h\rho g \quad \text{чи} \quad h = p/(\rho g),$$

де ρ – густина рідини, кг/м^3 ,

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння на Землі.

Тиск атмосферного повітря залежить у кожен визначений час від висоти. У середньому на рівні моря він дорівнює *760 мм рт. ст.* при температурі ртуті 0° С . Ця величина називається *фізичною атмосферою (атм)*, чи *нормальним тиском*.

Перевищення тиску зовнішнього середовища над атмосферним називають *надлишковим тиском*. Зменшення тиску щодо атмосферного називають *розрідженням*. Суму манометричного і атмосферного тисків називають *абсолютним тиском*, що діє на тіло. Для вимірювання надлишкового тиску використовують манометри, а розрідження – вакуумметри.

Застосовувані в техніці прилади для вимірювання тиску – манометри фіксують різницю між абсолютним тиском $p_{\text{абс}}$ у місці вимірювання і зовнішнім атмосферним (барометричним) $p_{\text{бар}}$

тиском, тобто надлишковий тиск $p_{\text{надл}}$ (рис.101). Якщо вимірюваний абсолютний тиск є вищим від барометричного, то

$$p_{\text{надл}} = p_{\text{абс}} - p_{\text{бар}} \quad \text{чи} \quad p_{\text{абс}} = p_{\text{надл}} + p_{\text{бар}}$$

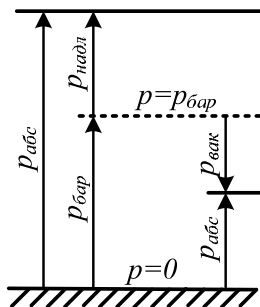


Рис.101. До вимірювання тиску

Надлишковий тиск $p_{\text{надл}}$ інакше називається *манометричним*, або робочим тиском.

Якщо в посудині тиск менший від атмосферного, то має місце розрідження. Різниця між барометричним і абсолютним тиском є не що інше як розрідження, інакше *вакуум*, тобто

$$p_{\text{вак}} = p_{\text{бар}} - p_{\text{абс}} \quad \text{чи} \quad p_{\text{абс}} = p_{\text{бар}} - p_{\text{вак}}$$

Давач тиску це пристрій, фізичні параметри якого змінюються залежно від тиску вимірюваного середовища (рідини, газу, пари). У давачах тиску тиск вимірюваного середовища перетворюється в логічний (дискретний), стандартний аналоговий або цифровий сигнал.

Принцип дії будь-якого давача тиску полягає у первинному перетворенні тиску, який діє на сенсор, в електричний сигнал. У конструкцію практично усіх давачів тиску входять сенсори, які володіють відомою площею поверхні, деформація або переміщення яких під дією тиску визначаються в процесі вимірювань. Тобто багато давачів тиску реалізуються на основі сенсорів елементів переміщення або сили, причиною виникнення якої є також переміщення (складені сенсори).

Загалом давач тиску складається з первинного перетворювача тиску, який містить чутливий елемент і приймач тиску, схеми

вторинної обробки сигналу (актуатора), різних за конструкцією корпусних деталей і пристрою виводу. Основною відмінністю одних давачів від інших є точність реєстрації тиску, яка залежить від принципу перетворення тиску в електричний сигнал: тензорезистивний, п'єзорезистивний, ємнісний, індуктивний, резонансний, іонізаційний тощо.

Давачі тиску класифікуються за:

- типом вимірюваного тиску:
 - абсолютного тиску – призначені для вимірювання величини абсолютного тиску рідких і газоподібних середовищ. Опорним тиском є вакуум. Повітря з внутрішньої порожнини сенсора давача відпомповане. Наприклад, барометр (рис.102, а) – окремий випадок давача абсолютного тиску;
 - надлишкового тиску – призначені для вимірювання величини надлишкового тиску (рис.102, б) рідких і газоподібних середовищ. Опорний тиск – атмосферний, тобто одна сторона мембрани з'єднана з атмосферою;

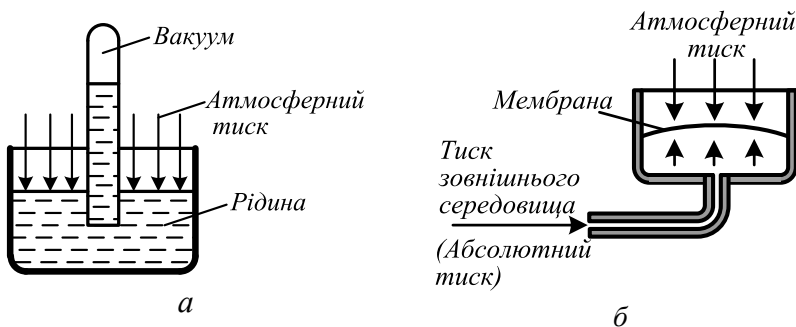


Рис.102. Рідинний барометр – давач атмосферного тиску (а) та вимірювання надлишкового тиску (б)

- диференціального тиску – призначені для вимірювання різниці тиску середовища і використовуються для вимірювання витрати рідин, газу, пари, рівня рідини.

Тиск подається на обидві сторони мембрани (рис.103), а вихідний сигнал залежить від різниці тисків;

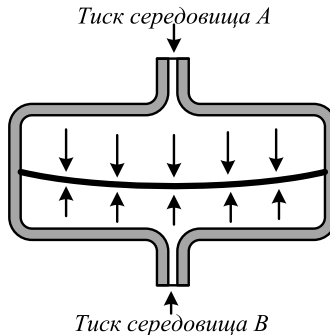


Рис.103. Вимірювання диференціального тиску

- специфікою:
 - гідростатичного тиску (рис.104) – призначені для вимірювання величини гідростатичного тиску контрольованого середовища і перетворюють його в значення рівня. Тиск стовпа рідини залежить тільки від його висоти і від густини самої рідини, але не залежить від форми й об'єму резервуара. Вони можуть бути *надлишковими або диференціальними давачами тиску*, до яких подається тиск середовища і для порівняння інший вхід з'єднується з атмосферою або з областю надлишкового тиску у випадку резервуара під тиском. Давачі гідростатичного тиску застосовуються для вимірювання рівня однорідних рідин у резервуарах без істотного руху рідини і можуть використовуватися для в'язких рідин, суспензій і паст. Конструктивно гідростатичні давачі бувають двох типів: мембранні і заглибні. У першому випадку тензорезистивний або ємнісний сенсор безпосередньо з'єднаний з мембраною і весь давач знаходиться в нижній частині резервуара, при цьому розташування мембрани давача відповідає мінімальному рівневі. У випадку заглибного давача мембрана знаходиться в рідині і

передає тиск на тензорезистивний сенсор через стовп повітря запаятий у трубці, яка підводить повітря. Гідростатичні давачі забезпечують високу точність при невисокій вартості і простоті конструкції;

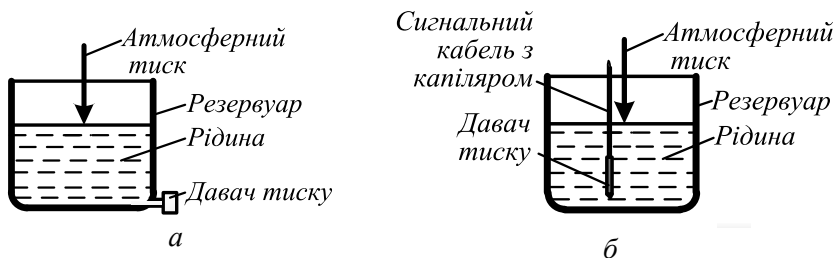


Рис.104. Вимірювання гідростатичного тиску давачем мембранного (а) та заглибного (б) типу

- вакуумметричного тиску (розрідження) (рис.105, а) – призначені для вимірювання величини вакуумметричного тиску. Опорний тиск у цих давачах атмосферний. Однак, на відміну від давачів надлишкового тиску, вимірюваний тиск є меншим від атмосферного, тобто існує розрідження щодо атмосфери;
- надлишкового тиску-розрідження (рис.105, б) – сполучення давачів надлишкового і вакуумметричного тисків, тобто вимірюють як тиск, так і розрідження;

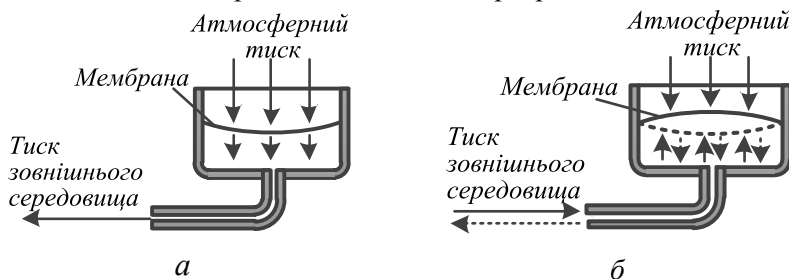


Рис.105. Вимірювання вакуумметричного тиску (а) та надлишкового тиску-розрідження (б)

- конструктивним виконанням:
 - зовнішні давачі тиску;
 - убудовані давачі тиску;
- принципом дії:
 - прямої дії – перетворюють зовнішній вплив безпосередньо в електричний сигнал, використовуючи відповідне фізичне явище;
 - складені давачі тиску – містять декілька перетворювачів зовнішньої дії середовища;
- принципом перетворення тиску в електричний сигнал:
 - тензорезистивні;
 - п'єзорезистивні;
 - ємнісні;
 - резонансні;
 - індуктивні;
 - п'єзоелектричні;
 - іонізаційні тощо;
- номінативним вимірювальним діапазоном:
 - високого і надвисокого тиску ($p > 60 \text{ МПа}$);
 - низького і наднизького тиску ($p < 0,1 \text{ МПа}$);
 - середнього тиску ($0,1 < p < 60 \text{ МПа}$);
- типом вимірюваного середовища:
 - неагресивні гази і рідини;
 - агресивні гази і рідини;
 - харчові середовища;
 - в'язкі середовища;
 - абразивні середовища;
- типом вихідного сигналу:
 - з аналоговим;
 - з цифровим;
 - з логічним.

Механічні сенсори, які входять до складу давачів тиску, є механічними пристроями, що деформуються під дією зовнішнього напруження. Кожен з цих пристроїв перетворює тиск рідини або

газу в силу згідно з законом $F=pS$. Якщо немає механічних обмежень, то чутливий елемент за рахунок своєї пружності буде робити рух, пропорційний прикладеному тиску. Такими пристроями можуть бути сильфони, гофровані діафрагми, мембрани, трубки Бурдона (C -подібні, спіральні і закручені) й інші елементи, форма яких змінюється під дією на них тиску.

На рис.106, *а* зображено *сильфон* (від англ. назви фірми Sylphon) – тонкостінна металева трубка або камера з гофрованою (хвилеподібною) боковою поверхнею. Виготовляють сильфони зі сталі, латуні, фосфористої і берилієвої бронзи. Сильфон перетворює тиск у лінійне переміщення, яке може бути виміряне за допомогою відповідного перетворювача переміщення в електричний сигнал, тобто виконує перший етап перетворень тиску в електричний сигнал. Він володіє відносно великою площею поверхні, що дає можливість одержувати досить істотні переміщення навіть при невеликих тисках. Жорсткість цільного металевго сильфона пропорційна модулю Юнга (характеристиці пружних властивостей ізотропних речовин) і обернено пропорційна зовнішньому діаметру і кількості вигинів на ньому. Вона також зв'язана кубічною залежністю з товщиною стінок сильфона.

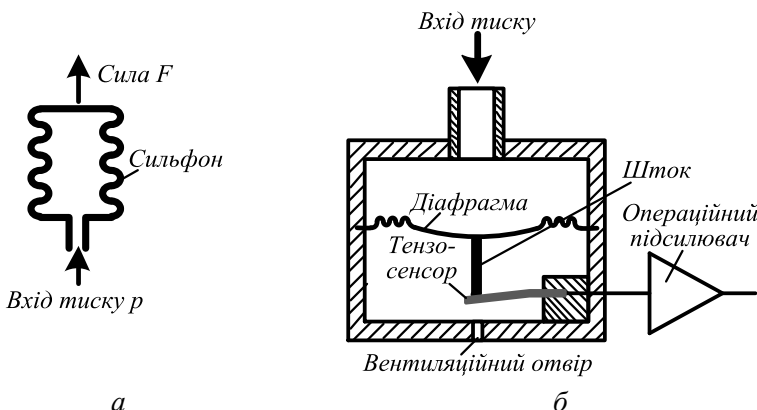


Рис.106: Чутливі елементи давачів тиску:
а – сталевий сильфон;
б – металева гофрована діафрагма

На рис.106, б показана металева гофрована діафрагма, яка застосовується в т. зв. анероїдних (безрідинних) барометрах для перетворення тиску в лінійне відхилення. Діафрагма, яка формує одну зі стінок камери тиску, механічно зв'язана з тензорезистором, який перетворює її відхилення в електричний сигнал.

Мембрана – це тонка діафрагма з радіальним розтягом S (рис.107, а).

Коефіцієнтом жорсткості при згині тут можна знехтувати, оскільки товщина мембрани є набагато меншою від її радіуса (принаймні у 200 разів). Прикладений тиск до однієї зі сторін мембрани сферично вигинає її. При низьких значеннях тиску p відхилення центра мембрани z_{max} є квазілінійною функцією тиску.

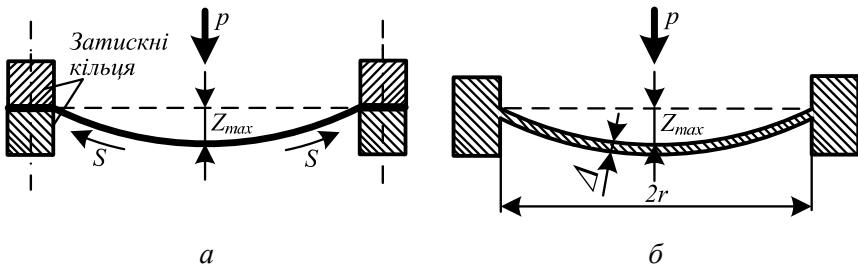


Рис.107. Деформація мембрани (а) і тонкої пластини (б) під дією тиску

При значній товщині мембрани, коли відношення радіуса r до товщини мембрани $\Delta - r/\Delta < 100$, мова вже йде про *тонку пластину* (рис.107, б). Якщо таку пластину закріпити між двома затискними кільцями, у системі появиться значний гістерезис, викликаний силами тертя між кільцями і пластиною. Тому пластину і підтримувальні компоненти краще виготовляти у вигляді монолітної конструкції.

Трубка Бурдона (рис.108) є відрізком прямокутної в перерізі труби, запаяної з однієї сторони і вигнутої по дузі кола. Її виготовляють зі сплавів, що мають пружні властивості. Вироби з таких сплавів після деформації прикладеною до них силою після зняття навантаження приймають попередню форму. Але деформація

не повинна бути більшою, ніж дозволяє коефіцієнт пружної деформації для конкретного сплаву.

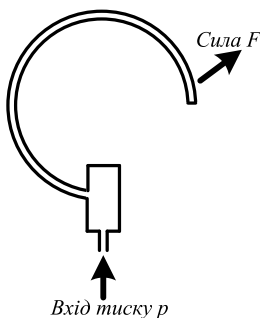


Рис.108. Трубка Бурдона

Тензорезистивні сенсори тиску. Чутливі елементи базуються на принципі зміни опору при деформації тензорезисторів, приклеєних до пружного елемента, який деформується під дією тиску. Усі тензодавачі побудовані на підставі *п'єзорезистивного ефекту*, який розглядається нижче.

Зазвичай при механічній деформації матеріалу його електричний опір змінюється. З одного боку, у деяких випадках цей ефект є причиною виникнення похибок. З іншого боку, на його основі можна реалізувати тензорезистивні сенсори, що реагують на механічне напруження.

На рис.109 зображений циліндричний провід, розтягнутий за допомогою сили F . Об'єм проводу v залишається постійним, тоді як його довжина збільшується, а площа поперечного перерізу зменшується.

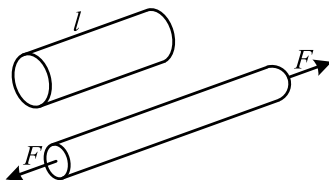


Рис.109. Механічне напруження призводить до зміни геометрії провідника і його опору

Для визначення опору провідника можна скористатися наступною формулою:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{a} = \frac{\rho}{v} \cdot l^2,$$

де ρ – питомий електричний опір матеріалу;
 a – площа поперечного перерізу;
 v – об'єм проводу.

Після диференціювання одержимо вираз для визначення чутливості опору до подовження проводу

$$\frac{dR}{dl} = 2 \frac{\rho}{v} \cdot l.$$

З цього виразу можна зробити висновок, що чутливість підвищується при збільшенні довжини проводу і його питомого опору, а також при зменшенні поперечного перерізу. Отож, деформація проводу, яку позначимо літерою e , змінює лінійно опір проводу, і ця зміна може бути виражена у вигляді

$$\frac{dR}{R} = S_e \cdot e,$$

де S_e – коефіцієнт тензочутливості, або чутливість тензоелемента. Для металевих проводів він лежить у межах 2 – 6, а для напівпровідників – 40 – 200.

Набули поширення дротові і фольгові тензорезистори, що виготовляють із провідників типу манганіну, ніхром, константану, а також напівпровідникові тензорезистори, що виготовляють із кремнію та германію. Опір тензорезисторів, що виготовляють із провідників, становить 30 – 500 Ом, а опір напівпровідникових тензорезисторів від 50 Ом до 10 кОм.

Удосконалювання технології виготовлення напівпровідникових тензорезисторів створило можливість виготовляти тензорезистори безпосередньо на кристалічному елементі, виконаному із кремнію або сапфіру. Елементи кристалічних матеріалів мають пружні властивості, що наближаються до ідеальних. Кремнієві

перетворювачі мають високу часову і температурну стабільність. Для вимірювання тиску чистих неагресивних діелектриків застосовуються вирішення, що базуються на використанні чутливих елементів або без покриття, або з захистом силіконовим гелем. Для вимірювання тиску агресивних середовищ і у більшості промислових застосуваннях використовується перетворювач тиску в герметичному метало-скляному корпусі, з роздільною діафрагмою з нержавіючої сталі, що передає тиск вимірюваного середовища за допомогою кремнійорганічної рідини.

Типова схема під'єднання тензорезистора показана на рис.110. Зазвичай у реальних пристроях тензорезистор наклеюється на пружну діафрагму. Під впливом прикладеного тиску діафрагма деформується, разом з нею деформується і тензорезистор.

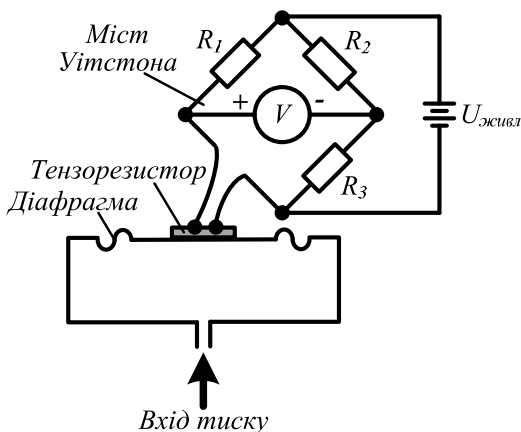


Рис.110. Типова схема під'єднання тензорезистора

Класи точності тензорезистивних датчиків надлишкового тиску, вакууму та різниці тисків 0,6; 1,0; 1,5.

Діапазони вимірювання:

- надлишкового тиску – від $0 - 10^{-3}$ до $0 - 60$ МПа;
- розрідження – $1 - 0$ кПа;
- абсолютного тиску – від $0 - 2,5$ кПа до $0 - 2,5$ МПа;
- різниці тисків – від $0 - 1$ кПа до $0 - 2,5$ МПа.

В табл.28 наведені деякі технічні дані, а на рис.111, *а* показано зовнішній вигляд давача надлишкового тиску ПД100-ДИ0,1М фірми ОВЕН, який використовують для безперервного перетворення значення надлишкового тиску газів і рідин, що некристалізуються (не твердіють), у стандартний електричний сигнал постійного струму 4 – 20 мА. Сфера застосування давача – системи контролю, автоматичного регулювання й обліку в різних галузях промисловості. Робочим середовищем для давача є рідини (у т.ч. технічна вода, оливи, дизельне паливо, мазут), пара, гази, парогазові і газові суміші при тиску, що не перевищує верхню межу вимірювання давача. Чутливим елементом застосовується тензоперетворювач, на якому розміщена тензочутлива напівпровідникова схема з чотирьох тензорезисторів, з'єднаних у відомий міст Уїтстона (рис. 111, *б*). Під дією тиску вимірюваного середовища мембрана чутливого елемента прогинається. Тензорезистори, деформуючись змінюють свій опір. У результаті відбувається розбаланс моста пропорційно вимірюваному тискові. Розбаланс у вигляді електричного сигналу перетворюється електронним блоком, розташованим у корпусі давача, у вихідний стандартний сигнал постійного струму 4 – 20 мА. У тензоперетворювачі є заводська термокомпенсація, що забезпечує відносно високу температурну стабільність його характеристик.

Таблиця 28

Основні технічні характеристики давача тиску ПД100-ДИ0,1М

Верхня межа вимірювання, МПа	0,1
Граничний тиск перевантаження, МПа	0,125
Вихідний сигнал постійного струму, мА	4–20
Вид статичної характеристики перетворення	лінійна, зростаюча
Діапазон температури вимірюваного середовища, °С	(+5 – +70)
Атмосферний тиск, кПа	84–106,7
Діапазон напруги живлення U джерела постійного струму, В	12–36
Опір навантаження R_n (включаючи опір лінії зв'язку), Ом	$0 \leq R_n \leq [(U - 12)/0,02]$

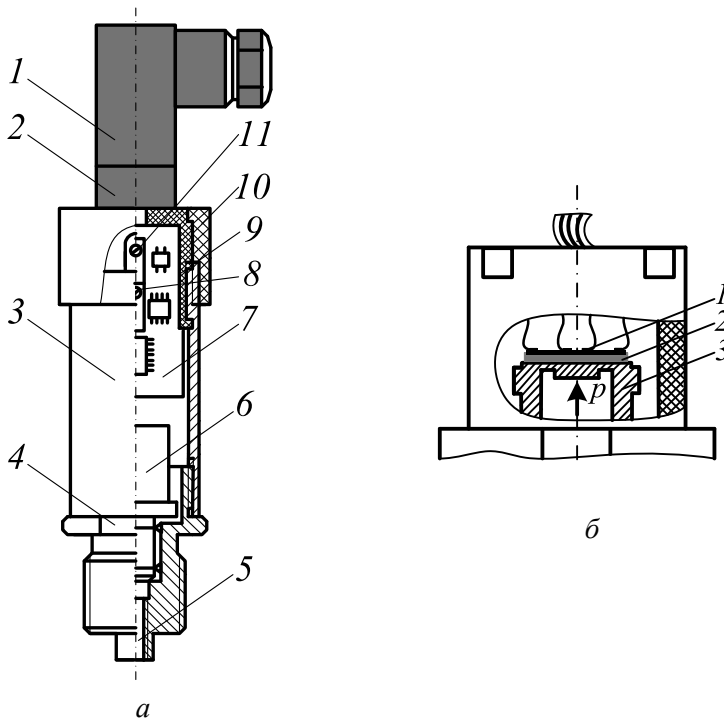


Рис.111. Давач надлишкового тиску ПД100-ДИ:

а – зовнішній вигляд:

- 1 – кабельна частина з'єднувача;
- 2 – приладова частина електричного з'єднувача типу DIN43650C;
- 3 – корпус; 4 – штуцер;
- 5 – вхідний отвір приймальної порожнини штуцера;
- 6 – чутливий елемент; 7 – електронний блок;
- 8 – підстроювальний резистор коректора діапазону;
- 9 – обійма; 10 – накривка;
- 11 – підстроювальний резистор коректора нуля;

б – конструкція сенсора:

- 1 – тензочутлива схема з кремнію – міст Уітстона;
- 2 – сапфірова мембрана;
- 3 – титанова мембрана

Давач під'єднується відповідно до наведеної на рис.112 схеми із урахуванням вимог до опору навантаження. Опір навантаження вибирається в межах від 0 до 1200 Ом і визначається напругою живлення давача за формулою, наведеною в табл.10.1. Рекомендовані робочі значення: $R_n=500\pm50$ Ом за напруги $U_{живл}=24\pm2$ В.

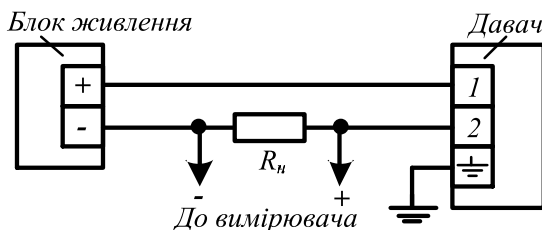


Рис.112. Схема під'єднання давача ПД100-ДИО,1М

П'єзореzystивні сенсори тиску. П'єзореzystивний метод вимірювання тиску заснований на інтегральних чутливих елементах з монокристалічного кремнію. П'єзореzystивний ефект відрізняється від п'єзоелектричного. На відміну від п'єзоелектричного ефекту, під час п'єзореzystивного ефекту змінюється лише електричний опір провідника, але він не породжує електричний потенціал.

Сьогодні в технічній літературі можна зустріти описи як тензореzystивного сенсорів тиску, так і п'єзореzystивного сенсорів тиску, хоча і перші і другі побудовані на підставі явища п'єзореzystивного ефекту. Зазвичай тензореzystивними називають сенсори виготовлені за технологією “кремній на сапфірі” (КНС), а п'єзореzystивними – виготовлені за технологією “кремній на кремнії” (КНК). Крім цього, якщо в перших деформація відбувається за рахунок згину тощо, то в других – внаслідок стискання.

До складу сенсорів тиску з п'єзореzystивним ефектом обов'язково входять два компоненти: пластина (мембрана) відомої площі S і перетворювач, вихідний сигнал якого пропорційний прикладеній силі F ($p=F/S$). Обидва ці елементи можуть бути виготовлені з кремнію. Сенсор тиску з кремнієвою діафрагмою складається із самої діафрагми й убудованих у неї дифузійним

методом п'єзорезистивних перетворювачів у вигляді резисторів (рис.113). Оскільки монокристалічний кремній має дуже добрі характеристики пружності, у такому давачі відсутня повзучість і гістерезис навіть при високому тиску. Коефіцієнт тензочутливості кремнію в багато разів перевищує аналогічний коефіцієнт тонкого металевого провідника. Зазвичай тензорезистори включаються за схемою моста Уїтстона (див. рис.110). Максимальна вихідна напруга таких давачів зазвичай складає декілька сотень мілівольтів, тому на їхньому виході, як правило, ставлять підсилювачі сигналів. Кремнієві резистори мають досить високу температурну чутливість, тому завжди при розробці давачів на їхній основі необхідно передбачати кола температурної компенсації.

Технологія “кремній на кремнії” (КНК) у даний час є найбільш перспективною технологією, тому що пропонує найкраще співвідношення ціна/вихідні параметри. Технологія заснована на виготовленні сенсора з монокристалу кремнію з нанесеним на нього методом дифузії тензорезистивним мостом. Достоїнствами даної технології є висока стабільність, низький гістерезис, висока переважувальна здатність і відносно висока чутливість, а відповідно, і точність перетворення. До недоліків відносяться низький робочий температурний діапазон (до 120 °С) і необхідність захищати чутливий елемент металевою мембраною, що знижує чутливість і збільшує нелінійність перетворення.

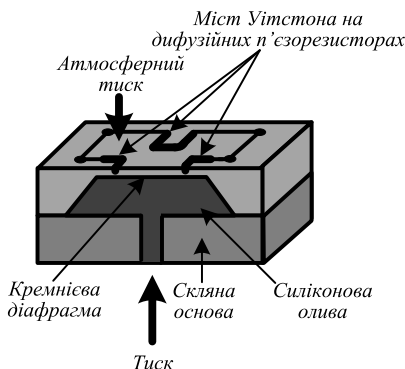
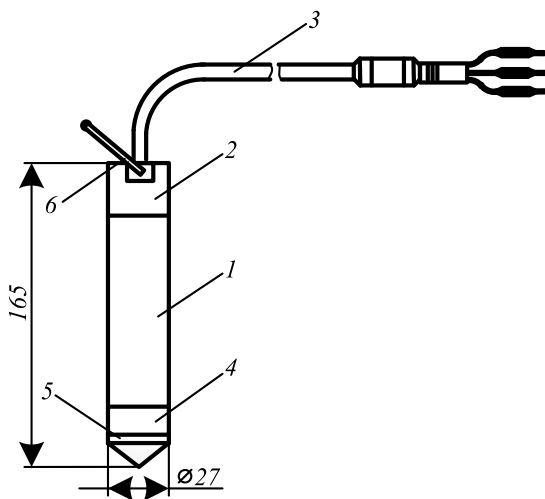


Рис.113. П'єзорезистивний сенсор тиску

На рис.114 показано зовнішній вигляд, а в табл.29 наведені деякі технічні дані давача гідростатичного тиску ОВЕН ПД100-ДГ. Давач поставляється з установленим сигнальним кабелем (зазначеної при замовленні довжини), який містить, крім сигнальних проводів, капіляр для зв'язку з атмосферним тиском. У комплекті з давачем може поставлятися клемна коробка, призначена для підключення перетворювача до вимірювальних ліній. Сенсор давача виготовлений на основі технології КНК.

Давач призначений для безперервного перетворення тиску стовпа рідини, що не кристалізується (не замерзає), в стандартний електричний сигнал постійного струму 4...20 мА.



*Рис.114. Зовнішній вигляд давача гідростатичного тиску
ОВЕН ПД100-ДГ*

Давач складається з корпусу 1, кабельного вводу 2, сигнального кабелю з капіляром 3. Чутливий елемент давача закритий ковпачком 4, риска 5 на ковпачку вказує положення сенсора щодо вістря ковпачка (дна резервуара). Давач кріпиться за допомогою скоби 6.

**Основні технічні характеристики
давача гідростатичного тиску ПД100-ДГ**

Назва	Значення
Діапазон вимірюваного тиску, м. вод. ст.	від 0...1 до 0...250
Вихідний сигнал постійного струму, мА	4–20
Вид статичної характеристики перетворення	лінійна, зростаюча
Діапазон напруги живлення U джерела постійного струму, В	12–36
Опір навантаження R_n (включаючи опір лінії зв'язку), Ом	$0 \leq R_n \leq [(U-12)/0,02]$

Давач під'єднується відповідно до наведеної на рис.115 схеми із урахуванням вимог до опору навантаження. Опір навантаження вибирається в межах від 0 до 1200 Ом і визначається напругою живлення давача за формулою, наведеною в табл.10.1. Рекомендовані робочі значення: $R_n=500\pm50$ Ом за напруги $U_{\text{живл}}=24\pm2$ В.

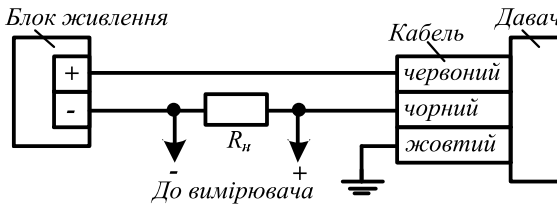


Рис.115. Схема під'єднання давача ПД100-ДГ

Ємнісний сенсор тиску є конденсатором, складеним із двох пластин, розділених діелектриком (рис.116). Ємнісні давачі використовують метод зміни ємності конденсатора при зміні відстані між пластинами. Відомі керамічні або кремнієві ємнісні сенсори тиску і сенсори, виконані з використанням пружної металевої мембрани. При зміні тиску мембрана з електродом деформується і відбувається зміна ємності. В елементі з кераміки або кремнію, простір між пластинами зазвичай заповнено олією або

іншою органічною рідиною. Таку конструкцію сенсора називають одно статорною.

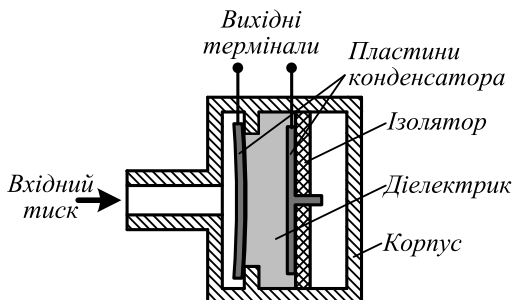


Рис.116. Ємнісний сенсор тиску (одностаторна конструкція)

У двостаторній (диференціальній) конструкції (рис.117) діафрагма переміщується між двома нерухомими пластинами. В одну з двох камер подається опорний тиск, що забезпечує пряме вимірювання диференціального (надмірного або різницевого) тиску з найменшою похибкою.

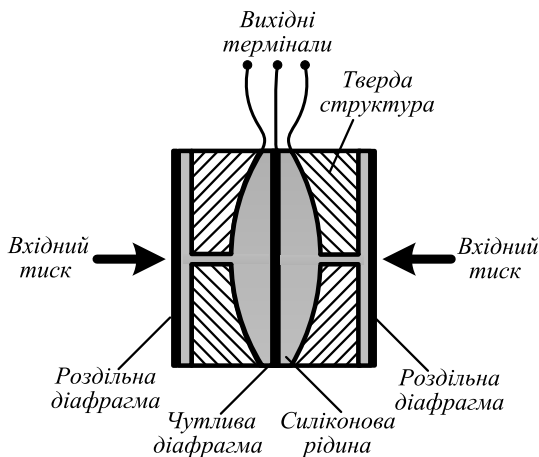


Рис.117. Двостаторна конструкція ємнісного перетворювача тиску

Рідина (зазвичай кремнійорганічна), яка заповнює простір між обкладинками конденсатора, є добрим ефективним діелектриком і виконує функцію передачі тиску від роздільної діафрагми до чутливої діафрагми.

Будь-яка різниця тиску упоперек комірки змусить діафрагму згинатися у напрямі меншого тиску (рис.118). Чутлива діафрагма – виготовлений з високою точністю пружний елемент, зміщення якого – передбачувана функція прикладеної сили. Прикладена сила в цьому випадку є функцією диференціального (різницевого) тиску, що діє перпендикулярно до поверхні діафрагми. Оскільки діафрагма є, по суті, однією з пластин пари конденсаторів, то ємність конденсаторів змінюватиметься при переміщенні діафрагми через зміну відстані між пластинами.

Електронна схема давача тиску, виконаного на основі такого сенсора, подає на сенсор сигнал змінного струму і безперервно вимірює різницю електричних ємностей пари диференціальних конденсаторів, яка є функцією вимірюваного тиску.

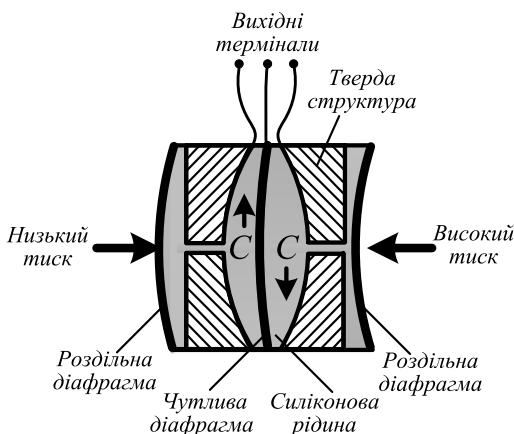


Рис.118. Зміна ємності в двостаторній конструкції ємнісного давача тиску

Перевагою чутливого ємнісного елемента є простота конструкції, висока точність і часова стабільність, можливість вимірювати низькі тиски і слабкий вакуум.

До недоліку можна віднести нелінійну залежність ємності від прикладеного тиску.

Для забезпечення доброї лінійності ємнісних давачів необхідно, щоб діафрагми мали рівну поверхню центральної

частини. Традиційно вважається, що ємнісні давачі мають лінійність тільки тоді, коли переміщення діафрагм є значно меншим від їхньої товщини. Одним зі способів поліпшення лінійності є використання гофрованих діафрагм, виготовлених методами мікротехнологій.

В табл.30 наведені деякі технічні дані давача диференціального тиску ОВЕН ПД200-ДД0,2-155-0,1-2-Н, який призначений для роботи в системах автоматичного контролю, регулювання і керування технологічними процесами. Робоче середовище для давачів – рідини (у тому числі технічна вода), пара, газу, парогазові і газові суміші при тиску, що не перевищує верхню межу вимірювання давача і нейтральні або неагресивні стосовно контактуючих з ними матеріалів давача. Давач з ємнісним сенсором, металевими мембранами з нержавіючої сталі AISI316L (вітчизняний аналог 03X17H14M2), фланцевим під'єднанням і металевим кабельним вводом.

Таблиця 30

**Основні технічні характеристики
давача диференціального тиску ПД200-ДД0,2-155-0,1-2-Н**

Назва	Значення
Верхня межа вимірювання, МПа	0,2
Мінімальна верхня межа вимірювання, МПа	0,002
Максимальна верхня межа вимірювання, МПа	0,2
Граничний тиск перевантаження, МПа	13
Вихідний сигнал двопровідної струмової петлі	4–20 мА постійного струму + HART-протокол
Діапазон напруги живлення U джерела постійного струму, В	12–36
Опір навантаження R_n (включаючи опір лінії зв'язку), Ом	0–1350 Ом для сигналу 4...20 мА; >250 Ом для HART-протоколу
Діапазон допустимої температури вимірюваного середовища, °С	- 40...+100
Діапазон температурної компенсації, °С	- 20...+80
Діапазон температури навколишнього середовища, °С	- 20...+70

Давач дозволяє вимірювати диференціальний тиск. При цьому вимірюваний тиск безперервно перетворюється в стандартний струмовий вихідний сигнал 4–20 мА і цифровий сигнал за протоколом HART. Давач разом з витратомірними шайбами дозволяє вимірювати витрату рідких і газоподібних середовищ. Так само надає можливість вимірювати рівень рідини в резервуарах під тиском.

Структурно давач складається з вимірювального й обчислювального блоків (рис.119). Вимірювальний блок розташовується у входній частині давача і призначений для перетворення вимірюваного тиску в електричний сигнал (P/U) за допомогою убудованого ємнісного сенсора. Вимірювальний блок містить також термодавач (T/U) для визначення температури сенсора. Сигнали від вимірювального блоку надходять в обчислювальний блок. Обчислювальний блок має у своєму складі аналого-цифровий перетворювач (АЦП), мікроконтролер (МК), стабілізатор напруги живлення (DC/DC) і формувач вихідного сигналу (ЦАП з вихідним струмовим сигналом і HART-модем).

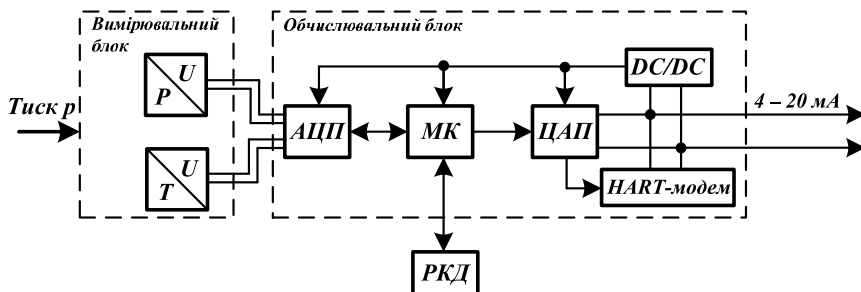


Рис.119. Структурна схема давача з вихідним струмовим сигналом і HART-модемом

Отриманий від вимірювального блоку електричний сигнал перетворюється за допомогою АЦП у цифровий, який обробляється мікроконтролером і надходить на вихід давача та на індикацію.

Давач поставляється або без індикації, або з РК-дисплеєм (РКД) і трикнопковою клавіатурою (рис.120). Кнопки й дисплей

дозволяють на місці експлуатації виконувати часткове налаштування давача, здійснювати установку „нуля” і „діапазону” давача без використання додаткових пристроїв.

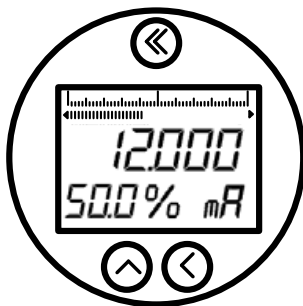


Рис.120. РК-дисплей давача ОВЕН ПД200-ДД1,0-155-0,1-2-Н

На лицьовій панелі обчислювального блоку розташовані елементи управління і індикації:

- РК-дисплей з підсвічуванням для відображення вимірюваних величин;
- кнопка, призначена для входу в меню редагування параметрів приладу вибору параметра і запису відредагованого значення;
- кнопка, призначена для зміни значення редагованого параметра і вибору позиції редагованої цифри;
- кнопка, призначена для збільшення значення редагованої цифри.

РК-дисплей в режимі вимірювання тиску відображає:

- величину вимірюваного тиску в цифровому вигляді, у встановлених при налаштуванні одиницях вимірювання;
- одиниці вимірювання (мА, Па, кПа, МПа або величину вимірюваного тиску у відсотках від верхньої межі вимірювання);
- лінійну шкалу з індикацією вимірюного тиску відносно верхньої межі вимірювання.

Давач з цифровим вихідним сигналом HART-протоколу має можливість передавати інформацію про вимірювану величину в цифровому вигляді по двопровідній лінії зв'язку разом із сигналом постійного струму 4–20 мА. Цей цифровий сигнал може прийматися й оброблятися будь-яким пристроєм, що підтримує протокол HART (наприклад, HART-комунікатором або ПК із HART-модемом).

HART-протокол опирається на метод передачі даних за допомогою частотної модуляції відповідно до комунікаційного стандарту Bell202. Цифрова інформація передається частотами 1200 Гц (логічна одиниця) і 2200 Гц (логічний нуль), які накладаються на аналоговий струмний сигнал (рис.121).

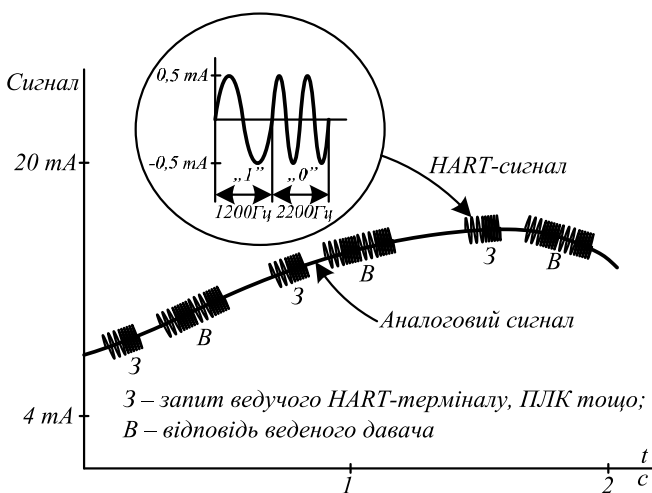


Рис.121. Принцип обміну даними за HART-протоколом

Наявність HART-модемів, які функціонують за HART-протоколом, пов'язана з потребою спростити структуру давачів із вбудованою мікропроцесорною системою. При такому підході давач стає, фактично, складеним. Первинний давач об'єднує сенсор і вторинний перетворювач, у ролі якого виступає мікропроцесор давача. У такому вигляді давач набуває інтелектуальних рис і виконує ряд додаткових функцій, формуючи зазвичай стандартний аналоговий або цифровий сигнал.

Сучасні автоматизовані системи керування технологічними процесами вимагають і аналогового, і цифрового сигналів одночасно. Покладання цих функцій на давач призводить до значного зростання вартості давача. Крім цього, у разі кодування цифрового сигналу високим („1”) та низьким („0”) рівнями потрібно чотири проводи для зв'язку: два для аналогового і два для цифрового коду. З метою зменшення числа проводів прийнято стандарт цифрового кодування Bell202, за допомогою якого і аналоговий, і частотно кодований цифровий сигнали передаються лише по двох провідниках. Отож, HART-модулі перебирають на себе функцію частотної модуляції і виступають як вторинні блоки давача, працюючи сукупно з первинним давачем, а за потреби і з комп'ютером. Зазначимо, що розділення шляхом фільтрації аналогового і цифрового сигналів у разі кодування числа частотною модуляцією не складає труднощів.

Давач і HART-модем можуть бути віддалені один від одного на значну віддаль завдяки добре налаштованому послідовному зв'язку. Цей зв'язок виникає по тих самих двох проводах, які вже використовуються для з'єднання первинного давача з системою керування у центральній кімнаті керування. „Інтелектуальні” первинні давачі з HART-протоколом дають змогу аналоговим і цифровим сигналам існувати в одній і тій же парі проводів, не псує аналоговий сигнал.

HART-інтерфейс – це робота в режимі „ведучий–ведений” (master-slave), при цьому перетворювачі виступають веденими (slave). Відповідно, необхідна наявність у мережі ведучих (master), якими може бути ПК або пристрій високого рівня, наприклад, ПЛК.

Зовнішній вигляд, габаритні та приєднувальні розміри давача тиску ОВЕН ПД200-ДД1,0-155-0,1-2-Н показані на рис.122.

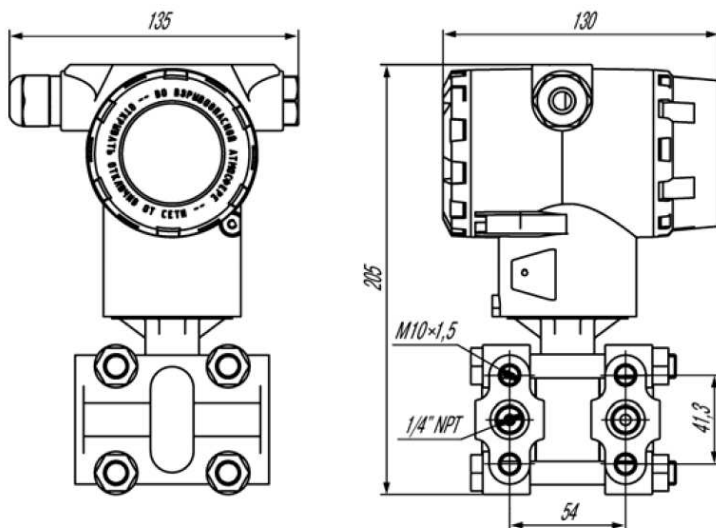


Рис.122. Зовнішній вигляд, габаритні та присьднувальні розміри
давача тиску ОВЕН ПД200-ДД1,0-155-0,1-2-Н

Давач під'єднується відповідно до наведеної на рис.123 схеми із урахуванням вимог до опору навантаження. Опір навантаження вибирається в межах від 0 до 1200 Ом і визначається напругою живлення давача. Рекомендовані робочі значення: $R_n=500\pm50$ Ом за напруги $U_{живл}=24\pm2$ В.

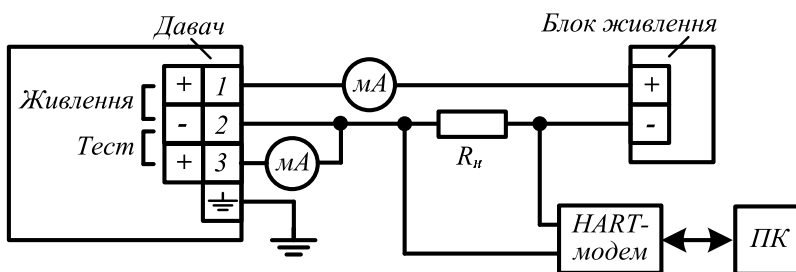


Рис.123. Схема під'єднання давача ПД200-ДД1,0-155-0,1-2-Н

Індуктивні сенсори тиску. При вимірюванні низьких тисків переміщення тонкої пластини або діафрагми може бути невеликим. Фактично, воно може бути таким маленьким, що тензометричний

давач, прикріплений до діафрагми або убудований у неї, буде видавати дуже низький вихідний сигнал, недостатній для наступного його оброблення. Один з можливих способів вирішення цієї проблеми – використання ємнісного давача, у якому, як було сказано, відхилення діафрагми вимірюється за її положенням щодо опорної пластини, а не за напруженням усередині матеріалу. Іншим способом вирішення проблеми вимірювання дуже низьких тисків є застосування індуктивних давачів. Індуктивні давачі вимірюють зміну магнітного опору трансформатора, викликаного переміщенням магнітної діафрагми, що виникає внаслідок впливу на неї зовнішнього тиску. На рис.124 проілюстрована основна ідея модуляції магнітного потоку. Конструкція складається з Е-подібного осердя і котушки. Силові лінії магнітного потоку проходять через осердя, повітряний проміжок і діафрагму. Магнітна проникність матеріалу осердя принаймні в 1000 разів вища від проникності повітряного проміжку, тому його магнітний опір завжди є меншим від опору повітря. У зв'язку з цим величина індуктивності всієї цієї конструкції визначається величиною проміжку. При відхиленні діафрагми величина повітряного проміжку або збільшується, або зменшується залежно від напрямку переміщення, яке викликає модуляцію індуктивності.

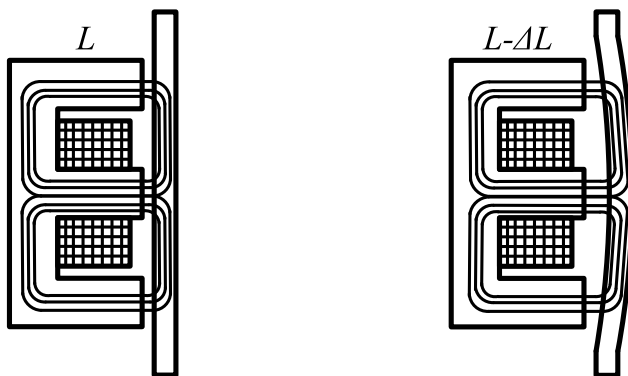
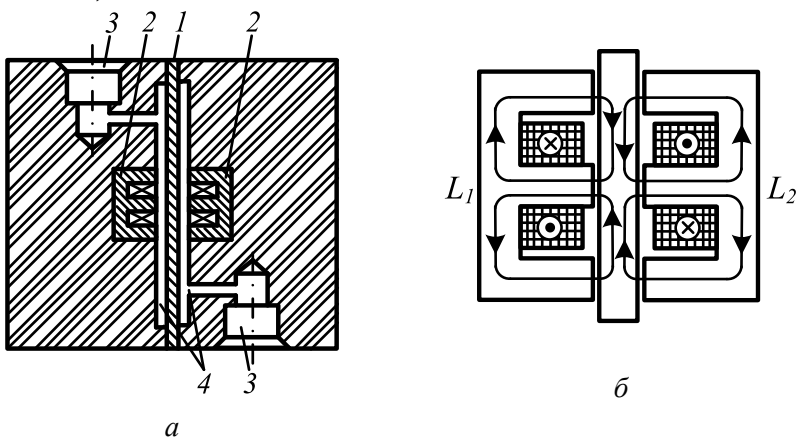


Рис.124. Принцип дії індуктивного сенсора для вимірювання тиску

На рис.125, *а* показана конструкція індуктивного сенсора тиску, у якому між двома половинами корпусу, які складаються з котушки і Е-подібного осердя, розташовується магнітнопроникна діафрагма. Котушки покриті спеціальним складом, що забезпечує міцність системи навіть при впливі дуже високих тисків. З двох сторін діафрагми сформовані вузькі робочі камери, з'єднані з вхідними портами подачі тиску. Робочий діапазон давача визначається товщиною діафрагми, однак повне відхилення діафрагми рідко перевищує 25–30 мкм, тому такі перетворювачі, в основному, застосовуються для вимірювання низьких тисків. Невеликі поперечні розміри робочих камер фізично захищають мембрану від надмірного відхилення в умовах надлишкового тиску, тому індуктивні давачі є досить надійними пристроями. Під час проходження змінного струму збудження виникає магнітний потік, який охоплює обидва осердя, повітряні проміжки і діафрагму (рис.125, *б*).



*Рис.125. Індуктивний диференціальний сенсор для вимірювання низького тиску:
а – загальний вигляд конструкції:
1 – мембрана; 2 – Е-подібні осердя;
3 – порти вводу тиску; 4 – робоча камера;
б – будова Е-подібних осердь з котушками*

Ці два осердя з котушками є активними складовими імпедансами Z_1 і Z_2 моста Уїтстона, два інші пасивні імпеданси – Z_3 та Z_4 на рис.125, б не показані.

Зупинимось коротко на основних властивостях моста Уїтстона, заступна схема якого зображена на рис.126 [9].

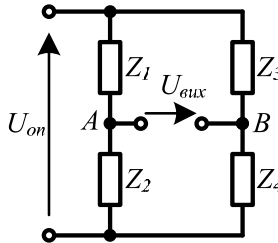


Рис.126. Заступна схема моста Уїтстона:

U_{on} – опорна напруга;

$U_{вих}$ – вимірювана вихідна напруга

Як видно зі схеми, вихідна напруга $U_{вих}$ дорівнює різниці потенціалів точок A та B , тобто

$$U_{вих} = U_A - U_B.$$

Якщо $Z_1/Z_2 = Z_3/Z_4$, то, виходячи з поняття подільника напруги, потенціал точки A дорівнює потенціалу точки B і вихідна напруга дорівнює нулю

$$U_{вих} = U_A - U_B = 0.$$

Імпеданси Z можуть бути як активними, так і реактивними, тобто вони можуть бути і звичайними резисторами, як у випадку тензо- чи п'єзорезистивних сенсорів, і конденсаторами, і індукторами (реакторами). Для резисторів імпеданс завжди дорівнює R , для ідеального конденсатора $Z = 1/(2\pi fC)$, а для індуктора $Z = 2\pi fL$.

Вихідна напруга $U_{вих}$ дорівнює:

$$U_{вих} = \left(\frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} - \frac{Z_3}{Z_3 + Z_4} \right) U_{on}.$$

Міст, у якого $Z_1/Z_2 = Z_3/Z_4$ називають збалансованим. При зміні імпеданса у будь-якому плечі моста він виходить зі стану рівноваги,

і залежно від того збільшується або зменшується цей імпеданс, на виході появляється або додатна, або від'ємна напруга.

Для визначення чутливості вихідної напруги до зміни імпедансу кожного плеча моста (т.зв. калібрувальні коефіцієнти) потрібно знайти відповідні частинні похідні від виразу $U_{вих}=f(U_{on}, Z_1, Z_2, Z_3, Z_4)$

$$\frac{\partial U_{вих}}{\partial Z_1}, \frac{\partial U_{вих}}{\partial Z_2}, \frac{\partial U_{вих}}{\partial Z_3} \text{ та } \frac{\partial U_{вих}}{\partial Z_4}.$$

Після додавання отриманих рівнянь, дістанемо вираз для чутливості моста

$$\frac{\Delta U_{вих}}{U_{on}} = \frac{Z_2 \cdot \Delta Z_1 - Z_1 \cdot \Delta Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} - \frac{Z_4 \cdot \Delta Z_3 - Z_3 \cdot \Delta Z_4}{(Z_3 + Z_4)^2}.$$

Якщо одне із двох плеч моста є пасивним, що має місце у нашому випадку, тоді $\Delta Z_3 = \Delta Z_4 = 0$, і вираз для визначення приросту вихідної величини приймає вигляд

$$\frac{\Delta U_{вих}}{U_{on}} = \frac{Z_1 \cdot \Delta Z_2 - Z_2 \cdot \Delta Z_1}{(Z_1 + Z_2)^2}.$$

Під час вимірювання тисків можливі два випадки: $p_1 > p_2$, тоді $\Delta Z_1 < 0$, $\Delta Z_2 > 0$, і $p_1 < p_2$, що дає $\Delta Z_1 > 0$, $\Delta Z_2 < 0$. Це призводить до відповідного приросту вихідної напруги $U_{вих}$. Знак цього приросту свідчить про те, який із двох тисків є більшим – p_1 чи p_2 .

У промисловості широко застосовують *врівноважені* і *неврівноважені* мости. Врівноважені мости (найбільш точні) в основі своєї роботи використовують нульовий метод. Неврівноважені мости (менш точні) – вимірювану величину визначають за величиною вихідної напруги $U_{вих}$.

Коли на діафрагму діє диференціальний тиск, вона відхиляється в ту чи іншу сторону, що призводить до пропорційної зміни магнітного опору двох повітряних проміжків. Навіть невеликий тиск на діафрагму призводить до значної зміни вихідного сигналу, який набагато перевищує рівень шуму.

Вихідний сигнал індуктивного давача пропорційний магнітному опору плечей індуктивного моста Уїтстона, у якому

активними елементами є індуктивні опори X_1 та X_2 . Індуктивність котушки визначається її геометрією і кількістю витків. Якщо в зону дії магнітного потоку помістити матеріал, який володіє магнітною проникністю (має низький магнітний опір), частина потоку піде туди, що призведе до зміни власної індуктивності котушки. Індуктивність кола, а отже, і її реактивний опір, обернено пропорційний магнітному опорі, тому справедливий наступний вираз: $X_1, X_2 = k/\delta$, де k – константа, а δ – величина проміжку. При збудженні мостової схеми височастотним сигналом її вихідний сигнал модулюється за амплітудою прикладеного тиску. Амплітуда результуючого сигналу пропорційна розбалансові моста, а його фаза відповідає напрямкові цього розбалансу (йдеться про невірноважений міст Уітстона). На виході такого сенсора іноді ставлять демодулятор для одержання не змінної, а постійної вихідної напруги.

Резонансні давачі тиску. Резонансний принцип використовується в давачах тиску, побудованих на підставі вібруючого циліндра, кварцового резонатора, струнних сенсорів тощо. В основі методу лежать хвильові процеси: механічні та електромагнітні. Давачі, побудовані на таких сенсорах, відзначаються високою точністю, стабільністю вихідних характеристик, є надійними і довговічними.

Характерним прикладом давача, який відповідає названим вимогам, є резонансний давач тиску, в якого чутливим елементом сенсора є кварцовий резонатор.

Кварцовий резонатор є своєрідним тілом, яке поєднує у собі механічні та електричні властивості. Маса та пружність кварцового резонатора визначають його резонансну механічну частоту коливань, а середовище призводить до втрати енергії і згасання коливань. Проте, резонансне коливання кварцу можна підтримувати, якщо до затискачів кварцового резонатора подавати електричні імпульси, частота яких дорівнює резонансній частоті кварцу. На рис.127, а подано умовне графічне позначення та літерний код

кварцового резонатора, а на рис.127, б зображено його електричну заступну схему [8].

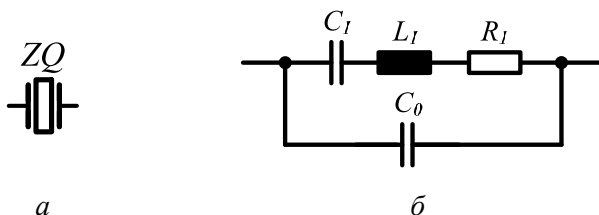


Рис.127. Умовне графічне позначення, літерний код (а) та електрична заступна схема кварцового резонатора (б)

Величини C_1 та L_1 визначаються механічними властивостями кварцової пластини, а R_1 є відносно невеликим опором, який характеризує згасання механічних коливань. Величина ємності C_0 визначається електродами резонатора і ємністю підвідних проводів.

Належить відзначити, що елементи L_1 , C_1 , R_1 фізично не існують, вони є аналогами механічних характеристик: маси (L_1), пружних властивостей (C_1) та втрат енергії (R_1).

Із заступної схеми випливає, що на її підставі можна організувати два види електричного резонансу – резонанс напруг, інакше послідовний резонанс і резонанс струмів, або паралельний резонанс.

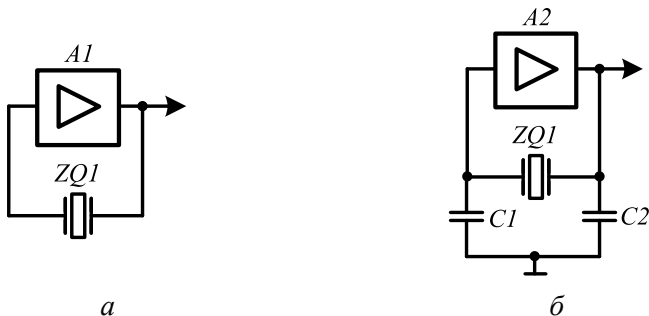
У практиці побудови резонансних давачів тиску, як правило, застосовують резонанс напруг. У разі такого резонансу спади напруг на індуктивному X_L та ємнісному X_C реактансах є рівними і перебувають у протифазі, тобто взаємно компенсуються, а прикладена до ланки напруга врівноважується лише спадом напруги на активному опорі R . Оскільки опір R є відносно дуже малим, то практично можна вважати, що послідовний резонанс відповідає режимові мінімального, а практично нульового опору. Так, для 4 МГц-кварцу у разі резонансу його параметри є такими:

$$X_L = X_C = 2\pi fL = 1/(2\pi fC) = 2,5 \text{ МОм};$$

$$R = 100 \text{ Ом}; R \ll X_L, X_C.$$

За таких умов послідовний контур відзначається високою добротністю.

На підставі кварцового резонатора можна побудувати дві схеми стабілізованих генераторів (рис.128): з послідовним резонансом (а) та з паралельним резонансом (б).



*Рис.128. Схеми стабілізованих генераторів
 а – генератор з послідовним резонансом;
 б – генератор з паралельним резонансом*

Послідовний резонанс забезпечує вузьку смугу пропускання, фільтруючи гармоніки, що й зумовило його застосування у резонансних давачах тиску.

Принцип будови сенсора резонансного давача тиску, у якого чутливим елементом є кварцовий резонатор, зображено на рис.129.

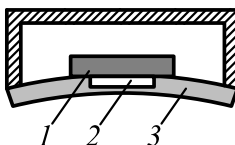


Рис.129. Спрощений вигляд резонансного сенсора при використанні кварцового резонатора:

1 – кварцовий резонатор; 2 – вакуум; 3 – мембрана

Під час прогинання мембрани кристал кварцу деформується. При цьому змінюються його параметри. Мікропроцесорна система керування давача відслідковує зміну імпедансу кварцу, і змінює параметри L та C генератора таким чином, щоб частота генератора

відповідала резонансній частоті кварцового резонатора. Про такий стан свідчить мінімальний опір кварцу. На підставі резонансної частоти, що встановилась, мікропроцесор виробляє стандартний аналоговий сигнал, який відповідає вимірюваному тиску. Структурна схема резонансного давача тиску у разі використання кварцового резонатора зображена на рис.130.

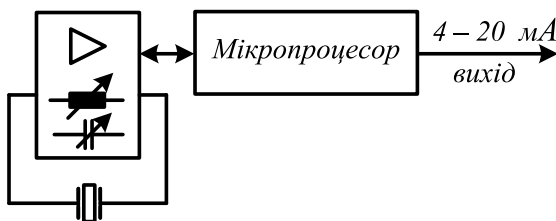


Рис.130. Структурна електрична схема інтелектуального резонансного давача тиску у разі використання кварцового резонатора

Давачі, які містять у собі мікропроцесори, дістали назву „інтелектуальні”. Зазвичай це додає нові функціональні можливості, яких не було в аналогічних давачах без мікропроцесора. Наприклад, інтелектуальний давач може давати більш точні покази завдяки застосуванню числових обчислень для компенсації нелінійності чутливих елементів чи температурної залежності; він дає змогу здійснювати налаштування на інший діапазон вимірів, здійснювати само діагностування тощо.

П'єзоелектричний давач тиску є ще одним прикладом використання п'єзоелектричних елементів у практиці побудови давачів. Все, що стосується явища п'єзоефекту – виготовлення та особливостей використання п'єзоелектричних чутливих елементів у сенсорах ультразвукових давачів, описаних вище, цілком відноситься і до чутливих елементів п'єзоелектричних сенсорів у давачах тиску. Зрештою, кварцовий резонатор є також п'єзоелектриком, що використовується у специфічний спосіб.

Одним із варіантів конструкції п'єзоелектричного давача тиску зображений на рис.131. Під дією вимірюваного тиску на

зовнішній і внутрішній сторонах пари пластин п'єзоелектрика виникають електричні заряди, причому сумарна ЕРС (електрорушійна сила) між виводом і корпусом змінюється пропорційно тиску.

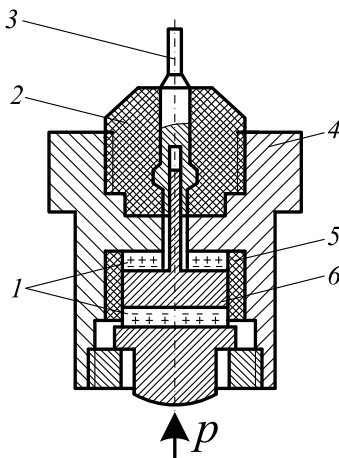


Рис.131. Схема п'єзоелектричного сенсора тиску:

p – вимірюваний тиск;

1 – п'єзопластини; 2 – гайка з діелектрика;

3 – електричний вивід;

4 – корпус (служить другим виводом);

5 – ізолятор; 6 – металевий електрод

П'єзоелектричні давачі тиску доцільно застосовувати при вимірюванні швидкозмінного тиску; якщо тиск змінюється повільно, то зростає похибка перетворення через “стікання” електричного заряду з пластин на корпус. Вмиканням додаткового конденсатора паралельно до п'єзоелектричного давача можна зменшити похибку вимірювання, проте при цьому зменшується напруга на виводах давача. Основні переваги п'єзоелектричних давачів тиску – їх високі динамічні характеристики і здатність сприймати коливання тиску з частотою від десятків Гц до десятків МГц. Застосовуються при тензометричних вимірюваннях, у вагових і сортувальних (за вагою) пристроях, при вимірюваннях вібрацій і деформацій тощо.

11. Контрольні запитання

1. Дати визначення, що таке давач.
2. Як виглядає структурна схема давача і як її інтерпретують у промисловості?
3. Які є принципи організації вихідних перетворювачів давачів?
4. Яка різниця між активним і пасивним сенсором?
5. Чим відрізняється відносний давач від абсолютного? Дати приклад.
6. Як виглядає структурна схема керувального комплексу, який показує роль давачів у системі збору даних.
7. Поняття про класифікацію давачів.
8. Яка різниця між контактними і безконтактними давачами? Дати приклад.
9. Які Ви знаєте безконтактні давачі – позиційні вимикачі залежно від фізичного явища, покладеного у принцип їх роботи?
10. Як виглядає структурна схема індуктивного давача наближення? Принцип його дії.
11. Що Ви знаєте про структуру виходу безконтактних давачів – позиційних вимикачів?
12. Як виглядає умовне графічне позначення безконтактного давача – позиційного вимикача?
13. Що Ви знаєте про захист напівпровідникових вихідних ключів давачів від перенапруг?
14. Принцип дії ємнісного давача наближення; структурна схема.
15. Які Ви знаєте сфери застосування ємнісних давачів – позиційних вимикачів?
16. Фотоелектричні давачі – позиційні вимикачі. Які їхні переваги? Будова і принцип дії.
17. Поняття про явище фотоефекту та фотогальванічного ефекту, а також про явище поляризації світла.

18. На які типи поділяються фотодавачі залежно від методу виявлення об'єкта?

19. Дайте приклад застосування фотодавачів.

20. Поясніть явище п'єзоелектричного ефекту (пряме та зворотнє).

21. Як виглядає структурна схема ультразвукового давача? Дайте приклади застосування ультразвукових давачів.

22. Що таке передавальна характеристика давача переміщення з аналоговим виходом? Поняття про точність вимірів.

23. Якою є будова магніточутливих безконтактних давачів-герконів?

24. Що таке "ефект Холла"? Опишіть принцип дії сенсора Холла.

25. Нарисуйте структурну схему давача Холла як давача наближення.

26. Що таке котушка, або пояс Роговського? Її призначення і принцип дії.

27. Які Ви знаєте типи чутливих елементів, що їх використовують для побудови сенсорів контактних давачів температури?

28. Що таке номінальна статична характеристика (НСХ) сенсора температури?

29. Які типи термісторів Ви знаєте? Вигляд їх типової НСХ. Сфера застосування.

30. Який принцип дії термопар?

31. Що Ви знаєте про правила під'єднання вимірювального пристрою до термопар?

32. Поняття про теплове випромінювання тіла. Дайте пояснення закону зміщення Віна.

33. Як записується формула Стефана-Больцмана для будь-якого об'єкта?

34. Які Ви знаєте основні параметри безконтактних давачів температури?

35. Дайте визначення енкодера. Які додаткові функції може виконувати енкодер?

36. Яка різниця між інкрементальним та абсолютним енкодером? Дайте порівняльні характеристики.

37. Нарисуйте структурні схеми, які демонструють принцип будови інкрементального та абсолютного енкодера.

38. Що Ви знаєте про способи визначення напрямку обертання осі енкодерів?

39. Чи є можливість збільшити розрізняльну здатність інкрементального енкодера за існуючої номінативної?

40. Запишіть вираз, який зв'язує розрізняльну здатність абсолютного енкодера з кількістю виводів.

41. Які Ви знаєте цифрові коди, що застосовуються в абсолютних енкодерах? Дайте їх порівняльні характеристики.

42. В чому сенс понять: однооборотний енкодер, багатооборотний енкодер, лінійний енкодер?

43. Що таке тиск як фізична величина?

44. Які Ви знаєте одиниці вимірювання тиску?

45. Яка різниця між надлишковим тиском, розрідженням та абсолютним тиском?

46. Загальні риси класифікації давачів тиску.

47. Зробіть рисунки, які демонструють принцип будови сильфона, гофрованої діафрагми, мембрани, трубки Бурдона.

48. Який принцип дії тензорезисторного сенсора тиску?

49. Що Ви можете сказати про п'єзорезистивні сенсори тиску?

50. Зобразіть принцип будови ємнісного сенсора тиску. Які його переваги?

51. З якою метою був створений HART-протокол і виготовляються HART-модеми?

52. У чому сенс частотного кодування цифрових сигналів?

53. Які давачі називаємо „інтелектуальними”?

54. Опишіть принцип дії індуктивного сенсора тиску.

55. Короткі відомості про вимірювальний міст Уітстона, заступна схема, принцип дії.

56. Які вимірювальні мости Уїтстона називаємо врівноваженими, а які неуврівноваженими?

57. Чому кварцовий резонатор називають своєрідним механо-електричним тілом, яка його електрична заступна схема.

58. Нарисуйте спрощений вигляд резонансного кварцового сенсора, принцип дії резонансного давача тиску на його підставі.

59. Принцип будови та дії п'єзоелектричного сенсора тиску. Рекомендована сфера його застосування.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

1. Фотоелектричний давач дифузійного типу як позиційний вимикач

1.1. Програма роботи

1.1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом. Вивчити технічні характеристики давача.

1.1.2. Зібрати робочу схему (рис.132).

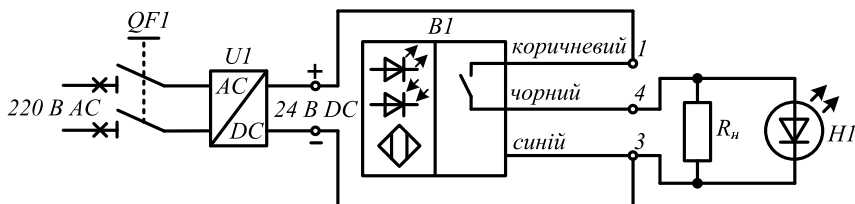


Рис.132. Робоча схема для дослідження фотоелектричного давача

U1 – перетворювач змінного струму у постійний;

*B1 – фотоелектричний давач BOS18M-PS-1XB-E4-C-03
фірми BALLUFF;*

H1 – прилад світлової індикації (світлодіод тощо)

1.1.3. Визначити відстань перемикання давача для різних поверхонь відбивального екрана.

1.1.4. Обчислити поправкові коефіцієнти для визначення відстані перемикання для різних поверхонь.

1.1.5. Визначити гістерезис давача – позиційного вимикача для різних матеріалів.

1.1.6. Визначити робочий діапазон дії S_a проміжок давача.

1.1.7. Обчислити мінімальний опір навантаги R_n .

1.2. Методичні вказівки

До п.1.1.1. Основні технічні характеристики давача BOS18M-PS-1XB-E4-C-03:

1. Номінативна відстань перемикання S_n , мм – 200.
 2. Напруга живлення U_B , В DC – 10...30.
 3. Номінальний робочий струм I_e , мА – 200.
 4. Спад напруги U_d при I_e , В – <2,5 В.
 5. Струм неробочого ходу I_{0max} , мА – 20.
 6. Захист від зміни полярності (P) – є.
 7. Захист від короткого замикання (S) – є.
 8. Частота перемикання, Гц – 100.
 9. Категорія застосування – DC-13.
 10. Вихід – PNP.
 11. Комутаційна функція виходу – замикання.
 12. Діапазон температур навколишнього середовища T_B , °C – від -5 до +55.
 13. Спосіб під'єднання – кабель.
- Загальний вигляд давача, габаритні та приєднувальні розміри подані на рис.133.

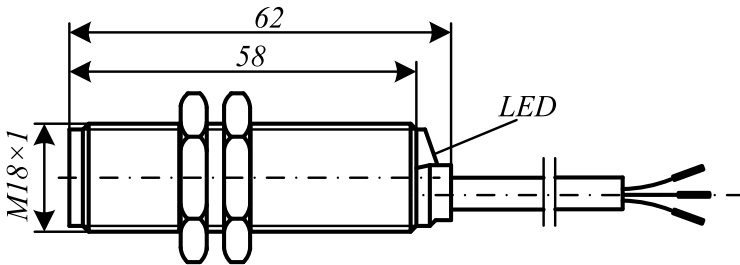


Рис.133. Загальний вигляд давача BOS18M-PS-1XB-E4-C-03

2. Індуктивний давач – позиційний вимикач

2.1. Програма роботи

2.1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом. Вивчити технічні характеристики давача.

2.1.2. Зібрати робочу схему (рис.134).

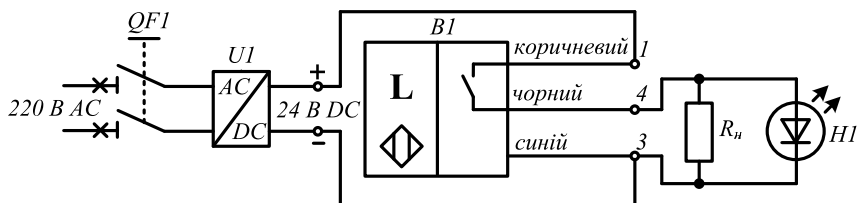


Рис.134. Робоча схема для дослідження індуктивного давача:

U1 – перетворювач змінного струму у постійний;

B1 – індуктивний давач BES M18MI-PSC50B-BV03 фірми BALLUFF;

H1 – прилад світлової індикації (світлодіод тощо)

2.1.3. Визначити відстань перемикання давача залежно від металу, що наближається до сенсора давача:

- сталь 40;
- нержавіюча сталь;
- мідь;
- алюміній.

2.1.4. Обчислити поправкові коефіцієнти для визначення відстані перемикання для різних металів, що наближаються до давача, прийнявши коефіцієнт матеріалу сталь 40 за 100 %.

2.1.5. Визначити гістерезис давача – позиційного вимикача для різних матеріалів.

2.1.6. Визначити робочий діапазон дії S_a давача.

2.1.7. Обчислити мінімальний опір навантаги R_n .

2.2. Методичні вказівки

До п.2.2.1. Основні технічні характеристики давача BES M18MI-PSC50B-BV03:

1. Убудовування – неутоплений.
2. Номінативна відстань перемикання S_n , мм – 5.
3. Гарантована відстань перемикання, мм – 0...4,1.
4. Вихід – PNP.
5. Комутаційна функція виходу – замикання.
6. Напруга живлення U_B , В DC – 10...30.
7. Номінальний робочий струм I_e , мА – 200.
8. Спад напруги U_d при I_e , В – <2,5 В.
9. Струм неробочого ходу I_{0max} , мА – ≤ 15 .
10. Захист від зміни полярності (P) – є.
11. Захист від короткого замикання (S) – є.
12. Частота перемикання, Гц – 700.
13. Категорія застосування – DC-13.
14. Діапазон температур навколишнього середовища T_B , °C – від -5 до +55.
15. Спосіб під'єднання – кабель.

Загальний вигляд давача, габаритні та приєднувальні розміри подані на рис.135.

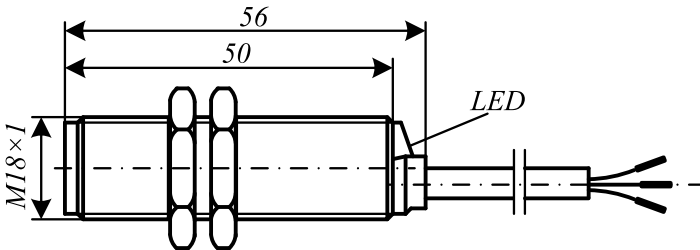


Рис.135. Загальний вигляд давача BES M18MI-PSC50B-BV03

3. Ємнісний давач – позиційний вимикач

3.1. Програма роботи

3.1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом. Вивчити технічні характеристики давача.

3.1.2. Зібрати робочу схему (рис.136).

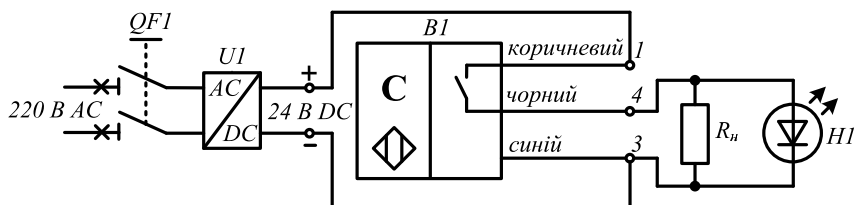


Рис.136. Робоча схема для дослідження ємнісного давача:

U1 – перетворювач змінного струму у постійний;

B1 – ємнісний давач CSN E8A5 31P-20-LZ фірми BALUFF;

H1 – прилад світлової індикації (світлодіод тощо)

3.1.3. Визначити відстань перемикання давача залежно від матеріалу предмету, що наближається до сенсора давача:

- сталь 40;
- нержавіюча сталь;
- мідь;
- склотекстоліт.

У разі металевого матеріалу об'єкта відстань перемикання визначити для неуземленого та уземленого предмета.

3.1.4. Обчислити поправкові коефіцієнти для визначення відстані перемикання для різних матеріалів, що наближаються до давача, прийнявши коефіцієнт матеріалу метал за 100 %.

3.1.5. Визначити гістерезис давача – позиційного вимикача для різних матеріалів.

3.1.6. Визначити робочий діапазон дії S_a давача.

3.1.7. Обчислити мінімальний опір навантаги R_n .

3.2. Методичні вказівки

До п.3.1.1. Основні технічні характеристики давача CSN E8A5 31P-20-LZ:

1. Номінативна відстань перемикання S_n , мм – 20.
2. Гістерезис, H , % – 3...15.
3. Напруга живлення U_B , В DC – 10...30.
4. Номінальна напруга живлення U_e , В DC – 24.
5. Номінативний робочий струм I_e , мА – 400.
6. Спад напруги U_d при I_e , В – $\leq 2,5$ В.
7. Робочий діапазон дії S_a , мм – 0...16.
8. Убудовування – неутоплений.
9. Наявність комплексного захисту (PST) – є.
10. Вихід – PNP.
11. Комутаційна функція виходу – замикання.
12. Наявність індикації – є (світлова).
13. Максимальна частота перемикання, Гц – 150.
14. Діапазон температур навколишнього середовища T_B , °C – від -25 до +75.
15. Категорія застосування – DC-13.
16. Спосіб під'єднання – кабель.

Загальний вигляд давача, габаритні та приєднувальні розміри подані на рис.137.

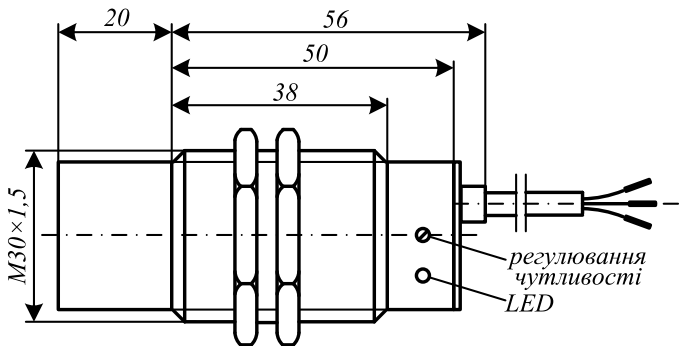


Рис.137. Загальний вигляд давача CSN E8A5 31P-20-LZ

4. Давач температури з аналоговим виходом

4.1. Програма роботи

4.1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом. Вивчити технічні характеристики давача.

4.1.2. На підставі технічних характеристик знайти прямий та інверсний вирази передавальних характеристик, в ідеалі прямих ліній:

$$I_{\text{вих}} = f(t^\circ) \text{ та } t^\circ = f(I_{\text{вих}}).$$

4.1.3. Обчислити опір навантаження R_n , увімкнений послідовно у вихідне коло (рис.138), з метою отримати передавальну характеристику у стандартній напруговій формі з верхньою границею напруги $U_{\text{вих.мах}} = 10 \text{ В}$.

4.1.4. Знайти аналітичний вираз інверсної передавальної характеристики $t^\circ = f(U_{\text{вих}})$.

4.1.5. Зібрати схему для проведення експерименту (рис.138).

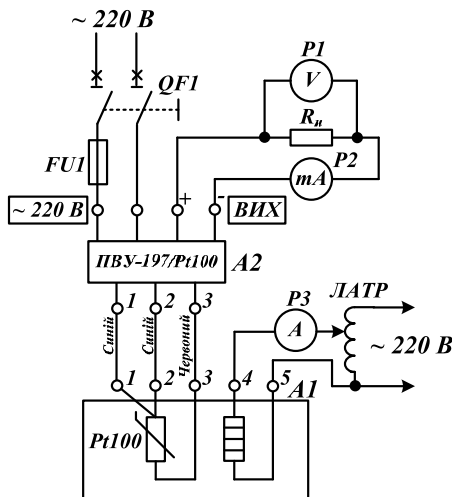


Рис.138. Робоча схема для дослідження давача температури з аналоговим виходом;

A1 – блок сенсора з підігрівом;

A2 – актуатор

4.1.6. Змінюючи температуру середовища, де розміщений сенсор давача, зафіксувати відповідні значення вихідних струму $I_{вих}$ та напруги $U_{вих}$.

4.1.7. Використавши інверсну передавальну характеристику $t^{\circ}=f(I_{вих})$, обчислити значення температури t° для відповідних вихідних струмів $I_{вих}$, отриманих експериментально.

4.1.8. З метою орієнтовної перевірки працездатності схеми зіставити між собою кімнатну температуру, виміряну давачем і кімнатним термометром.

4.1.9. Побудувати графіки обчислених передавальних характеристик $I_{вих}$, $U_{вих}=f(t^{\circ})$.

4.2. Методичні вказівки

До п.4.1.1. За конструкцією давач складається з двох блоків:

1) сенсора, де чутливим елементом є термоперетворювач опору Pt100. Чутливий елемент сенсора убудований у трубчастий металевий кожух з головкою, де розміщені його вихідні термінали. Загальний вигляд сенсора ТЭРА ТСП 1–3–Pt100–В–3–120–6–М20×1,5–70–Д–(–50...500) °С зображено на рис.139.

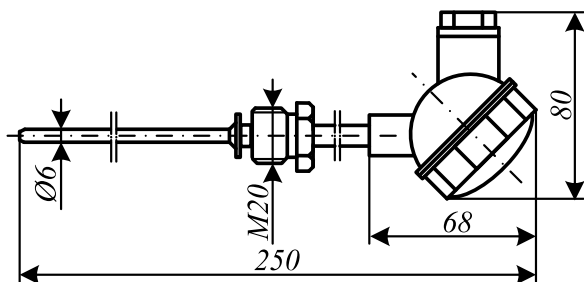


Рис.139. Загальний вигляд сенсора ТЭРА ТСП 1–3–Pt100

2) вторинного перетворювача (актуатора), який змонтовано на DIN-рейці. Лицьова панель актуатора типу ПВУ-0197/Pt100 подана на рис.140.

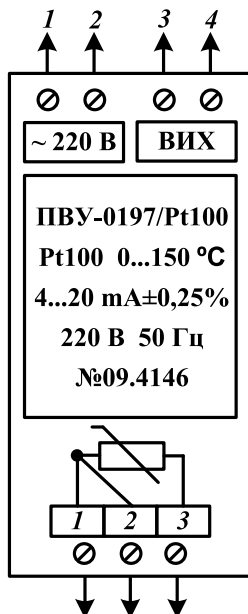


Рис.140. Лицьова панель актуатора типу ПВУ-0197/Pt100

До п.4.1.3. В загальному випадку ідеалізована передавальна характеристика $I_{вих}=f(t^{\circ})$ наведена на рис.141.

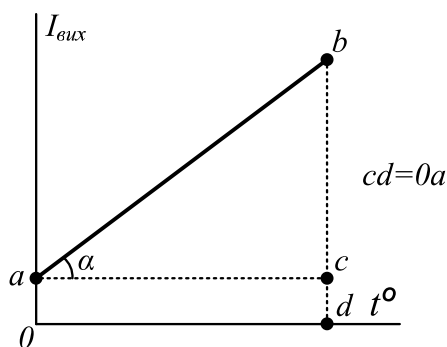


Рис.141. Передавальна характеристика $I_{вих}=f(t^{\circ})$ сенсора ТЭРА ТСП 1–3–Pt100

Точка “a” на рисунку відповідає початковому струмові, тобто струмові при $t^{\circ}=0$, а точка “b” є максимальним вихідним струмом. Рівняння прямої лінії у нашому випадку має вигляд

$$I_{вих} = t^{\circ} \operatorname{tg} \alpha + 0a,$$

$$\text{де } \operatorname{tg} \alpha = \frac{bd - 0a}{0d}, \text{ отже } I_{вих} = t_0 \frac{bd - 0a}{0d} + 0a.$$

Звідси інверсна передавальна характеристика є такою:

$$t^{\circ} = \frac{0d}{bd - 0a} (I_{вих} - 0a).$$

Значення точок, поданих на рис.141, є параметрами сенсора і актуатора, які задаються технічними характеристиками.

До п.4.1.4. Опір навантаги R_n визначають, виходячи із максимального спаду напруги на ньому і максимального вихідного струму $I_{вих.max}$

$$R_n = \frac{U_{вих.max}}{I_{вих.max}}.$$

5. Давач надлишкового тиску з аналоговим виходом

5.1. Програма роботи

5.1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом. Вивчити технічні характеристики давача.

5.1.2. Визначити опір навантаги R_n , увімкнений послідовно у коло уніфікованого струму $I_{вих}=4...20$ mA (рис.112).

5.1.3. Знайти вираз передавальної характеристики у напруговій формі $U_{вих}=f(p)$ та її інверсний вираз $p=f(U_{вих})$ – ідеалізованих прямих ліній.

5.1.4. Зібрати робочу електричну схему (рис.142).

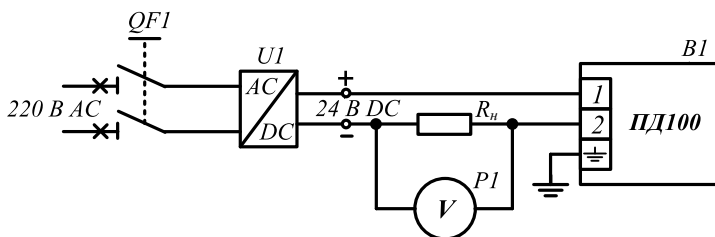


Рис.142. Робоча схема для дослідження давача тиску з аналоговим виходом:

$U1$ – перетворювач змінного струму у постійний;

$B1$ – давач надлишкового тиску ПД100-ДИ

5.1.5. Змінюючи тиск на вході давача, зняти відповідні значення вихідної напруги $U_{вих}$.

5.1.6. Обчислити величини тиску на вході за використання інверсної передавальної характеристики $p=f(U_{вих})$.

5.1.7. На підставі обчислених даних побудувати графік залежності $p=f(U_{вих})$.

5.2. Методичні вказівки

До п.5.1.1. Лабораторна установка складається з двох компонентів: давача надлишкового тиску ПД100-ДИ та ручної

помпи, приєднаної до штуцера давача через перехідний гнучкий шланг.

Загальний вигляд давача подано на рис.111.

У табл.28 наведені основні технічні характеристики давача.

До п.5.1.2. Давач спроможний працювати при напругах, що лежать в границях 12...36 В ВС. Але за будь-якої напруги з цього діапазону і будь-якого тиску в границях 0...0,1 МПа вихідний струм $I_{вих}$ не повинен виходити зі стандартного діапазону 4...20 мА. Цього стану досягають шляхом введення у вихідне коло відповідного опору, що є рівночасно опором навантаги R_n , з якого знімають сигнал, що є інформаційним сигналом. Такий сигнал поступає в подальшому на вхід наступного компонента схеми керування чи вимірювання.

Вибір напруги живлення та відповідного їй опору навантаги R_n залежить від того, який діапазон вихідних напруг $U_{вих}$ потрібен користувачу.

Опір навантаги вибирається в границях від 0 до 1200 Ом і визначається напругою живлення давача відповідно до залежності поданої на рис.143.

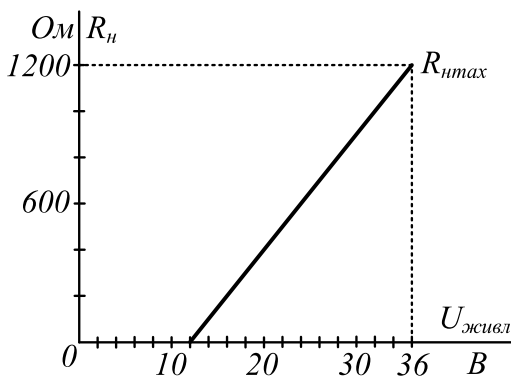


Рис.143. Залежність опору навантаги R_n від напруги живлення давача

За потреби отримати на виході уніфіковану напругу, верхнє значення якої $U_{вихmax}=10 В$ опір навантаги вибирають із виразу

$$R_n = \frac{U_{вих.max}}{I_{вих.max}} = \frac{10}{0,02} = 500 \text{ Ом.}$$

Такий опір R_n відповідає напрузі живлення $U_{живл}=24 \text{ В.}$

Рекомендовані робочі значення:

$$R_n = 500 \pm 50 \text{ Ом; } U_{живл} = 24 \pm 2 \text{ В.}$$

До п.5.1.3. В загальному випадку вигляд передавальної характеристики подано на рис.144.

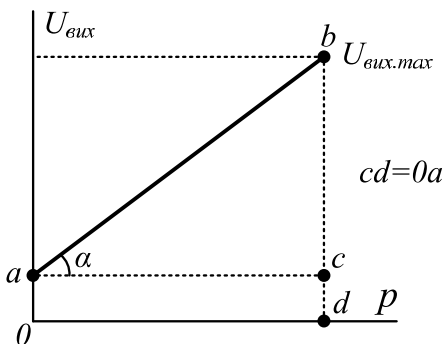


Рис.144. Загальний вигляд передавальної характеристики $U_{вих}=f(p)$

Із рисунка

$$U_{вих} = p \frac{bd - cd}{0d} + 0a.$$

Інверсна передавальна характеристика

$$p = \frac{0d}{bd - cd} (U_{вих} - 0a).$$

Значення відрізків $0a$, bd залежить від напруги живлення та вибраного опору навантаги R_n , а відрізок $0d$ є не що іншим, як діапазоном виміру надлишкового тиску і згідно з його технічною характеристикою $0d=0,1 \text{ МПа.}$

За напруги живлення $U_{живл}=24 \text{ В,}$ опору навантаги $R_n=500 \text{ Ом}$ відрізки дорівнюють:

$$0d = U_{вихmin} = 2 \text{ В,} \quad bd = U_{вихmax} = 10 \text{ В.}$$

6. Ультразвуковий давач з аналоговим виходом

6.1. Програма роботи

6.1.1. Ознайомитись з лабораторним стендом. Вивчити технічні характеристики давача.

6.1.2. Зібрати робочу електричну схему для проведення експерименту (рис.145).

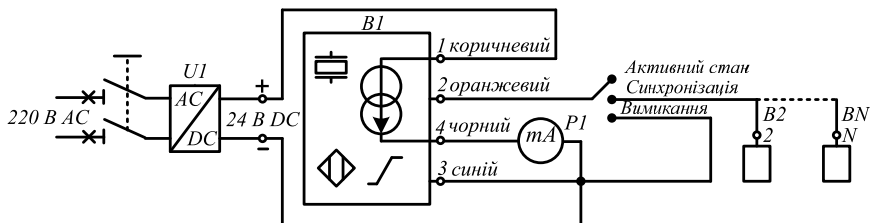


Рис.145. Робоча схема для дослідження ультразвукового давача з аналоговим виходом:

B1 – ультразвуковий давач UA18CLD06AG фірми Carlo Gavazzi;

U1 – перетворювач змінного струму у постійний

6.1.3. Змінюючи віддаль S між чутливою поверхнею давача і предметом, що наближається/віддаляється, зафіксувати відповідні струми $I_{вих}$ давача.

6.1.4. Побудувати графік передавальної характеристики $I_{вих}=f(S)$, заданих у табл.31 виробником і такий же графік $I_{вих}=f(S)$, знятий експериментально.

6.1.5. Зіставити названі графіки $I_{вих}=f(S)$ між собою. Зробити висновки.

6.2. Методичні вказівки

До п.6.1.1. Загальний вигляд давача подано на рис. 146.

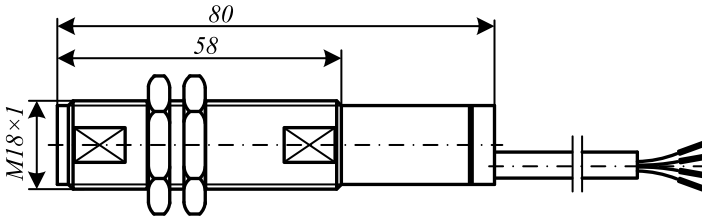


Рис.146. Загальний вигляд, габаритні та приєднувальні розміри ультразвукового давача з аналоговим виходом UA18CLD06AG

Особливості та основні технічні характеристики:

1. Ультразвуковий дифузійний аналоговий давач, що працює як щуп, UA18CLD06AG фірми Carlo Gavazzi – постійного струму (DC), в пластмасовому корпусі.

2. Типова ідеалізована струмова передавальна характеристика $I_{вих}=f(S)$ зображена на рис.147.

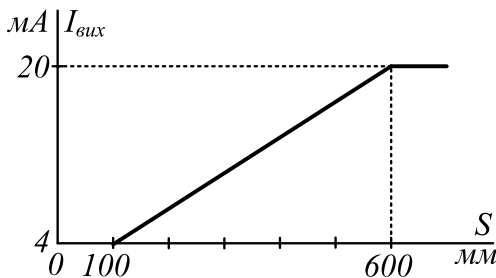


Рис.147. Типова струмова передавальна характеристика ультразвукового давача з аналоговим виходом UA18CLD06AG

3. Реальна передавальна характеристика $I_{вих}=f(S)$, подана виробником, наведена у табл.31.

Таблиця 31

Передавальна характеристика $I_{вих}=f(S)$ подана виробником

Віддаль S , мм	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Струм $I_{вих}$, мА	4,05	5,54	7,08	8,63	10,21	11,79	13,35	14,96	16,55

4. Відхилення вихідного струму $\Delta I_{вих}$ від ідеальної прямої, інакше не лінійність у відсотках – на рис.148.

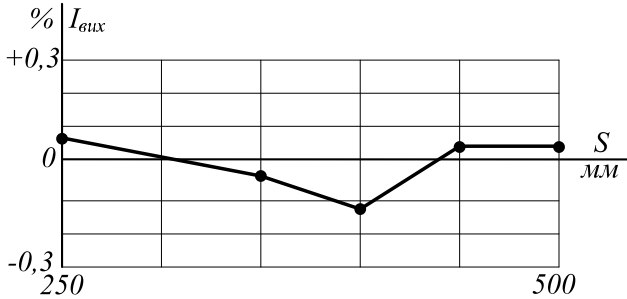


Рис.148. Відхилення вихідного струму $\Delta I_{вих}$ ультразвукового давача з аналоговим виходом UA18CLD06AG

5. Кут пучка хвиль α , град – 8.

6. Діаграма зон виявлення предмета зображена на рис.149.

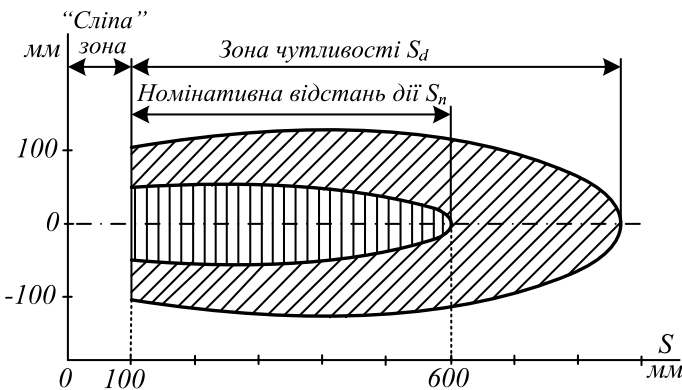


Рис.149. Діаграма зон виявлення предмета

7. Нелінійність, % – 0,3.
8. Напруга живлення, U_e В DC – 18...30.
9. Номінативна віддаль дії, мм – 100...600.
10. Споживаний струм, I_e мА – ≤ 35 .
11. Під'єднання – кабель, довжина, м – 2.
12. SPT – (S) захист від коротких замикань, (P) від оберненої полярності, (T) від виплесків напруги – є.
13. Температура навколишнього середовища, θ °C – від -15 до +70.
14. градієнт виходу 32 мкА/мм.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. – Харків: Точка, 2012. – 340 с.
2. Клименко Б.В. Комутаційна апаратура, апаратура керування, запобіжники. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. – Харків: Талант, 2008. – 208 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс. Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.: ил.
4. Электрические и электронные аппараты: Учеб. для вузов / Под ред. Ю.К. Розанова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Информ-электро, 2001. – 420 с.
5. Матвійків М.Д., Когут В.М., Матвійків О.М. Елементна база електронних апаратів: Підручник /. – 2-ге вид. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2007. – 428 с.
6. Бессонов Л. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учеб. для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1978. – 528 с.
7. Бурштинський М.В., Хай М.В. Апарати захисту та керування в електричних установках низької напруги. – Підручник. – Львів: ТзОВ „Простір М”, 2013. – 732 с.
8. У. Титце, К. Шенк. Полупроводниковая схемотехника, Москва, „Мир”, 1982.
9. Дж. Фрайден. Современные датчики. Справочник. – Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.
10. Г. Виглеб. Датчики: Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. – 196 с., ил.
11. Данилов А. Современные промышленные датчики тока // Современная электроника. – 2004. – октябрь. С.26–35.
12. Афанасьев В. В. и др. Трансформаторы тока. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 416 с.

13. Изолированные датчики тока и напряжения: Характеристики – Применение – Расчеты. Материалы компании ЛЕМ.
14. Маргелов А. Датчики тока компании Honeywell. – Новости электроники №8, 2006 г.
15. ГОСТ Р 51086-97. Датчики и преобразователи физических величин электронные. Термины и определения.
16. IEC 60947-5-2-97.
17. EN1434-2.
18. ГОСТ Р 8.625-2006. Государственная система обеспечения единства измерений. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний.
19. Отраслевое применение датчиков. – Каталог продукции ТЕКО, 2011 г.
20. www.svaltera.ua.
21. Преобразователь избыточного давления измерительный ПД100-ДИ. Инструкция по эксплуатации.
22. ПД100-ДГ. Преобразователь гидростатического давления измерительный. Руководство по эксплуатации.
23. ПД200. Преобразователь давления измерительный. Руководство по эксплуатации.
24. Пестерев Ю. Преобразователь давления ОВЕН ПД100-ДИ. – Новости компании ОВЕН, №2'06.
25. HART. Протокол первичной связи. Технический обзор.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**Бурштинський Мирон Васильович
Хай Михайло Васильович
Харчишин Богдан Михайлович**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Українською мовою

В авторській редакції

Підписано до друку 04.10.2013. Формат 60×84/16. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman. Друк на принтері.

Наклад 300 прим.

ТзОВ «Простір М»

Свідоцтво ДК №2167 від 21.04.2005 р.

79000, м. Львів, вул. Чайковського, 27

Тел.: 9032) 261-09-05, e-mail: prostir@litech.net

Компанія СВ АЛТЕРА займає провідні позиції на українському ринку в галузі електротехніки та систем автоматизації технологічних процесів.

Мета компанії – максимально ефективно вирішувати задачі клієнта в галузі модернізації підприємства, автоматизації виробництва та керування, ресурсозбереження, зростання продуктивності обладнання.

Головні напрями діяльності компанії:

- обладнання для мереж низької/середньої напруги;
- низьковольтне комутаційне обладнання;
- контрольно-вимірювальні прилади та давачі;
- промисловий електропривід;
- промислові контролери та системи АСУ ТП.

За допомогою обладнання компанії реалізовується розподілення електроенергії від головних розподільчих щитів до кінцевих споживачів, захист електричних мереж, компенсація реактивної потужності, спеціальні рішення для металургії та хімічної промисловості. Реалізовується керування технологічними об'єктами, зокрема екструдерами, термопласт-автоматами, печами, кліматкамерами, системами опалення, водопостачання та вентиляції, холодильною технікою, компресорами, кондиціонерами, помпами, різним харчовим, пакувальним, деревообробним, нафтохімічним обладнанням тощо.

Стратегія розвитку СВ АЛТЕРА невід'ємно пов'язана:

- зі встановленням довгострокових партнерських взаємовигідних відносин з усіма клієнтами. Компанія СВ АЛТЕРА забезпечує партнерам безкоштовну технічну підтримку та консультації. Висококваліфіковані інженери відділу технічної підтримки допоможуть підібрати необхідне обладнання під конкретні технічні задачі і забезпечать оперативну технічну підтримку;
- з прагненням компанії бути поряд з клієнтом. Підтвердження цьому – 15 філій в промислових центрах України;
- з оперативним виконанням та доставкою замовлень. Компанія має склад з номенклатурою обладнання більш ніж 10000 найменувань;
- з соціальною відповідальністю. Зусиллями компанії в багатьох вузах України представлені навчальні стенди, завдяки яким майбутні спеціалісти мають можливість відпрацьовувати практичні навички на рівні передових досягнень сьогодення.

Інтелектуальний потенціал компанії в поєднанні з досвідом, гнучкою технічною та економічною політикою забезпечують компанії СВ АЛТЕРА провідні позиції на ринку електротехніки та систем автоматизації сьогодні і дозволяють впевнено дивитись у майбутнє.

Партнери компанії

Relpol – один з найбільших у Європі виробників електромагнітних реле. Компанія заснована в 1958 р. Продукція Relpol відрізняється високою якістю і відповідає міжнародному стандарту ISO 9002. Є чотири базових виробу виробничої програми Relpol:

- потужні електромагнітні реле – для застосування в промисловому устаткуванні і системах енергопостачання;
- мініатюрні і субмініатюрні реле для друкованого монтажу – для застосування в електронних виробках і системах;

- релейні модулі – для застосування в системах автоматики разом із програмованими логічними контролерами.

Lovato Electric більше 75 років займається виробництвом електромеханічних і електронних виробів для електротехнічного устаткування і є однією з перших компаній в Італії, що одержала сертифікат якості ISO 9001.

Виробнича програма компанії містить такі напрямки:

- контактори і теплові реле;
- відмикачі захисту двигунів;
- пристрої керування і сигналізації, кулачкові перемикачі;
- реле часу, контрольно-вимірювальні реле;
- регулятори cosφ, автоматичні зарядні пристрої;
- аналізатори параметрів електричної мережі.

Terasaki Europe Ltd заснована в 1971 році. Розташована в Глазго, Шотландія. Завод робить повітряні вимикачі серії TemPower, відмикачі серії TemBreak, а також повний ряд виробів для кінцевого розподілу електроенергії під маркою Tem Din. Завод у Шотландії акредитований за стандартом керування BS EN ISO 9002.

Lenze є однією з провідних компаній на європейському ринку електроприводів. Велика програма продукції і широкий спектр реалізованих проектів роблять компанію Lenze ідеальним партнером при вирішенні будь-яких задач в області приводу.

VIPA – німецька компанія, що спеціалізується на розробці і виробництві ПЛК, сумісних з контролерами фірми Siemens за системою команд. Компанія була заснована в 1985 році і за ці роки пройшла шлях від невеликої інжинірингової фірми до компанії світового масштабу з представництвами в усьому світі.

Wieland – один з найбільших у світі виробників промислової автоматики, електротехнічних з'єднувачів, роз'ємів, виробів для електротехніки і промислової електроніки. Продукція компанії відрізняється високою якістю і відповідає міжнародному стандарту ISO 9001:

- клеми гвинтові, пружинні, для струмоведучих шин;
- промислові роз'єми;
- перетворювачі сигналів і інтерфейсів;
- промислова джерела живлення;
- з'єднувачі для інсталяції.

Carlo Gavazzi – заснована в 1931 році і є одним з ведучих європейських виробників компонентів для систем автоматизації. Спектр продукції містить у собі давачі різного призначення, контролери двигунів, реле часу, контрольно-вимірювальні прилади, напівпровідникові реле і контактори.

ОВЕН розробляє і випускає мікропроцесорні пристрої для вимірювання і регулювання температури промислових об'єктів у діапазоні від -50 до +1200 °С, системи керування рівнем рідини, пристрою захисту заглибних насосів і трифазних електродвигунів від аварійних режимів. Серед виробів, що випускаються, лічильники імпульсів і таймери різного призначення, інші засоби автоматизації виробництва.

ЕАО – швейцарська компанія, виробник установлювальних виробів високої надійності різного призначення. Гама виробленого ЕАО устаткування охоплює широкий діапазон комутаційних і світлосигнальних приладів: від мініатюрних перемикачів і світлодіодних тримачів до потужних кнопок з підсвічуванням з високим рівнем захисту. Області застосування виробів ЕАО: промисловість, транспорт, будівництво, приладобудування. Найвища якість продукції підтверджується сертифікатом ISO9001.

Socomec – французька компанія, що працює на ринку розподілу електроенергії з 1922 року. Компанія здійснює повний цикл виробництва устаткування для розподілу енергії, керування і захисту мереж низької напруги.

Kobold – ведучий світовий виробник засобів вимірювання й автоматизації (КВПіА) для різних галузей промисловості: вимірювання витрат, рівня, тиску й інших технологічних параметрів. Уся продукція компанії відповідає стандартам ISO 9000, 9001. Основні виробничі потужності компанії розташовані в Німеччині.

Quadritalia – італійський виробник електромонтажних інсталяційних шухляд і шаф. На ринку металоконструкцій для електротехнічної й електронної промисловості з 1988 року. Завдяки високій автоматизації виробництва і ретельному контролю якості зайняла лідируючі позиції на світовому ринку.

DUCATI energia – італійська компанія, що працює в трьох основних сегментах: виробництво конденсаторів для електротехнічних застосувань, виробництво пристроїв для вимірювання і контролю енергії, виробництво генераторів.

Autonics (заснована в 1977 р.) – великий корейський виробник вимірювальних регулюючих приладів і давачів (температури, індуктивних, фотоелектричних, тиску тощо). Особливу увагу варто звернути на енкодери і крокові двигуни Autonics, що відрізняються високою якістю і доступною ціною. Продукція фірми відповідає ISO 9001.

COPA-DATA є лідером інновацій в області програмного забезпечення HMI/SCADA. Її лідерство ґрунтується на ноу-хау і досвіді, а підтвердження його – більше 70000 установлених систем в усьому світі в автомобільній промисловості, машинобудуванні, технологічних процесах в енергетиці й у системах керування будинками.

ASCONE – провідна італійська компанія в області розробки і виробництва температурних і спеціалізованих контролерів для систем керування технологічними процесами. Заявлена мета компанії полягає в тому, щоб забезпечити виробництво повного спектра виробів для керування виробничим процесом і відповідати самим високим стандартам якості, надійності й експлуатації. Гарантія цьому – високотехнологічна виробнича база і know-how технології ASCONE, підтверджені сертифікатом Міжнародної організації по стандартизації ISO 9001.

TELE – австрійська компанія, що більш ніж 35 років розробляє і робить широкий спектр компонентів для автоматизації: реле часу, контрольно-вимірювальні реле, лічильники, контролери двигунів тощо. Асортимент продукції постійно поповнюється новими моделями для різних застосувань.

Leuze electronic – німецька компанія, що входить до складу Leuze Group. З 1963 року робить інноваційні електронні й оптоелектронні компоненти для систем автоматизації виробництва. Головні напрямки діяльності компанії – оптичні сенсори, системи ідентифікації, промислового зору, передачі даних. Усі підприємства Leuze мають сертифікати ISO 9001.

ESA elettronica, заснована в 1975 р. в Італії, сьогодні є багатонаціональною компанією з 36-річним досвідом роботи в області промислової автоматизації. Філії компанії розташовані в більш ніж 40 державах. Усе виробництво сконцентроване в Італії, що забезпечує високу якість продукції.