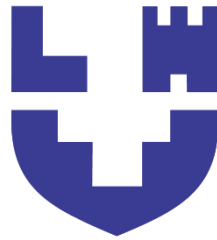


**Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет**



ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, ВИКОНАВЧІ ТА РЕГУЛЮЮЧІ МЕХАНІЗМИ

Конспект лекцій

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
(G Інженерія, виробництво та будівництво)
спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
(G7 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка)
денної та заочної форм навчання

Луцьк 2025

УДК 681.2
Т 38

Рекомендовано до видання вченою радою факультету КІТ ЛНТУ, протокол
№ __ від «__» _____ 2025 року
Голова вченої ради факультету КІТ _____ Інна КОНДІУС

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій ЛНТУ
Директор бібліотеки _____ Наталія ПОЛІЩУК

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ, протокол № _ від «__» _____ 2025 року.

Завідувач кафедри АКІТ _____	Олександр ПОВСТЯНОЙ, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ
Укладач: _____	Павло ГУМЕНЮК, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ
Рецензент: _____	Людмила САМЧУК, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ
Відповідальний за випуск: _____	Олександр ПОВСТЯНОЙ, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ

Технічні засоби автоматизації, виконавчі та регулюючі механізми :
Т-38 конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації (G Інженерія, виробництво та будівництво) спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка (G7 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка) денної та заочної форм навчання / уклад. П. О. Гуменюк. Луцьк: ЛНТУ, 2025 79 с.

У конспекті лекцій викладено теоретичні основи, принцип дії та методології практичного використання основних технічних пристроїв засобів автоматизації. Розглянуто пристрої отримання, перетворення, зберігання, оброблення й передавання інформації та керуючих сигналів каналами зв'язку.

Конспект лекцій укладено в результаті опрацювання опублікованих джерел.

ЗМІСТ

Тема 1. Основні поняття та визначення	4
Тема 2. Характеристики вимірювальних приладів	13
Тема 3. Пристрої отримання інформації. Параметричні давачі	23
Тема 4. Пристрої отримання інформації. Контактні давачі	44
Тема 5. Пристрої отримання інформації. Генераторні давачі	48
Тема 6. Логічні пристрої автоматики	56
Тема 7. Функціональні схеми автоматизації	70
Перелік посилань	78

Тема 1

ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Завдання з керування тим або іншим явищем або процесом, що виникають у повсякденній практичній діяльності людини, дуже різноманітні. Порівняно недавно сформувалась ідея єдності законів керування незалежно від того, де вони проявляються: у живому чи неживому об'єкті.

Керування – це сукупність дій, що забезпечують проведення будь-якого процесу з метою досягнення певних результатів.

Автоматичне керування – послідовність спрямованих дій, що переводять об'єкт з деякого початкового стану до стану цільового.

Система автоматизації – сукупність спеціальних технічних засобів, що знаходяться у взаємодії і здійснюють керування технологічним процесом або його частиною.

Системи автоматичного керування створюються для того, щоб автоматично, без безпосередньої участі людини підтримувати необхідний режим роботи різних об'єктів, що обслуговуються цими автоматами.

Системи автоматичного керування самостійно, без будь-якого впливу ззовні або підтримують постійними, або змінюють за певними законами одну або декілька фізичних величин, які характеризують процеси, що відбуваються в об'єктах, які обслуговуються, або самі визначають залежно від низки умов потрібний або оптимальний закон керування об'єктом.

Об'єкт, у якому відбувається керований процес, називають *об'єктом керування*.

Окремим, але особливо важливим випадком керування є *регулювання*, за якого вимаганий перебіг процесу створюється шляхом стабілізації одного або кількох параметрів за заданих значень.

За допомогою автоматичного регулювання можна суттєво підвищити ефективність ведення технологічних процесів, створити умови для застосування надвисоких та наднизьких параметрів (температур, напруг, струмів, швидкостей тощо), вивільнити обслуговуючий персонал від безпосередньої участі в керуванні складними процесами, підвищити якість продукції, отримати можливість вести необхідний процес в умовах та місцях, недоступних для людини.

Типові форми автоматизації

Автоматизація, тобто процес передавання технічним пристроям, що називаються автоматами, функцій управління та контролю, може мати кілька форм. Розглянемо найбільш загальні схеми автоматизації, що розглядаються згідно з інформаційними критеріями, показаними на рис. 1.1.

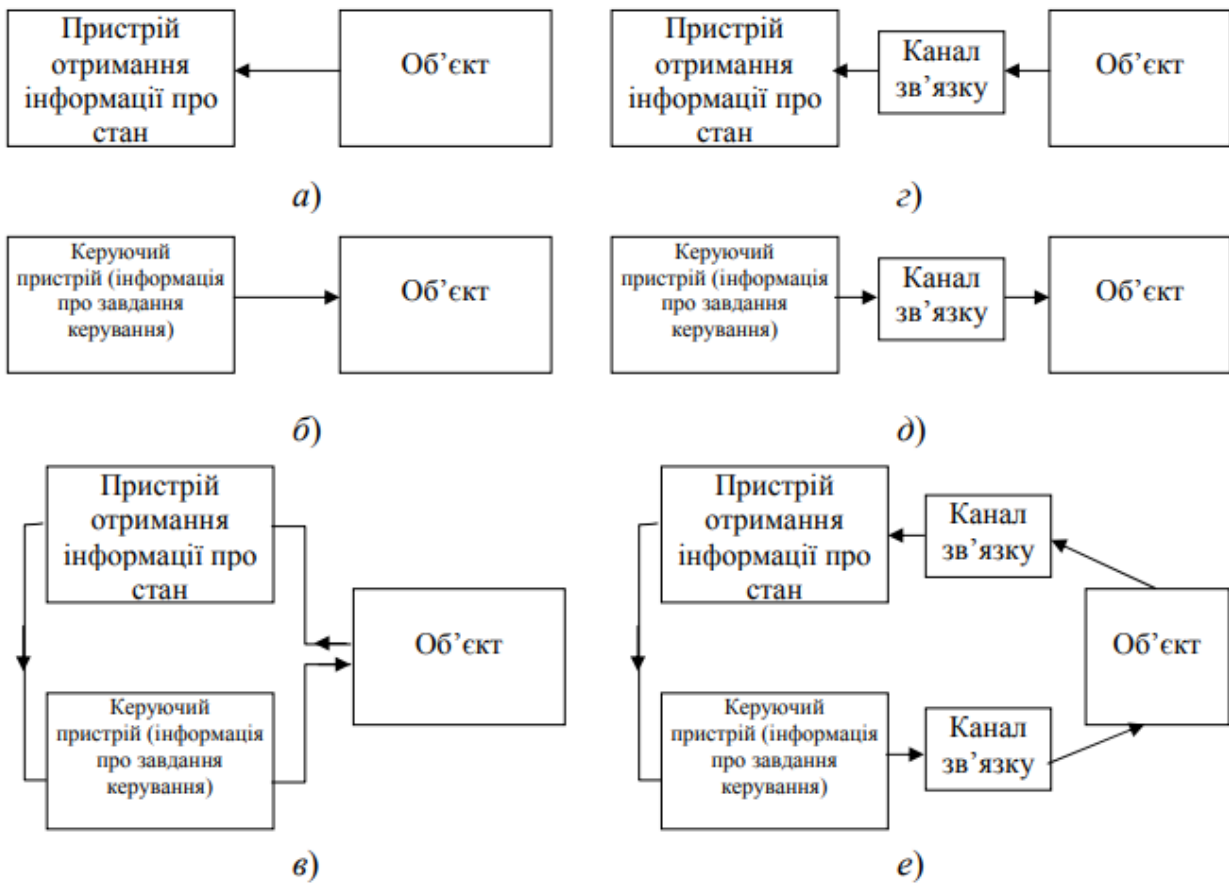


Рисунок 1.1 – Загальні схеми типових форм автоматизації

Перед автоматичною системою може стояти лише завдання збирання інформації, тобто відомостей про стан одного або кількох параметрів, що характеризують той або інший процес або об'єкт. Таке завдання вирішується пристроями автоматичного контролю.

Автоматичний контроль – спостереження за об'єктом за допомогою спеціальних пристроїв-давачів з метою перевірки значень його основних параметрів.

На рис. 1.1,а показана принципова схема автоматичного контролю за станом будь-якого параметра у контрольованому об'єкті (процесі). У подібних пристроях кінцевий результат контролю може виражатися або у формі реєстрації стану параметра, або у вигляді сигналізації при настанні певних станів, у сортуванні за тими або іншими ознаками тощо. Прикладами такого роду пристроїв контролю можуть слугувати: автоматичний запис зміни температури у печі, автоматична сигналізація про порушення нормальної величини тиску газу у газопроводі або напруги в електричній мережі, відомості про розміри будь-яких виробів й т. п.

На рис. 1.1,б показана схема частково автоматизованого керування технологічним процесом. У подібних системах обслуговуючий персонал увімкнений у процес керування, але діє лише на керований елемент автоматичного

пристрою, наприклад, на перемикач, кнопку й т. п. Останній через силовий елемент діє на об'єкт. За такого способу автоматизації керування, що передбачає лише дію пуску, зупинки, реверса будь-яких агрегатів, людина витрачає у процесі керування лише незначні зусилля. Процес керування у цих системах можна здійснювати й без участі обслуговуючого персоналу, наприклад, програмним механізмом. Прикладом такого роду автоматизованого керування може слугувати вироблене зі спеціального пульта обслуговуючим персоналом або програмними механізмами керування роботою (пуск, зупинка, збільшення або зменшення навантаження) турбогенератора або парового котла, термічної печі або прокатного стану, польотом літака й т. п.

У цьому випадку в процесі керування використовується лише інформація про задачі керування, але не інформація про його результати. Інакше, при цьому передбачається, що всі керовані розпорядження виконуються своєчасно й повністю, а тому досягнення результатів, очікуваних заздалегідь, гарантується.

Якщо ж результати такого процесу керування десь контролюються, то цей контроль здійснюється поза розглядуваної автоматичної системи за допомогою іншої, повністю автономної системи

На рис. 1.1, в надана схема автоматичного керування, що являє собою найбільш досконалий вид автоматизації, який містить у собі й використання інформації про задачі процесу керування, й відомості про його результати. У цьому випадку ведення технологічного процесу на вимаганому рівні може здійснюватися повністю без участі людини, тобто автоматично. Очевидно, що системи цього виду завжди містять замкнене коло дій керованого автомата на об'єкт та об'єкта на автомат.

Як приклад такого роду пристроїв можуть бути названі автоматичні пристрої (регулятори), які підтримують сталість регульованого параметра, наприклад, напругу генератора, рівня рідини у резервуарі, координатне положення літака у просторі тощо, незалежно від характеру й закономірностей дій, що намагаються змінити значення регульованого параметра. Інколи автоматичний пристрій підтримує одночасно на незалежно заданих рівнях значення кількох параметрів керованого процесу, що пов'язані між собою технологічно.

До цього ж типу замкнених автоматичних пристроїв належать так звані *слідкуючі системи*, де параметр, який підлягає керуванню, повинен мати змінне значення, величина якого може бути заздалегідь відома.

На рис. 1.1, г, д, е показні схеми автоматизації, в яких контрольований параметр вимірюється приладом, віддаленим від об'єкта на значну відстань.

При цьому результат вимірювання звичайно перетворюється у форму, зручну для передавання його по каналу зв'язку. Частіше за все будь-яка контрольована

величина перетворюється на електричну величину (струм, напруга, частота). Операцію прямого перетворення виконує пристрій, що називається шифратором-передавачем. На приймальній стороні каналу зв'язку (у тих випадках, коли потрібно) сигнал може знову перетворюватися у форму, більш зручну для вимірювання або реєстрації. Операцію зворотного перетворення виконує пристрій, що називається дешифратором-приймачем.

На початковій стадії автоматизації конкретного технологічного процесу або виробництва розроблювану систему автоматизації, як правило, подають у вигляді *функціональної схеми* (рис. 1.2), на якій відображають вхідні до складу системи функціональні блоки й вузли та зв'язки між ними із зазначенням символів фізичних величин, що надходять на вхід кожного блока.

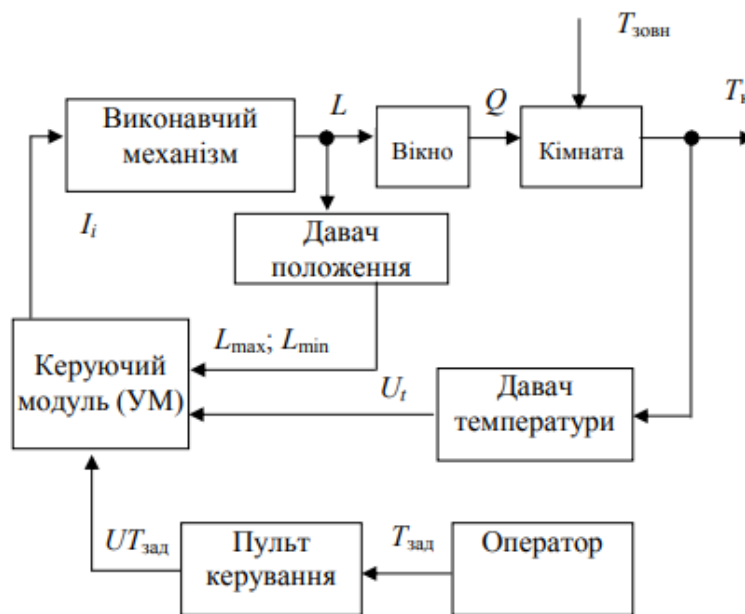


Рисунок 1.2 – Функціональна схема системи автоматичного регулювання температури виробничого приміщення

Проаналізуємо процес автоматичного регулювання температури у виробничому приміщенні у зимовий час методом провітрювання.

Відомо, що при настанні опалювального сезону батарея центрального опалення працює у постійному режимі незалежно від реальних погодних умов. Тому при настанні відлиг зниження температури досягають періодичним провітрюванням приміщень за допомогою вікон, кватирок, фрамуг тощо. Достатньо часто доступ до цих «регулюючих органів» утруднений, а іноді просто неможливий. В останньому випадку для відкривання або закривання вікна використовують реверсивні електромеханічні виконавчі механізми зворотно-поступальної або повертальної дії.

Для автоматичного визначення поточного значення температури, як правило,

застосовують датчики температури, які перетворюють зміну температури у зміну електричної напруги або активного опору.

Доцільно зазначити, що залежно від характеру виробничої діяльності значення «комфортної» температури варіюється. Внаслідок цього система автоматики повинна володіти можливістю переналаштування, що досягається застосуванням датчика, за допомогою якого можна встановлювати різні значення необхідної температури. Як датчик, як правило, застосовують змінні опори, увімкнені за схемою «подільника напруги». Таким чином, встановлюють потенціальний сигнал, пропорційний заданому значенню температури (сигнал цільового стану).

Керуючий модуль, порівнюючи за допомогою аналізатора (компаратора) поточне та задане значення температури, формує керуючі команди у вигляді потенціальних сигналів необхідної потужності: «Відкрити» або «Закрити».

Для надійного закриття вікна виконавчий механізм повинен забезпечувати достатнє зусилля. Тому для уникнення порушення рами вікна його кутове переміщення повинно бути обмежене. Для цього на рамі вікна або на вихідній ланці виконавчого механізму, як правило, встановлюють електромеханічні датчики положення, що інформують про повне відкриття L_{min} й повне закриття L_{max} вікна.

При досягненні вікном вказаних крайніх станів керуючий модуль автоматично знімає керувану команду з виконавчого механізму, незалежно від наявності сигналу компаратора.

Отже, керуючий модуль бере на себе додаткові функції й формує керуючі команди на основі логічного аналізу інформації, яка надходить від аналізатора й датчика положення.

Розглядувана автоматична система складається з окремих вузлів – засобів автоматизації. Значний розвиток автоматичного керування технологічними процесами й виробництвами призвели до необхідності уніфікації засобів автоматизації.

Основні положення формування систем автоматизації

Основні положення формування систем автоматизації повинні виходити з наступних вимог.

Система повинна складатися з нормальних рядів пристроїв та елементів з єдиними уніфікованими сигналами й параметрами живлення, нормалізованими габаритами й приєднаними розмірами.

Система подається у вигляді окремих гілок – електричної, пневматичної, гідравлічної та гілки без використання допоміжної енергії.

Система повинна відповідати єдиним технічним вимогам, що передбачають найбільш широке її використання у різних галузях промисловості.

Система повинна забезпечувати розв'язання як найпростіших задач локального контролю й керування, так і складних задач комплексної автоматизації з використанням сучасної мікроелектронної бази для оброблення даних й керування технологічними процесами.

Структура системи повинна бути гнучкою й передбачати можливість удосконалення шляхом заміни окремих блоків та елементів без зміни системи в цілому.

За функціональною ознакою можна виокремити чотири групи пристроїв.

Першу групу функціональних виробів утворюють пристрої отримання нормованої інформації про стан процесу. Пристрої цієї групи призначені для отримання інформації про значення контрольованих параметрів у вигляді уніфікованого електричного сигналу.

До цієї групи входять первинні вимірювальні перетворювачі, що нормують перетворювачі й власне давачі.

Первинний вимірювальний перетворювач переводить контрольований параметр у деяку фізичну величину – природний вихідний сигнал (переміщення, механічна напруга; електричний опір, напруга, струм). Нормуючий перетворювач переводить природний вихідний сигнал в уніфікований електричний.

Якщо на виході первинного вимірювального перетворювача природний вихідний сигнал є електричним, то нормуючий перетворювач звичайно являє собою окремий самостійний пристрій. Якщо ж первинний перетворювач видає сигнал у вигляді механічної фізичної величини, то вимірювальний та нормуючий перетворювачі конструктивно об'єднуються в один пристрій, наприклад, давач тиску (рис. 1.3).

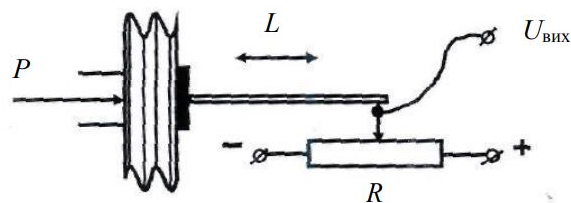


Рисунок 1.3 – Схема давача тиску

Як видно з поданої схеми, тиск P (наприклад, у гідравлічній системі автогрейдера) перетворюється сильфоном у лінійне переміщення штовхача $L = f(P)$ – первинне перетворення, а потім за допомогою потенціометра (нормуюче перетворення) у електричну напругу $U = f(P)$.

Друга група – група пристроїв, призначених для передавання інформаційних сигналів й команд керування по каналах зв'язку. До цієї групи входять підсилювачі, шифратори, дешифратори, а також спеціальні пристрої телемеханіки. У деяких системах автоматизації у межах цієї групи додатково застосовують логічні

перетворювачі, контактні й безконтактні електронні комутатори.

Третя група – засоби перетворення, оброблення, зберігання інформації й формування команд керування. До неї належать аналізатори сигналів, функціональні й операційні перетворювачі, логічні пристрої, пристрої пам'яті, задавачі, керуючі мікропроцесорні комплекси. Логічні пристрої цієї групи варіюються від найпростіших стандартних до спеціально розроблених логічних автоматів комбінаційного або послідовнісного типу.

Четверту групу складають пристрої використання команд керування – виконавчі пристрої. Виконавчий пристрій, у загальному випадку, складається з підсилювача, що забезпечує необхідну потужність вихідного сигналу, й виконавчого механізму, що здійснює силову дію на об'єкт керування або регулювання. До складу Державної системи приладів та засобів автоматизації входять електричні, електромеханічні, гідравлічні, електрогідравлічні, пневматичні й електропневматичні виконавчі механізми. При автоматизації підприємств будівельної індустрії, як правило, застосовують електропневматичні й електромеханічні виконавчі механізми, при автоматизації мобільних об'єктів – електрогідравлічні й електромеханічні з напругою живлення 12 або 24 В постійного струму.

Розглянемо основні параметри елементів, використовуваних у автоматичних системах та їх вплив на роботу останніх.

Більшість елементів автоматичних систем характеризується наявністю інерційності (наприклад, за рахунок індуктивності котушок й т. п.). Тому при стрибкоподібній зміні сигналу x на вході елемента на величину Δx (рис. 1.4,а) сигнал y на його виході у більшості випадків змінюється на Δy не стрибкоподібно, а за деякою кривою, яка визначає хід так званого *перехідного процесу* в елементі.

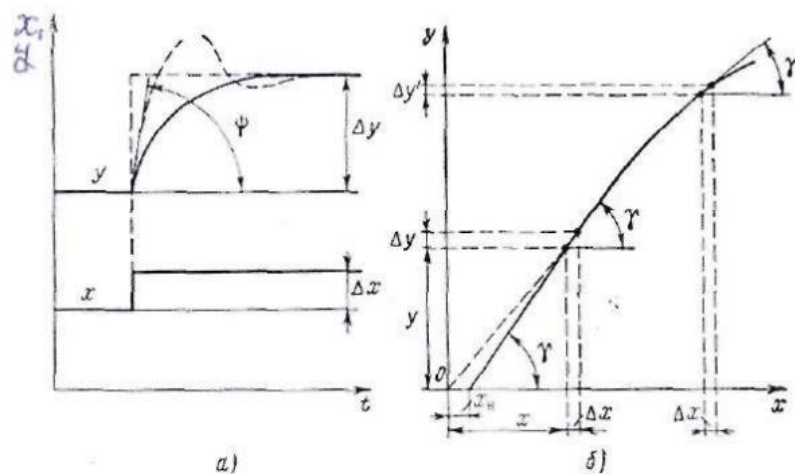


Рисунок 1.4 – Основні характеристики елемента

Інерційність елемента звичайно характеризується *постійною часу* T , яка може

бути розрахована для кожного конкретного елемента й визначає швидкість зростання y , тому що $ctg \psi = \tau$. Якщо елемент має кілька інерційних частин, тобто характеризується більш ніж одна постійна часу, то перехідний процес у ньому на відміну від простої експоненти може мати більш складний характер (пунктирна крива на рис. 1.4,а).

У зв'язку з цим звичайно розрізняють *динамічний режим* роботи елемента, який відповідає періоду протікання перехідного процесу, та *усталений режим*, коли після перебігу достатнього часу процес закінчується.

Характеристиками динамічного режиму елемента є його постійні часу.

Для оцінки роботи елемента в усталеному режимі використовують такі його характеристики, як чутливість, поріг чутливості та коефіцієнт передачі.

Порогом чутливості x_n (рис. 1.4,б) називається найменше значення вхідного сигналу x , яке здатне викликати зміну вихідного сигналу y . Більшість елементів автоматичних систем характеризується наявністю деякого порога чутливості.

Коефіцієнт передачі k – це відношення величини вихідного сигналу y до величини вхідного сигналу x .

З рис. 1.4,б неважко помітити, що якщо для достатньо великих сигналів знехтувати величиною порога чутливості, то для елементів з лінійною залежністю $y = f(x)$, називаною характеристикою елемента, коефіцієнт передачі є величина постійна. Для елементів з нелінійною характеристикою $y = f(x)$ величина коефіцієнта передачі залежить від величини вхідного сигналу x .

Чутливістю S називається відношення усталеної зміни вихідного сигналу y до викликаної нею зміни вхідного сигналу за даного значення вхідного сигналу.

З рис. 1.4,б видно, що чутливість елемента постійна лише у випадку лінійної характеристики елемента.

Задача інженера полягає у розробці за певних обмежень системи, що забезпечує оптимальне виконання поставленої задачі. Усвідомлення і конкретизація таких обмежень дозволяє визначити раціональний шлях проектування, уникнути невиправданих витрат, обґрунтувати вибір необхідних технічних засобів реалізації щодо проєкта. Такий вибір здійснюється як правило під час формування, аналізу та конкретизації рішень щодо створюваної системи автоматизації і управління (САУ).

Технічні засоби автоматизації використовуються в САУ для розв'язання наступних задач:

- збір і перетворення інформації про стан технологічного процесу;
- передача інформації по каналах зв'язку;
- перетворення, обробка і збереження інформації;
- формування команд керування;

- використання і надання інформації для впливу на процес (використання енергії, механіки, засобів фізичних дій для впливу на процес);
- надання інформації оператору.

У відповідності з цими задачами застосовуються і певні класи технічних засобів:

- засоби на вході САУ – датчики (первинні перетворювачі);
- засоби на виході САУ – вихідні перетворювачі, виконавчі пристрої;
- внутрішньосистемні пристрої САУ – блоки регулювання, спостерігачі для обчислення додаткової інформації або формування регулюючого впливу;
- допоміжні пристрої – техніко-документуючі, обладнання візуалізації і сповіщення.

З ускладненнями задач що вирішує АСКТП в цілому, зростають вимоги до якості роботи локальних САУ. Структурна схема локальної САУ представлена на рис. 1.5.

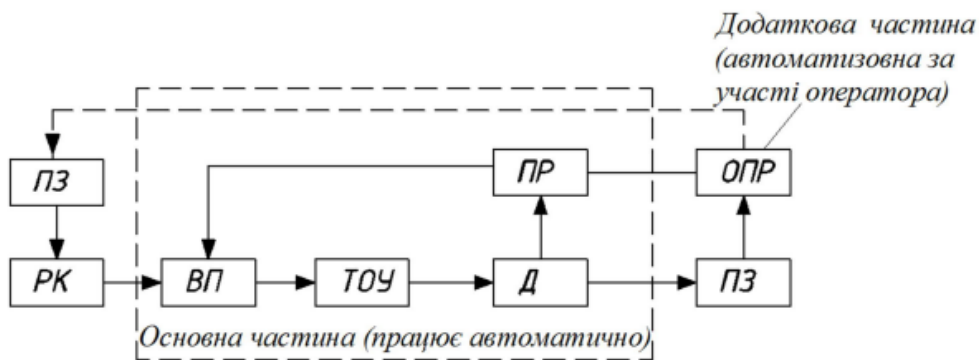


Рисунок 1.5 – Структурна схема локальної САУ:

ЛР – локальний регулятор може мати декілька входів (датчики та нормування датчиків, передача даних з комп'ютера, корегування задатчика); ОПР – особа-оператор, що приймає рішення (змінює уставки задатчика локального регулятора, здійснює ручне управління); РК – ручне керування; ВП – виконавчий пристрій; Д – датчик; ПЗ – пристрій зв'язку та супрядження (Ethernet, інтерфейс RS-485 та ін.); ТОУ – технологічний об'єкт управління

Згідно рисунку 1.5 основна частина, що виділена рамкою, становить собою класичну систему з локальним регулятором. Пунктирними стрілками показаний шлях, який дозволяє особі (ОПР) крізь пристрої зв'язку (ПЗ) і ручного керування (РК) впливати на виконавчий пристрій (ВП) безпосередньо. Ручне керування застосовують тільки при необхідності, тобто за необхідності обробки аварійних ситуацій або недопущення великих відхилень параметрів в ТОУ. При цьому ручне керування повинно мати високий коефіцієнт надійності.

Тема 2

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Вимірювальним приладом називають механізми і пристрої, що мають рухомі частини і елементи, розміщення, форма і стан яких змінюється відповідно із зміною вимірюваної величини, утворюючи візуально при цьому число. Всі вимірювальні прилади можна поділити на два види: самопоказуючі і з ручним наведенням (компаруючі).

Показуючі (самопоказуючі) прилади у робочому стані, неперервно, без участі людини показують на шкалі значення вимірюваної величини; прилад змінює покази при зміні вимірюваної величини, а спостерігач тільки читає готовий результат. Приклади: амперметр, манометр.

Приладами з наведенням називаються такі, при використанні яких вимагається ряд допоміжних (ручних) дій спостерігача, крім того у комплект такого приладу обов'язково входять міри. Наприклад: настільні гирьові ваги.

Показуючий вимірювальний прилад – це механізм, положення рухомої частини якого залежить від значення вимірюваної величини. Переміщення рухомих частин будь-яких механізмів, у тому числі і рухомих частин електровимірювальних приладів, може відбуватися тільки під дією відповідної механічної сили із затратою певної роботи на подолання тертя і на зміну запасу потенціальної енергії у даній механічній системі. Тому у кожному показуючому електровимірювальному приладі повинно відбуватися створення механічних сил і роботи за рахунок енергії електричного і магнітного поля. Це може бути здійснено різними способами. Залежно від характеру явища, що використовується для створення необхідної механічної сили, різні види електровимірювальних приладів отримали назви, які характеризують принцип дії приладу. Наприклад, прилад, який використовує механічну взаємодію поля постійного магніту з електричним струмом називають магнітоелектричним приладом; прилад, який використовує тепловий ефект при проходженні струму через опір, називають приладом теплової системи та інші.

У деяких випадках прилад оснащується додатковим пристроєм – перетворювачем для перетворення підведеного до приладу струму чи напруги у струм, величина і рід якого більш зручні для використання у вимірювальному механізмі. Наприклад у термоперетворювачах змінний струм перетворюється у постійний. Вимірювальні (аналогові) прилади відрізняються простотою і високою надійністю і випускаються з класами точності до 0,05 включно. За конструктивним виконанням прилади поділяються на електромеханічні та електронні. Електромеханічний прилад складається з вимірювального кола (схеми), вимірювального механізму і додаткових елементів.

Вимірювальним механізмом називають електромеханічний прилад, положення рухомих частин якого функціонально залежить від підведених до нього електричних струмів або напруг; призначенням вимірювального механізму є перетворення підведеної до нього електричної енергії у механічну енергію, яка необхідна для переміщення рухомої частини механізму і зв'язаного з нею вказівника (стрілки).

Вимірювальною схемою називають сукупність активних і реактивних опорів, які служать для перетворення вимірювальної величини (напруга, струм, потужність, опір та інші) у струм або напругу, що підводяться до вимірювального механізму.

Методи вимірювань

Залежно від того, як отримують результати вимірювань, вимірювання поділяються на: прямі, непрямі і сукупні. Якщо результат вимірювання безпосередньо дає шукане значення досліджуваної величини, то таке вимірювання належить до *прямих*. Наприклад, вимірювання струму амперметром.

Якщо вимірювану величину доводиться визначати на основі прямих вимірювань інших фізичних величин, з якими вимірювана величина зв'язана певною залежністю, то вимірювання називається *непрямим*. Наприклад, вимірювання опору елемента електричного кола при визначенні напруги вольтметром і струму амперметром. При непрямому вимірюванні можливе суттєве зниження точності порівняно з точністю при прямому вимірюванні через додавання похибок прямих вимірювань величин, які входять у розрахункові формули.

У деяких випадках кінцевий результат виводиться з результатів декількох груп прямих і непрямих вимірювань окремих величин, причому досліджувана величина залежить від виміряних величин. Таке вимірювання називають *сукупним*. Наприклад, визначення температурного коефіцієнта опору матеріалу при різних температурах. Сукупні вимірювання характерні для лабораторних досліджень.

Залежно від способу застосування приладів і мір прийнято розрізняти основні методи вимірювань: безпосереднє вимірювання, нульовий і диференційний методи.

При використанні методу *безпосереднього вимірювання* (або безпосереднього відліку) вимірювана величина визначається шляхом безпосереднього підрахунку показів вимірювального приладу або безпосереднього порівняння з мірою даної фізичної величини (вимірювання струму амперметром, вимірювання довжини метром). У цьому випадку верхньою межею точності вимірювань є точність приладу, яка не може бути високою.

При вимірюванні *нульовим методом* зразкова (відома) величина (або ефект її

дії) регулюються і значення її доводиться до рівності із значенням вимірювальної величини (або ефектом її дії). За допомогою вимірювального приладу у цьому випадку тільки домагаються рівності. Прилад повинен бути високої чутливості і він називається нульовим приладом або нуль-індикатором. Як нульові прилади при постійному струмі звичайно застосовуються магнітоелектричні гальванометри, а при змінному струмі – електронні нуль-індикатори. Точність вимірювання нульовим методом дуже висока і в основному визначається точністю зразкових мір і чутливістю нульових приладів. Серед нульових методів електричних вимірювань найважливішими є мостові і компенсаційні.

Мостові методи вимірювання застосовуються для вимірювання параметрів резисторів, котушок індуктивності і конденсаторів. Основне призначення компенсаційного методу – це вимірювання малих ЕРС, наприклад термопари, і градування електровимірювальних приладів.

Ще більша точність може бути досягнута при *диференційних методах* вимірювання. У цих випадках вимірювана величина врівноважується відомою величиною, але до повної рівноваги вимірювальне коло не доводиться, а шляхом прямого відліку вимірюється різниця вимірюваної і відомої величини. Диференційні методи застосовуються для порівняння двох величин, значення яких мало відрізняється один від іншого.

Засоби вимірювань

Залежно від призначення прилади для вимірювання поділяють на ряд груп. Основна класифікація передбачає поділ приладів за родом вимірюваних величин. Умовно прийняті такі найменування найпоширеніших приладів, призначених для вимірювання:

температури – термометри, пірометри, тепловізори;

тиску – манометри, вакуумметри, нановакуумметри, тягоміри, напороміри і барометри;

витрати і кількості речовини – витратоміри, лічильники і ваги;

рівня рідини і сипучих тіл – рівнеміри і покажчики рівня;

складу газових сумішей та їх вологості – газоаналізатори і психрометри;

густини – денсиметри;

в'язкості – віскозиметри;

теплоти згорання – калориметри;

якості води і пари – кондуктометри, іономіри, полярографи і вимірювачі кисню.

Додаткова класифікація підрозділяє зазначені прилади на такі групи:

за призначенням – промислові (технічні), лабораторні, зразкові і еталонні;

за характером показань – ті, що показують і реєструють (самописні і

друкуючі) та інтегруючі;

за формою подання показань – аналогові і цифрові;

за принципом дії – механічні, електричні, рідинні, хімічні, радіоізотопні та ін.;

за характером використання – оперативні, облікові і розрахункові;

за місцем розташування – місцеві і з дистанційною передачею показань;

за умовами роботи – стаціонарні (щитові) і переносні.

Промислові прилади є найпоширенішими засобами вимірювання, застосовуваними для практичних цілей, і мають порівняно просту і міцну конструкцію і високу надійність дії. Точність цих приладів, призначених для роботи в несприятливих умовах (за наявності пилу, вологи, вібрації та інші), порівняно невисока. Показання промислових приладів добре бачимо на відстані.

Лабораторні прилади служать звичайно для точних вимірювань. Ними користуються, як правило, при дослідницьких і налагоджувальних роботах. Для одержання великої точності вимірювання лабораторні прилади мають ретельне виконання, удосконалені схеми і спеціальні пристосування для відліку показань. При користуванні цими приладами до їх показань вводяться виправлення, обумовлені дослідним або розрахунковим шляхом.

Еталонні і зразкові прилади призначені головним чином для перевірки засобів вимірювання. Еталонами називаються міри і прилади, призначені для зберігання одиниць вимірювання і відтворення їх з найвищою точністю. Еталони бувають первинними і вторинними. Найбільш точними є первинні еталони, які є державними еталонами одиниць вимірювання. Значення вторинних еталонів установлюються за первинними. До вторинних відносять також робочі еталони, призначені для передачі розмірів одиниць зразковим мірам і приладам. Зразкові прилади використовуються для передачі шляхом перевірки і градування правильних значень одиниць вимірювання від еталонів до інших приладів. Зразкові прилади бувають чотирьох розрядів залежно від їхньої точності і способів перевірки. Прилади 1-го розряду перевіряються тільки за робочими еталонами, 2-го розряду - за приладами 1-го розряду та інші.

Прилади, що показують, дають миттєве значення вимірюваної величини, відлічуваної за шкалою, а **прилади, що реєструють**, записують зміну цього значення в часі на діаграмному папері (самописні прилади) або друкують ці показання в цифровій формі (друкуючі прилади).

Самописні прилади виконуються для запису однієї (одноточкові, або одноканальні прилади) або декількох (багатоточкові, або багаканальні прилади) вимірювальних величин.

Інтегруючі прилади (лічильники або інтегратори) дозволяють визначати сумарне значення вимірювальної величини за будь-який проміжок часу. Для цього

показання приладу відраховують на початку і кінці вимірювання, і сумарне значення вимірюваної величини визначається як різниця між кінцевим і початковим відрахуванням.

Аналогові прилади дають показання у вигляді безперервної функції вимірюваної величини. До них відносять, наприклад стрілочні, що показують, і більшість самописних приладів.

Цифрові прилади мають показання у вигляді окремих дискретних сигналів вимірювальної інформації в цифровій формі. До цих приладів входять прилади – покажчики із цифровим відліком, друкуючі і більшість самописних.

Оперативні прилади є промисловими засобами вимірювання. За їх показниками проводиться керування роботою виробничих установок. Ці прилади мають велике значення для забезпечення корисної експлуатації виробничого устаткування, виконуються приладами-покажчиками і самописними приладами.

Облікові і розрахункові прилади служать відповідно для технічного обліку роботи установок і взаємних розрахунків, бувають самописними та інтегруючими.

Місцеві прилади встановлюються безпосередньо в місцях вимірювання. У більшості випадків вони призначаються для менш відповідальних спостережень, а також для періодичних вимірювань при пуску і зупинці агрегатів.

Прилади з дистанційною передачею показань на щити керування є основним видом промислових приладів, що забезпечують централізацію контролю за роботою установок. Промислові вимірювальні прилади звичайно є стаціонарними, тобто призначеними для установлення (монтажу) на щитах, стінах, колонах, кронштейнах та ін. Більшість інших приладів (лабораторні, зразкові та ін.) виконуються переносними, установлюваними при вимірюваннях на столах, стендах та інші

Види приладів

Щитові вимірювальні прилади. Для них характерно загально промислове виконання, вузько направлене використання, постійний моніторинг результатів вимірювання. Як приклад - стаціонарні амперметри та вольтметри, вмонтовуються безпосередньо в приладову панель.

Портативні вимірювальні прилади. У даній групі знаходяться пристрої мобільні, які потребують постійного місця перебування. Приклад - портативні прилади для вимірювання параметрів води, характеристик ґрунту.

Барографи. Складніша вимірювальна техніка. Характеризується можливістю підключення декількох видів сигналів, їх обробки та подання в наочному вигляді на своєму табло.

Реєстратори та самописці. Складні пристрої. В окремих випадках є ядром системи. Їх функціоналу найчастіше досить, щоб вирішити всі завдання з

централізованого контролю виробничого процесу.

Нормуючі перетворювачі. Призначення приладів зводиться до перетворення різноманітних типів сигналів або їх параметрів в уніфіковані струмові або потенційні (по напрузі) сигнали виходу.

Аналогові перетворювачі. Пристрої забезпечують підключення датчиків з передачею їх сигналу на аналоговий вихід перетворювача, зазвичай - ізольований.

Цифрові перетворювачі. Пристрої як правило програмовані і багатофункціональні. Використовують мікропроцесори і АЦП.

Великогабаритні цифрові дисплеї. Прилади, почасти схожі з барографами і щитовими вимірювальними приладами. Забезпечують індикацію отриманих вимірювальних параметрів.

Сучасна промислова автоматика включає в себе кілька основних видів робочого устаткування:

- *Програмовані контролери* призначені для автоматизації процесів управління обладнанням. Робота більшості сучасних технічних засобів АСУ ТП будується на використанні контролерів. Контролери дозволяють значно зменшити роль людського фактору в робочих процесах і підвищити продуктивність обладнання.

- *Панелі оператора* використовуються для управління багатьма виробничими і виробничими процесами. Використання панелей при роботі з іншим промисловим обладнанням забезпечує просту настройку роботи автоматичної системи управління, а також при наявності дисплея відображає всю необхідну інформацію про поточний стан обладнання і процесів, що протікають.

- *Лічильники* призначені для підрахунку частоти виникнення певних подій, а також для акумуляції отриманих величин протягом часу. Використання лічильників спільно з іншими пристроями автоматики дозволяє автоматизувати робочі процеси і налаштувати роботу в залежності від підрахунку.

- *Таймери* призначені для відстеження часу роботи системи і завдання моменту запуску і зупинки обладнання. Таймери для вимірювання часу можуть запускатися при старті роботи системи автоматично з можливістю зупинки в момент зупинки обладнання чи ж управлятися вручну. Використання таймерів в рамках систем управління промислової автоматикою дозволяє налаштувати обладнання таким чином, щоб початок і кінець роботи здійснювалися в заданий час.

- *Промислові джерела живлення* розроблені для забезпечення робочого обладнання в рамках різних виробничих процесів необхідним електроживленням з необхідними характеристиками. Промислові джерела живлення служать для подачі на пристрої автоматики необхідної потужності, для перетворення і стабілізації напруги, для забезпечення додаткової електричної захисту. Деякі моделі

дозволяють регулювати характеристики живлення безпосередньо в процесі роботи, здійснювати автоматичне керування і віддалений контроль роботи.

- *Регулятори потужності* призначені для плавного управління поданого навантаження на робоче обладнання. Регулювання потужності дозволяє підтримувати необхідну напругу струму в робочій мережі, а також забезпечує додатковий захист при роботі з промисловою автоматикою.

- *Контролери датчиків* призначені для підключення різних видів датчиків до робочого обладнання, а також управління ними. В рамках систем управління на базі промислової автоматики контролери можуть доповнювати датчики різними функціями, забезпечувати перетворення струму в необхідні показники, керувати кількома датчиками одночасно.

- *GSM-контролери* дозволяють дистанційно керувати робочим обладнанням завдяки роботі в GSM-мережі. Використання GSM-контролерів дозволяє забезпечити зв'язок обладнання без необхідності безпосереднього з'єднання між собою і отримувати інформацію про робочих процесах на стільниковий телефон. Управління також може здійснюватися з телефону при заданні відповідних параметрів при установці контролерів.

- *Ємнісні датчики* наближення широко поширені в промисловості і застосовуються практично у всіх галузях. Ємнісні датчики наближення порівняно недорогі, але надійні.

- *Ультразвукові датчики* являють собою різні види датчиків контролю, що працюють на принципі аналізу звукових хвиль, що мають певну довжину. При роботі з промисловим обладнанням ультразвукові датчики можуть використовуватися для контролю положення, рівня, відстані та інші.

- *Оптичні датчики* призначені для безконтактної роботи з різними об'єктами контролю. Датчики оптичного дії працюють за допомогою інфрачервоного, видимого або ультрафіолетового випромінювання і застосовуються для виробничих процесів, що працюють з об'єктами, недоступними для інших форм контролю, в тому числі прозорими предметами, парами, димом і ін.

- *Індуктивні датчики* положення призначені для контролю наявності металевих об'єктів в активній зоні дії датчика. Датчик застосовується в основному з метою збору інформації про знаходження і переміщення окремих металевих елементів, а також деталей і органів машин і механізмів.

- *Датчики для автоматичних дверей і воріт*, щоб керувати автоматичним дверним приводом. Датчики визначають присутність або відсутність контрольованого об'єкта безпосередньо в зоні своєї дії, подаючи відповідні сигнали на привід управління автоматичними дверима.

- *Енкодер або датчики кута повороту* представляють групу приладів,

призначених для перетворення вимірюваного параметра виробничого процесу в електричний сигнал. Енкодери розроблені для вимірювання кута повороту різних обертових об'єктів та елементів системи, що дозволяє вимірювати і контролювати процес обертання і переміщення об'єктів з плином часу.

- *Засоби візуалізації даних*, перш за все, включають в себе спеціалізоване програмне забезпечення для настройки робочого обладнання, збору і аналізу інформації, яка надходить від нього, а також пристрої для безпосереднього візуального відображення - дисплеї та монітори.

- *Перемикачі і кнопки* в промисловості використовуються для замикання і розмикання ланцюга керування або перемикання станів ланцюга між різними режимами.

- *Сигнальні лампи* призначені для оптимізації роботи оператора виробничого процесу обладнання за допомогою сигналізації про поточні стани ланцюгів управління.

- *Зумери* в промисловості застосовуються для звукової сигналізації роботи обладнання і звукового супроводу різних виробничих процесів.

В рамках кожної групи представлена велика кількість підгруп і моделей, що виконують різні функції і мають відмінні технічні характеристики. Виходячи з вимог кожного конкретного виробничого процесу, відбувається вибір між тим чи іншим пристроєм автоматики. Також часто випускаються пристрої, що поєднують в собі можливості кількох видів обладнання для економії робочого простору, зниження енергоспоживання і скорочення інших витрат.

Похибки вимірювальних приладів

При багаторазовому вимірюванні певної величини легко переконатися, що результат вимірювання увесь час змінюється, тобто в кожному випадку спостерігається відхилення результату вимірювання від середнього значення вимірювальної величини. Крім того, проведення вимірювань тієї самої величини в інший проміжок часу дає не тільки інші відхилення від середнього значення, але й інше середнє значення вимірювальної величини. Це пояснюється тим, що вимірювальна фізична величина досліджуваного тіла так само, як і використовувана міра, протягом часу вимірювань зазнає змін. Ці зміни викликані впливом зовнішніх факторів: зміною температури навколишнього середовища, атмосферного тиску, вологості повітря, вібрації приміщення, електростатичними блукаючими зарядами, струмами і так далі. Отже, "точне" визначення вимірювальної величини, тобто без появи певних відхилень при багаторазових вимірюваннях, неможливе.

Відхилення від середнього результату вимірювань називають помилками, або похибками вимірювань, і в підсумку вимірювань зазначають не тільки середню

величину, але і можливе відхилення від цієї величини. Наприклад, довжина тіла дорівнює $1,2 \pm 0,3$ м.

На практиці при постановці вимірювального завдання потрібно не просто визначити значення вимірюваної величини, але і визначити її з максимально припустимою похибкою.

Похибка – кількісна характеристика невизначеності, або неоднозначності, результату вимірювання. Її оцінюють, виходячи із всієї інформації, накопиченої при підготовці і виконанні вимірювань. Цю інформацію обробляють для спільного одночасного визначення остаточного результату вимірювання і його похибок. Остаточний результат не можна розцінювати як “істинне значення” вимірюваної фізичної величини, тому що в цьому нема сенсу через наявність похибки.

З вищесказаного зрозуміло, що чим більшу кількість однакових вимірювань ми проводимо за одиницю часу, тим більше осереднюємо вплив зовнішніх факторів на вимірювальну величину, тим менше відхилення від середнього значення вимірювальної величини, тобто менше похибка вимірювання.

Основними джерелами похибок вимірювань може бути таке:

1. *Похибка інструмента*. Вимірювальний прилад неможливо виготовити абсолютно точно.

2. *Похибка методу вимірювань*. Наприклад, при зважуванні тіла ми не враховуємо виштовхувальну силу повітря, а вона по-різному впливає на тіла, що мають різну густину.

3. *Похибки, пов'язані з фізіологією спостерігача*. Наприклад, відраховуючи показання за стрілочним приладом, спостерігач помиляється через поганий зір або має повільну реакцію при спостереженні за миттєвими змінами величини, яка вимірюється.

4. *Похибки, пов'язані з особливостями об'єкта і залежністю вимірювальної величини від контрольованих навколишніх умов*. Наприклад, ми вимірюємо діаметр деталі на токарному верстаті, а деталь у результаті обробки нагрілася і має температуру вище кімнатної або, наприклад, сильно шорстка.

5. *Похибки, пов'язані із впливом неконтрольованих зовнішніх умов*. Наприклад, при зважуванні тіла на аналітичних вагах на точність показань можуть впливати потоки повітря, електричні поля, порошини, що осідають на зважувальне тіло і гирі.

При кожному вимірюванні повинна бути відома ступінь точності його результату, оцінювана похибкою вимірювання. Тільки тоді отримане значення тієї або іншої величини має практичний сенс.

Похибка вимірювання може бути виражена у вигляді *абсолютної* або *відносної* величини і буває додатньою або від'ємною. Оскільки не існує абсолютно точних приладів і методів вимірювань, то результат вимірювання $x_{вим}$ певною

мірою відрізняється від істинного значення x .

Абсолютною похибкою (помилкою) вимірювання називають різницю між обмірюваним та істинним значенням фізичної величини

$$\pm \Delta x = x_{\text{вим}} - x.$$

До завдання вимірювання входить також оцінка похибки вимірювання, тому що без цього не можна робити висновки про те, у якій мірі достовірний отриманий результат. Оскільки істинне значення звичайно невідоме, обчислити похибку, зрозуміло, не можна. Похибку визначають, виходячи з точності вимірювальних приладів, розкиду експериментальних даних, методики вимірювання та інші. У результаті одержують не δx , а її наближене значення Δx , у якому невідомий, як правило, навіть знак.

Типова форма подання результату вимірювання така:

$$x = x_{\text{вим}} \pm \Delta x.$$

Це означає, що істинне значення з досить високою ймовірністю перебуває в інтервалі:

$$x_{\text{вим}} - \Delta x < x < x_{\text{вим}} + \Delta x$$

Інтервал називається *довірчим інтервалом*.

Іноді для одержання точного результату показання приладу множаться на поправочний множник k , тобто $x = kx_{\text{вим}}$.

Звичайно для визначення дійсного значення до показання приладу вводиться поправка c , що чисельно дорівнює абсолютній похибці, узятій з оберненим знаком. Значення Δ , c і k у більшості випадків отримують експериментальним шляхом. Для стаціонарних промислових вимірювань використовуються прилади, найбільші похибки яких перебувають у межах існуючих норм (стандартів), що задовольняють вимоги практики. Тому до показань цих приладів виправлення не вводяться.

Відносна похибка вимірювання – відношення абсолютної похибки до вимірюваної величини, виражена в одиницях (відсотках) вимірювальної величини:

$$\delta = (\Delta x / x_{\text{вим}}) \cdot 100\%.$$

Якість вимірювань, їх точність зручно характеризувати саме відносною похибкою. Наприклад, швидкість світла $c = 299792459$ м/с обмірювана з абсолютною похибкою $\Delta c = 1$ м/с або відносною похибкою $\delta = 3 \times 10^{-9} = 3 \times 10^{-7} \%$. Це дуже висока точність вимірювання. Якщо з такою ж абсолютною похибкою вимірюється мала швидкість, наприклад, $v = 10 \pm 1$ м/с, то $\delta = 10 \%$ - це досить посередня точність.

При лабораторних і точних промислових вимірюваннях враховуються по можливості всі виникаючі похибки. У цих випадках відлік показань приладу проводиться кілька разів підряд з метою визначення середнього значення вимірювальної величини, вірогідність якого зростає зі збільшенням числа відліку.

Тема 3

ПРИСТРОЇ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ. ПАРАМЕТРИЧНІ ДАВАЧІ

Для того, щоб використовувати у системах автоматики будь-яку неелектричну величину, яка характеризує той або інший процес, її у більшості випадків спочатку перетворюють в електричну величину за допомогою давача. Способів такого перетворення, а отже, й типів давачів у сучасній техніці багато.

Давач – це пристрій, який сприймає вимірюваний параметр та виробляє відповідний сигнал у колах передавання його для подальшого використання або реєстрації. Досить часто поняття «давач» та «вимірювальний перетворювач» не розділяють і використовують один термін «давач». У конструкторській справі під давачем слід розуміти первинний вимірювальний перетворювач, який розміщений у корпусі та забезпечений пристроями для його встановлення на об'єкті, а також кабелем для передавання сигналу плус розніми.

Основні вимоги, які пред'являються до давача, наступні:

– здійснення необхідної безперервної залежності його вхідної величини у від вимірюваної вхідної величини x ;

– застосовність до наявної вимірювальної апаратури та джерел живлення;

– достатня чутливість давача;

– певні для кожного завдання припустимі габарити та вага;

– відповідність необхідному діапазону змін вимірюваної величини;

– відсутність зворотної взаємодії давача на вимірюваний сигнал;

– достатньо мала інерційність перетворення.

При виборі давача слід враховувати особливості досліджуваного процесу та умови проведення експерименту і подальшої роботи на об'єкті.

На об'єкт вимірювання звичайно встановлюється давач, який складається з одного або кількох вимірювальних перетворювачів.

Вимірювальне перетворення – це відображення однієї фізичної величини за допомогою іншої. Існують важкі умови експлуатації. Лише один параметр – це вимірювана величина. Решта – зовнішні параметри, що характеризують виробниче середовище – є завадами. Давач повинен на тлі завад реагувати лише на вимірювану величину.

Принципи побудови давачів

Пристрої отримання інформації можна підрозділити на два класи:

1) Параметричні давачі, де вимірюється будь-який параметр, що змінюється під впливом самої вимірюваної величини. Такий давач вимагає підімкнення до будь-якого зовнішнього джерела енергії. До параметричних давачів належать:

– резистивні, тобто активного опору;

- індуктивні;
- трансформаторні;
- ємнісні.

2) Генераторні давачі, де сам давач генерує вихідний сигнал і не вимагає відімкнення до зовнішнього джерела енергії. До генераторних давачів належать:

- термоелектричні;
- індукційні;
- п'єзоелектричні;
- фотоелектричні.

Параметричні давачі

Параметричними називають такі давачі, які перетворюють вхідну величину у зміну будь-якого параметра (R, L, C) електричного кола або магнітної проникності феромагнітного осердя. Для отримання вихідного сигналу необхідно до параметричних давачів підвести напругу від зовнішнього джерела.

Давачі з перетворенням активного опору

До них належать:

- реостатні або потенціометричні;
- тензометричні або тензорезистори;
- термометри опорів;
- напівпровідникові терморезистори;
- магніторезистори;
- фоторезистори.

В основі роботи перетворювачів даного типу лежить здатність провідників змінювати електричний опір залежно від зміни одного або кількох параметрів.

$$R = \rho (l/s) , \text{ Ом},$$

де l – довжина провідника, м;

s – площа перерізу провідника, м^2 ;

ρ – питомий опір провідника, Ом·м.

Значення питомого опору деяких металів надані у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Питомий опір деяких провідників

Метал	ρ , Ом·м	Метал	ρ , Ом·м
Срібло	0,016	Платина	0,107
Мідь	0,0178	Манганін	0,43
Золото	0,022	Константан	0,5
Алюміній	0,0287		

Потенціометричні давачі

Потенціометричні або реостатні давачі як такі слугують для перетворення

лінійних або кутових переміщень у зміні електричного опору. У таких перетворювачах використовують змінні резистори з манганінового або константанового дроту, намотаного на каркас із ізоляційного матеріалу. По робочій ділянці обмотки, зачищеній від ізоляції, переміщується рухома щітка (рухомий контакт), закріплена на важелі, який здійснює поступальний або обертальний рух (рис. 3.1).

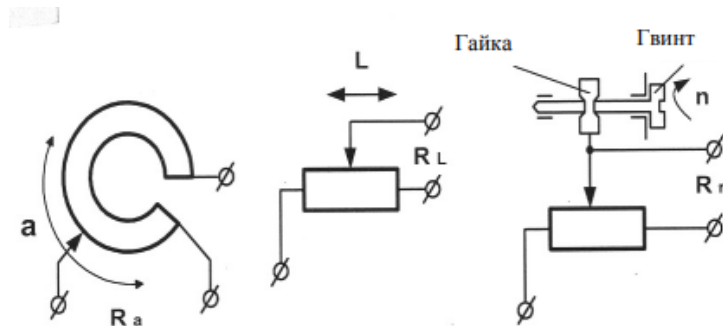


Рисунок 3.1 – Основні конструкції потенціометричних перетворювачів

Якщо каркас змінного резистора має однаковий переріз по всьому периметру, величина опору змінюється лінійно залежно від переміщення рухомого контакту. Щоб отримати нелінійну (квадратичну, логарифмічну або іншу) залежність, каркасу надають відповідну форму.

Часто потенціометри використовують як нормуючі електричні перетворювачі у складі датчиків, призначених для перетворення інших фізичних величин, наприклад, температури (рис. 3.2). У цьому випадку змінний резистор включають за схемою подільника напруги та з виходу датчика знімають сигнал у вигляді електричної напруги, пропорційної значенню вимірюваної фізичної величини, у даному випадку – температури.

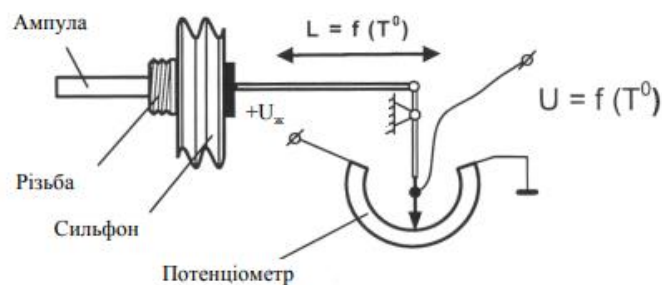


Рисунок 3.2 – Електричний термометр

Датчик температури – електричний термометр – складається з тонкостінної металеві ампули, з'єднаної з сильфоном й потенціометром. Чутливий елемент датчика (ампула) заповнений рідиною, пари якої мають високий коефіцієнт об'ємного розширення. При нагріванні ампули, установленій, наприклад, у системі охолодження дизеля трактора, об'єм пари збільшується, що призводить до

переміщення задньої рухомої стінки сильфона. Штовхач, встановлений на стінці сильфона, за допомогою точного механізму переміщує рухомий контакт потенціометра на кут, пропорційний зміні температури.

Основна перевага потенціометричних давачів – простота та відсутність необхідності наступного підсилення, якщо вони застосовуються для цілей вимірювання.

Основні їх недоліки – наявність ковзного електричного контакту, необхідність відносно великих переміщень повзунка й значного зусилля для його переміщення. Простий реостат, який змінює струм в електричному колі при переміщенні його повзунка, майже не знайшов застосування в автоматичі через значну нелінійність його характеристики $I = U/R$.

Оцінимо похибку перетворення під час роботи з таким давачем. Реостат звичайно вмикають за схемою потенціометра (рис. 3.3,а), характеристика якої може бути виконана приблизно лінійною правильним вибором режиму роботи потенціометра.

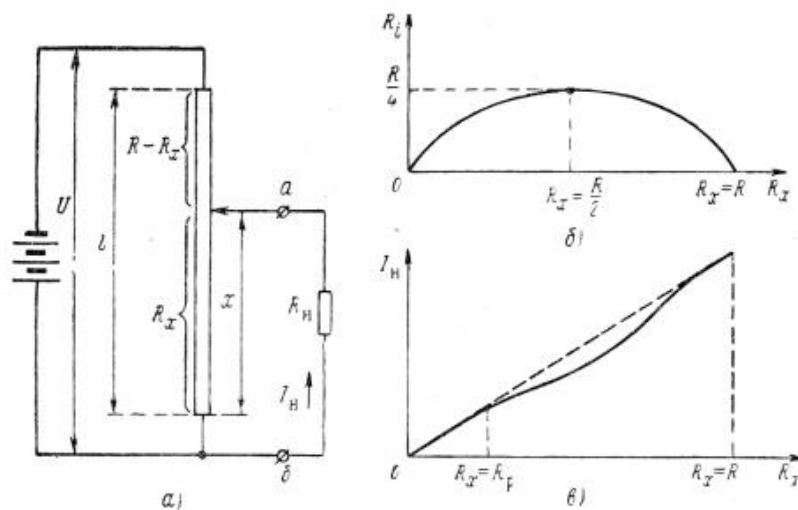


Рисунок 3.3 – Потенціометричний давач та його характеристики

Характеристикою потенціометричного давача у загальному випадку є залежність струму I_n у навантаженні (наприклад, вимірювальному пристрої) R_n від переміщення x повзунка потенціометра, тобто $I_n = f(x)$.

Знайдемо величину струму у навантаженні, скориставшись теоремою про еквівалентний генератор:

$$I_n = \frac{U_{аб}^{xx}}{R_n + R_i},$$

де

$$U_{ab}^{xx} = \frac{U}{R} R_x;$$

$$R_i = \frac{R_x(R - R_x)}{R}.$$

Підставляючи ці величини, отримаємо

$$I_n = \frac{R_x}{R} \left[\frac{1}{R_n + \frac{R_x(R - R_x)}{R}} \right] U.$$

За сталості R_i величина струму I_n залежала б лінійно від величини переміщення x . Однак насправді величина R_i залежить від x (рис. 3.3,б) і тому ця лінійність можлива лише у тому випадку, коли опір навантаження набагато більший опору потенціометра. Тоді величиною R_i можна знехтувати порівняно з R_n й характеристику потенціометра зобразити пунктирною прямою (рис. 3.3,в). Вигляд характеристики у загальному випадку, коли R_n порівняний за величиною з R_i , зображений на рис. 3.3,в суцільною кривою. При роботі з потенціометричним давачем потрібно або оцінювати похибку, можливу через нелінійність характеристики, або обмежувати робочу ділянку давача інтервалом $0 - R_p$ характеристики зі ще знехтувано малою нелінійністю.

Відносна похибка струму у навантаженні внаслідок кінцевості її опору буде дорівнювати

$$\frac{\Delta I_n}{I_{n0}} = \frac{I_{n0} - I_n}{I_{n0}} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{R_x(l-x)}{l^2 R_n}} = \frac{1}{1 + \frac{l^2}{x(l-x)} \frac{R_n}{R}}.$$

Вважаючи $x = l/2$, легко віднайти максимальну величину цієї похибки:

$$\left(\frac{\Delta I_n}{I_{n0}} \right)_{\max} = \frac{1}{1 + 4 \frac{R_n}{R}}.$$

Ця похибка практично дорівнює нулю, коли напруга з потенціометра подається на вхід електронного підсилювача. Однак у подібних випадках, коли навантаження реагує на дуже малі переміщення повзунка потенціометра, доводиться рахуватися з іншими видами похибок, які виникають внаслідок перекриття повзунком певної частини довжини потенціометра (так звана «роздільна здатність» потенціометра) і наявністю порога чутливості, який визначається у даному випадку діаметром дроту намотки.

Тензорезистори

Тензометричний вимірювальний перетворювач – параметричний резистивний перетворювач, який перетворює деформацію твердого тіла, викликану прикладеною до нього механічною напругою, в електричний сигнал.

Резистивний тензодавач являє собою основу із закріпленим на ній чутливим елементом. Принцип вимірювання деформацій за допомогою тензометричного перетворювача полягає у тому, що при деформації змінюється активний опір тензорезистора.

У сучасному вигляді тензометричний вимірювальний перетворювач конструктивно являє собою тензорезистор, чутливий елемент якого виконаний з тензочутливого матеріалу (дроту, фольги тощо), закріплений за допомогою зв'язуючого (клею, цементу) на основу (рис. 3.4). Для приєднання чутливого елемента до електричного кола у тензорезисторі є з'єднувальні дроти. Деякі конструкції тензорезисторів для зручності встановлення мають підкладку, розташовану між чутливим елементом та досліджуваною деталлю, а також захисний елемент, розташований поверх чутливого елемента.

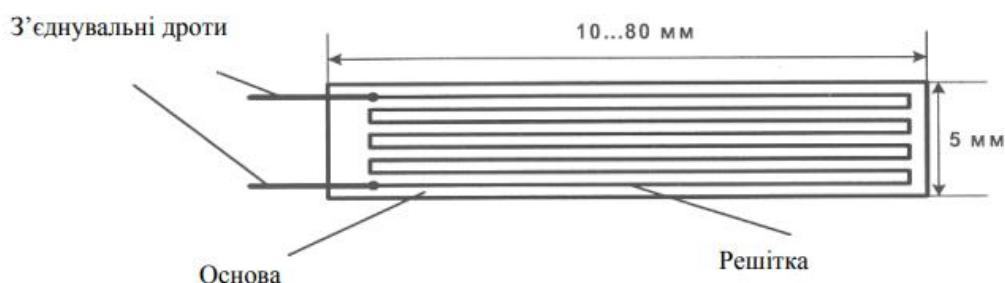


Рисунок 3.4 – Конструкція дротового тензорезистора

Тензорезистори приклеюють до поверхонь деталей, на які впливає деформація (рис. 3.5).

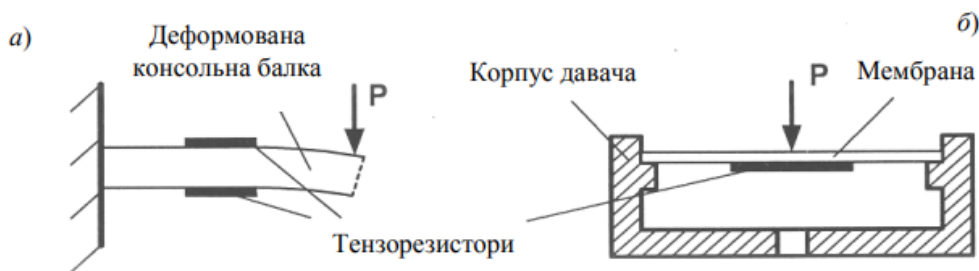


Рисунок 3.5 – Встановлення тензорезисторів

При деформації деталі, наприклад консольної балки, під впливом зовнішньої сили її верхня поверхня розтягується, нижня – стискається (рис. 3.5,а). Отже, опір верхнього тензорезистора буде збільшуватися, а нижнього – зменшуватися пропорційно амплітуді деформації.

У давачах тиску сипучих матеріалів або рідин (рис. 3.5,б) застосування верхнього тензорезистора неможливе у принципі. Що стосується тензорезистора, приклеєного на нижній бік мембрани, то його опір буде збільшуватися при зростанні зовнішньої сили.

В основі роботи тензоперетворювачів лежить явище тензоефекта, що полягає у зміні активного опору провідників при їхній механічній деформації. Характеристикою тензоефекту матеріалу є коефіцієнт відносної тензочутливості K , який визначається як відношення зміни опору до зміни довжини провідника:

$$K = \frac{\Delta R}{R\varepsilon},$$

де R – опір тензорезистора, Ом;

ΔR – зміна опору, Ом;

ε – відносна деформація тензорезистора:

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0},$$

де L_0 і L_1 – відповідно довжина тензорезистора до та після деформації, м.

Дротові тензорезистори, застосовувані у системах автоматизації, мають значення коефіцієнта тензочутливості $K_{дрот} = 2,0$.

Нині значне застосування знаходять напівпровідникові тензорезистори – *гедистори*, які мають коефіцієнт тензочутливості $K_{гед} = 200$, що дозволяє виконувати вимірювання незначних зусиль й деформацій. Однак через свою крихкість гедистори не можуть бути використані при вимірюванні значних відносних деформацій.

За всього різноманіття задач, які розв'язуються за допомогою тензометричних вимірювальних перетворювачів, можна виокремити дві основні області їх використання:

– дослідження фізичних властивостей матеріалів, деформацій та напруг в деталях та конструкціях;

– застосування тензодавачів для вимірювання механічних величин, які перетворюються в деформацію пружного елемента.

Для першого випадку характерна значна кількість точок тензометрування, широкі діапазони зміни параметрів оточуючого середовища, а також неможливість градуювання вимірювальних каналів. У даному випадку похибка вимірювання складає 2...10%.

У другому випадку давачі градуюються за вимірюваною величиною й похибка вимірювань лежить у діапазоні 0,5...0,05%.

Широке розповсюдження тензодавачів пояснюється цілою низкою переваг:

- малі габарити та вага;
- малоінерційність, що дозволяє застосовувати тензодавачі як при статичних, так і при динамічних вимірюваннях;
- мають лінійну характеристику;

- дозволяють дистанційно й у багатьох точках проводити вимірювання;
- спосіб встановлення їх на досліджувану деталь не вимагає складних пристосувань та не спотворює поле деформацій досліджуваної деталі.

А їх недолік, який полягає у температурній залежності, можна у більшості випадків скомпенсувати.

Для оброблення сигналів тензометричних датчиків застосовують тензопідсилювачі – біполярні підсилювачі постійного струму, які мають високостабільні параметри живлення і підсилення та забезпечують можливість відімкнення тензодатчиків за напівмостовою (рис. 3.6,а) або за мостовою схемою (рис. 3.6,б).

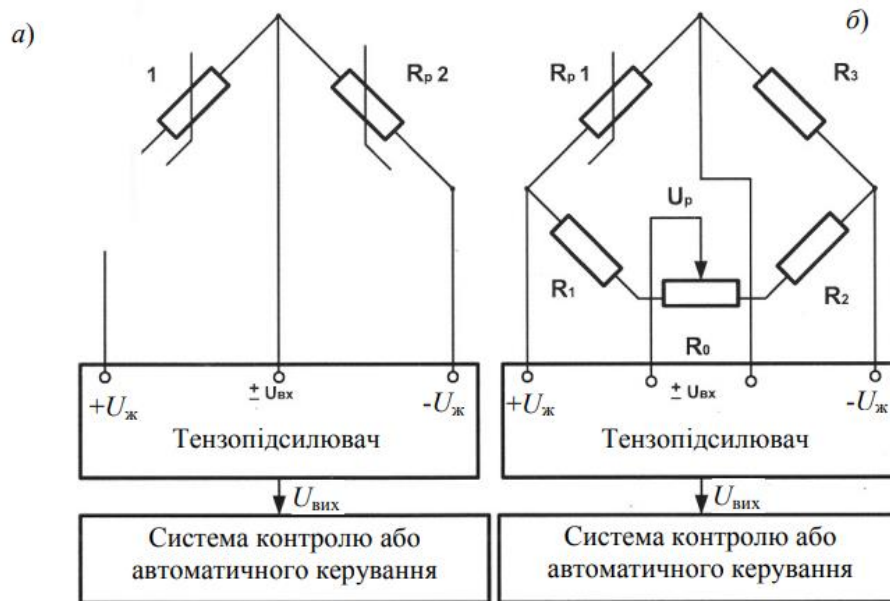


Рисунок 3.6 – Схеми відімкнення тензометричних датчиків

Термометри опору

Електричні термометри опору отримали широке розповсюдження для вимірювання температур різних середовищ у межах 220...1000°. Ці термометри основані на властивості провідників або напівпровідників змінювати свій опір R при зміні температури.

Залежність опору металевих терморезисторів від температури виражається формулою:

$$R = ce^{\alpha_T T},$$

де c – постійний коефіцієнт;

α_T – температурний коефіцієнт опору;

$T = 273 + 0^\circ\text{C}$ – абсолютна температура в K° .

При нагріванні металу енергія, а отже, й швидкості руху вільних електронів

зростають, зіштовхування їх з вузлами кристалічної решітки (іонами) частішають і, отже, збільшується електричний опір металу. Тому для більшості провідників коефіцієнт α_T позитивний.

Знаючи опір провідника за якоїсь початкової температури T_0

$$R_0 = ce^{\alpha_T T_0},$$

можна визначити опір цього провідника за довільної температури T зі співвідношення

$$\frac{R_T}{R_0} = e^{\alpha_T(T-T_0)}.$$

Розкладаючи праву частину цього виразу у ряд та обмежуючись першими двома членами ряду, отримаємо просту залежність, яка використовується у термометрах опору:

$$R_T = R_0[1 + \alpha_T(T - T_0)].$$

Величина α_T для діапазону температур 273...473° К може бути прийнята постійною і для міді рівною 0,00428 1/°К. У цьому діапазоні працюють мідні та нікелеві давачі термометрів опору. Платинові давачі працюють у діапазоні температур 473–1000° К.

Основні похибки терморезисторів опору виникають внаслідок непостійності напруги живлення та температури навколишнього середовища, самонагріву термопередавача струмом, що ним протікає, та теплової інерційності тензодавача.

Величина опору напівпровідникових терморезисторів (так званих термісторів) залежно від температури складає

$$R = Ae^{B/T}, \text{ Ом,}$$

де A і B – коефіцієнти, що залежать від матеріалу й розмірів термістора;

T – абсолютна температура, °К.

Зі зростанням температури опір металевих терморезисторів збільшується, а напівпровідникових – зменшується. Значення температури визначають за величиною напруги у діагоналі урівноваженого мосту, в одне з плечей якого установлений термоопір (рис. 3.6, б).

Широке розповсюдження знаходять металеві термометри опору, які виконані у вигляді капсул із фторопласту або кераміки, всередину яких розміщені мідні або платинові спіралі (рис. 3.7, табл. 3.2). Капсули мають герметичні кріплення, що дозволяють встановлювати їх в об'єкти, температуру змісту яких необхідно виміряти. Місце встановлення давачів в об'єкті визначають звичайно експериментальним шляхом за найбільш достовірного термічного стану об'єкта.

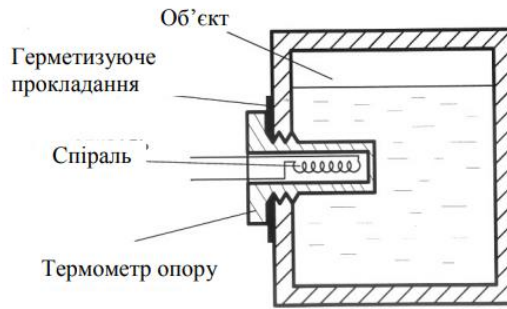


Рисунок 3.7 – Термометр опору

Таблиця 3.2 – Основні параметри металевих терморезисторів

Матеріал терморезистора	Температурний коефіцієнт опору α , $^{\circ}\text{C}^{-1}$	Діапазон вимірюваних температур, $^{\circ}\text{C}$	Температура плавлення, $^{\circ}\text{C}$
Мідь	0,0038	-50...+180	1083
Платина	0,0039	-260...+1300	1769

Магніотерморезистори

Для перетворення переміщень використовують ефект зміни електричного опору напівпровідників і металів у магнітному полі. Прилади, виконані на основі цього ефекту, називають магнітоомічними перетворювачами або магніторезисторами.

Пластини для перетворювачів виготовляють або з кристалів, розрізаючи їх на пластинки товщиною 0,1...0,2 мм, або у випадку застосування композиційних матеріалів – у вигляді плівок товщиною 1...10 мкм, які отримані методом випарювання у вакуумі на слюдяну основу.

Магнітне поле у магніторезисторних перетворювачах створюється як постійними магнітами, так і електромагнітами. В обох випадках спостерігається зростання опору перетворювача пропорційно підвищенню напруженості магнітного поля (рис. 3.8).

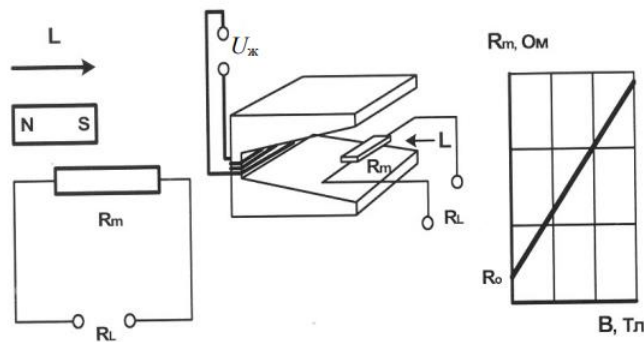


Рисунок 3.8 – Принцип дії магніторезисторів

$$R_m = R_0(1 + S B), \text{ Ом,}$$

де $S = \frac{\Delta R / R_0}{B}$, Тл^{-1} – коефіцієнт магнітної чутливості;

B – магнітна індукція, Тл.

Значення магнітної чутливості суттєво залежать від форми перетворювача (рис. 3.9).

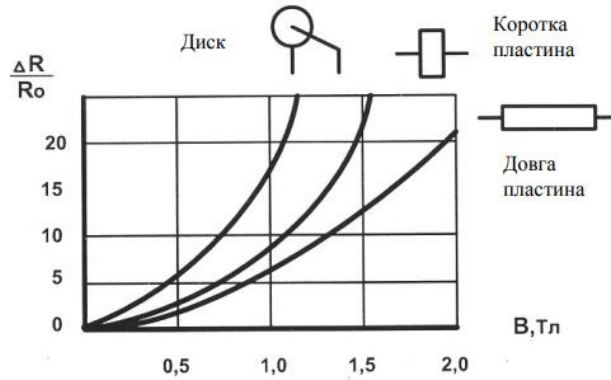


Рисунок 3.9 – Залежність магнітної чутливості від форми перетворювача

Як вихідні матеріали для виготовлення магніторезисторів застосовують германій, кремній, вісмут, а також композиції типу: ртуть-селен, ртуть-телур, індій-сурма та ін. (табл. 3.3).

Матеріал	ρ , Ом·см	Матеріал	ρ , Ом·см
Ge	40...50	HgSe	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Si	$6 \cdot 10^{-5}$	HgTe	$0,8 \cdot 10^{-3}$
Bi	10^{-4}	InSb	$7 \cdot 10^{-3}$

Фотоелементи з внутрішнім фотоелементом (фоторезистори)

Кількість вільних електронів у напівпровідниках збільшується під дією падаючої на них променевої енергії. Збільшення внаслідок цього електропровідності при сталості температури називається внутрішнім фотоелементом.

Перевагами фотодавачів є їх простота, малі габарити, висока чутливість, відсутність механічного зв'язку з вимірюваним процесом і мала інерційність. Основним недоліком є мала величина фотоструму, внаслідок чого необхідно або його підсилення, або застосування високочутливих вимірювальних пристроїв.

Найважливіші три характеристики фотоелементів:

– світлова характеристика $I_\Phi = f(\Phi)$, тобто залежність фотоструму від величини світлового потоку Φ в люменах при постійній напрузі, поданій до фотоелемента;

– вольтамперна характеристика $I_\Phi = f(U_\Phi)$, тобто залежність фотоструму від

величини прикладеної до фотоелемента напруги U_ϕ за $\Phi = \text{const}$;

– інтегральна чутливість $S_\phi = \Delta I_\phi / \Delta \Phi$ (або $k_\phi = I_\phi / \Phi$ за прямолінійності світлової характеристики), тобто відношення величини зміни фотоструму до зміни світлового потоку при постійній напрузі, поданій до фотоелемента. Для порівняння різних фотоелементів їх інтегральну чутливість домовилися вимірювати, використовуючи в якості джерела світла лампу, що має вольфрамову нитку, розжарену до температури 2840 °К, тобто при завжди однакових колірному спектрі і температурі джерела випромінювання.

Слід враховувати, що чутливість S_R фотоелементів, які працюють на опір навантаження R_H , менша, ніж інтегральна чутливість S_ϕ (рис. 3.10, а).

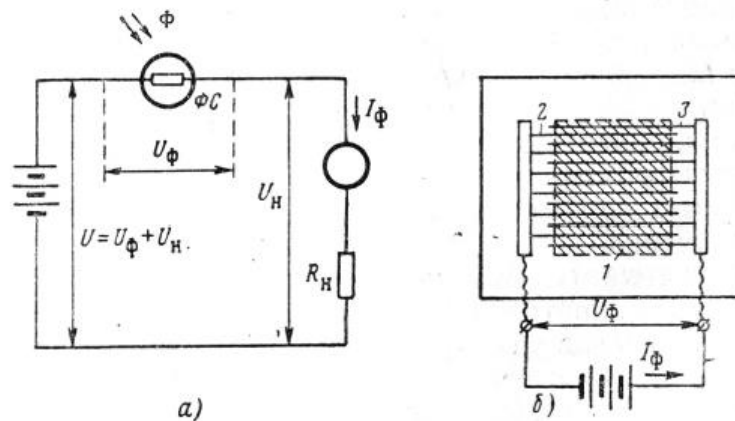


Рисунок 3.10 – Схема увімкнення (а) і конструкція (б) фоторезистора

Фоторезистори (рис. 3.10, б) звичайно виготовляють шляхом нанесення тонкого шару 1 напівпровідникового матеріалу (сірчистий свинець, сірчистий вісмут, сірчистий кадмій тощо) на решітки 2 і 3 з тонких провідників. При зміні освітленості E такого фотоелемента змінюється його опір R_ϕ , а отже, й величина струму I_ϕ в електричному колі. Величина фотоструму залежить від прикладеної напруги U_ϕ , яка для фотоопорів може змінюватися у широких межах. У зв'язку з цим фотоопори часто характеризують питомою (на 1 В) інтегральною чутливістю:

$$S_{\phi 0} = \frac{S_\phi}{U_\phi} \text{ [мкА/В}\cdot\text{ЛМ]}.$$

Вольтамперні характеристики більшості фотоопорів практично лінійні, тобто їхня інтегральна чутливість пропорційна напрузі $S_\phi = S_{\phi 0} U_\phi$.

Перевагами фоторезисторів є малі габарити, висока чутливість та можливість вимірювання слабкого теплового випромінювання (інфрачервоний спектр).

До числа недоліків слід віднести нелінійність світлових характеристик, інерційність, температурна похибка та наявність «темного» струму за відсутності освітленості.

Давачі з перетворювачем індуктивного типу

Основним елементом індуктивних перетворювачів лінійних або кутових переміщень в електричний сигнал є змінна індуктивність або трансформатор зі змінним коефіцієнтом взаємної індукції.

Індуктивні давачі, основані на зміні індуктивного опору котушки зі сталлю, при переміщенні сталювого якоря отримали широке розповсюдження в усіх областях техніки. Їх суттєві переваги:

- а) простота, надійність та відсутність ковзних контактів;
- б) відносно значна величина електричної потужності, що віддається;
- в) можливість роботи на змінному струмі промислової частоти.

Основним недоліком є значна залежність їх від частоти джерела напруги живлення.

Індуктивність котушки з числом витків w найпростішого індуктивного давача (рис. 3.11,а) дорівнює

$$L = \frac{w\Phi}{I}, \text{ Гн,}$$

де Φ – магнітний потік у Вб;

I – струм котушки в А.

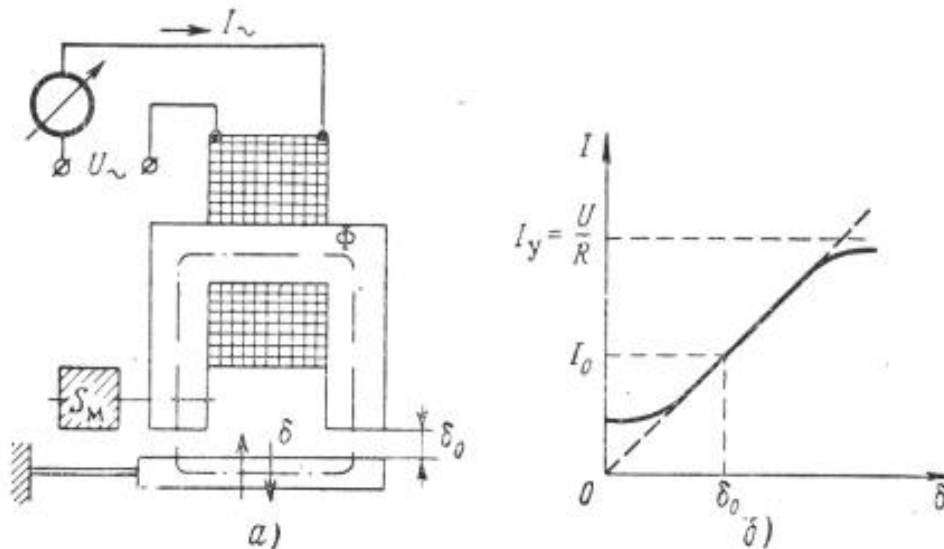


Рисунок 3.11 – Індуктивний давач

Реальна характеристика індуктивного давача відрізняється від ідеальної і показаної на рис. 3.11,б пунктиром, наявністю деякої нелінійності за рахунок залишкового струму при нульовому повітряному проміжку ($R_m \neq 0$) і прагнення струму до усталеного значення $I_y = U/R$ при великих проміжках, коли активний опір стає порівнянним з індуктивним ($R \neq 0$).

Індуктивні давачі застосовуються лише на відносно низьких частотах (до 3000...5000 Гц), тому що на високих частотах різко зростають втрати у сталі на

перемагнічування і реактивний опір обмотки. Для кожного типу давача існує якась найкраща частота, за якої співвідношення між активними та реактивними опорами у схемі буде оптимальним. Для більшості конструкцій ця частота знаходиться у діапазоні 100...1000 Гц.

Істотними недоліками індуктивного давача, показаного на рис. 2.12, є наступні:

- для вимірювання переміщення якоря в обох напрямках необхідний початковий повітряний проміжок δ_0 , тобто і початковий струм I_c у навантаженні. Це створює незручності при вимірюванні і значні похибки від коливань температури і напруги живлення;

- наявність електромеханічного зусилля притягнення якоря, що залежить від величини повітряного проміжка.

Від цих недоліків значною мірою вільний диференціально-трансформаторний індуктивний давач, який має до того ж значну чутливість.

Диференціально-трансформаторні перетворювачі

Диференціально-трансформаторний перетворювач складається з циліндричного каркаса, всередині якого переміщується феромагнітне осердя. На каркасі по всій його довжині рівномірно розміщена первинна обмотка W_1 . Вторинні обмотки W_2 й W_3 намотані поверх первинної обмотки симетрично, відносно її середини, і відімкнені зустрічно, тобто початок кожної обмотки з'єднаний між собою, а кінці – виведені назовні.

Розглянемо принцип дії подібного перетворювача на прикладі давача рівня рідини (рис. 3.12).

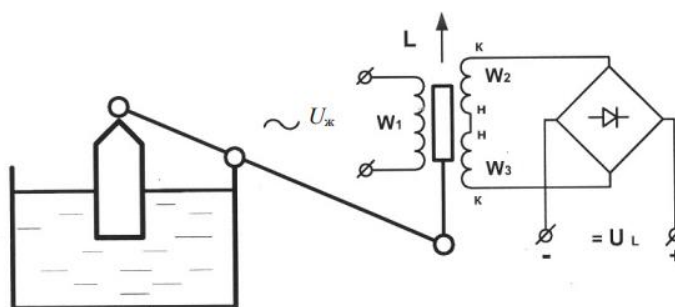


Рисунок 3.12 – Давач рівня з диференціальним трансформатором

При зміні рівня рідини у бачку змінюється положення поплавка й положення осердя у давачі. До тих пір поки осердя знаходиться у середній частині диференціального трансформатора, в обох вторинних обмотках W_2 і W_3 індукуються однакові е.р.с. Але оскільки обмотки увімкнені зустрічно, то різниця потенціалів на виході трансформатора дорівнює нулю. При зменшенні рівня рідини у баці поплавки буде опускатися, а осердя, навпаки, підніматися. Внаслідок цього е.р.с., що індукуються в обмотці W_2 , збільшиться, а е.р.с. в обмотці W_3 зменшиться

й на виході трансформатора з'явиться сигнал змінної напруги, пропорційний зниженню рівня рідини у бачку. Для поєднання давача з системами автоматичного контролю та керування застосовують випрямний міст, з виходу якого знімають сигнал постійної напруги, чий рівень також пропорційний амплітуді контрольованої величини.

Магнітопружні перетворювачі

Принцип дії магнітопружних перетворювачів заснований на зміні магнітної проникності μ ферромагнітних тіл залежно від виникаючих у них механічних напруг (магнітопружний ефект), внаслідок дії механічних зусиль P (стиснення, розтягування, згинання або скручування).

Розрізняють дві основні групи магнітопружних перетворювачів.

До першої групи належать перетворювачі, в яких використовують зміну магнітної проникності чутливого елемента в одному напрямі. Магнітний потік у цих пристроїв спрямований у більшій частині магнітопроводу вздовж напрямку зусилля. У перетворювачах даної групи під дією вимірюваного зусилля змінюється індуктивність обмотки (рис. 3.13,а) або індуктивність між обмотками (рис. 3.13,б).

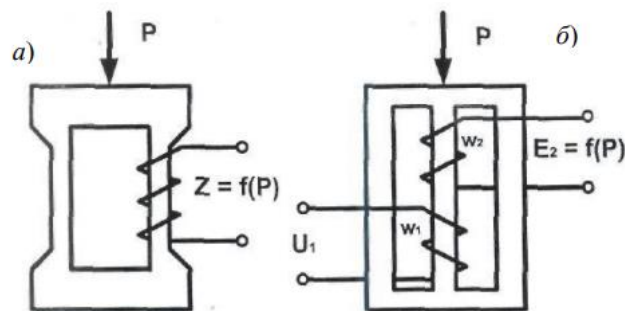


Рисунок 3.13 – Конструкції магнітопружних перетворювачів першої групи

У першому випадку реалізується наступне коло перетворень:

$$P \rightarrow \delta \rightarrow \mu \rightarrow Z_M \rightarrow L \rightarrow Z.$$

(зусилля – механічна напруга – магнітна проникність – магнітний опір – індуктивність – повний опір обмотки).

У другому випадку

$$P \rightarrow \delta \rightarrow \mu \rightarrow Z_M \rightarrow E_2.$$

(зусилля – механічна напруга – магнітна проникність – магнітний опір – магнітний потік – е.р.с. вторинної обмотки).

До другої групи належать перетворювачі, в яких змінення магнітної проникності відбувається одночасно у двох взаємоперпендикулярних напрямках (магнітна анізотропія матеріалу чутливого елемента). У таких перетворювачах магнітний потік спрямований під кутом 45° до лінії дії вимірюваного зусилля (рис. 3.14, а).

За відсутності зовнішнього навантаження (рис. 3.14,б) силові лінії магнітного поля первинної обмотки розташовані симетрично та не «зчеплені» з вторинною обмоткою, в результаті чого е.р.с. вторинної обмотки дорівнює нулю.

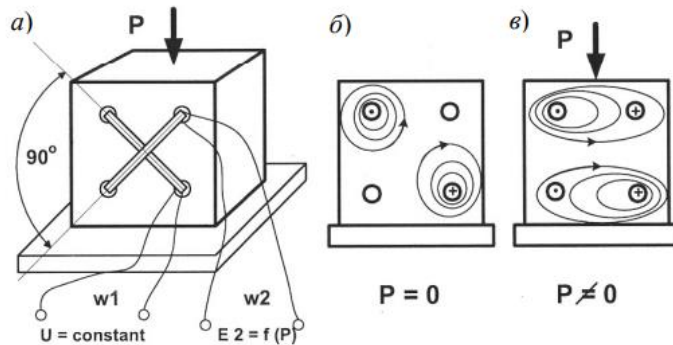


Рисунок 3.14 – Магнітоанізотропний перетворювач

В результаті прикладення зовнішнього зусилля, внаслідок зміни магнітної проникності перетворювача, магнітні силові лінії «витягуються» у напрямі більшої проникності та «стискаються» у напрямі меншої проникності, забезпечуючи «зчеплення» з вторинною обмоткою та індукування в ній е.р.с., пропорційній прикладеному зусиллю (рис. 3.14,в).

Безконтактні кінцеві вимикачі

Безконтактні кінцеві вимикачі надані двома групами електронних пристроїв, які перетворюють кінцеве переміщення об'єкта у потенціальний сигнал високого рівня.

До першої групи належать перетворювачі, у яких як чутливий елемент використовують трансформатор, що має три обмотки, дві з яких намотані на загальне осердя з повітряним проміжком відносно третьої обмотки. Фіксація кінцевого стану об'єкта виконується при уведенні у проміжок між обмотками металевго екрана («прапорця»), закріпленого на об'єкті. Ця група надана вимикачами БК-А (рис. 3.15,а), ВКБ (рис. 3.15,б) й КВД (рис. 3.15,в), в яких чутливий елемент та електронний блок змонтовані в одному корпусі.

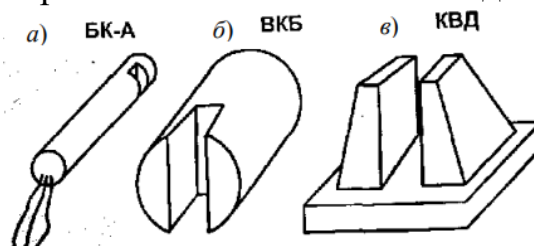


Рисунок 3.15 – Безконтактні кінцеві вимикачі

До другої групи належать так звані торцеві вимикачі з чутливим елементом, виконаним у вигляді мініатюрної котушки, що віддаляється від електронного блока на відстань до одного метра. У цих пристроях визначення кінцевого стану

відбувається при наближенні до осердя котушки на відстань менше двох міліметрів сталюго предмета масою не менше одного грама.

Принципова схема давачів першої групи (рис. 3.16) містить генератор синусоїдальних сигналів, виконаний на базі транзистора $VT1$, у контурі зворотного зв'язку якого встановлені обмотки $L1$ і $L2$; вторинна обмотка трансформатора $L3$; однопівперіодний випрямляч $VD1$ та двокаскадний транзисторний підсилювач $VT2, VT3$, організований у вигляді тригера Шмітта. Опір навантаження на виході давачів повинен бути не менше 1,2 кОм. Живлення $E = \pm 24$ В подано таким чином, щоб забезпечити транзисторам $VT1-VT3$ (типу $p-n-p$) нормальну роботу.

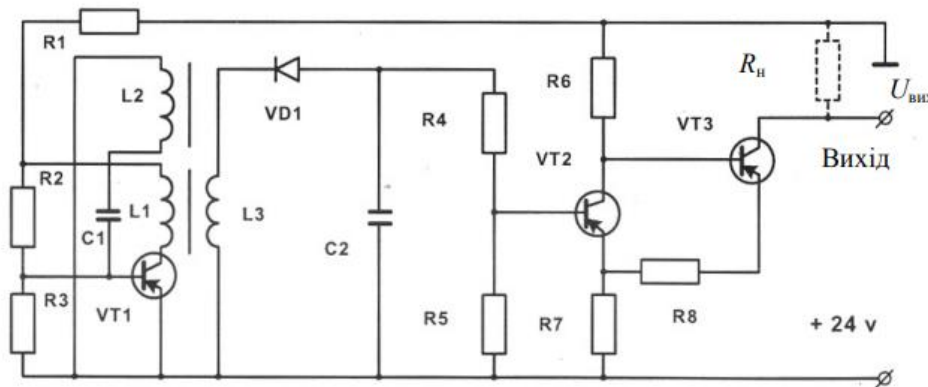


Рисунок 3.16 – Принципова електрична схема безконтактних кінцевих вимикачів БК-А, ВКБ, КВД

Якщо металевий екран, встановлений на переміщуваному об'єкті, не уведений у проріз перетворювача (рис. 3.17,а), генератор працює у звичному режимі. На обмотці $L3$ індукуються синусоїдальний сигнал. Однопівперіодний випрямляч від'ємної напруги, побудований на діоді $VD1$, формує на вході фільтра $C2$ від'ємну півхвилю синусоїди. Після виконання фільтрації через подільник напруг $R4-R5$ на базу транзистора $VT2$ подається від'ємний потенціал, який повністю відкриває транзистор $p-n-p$ типу $VT2$. При цьому на базу транзистора $VT3$ надходить додатній потенціал, який викликає повне закриття цього транзистора.

В результаті рівень $U_{вих} = 0$.

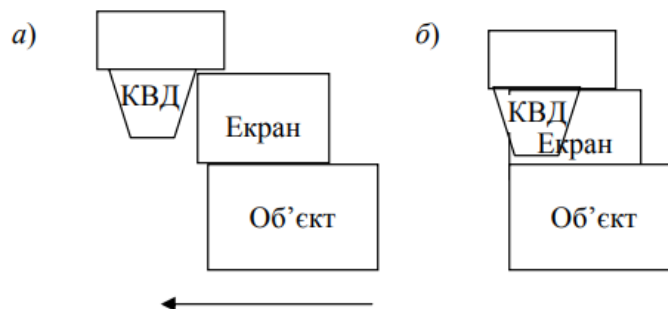


Рисунок 3.17 – Взаємодія екрану з чутливим елементом безконтактного кінцевого вимикача

При уведенні металевого екрана у проміжок між обмотками $L1$ і $L2$ (рис. 3.17,б) відбувається зрив коливань генератора синусоїдальних коливань. На виході однонапівперіодного випрямляча напруга дорівнює 0. На базу транзистора $VT2$ надходить додатна напруга від джерела $+E$. Транзистор $VT2$ ($p-n-p$ типу) закривається, а транзистор $VT3$ при цьому відкритий. На виході перетворювача при цьому встановлюється потенціал, близький до рівня напруги живлення $E = +24$ В.

Принципова схема торцевого перетворювача (рис. 3.18) виконана аналогічно до схеми давачів першої групи з деякою зміною генератора синусоїдальних сигналів, за якого зв'язок між генератором та випрямлячем здійснений не через трансформатор, а за допомогою конденсатора $C2$.

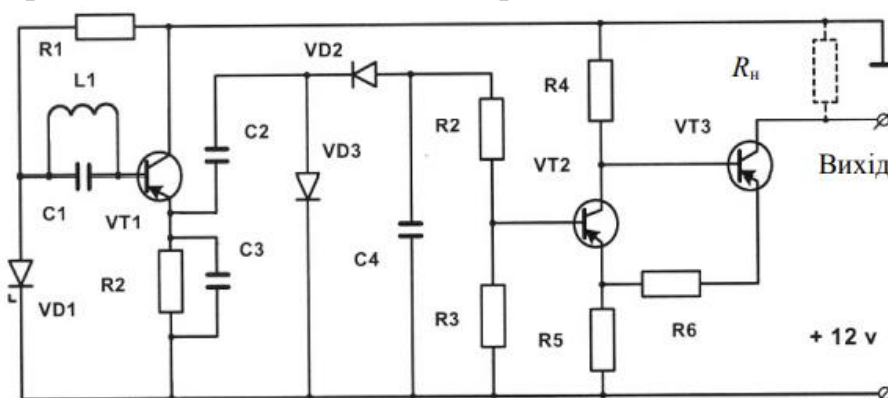


Рисунок 3.18 – Принципова електрична схема торцевого перетворювача

Тут коливальний контур складений на котушці $L1$ та конденсаторі $C1$. У штатному режимі синусоїдальне коливання надходить на вхід однонапівперіодного випрямляча, потім йде фільтр, в результаті описаних вище перетворень транзистор $VT2$ відкривається, а вихідний транзистор $VT3$ закритий. При цьому встановлюється $U_{вих} = 0$.

Ємнісні перетворювачі

Ємнісним давачем називають перетворювач параметричного типу, в якому зміна вимірюваної величини перетворюється у зміні ємнісного опору. Спеціальна схема перетворює зміну ємності у пороговий сигнал давача (наприклад, сухий контакт). У найпростіших давачах це звичайно перетворювач «частота-напруга» й компаратор. Інколи, якщо зміна ємності у відповідь на дію незначна, доводиться ставити схеми на мікроконтролерах, які займаються автопідстроюванням чутливості та нуля давача. Принцип дії ємнісних перетворювачів заснований на зміні значення ємнісного реактивного опору залежно від зміни електричної ємності чутливого елемента – конденсатора

Можливі області застосування ємнісних давачів надзвичайно різноманітні. Вони використовуються у системах регулювання й керування виробничими процесами майже в усіх галузях промисловості. Ємнісні давачі застосовуються для

контролю заповнення резервуарів рідкою, порошкоподібною або зернистою речовиною, як кінцеві вимикачі на автоматизованих лініях, конвеєрах, роботах, обробних центрах, верстатах, у системах сигналізації, для позиціонування різних механізмів і т. д.

Нині найбільш широкого застосування отримали давачі наближення (присутності), які окрім своєї надійності, мають значну низку переваг. Маючи порівняно низьку вартість, давачі наближення охоплюють величезний спектр спрямованості за своїм застосуванням в усіх галузях промисловості.

Типовими областями використання ємнісних давачів цього типу є:

- сигналізація заповнення ємностей із пластику або скла;
- контроль рівня заповнення прозорих упаковок;
- сигналізація обриву обмотувального дроту;
- регулювання натягу стрічки;
- поштучний рахунок будь-якого виду та ін.

Ємнісні перетворювачі можуть бути використані при вимірюванні різних величин за трьома напрямками залежно від функціонального зв'язку вимірюваної неелектричної величини з наступними параметрами:

- змінною діелектричною проникністю середовища ϵ ;
- постійно змінюваною відстанню між обкладинками d ;
- площею перекриття обкладинок S .

У першому випадку ємнісні перетворювачі можна застосовувати для аналізу складу речовини, оскільки діелектрична проникність є функцією властивостей речовини. При цьому природною вхідною величиною перетворювача буде склад речовини, що заповнює простір між пластинами. Особливо широко ємнісні перетворювачі цього типу застосовуються при вимірюванні вологості твердих та рідких тіл, рівня рідини, а також визначення геометричних розмірів невеликих об'єктів. У більшості випадків практичного використання ємнісних перетворювачів їхньою природною вхідною величиною є геометричне переміщення електродів один відносно одного. На основі цього принципу побудовані давачі лінійних та кутових переміщень, прилади вимірювання зусиль, вібрацій, швидкості і прискорення, давачі наближення, тиску й деформації (екстензометри).

Подібні пристрої можуть бути як дискретної, так і аналогової дії.

Широке застосування знаходять так звані електронні сигналізатори рівня сипучих матеріалів у бункерах підприємств будівельної індустрії (рис. 3.19,а), а також аналогові давачі рівня рідини в резервуарах (рис. 3.19,б). В обох модифікаціях відстані між пластинами конденсатора і площа пластин залишаються постійними

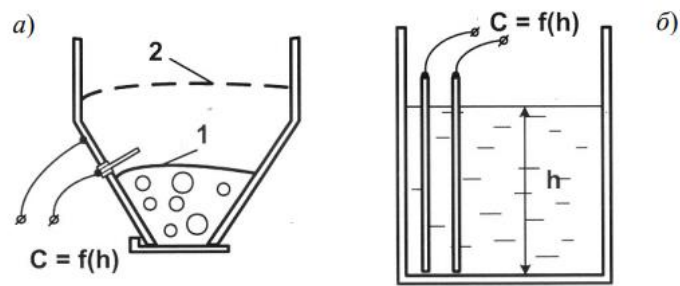


Рисунок 3.19 – Ємнісні давачі рівня

У другій групі ємнісних перетворювачів (рис. 3.20,а) використовують здатність конденсаторів змінювати електричну ємність залежно від варіації відстані між пластинами, які мають постійну площу взаємодії. Як правило, подібні перетворювачі застосовують для виміру мікропереміщень.

У третій групі використовують ефект зміни електричної ємності залежно від зміни площі взаємодії пластин конденсатора при постійній відстані між пластинами (рис. 3.20,б). В основному такі давачі служать для визначення кутового переміщення об'єктів.

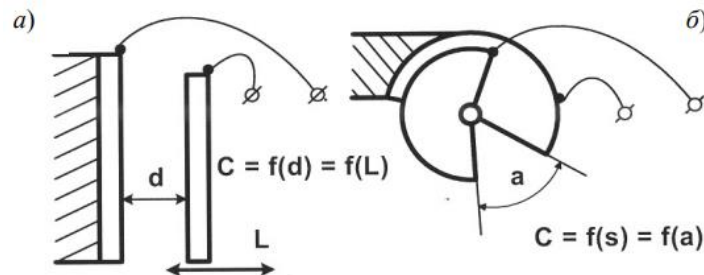


Рисунок 3.20 – Ємнісні перетворювачі для вимірювання лінійних та кутових переміщень

Ємнісні вимірювальні перетворювачі кутових переміщень подібні за принципом дії ємнісним давачам лінійних переміщень, причому давачі зі змінною площею також більш доцільні у разі не дуже малих діапазонів вимірювання (починаючи з одиниць градусів), а ємнісні давачі зі змінним кутовим проміжком можуть з успіхом використовуватися для вимірювання малих і надмалих кутових переміщень. Звичайно для кутових переміщень використовують багатосекційні перетворювачі зі змінною площею обкладинок конденсатора.

У таких давачах один із електродів конденсатора кріпиться до вала об'єкта, і при обертанні зміщується відносно нерухомого, змінюючи площу перекриття пластин конденсатора. Це, у свою чергу, викликає зміну ємності, що фіксується вимірювальною схемою.

Точність вимірювання при використанні перетворювачів другої та третьої груп суттєво залежить від стабільності діелектричних властивостей оточуючого

середовища.

Первинні перетворювачі – конденсатори в усіх розглянутих випадках встановлюють в електричний міст змінного струму в якості одного з плечей. Зніманий з вимірювальної діагоналі мосту потенціальний сигнал, пропорційний зміні ємності конденсатора, випрямляють за допомогою двопівперіодного випрямляча і спрямовують або на аналоговий компаратор і далі на сигнальний перетворювач (рис. 3.21), або на вимірювальний перетворювач (рис. 3.22).

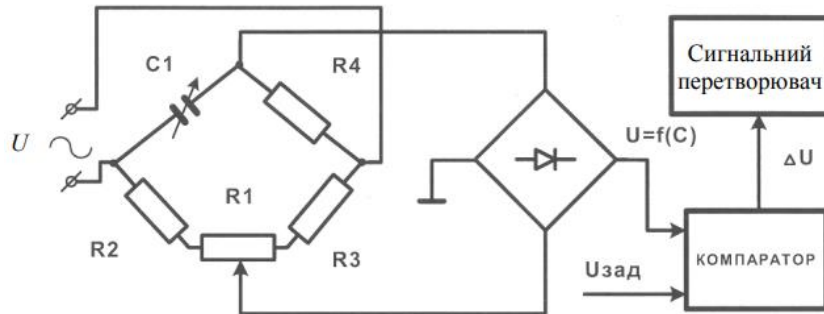


Рисунок 3.21 – Ємнісний давач з сигнальним перетворенням

Сигнальне перетворення застосовують для визначення лише кінцевих станів об'єкта при його переміщенні або для фіксування будь-якої події, наприклад, наявності сипучого матеріалу в бункері.

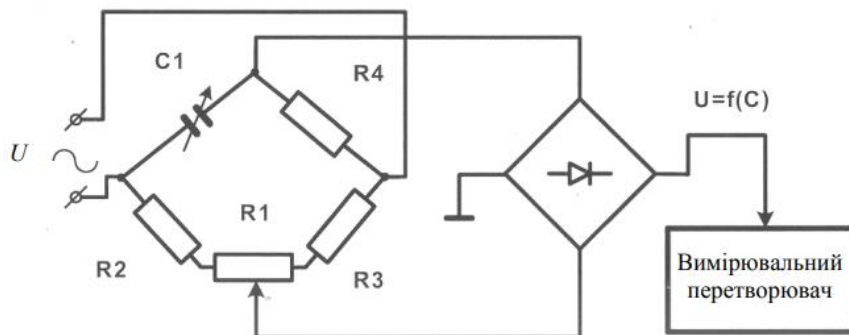


Рисунок 3.22 – Ємнісний давач з вимірюваним перетворенням

Вимірювальне перетворення застосовують у разі необхідності визначення поточного значення вимірюваного параметра, наприклад, рівня рідини у технологічній ємності.

Тема 4

ПРИСТРОЇ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ. КОНТАКТНІ ДАВАЧІ

Механічні контактні давачі

Контактні давачі перетворюють механічне переміщення (лінійне, кутове) у зміну стану електричного кола – його замикання або розмикання.

Як контактні давачі використовують різні за конструкцією і виконанням кінцеві вимикачі та мікроперемикачі.

Кінцеві вимикачі, в основному, призначені для використання у складі систем автоматичного керування, що мають напругу живлення 220/380 В для визначення положення у просторі великогабаритних вузлів агрегатів або виконавчих механізмів.

За конструктивними особливостями кінцеві вимикачі поділяються на пристрої нажимної (рис. 4.1, а) і повертальної (рис. 4.1, б) дії.

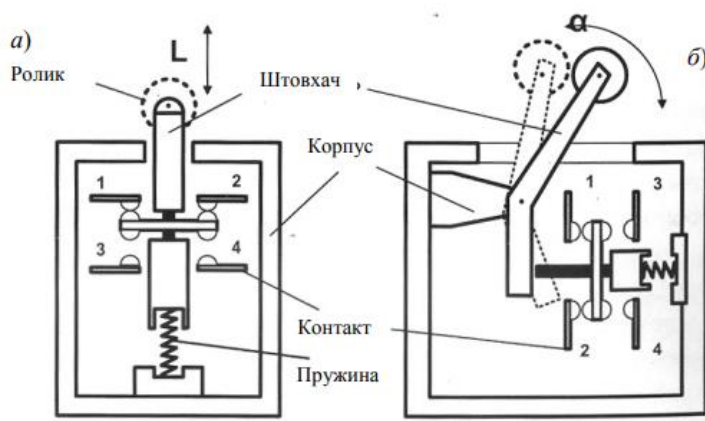


Рисунок 4.1 – Конструкції кінцевих вимикачів нажимної та повертальної дії

Аналіз конструктивних особливостей кінцевих вимикачів показує, що за лінійного або кутового переміщення штоковача спочатку розмикається контакт «1-2», а потім після деякого додаткового переміщення ΔL або $\Delta \alpha$ замикається контакт «3-4» (рис. 4.2).

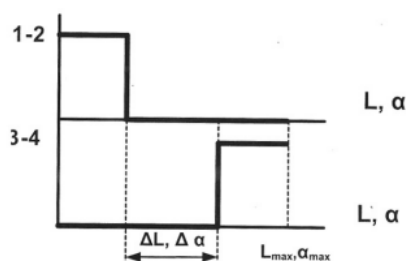


Рисунок 4.2 – Діаграма роботи кінцевого вимикача

Таке виконання кінцевих вимикачів зумовлено тим, що подібні пристрої, як правило, використовують для замикання і розмикання високовольтних кіл

(напругою до 380 В), в яких повне електричне розчеплення настає лише за амплітуди розмикання контактів не менше 2 мм.

Мікроперемикачі відповідно до своєї назви мають мініатюрне виконання з габаритними розмірами від $10 \times 5 \times 3$ мм до $30 \times 15 \times 20$ мм. Ці пристрої призначені для роботи у системах автоматичного контролю й керування з напругою живлення не більше 30 В. Комутовані струми при зазначеній напрузі залежно від типу мікроперемикача можуть сягати 15 А.

Конструктивно мікроперемикачі суттєво відрізняються від кінцевих вимикачів. Основна відмінність полягає у застосуванні пружинного рухомого контакту у сукупності з фігурною повертальною пружиною. При переміщенні штовхача рухомий контакт, який спирається вільним кінцем на фігурну пружину, спочатку прогинається у своїй центральній частині, і лише після подолання опору пружини здійснює перемикання (рис. 4.3). Таким чином, відбувається видалення невизначеності про стан контактів, характерною для кінцевих вимикачів. Подібне виконання мікроперемикачів забезпечує підвищення точності позиціювання при автоматичному керуванні рухомими об'єктами.

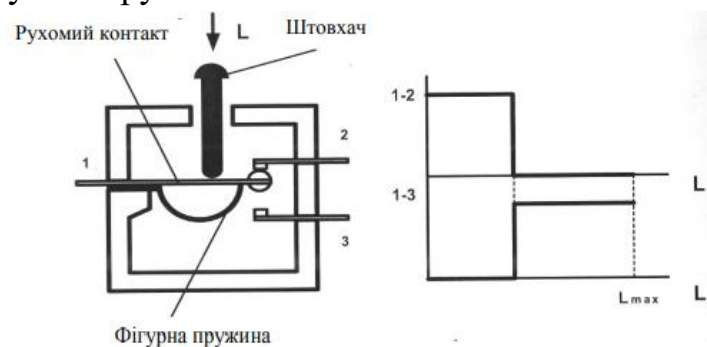


Рисунок 4.3 – Конструкція та діаграма роботи мікроперемикача

Мікроперемикачі застосовують як самостійні давачі лінійних та кутових переміщень (рис. 4.4), а також нормуючі сигнальні перетворювачі у складі давачів, призначених для перетворення інших фізичних величин (рис. 4.5).

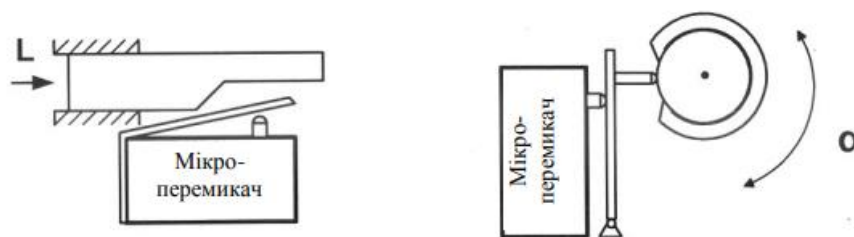


Рисунок 4.4 – Дискретні давачі переміщень

У складі давача тиску (рис. 4.5) мікроперемикачі установлюють з можливістю поперечного переміщення і подальшою фіксацією. Це дозволяє фіксувати граничні значення в усьому можливому діапазоні зміни тиску.

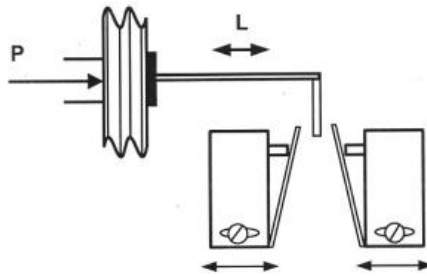


Рисунок 4.5 – Мікроперемикачі у складі давача тиску

Поряд з доступністю, простотою та легкістю експлуатації контактні давачі мають суттєвий недолік – «брязкання контактів» при спрацьовуванні – багаторазове замикання контактної групи внаслідок механічного коливання пружинного рухомого контакту. Тривалість «коливання» становить $n \cdot 10^{-6}$ с. При роботі контактних давачів в автоматичних системах, виконаних на реле, зазначене явище не має жодного значення, оскільки час спрацьовування електромагнітного реле становить $n \cdot 10^{-3}$ с. Однак при роботі контактних давачів у системах, виконаних на основі інтегральних мікросхем і мікропроцесорів, що мають тривалість перемикання $n \cdot 10^{-9}$ с і менше, «брязкання контактів» може викликати помилкові спрацьовування. Наприклад, при підрахунку частоти обертання вала за допомогою мікроперемикача, підключеного до лічильника-подільника, вміст лічильника після кожного спрацьовування мікроперемикача буде збільшуватися не на одиницю, а на деяке непостійне число. Для виключення впливу «брязкання» у зазначених системах використовують спеціальні нормуючі перетворювачі, наприклад, *R*Стригери.

Електроконтактні давачі

Давачі цього типу будуються на основі перетворювачів, які перетворюють механічні переміщення у замкнений або розімкнений стан. Найпростіший вигляд таких давачі – двоконтактні.

При побудові та експлуатації електроконтактних здавачів проблема полягає у зменшенні струму, що протікає через контакти. Ця проблема вирішується в електронних контактних реле (рис. 4.6).

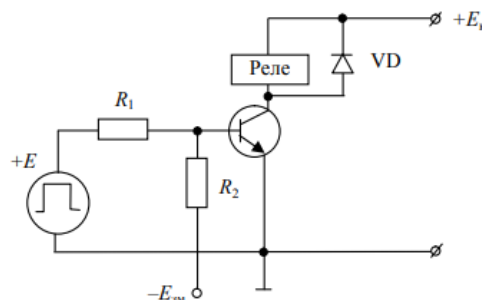


Рисунок 4.6 – Схема підключення реле

У вихідному стані транзистор закритий, тобто через резистор R_2 подається напруга $E_{зм}$.

R_2 обирається з умови

$$R_2 \leq \frac{E_{зм}(\min)}{I_{зв}(\max)},$$

де $I_{зв}(\max)$ – зворотний струм, що протікає у базі закритого транзистора за самої високої робочої температури.

Абсолютна величина напруги зміщення обирається з умови

$$|E_{зм}| = (0,1 \dots 0,3) |E_{к}|.$$

При подачі вхідного сигналу $+E$ транзистор відкривається і в його базі стрибком виникає струм

$$I_{б} = \frac{E - U_{бє}}{R_1} = \frac{E_{зм} - U_{бє}}{R_2}.$$

Струм бази викликає зміну колекторного струму, який стрибком зрости не може через інерційні властивості транзистора та обмотки реле.

За деякого наближення можна говорити, що $I_{к}$ зростає за експонентою.

Збільшення струму колектора прагне до рівня $I_{б}h_{21e} = I_{б}\beta$. Струм колектора збільшується, контакти реле розмикаються. При цьому транзистор входить у режим насичення і робочий струм стає рівним

$$I_{роб} = I_{кн} = \frac{E_{к}}{r_{обм}}.$$

Якір реле починає рухатися і його контакти займають робоче положення. Час початку та час спрацювання визначаються за формулами:

$$t_{поч} = \tau_L \ln \frac{I_{б}h_{21e}}{I_{б}h_{21e} + I_{кроб}};$$

$$t_{спр} = t_{д} + t_{поч} \approx (1,4 \dots 2,0) t_{поч}.$$

У момент зняття вхідної напруги $+E$ через базу протікає зворотний струм, транзистор швидко закривається. Реле повертається у вихідне положення.

Для усунення зворотного викиду напруги живлення $+E_{к}$ або появи коливального процесу у колекторному колі, паралельно обмотці реле вмикають діод VD , який відривається, якщо збільшується $+E_{к}$, та шунтує обмотку реле.

При використанні електронних контактних давачів (реле) суттєво зменшується потужність керування.

Швидкодія обмежена часом спрацювання та відпускання реле.

Тема 5

ПРИСТРОЇ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ. ГЕНЕРАТОРНІ ДАВАЧІ

Термопари

Термоелектричний метод набув широкого застосування для точного вимірювання та регулювання високих (370...2000 °К) температур. Перевагами методу є мала інерційність, простота і дуже малі габарити давачів, названих звичайно термопарами.

Принцип дії термопари заснований на явищі термоелектричного ефекту. Це явище полягає у тому, що якщо з'єднати кінцями два різнорідних за матеріалом провідники 1 і 2 (рис. 5.1,а) й помістити місця з'єднань у середовища з різними температурами T_1 і T_2 , то в отриманому таким чином електричному колі з'явиться електричний струм через наявність термо-е.р.с. E . Ця термо-е.р.с. пропорційна за величиною різниці $T_1 - T_2$ температур двох кінців електричного кола і залежить від матеріалів обох провідників.

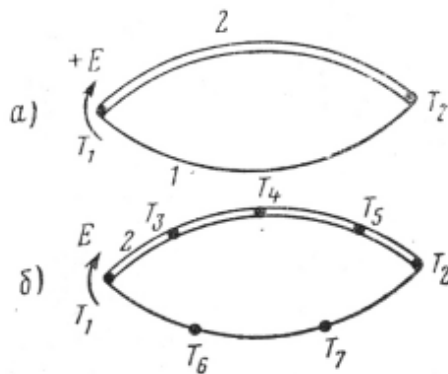


Рисунок 5.1 – Термоелектричне коло

Будь-яка термопара характеризується наступними основними властивостями:

1) абсолютна величина термо-е.р.с. не залежить від розподілу температур вздовж однорідних провідників (рис. 5.1,б). Це означає, що величина термо-е.р.с. не зміниться, якщо, наприклад, нагрівати якусь довільну точку провідника, не змінюючи при цьому температур гарячого і холодного спаїв;

2) величина термо-е.р.с. не зміниться за будь-якого включення довільного третього провідника у розрив термокола.

Для порівняння різних матеріалів можна визначати їх термо-е.р.с. окремо у парі з будь-яким еталонним матеріалом (звичайно платина). Тоді для двох різних матеріалів термо-е.р.с. розраховується як різниця термо-е.р.с. кожного матеріалу у парі з платиною.

При точних вимірюваннях слід враховувати, що величина термо-е.р.с. лише приблизно лінійно залежить від вимірюваної температури. Тому для точного

визначення температури за величиною термо-е.р.с. необхідно користуватися стандартними градуировочними таблицями, позначення яких надано в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Характеристики деяких термопар

Термопара	Позначення градування	Термо-е.р.с. при T1=373 °К і T2=273 °К, мВ	Межі довготривалого застосування, °К
Платина – платинородій	ПП	0,64	250–1600
Сплав НК – СА	НС	1,85*	573–1300
Хромель – алюмель	ХА	4,10	220–1300
Хромель – копель	ХК	6,95	220–900
Мідь – константан	–	4,25	20–700
Вольфрам – реній – вольфрам – реній	–	1,45*	273–2473
Вольфрам – молибден	–	0,50	1500–2473

* Середня на 100 ° в діапазоні.

Магнітоіндукційні давачі (тахогенератори)

При побудові давачів такого типу в основу покладено наступне твердження.

Якщо обвиток довжиною l , м переміщується зі швидкістю V , м/с, відносно магнітного поля з індукцією B , Тл, то в у ньому індукується е.р.с.

$$e = BV, \text{ В,}$$

а при числі обвитків w у котушці

$$e = BlwV, \text{ В.}$$

Цей принцип використовується у різних як за призначенням, так і за конструкцією магнітоіндукційних давачів е.р.с. Найчастіше використовують два конструктивні варіанти: переміщення котушки у проміжок постійного магніту й переміщення постійного магніту відносно нерухомої котушки. Замість постійного магніту можна встановити електромагніт. Магнітоіндукційні здавачі застосовують при вимірюванні вібрацій, швидкостей руху та витрати рідких й газоподібних потоків тощо.

Розглянемо роботу магнітоіндукційних давачів як давачів швидкості.

Давачі швидкості – пристрої, призначені для отримання інформації про значення частоти обертання валів стаціонарних й мобільних агрегатів.

Ці пристрої розділені на три групи: механічні, електричні та електронні.

У свою чергу, пристрої кожної групи, за винятком першої, можуть забезпечувати три види перетворення: аналогове, дискретне й цифрове.

Механічні давачі швидкості – *тахометри* – застосовують для ручного та автоматичного контролю частоти обертання валів. Розрізняють *відцентрові* та *магнітні тахометри*.

У відцентрових тахометрах (рис. 5.2) як вимірювальний перетворювач застосовують або стрілку, переміщувану ковзною муфтою (ручний контроль), або потенціометр (автоматичний контроль). Для сигнального перетворення використовують мікроперемикач.

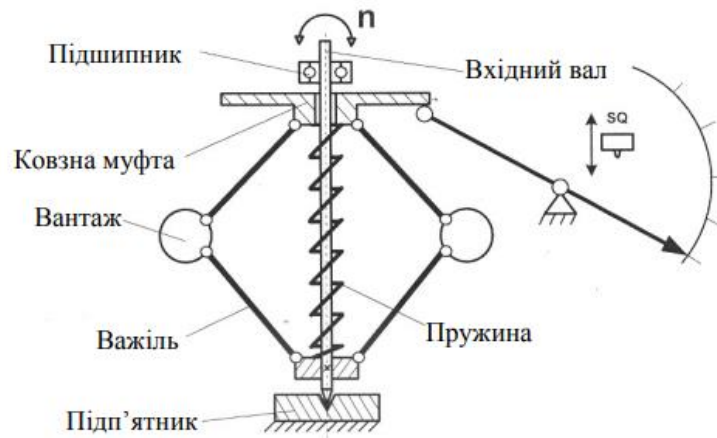


Рисунок 5.2 – Відцентровий тахометр

Переміщення ковзної муфти «вниз» забезпечується розбіжністю вантажів при примусовому обертанні вала. Амплітуда зазначеного переміщення пропорційна частоті обертання вала. При зниженні кутової швидкості змінна муфта під впливом пружини переміщується «вгору». Відцентрові тахометри, що оснащені сигнальними перетворювачами, часто застосовують при автоматизації поточно-транспортних систем на підприємствах будівельної індустрії.

У магнітних тахометрах (рис. 5.3) переміщення стрілки здійснюється за допомогою підпружиненого ротора, що повертається під впливом обертаючого постійного магніту, закріпленого на вхідному валу. Кут повороту ротора також пропорційний частоті обертання вала. Магнітні тахометри знаходять застосування у складі «спідометрів» не дуже сучасних автомобілів.

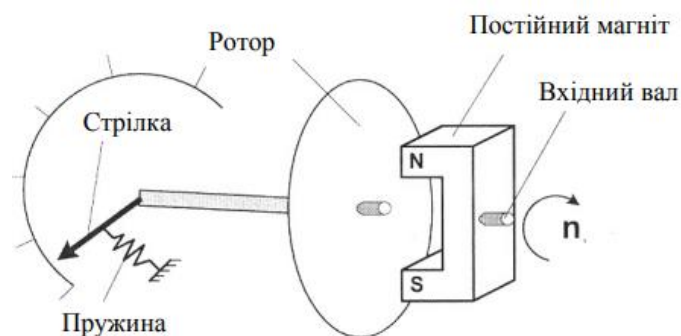


Рисунок 5.3 – Магнітний тахометр

Для автоматики найбільший інтерес являють магнітоіндукційні давачі, у яких $e.p.c.$ E пропорційна кутовій швидкості ω обертання рухомої частини. Такі давачі, називані тахогенераторами, являють собою невеликі електричні машини,

конструкція яких передбачає створення максимально лінійної залежності E від ω . Розміри і момент інерції рухомої частини повинні бути мінімальними, щоб не створювати моменти навантаження на досліджуваний вал. Для зменшення гістерезисної похибки при збільшенні й наступному зменненні швидкості обертання для магнітопроводів тахогенераторів зазвичай використовують листовий пермалой.

Тахогенератори – пристрої, призначені для отримання аналогової інформації про поточне значення частоти обертання будь-яких валів, наприклад, колінчастого вала двигуна внутрішнього згорання.

Тахогенератор є електрична машина постійного або змінного струму, що працює в режимі генератора. В обох типах пристроїв амплітуда напруги, що генерується, пропорційна частоті обертання ротора.

Тахогенератори постійного струму

Якір 3 тахогенераторів постійного струму (рис. 5.4, а) для полегшення часто виготовляють у вигляді тонкостінної склянки з ізоляційного матеріалу (іноді паперу), на якому розміщують секції обмотки 2, що виводяться до колектора 4. Зі щіток колектора знімається е.р.с.

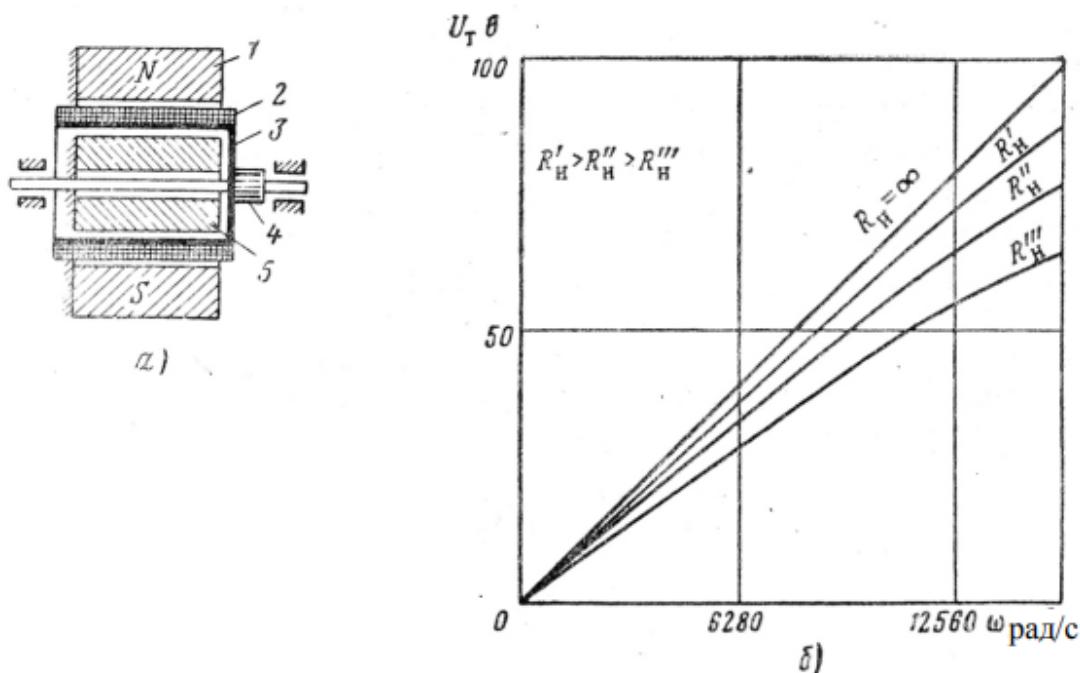


Рисунок 5.4 – Схема конструкції і характеристики тахогенератора постійного струму: 1 – магніт; 2 – обмотка; 3 – якір; 4 – колектор; 5 – осердя

Для зменшення пульсацій е.р.с. число секцій обмотки якоря беруть не менше 20...25, а іноді застосовують також додаткові фільтри на виході. Магнітний потік Φ створюється або постійним магнітом 1, або спеціальною обмоткою збудження на статорі.

Коефіцієнт передачі тахогенератора

$$k_T = k_e \Phi = k_e k_\Phi I_s$$

залежить від величини струму в обмотці збудження. Для збільшення Φ всередині якоря встановлюють циліндричне феромагнітне осердя 5. Конструкція зі збудженням від постійного магніту значно простіша і не вимагає додаткового джерела живлення, тому вона широко застосовується в тахогенераторах постійного струму.

При холостому ході при роботі тахогенератора на опір навантаження R_n напруга на його затискачах

$$U_T = E - I_n R_n < E,$$

Зменшення U_T викликається також тим, що струм I_n у роторі створює магнітний потік реакції якоря

$$\Phi_{p\text{я}} = k_{p\text{я}} I_n \omega,$$

що залежить як від величини струму I_n , так і від швидкості обертання якоря та зменшує результуючий магнітний потік збудження. У зв'язку з цим строга лінійність характеристик тахогенераторів (рис. 5.4, б) спостерігається лише за незначних швидкостей обертання якоря.

Основний недолік тахогенераторів постійного струму полягає в наявності колектора та щіток з нестабільним перехідним контактним опором. Це викликає деяку нестабільність напруги, що знімається з тахогенератора, а також зону нечутливості при близьких до нуля швидкостях обертання. Для регулювання магнітного потоку збудження тахогенератори з постійними магнітами часто постачають регульованими магнітними шунтами. Зміна магнітного опору шунта, через який замикається частина загального магнітного потоку, дозволяє підтримувати незмінною частину загального магнітного потоку, що використовується для збудження.

Полярність е.р.с., що знімається зі щіток колектора, залежить від напрямку обертання. Тому тахогенератори постійного струму дозволяють визначити не лише частоту, але й напрям обертання за рахунок зміни полярності сигналу (рис. 5.5,б).

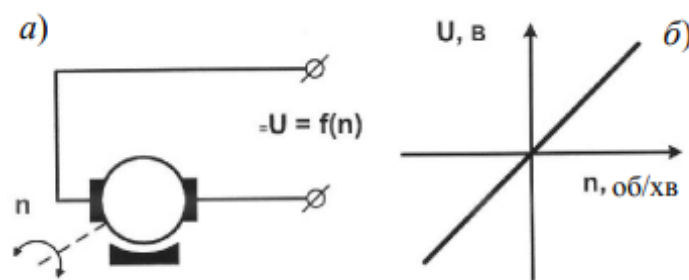


Рисунок 5.5 – Схемотехнічне зображення тахогенератора постійного струму та характеристика залежності е.р.с. від напрямку обертання

Недоліком електричних машин постійного струму, у тому числі й тахогенераторів, є наявність *колекторного струмознімання*, що зумовлює «іскріння» між колектором та щітками. При подачі сигналу тахогенератора на прилад з достатньою інерційністю, наприклад, вольтметр, проградуєований в одиницях кутового обертання, проблем не виникає. Однак при використанні для вимірювання параметрів обертання мікроелектронних пристроїв, таких, як аналого-цифрові перетворювачі або аналогові компаратори, виникає необхідність у виготовленні спеціальних узгоджувальних пристроїв.

Тахогенератори змінного струму

Основною перевагою тахогенераторів змінного струму є відсутність колектора і щіток. Крім того, вихідна е.р.с. має у них синусоїдальну форму, що дозволяє використовувати безпосередньо після тахогенератора підсилювач змінного струму з високим входним опором. Як тахогенератор змінного струму може бути використана або машина з постійним магнітом в якості ротора, що наводить змінну е.р.с. в обмотці статора, або малопотужний двофазний асинхронний електродвигун з коротко замкнутим ротором. Перший тип тахогенератора отримав незначне розповсюдження, тому що е.р.с., що в ньому наводиться, пропорційна швидкості обертання ротора, а за фазою не залежить від напрямку обертання.

Двофазний асинхронний тахогенератор, принцип конструкції якого показано на рис. 5.6, вільний від цих недоліків.

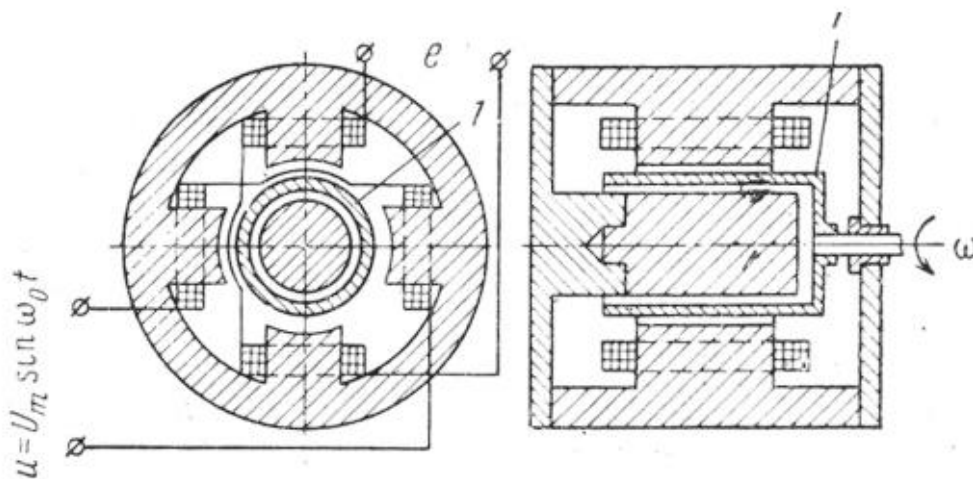


Рисунок 5.6 – Конструкція двофазного асинхронного тахогенератора

Ротор 1 для полегшення звичайно виготовляють у вигляді тонкостінної металевої склянки. Одна з обмоток живиться напругою $u = U_m \sin \omega_0 t$ від мережі з частотою ω_0 й створює пульсуючий магнітний потік збудження $\Phi_e = \Phi_{e m} \sin \omega_0 t$, що перетинає ротор у напрямі, перпендикулярному осі другої (сигнальної)

обмотки. Якщо ротор нерухомий, то у сигнальній обмотці е.р.с. не наводиться. При обертанні ротора в ньому, крім е.р.с. трансформації, що наводиться потоком обмотки збудження, з'явиться е.р.с. обертання внаслідок перетину ротором магнітних ліній потоку збудження. Створені цією е.р.с. у короткозамкненому роторі такі струми зумовлюють появу змінного магнітного потоку Φ , що збігається з віссю сигнальної обмотки та наводить в ній е.р.с., величина якої залежить від швидкості ω обертання ротора, а фаза визначається напрямом обертання. Короткозамкнений круглий ротор можна подати у вигляді двох взаємно перпендикулярних еквівалентних «обмоток», які створюють при обертанні ротора магнітні потоки

$$\Phi_1 = k_1 \omega \Phi_6 \cos \omega t$$

і

$$\Phi_2 = k_1 \omega \Phi_6 \sin \omega t$$

сума проєкцій яких на вісь сигнальної обмотки

$$\Phi_x = \Phi_{1x} + \Phi_{2x} = k_1 \omega \Phi_6 (\cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t) = k_1 \omega \Phi_6$$

буде викликати у ній е.р.с.

$$e = k_2 \Phi_x = k_3 \omega \Phi_6 = k_3 \omega \Phi_{6m} \sin \omega_0 t = k_T \omega$$

що змінюється у часі з частотою ω_0 мережі, яка не залежить від швидкості ω обертання ротора. За відповідного вибору параметрів тахогенератора можна у широких межах забезпечити лінійність залежності e від ω .

Синхронний тахогенератор містить магнітний ротор, поле якого впливає на одну, частіше на три обмотки, встановлені у статорі. Таким чином, на виході тахогенератора формується трифазний сигнал змінної напруги, амплітуда якого пропорційна частоті обертання ротора.

Для узгодження такого тахогенератора з вимірювальним або сигнальним перетворювачами, виконаними на базі інтегральних мікросхем, сигнал змінного струму, що знімається, випрямляють за допомогою трифазного діодного моста і пропускають через RC -фільтр для усунення пульсацій (рис. 5.7,а).

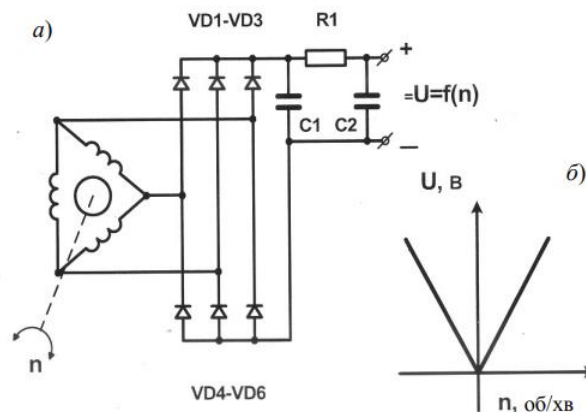


Рисунок 5.7 – Синхронний тахогенератор змінного струму

На відміну від пристроїв постійного струму, тахогенератори змінного струму не забезпечують визначення напрямку обертання (рис. 5.7,б).

Недоліком тахогенераторів є низький рівень корисного сигналу за малої частоти обертання досліджуваного вала ($n < 100$ об/хв).

Для отримання точної інформації про частоту обертання в усьому можливому діапазоні застосовують електронні імпульсні давачі, виконані на основі *ефекту Холла*.

Якщо до точок А і В напівпровідникової пластинки розміром 5×5 мм (рис. 5.8,а) підключити постійну напругу, а до центра пластинки піднести постійний магніт, то між точками Е і F виникне різниця потенціалів (е.р.с. Холла). Виникаюча поперечна е.р.с. має напругу на 3 В менше, ніж напруга живлення.

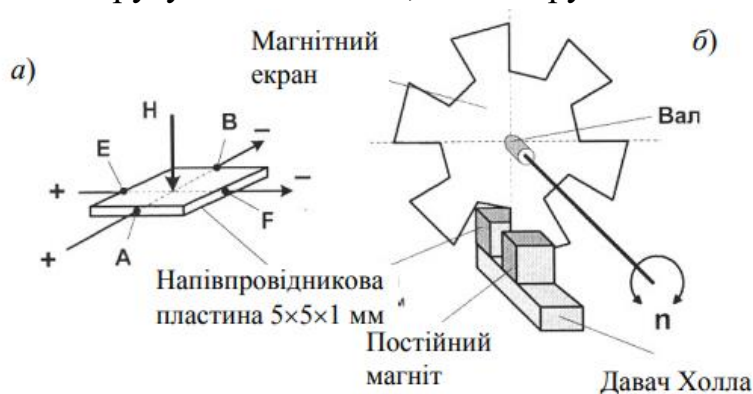


Рисунок 5.8 – Давач Холла

Якщо між магнітом та напівпровідником помістити переміщуваний екран з прорізами (рис. 5.8,б), отримаємо імпульсний генератор Холла.

Частота слідування імпульсів визначається зі співвідношення

$$F = kn, \text{ Гц},$$

де k – кількість прорізів у магнітному екрані;

n – частота обертання вала, об/с.

Давачі Холла забезпечують високу точність визначення швидкості обертання валів при частоті слідування імпульсів від 0 до 10 кГц.

Тема 6 ЛОГІЧНІ ПРИСТРОЇ АВТОМАТИКИ

Логічні пристрої автоматики призначені для побудови автоматів, виконаних на основі контактних та безконтактних логічних елементів, а також спеціальних програмованих пристроїв.

До першої групи належать електромагнітні реле, кнопки та перемикачі. Друга група містить інтегральні мікросхеми малого та середнього ступеня інтеграції, а до третьої групи належать програмовані логічні матриці, мікроконтролери й мікропроцесори.

Основою першої групи є електромеханічні комутаційні пристрої – *електромагнітні реле*.

Для створення логічних автоматів застосовують власне *комутаційні реле*, що мають кілька перемикаючих контактів, *поляризовані реле*, що виконують функцію аналогових компараторів, *крокові шукачі*, що відіграють роль десяткових лічильників, та *дистанційні перемикачі*, призначені для одночасної комутації кіл у кількох лініях керування, не пов'язаних між собою електрично.

Усі перераховані пристрої складаються з одного або двох електромагнітів, як правило, постійного струму, передатного пристрою та контактних груп, що містять нерухомі й переміщувані контакти.

Залежно від області застосування електромагнітні реле мають відкрите, закрите та герметичне виконання. Кількість контактів також варіюється від одного замикаючого або розмикаючого до десятків перемикаючих контактів. Крім цього електромагнітні реле розрізняють за напругою живлення (від 1,5 до 220 В) та за значенням комутуваного струму (від 20 мА до 5 А).

Електромагнітні реле

Електромагнітні реле є найбільш розповсюдженими елементами електроавтоматики, що зумовлено основною властивістю реле – можливістю керувати досить потужними процесами у виконавчих електричних колах за допомогою незначних керуючих електричних сигналів.

Електромагнітне реле (рис. 6.1) у загальному випадку є проміжним елементом, який приводить у дію одне або кілька керованих електричних кіл при впливі на нього певних електричних сигналів керуючого кола. Тому реле можна характеризувати лише його власними параметрами у відриві від характеристик керуючого та керованого електричних кіл.

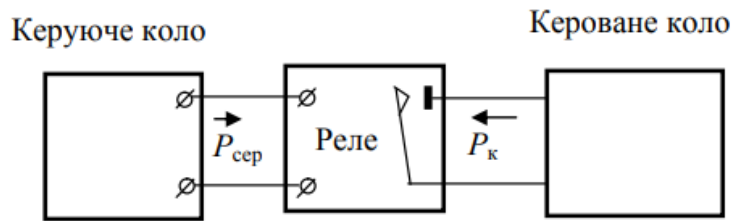


Рисунок 6.1 – Вид включення реле у схему

Як основні параметри, що характеризують роботу реле у будь-якому пристрої, приймають такі:

Потужність спрацьовування $P_{сн}$ [Вт] – електрична потужність, яку необхідно підвести до реле від керуючого кола для його надійного спрацьовування, тобто приведення у дію (замикання) керованого кола;

Потужність керування $P_{к}$ [Вт] – це максимальна величина електричної потужності у керованому колі, за якої реле ще працює надійно.

Потужність спрацьовування визначається загальними електричними й конструктивними параметрами реле, а потужність керування – параметрами контактів реле, що перемикають кероване коло. Тому що значення $P_{сн}$ та $P_{к}$ постійні для окремих конструкцій реле, то за ними й обирається потрібний тип реле.

Час спрацьовування $t_{сн}$ [с] – інтервал часу від моменту подачі керуючого сигналу до початку впливу реле на кероване коло. Припустима величина $t_{сн}$ визначається необхідною швидкістю передачі сигналу у кероване коло.

Значення напруги, за якої відбувається перемикання контактів, називають *напругою спрацьовування* реле. Зворотнє перемикання контактів відбувається не лише від повного відключення обмотки від джерела живлення, а й за зниження напруги до деякого значення, яке має назву *напруги відпускання*.

Конструкція та принцип дії електромагнітного реле

Електромагнітні нейтральні, або просто електромагнітні реле, є найбільш поширеним типом реле. Принцип дії цих реле (рис. 6.2) заснований на тяжінні сталевого якоря 5 до осердя 2 електромагніту, обмоткою 1 якого пропускається керуючий електричний струм.

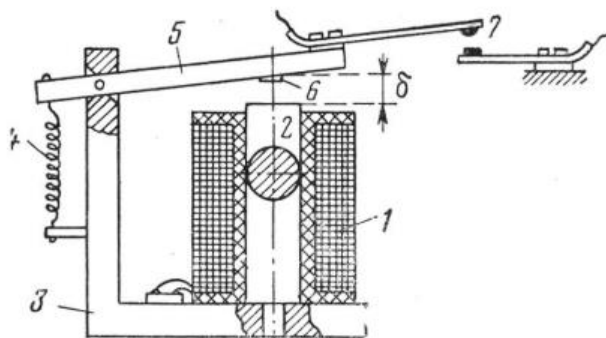


Рисунок 6.2 – Електромагнітне реле з поворотальним якорем

За відсутності струму яркір відтягується від осердя поворотальною пружиною 4. За наявності струму створюваний ним магнітний потік проходить через осердя, ярмо 3, яркір та повітряний проміжок δ між яркором та осердям. При цьому створюється електромеханічне зусилля, яке притягує яркір до осердя. Електромагнітні реле відрізняється від звичайних електромагнітів наявністю контактної системи 7, призначеної для замикання й розмикання керованого електричного кола (одного або декількох).

За родом використовуваного струму електромагнітні реле ділять на реле постійного струму та реле змінного струму. За характером руху яркоря основні типи реле ділять на дві групи: *повортальні* (рис. 6.2) та *втяжні* з переміщенням яркоря всередині котушки, уздовж її осі. Існують й інші, менш розповсюджені різновиди електромагнітних реле.

Залежність електромеханічної сили, що діє на яркір реле F_e , від положення реле δ називається його електромеханічною характеристикою (рис. 6.3).

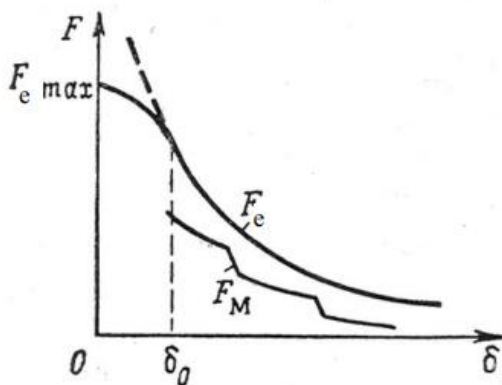


Рисунок 6.3 – Електромеханічна та механічна характеристики реле

При повітряних проміжках, близьких до нуля, реальна електромеханічна характеристика розходиться з пунктирною кривою, побудованою за формулою, що дає при $\delta = 0$ нескінченно велике значення F_e . Ця розбіжність пояснюється тим, що при теоретичному розрахунку ми знехтували малим, але не рівним нулю магнітним опором R_{cm} сталевого магнітопроводу. Насправді за рахунок швидкого зростання сили F_e при $\delta \rightarrow 0$ навіть невеликий залишковий магнетизм магнітопроводу після виключення струму може дати силу, яка подолає опір поворотальної спіральної пружини і не дозволить яркорю відійти від осердя.

Для запобігання цьому явищу більшість реле на яркорі навпроти осердя мають невеликий «штифт відлипання» 6 (див. рис. 6.2) з магнітною висотою приблизно $\delta_0 = 0,1$ мм. За наявності такого штифта яркір реле не може впритул притягнутися до осердя і між ними завжди буде повітряний проміжок $\delta \geq \delta_0$, що полегшує його відхід від яркоря при виключенні струму.

Руху якоря у напрямі до осердя (тяжіння) перешкоджають сили опору пружних елементів реле – спіральної пружини віддачі і пласких пружин контактної групи реле. Ці сили неоднакові за різних положень якоря.

Залежність результуючої сили F_m опору руху якоря від його положення називається *механічною характеристикою* реле, тому що вона визначається виключно конструктивними параметрами механічних елементів реле.

Для безперервного тяжіння якоря реле його електромеханічна характеристика повинна завжди лежати вище механічної (рис. 6.3).

Потужність спрацьовування електромагнітного реле заданої конструкції та габаритів практично постійна, а отже, є найбільш правильною характеристикою реле.

Величина струму спрацьовування реле $I_{спр}$ однозначно пов'язана з його опором. Наприклад, при перемотуванні котушки реле іншим дротом струм спрацьовування зміниться внаслідок зміни опору обмотки. Так, якщо за $R = 100$ Ом, $I_{спр} = 10$ мА, то за $R = 10000$ Ом струм спрацьовування зменшиться до 1 мА за тієї самої потужності спрацьовування.

Контакти реле

Електричним контактом називають дотик між собою двох або кількох електричних провідників. Однак часто контактом називають самі провідники. У подальшому під контактом будемо розуміти конструктивний елемент реле, який служить для замикання або розмикання електричного кола.

Робота контактної системи часто визначає надійність та термін служби реле; тому розглянемо дію контактів та їх будову.

За характером роботи контакти поділяються на:

а) *замикаючі*; за відсутності струму в обмотці електромагнітного механізму вони розімкнені, а за тяжіння якоря замикаються; такий вид контактних замикань відповідає режиму повторювача;

б) *розмикаючі*; вони, навпаки, замкнені при знеструмленому реле і розмикаються при його збудженні; такий вид контактних замикань відповідає режиму інвертора;

в) *перемикаючі*; у деяких конструкціях реле, головним чином малопотужних, замикаючий і розмикаючий контакти об'єднані в один загальний перемикаючий контакт, який називається іноді трійником.

Розрізняють чотири стани контакту: два стаціонарних (замкнений і розімкнений) і два перехідних (замикання і розмикання).

Найбільший інтерес для вивчення являють важкі режими, за яких контакт піддається найбільшому зносу. Це, по-перше, замкнений стан, коли через контакт протікає струм навантаження, і, по-друге, процес розмикання, коли на контакті

виникають дугові явища.

Працездатність контактів визначається трьома основними параметрами:

- 1) максимально припустимою потужністю тривалого замикання контактів $P_{np\ max}$,
- 2) максимально припустимою розривною потужністю $P_{p\ max}$,
- 3) максимально припустимою частотою розмикання і замикання.

1. За тривалого замикання контактів струм I у керованому колі, проходячи контактами, викликає їх нагрівання, що за великих значень струму може призвести до розплавлення контактів. Максимальна потужність тривалого замикання $P_{np\ max} = I_{max}^2 R_k$, тобто визначається максимально припустимим струмом керованого кола й опором контакту. Тому що нагрів контактів струмом, який проходить по них, визначається опором контактів та їхньою тепловіддачею, то величина $P_{np\ max}$ залежить від форми, розмірів, матеріалу та опору контактів. У малопотужній автоматиці найбільш часто застосовуються срібні точкові контакти.

Тому що питомий опір контактних матеріалів зазвичай невеликий, то опір контакту R_k визначається в основному електричним опором поверхні зіткнення рухомого і нерухомого контактів або так званим перехідним опором контакту. Контакти стикаються не за площиною, а за окремими нерівностями контактних поверхонь, що піддаються зминанню внаслідок контактного тиску. Отже, перехідний опір контакту R_k залежить від контактного тиску, властивостей матеріалу і стану (чистоти оброблення, наявності оксидів і т. п.) контактної поверхні.

2. При відході рухомого контакту від нерухомого між ними може виникнути електрична дуга, що руйнує контакти внаслідок перенесення металу (ерозії) з одного контакту на інший і короткочасного, але сильного нагріву їх. Потужність при дугоутворенні виражається формулою $P_p = U_k I$.

У звичайних контактах дуга гасне при розходженні їх на таку відстань, коли прикладена до контактів напруга стає недостатньою для її підтримки.

Теоретично визначити $P_{p\ max}$ дуже складно, цю величину визначають зазвичай експериментально для різних типів контактів та їх навантажень. При розриві кіл змінного струму, коли струм періодично проходить через нульове значення, гасіння дуги здійснюється значно легше, тому що при розведенні контактів на якусь відстань воно може згаснути у момент $I = 0$ і вже більше не з'явиться через недостатню величину напруги. Тому за однакових інших умов максимальна відключена потужність змінного струму може бути у 2-3 рази більша, ніж відключена потужність постійного струму.

Утворення електричної дуги або іскроутворення відбувається внаслідок накопичення енергії в індуктивності керованого електричного кола при її комутації. Тому чим більша індуктивність комутуваного кола, тим гірші умови

роботи контактів та менше $P_p \max$. Для зменшення іскроутворення у релейних схемах застосовують два основних типи іскрогасильних пристроїв: пристрої, які шунтують індуктивність керованого кола, та пристрої, які шунтують самі контакти. Обидва типи таких схем зображені на рис. 6.4. Їхня робота заснована на тому, що магнітна енергія, накопичена в індуктивності, розпоршується не у проміжку між контактами, а у деякому додатковому елементі електричного кола.

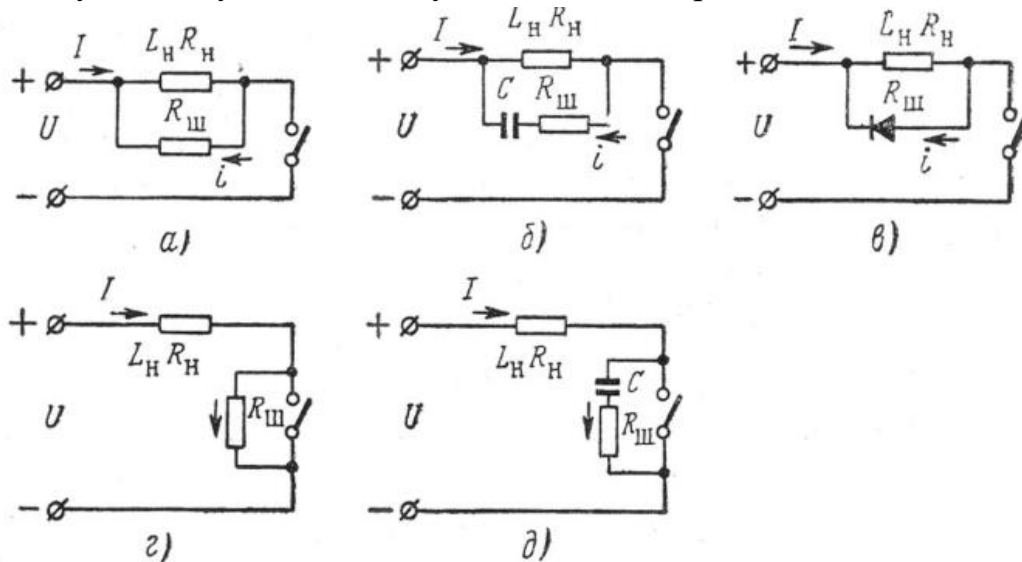


Рисунок 6.4 – Схеми іскрогасіння

У схемі а) магнітна енергія при розмиканні контактів витрачається в опорі $R_{ш}$ контура $R_{ш} - R_n - L_n$, яке повинне бути у 5-10 разів більшим опорі R_n основного кола.

Недоліком такої схеми є втрата енергії в опорі $R_{ш}$ при постійно замкнених контактах. Цей недолік усувається, якщо опір $R_{ш}$ включити послідовно з ємністю C , як показано на схемі б). При цьому треба побоюватися виникнення коливань у контурі $R_n - L_n - C$. У гілці з ємністю при тривалому замиканні або розмиканні контактів втрат енергії не буде, тому що струм через ємність буде проходити лише у моменти комутації контактів.

У схемі в) для цієї ж мети використовують діод. Для основного струму у схемі в зворотний опір діод великий і втрат енергії майже немає. Струм i , створений е.р.с. самоіндукції, проходить у провідному напрямі діода і витрачається на його відносно невеликому прямому опорі.

У схемі г) струм при розмиканні контакту може проходити через шунтуючий опір $R_{ш} \approx (5 \dots 10)R_n$. Величина цього опорі обмежується тим, що падіння напруги на ньому при розімкненому контакті повинна бути меншою напруги дугоутворення. Недоліком схеми є споживання струму від джерела живлення при розімкненому контакті.

Найбільшого розповсюдження набула схема д) з шунтуванням контактів ємністю порядку $0,5 \dots 2$ мкФ (величина ємності підбирається експериментально). За повторного замикання контактів у цьому випадку новоутворення може знову з'явитися внаслідок великого розрядного струму конденсатора. Тому послідовно з ним рекомендується ставити опір $R_{ш}$, на якому буде витрачатися розрядний струм конденсатора.

Поляризовані реле

Поляризоване реле відрізняється від звичайного електромагнітного реле наявністю додаткового постійного магніту, а також залежністю напрямку переміщення якоря від полярності намагнічувального струму. У поєднанні з високою чутливістю, більшим коефіцієнтом керування і малим часом спрацьовування можливість реагування на полярність керуючого сигналу робить поляризовані реле незамінними в малопотужній автоматичній, особливо для малопотужних електричних стежних систем, у яких напрям обертання електродвигуна має залежати від полярності керуючого сигналу.

Принципова схема одного із варіантів конструкції поляризованого реле показана на рис. 6.5. Основними деталями конструкції є намагнічувальні котушки 1 і 2, що створюють у сталевому ярмі 3 магнітний потік Φ_e однакового напрямку, і постійний магніт 4, що створює магнітний потік Φ_0 .

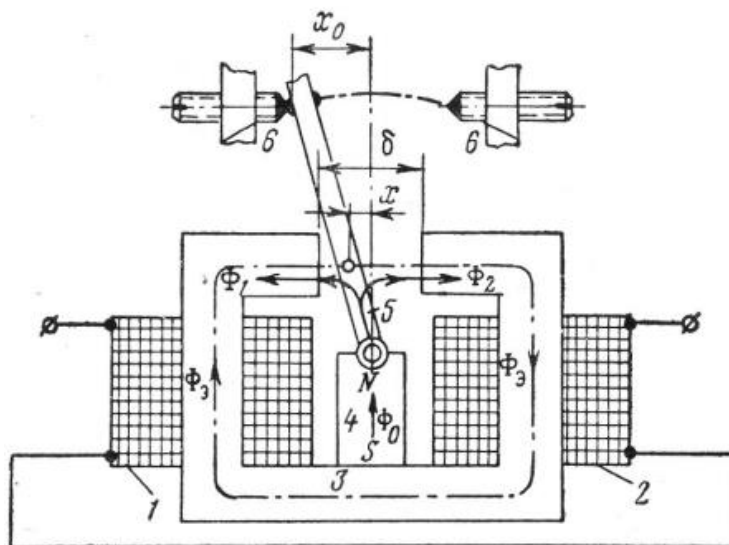


Рисунок 6.5 – Поляризоване реле:

1, 2 – котушки; 3 – ярмо; 4 – магніт; 5 – якорь; 6 – контакти

Потік Φ_0 проходить через сталевий рухомий якорь 5 і розгалужується двома частинами ярма на потоки Φ_1 і Φ_2 . Перший із них збігається з напрямком магнітного потоку намагнічувальних котушок, а інший протилежний йому. Переміщення якоря у повітряному проміжку ярма обмежується нерухомими контактами 6. На

кінці якоря є середній контакт, що замикається залежно від полярності керуючого сигналу у намагнічувальних котушках з лівим або правим нерухомим контактом.

Принцип роботи поляризованого реле полягає в наступному. За відсутності керуючого сигналу (тобто потоку Φ_e) на якір, встановлений у нейтральне (вертикальне) положення, у якому $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_0/2$, ліворуч і праворуч діють однакові сили тяжіння.

Результуюча сила F , що діє на якір, дорівнює нулю, й він повинен перебувати у рівновазі. Однак ця рівновага нічим не підтримується і є нестійкою, тобто практично ніколи не може бути досягнута. Досить хоча б незначного зміщення якоря від нейтрального положення, щоб змінилися величини магнітного опору повітряних проміжків ліворуч і праворуч від якоря, а отже, і величини магнітних потоків.

Отже, результуюча сила F вже не буде дорівнювати нулю і змусить якір рухатися ліворуч (або праворуч залежно від початкового зміщення якоря), причому величина її в міру руху якоря буде весь час зростати. Рух якоря припиниться, коли він торкнеться нерухомого контакту.

Сила тяжіння якоря пропорційна квадрату магнітного потоку постійного магніту і зміщенню якоря x , що залежить від зміщення x_0 контакту відносно нейтральної лінії (тобто від регулювання контакту). Тепер в обмотку реле треба подати керуючий сигнал такої полярності, щоб створити потік Φ_e у напрямі, зазначеному на рис. 6.5 стрілкою, за величиною більший, ніж потік $\Delta\Phi$, що притискає якір до лівого контакту. Тоді якір реле перекинеться у праве положення, а якщо потім змінити полярність сигналу, то він повернеться знову у ліве положення. Отже, положення якоря і замикання контактів залежать від полярності керуючого сигналу. Умовою спрацьовування реле буде нерівність

$$\Phi_e > \Delta\Phi.$$

На відміну від звичайного електромагнітного реле сили, створювані намагнічувальною котушкою та постійним магнітом, який відіграє роль, аналогічну ролі пружних пружин електромагнітного реле, додаються.

Цим і пояснюється, що за малої керуючої потужності поляризовані реле можуть керувати відносно потужними електричними колами.

Час спрацьовування реле малий завдяки тому, що після переходу якорем нейтрального положення сила тяжіння швидко зростає, у той час як протидіюча сила спадає до нуля.

Інколи в конструкції поляризованого реле замість третього нейтрального контакту вводять повертальні пружини (рис. 6.6).

При подачі на обмотку реле напруги, достатньої для його спрацьовування з полярністю, вказаною на рисунку, у магнітопроводі створюється магнітний потік

Φ_3 , який компенсує потік Φ_1 і додається до потоку Φ_2 постійного магніту.

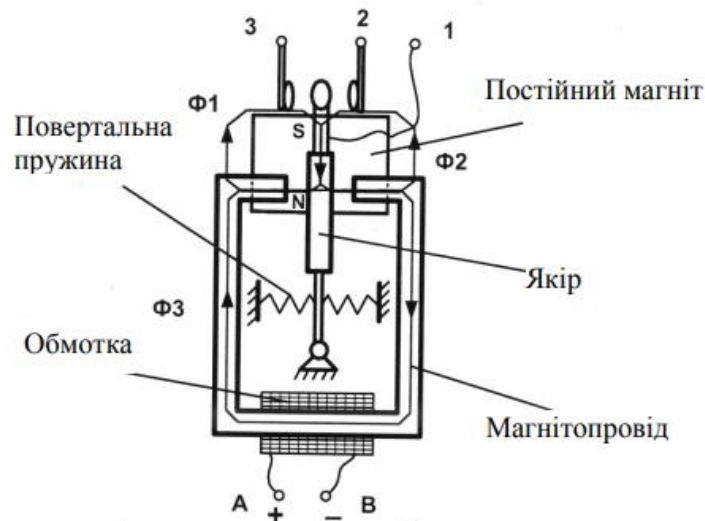


Рисунок 6.6 – Конструкція полярного реле

У результаті якорь полярного реле переміщується праворуч, захоплюючи за собою рухомий контакт 1, який замикає електричне коло з нерухомим контактом 2. При зміні полярності напруги живлення магнітний потік Φ_3 змінює свій напрям, і рухомий контакт 1 замикається з нерухомим контактом 3. При зниженні потенціалу на обмотці нижче напруги відпускання рухомий контакт знову займає нейтральне положення.

За наявності однієї поворотної пружини із зазначеною на рисунку 6.7 полярністю, рухомий контакт зміщується «праворуч», а після відключення напруги живлення повертається у ліве положення й зберігає цей стан при подачі на обмотку реле напруги зворотної полярності. Такі пристрої називають *полярними реле з перевагою*.

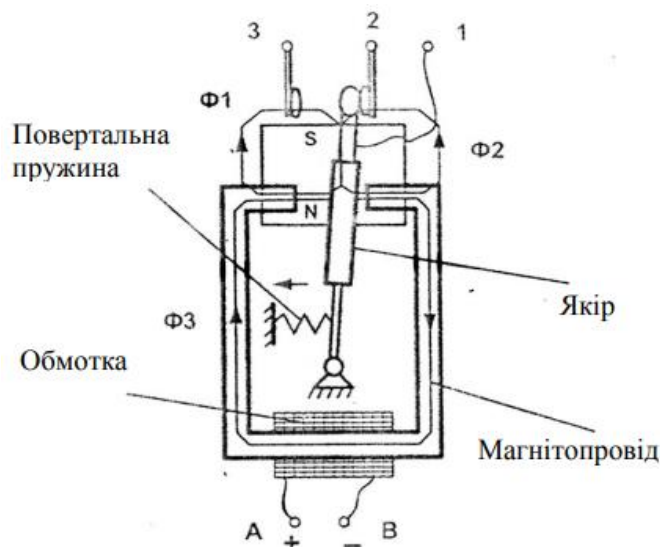


Рисунок 6.7 – Двопозиційне полярне реле

Властивості поляризованого реле змінювати положення якоря та комутувати різні контакти при зміні полярності напруги живлення дозволяє використовувати його як аналоговий компаратор.

З цією метою використовують еталонний сигнал давача напруги (U_3), який порівнюється із сигналом давача (U_d) (рис. 6.8). Для цього сигнал, що знімається з давача, подають на клему А, а еталонна напруга U_3 надходить на клему В.

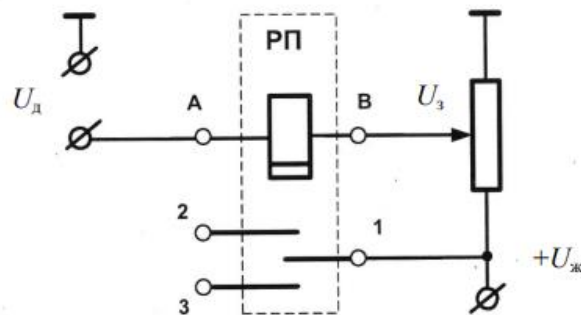


Рисунок 6.8 – Аналоговий компаратор на основі поляризованого реле

У тому випадку, коли $U_d > U_3$, рухомий контакт 1 замикається з нерухомим контактом 2. Якщо $U_d < U_3$, то – з контактом 3. Точність вимірювання визначається напругою спрацьовування поляризованого реле.

Електромагнітні крокові шукачі

Електромагнітні крокові шукачі являють собою багатопозиційні щіткові перемикачі з електромагнітним приводом й призначені для комутації слабкострумових кіл постійного струму.

Крокові шукачі в основному застосовують при побудові автоматичних телефонних станцій у тих випадках, коли використання електронних безконтактних комутаторів з будь-яких причин неможливе. Також крокові шукачі застосовують як цифрові, зокрема, десяткові лічильники.

Класичний кроковий шукач типу ШИ-11 (рис. 6.9) містить поля контактних ламелів (статор), трипроменеві контактні щітки, закріплені на зубчастому храповому колесі (роторі), рушійний механізм, що переміщує храповик та електромагніт.

Керування кроковими шукачами здійснюється або безпосереднім подаванням на клеми А–Б електромагніту імпульсів постійного струму, або постійного потенціалу через самопереривальні контакти 1У та 2У.

У першому випадку з кожним імпульсом, який подається на клеми АБ, відбувається просування контактів за лемами на 1 крок. Скільки подано імпульсів, стільки кроків виконує кроковий шукач.

У другому випадку схема керування будується так, що за досягнення заданого контакту щіткою ламелі, подача потенціального сигналу припиняється.

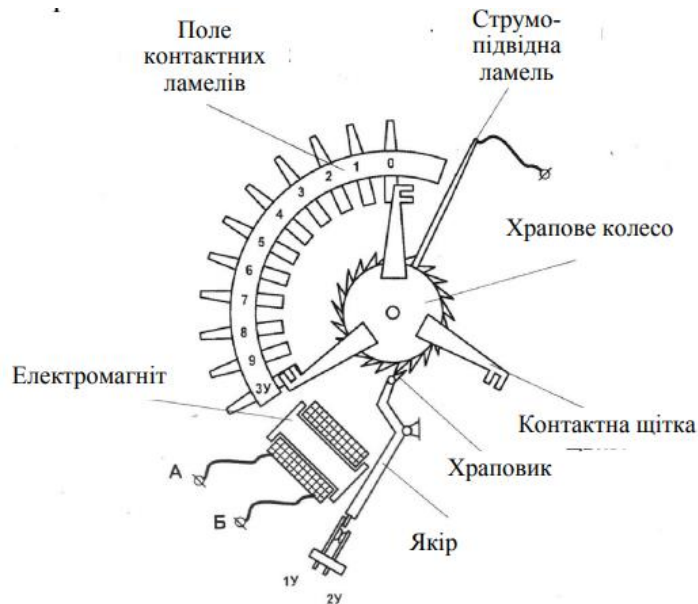


Рисунок 6.9 – Спрощена конструкція крокового шукача ШИ-11

Крокові шукачі розрізняють за кількістю контактних ламелів, кількістю контактних полів, робочою напругою, кількістю та типом самопереривальних контактів.

Безконтактні реле

У сучасній автоматичі основою для побудови логічних автоматів малої та середньої складності є різні інтегральні мікросхеми, виконані за різними технологіями.

Розглянемо принцип дії безконтактного реле на прикладі еквівалентної схеми, показаної на рис. 6.10,а.

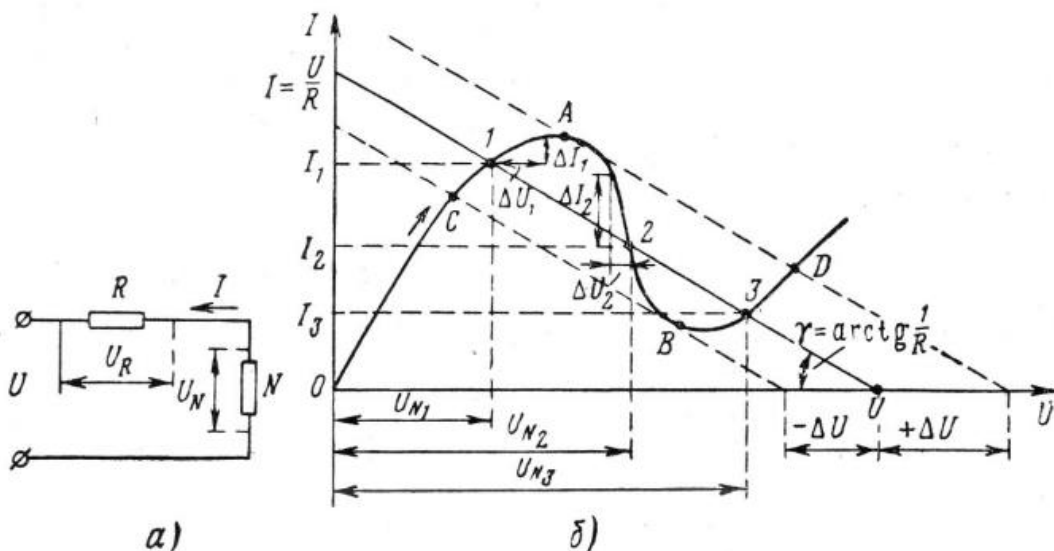


Рисунок 6.10 – До принципу дії безконтактного реле

Робота схеми можлива лише за наявності двох елементів: лінійного R та

нелінійного N , причому вольтамперна характеристика нелінійного елемента завжди повинна мати «спадну» ділянку (А–Б) (рис. 6.10,б).

Саме цією особливістю і пояснюється можливість наявності у схемі двох стійких станів рівноваги. Аналітично рівняння схеми записується у вигляді

$$U = U_N + IR$$

або

$$U_N = U - IR$$

Графічно рішенням наведеного рівняння є точки перетину характеристик лінійного R та нелінійного N елементів. Як видно з рис. 6.10,б, у загальному випадку може бути три таких точки (1, 2 й 3), тобто за одних і тих самих напруг живлення U і опорі R схема може мати три стани рівноваги, що визначають три можливих значення струму I в ній. Покажемо спочатку, що тільки два із них (1 і 3) є стійкими, а третій, що відповідає точці 2, буде нестійким.

Якщо значення струму і напруги відповідають точці 2, то викликане будь-якою причиною (наприклад, зміною напруги джерела живлення U) незначне збільшення струму ΔI_2 супроводжується зменшенням напруги на елементі N на величину ΔU_2 відповідно до ходу вольтамперної характеристики цього елемента. Але зменшення U_{N2} , як видно з наведеного рівняння, відповідає збільшенню частки U_R загальної напруги, що падає на елементі R , тобто ще більшому збільшенню загального струму $I = U_R/R$ у колі. Отже, струм у колі буде неперервно зростати. Аналогічно можна показати, що невелике зменшення струму I_2 викличе його подальше зменшення. Тому що практично ніколи не можна точно витримати значення струму U і напруги U_{N2} , що відповідають точці 2, то це означає, що стан рівноваги у цій точці буде нестійким і можливий лише теоретично. Процес наростання струму можливий в іншому положенні рівноваги (у точці 1). Як видно з графіка, будь-яке збільшення струму більше значення I_1 повинно бути обов'язково пов'язане зі збільшенням U_{N1} , тобто зі зменшенням U_R і I . Будь-яке зменшення струму менше значення I_1 має бути пов'язане зі зменшенням U_{N1} , тобто зі збільшенням U_R та I . Отже, у точці 1 за будь-якої довільній зміні струму I_1 він обов'язково прагне повернутися до попереднього значення, і рівновага схеми у цій точці буде стійкою. Аналогічними міркуваннями можна показати, що рівновага схеми буде стійкою й у точці 3.

Процес стрибка струму може бути створений шляхом зміни напруги U або опорі R . При збільшенні U (якщо вихідною точкою була точка 1) характеристика R переміщується праворуч паралельно сама собі і струм I спочатку дещо збільшується (до точки А). Будь-яке подальше збільшення U зміщує робочу точку схеми на спадну ділянку характеристики нелінійного елемента, і струм стрибком зменшиться до значення, що відповідає другому стійкому стану рівноваги (точка

D). Якщо тепер зменшувати напругу U , то аналогічний стрибок струму (збільшення) відбудеться з точки В у точку С.

Аналогічні результати дає зміна величини R за рахунок зміни кута γ нахилу характеристики R . Характерною особливістю безконтактних реле є можливість спрацьовування від імпульсних сигналів малої тривалості.

В якості нелінійного елемента можна використати біполярний або польовий транзистор. Однак у сучасній автоматичі безконтактні реле виконуються не на окремо узятих дискретних компонентах, а із застосуванням інтегральних мікросхем різних серій.

Найбільше розповсюдження нині отримали мікросхеми ТТЛ- та КМОНлогіки.

Схемотехніка ТТЛ (*транзисторно-транзисторна логіка*) має найбільше число різновидів. Мікросхеми ТТЛ на світовому ринку стабільно посідають перше місце протягом декількох десятиліть.

Транзисторно-транзисторна логіка має низку переваг, а саме:

- досить мала споживана потужність;
- у статичному режимі один із транзисторів завжди відкритий, тому вихідний опір, а тому й стала часу вихідного кола є досить малими, що сприяє підвищенню швидкодії;

- у динамічному режимі малий вихідний опір логічного елемента сприяє швидкому перезарядженню ємності навантаження та паразитній ємності монтажу, що забезпечує високу навантажувальну здатність логічного елемента ТТЛ.

До недоліків серій ТТЛ відноситься порівняльно низька швидкодія тому, що у статистичному режимі окремі транзистори, що складають схему ТТЛ, знаходяться у стані глибокого насичення. Це насичення забезпечує надлишковий вхідний струм, який зміщує емітерний перехід у прямому напрямі і приводить до накопичення рухомих носіїв у базах транзисторів. Після зникнення вхідного струму для переходу транзистора у стан відсікання потрібний тривалий час для подолання перехідного процесу розсмоктування накопичених носіїв, коли протягом десятків наносекунд транзистор залишається відкритим.

Отже, для підвищення швидкодії треба запобігти насиченню транзисторів. Ці недоліки ліквідовані в ТТЛ елементах з діодом Шотткі (ТТЛШ).

Суттєве зменшення часу розсмоктування надлишкового заряду у схемі з використанням транзисторів Шотткі скорочує час затримки до 3...5 нс.

Проте слід зауважити, що на відміну від ТТЛ, елементи ТТЛШ мають нижчу завадостійкість внаслідок малого порога відкривання транзисторів Шотткі і зменшення їхнього насичення.

Головним конкурентом мікросхем ТТЛ за широтою використання є *логічні елементи на польових МОН- і КМОН-структурах*. Це зумовлено дуже незначним

споживанням вхідного струму, великим вхідним опором, повним гальванічним розв'язанням вхідного та вихідного кіл, малим споживанням потужності, досить високою щільністю розміщення елементів. Мікросхеми МОН- або КМОН-структур мають широкий діапазон напруг живлення (від 3 до 15 В), що дозволяє виконувати просте поєднання з мікросхемами ТТЛ та операційними підсилювачами.

Широке практичне застосування при розробці логічних схем на МОН- та КМОН-структурах набули польові транзистори (ПТ). Польові транзистори розподіляються за способом формування каналу і видом носіїв. Наприклад, базовий логічний елемент на МОН-транзисторах з індукованим каналом *n*- або *p*-типів носять назву відповідно *n*МОН- і *p*МОН-структури.

Літера “К” розшифровується як “*комплементарний*”.

Комплементарною називається пара послідовно з'єднаних транзисторів з протилежними типами провідностей: *p*-каналом та *n*-каналом.

Перевагами КМОН-логіки є практична відсутність споживання енергії і простота виготовлення.

Щодо відсутності споживання енергії, то вона забезпечується тим, що в комплементарній парі за будь-якого стану її входу один із двох транзисторів обов'язково закритий, через що комплементарна пара не споживає струму.

Простота виготовлення зумовлена тим, що мікросхеми КМОН-логіки вільні від резисторів, діодів, складних багатоємітерних транзисторів і містять лише МОН-транзистори з індукованим каналом. Ці транзистори мають досить високу порогову напругу заслону (до 4 В), що забезпечує певну завадостійкість.

Мікросхеми розглянутих серій відрізняються багатьма ознаками. При проектуванні цифрових пристроїв досить часто треба розв'язувати задачі, які зв'язані з сумісним застосуванням різноманітних серій мікросхем, що викликає значні труднощі.

Узгодження різних типів мікросхем пов'язана в першу чергу з необхідністю узгодження вхідних та вихідних рівнів напруги, тобто рівнів логічного нуля та логічної одиниці за різних напруг живлення; вхідних та вихідних струмів; забезпечення заданих рівнів завадостійкості. Для розробки питань узгодження треба враховувати основні параметри тієї чи іншої серії.

Пристрої, за допомогою яких виконується узгодження різноманітних серій, називають перетворювачами або трансляторами рівнів. Особливою відзнакою перетворювачів є те, що рівні їхніх вхідних та вихідних сигналів завжди різні. На практиці особливий інтерес викликають перетворювачі рівнів найбільш часто використовуваних мікросхем, наприклад, ТТЛ та КМОН.

Тема 7

ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Функціональна схема автоматизації визначає об'єм автоматизації технологічної системи і окремого обладнання. Функціональна схема є основним технічним документом проекту з автоматизації і становить собою креслення, на якому схематично умовними позначеннями зображені технологічне обладнання, комунікації, органи керування і засоби автоматизації з зазначенням зв'язків між технологічним обладнанням і елементами автоматизації, а також зв'язків поміж окремими елементами автоматизації.

Зображення технологічного обладнання і комунікацій

Зображення технологічного обладнання і комунікацій на функціональних схемах виконують спрощено і у скороченому вигляді, без показу окремого обладнання і трубопроводів допоміжного призначення, але у відповідності зі схемою, що прийнята у технологічній частині проекту. Контури графічних зображень обладнання і машин, а також співвідношення їх габаритних розмірів повинні, як правило, відповідати дійсним. Припустиме зображення об'єктів керування також у вигляді прямокутників. Біля кожного технологічного обладнання і машини повинно бути найменування чи позиційне позначення (арабськими цифрами). Найменування може бути вписане усередину умовного графічного зображення обладнання. Дозволяється використовувати і буквеноцифрове позначення обладнання (машин), наприклад Т-2, Н-4, А-1, де буква позначає назву обладнання (Т – теплообмінник, Н – насос, А – абсорбер), а цифра – порядковий номер обладнання серед йому подібних. При позначенні обладнання цифрами (чи буквами з цифрами) в схемі має бути представлена специфікація з переліком обладнання і його деякими характеристиками (матеріал, поверхня теплообміну, продуктивність насосу, загальна вага і т. ін.).

Трубопроводи на функціональних схемах відображують суцільною лінією з зазначенням напрямку потоку. Для позначення тієї чи іншої речовини, що проходить по трубопроводу, рекомендується використовувати переривисті лінії з цифрами, які проставляють у розривах цих ліній, приклад наведено в таблиці 7.1. Товщина ліній контурів технологічного обладнання і трубопроводів повинна складати 0,6 ÷ 1,5 мм.

Таблиця 7.1 – Позначення речовин, що протікають по трубопроводах

Найменування речовини	Позначення
Вода	– 1 – 1 –
Пара	– 2 – 2 –
Повітря	– 3 – 3 –
Азот	– 4 – 4 –

Зображення приладів і засобів автоматизації

На функціональних схемах зображення приладів і засобів автоматизації здійснюються у відповідності з ДСТУ Б А.2.4-16:2008 і галузевими нормативними документами.

У стандарті встановлені два способи побудови умовних позначень за функціональними ознаками, що виконуються засобами автоматизації: спрощений і розгорнутий. Для спрощеного способу побудови достатньо основних умовних і буквених позначень. Розгорнутий спосіб побудови умовних графічних позначень може бути виконаний шляхом комбінованого застосування основних і додаткових позначень.

Складні прилади, що виконують кілька функцій, припускається зображувати декількома колами з примиканням одне до одного. Методика побудови графічних умовних позначень для спрощеного і розгорнутого способів є загальною. У верхній частині кола наносяться буквені позначення вимірюваної величини і функціональної ознаки засобу (приладу) автоматизації. У нижній частині кола наноситься позиційне позначення (цифрове чи буквено-цифрове), що служить для нумерації комплекту вимірювання чи регулювання (за спрощеним способом побудови умовних позначень) чи окремих елементів комплекту (за розгорнутим способом побудови умовних позначень).

Порядок розташування буквених позначень у верхній частині (зліва направо) наступний:

- позначення основної вимірюваної величини;
- позначення, що уточнює (якщо необхідно) основну вимірювану величину;
- позначення функціональних ознак приладу.

При цьому функціональні ознаки (якщо їх декілька в одному приладі) слід розташовувати у певному порядку, тобто IRCSA. Приклад побудови умовного позначення приладу з функціональними ознаками вимірювання, реєстрації і автоматичного регулювання перепаду тиску наведено на рисунку 7.1.

При побудові умовних позначень приладів вказують не всі функціональні ознаки приладу, а лише ті, що використовуються у даній схемі. Так, при позначенні показуючих і самописних приладів (якщо функція показання не використовується) припустимо писати TR, а не TIR.

У випадку побудови умовного позначення сигналізатора тиску, блок сигналізації якого є безшкальним приладом з умонтованим контактним пристроєм і сигнальними лампами, варто писати:

- PS, якщо прилад використовується тільки для дистанційної сигналізації відхилення тиску, включення чи виключення компресора, блокувань і т. п.;
- PA, якщо використовуються тільки сигнальні лампи самого приладу;

- PSA, якщо використовуються обидві вище перелічені функції;
- РС, якщо прилад використовується для позиційного регулювання тиску.

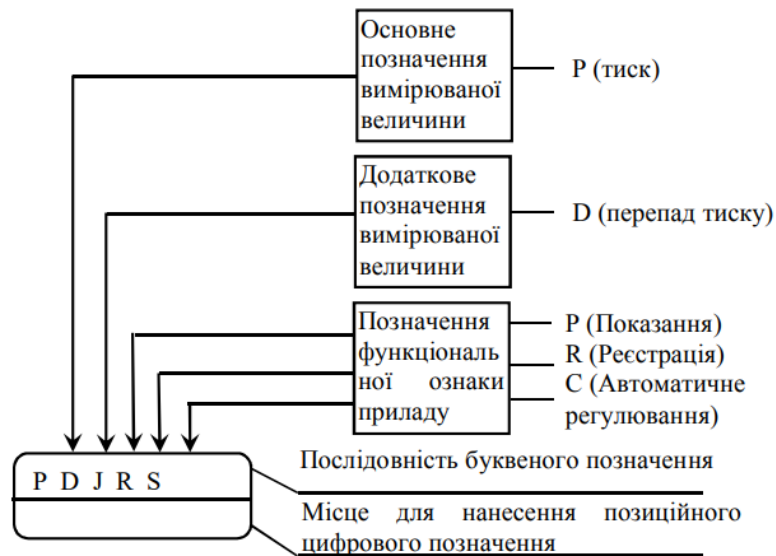


Рисунок 7.1 – Приклад побудови умовного графічного позначення приладу

Функціональні зв'язки між технологічним обладнанням і встановленими на ньому первинними перетворювачами, а також із засобами автоматизації, встановленими на щитах і пультах, на схемах показуються тонкими суцільними лініями. При цьому кожен зв'язок позначається однією лінією незалежно від фактичного числа проводів чи труб, що здійснюють цей зв'язок. До умовних позначень приладів і засобів автоматизації для вхідних і вихідних сигналів допускається лінії зв'язку підводити з будь-якого боку, у тому числі і під кутом. Лінії зв'язку мають бути на кресленні нанесені по найкоротшій відстані і нанесені з мінімальною кількістю перетинів. До того ж припускається перетинання лініями зв'язку зображень технологічного обладнання і комунікацій. Перетинання лініями зв'язку умовних позначень приладів і засобів автоматизації не допускається.

Позиційне позначення приладів і засобів автоматизації

Позиційне позначення на функціональних схемах автоматизації присвоюється всім приладам і засобам автоматизації без винятку і зберігається в усіх матеріалах проєкту. При формуванні умовного позначення приладу у нижній частині кола, як вже було сказано вище, розташовують позиційне його позначення. Всі елементи одного комплекту, тобто однієї функціональної групи приладів (первинний, проміжний і передавальний перетворювачі, вимірювальний прилад, регулятор, виконавчий пристрій) позначають однією і тією ж цифрою. При цьому цифру 1 присвоюють першому (зліва) комплекту, цифру 2 – другому і т. д.

Щоб відрізнити елементи одного комплекту, поряд з цифрою ставлять буквений індекс: у первинного перетворювача (датчика) – індекс *a*, у

передавального перетворювача – б, у вимірювального приладу – в і т. д. Таким чином, для одного комплексу повне позначення первинного перетворювача буде *Ia*, передавального вимірювального перетворювача – *Iб*, вимірювального (вторинного) приладу – *Iв* і т. д. При цьому висота цифри дорівнює 3,5 мм, а висота букви – 2,5 мм.

У разі цифрового позиційного позначення приладів замість букв використовують цифри: *1-1*, *1-2*, *1-3* і т. д. Не надають позиційних позначень лише відбірним і приймальним пристроям, що поставляються разом з приладом (входять у комплект – роздільні чи вирівнювальні посудини, спонукачі витрати, фільтри та холодильники для відбору проб на аналіз і т. ін.).

При визначенні меж кожної функціональної групи варто враховувати наступну обставину: якщо будь-який прилад чи регулятор зв'язаний з декількома датчиками або одержує додаткові впливи по інших параметрах (наприклад, коректуючий сигнал), то всі елементи схеми, що здійснюють додаткові функції, відносяться до тієї функціональної групи, на яку вони роблять вплив. Зокрема, регулятор співвідношення входить до складу тієї функціональної групи, на яку здійснюється ведучий вплив за незалежним параметром. Те ж відноситься і до прямого цифрового керування, де вхідним ланцюгам контуру регулювання надається та сама позиція.

У системах централізованого контролю із застосуванням обчислювальної техніки, у схемах телевимірювання, у складних схемах автоматичного керування з загальними для різних функціональних груп пристроями всі загальні елементи виносяться в самостійні функціональні групи.

Електроапаратурі на функціональній схемі автоматизації можна присвоювати позначення, прийняте у принципових електричних схемах керування. В окремих випадках, коли позиційне позначення неможливо помістити в коло, наносять його зовні меж кола.

Розробка функціональних схем

Виконання функціональних схем може здійснюватись з більшим чи меншим ступенем деталізації. Однак обсяг інформації, що наводиться на схемі, як правило, забезпечує повну уяву про прийняті технічні рішення з автоматизації певного технологічного процесу та можливість складання замовної специфікації на прилади і засоби автоматизації, запірнорегулювальної арматури, щитів і пультів, основних монтажних матеріалів і виробів.

Функціональну схему, як правило, виконують на одному аркуші, на якому зображують засоби автоматизації й апаратуру всіх систем контролю, регулювання, керування і сигналізації, що відноситься до даної технологічної системи (установки). Допоміжні пристрої, такі як редуктори і фільтри для повітря, джерела

живлення, сполучні коробки й інші пристрої, а також монтажні елементи на функціональних схемах не показують.

Складні технологічні схеми рекомендується розчленовувати на окремі технологічні вузли і виконувати функціональні схеми цих вузлів у вигляді окремих креслень.

Функціональні схеми автоматизації можуть бути виконані двома способами:

– з умовним зображенням щитів і пультів керування у вигляді прямокутників (як правило, у нижній частині креслення), в межах якого показують встановлені на них засоби автоматизації;

– із зображенням засобів автоматизації на технологічних схемах поблизу відбірних і приймальних пристроїв без побудови прямокутників, що умовно позначають щити, пульти, пункти контролю і керування.

Перший (розгорнутий) спосіб більш детально розкриває рішення з автоматизації, тому ним користуються частіше. Крім того, завдяки його наочності значно полегшується читання схеми і робота з проєктними матеріалами. За цим способом прямокутники щитів і пультів розташовують у такій послідовності, щоб при розміщенні у їх межах позначень приладів і засобів автоматизації забезпечувалася простота та ясність схем і мінімум перетинань ліній зв'язку. У кожному прямокутнику з лівої сторони надається його найменування. В прямокутниках також можуть бути вказані номери креслень загальних виглядів щитів і пультів.

Прилади і засоби автоматизації, які розташовані зовні щитів та пультів і не зв'язані безпосередньо з технологічним обладнанням і трубопроводами, умовно показуються у прямокутнику “Прилади місцеві”. У разі побудови складних функціональних схем автоматизації для запобігання великої кількості перетинань ліній зв'язку їх обривають і нумерують. Номери ліній зв'язку розташовують у горизонтальних рядах. Номери ліній зв'язку нижнього ряду (над верхнім прямокутником “Прилади місцеві”) розташовують у зростаючому порядку, а у верхніх рядах (у технологічного обладнання і трубопроводів) – у будь-якому. Для кращого розуміння технологічної суті процесів в об'єкті автоматизації і можливості вибору діапазону вимірювання приладів, а також завдання регуляторів на ділянках ліній зв'язку над верхнім прямокутником показують граничні робочі (максимальні і мінімальні) значення технологічних параметрів контролю і регулювання, що відповідають регламентним нормам. Ці значення наводять в одиницях шкали приладів чи у міжнародних одиницях без буквених позначень.

Для роботи з функціональними схемами автоматизації необхідно мати специфікацію на прилади і засоби автоматизації, електроапаратуру і запірно-регулюючу арматуру. Специфікації на прилади, засоби автоматизації,

електроапаратуру і запірнорегулюючу арматуру дозволяють з'ясувати характер взаємодії окремих технічних засобів автоматизації з елементами технологічного обладнання та зв'язок вузлів даної схеми автоматизації між собою і з вузлами інших (можливих) схем.

Вибір технічних засобів автоматизації

В процесі вибору технічних засобів автоматизації необхідно враховувати умови пожежно- і вибухонебезпечності технологічного процесу, агресивності і токсичності довкілля, параметрів і фізико-хімічних властивостей вимірюваного середовища, дальності передачі сигналів інформації від місця установки пристроїв безпосереднього зв'язку з об'єктом (вимірювальні перетворювачі, допоміжні пристрої, виконавчі пристрої та ін.) до щитів (пультів) керування і контролю, необхідної точності і швидкодії приладів і регуляторів. Системи автоматизації технологічних процесів повинні бути реалізовані на базі серійно виготовлених засобів автоматизації. При цьому слід застосовувати однотипні пристрої і уніфіковані системи, для яких характерна простота сполучення.

Вибір засобів вимірювання може здійснюватися виходячи з умов можливостей тих чи інших приладів, регуляторів, функціональних блоків, допоміжних та виконавчих пристроїв згідно інформаційного матеріалу та номенклатури.

Приклади побудови функціональних схем автоматичного управління та опису їх функціональної дії

Функціональні схеми САУ концентрації та витрати розчину відповідно на виході і вході випарного апарату наведені на рисунку 7.2.

Опис функціональної схеми автоматизації є невід'ємною складовою пояснювальної записки проєктної документації. Цей опис має здійснюватись з поясненням дії систем контролю, регулювання, сигналізації і блокування, наведених на кресленні по кожному параметру із зазначенням елементів, що входять до системи та їх позиційного позначення у відповідності до специфікації. Нижче розглянуто приклад опису функціональної дії САУ концентрації розчину на виході випарного апарату згідно рисунку 7.2а.

Стабілізація концентрації забезпечується шляхом зміни витрати розчину на вході випарного апарату. Контроль концентрації розчину здійснюється кондуктометричним аналізатором типу КВЧ-5М-1 (поз.1а), вимірювальний перетворювач ПИ якого на виході має сигнал постійного струму, пропорційний величині питомої електричної провідності, а отже і концентрації розчину. Отриманий таким чином сигнал з ПИ надходить до передавального перетворювача ПП, у якому він нормується в уніфікований струмовий сигнал $0 \div 5$ мА. Далі сигнал прямує одночасно як на вхід вторинного приладу РП-160- 1 (поз.1б), так і на вхід мікропроцесорного регулятора МИНИТЕРМ 400.00 (поз.1в).

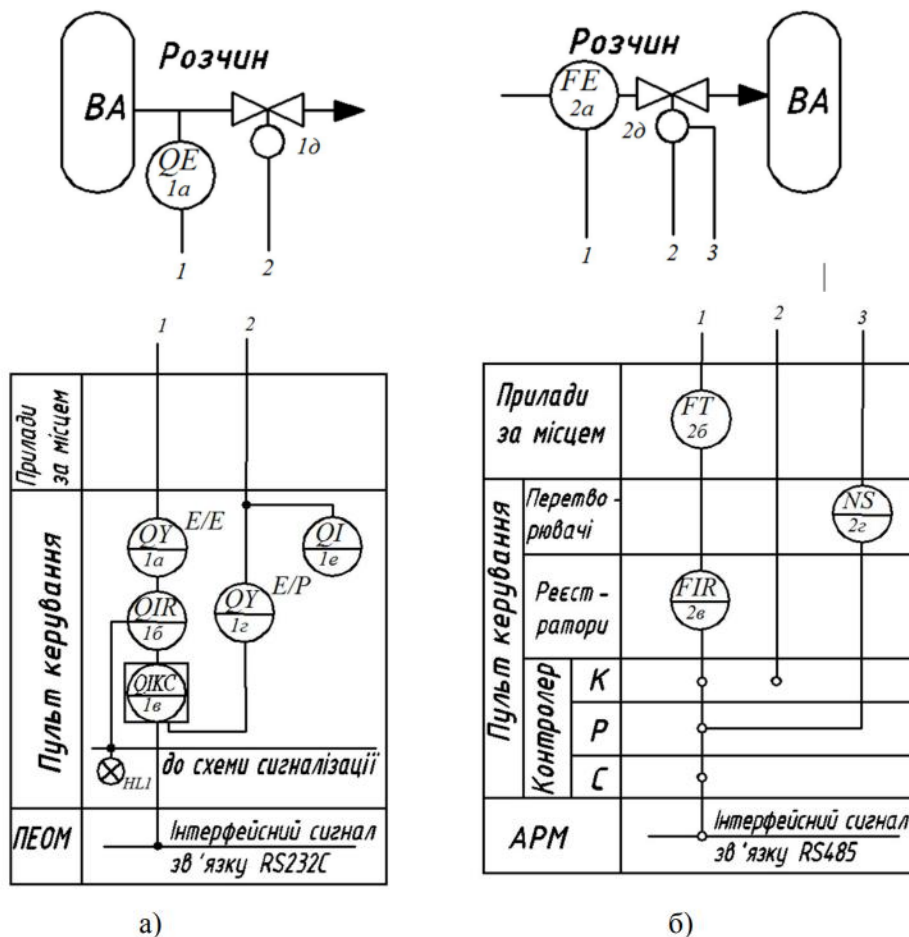


Рисунок 7.2 – Функціональні схеми САУ, реалізованих з використанням мікропроцесорних регуляторів (а) та контролера (б): ВА – випарний апарат; К,Р,С – функціональні можливості контролера, відповідно контролю, регулювання, сигналізації; АРМ – автоматизоване робоче місце оператора.

Вторинний прилад забезпечує реєстрацію величини концентрації, а також завдяки вмонтованому контактному пристрою і сигналізацію у випадку зменшення величини нижче заданої. Мікропроцесорний регулятор у разі появи сигналу розбіжності на вході здійснює перетворення її величини за ПІ-законом регулювання у режимі "автоматичне" у вихідний струмовий сигнал $0 \div 5$ мА. Далі цей сигнал надходить на електропневматичний перетворювач типу ПЕП95 (поз.1г), пневматичний вихідний сигнал $0,02 \div 0,1$ МПа якого прямує на мембранний виконавчий пристрій ПОУ-7 (поз.1д). Якщо концентрація прийняла значення нижче заданого, то регулятор відпрацьовує сигнал дії, що призводить до зменшення величини витрати розчину на виході ВА, а отже і підвищення концентрації до заданої величини. Для контролю положення регулюючого органу виконавчого пристрою застосовується вторинний прилад типу ПКП.1 (поз.1е).

Одночасно регулятор зв'язаний каналом інтерфейсного зв'язку з послідовним

портом ПЕОМ верхнього рівня за протоколом RS-232. По каналу інтерфейсного зв'язку здійснюється вивід на ПЕОМ усіх виходів і параметрів настроювання регулятора, а також у разі необхідності може здійснюватися і зміна завдання по командах з ПЕОМ. Живлення регулятора напругою 24В постійного струму відбувається від джерела групового живлення П300.2, яке одночасно може забезпечувати живлення двох регуляторів. Сигнал $0 \div 5$ мА подається на вхід регулятора через пристрій узгодження ВП05М, який перетворює струмовий сигнал $0 \div 5$ мА у сигнал постійної напруги $0 \div 50$ мВ .

Після розробки САУ з використанням контролерів необхідно виконати функціональну схему конфігурування автоматичної системи регулювання на базі бібліотеки алгоритмів того чи іншого контролера а також здійснити опис цієї схеми.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Базові

1. Технічні засоби автоматизації: навч.-метод. посібник / А. К. Бабіченко та ін.; за ред. А. К. Бабіченка. Харків: НТУ «ХПШ», 2024. 183 с.
2. Технічні засоби автоматизації. Конспект лекцій: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спец. 174 втоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка / уклад.: О. М. Безвесільна, Т. О. Толочко. Київ: КПШ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 367 с.
3. Технічні засоби автоматизації. Практикум: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спец. 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка / уклад.: О. М. Безвесільна, Т. О. Толочко. Київ: КПШ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 217 с.
4. Конспект лекцій з дисципліни «Технічні засоби автоматизації» для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійні програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», «Системна інженерія». Частина 1 / упоряд. Іванов Л.С. Харків: ХНУРЕ, 2023. 88 с.
5. Воробйова О.М., Альошина Л.О. Технічні засоби автоматизації: методичні рекомендації для самостійної роботи здобувачів вищої освіти. Одеса: ДУІТЗ, 2024. 27 с.
6. Технічні засоби автоматизації: навчально-методичні настанови до практичних занять / упоряд. А. А. Бурчак , М. В. Михайловський, М. В. Рибальченко, О. Ю. Потап. Дніпро: Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2025. 25 с.

Інформаційні ресурси

1. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Система проектної документації для будівництва. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2009.
2. ДСТУ 2709-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Автоматизовані системи керування технологічними процесами. Метрологічне забезпечення. Основні положення. [Чинний від 1995-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 1994.

Публікації за освітньою компонентою

1. Kuzmych O., Cherniashchuk N., Lishchyna N., Lishchyna V., Mekush O., Gumenyuk P. Mobile Robot Motion Stability and Optimal Chassi Construction. Publisher: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Digital Library 2021, ACIT'2021, 2021, pp. 141-146.
2. Grigorieva N., Shabaykovich V., Gumeniuk L., Humeniuk P. Modeling of the

- matrix base of design of innovative equipment for obtaining renewable energy from CO₂. *Modern engineering and innovative technologies*. Issue №16 Part 1, 2021. С. 68-76.
3. Крисанов А. О., Гуменюк П. О. Моделювання дискретних виробничих процесів з використанням Simpy. *Перспективні технології та прилади. Збірник статей*. Луцьк: ЛНТУ, 2023. Випуск 22. С. 68–73.
 4. Gumeniuk L., Fedik L., Didukh V., Humeniuk P. Analysis and study of rolling parameters of coils on an inclined plane. *Informatyka, Automatyka, Pomiarы w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*. Vol. 14, No 3. 2024. С.101-104.
 5. Сауляк М. М., Гуменюк П. О. Автоматизована система керування технологічним процесом виготовлення вапна. *Актуальні проблеми автоматизації та управління: матеріали XII міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених та студентів*. Випуск № 12. Луцьк: ЛНТУ, 2024. С. 69-72.
 6. Gumeniuk L., Markina L., Satsyk V., Humeniuk P., Lashch A. Application of multi-agent programming for modeling the viscosity state of mash in alcohol production. *Informatyka, Automatyka, Pomiarы w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*. Vol. 15, No 1. 2025. С.27-32.
 7. Дерлюк С. О., Гуменюк П. О., Гуменюк Л. О. Оцінка можливості виникнення кавітації в насосах. *Технологічні комплекси*. Луцьк: ЛНТУ, 2025. Том 17. № 2. С, 18-23.

Технічні засоби автоматизації, виконавчі та регулюючі механізми : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації (G Інженерія, виробництво та будівництво) спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка (G7 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка) денної та заочної форм навчання / уклад. П. О. Гуменюк. Луцьк: ЛНТУ, 2025 79 с.

Комп'ютерний набір

П.О. Гуменюк

Редактор

П.О. Гуменюк

Підп. до друку «__» 2025 р. Папір офс.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 5. Обл.-вид. арк. 1.
Тираж 30 прим.

Відділ іміджу та промоції
Луцького національного технічного університету
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Друк – ВІП ЛНТУ