

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

з дисципліни

«ОСНОВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ГАЗОВОЇ І НАФТОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ»

для студентів спеціальності 185

«Нафтогазова інженерія та технології»

Полтава 2023

УДК 681.53

Рецензенти:

Мацуй А.М., доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету;

Шефер О.В., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Рекомендовано до друку науково-методичною радою Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Протокол № 3 від 15.12.2022 р.

Єрмілова Н.В.

Навчальний посібник з дисципліни «Основи автоматизації об'єктів газової і нафтової промисловості» для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / Н.В.Єрмілова; за заг. ред. Н.В.Єрмілової. – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка», 2023. – 127 с.

Навчальний посібник підготовлено відповідно до програми навчальної дисципліни «Основи автоматизації об'єктів газової і нафтової промисловості» для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за освітньо-кваліфікаційним рівнем бакалавра з галузі знань 18 «Виробництво та технології» спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» денної, дистанційної та заочної форм навчання. Навчальний посібник призначений для допомоги студентам у самостійному опануванні курсу «Основи автоматизації об'єктів газової і нафтової промисловості», вивчення сучасних елементів та систем автоматизації і підготовки до здачі заліку.

© Єрмілова Н.В., 2023 рік

© Національний університет імені Юрія Кондратюка

ВСТУП

Автоматизація виробництва – це процес у розвитку виробництва, при якому значна частина функцій управління та контролю, що раніше виконувалася людиною, передається системам автоматичного контролю та керування. Автоматизація – це основа сучасної промисловості, генеральний напрям технічного прогресу. Автоматизація різних виробництв неоднакова. Вона дає найбільший ефект у виробництвах з масовим випуском продукції і порівняно працемісткими й енергомісткими технологічними процесами.

Головна мета автоматизації виробництва полягає у підвищенні ефективності праці, поліпшенні якості продукції, створенні умов для найбільш оптимального використання всіх ресурсів виробництва.

Інтенсифікація промислового виробництва пов'язана зі створенням високоефективних автоматизованих систем керування технологічних процесів (АСКТП). Такі системи призначені для формування і реалізації керуючих функцій для впливу на технологічний об'єкт керування згідно з прийнятим критерієм керування, що характеризує якість роботи цього об'єкта і приймає певні значення залежно від керуючих функцій, тому це питання є актуальним й дуже важливим для вивчення студентами.

Основним призначенням посібника є необхідність дати студентам основи знань для вибору й експлуатації елементів і систем автоматизації виробничих процесів видобування нафти і газу, а також для вивчення інших навчальних предметів спеціальності.

У результаті вивчення матеріалу посібника студенти повинні вміти розробляти функціональні схеми автоматизації на виробничі процеси з урахуванням вимог діючих держстандартів; знати призначення, технічні характеристики, склад, принцип дії елементів, приладів і систем автоматизації, вимоги до надійності та стійкості систем, методи розрахунку і типові технічні рішення. Особливу увагу приділено вивченню сучасних типів програмованих логічних контролерів фірми Siemens та їх програмуванню. Для засвоювання матеріалу студенти повинні знати основи вищої математики, інформаційних технологій, фізики й електротехніки.

Матеріали посібника систематизовано в 11 тем. Лаконічність і доступність наведеного матеріалу дозволить без будь-яких зусиль опанувати навчальний курс «Основи автоматизації об'єктів газової і нафтової промисловості» та підготуватися до здачі заліку.

ТЕМА 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Види та особливості об'єктів автоматизації

Автоматика – сукупність методів і технічних засобів, які виключають участь людини при здійсненні операцій конкретного технологічного процесу.

Автоматизацією називають процес, при якому функції управління і контролю здійснюються засобами автоматики. Автоматизація характеризується звільненням людини від безпосереднього виконання функцій управління виробничими процесами. Технічна спрямованість автоматизації дозволяє організувати технологічні процеси з такою швидкістю, точністю, надійністю та економічністю, котрі людина забезпечити не може.

Розрізняють часткову, комплексну та повну автоматизацію. **Часткова** автоматизація – перший етап автоматизації, при якому на дистанційне або автоматичне управління переводять окремі машини, механізми й установки, котрі не мають зовнішніх зв'язків з іншими виробничими процесами.

Комплексна автоматизація – другий етап, при якому автоматично виконують усі основні виробничі операції технологічної ділянки, цеху, заводу як єдиний взаємозв'язаний комплекс.

Повна автоматизація – завершальний етап автоматизації виробництва, коли автоматизуються всі основні й допоміжні ділянки виробництва, включаючи системи управління і контролю. Для керування широко застосовується обчислювальна та мікропроцесорна техніка.

До **особливостей автоматизації об'єктів нафтогазової промисловості (НГП)** можна віднести:

- 1) високий ступінь відповідальності роботи об'єктів, який вимагає забезпечення їх надійної безперебійної роботи;
- 2) залежність режимів роботи об'єктів від зміни якості нафти або газу;
- 3) територіальну розкиданість об'єктів і необхідність координування їх роботи з одного центру;
- 4) необхідність забезпечення найбільш економічної роботи обладнання насосних та компресорних станцій, які є великими споживачами електричної енергії;
- 5) необхідність збереження працездатності при аваріях на окремих ділянках системи.

Засоби автоматизації виконують функції: автоматичної сигналізації, що дає уявлення про роботу обладнання; автоматичного блокування, контролю та захисту обладнання; автоматичного керування.

1.2. Основні поняття теорії автоматичного керування

Автоматичне керування – це здійснення якого-небудь процесу без безпосереднього впливу людини, за допомогою відповідних систем автоматики.

У системі автоматичного керування (САК) знаходиться об'єкт управління, характерною особливістю якого є наявність у ньому керованого процесу. Керований процес характеризується однією чи декількома фізичними величинами, що називаються регульованими параметрами. Задача САК – цілеспрямована дія на об'єкт управління в тому випадку, коли процес, що в ньому проходить, відхиляється від заданого. САК являє собою сукупність об'єкта керування й автоматичного регулятора.

Розглянемо функціональну схему типової САК (рис. 1.1):

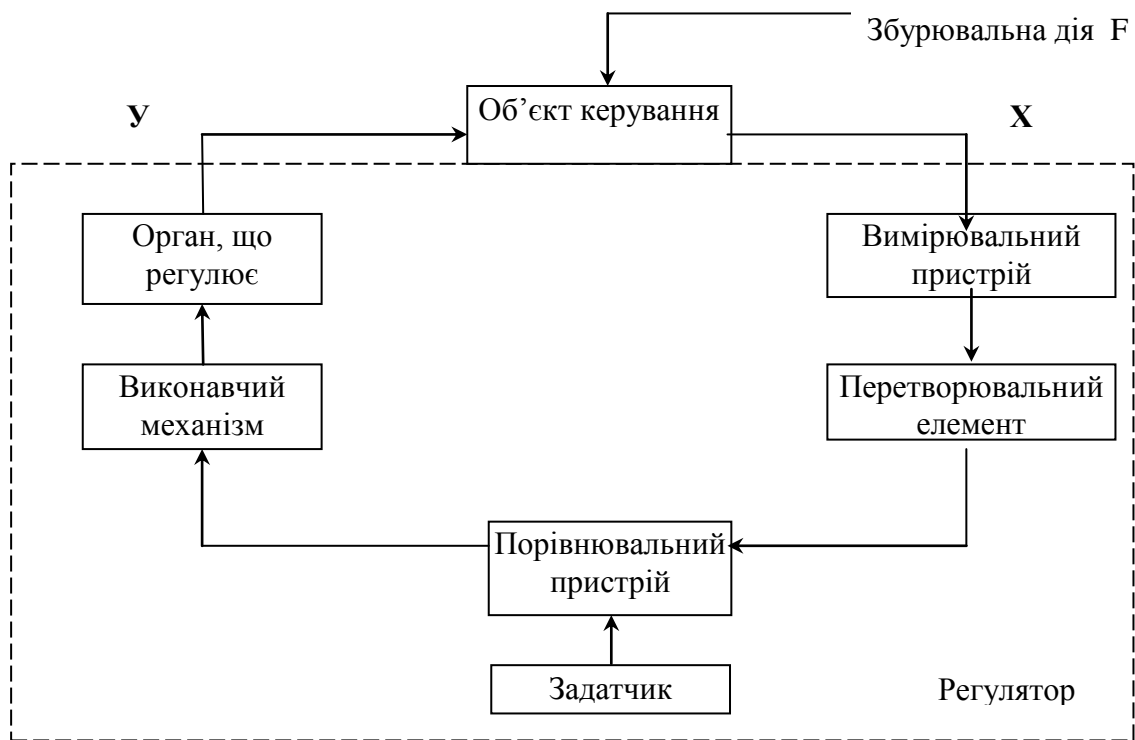


Рис. 1.1. Функціональна схема САК

Стан об'єкта характеризується одним чи декількома вихідними значеннями контрольованого параметра X , що подаються на вхід вимірювального елемента. Від автоматичного регулятора через регулюючий орган на вхід об'єкта подається керувальна дія U . Крім такої дії, до об'єкта прикладено також зовнішню збурювальну дію F , яка змінює стан об'єкта і викликає необхідність регулювання.

На виході вимірювального пристрою формується електричний сигнал, котрий є пропорційним величині контрольованого параметра X . Цей сигнал подається до перетворювального елемента, в якому він

підсилюється або перетворюється в інший сигнал, більш зручний для подальшої обробки. Далі цей сигнал надходить до порівнювального пристрою. Також на вхід цього пристрою від задатчика подається задана дія, що містить інформацію про потрібне значення X , тобто про ціль управління. Взагалі на вхід порівнювального пристрою може також подаватися інформація про збурювальну дію F .

Порівнювальний пристрій переробляє за визначеним закладеним у ньому законі регулювання інформацію і за необхідності через виконавчий механізм (наприклад електро-, гідро- чи пневмопривод) діє на об'єкт за допомогою органа, що регулює.

Залежно від роду властивостей розрізняють САК:

- а) за видом параметра, що регулюється, – температурні, тиску, рівня вологості і т.п.;
- б) за принципом дії – безперервної, релейної та імпульсної дії;
- в) за характером управління – стабілізуючі, програмні, слідкуючі;
- г) за видом використаної енергії робочого середовища в регуляторі та виконавчому елементі – електричні, пневматичні, гідравлічні;
- д) за динамічними властивостями – швидкодіючі, повільнодіючі, статичні, астатичні.

У теорії керування розрізняють наступні **основні принципи управління**:

1. Принцип управління за керуючою величиною – заснований на вимірюванні відхилення величини, що регулюється, від потрібного значення і перетворення цього відхилення в керуючу дію. Така система є замкненою динамічною з від'ємним зворотним зв'язком за керуючою величиною.

2. Принцип управління за збуренням – орієнтований на причину, що порушує рівновагу об'єкта, тобто збурювальну дію, і перетворення її в керуючу дію.

3. Принцип комбінованого управління об'єднує обидва принципи і має два канали – вимірювання відхилення регульованої змінної та вимірювання збурювального впливу.

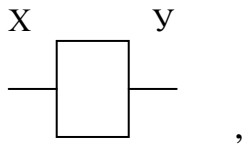
4. Принцип програмного управління є різновидом принципу управління за збуренням з тією різницею, що для формування керуючої дії використовується задана дія (програма).

Центральну роль у сучасних автоматизованих системах управління відіграють мікропроцесорні пристрої, широке впровадження котрих привело до якісних змін у структурі автоматизації виробничих процесів. З'явилася можливість з метою керування різними технологічними операціями застосовувати недорогі універсальні пристрої, які досить просто переналагоджуються програмним способом.

1.3. Елементи автоматики. Основні характеристики та похибки елементів автоматики

Елементом автоматики називається частина системи автоматичного регулювання, в якій відбуваються кількісні чи якісні зміни фізичної величини, параметра або інформації про стан об'єкта.

Елементи мають вхід і вихід:



де (X) – вхідна величина (може бути електричною та неелектричною). Вхідною величиною може бути: тиск, рівень, концентрація, температура, напруга, струм тощо.

(Y) – вихідна величина. Як правило, є електричною величиною.

Якщо незмінному стану (Y) відповідає незмінний стан вхідної величини (X), то такий режим роботи називається статичним режимом, а залежність $Y = f(X)$ – **статичною характеристикою елементів автоматики**.

Якщо незмінному стану (Y) відповідає перехідний стан (X) і навпаки, то такий режим роботи має назву динамічного, а залежність $Y = f(X, t)$, де t – час, називають **динамічною характеристикою**.

Величина $k = \frac{Y}{X}$ називається **коефіцієнтом передачі елемента автоматики**.

Якщо (Y) і (X) мають однакову фізичну природу, то цей коефіцієнт є коефіцієнтом підсилення.

$$k_{\text{підс.}} = \frac{Y}{X}.$$

Чутливість елемента автоматики – $S = \frac{dY}{dX}$,

ця величина характеризує зміну вихідної величини при зміні вхідної.

Інколи виражається як співвідношення $S = \frac{\Delta Y/Y}{\Delta X/X}$.

Поріг чутливості ρ_r – мінімальне відхилення вхідної величини, при якому з'являється відчутна зміна вихідної.

Похибки елементів автоматики та вимірювальних приладів:

1. **Абсолютна** – різниця між виміряним та справжнім значеннями величини

$$\Delta A = A_x - A_0,$$

де A_x – виміряне значення величини;

A_0 – дійсне значення.

- 2. Поправка** – величина, яка дорівнює абсолютній похибці з протилежним знаком:

$$P = -\Delta A = A_0 - A_X.$$

- 3. Відносна** – відношення абсолютної похибки до дійсного значення, взяте у відсотках :

$$\delta = \frac{\Delta A}{A_0} \cdot 100\%.$$

- 4. Зведена** – відношення абсолютної похибки до нормованого значення, взяте у відсотках :

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_N} \cdot 100\%,$$

де A_N – нормоване значення.

Нормоване значення для приладів з нулем з одного боку шкали дорівнює кінцевому значенню діапазона. Для шкал з нулем усередині шкали – арифметичній сумі по модулю граничних значень діапазона.

- 5. Варіація** ΔB — різниця між значеннями вимірюваної величини при прямому та зворотному ходу стрілки приладу:

$$\Delta B = A_{x(np)} - A_{x(зв)}.$$

Варіація виникає внаслідок недосконалості механічної частини приладу: тертя в опорах, зазорів, люфтів.

- 6. Зведена варіація** – відношення варіації до нормованого значення, взяте у відсотках :

$$B\% = \frac{\Delta B}{A_N} \cdot 100\%$$

При визначенні **класу точності** пристрою розраховується зведена похибка і зведена варіація в кожній оцифрованій точці шкали пристрою, вибирається найбільша з цих похибок і береться найближча більша величина зі стандартної шкали класів точності:

0,05 0,1 0,2 0,5 1,0 1,5 2,5 5,0 .

ТЕМА 2. ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Вимірjuвальний перетворювач (датчик) – це елемент автоматики, потрібний для перетворення контрольованої величини у вихідний сигнал, найбільш зручний для дистанційної передачі, обробки та зберігання.

2.1. Класифікація датчиків

За видом перетворення датчики поділяються на:

- датчики з **безпосереднім** перетворенням $Y = f(X)$;
- датчики з **послідовним** перетворенням $Y = f(Z)$, де Z – проміжна величина, $Z = f(X)$.

Проміжних величин може бути декілька.

За родами вхідної величини датчики поділяються на:

- **механічні** – побудовані на принципі пересування твердого тіла;
- **пневматичні** – побудовані на принципі пересування газу або повітря;
- **гідравлічні** – побудовані на принципі пересування рідини.

За принципом дії датчики поділяються на:

- **модуляторні** – в яких енергія вхідного сигналу діє на додатковий електричний ланцюг, змінюючи його параметри;
- **генераторні** – в яких відбувається перетворення енергії будь-якого роду в електричну.

2.2. Модуляторні вимірjuвальні перетворювачі

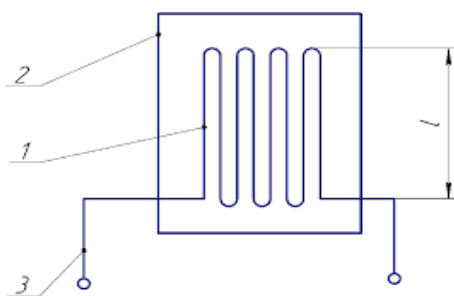
Модуляторні перетворювачі діляться на три великі групи – омичні (вихідним сигналом датчиків є активний опір R), індуктивні (вихідним сигналом датчиків є індуктивний опір X_L) та ємнісні (вихідним сигналом датчиків є ємнісний опір X_C).

2.2.1. Омичні датчики:

а) **тензорезистивні** датчики.

Основою принципу дії тензорезисторів є явище тензоефекту, суть якого полягає в зміні електричного опору провідникового матеріалу під час його механічної деформації.

Датчики використовують для вимірjuвання пружних деформацій, крутних і згинаючих моментів. Також їх можна використовувати для вимірjuвання тиску, приклеюючи датчики на жорстку мембрану, яка під дією цього тиску вигинається.



Датчик являє собою тонкий константовий дріт діаметром 0,015 – 0,05 мм, який зігнутий спіраллю 1 і проклеєний між двома шарами тонкого паперу або плівки 2. Він наклеюється на досліджувану поверхню. Кінці спіралі 3 під'єднуються до вихідних клем (рис. 2.1).

Рис. 2.1. Будова тензодатчика

При деформації поверхні в напрямку довжини спіралі (1) відбувається зміна опору дроту відповідно до відомої формули

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S},$$

де ρ – питомий опір матеріалу (константану);

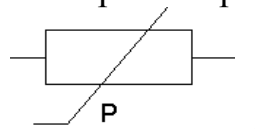
l – довжина дроту;

S – площа перерізу.

Якщо ж деформація відбувається в горизонтальному напрямку, елементи спіралі розсуваються, при цьому вихідний опір практично не змінюється. При дослідженнях деформації будівельних конструкцій датчики наклеюють у взаємно перпендикулярних напрямках. Похибка вимірів складає (0,5...1)%.

Для вимірювання високих та надвисоких тисків виготовляють тензодатчики у вигляді безкаркасної котушки з манганінового дроту. Під впливом тиску змінюється питомий опір матеріалу (манганіну), а отже, й активний опір котушки. Для низьких тисків застосовують германієві або кремнієві тензорезистори аналогічної конструкції. Тензоефект спостерігається в результаті об'ємного стискання датчика.

На електричних схемах тензорезистори позначаються таким чином:



тут P – тиск;

б) **терморезистивні** датчики (терморезистори).

Дія цих датчиків пов'язана зі здатністю деяких матеріалів змінювати свій опір унаслідок зміни температури. Вони призначені для контролю температури. Використовують металеві і напівпровідникові терморезистори.

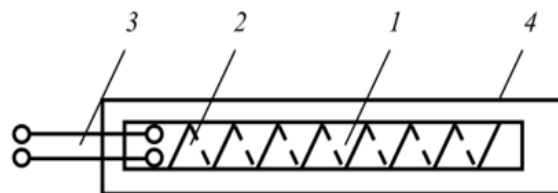


Рис. 2.2. Будова терморезистора

Металевий терморезистор (рис. 2.2) складається з котушки 1 металевого дроту 2, яка розташована в захисному корпусі 4. Кінці дроту 3 під'єднуються до вихідних клем.

Металеві терморезистори мають позитивний температурний коефіцієнт, їх опір збільшується з підвищенням температури. Такі датчики виготовляють з міді, платини, нікелю, вольфраму й інших чистих металів.

Платинові терморезистори працюють у межах $(-260...+1300)^{\circ}\text{C}$. Похибка вимірювання складає $\pm 0,1\%$. Мідні датчики вимірюють температуру в межах $(-50...+180)^{\circ}\text{C}$. Похибка вимірювання близько $\pm 1\%$.

Опір таких датчиків змінюється за законом

$$R_t = R_0 (1 + \alpha (t - t_0)),$$

де R_0 – опір датчика при вихідній температурі t_0 ;

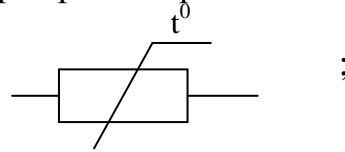
α – температурний коефіцієнт;

t – вимірювана температура.

Таким чином, контролюючи зміну вихідного опору R_t , можна контролювати й зміну температури t .

Напівпровідникові датчики мають від'ємний температурний коефіцієнт, тобто їх опір зменшується з підвищенням температури. Виготовляють з окису різних металів (марганцю, міді, нікелю, титану та ін.). Їх конструкція подібна до конструкції металевих терморезисторів. Недоліком таких терморезисторів є вузький діапазон температур та нелінійність статичної характеристики.

На схемі терморезистор позначається так:



в) **фоторезистивні** датчики.

Дія фоторезисторів базується на властивостях деяких напівпровідникових матеріалів змінювати провідність під дією світла.

Чутливим елементом фоторезистора є тонкий прошарок напівпровідникового матеріалу 1, розміщений на прозорій діелектричній підкладці 2 (рис. 2.3). При вмиканні фоторезистора в електричне коло через електроди 3 за відсутності світла в колі протікає темновий струм

$$I_T = b \cdot U \cdot j_T,$$

де b – постійний коефіцієнт;

j_T – темнова провідність напівпровідника;

U – напруга живлення.

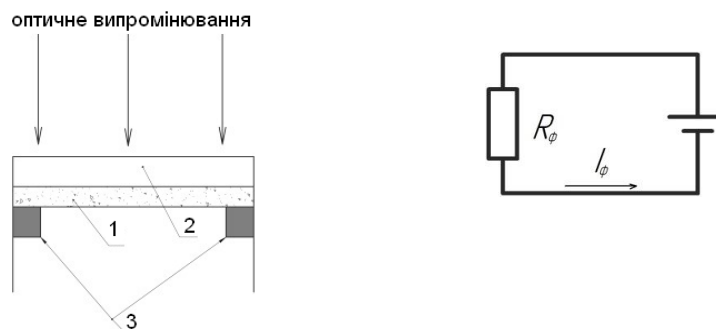


Рис. 2.3. Будова та схема підключення фоторезисторів

Під впливом оптичного випромінювання провідність світлочутливого прошарку зростає і струм у колі збільшується до значення

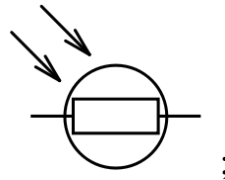
$$I_{\phi} = b \cdot U \cdot (j_T + j_{\phi}),$$

де j_{ϕ} – фотопровідність напівпровідника.

Таким чином, за величиною струму можна контролювати величину освітленості.

У видимій ділянці спектра широко використовуються фоторезистори, виготовлені з сірчаного кадмію (*CdS*), фотопровідність якого у $10^5 - 10^6$ разів перевищує темнову провідність. В інфрачервоній ділянці спектра широко використовуються фоторезистори з сірчаного свинцю (*PbS*), а також інші напівпровідникові матеріали.

Такі датчики використовуються в системах сигналізації, вимірювання та реєстрації. На схемі фоторезистор позначається так:



г) **іонні** датчики.

Використовуються для вимірювання концентрацій рідин та газів. Зі збільшенням концентрації розчину обмін іонами між електродами починає проходити більш інтенсивно, при цьому провідність розчину збільшується (рис. 2.4). На принципі дії іонних датчиків використовують пристрої для вимірювання товщини, густини й маси матеріалів, товщини покриття, газового аналізу тощо.

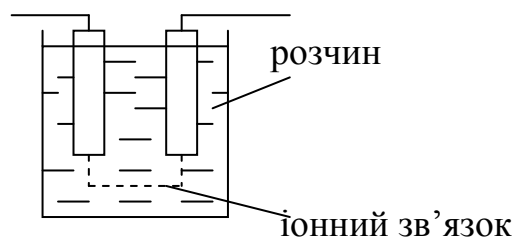


Рис. 2.4. Іонний датчик

2.2.2. Індуктивні датчики

Датчики діляться на індуктивні, трансформаторні та магнітопружні:

а) **індуктивні** датчики.

Ці датчики використовуються для вимірювання кутових і лінійних пересувань. Принцип дії заснований на зміні індуктивності котушки з магнітопроводом при пересуванні якоря.

Велику популярність індуктивні датчики отримали при вимірюванні пересувань об'єктів в інтервалі від 1 мікрметра до 20 мм. Такі датчики можна використовувати для контролю рівня рідин, тисків, різних зусиль. У таких випадках спочатку діагностований параметр перетворюється чутливими компонентами в пересування, а далі ця величина подається на індуктивний перетворювач.

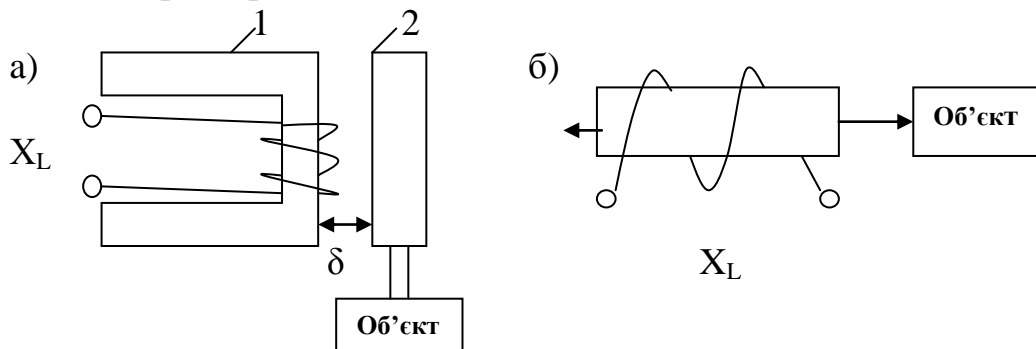


Рис. 2.5. Будова та принцип роботи індуктивного датчика

Датчики являють собою нерухоме феромагнітне осердя 1 з намотаним дротом і рухомий якір 2, який з'єднується з об'єктом, що пересувається (рис. 2.5, а). В іншій конструкції об'єкт пересуває осердя з намотаним дротом (рис. 2.5, б).

При зміні повітряного зазору δ (або положення осердя) змінюється індуктивний опір X_L , величину якого легко виміряти:

$$X_L = f(\delta);$$

б) трансформаторні датчики.

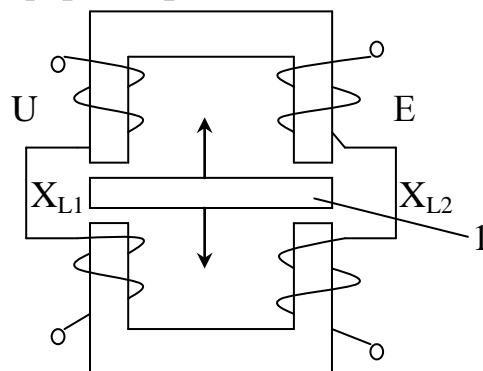


Рис. 2.6. Будова трансформаторного датчика

Такі датчики мають на своєму виході взаємодуктивність двох котушок. Якір 1 з'єднаний з об'єктом, котрий пересувається (рис. 2.6). Спочатку він розташований посередині між осердями котушок з опорами X_{L1} та X_{L2} , що підключені зустрічно одна до одної. У вихідному стані ЕРС обмотки з опором X_{L1} зрівноважує ЕРС обмотки з опором X_{L2} .

При пересуванні якоря рівновага порушується, і на виході з'являється електрорушійна сила E , котра являє собою різницю ЕРС котушок і залежить від зміни повітряного проміжку, тобто від пересування об'єкта;

в) **магнітопружні датчики.**

Принцип дії таких датчиків заснований на властивості деяких феромагнітних матеріалів (наприклад, пермалою або інвару) змінювати магнітну проникність при пружних деформаціях, які викликані механічним навантаженням.

Робочий елемент магнітопружного датчика — магнітопровід, на якому розміщено одна або декілька обмоток, що включаються у міствимірник. Магнітопровід магнітопружного датчика укріплюють на поверхні деталі (або споруди) у напрямку зусиль, що діють, або у напрямку деформацій. Зміна вихідної індуктивності котушки прямо пропорційна зміні магнітної проникності феромагнітного осердя (тобто зміні механічного навантаження).

Магнітопружний датчик найдоцільніше застосовувати при вимірах малих деформацій (як постійних, так і швидкозмінних) у твердих тілах, а також вимірах тиску рідин і газів, коли потрібна висока точність вимірів.

2.2.3. Ємнісні датчики

Датчики являють собою умовний конденсатор і використовуються для вимірювання лінійних та кутових пересувань об'єктів, рівнів, тисків і концентрацій рідин та газів.

Відомо, що ємність конденсатора залежить від декількох величин:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \cdot \frac{S}{d_0},$$

де ε_0 — діелектрична постійна;

ε — діелектрична проникність середовища між пластинами конденсатора;

S — площа перетину пластин;

d_0 — відстань між ними.

Прив'язавши досліджувану величину до зміни ε , S або d , можна отримати залежність між цією величиною та вихідною ємністю датчика.

Конструкція датчика та зміна його ємності при зміні S , d_0 та ε приведена на рис. 2.7:

а) **ємнісний датчик для вимірювання лінійних та кутових пересувань:**

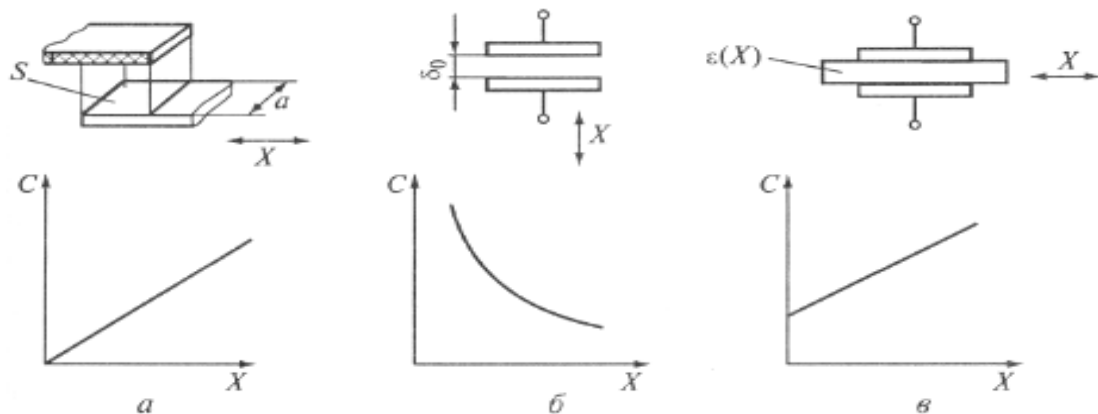


Рис. 2.7. Будова та принцип роботи ємнісного датчика

Конструктивно датчик являє собою конденсатор, у якого одна з пластин нерухома, а інша зв'язана з об'єктом, відхилення (X) котрого необхідно контролювати.

При лінійному або кутовому пересуванні об'єктів змінюється площа перетину пластин S умовного конденсатора (рис. 2.7, а), відстань між пластинами d_0 (рис. 2.7, б). Унаслідок цього змінюється і вихідний ємнісний опір X_C :

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = f(\varphi), \quad \text{де } \varphi - \text{кут повороту пластини};$$

б) ємнісний датчик для вимірювання **концентрацій**:

$$C = f(\epsilon).$$

Ємність конденсатора пов'язана з діелектричною проникністю ϵ (рис. 2.7, в), а діелектрична проникність зі зміною концентрації розчину змінюється, таким чином, за зміною вихідної ємності такого датчика відраховувати і зміну концентрації розчину.

На принципі зміни діелектричної проникності будуються також датчики для вимірювання вологості матеріалів;

в) ємнісний датчик для вимірювання **рівня** рідин.

Являє собою дві пластини конденсатора довжиною H, котрі занурені в рідину на деякий рівень h (рис. 2.8).

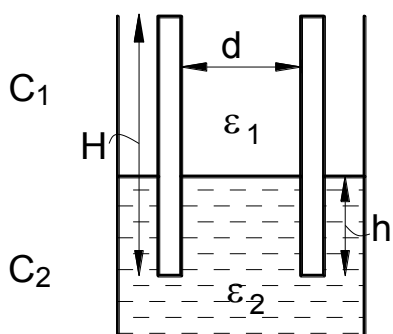


Рис. 2.8. Ємнісний рівнемір

При різних величинах діелектричної проникності повітря ϵ_1 і рідини ϵ_2 утворюються два паралельно з'єднаних конденсатора (занурена частина й та, що знаходиться у повітрі), сумарна ємність яких рівна

$$C = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 (H - h) \cdot b}{d} + \frac{\epsilon_0 \epsilon_2 h \cdot b}{d},$$

де b – ширина пластини конденсатора.

При зміні рівня рідини змінюється величина зануреної частини h і, відповідно, сумарна ємність C . За зміною $C = f(h)$ і визначають рівень рідини;

б) ємнісний датчик для вимірювання тиску.

Чутливими елементами датчика є мембрана або діафрагма, що перетворює тиск P у переміщення (рис. 2.9).

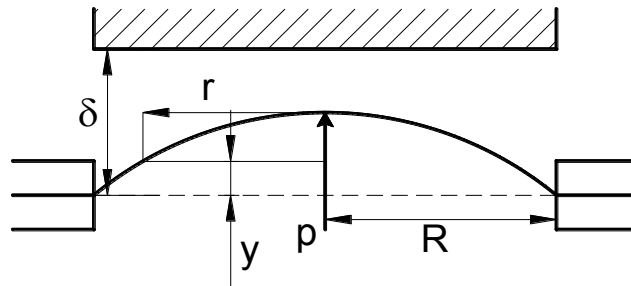


Рис. 2.9. Ємнісний вимірювач тиску

Під дією тиску P мембрана набуде форму сфери, а її відхилення U від початкового положення (при $P=0$) для будь-якого радіуса r дорівнює

$$U = \frac{P}{4W} (R^2 - r^2),$$

де W – жорсткість мембрани;

R – її радіус;

P – тиск.

Якщо позначити початкову ємність між мембраною та нерухомою пластиною C_0 , то можна довести, що відносна зміна ємності при вигинанні мембрани дорівнює

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{R^2 P}{8\delta W},$$

де ΔC – зміна ємності;

δ – початкова відстань від мембрани до нерухомої (верхньої) пластини конденсатора.

Таким чином, відносна ємність перетворювача пропорційна прикладеному тиску. Ємнісні перетворювачі зазвичай мають верхню границю тиску 200...800 Па при чутливості 0,5...1 пФ/Па і початковій ємності 10...20 пФ. Основна їх похибка складає 1...2%.

2.3. Генераторні вимірювальні перетворювачі

Найбільш розповсюджені п'єзоелектричні, термоелектричні та індукційні генераторні перетворювачі.

2.3.1. П'єзоелектричні перетворювачі (п'єзодатчики)

Принцип дії полягає у використанні явища п'єзоефекту, тобто здатності деяких речовин виробляти електричний заряд при прикладанні

до них зусилля. До таких речовин належать кварц, титанат барію, титанат свинцю, сегнетова сіль, цирконат свинцю. Найчастіше датчики виготовляють з кварцу. Зазвичай для підвищення чутливості п'єзодатчика в конструкції використовують дві або декілька пластинок, що з'єднуються паралельно, при цьому заряди однойменно заряджених пластин повинні додаватися.

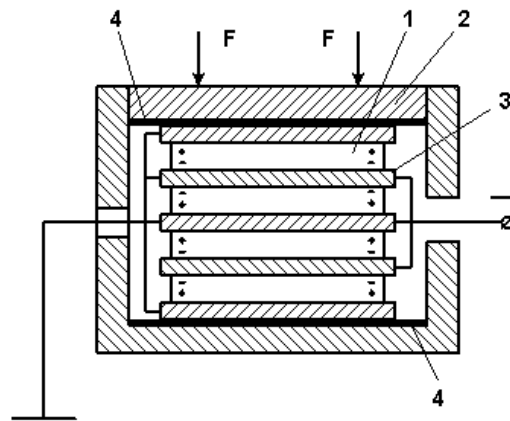


Рис. 2.10. Будова п'єзодатчика

Найпростіша схема п'єзодатчика (рис. 2.10) складається з кварцових пластинок 1 і сталево-нікелевих прокладок 3, котрі слугують одним з виводів (-), а інший вивід має контакт з корпусом 2. Ізоляційна прокладка 4 призначена для зменшення втрати зарядів. У ненапруженому стані (за відсутності прикладання зусилля) всі заряди скомпенсовані і кристал кварцю є електрично нейтральним.

Під дією прикладеного зусилля F баланс порушується і виникає електричний заряд q . Величина заряду залежить від прикладеного зусилля

$$q = d \cdot F,$$

де d – п'єзоелектричний модуль, його величина залежить від типу та конструкції п'єзоелектрика та кута, під яким прикладене зусилля.

Такі датчики використовують для вимірювання змінних сил, тисків, прискорень, вібрацій.

Особливість п'єзоелектричних перетворювачів – дуже мала вихідна потужність при високому опорі. Тому обов'язково до їх виходу підключають високочутливі підсилювачі з великим вхідним опором. Підсилювач та перетворювач з'єднуються екранованим кабелем.

2.3.2. Термоелектричні перетворювачі (термопари)

Принцип дії термопари базується на використанні термоелектричного ефекту, суть якого полягає у виникненні термоЕРС у колі з двох різних провідників або напівпровідників, якщо температури відповідних частин перетворювача різні. На відміну від терморезисторів ці датчики самі генерують електричний струм.

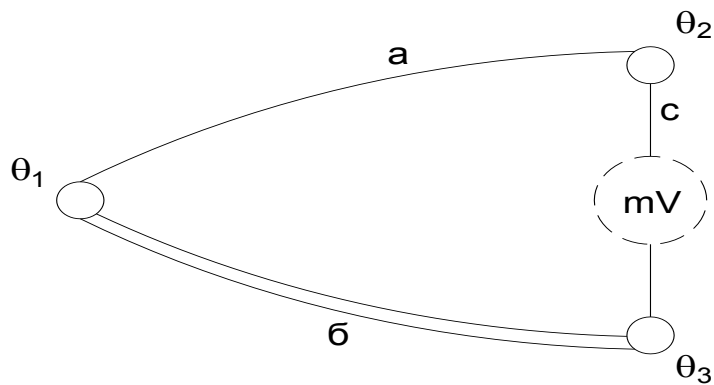


Рис. 2.11. Будова термопар

Місце спаювання провідників **а** і **б**, яке розміщують у середовищі з досліджуваною температурою θ_1 , називають **гарячим спаєм**, а інші кінці, температура яких, як правило, підтримується постійною (θ_2 та θ_3), – **вільними** або **холодними** (рис. 2.11). У коло термопар підключають вимірювальний прилад або інший перетворювач.

При роботі термопар в результаті значного перепаду температур гарячого та холодного кінців виникає переміщення електронів від θ_1 до θ_2 в одному провідникові і до θ_3 – у другому. Але так як в термопарі метали різні, то і переміщення електронів буде відбуватися по-різному. Це створює різницю потенціалів між холодними кінцями термопар. Вихідна різниця потенціалів $\Delta\phi$ буде пропорційною різниці температур

$$\Delta\phi \sim (\theta_2 - \theta_1).$$

ТермоЕРС для різних термопар змінюється в межах $10 \div 50$ мВ, тому такі датчики працюють тільки з підсилювачем. Похибки від коливань температури холодних кінців зменшують шляхом їх термостабілізації або автоматичним уведенням поправок.

Основні типи термопар і діапазони вимірювань:

- платинородій – платина (ТПП): $(0 \dots +1600)^\circ\text{C}$;
- хромель – алюмель (ТХА): $(-200 \dots +1200)^\circ\text{C}$;
- хромель – копель (ТХК): $(-200 \dots +800)^\circ\text{C}$;
- платинородій – платинородій (ТПР): $(+100 \dots +1800)^\circ\text{C}$.

2.3.3. Фотоелектричні перетворювачі

Принцип дії цих датчиків полягає у явищі фотоефекту, тобто здатності деяких речовин виробляти фотострум під дією світла. Найбільш поширені напівпровідникові фотоелектричні датчики. Сигнал, який знімається з них, малий, отже, вони використовуються з підсилювачем. Такі датчики знайшли застосування в системах автоматичного контролю: для вимірювання сили світла різних джерел, освітленості, ультрафіолетової радіації тощо. При вимірюванні яскравості розпеченого

тіла за допомогою такого датчика можна контролювати і його температуру.

Сонячні елементи сучасних сонячних батарей також являють собою фотоелектричні перетворювачі, які перетворюють електромагнітну енергію, що випромінює сонце, у вихідну електричну напругу.

2.3.4. Індукційні перетворювачі

Принцип дії датчиків полягає у законі електромагнітної індукції, який дає можливість для перетворення неелектричної вхідної величини в ЕРС. Як правило, такі перетворювачі призначені для вимірювання кутової швидкості об'єктів. До них належать тахогенератори постійного та змінного струму, котрі являють собою пристрої, вихідна напруга яких пропорційна швидкості обертання.

Тахогенератори змінного струму бувають синхронні та асинхронні.

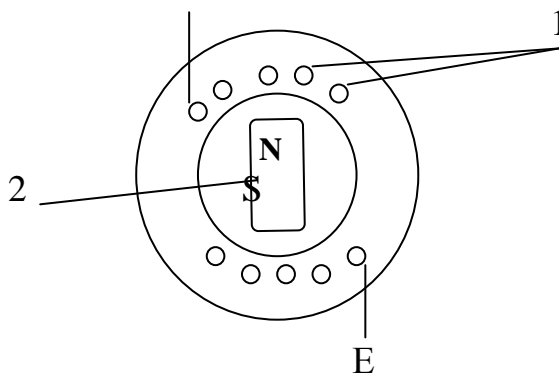


Рис. 2.12. Будова синхронного тахогенератора

Синхронний тахогенератор (рис. 2.12) має просту конструкцію, він складається зі статора, в обмотці 1 якого при обертанні ротора 2 (у вигляді постійного магніту NS) виникає вихідна ЕРС, величина котрої пропорційна швидкості обертання ротора:

$$E = k \cdot n,$$

де k – конструкційний коефіцієнт.

Якщо з'єднати магніт з досліджуваним об'єктом, то вихідна ЕРС буде пропорційна швидкості його обертання.

Асинхронний тахогенератор – це асинхронний двофазний двигун з порожнистим ротором. До однієї обмотки підводиться постійна за амплітудою і частотою змінна напруга, а в іншій індукується ЕРС, яка прямо пропорційна швидкості обертання ротора (й об'єкта, що з ним з'єднаний).

Будова і робота тахогенератора постійного струму аналогічна будові відповідного генератора постійного струму. Збудження може здійснюватися як від незалежного джерела постійного струму, так і від постійних магнітів.

2.4. Датчики з послідовним перетворенням

Якщо вхідну величину датчика не вдається безпосередньо перетворити в електричну вихідну, то здійснюють послідовне перетворення, причому таких перетворень може бути декілька.

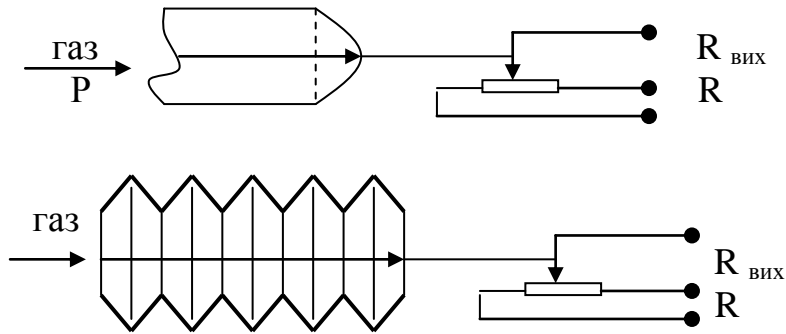


Рис. 2.13. Будова датчика з послідовним перетворенням

Розглянемо конструкції датчиків тиску з послідовним перетворенням.

У такому датчику тиск P діє на мембрану або сильфон, що змінює своє просторове положення і переміщує жорстко зв'язаний з ним повзунк реостата (рис. 2.13).

Вихідний опір реостата $R_{\text{вих}}$ змінюється, відбувається подвійне перетворення:

$$P \rightarrow \Delta S \rightarrow R_{\text{вих}},$$

де ΔS – переміщення повзунка.

ТЕМА 3. ОСНОВНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ СХЕМИ

Вимірювальні схеми використовують для вмикання датчиків, що мають аналоговий вихід, з метою вимірювання контрольованих величин і перетворення отриманого сигналу в більш зручний для подальшого використання. Вимірювальні схеми повинні мати високу чутливість, яка покращується як підвищенням чутливості методу вимірювання, так і вибором відповідної вимірювальної апаратури.

Найбільш розповсюджені мостова, компенсаційна, диференційна, індуктивна та диференційно-трансформаторна вимірювальні схеми.

3.1. Мостова вимірювальна схема

Схему використовують для перетворення зміни активного опору, індуктивності або ємності датчика в змінювання напруги або струму. Мостові схеми поділяють на врівноважені та неуврівноважені, постійного і змінного струму, чотириплечі та багатоплечі. Розглянемо схему найпростішого чотириплечевого мосту (рис. 3.1).

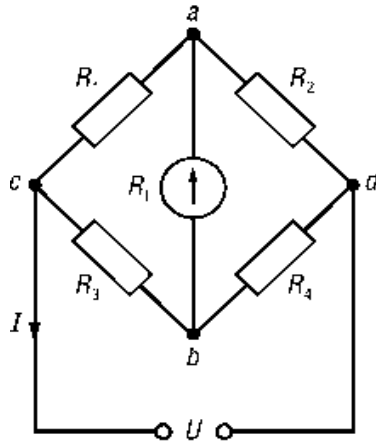


Рис. 3.1. Мостова вимірювальна схема

Плечі або гілки мосту са, ad, db, bc містять відповідно опори R_1 , R_2 , R_4 , R_3 , а в діагоналі ab, яка називається вимірювальною, ввімкнено нуль-індикатор з опором R_1 . Як нуль-індикатор використовують високочутливий вимірювальний прилад з нулем посередині шкали. Діагональ cd має назву діагоналі живлення.

Мости постійного струму використовують для вимірювання сигналів датчиків, виходом яких є активний опір.

Умову рівноваги (балансу) такого мосту можна записати так:

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3 ,$$

тобто **добутки опорів протилежних плечей рівні між собою.**

Тоді струм у вимірювальній діагоналі відсутній, а міст називають уврівноваженим. Якщо в одне з плечей мосту ввімкнути датчик з невідомим вихідним опором і досягти умови рівноваги зміною опором протилежного плеча, то вихідну величину датчика можна відрахувати за цим

компенсуючим опором (який попередньо відградуваний у значеннях контрольованої датчиком величини).

За методом неврівноваженого мосту опір протилежного плеча не змінюють, а вихідною величиною є струм або напруга у вимірювальній діагоналі. У цьому випадку шкалу вимірювального приладу градуують у відповідних значеннях.

Мости змінного струму працюють аналогічно, за їх допомогою можна вимірювати сигнали датчиків з вихідним індуктивним або ємнісним опором. Складність настройки таких мостів полягає у тому, що їх необхідно балансувати не тільки за модулем, але й за фазою змінного опору. Тому мости змінного струму менше використовуються, ніж мости постійного струму.

3.2. Диференційна вимірювальна схема

Диференційна схема являє собою електричне коло з двох суміжних контурів, у кожному з яких діє окрема напруга. Вимірювальний прилад (високочутливий мікроамперметр рА) вмикається у гілку, яка є спільною для обох контурів і реагує на різницю контурних струмів. Датчик вмикається в один з контурів (рис. 3.2).

Схема може працювати в двох режимах:

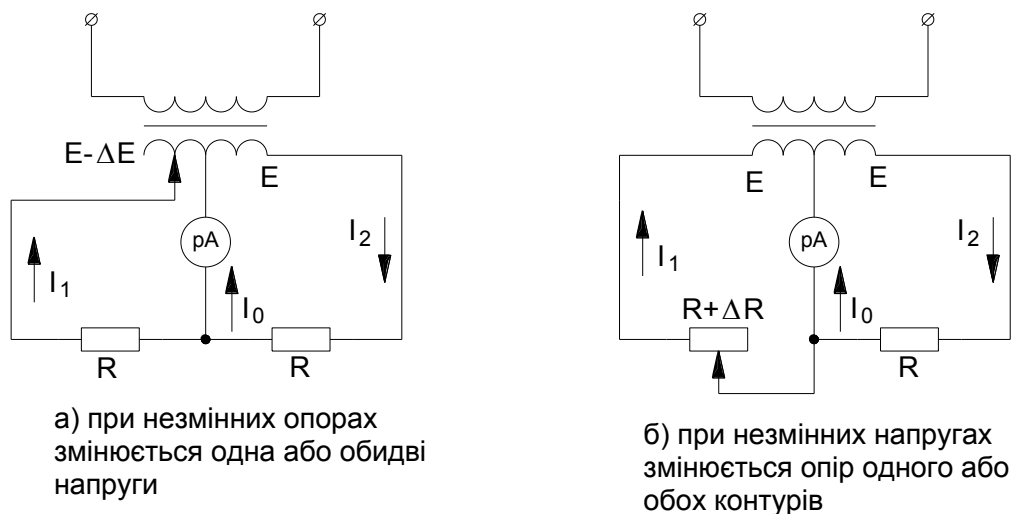


Рис. 3.2. Диференційна вимірювальна схема

Характер режиму визначається типом використаного датчика (генераторний датчик або датчик опору). Якщо немає зовнішнього впливу, то ЕРС контурів рівні, тому струми $I_1 = I_2$, а струм у спільній гілці $I_0 = 0$. За наявності впливу зміни сигналу датчика ЕРС може змінюватися на ΔE (рис. 3.2, а) або опір на ΔR (рис.3.2, б), це викликає появу струму I_0 :

$$I_0 = I_1 - I_2.$$

Величина струму залежить від зміни ЕРС або опору. Струм вимірюють приладом, який попередньо відградуваний у значеннях контрольованої датчиком величини.

Ця схема має більшу чутливість порівняно з мостовою.

3.3. Компенсаційна вимірювальна схема

Схему використовують для підключення генераторних вимірювальних перетворювачів (рис. 3.3).

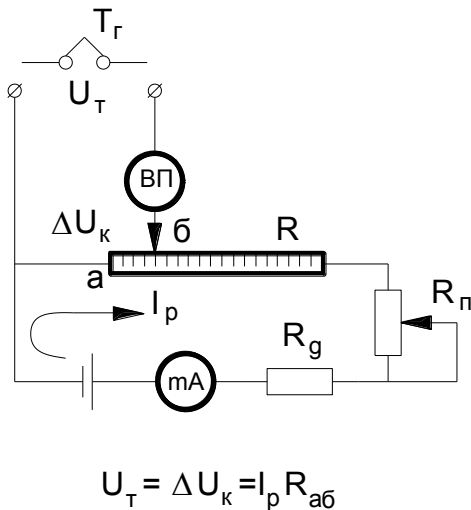


Рис. 3.3. Компенсаційна схема

Принцип компенсації полягає в тому, що вихідна напруга датчика, наприклад термопар U_T , урівноважується рівним та протилежним за знаком падінням напруги компенсації ΔU_k , яка створена робочим струмом I_p . Струм I_p встановлюється і визначається з високою точністю за допомогою змінного опору R_n та міліамперметра mA . Врівноважена напруга знімається з реохорда R і при постійному струмі залежить від відстані між точками a і b .

Положення повзунка фіксується на шкалі реохорда R , котрий виконують з каліброваного дроту для збереження прямої пропорційності між зміною його довжини та вихідною напругою U . Момент компенсації встановлюють за відсутності струму у вимірювальному приладі ВП (високочутливий гальванометр з нулем посередині). Вимірювання відбувається без споживання потужності від досліджуваного кола. Це дуже важлива перевага цієї схеми.

За іншим методом вимірювання пересування повзунка не здійснюють, а результат знімають зі шкали вимірювального приладу, яка відградувана у значеннях контрольованої датчиком величини. Застосовують компенсатори як постійного, так і змінного струму.

3.4. Диференційно-трансформаторна вимірювальна схема

Схему використовують для вимірювань і передачі на значні відстані перепаду тиску, витрати, рівня та інших величин, котрі пов'язані з лінійним пересуванням певного тіла. Розглянемо роботу схеми на прикладі системи для контролю тиску газу P .

3.5. Індуктивна вимірювальна схема

У схемі використовують малогабаритні електричні машини, які мають назву сельсинів. На статорі розташована трифазна обмотка, а на роторі – однофазна (рис. 3.5).

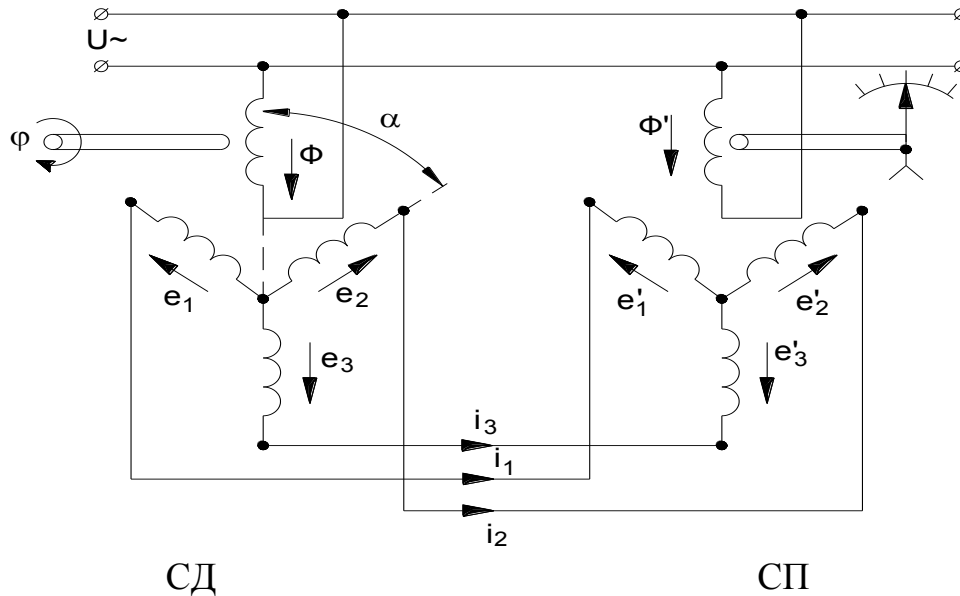


Рис. 3.5. Індуктивна вимірювальна схема

Основним призначенням сельсинів є дистанційна передача кутових пересувань φ або значень технологічних величин, зміна яких пов'язана з такими пересуваннями.

Працюють сельсини здебільшого парами, котрі складаються з сельсину-датчика СД та сельсину-приймача СП. Ротор СД жорстко фіксується валом, що зв'язаний з контрольованим об'єктом, а ротор СП – зі стрілкою вимірювального приладу.

Якщо ротори СД і СП займають однакове просторове положення, то магнітні потоки Φ і Φ' будуть створювати у відповідних статорних обмотках однакові електрорушійні сили (ЕРС) e_1, e_2, e_3 , та e'_1, e'_2, e'_3 . Зрівняльні струми $i_1=i_2=i_3=0$. Якщо ротор СД з'єднати з контрольованим об'єктом, що повертається на деякий кут φ , то рівність ЕРС порушиться і з'являться зрівняльні струми i_1, i_2, i_3 .

Так як положення ротора СД зафіксовано валом об'єкта, то під впливом магнітного потоку воно не змінюється. У той же час магнітний потік, який створюється струмами в статорних обмотках СП, буде взаємодіяти з магнітним потоком Φ' вільного ротора, що викличе його поворот, поки він не займе відповідне положення. У такому випадку ЕРС статорних обмоток вирівнюються і зрівняльні струми знову стануть рівними нулю. Вимірювальний прилад (як правило, реєстратор-самописець) покаже значення величини, що контролюється.

ТЕМА 4. РЕЛЕЙНІ ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИКИ

Реле – це нелінійний елемент автоматики, в якому при плавній зміні вхідного сигналу вихідний сигнал змінюється стрибками або дискретами.

4.1. Класифікація та основні характеристики реле

Реле класифікуються:

– **за видом вхідної величини:**

- а) електричні (струму, напруги і т.п.);
- б) неелектричні (тиску, часу, рівня і т.п.);

– **за призначенням:**

- а) реле для пуску обладнання – пускові;
- б) реле керування процесами;
- в) реле захисту.

Реле характеризується **величиною спрацьовування** $X_{спр}$ (значенням параметра, при якому реле вмикається) і **величиною відпускання** $X_{відп}$ (значенням параметра, при якому реле вимикається), а також часом спрацьовування і часом відпускання (рис. 4.1).

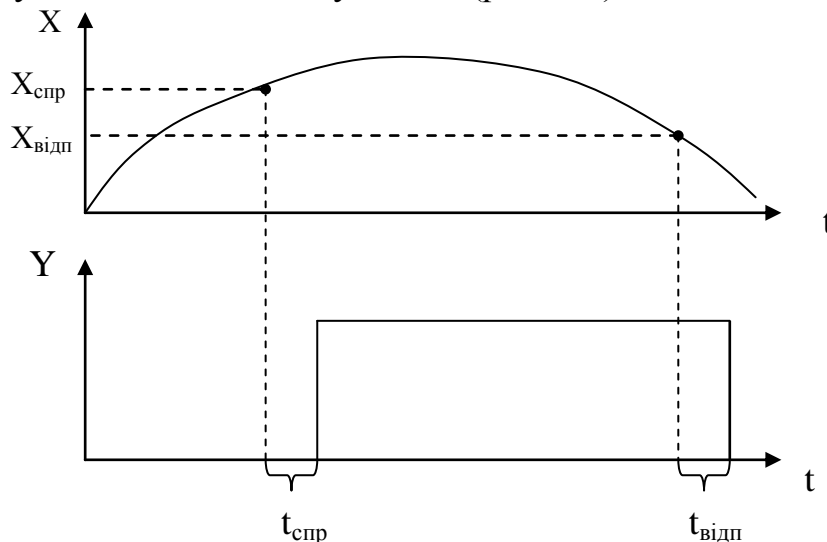


Рис. 4.1. Характеристики реле

Реле складається з механізму, конструкція якого залежить від виду керівної величини та однієї чи декількох груп контактів, котрі утворюють переключення в електричних ланцюгах.

Контакти бувають нормально-розімкнені, нормально-замкнені та перемикаючі. При спрацьовуванні всіх видів реле нормально-розімкнені контакти замикаються, а нормально-замкнені розмикаються. При відпусканні реле контакти повертаються у вихідний стан. Хоча механізм і контакти реле знаходяться в одному корпусі, на електричних схемах вони зазвичай розташовуються окремо, але мають однакові позначення (рис. 4.2).

Стандартом прийняті позначення:

КА – реле струму;

КР – реле тиску;

КV – реле напруги;

КМ – контактор, магнітний пускач;

КК – реле температури;

КL – реле рівня.

КТ – реле часу;

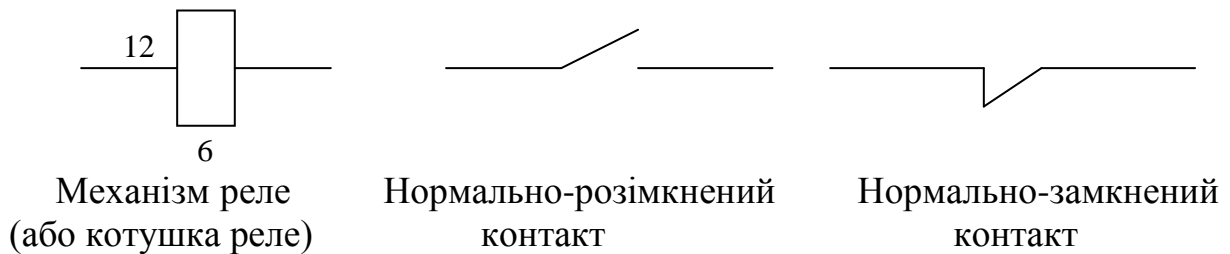


Рис. 4.2. Позначення реле на схемах

4.2. Електромагнітне реле

Електромагнітним називають реле, у якого вхідним елементом є електромагніт з обмоткою керування (рис. 4.3). Конструкція реле являє собою котушку 4 з намотаним дротом, на який подається напруга управління $U_{упр}$. При досягненні напругою порогового значення рухомий яркір 5 втягується в котушку, при цьому нормально замкнуті контакти 1 – 2 розмикаються, а нормально розімкнуті 1 – 3 замикаються.

При відключенні напруги яркір за допомогою зворотної пружини 6 повертається у вихідне положення. Контакти перемикаються.

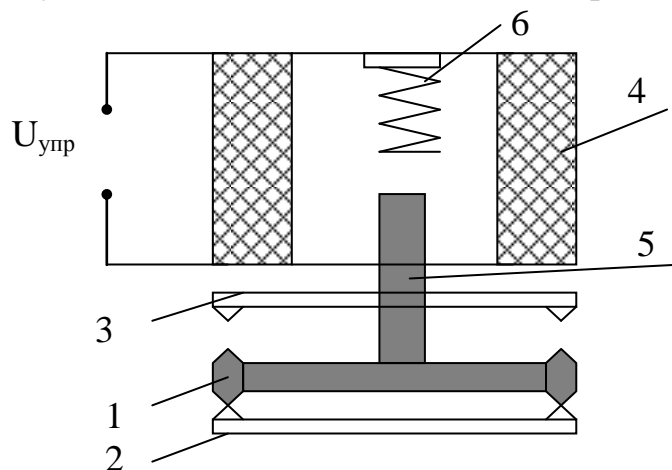


Рис. 4.3. Конструкція електромагнітного реле

Надійність роботи реле визначається надійністю роботи контактної системи, її механічним, хімічним та електричним зносом. Існують також електромагнітні реле з кутовим пересуванням яркоря, але й у цьому випадку відбувається аналогічне перемикування контактів.

4.3. Біметалеве теплове реле

Такі реле встановлюють для контролю теплового режиму роботи двигунів або інших елементів системи автоматизації. Їх використовують як для захисту, так і для керування процесами.

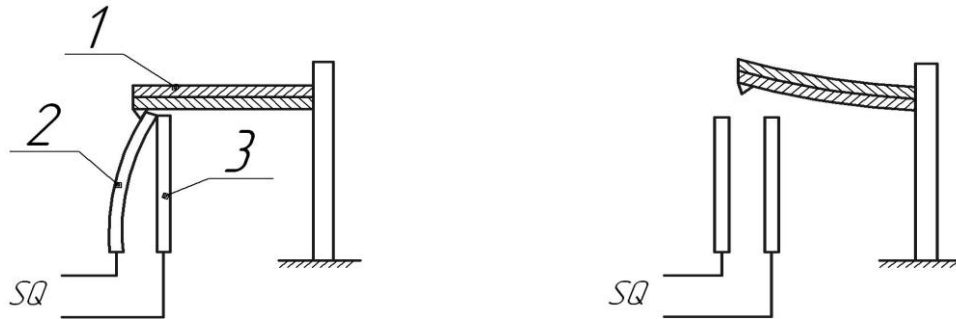


Рис. 4.4. Конструкція та принцип дії термореле

Реле (розповсюджена назва – термореле) являє собою пластину (1) із двох металів (біметалеву), що мають різний коефіцієнт теплового об'ємного розширення (рис. 4.4). За нормальної температури пластина за допомогою зубця утримує контакти (2 – 3) з'єднаними. При досягненні температурою порогового значення внаслідок різного теплового об'ємного розширення металів пластини відбувається її вигинання вгору, при цьому відпускається гнучкий рухомий контакт (2). Відбувається розмикання контактів SQ.

Подібна конструкція притаманна захисному реле. Для відновлення роботи після охолодження системи необхідно натиснути спеціальну кнопку, яка повертає конструкцію у вихідний стан, контакти знов замикаються.

У тепловому реле керування біметалева пластинка сама є одним із контактів і при перегріванні системи відходить від іншого нерухомого контакту, розмикаючи електричне коло. Відмінність від попередньої конструкції полягає в тому, що після охолодження системи пластинка сама повертається у вихідне положення і контакти замикаються. Подібні конструкції використовують в автоматичних регуляторах температури.

4.4. Реле часу

Призначені для створення часової затримки в передачі сигналу між частинами системи автоматизації. Для організації такої затримки використовують різні методи, засновані на уповільненні зростання та спаду сили струму (напруги) в електричних ланцюгах, що містять конденсатори, котушки індуктивності та резистори, також використовують електронні реле часу, дія яких заснована на роботі цифрових лічильників імпульсів.

Широко розповсюджені конструкції реле часу, в основу роботи яких покладений механічний або електронний годинниковий механізм.

Розглянемо роботу моторного реле часу, яке містить синхронний двигун СД (рис.4.5).

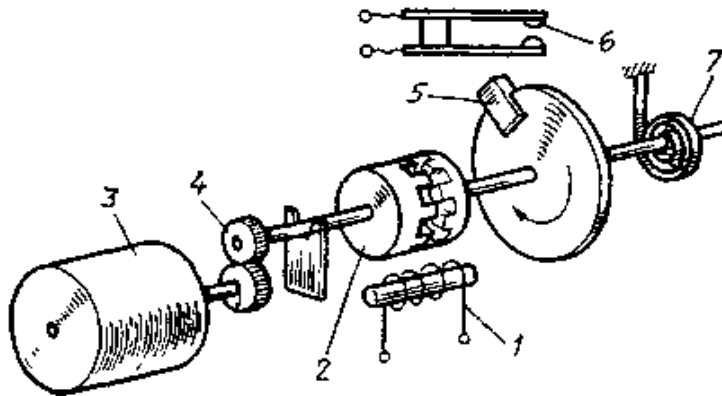


Рис. 4.5. Будова моторного реле часу

При подачі сигналу керування на обмотку електромагніту 1 вмикається муфта зчеплення 2 й обертання синхронного двигуна 3 через редуктор 4 передається кулачку з упором 5, котрий після повороту на деякій кут замкне контакти 6. Після зняття сигналу керування муфта зчеплення роз'єднає кінематичне коло від електродвигуна до кулачка, а сам він під дією пружини 7 повернеться у вихідне положення, при цьому контакти знов розімкнуться. Точне налаштування часу спрацьовування забезпечується зміною положення кулачка з упором. Грубе налаштування – зміною передавального числа редуктора.

Такі реле часу застосовують для контролю роботи механізмів, часовий графік роботи яких відомий, – для пуску та зупинки двигунів, конвеєрів, вентиляторів тощо. Вони можуть здійснювати затримку у часі від кількох секунд до кількох хвилин, при цьому похибка не перебільшує 0,5 с.

Реле часу з електромагнітною затримкою застосовуються лише на постійному струмі. Окрім основної обмотки, реле цієї серії мають додаткову короткозамкнену обмотку, виконану з мідної гільзи. Під час зростання основного магнітного потоку ним створюється струм у додатковій обмотці, який протидіє збільшенню основного магнітного потоку. У підсумку сумарний магнітний потік зростає повільніше, час «зрушення» якоря зростає, чим забезпечується витримка часу на увімкнення. У разі вимкнення струму у котушці за рахунок індуктивності короткозамкненого витка магнітний потік у реле деякий час зберігається та утримує якор. Цей вид реле часу забезпечує витримку під час увімкнення від 0,07 с до 0,11 с, а у разі вимкнення – від 0,5 с до 1,4 с.

Електронні реле часу передбачають налаштування за допомогою потенціометрів, розміщених на передній панелі, сигнал котрих у вигляді

напруги є керуючим і визначає час, через який відбувається перемикання контактів реле.



Рис. 4.6. Структурна схема електронного реле часу

Принцип дії реле заснований на підрахунку кількості електричних імпульсів, що виробляються генератором сталої частоти (генератором імпульсів). Оскільки період проходження імпульсів постійний, то їх кількість пропорційна часу (рис. 4.6).

Такі реле складаються з генератора імпульсів, керованого лічильника імпульсів і вихідного пристрою, що впливає на кероване коло. Лічильник налаштовується на задану кількість імпульсів (пропорційну часу потрібної затримки), після їх накопичення вихідний пристрій перемикає контакти у вихідному колі. Таким чином можна забезпечити будь-яку витримку часу.

4.5. Реле тиску

Реле тиску – пристрій, призначений для подання сигналу або перемикання контактів після того, як тиск робочого середовища досягне заданого значення. Найчастіше такі реле керують роботою насоса в системах з гідропневматичною автоматикою. Основними характеристиками є тиск включення (нижній тиск), тиск вимикання (верхній тиск) і перепад тиску – абсолютна різниця верхнього та нижнього тисків. Найчастіше як чутливий елемент використовують сильфон, мембрану або пружину. Розглянемо конструкцію сильфонного реле тиску.

Реле тиску має чутливий елемент 1 (сильфон), який приймає значення регульованого параметра тиску P і перетворює його в лінійне переміщення, а також виконавчий елемент – замикаючий контакт SQ (рис. 4.7). Зі збільшенням тиску чутливий елемент пересувається і при певному значенні контрольованої величини контакти 2 та 3 замикаються. При замиканні контактів у вихідному ланцюзі протікає струм від зовнішнього джерела живлення, що являє собою вихідний сигнал реле. Переміщення сильфона обмежується пружиною (на рис. не показана). Пересуваючи виконавчий елемент відносно сильфона регулювальним гвинтом, можна змінювати тиск, при якому реле спрацьовує, тобто налагоджувати реле.

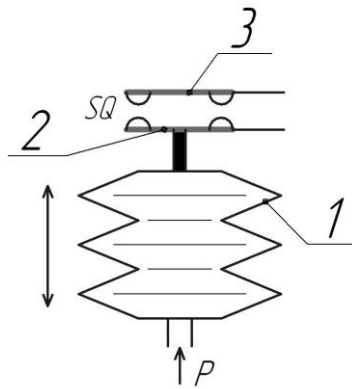


Рис. 4.7. Будова сильфонного реле тиску

Виконавчий елемент має покажчик, переміщення якого відносно шкали приладу, що проградуйована в одиницях тиску, дозволяє робити налаштування приладу. Реле тиску може мати не тільки замикаючі, а й розмикаючі контакти.

4.6. Реле рівня

Реле контролю рівня призначені для регулювання і підтримки заданого рівня рідини в будь-якому резервуарі. Отримуючи сигнал від датчиків контролю рівня, реле керує роботою виконавчих механізмів – електродвигунів насосів, електромагнітних клапанів тощо.

Розглянемо роботу поплавкового реле рівня. У ньому чутливий елемент пов'язаний з поплавком (буйковим перетворювачем) 1, який при зміні рівня рідини пересувається. Поплавок з'єднаний з противагою 3 за допомогою тонкого троса, що перекинутий через шків 2. На тросі закріплене коромисло 4, яке при зміні положення поплавка повертається на певний кут, пересуваючи стрілку вимірювального пристрою, і при деякому граничному значенні рівня (верхній – SQ1, нижній – SQ2) замикає контакти у вихідному ланцюзі аналогічно роботі реле тиску (рис. 4.8).

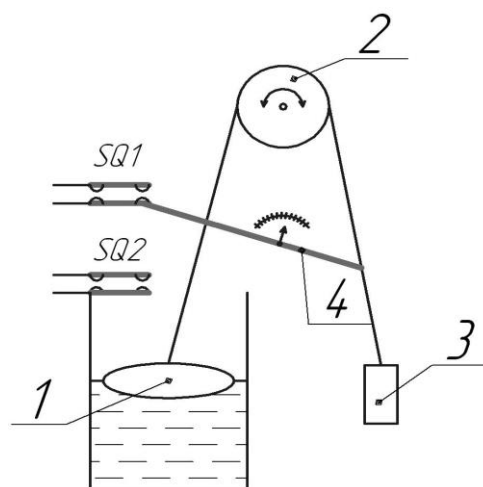


Рис. 4.8. Будова поплавкового реле рівня

Для контролю рівня в закритих резервуарах випускають поплавкові реле з ходом поплавка до 150 мм, шкали яких градуюються у межах від 0 до 6 м; для відкритих резервуарів використовують реле, що працюють у діапазоні 0,5...10 м.

Реле з електродними датчиками являє собою конструкцію, у склад якої входять три електроди – один короткий і два довгих (S1 – S3). Короткий електрод виконує функцію датчика максимального рівня, а довгі – мінімального. При дотику рідини та короткого електрода відключається двигун насоса, сигналізуючи про досягнення верхнього рівня. При зниженні рівня рідини до довгих електродів насос включається і ємність починає заповнюватися (рис. 4.9).

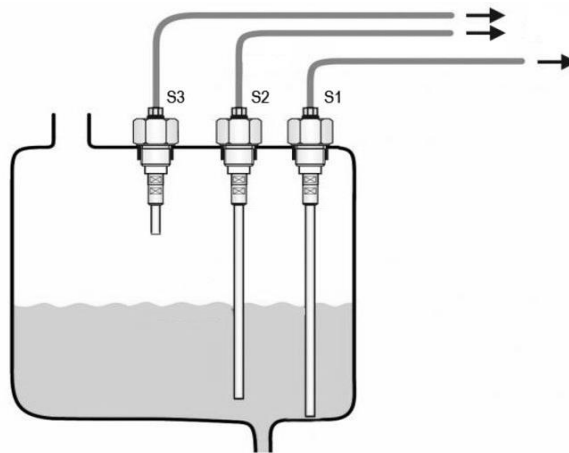


Рис. 4.9. Будова реле рівня з електродними датчиками

Також використовують реле рівня, що працюють на базі ємнісних датчиків.

4.7. Геркони (магнітокеровані герметизовані контакти)

Порівняно з розглянутими вище видами реле геркони мають високу швидкодію (можуть робити до 1000 переключень у секунду), а також високу зносостійкість і тривалий термін експлуатації. Принцип дії заснований на використанні сил взаємодії, що виникають у магнітному полі між феромагнітними тілами. Розрізняють геркони, які працюють на замикання, перемикання і вимикання електричних кіл.

Геркон являє собою запаяну скляну колбу (В) з азотом, воднем або іншим інертним газом усередині (D) і парою розімкнутих контактів із феромагнітного матеріалу (С). При подачі на зовнішню обмотку, яка навивається на колбу геркона, напруги управління виникає магнітне поле, контакти намагнічуються і притягуються один до одного. На зовнішніх виводах (А) виникає електричний струм. При знятті напруги контакти розмикаються (рис. 4.10).

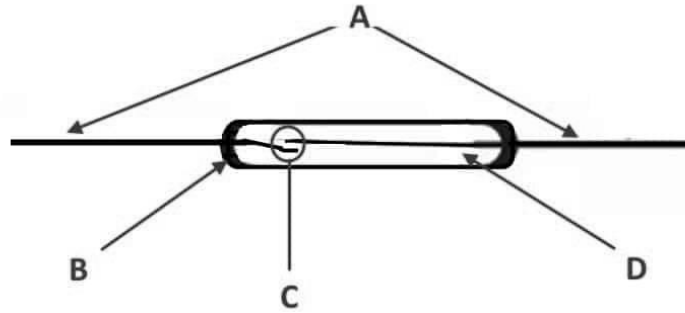


Рис. 4.10. Будова геркона

Недоліком герконів є невеликі струми, що здатні пропускати контакти, а також мала кількість контактів (одна або дві пари). Існує подібна конструкція геркона з розмикаючим контактом усередині.

Аналогічний ефект досягається в конструкції геркона, де замість обмотки управління намагнічування відбувається за рахунок наближення або віддалення постійного магніту. За таким принципом працюють реле тиску, рівня, термореле. Позначення герконів на електричних схемах аналогічне позначенню відповідних типів реле.

Розглянемо конструкцію та принцип дії реле тиску на герконах.

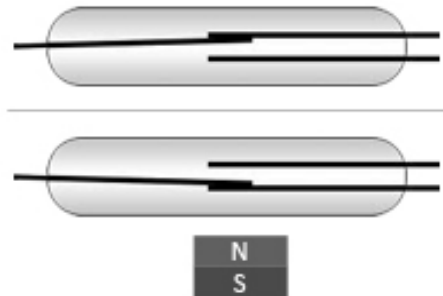
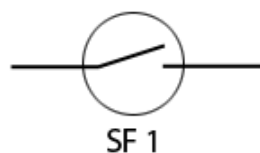


Рис. 4.11. Реле тиску на герконах

Під дією тиску за допомогою силфона (мембрани) відбувається наближення або віддалення постійного магніту NS від колби геркона, при цьому його контакти замикаються або розмикаються. У конструкції герконового термореле постійний магніт з'єднують з біметалевою пластиною, яка під дією температури згинається та розгинається, у результаті чого магніт наближається та віддаляється від геркона. У конструкції реле рівня магніт з'єднують з поплавком або буйковим перетворювачем. Принцип дії аналогічний реле тиску.

На схемах геркони позначаються так:



4.8. Типові релейні схеми

Усі релейні схеми – це з'єднання кнопок, контакторів, проміжних реле, магнітних пускачів та захисних елементів. Деякі релейні схеми набули широкого розповсюдження і мають назву «типових» релейних схем:

а) схема самоблокування – така схема використовується для пуску механізмів і призначена для блокування пускової кнопки або контакту.

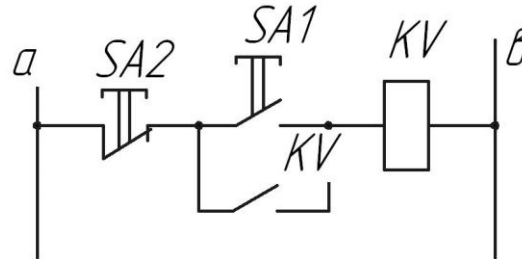


Рис. 4.12. Схема самоблокування

SA1 – кнопка замикання (пуск); SA2 – кнопка розмикання (стоп)

При натисканні кнопки SA1 замкнеться електричний ланцюг від шини живлення **а** до шини **в**, при цьому спрацює реле KV і замикає свій контакт KV, блокуючи пускову кнопку SA1, яка після відпускання розімкне свій контакт (рис. 4.12).

Для відключення реле натискається кнопка SA2, живлення реле припиняється, контакт KV розмикається. Після відпускання кнопка SA2 знов замкнеться, але живлення котушки реле KV не відновиться;

б) схема взаємного блокування – така схема використовується для керування процесами, де необхідно уникнути одночасної роботи 2-х механізмів, котрі виконують протилежні дії (підняти – опустити, вперед – назад і т.п.).

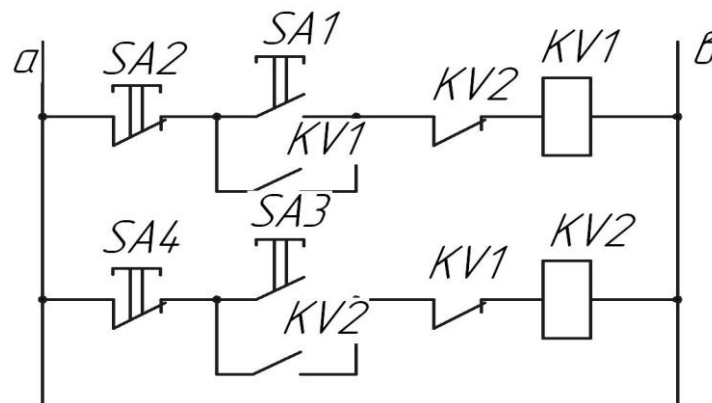


Рис. 4.13. Схема взаємного блокування

При замиканні кнопки SA1 замикається електричний ланцюг від шини **а** до шини **в** через котушку реле KV1 (рис. 4.13). При цьому розімкнеться нормально-замкнений контакт KV1 в ланцюзі живлення котушки реле

KV2, і воно не може бути ввімкнено, поки не відключиться котушка реле KV1. Аналогічно, якщо першою замкнуту кнопку SA3 – реле KV2 розімкне свій контакт KV2 у ланцюзі живлення котушки KV1. Таким чином, одночасна робота реле KV1 та KV2 (або двох контакторів, що вмикають двигун у прямому та реверсному напрямках) є неможливою;

в) схема послідовного блокування – такі схеми використовують для чіткого послідовного пуску ряду механізмів, наприклад, для послідовного включення насосів, вентиляторів або ділянок конвеєрів.

Реле KV1 при замиканні кнопки SA1 замикає свій нормально-розімкнений контакт KV1 у ланцюзі живлення котушки KV2, даючи можливість її ввімкнути (рис. 4.14). Замикання другого ланцюга відбувається натисканням кнопки SA3, тільки після цього реле KV2 замикає свій контакт KV2 у ланцюзі живлення котушки KV3. Відтепер реле KV3 може бути ввімкнено натисканням кнопки SA5. Таким чином, кожне наступне реле (або контактор, що вмикає відповідний двигун) може спрацювати тільки після подачі живлення на котушку попереднього реле.

При натисканні кнопки зупинки SA2 унаслідок послідовного блокування одночасно вимикаються всі три котушки реле KV1, KV2, KV3, їх контакти повертаються у вихідне положення.

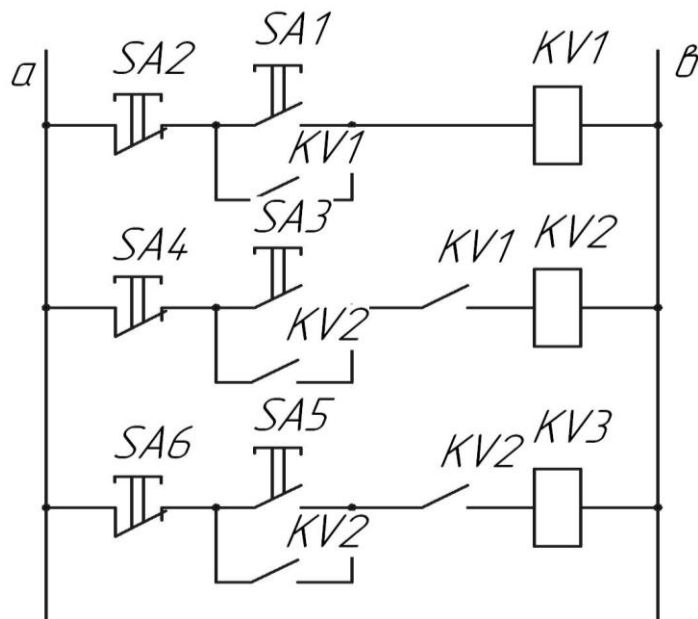


Рис. 4.14. Схема послідовного блокування

ТЕМА 5. ПІДСИЛЮВАЧ, ВИКОНАВЧИЙ

МЕХАНІЗМ, РЕГУЛЮЮЧИЙ ОРГАН

5.1. Підсилювачі

5.1.1. Призначення та класифікація підсилювачів

Підсилювачі – це елементи автоматики, які використовуються для кількісної зміни вхідного сигналу.

Потужність сигналу, яку можна отримати від датчика, в більшості випадків недостатня для безпосереднього пересування органу, що виконує регулювальні функції. У таких системах виникає необхідність використання підсилювачів. Досить часто підсилювачі разом з функцією підсилення потужності можуть виконувати функцію перетворення вихідної величини чутливого елемента в інший вид, більш зручний для автоматичного регулювання. Підсилювачі виконують як у вигляді самостійних елементів, так і у складі виконавчих механізмів.

Основною характеристикою підсилювачів є коефіцієнт підсилення:

$$k_{nid} = \frac{Y}{X},$$

де Y – вихідна величина, X – вхідна величина.

Чим крутіша характеристика $Y = f(X)$, тим вище підсилювальні якості такого пристрою (рис. 5.1).

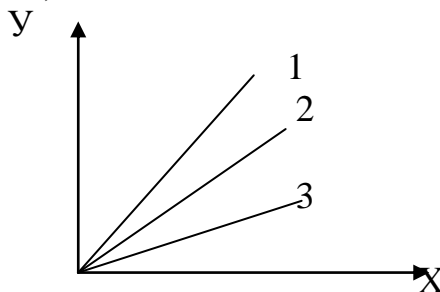


Рис. 5.1. Характеристики підсилювачів

Коефіцієнт підсилення $K_{nid 1} > K_{nid 2} > K_{nid 3}$.

Різноманітні підсилювальні пристрої розрізняють за вихідною потужністю, видом допоміжної енергії, коефіцієнтом підсилення, принципом дії, формою характеристики.

За видом використаної допоміжної енергії підсилювачі поділяють на електричні, гідравлічні, пневматичні, та комбіновані.

5.1.2. Електричні підсилювачі

Електричні підсилювачі бувають електронні, магнітні та тиристорні. З електричних підсилювачів найчастіше застосовують електронні, які побудовані на напівпровідникових елементах.

Електронні підсилювачі використовують переважно в автоматичних мостах та потенціометрах. Схеми електронних підсилювачів змінного струму складаються з одного або кількох підсилювальних каскадів. У попередніх каскадах вхідний сигнал підсилюється за напругою, а у вихідному каскаді – за потужністю (рис. 5.2).

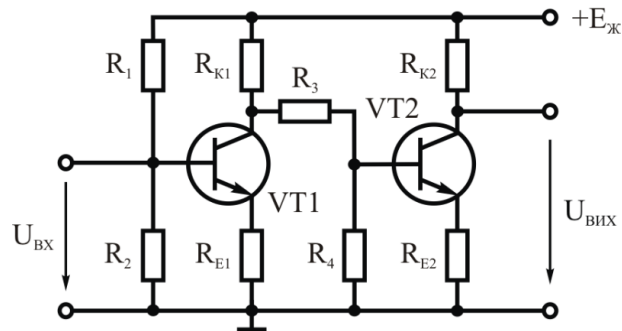


Рис. 5.2. Схема електронного підсилювача

Магнітні підсилювачі відрізняються простотою побудови, значним коефіцієнтом підсилення, відсутністю рухомих частин та нечутливістю до значних перевантажень.

Розглянемо будову найпростішого магнітного підсилювача, схема якого складається з двох котушок індуктивності, що розміщені на феромагнітному осерді – магнітопроводі (рис. 5.3). Феромагнітний матеріал, з якого виготовляються магнітопроводи магнітних підсилювачів, можна представити у вигляді окремих малих областей (доменів), що можуть намагнічуватися в різних напрямках.

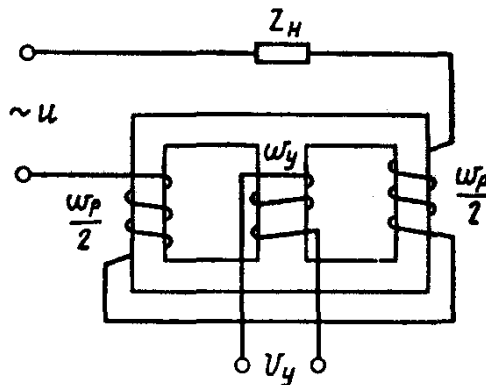


Рис. 5.3. Схема магнітного підсилювача

Робочі обмотки дроселів ω_p з'єднані послідовно між собою і послідовно з опором навантаження Z_H , вони приєднані до джерела змінної напруги $\sim u$. Спільний стрижень осердя має обмотку управління ω_y , яка приєднана до постійної напруги U_y .

Напруга змінного струму $\sim u$ розподіляється між обмотками магнітного підсилювача й опором навантаження Z_H . Змінюючи струм у обмотці управління, можна регулювати розподілення напруги $\sim u$ між

обмотками магнітного підсилювача та опором навантаження. За відсутності струму в обмотці управління напруга $\sim u$ майже повністю зрівноважується ЕРС магнітного підсилювача, а на вихідному опорі Z_n напруга (а також і потужність) дуже мала. При повному струмі в обмотці управління, навпаки, напруга на магнітному підсилювачі мала, а на опорі навантаження велика. При намагнічуванні змінюється індуктивний опір магнітного підсилювача і відбувається перерозподіл навантаження.

Тиристорним підсилювачем називають пристрій, що складається зі схеми керування тиристорами і регулятора потужності (силової частини підсилювача). Дія тиристорних підсилювачів базується на властивості керованого вентиля (тиристора) пропускати струм лише при подачі напруги на його керуючий електрод, тобто працювати в режимі ключа.

Тиристорні підсилювачі випускають з виходом на постійному струмі, з виходом на змінному струмі, з живленням від мережі постійного струму. У наш час тиристорні підсилювачі знаходять переважне розповсюдження в регульованих електроприводах різної потужності.

5.1.3. Гідравлічні підсилювачі

Гідравлічні підсилювачі бувають струминні, золотникові та дросельні.

Розглянемо роботу гідравлічних підсилювачів на прикладі струминного підсилювача (рис. 5.4). Він складається із силового циліндра 1, в якому під дією різниці тисків P_1 і P_2 пересувається поршень виконавчого механізму 2.

У силовий циліндр через порожнисту трубку 5 і струминну трубку 4 подається мастило під тиском P . Якщо струминна трубка розташована рівно по центру між двома приймальними соплами 3, то тиск у порожнинах циліндра однаковий ($P_1 = P_2$) і поршень нерухомий.

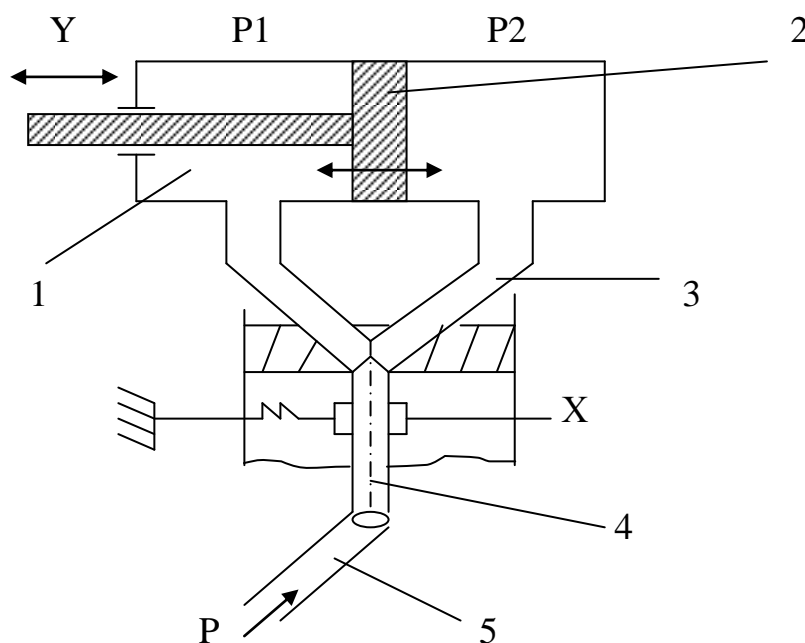


Рис. 5.4. Будова гідравлічного підсилювача

Якщо прикласти невелике вхідне зусилля X на систему подачі вхідної дії, то струминна трубка відхиляється від центральної осі, мастило розподіляється між приймальними соплами нерівномірно, тиски $P_1 \neq P_2$, поршень починає пересуватися. Підсилювальний ефект полягає в тому, що мале зусилля на пересування струминної трубки X викликає значне зусилля, яке розвивається при переміщенні поршня Y .

Гідравлічні підсилювачі використовуються здебільшого для керування виконавчими органами зі зворотно-поступальним рухом. Їх спільним недоліком є значна інерційність у роботі.

5.1.4. Пневматичні підсилювачі

Пневматичні підсилювачі (ПП) призначені для посилення сигналів по потужності й тиску. ПП діляться на два класи: дросельні й струминні. Найпоширеніші дросельні ПП типу «сопло – заслінка» й золотникові. У пневматичних підсилювачах керування здійснюється за допомогою стисненого повітря або газу. Розглянемо роботу таких підсилювачів на прикладі пневматичного підсилювача типу «сопло – заслінка» (рис. 5.4).

Командний тиск повітря P через дросель постійного перерізу 1 подається в робочу камеру 2, ця камера має сопло 3, прохідний діаметр якого в декілька раз більший діаметра дроселя 1.

Сопло перекривається заслінкою 4, при цьому сукупність сопла і заслінки розглядається як дросель змінного перерізу. Залежно від відстані h змінюється тиск повітря P_2 у робочій камері 5, який діє на поршень виконавчого механізму 6.

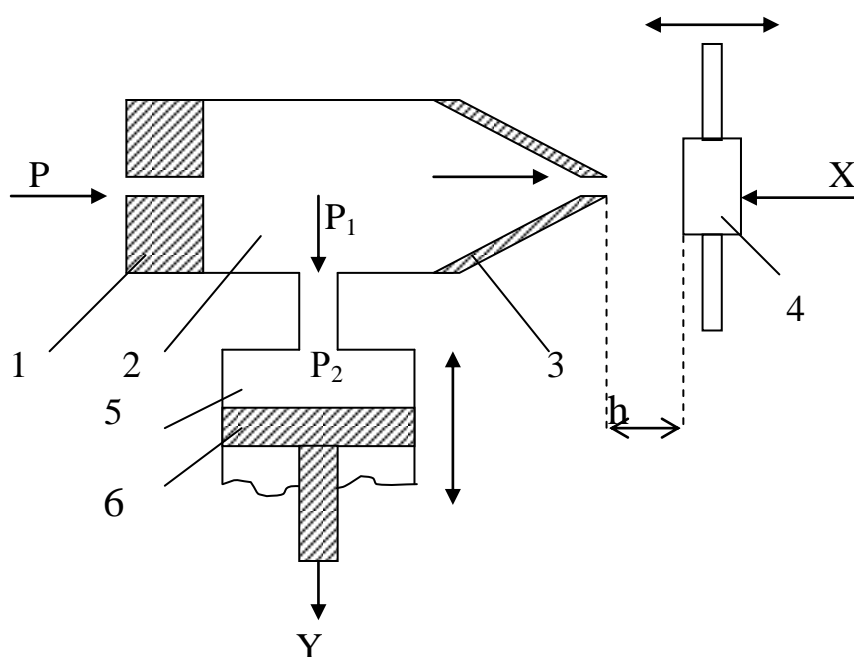


Рис. 5.4. Будова пневматичного підсилювача

Як у попередній схемі, невелике зусилля на пересування заслінки 4 викликає значне зусилля на пересування поршня 6. Подібна конструкція використовується і у гідравлічних підсилювачах.

5.2. Регулюючі органи

Регулюючий орган – це пристрій, який змінює притік речовини або енергії до об'єкта, виконуючи процес регулювання.

Регулюючі органи діляться на такі конструкції:

- 1) пересування затвору паралельного потоку (клапани та золотники);
- 2) пересування затвору перпендикулярно потоку (шиберні засувки);
- 3) регулюючі органи з обертанням затвору (крани, поворотні заслінки);
- 4) регулюючі органи зі стисканням прохідного каналу (діафрагмові клапани);
- 5) регулювальні автотрансформатори та подільники напруги.

Регулюючі органи в системах автоматики частіше за все являють собою єдине ціле із виконавчими механізмами. Головними характеристиками регулюючих органів є конструктивна, витратна та гідравлічна.

Конструктивна характеристика показує залежність зміни прохідного перерізу від ступеня його відкриття. **Витратна** характеристика показує залежність зміни витрати від ступеня відкриття або кута повороту затворного органу. Витратні характеристики є базою для вибору регулюючого органа за його умовною пропускною здатністю. Витратні характеристики клапанів та заслінок нелінійні та суттєво залежать від опорів. Залежність зміни коефіцієнта опору від ступеня відкриття називається **гідравлічною** характеристикою.

Регулюючі органи випускаються у двох модифікаціях: нормально відкриті НВ та нормально закриті НЗ.

Крани бувають коркові, муфтові і фланцеві, одноходові та багатоходові. Останні в пристроях автоматики використовують як гідроперемикачі.

Вентилі, що застосовуються для регулювання витрати в трубах невеликого діаметра, бувають муфтові, фланцеві і цапфові.

Засувки залежно від конструкції затвора поділяють на два типи: паралельні й клинові. Обидва типи засувок виготовляють з висувним чи невисувним шпинделем. Закриття засувок здійснюється обертанням шпинделя, їх випускають об'єднаними електричним чи гідравлічним приводом.

Клапани через складність їхнього пристрою і високу вартість рідко застосовують для регулювання витрати. Основною перевагою клапана є лінійна чи близька до неї характеристика.

Заслінки використовуються для регулювання витрати газу, коли робочий тиск невеликий. Зараз почали випускати поворотні заслінки з діаметром прохідного отвору від 80 до 500 мм.

Шибери використовують для регулювання витрати рідин у відкритих каналах.

Заслінки і шибери іноді називають відповідно затворами дисковими (поворотними) і затворами плоскими (щитовими).

5.3. Виконавчі механізми системи автоматики

Виконавчий механізм (ВМ) – це пристрій, що призначений для перетворення вхідного сигналу в пересування регулюючого органу.

Виконавчі механізми бувають:

- електричні;
- пневматичні;
- гідравлічні.

Деякі виконавчі механізми виконують найпростіші операції (відкрити – закрити), і тоді їх називають двопозиційними. Інші механізми виконують більш складні операції ступінчастого або плавного регулювання положення регулюючого органу – це багатопозиційні або пропорційні ВМ. Як виконавчі елементи використовують електродвигуни, електромагніти, гідравлічні і пневматичні пристрої.

Основними показниками виконавчих механізмів, які характеризують їх регулювальну здатність, є коефіцієнт підсилення за потужністю та швидкістю на виході.

За швидкістю виконавчі механізми поділяються на сервоприводи з постійною та з пропорційною швидкістю. В останньому випадку вихідна швидкість приблизно пропорційна величині сигналу датчика. До першої групи належать практично всі електричні ВМ змінного струму. До другої групи можуть бути віднесені гідравлічні і пневматичні сервоприводи.

Як електричні виконавчі механізми використовують електродвигуни, котрі приводять у дію регулюючі органи (шибер, засувку, повзунок реостата або автотрансформатора).

Електричні ВМ бувають із трифазними, однофазними, конденсаторними й кроковими електродвигунами. Вмикання цих двигунів може здійснюватися за допомогою контактів або магнітних пускачів. Також застосовують тягові електромагніти й електромагнітні муфти релейної та пвної дії.

Мембранні сервоприводи (пневматичні та гідравлічні) будуються на основі мембранних перетворювачів із м'якою пружиною.

Якщо в камеру над мембраною 2 подати стиснене повітря під тиском P , то робочий шток 1, долаючи протидію пружини 3, переміститься униз. Після припинення подачі робочої речовини пружина повертає мембрану у вихідне положення (рис. 5.5). Тут X , Y – вхідна та вихідна величини.

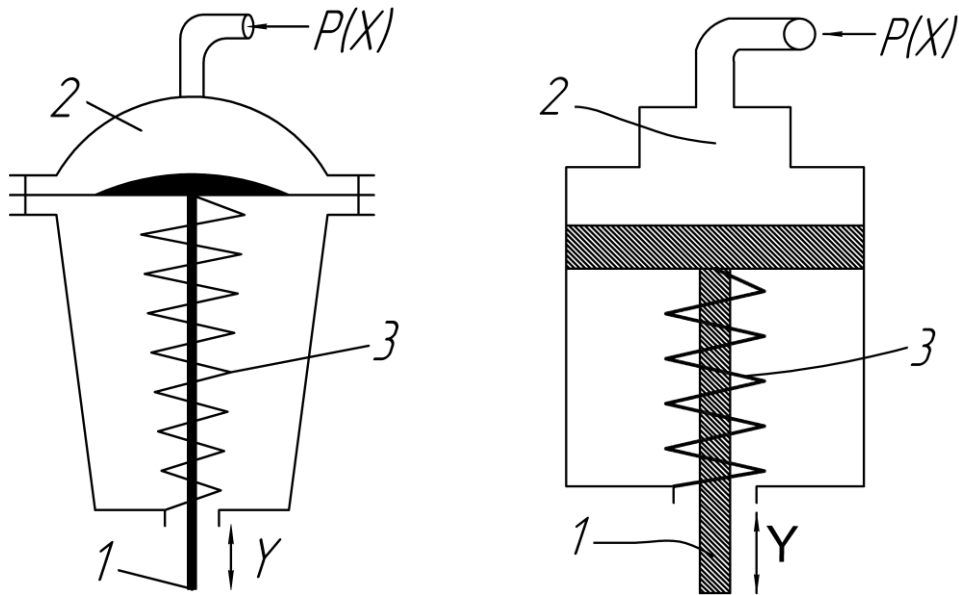


Рис. 5.5. Будова мембранного та поршневого серводвигунів

Аналогічно працює і поршневий серводвигун, в якому замість мембрани вбудований підпружинений поршень.

ТЕМА 6. АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Основним завданням системи автоматичного контролю є вимір параметрів об'єкта управління і порівняння їх з допустимими значеннями, реєстрація значень параметрів та їх поточних відхилень від завдання, сигналізація аварійних ситуацій. Типова система автоматичного контролю у цілому включає первинний вимірювальний перетворювач, вторинний перетворювач, лінію передачі інформації (сигналу) і реєструючий прилад. При цьому проміжні результати вимірювань можуть і не надходити на вихід системи. Таким чином, контроль є операцією стиску даних, усунення непотрібних у цьому випадку відомостей про об'єкт. Для відтворення судження про майбутній стан об'єкта система контролю повинна виконувати прогнозування на основі даних про попередні стани об'єкта, що отримані під час вимірювань, а також на основі його динамічних характеристик, відомих завдяки проведеним раніше дослідженням.

Розрізняють спеціалізовані й універсальні системи автоматичного контролю. Спеціалізовані системи забезпечують контроль однієї (рідше – двох, трьох фізичних величин). Універсальні системи оцінюють хід технологічного процесу в цілому, будуються за модульним принципом. Містять модуль датчиків, модуль перетворення, оброблення та нормування сигналів і модуль управління (як правило, це – мікропроцесорна система).

Також автоматичні системи поділяються на місцеві та дистанційні (елементи такої системи можуть бути розташовані на певних відстанях). Крім того, бувають автоматичні системи, що призначені лише для контролю, і системи, які здійснюють контроль та регулювання технологічних параметрів.

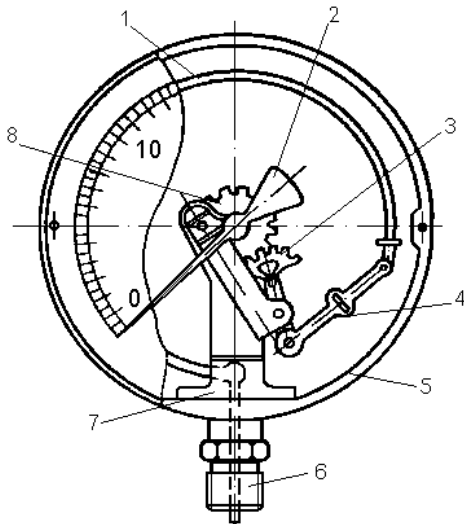
6.1. Контроль тисків та розріджень

Пристрої для контролю тисків називаються манометрами, а для контролю розріджень – вакуумметрами. Вони поділяються на:

- **рідинні** (тиск, що вимірюється, перетворюється в підняття стовпчика рідини; як робочу рідину використовують спирт, воду, ртуть, мастило);
- **пружинні** (тиск перетворюється в силу пружної деформації пружини);
- **поршневі** (тиск перетворюється в пересування поршня);
- **електричні** (тиск перетворюється в електричну величину).

Основною деталлю **пружинних** манометрів є порожниста трубка 1 з поперечним перерізом у вигляді овалу чи еліпса.

Один кінець трубки приєднується до резервуара чи трубопроводу, де контролюється тиск, а інший – запаяний. Вільний запаяний кінець трубчастої пружини за допомогою тяги 4 шарнірно з'єднується з зубчастим сектором 3, який є у зчепленні з шестерінчастим колесом 8.



На вісь трубки насаджена стрілка 2, яка показує величину тиску на шкалі приладу (рис. 6.1). Якщо манометр приєднати до резервуару з надлишковим тиском, то сили тиску зсередини трубки трохи її розпрямляють, і вільний кінець трубки при цьому переміщається, тяга повертає зубчастий сектор і зачеплену з ним трибку. Положення стрілки на шкалі вказує величину вимірюваного тиску. Тут 5 – корпус манометра; 6 – штуцер; 7 – основа приладу.

Рис. 6.1. Пружинний манометр

Трубчаста пружина може бути використана й у вакуумметрі для контролю розріджень. Для контролю великих тисків використовуються манометри з багатовитковою трубчастою пружиною, які зазвичай обладнані самописцями.

Розглянемо роботу пневматичної системи автоматичного регулювання тиску газу у резервуарі В (рис. 6.2).

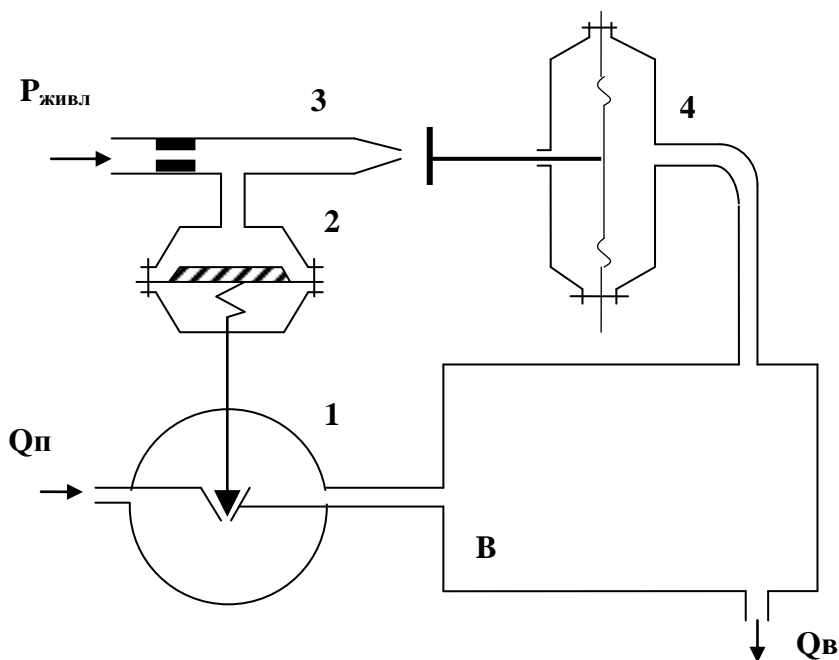


Рис. 6.2. Пневматична система автоматичного регулювання тиску газу

У таких регуляторах непрямої дії використовується додаткове живлення для роботи тих чи інших елементів, у цьому випадку використане повітря, що подається в систему під невеликим тиском.

Система працює наступним чином: якщо подача газу дорівнює витраті ($Q_{\text{п}} = Q_{\text{в}}$), тиск у резервуарі незмінний, мембрана вимірювального перетворювача 4 розташована посередині, заслінка знаходиться на відстані від сопла пневматичного підсилювача 3. Тоді повітря, що подається до підсилювача під невеликим тиском $P_{\text{живл}}$, через сопло вільно виходить у навколишнє середовище.

При перебільшенні подачі газу над її витратою ($Q_{\text{п}} > Q_{\text{в}}$) тиск у баці В зростає, мембрана вимірювального перетворювача прогинається ліворуч, заслінка частково прикриває сопло, значна частина повітря потрапляє у верхню частину виконавчого механізму 2, тиск у ній зростає, рухома частина вигинається і пересуває клапан 1, подача газу обмежується. Тиск газу в резервуарі поступово починає зменшуватися. Мембрана вимірювального перетворювача займає центральне положення, заслінка відкриває сопло, рух виконавчого механізму припиняється.

Система реалізує принцип управління за відхиленням, відноситься до групи поршневих регуляторів.

6.2. Контроль рівнів

Контроль рівнів рідин дозволяє слідкувати за правильністю протікання технологічних процесів, підтримувати, якщо необхідно, постійність рівнів (системи стабілізації параметрів), визначати кількість рідини в баках та резервуарах.

За способом вимірювання рівнеміри поділяються на **поплавкові, акустичні, гідростатичні**, дія яких заснована на вимірі статичного тиску перепаду рівнів, та **електричні** різних типів. Поплавкові набули більш широкого розповсюдження завдяки простоті будови та надійності у використанні.

Розглянемо роботу системи автоматичного регулювання рівня рідини в резервуарі G за допомогою **поплавкового рівнеміра** (рис. 6.3).

Така система також здійснює функцію автоматичної сигналізації при аварійному значенні рівня.

При рівності подачі та витрати рідини ($Q_{\text{п}} = Q_{\text{в}}$) рівень залишається незмінним. При зменшенні витрати $Q_{\text{в}}$ рівень рідини зростає, буйковий перетворювач (поплавок) 6 рухається вгору, повертає важіль 4 за годинниковою стрілкою, замикається контакт SQ і засвічує аварійну лампу HL (при досягненні рідиною граничного значення рівня), одночасно з цим переміщується праворуч струминна трубка, яка подає допоміжну речовину – мастило під невеликим тиском $P_{\text{живл}}$ у праве приймальне сопло струминного гідравлічного підсилювача 3, підвищуючи тиск робочої рідини над поршнем серводвигуна 2; поршень переміщується вниз, прикриваючи клапан 1 і зменшуючи подачу рідини $Q_{\text{п}}$. При збільшенні витрати $Q_{\text{в}}$, навпаки, регулятор збільшує й подачу рідини $Q_{\text{п}}$. Пружина 5

забезпечує більш плавну дію регулятора, уповільнюючи пересування важеля.

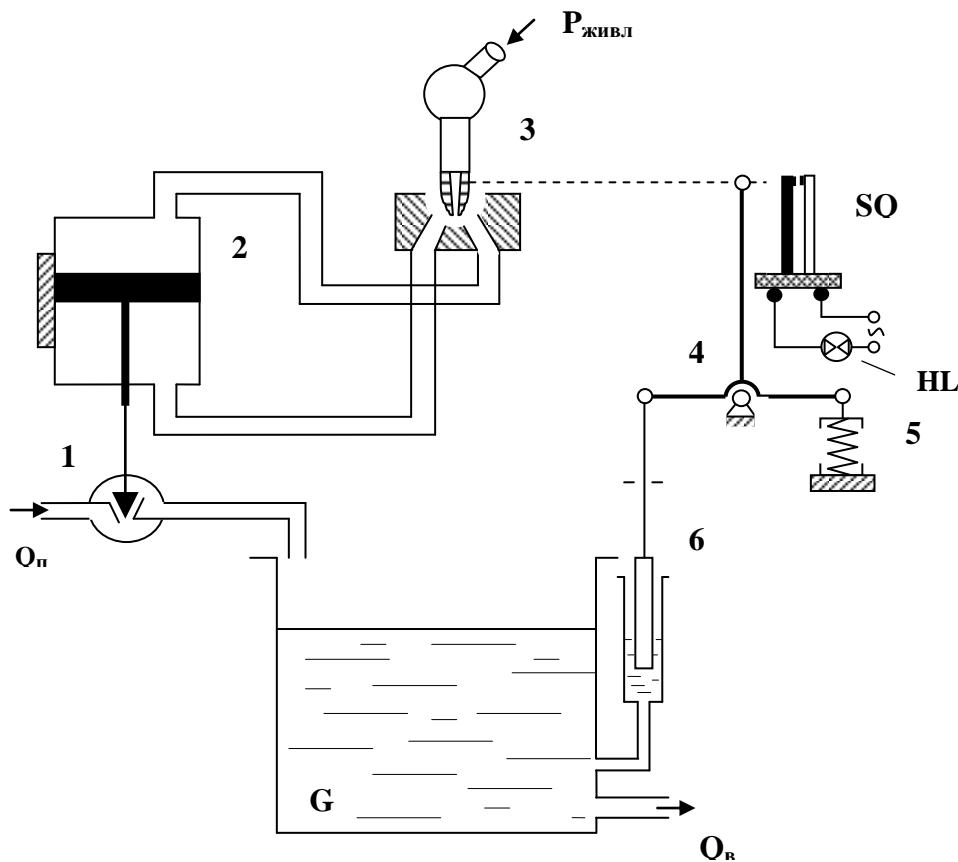


Рис. 6.3. Поплавковий рівнемір

Рівнемір відноситься до групи поплавкових, принцип регулювання відбувається за відхиленням, він є стабілізуючим регулятором безперервної непрямої дії.

В основі роботи **електричних рівнемірів** покладено використання електрофізичних властивостей рідин або сипких матеріалів, а саме кондуктометричного й ємнісного принципів вимірювання.

Кондуктометричні прилади працюють за принципом фіксації моменту появи провідності між електродами, що введенні у вимірюване середовище.

Найпростішими пристроями такого типу є сигналізатори рівня, котрі спрацьовують за умови замикання електродів, що знаходяться у вимірювальній ємності, контрольованим електропровідним середовищем. Роль одного з електродів може виконувати металева стінка резервуара (ємності), яка має бути заземленою, а інший електрод повинен бути якісно ізольованим від неї. Розглянемо принцип роботи регулятора рівня рідини, що працює за допомогою електричного рівнеміра (рис. 6.4).

У цій схемі діодний міст VD1 – VD4 використовується для випрямлення змінного струму, поданого від трансформатора TV, і

живлення реле KV1 – KV3 постійною напругою. Конденсатор С використовується для фільтрування сигналів та згладжування пульсацій. Сигнальні лампочки HL1 – HL4 живляться через іншу обмотку трансформатора. У резервуарі розміщені електроди E1 – E3, що мають різну довжину відповідно до контрольованих рівнів рідини. Якщо стінка ємності виконана з непровідного матеріалу, тоді в резервуар розміщують додатковий електрод, який обов’язково заземлюють (E0).

За відсутності рідини в резервуарі (або рідина не досягає нижнього контрольованого рівня E1), котушки всіх реле знеструмлені, горить сигнальна лампа HL1.

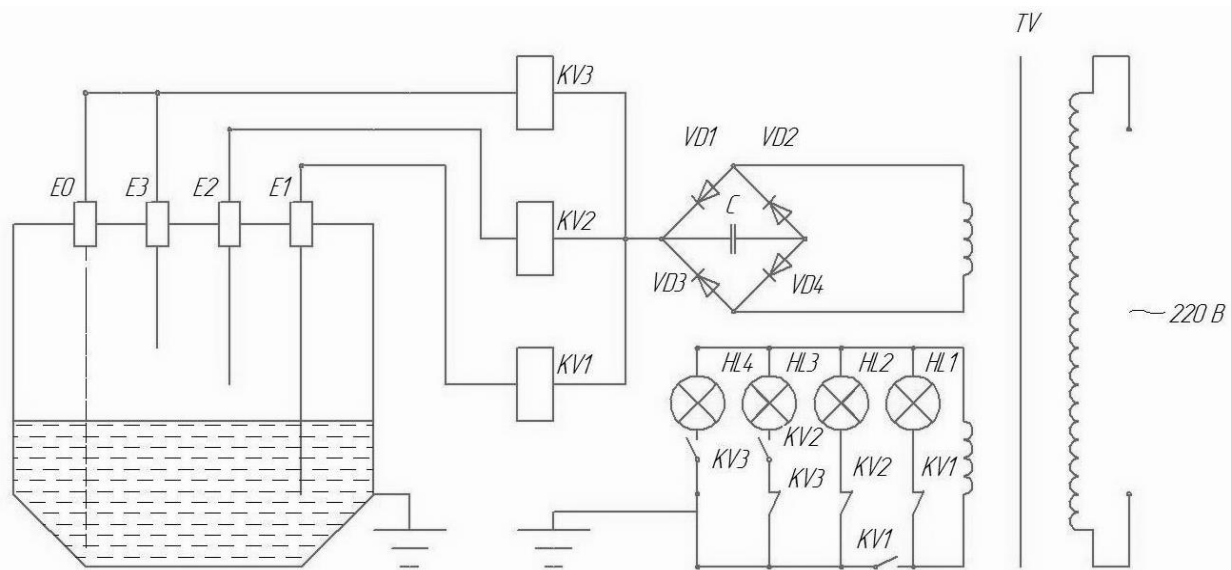


Рис. 6.4. Схема електричного рівнеміра

При досягненні рідиною електрода E1 спрацьовує реле KV1, його контакти перемикаються, гасне лампочка HL1 і загоряється лампочка HL2. При досягненні рідиною рівня електрода E2 намагнічується котушка реле KV2, гасне лампочка HL2 і загоряється лампочка HL3. При досягненні аварійного рівня E3 спрацьовує реле KV3, гасне лампочка HL3 і загоряється лампочка HL4. Як правило, одночасно з лампочкою HL4 спрацьовує і звукова сигналізація. Часто реле KV1 – KV3 керують не тільки сигнальними лампами, але й роботою магнітних пускачів відповідних насосів.

В акустичних рівнемірах вимірювання рівня здійснюють за часом проходження ультразвуковими коливаннями відстані від випромінювача до межі поділу двох середовищ і назад до приймача випромінювання.

6.3. Контроль витрат

Усі витратоміри розділяються на групи, котрі розрізняються як за принципом дії, так і за конструкцією. Дуже розповсюджені витратоміри, котрі працюють за методом вимірювання перепаду тиску на звужувальних пристроях (діафрагмах, соплах, трубах Вентурі).

Також застосовують механічні, вихрові та турбінні витратоміри. Недоліком таких методів контролю є деяка технологічна втрата тиску (наприклад, на звуженні або при контакті потоку з механічною крильчаткою). Тому все більшого розповсюдження набувають безконтактні методи контролю витрат – електромагнітні, ультразвукові, іонізаційні, радіоізотопні тощо.

Широке розповсюдження знайшли масові витратоміри різних типів. Коріолісові **масові** витратоміри відрізняються міцною компактною конструкцією та широким діапазоном діаметрів умовного проходу. Принцип дії полягає в наступному: коли маса протікає через віброую трубку, виникає сила Коріоліса, яка вигинає або перекручує цю трубку. Найменший вигин трубки реєструється й аналізується за допомогою оптимально розташованих датчиків. Так як вимірний зсув фаз сигналів датчиків пропорційний масовій витраті, витратомір Коріоліса дозволяє безпосередньо визначати масу, що проходить через вимірювальний прилад. Принцип вимірювання не залежить від густини, температури, в'язкості, тиску та електропровідності робочого середовища.

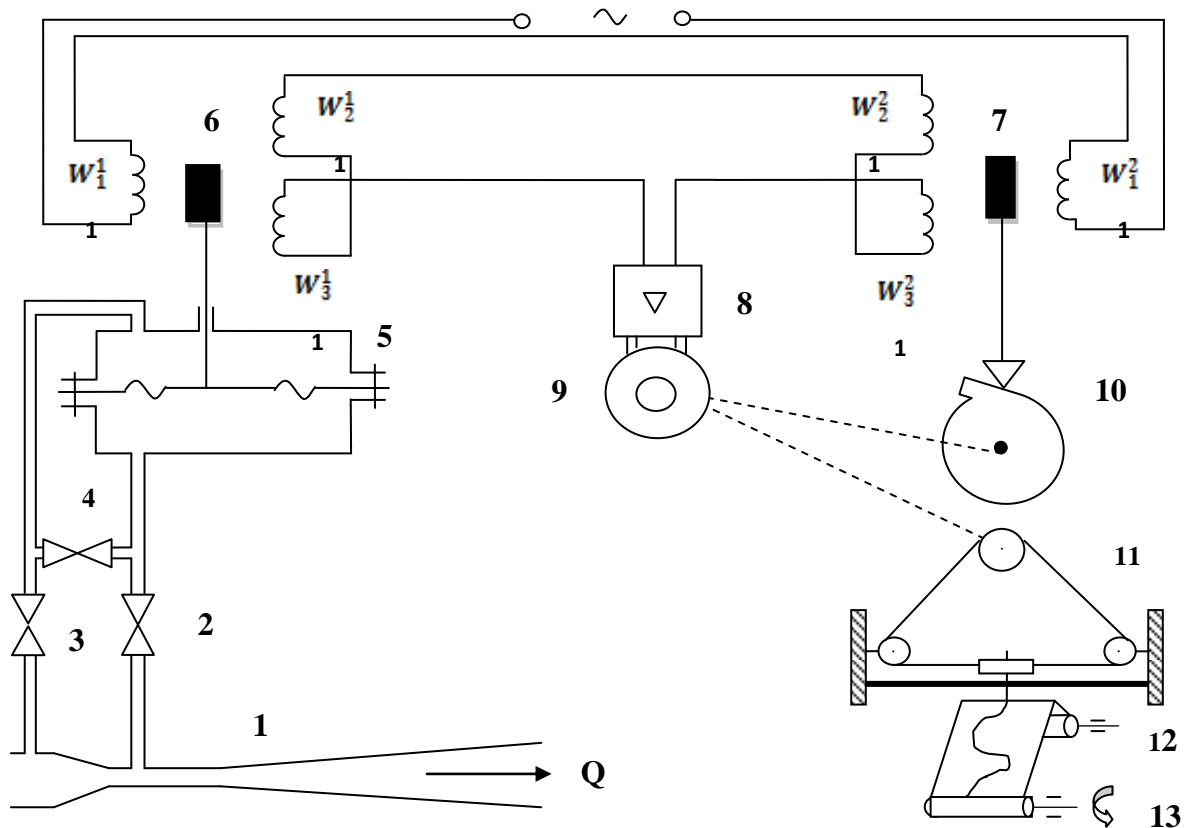


Рис. 6.5. Система для вимірювання витрат речовини в трубопроводі

Розглянемо роботу **системи для вимірювання витрат речовини в трубопроводі**, котра працює за методом вимірювання перепаду тиску на звужувальному пристрої (рис. 6.5). Результати вимірювання фіксує реєструвальний прилад – самописець, що встановлений на щиті диспетчера (вторинний прилад). Первинним перетворювачем є нормальна труба Вентурі 1, перепад тиску в якій вимірюється мембранним диференціальним манометром 5. Внутрішні порожнини мембранних коробок з'єднані між собою й заповнені дистильованою водою.

Для вимірювання витрати газу дифманометр слід установити нижче звужувального пристрою (щоб уникнути впливу газових бульбашок на результат вимірювання), а при вимірюванні витрати рідини, – навпаки, дифманометр повинен бути вище звужувального пристрою (щоб уникнути похибок від випадкового потрапляння рідини у прилад). При налагодженні витратоміра використовується зрівняльний 4 та замикаючі 2, 3 вентилі. Спочатку всі три вентилі мають бути замкнені; потім відкривається зрівняльний вентиль (щоб запобігти пошкодженню мембран від тиску речовини в трубопроводі), після чого обидва замикаючі теж відкриваються. Далі закривається зрівняльний вентиль і розпочинається процес вимірювання. Передавання вимірювальної інформації на потрібну відстань здійснює система з двома диференційними трансформаторними перетворювачами соленоїдного типу (6 та 7 – якорі перетворювачів; 8 – підсилювач; 9 – сервоелектродвигун; 10 – ексцентрик; 11 – реєструвальний прилад; 12 та 13 – ролик з рулонним папером для реєстрації результатів вимірювання). При зміні тиску мембрана дифманометра 5 змінює своє положення і переміщує якір 6. Унаслідок різного просторового розташування якорів 6 та 7 на виході диференційно-трансформаторної схеми виникає різниця напруг, що підсилюється підсилювачем 8 і приводить у дію сервоелектродвигун 9, який через ексцентрик 10 переміщає якір 7 та стрілку реєструвального приладу 11. Коли якорі займуть однакове положення, різниця тисків зникає, двигун вимикається, пересування стрілки припиняється.

Розглянемо принцип дії **електромагнітного витратоміра**. За допомогою таких витратомірів контролюють витрати електропровідних рідин у трубах з немагнітного матеріалу. Основою вимірювань за допомогою електромагнітного витратоміра є закон індукції Фарадея, відповідно до якого при переміщенні провідника через магнітне поле у ньому наводиться напруга.

З двох сторін трубопроводу 2, по якому протікає рідина, встановлюється постійний магніт 1 з полюсами N і S (рис. 6.6). Під дією магнітного поля іони, що знаходяться в рідині, віддають власні заряди електродам 3 та 4.

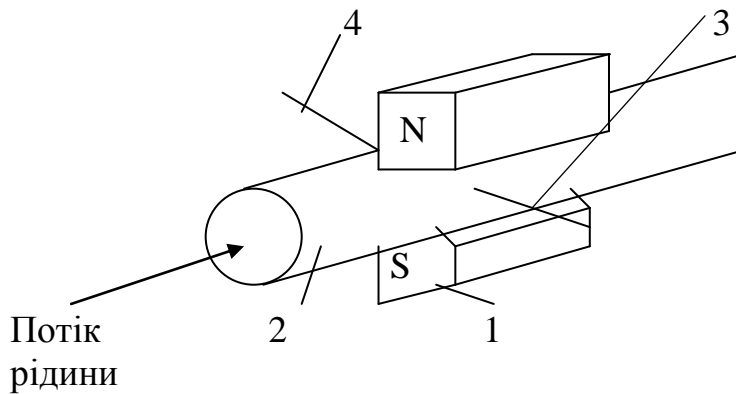


Рис. 6.6. Електромагнітний витратомір

Між електродами, закріпленими з двох сторін від труби, виникає електрорушійна сила (ЕРС), величина якої дорівнює

$$E = B \cdot d \cdot V,$$

де B – магнітна індукція;

d – діаметр труби;

V – швидкість потоку.

За величиною цієї ЕРС, котра через підсилювач фіксується вимірювальним приладом, визначають витрату рідини. Недоліком такого типу витратоміра є велика інерційність вимірювань. Замість постійних магнітів також установлюють електромагніти (котушки з осердями, котрі підключені до джерела живлення). Принцип дії таких витратомірів аналогічний.

6.4. Контроль температур

Усі засоби для контролю температури (термометри) розділяються на групи: **термометри розширення**, котрі застосовують явище розширення тіл при нагріванні (рідинні та біметалеві термометри розширення); **манометричні термометри**, що працюють за методом вимірювання тиску в замкненій системі при нагріванні теплосприймаючої частини термометра; **термометри опору** (використовують зміну електричного опору провідника при нагріванні) та **термоелектричні пірометри**, котрі вимірюють ЕРС, що виникає при нагріванні місця спаювання двох різних електродів (принцип термопари).

Розглянемо роботу **автоматичного регулятора температури** в камері К (рис. 6.7).

У стабілізуючих системах регулятор підтримує контрольовану величину на постійному рівні, який задається в цій системі установкою повзунка на реостаті R.

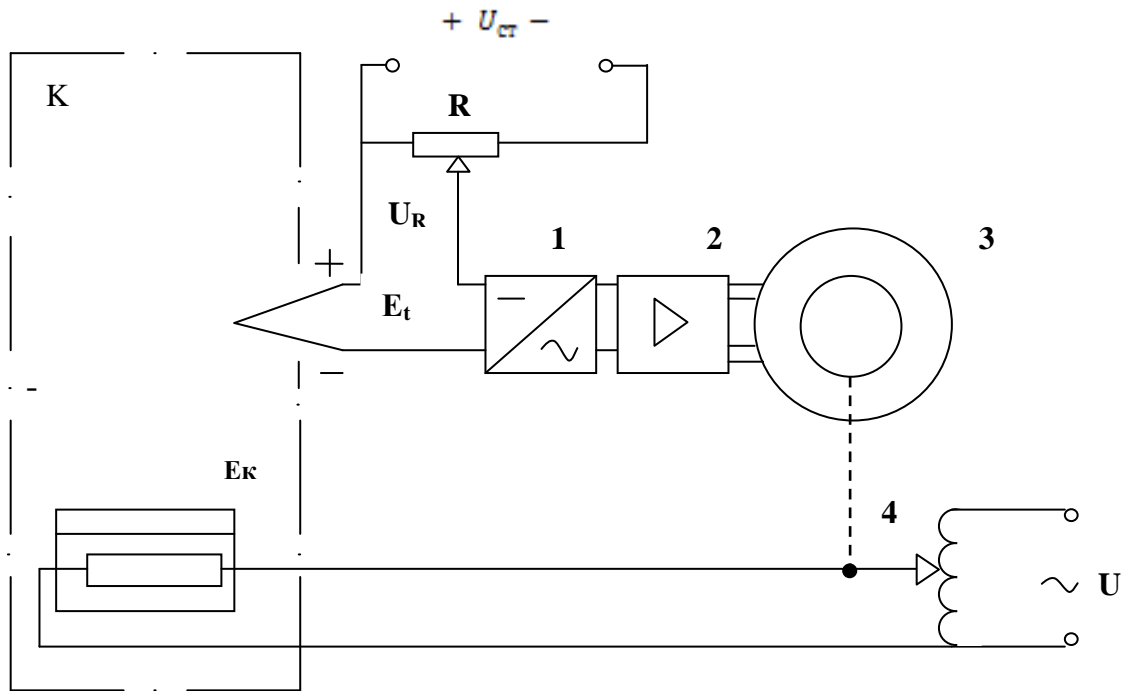


Рис. 6.7. Автоматичний регулятор температури в камері К

У камері К нагрівання здійснюється за допомогою електронагрівача Ек. Первинним вимірювальним перетворювачем температури є термопара, вихідна електрорушійна сила якої E_t порівнюється з напругою U_R , що знімається з подільника R і відіграє роль уставки (тобто завдання). Подільник живиться від джерела стабілізованої напруги $U_{ст}$. Оскільки напруги E_t і U_R увімкнуті назустріч одна одній, то при рівності $U_R = E_t$ їх різниця дорівнює нулю. Якщо температура в камері К вища заданої, то $E_t > U_R$, і величина різниці $E_t - U_R$ перетворюється на змінний струм (1 – перетворювач постійного струму у змінний), котрий потім підсилюється (2 – підсилювач) і вмикає сервоелектродвигун 3, який переміщує повзунк автотрансформатора 4 униз, зменшуючи напругу живлення нагрівача U. У результаті температура в камері К не перевищує задану межу. Коли напруги урівнюються ($U_R = E_t$), рух повзунка припиниться. Якщо ж температура нижча заданої, сервоелектродвигун перемістить повзун автотрансформатора вгору, збільшуючи температуру.

Розповсюджені системи для контролю температури, що працюють на базі мостових схем з реєстраторами. Розглянемо роботу такої системи для дистанційного вимірювання температури в камері G (рис. 6.8).

На рисунку АВ – діагональ живлення мосту, вона підключається до джерела живлення; CD – вимірювальна діагональ; $R_1 - R_4$ – опори плечей мосту.

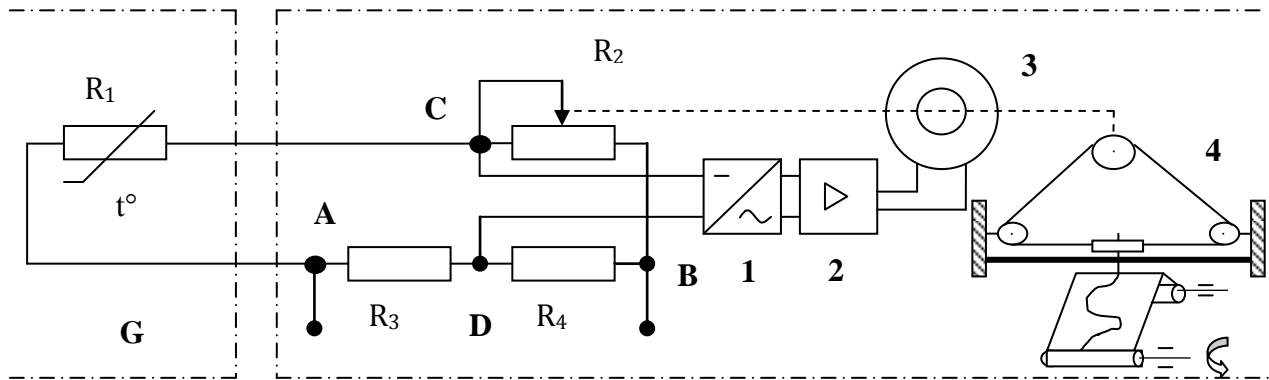


Рис. 6.8. Система для дистанційного вимірювання температури в камері G

Первинним вимірювальним перетворювачем служить провідниковий терморезистор R_1 ; значення опорів R_3 та R_4 вибрані такими, щоб вони дорівнювали значенню опору R_1 при температурі, яка вважається нормою; таким же спочатку повинно бути й значення змінного опору R_2 . Тоді мостова схема збалансована і між точками C та D вихідної напруги немає.

Збільшення температури в камері G призведе до зростання R_1 , виникає розбаланс мосту, різниця потенціалів U_{CD} потрапляє на вхід перетворювача 1, підсилюється підсилювачем 2 і вмикає сервоелектродвигун 3, який переміщує повзунок на реостаті R_2 ліворуч доти, доки не зникне напруга U_{CD} . Це відбудеться, коли знову встановиться рівність опорів $R_1=R_2$. При зменшенні температури, навпаки, повзунок переміщуватиметься праворуч. Проте в обох випадках кожному значенню температури відповідатиме певне положення повзунка після зупинки сервоелектродвигуна. Якщо до двигуна приєднати відлічувально-реєструвальний пристрій 4, він відобразить зміну у часі температури в камері G.

6.5. Контроль густини

Густина є одним з важливих параметрів, що характеризують якість отриманої продукції. Контроль густини необхідний для визначення як якості, так й однорідності рідин та газів.

Одиницею густини у системі СІ є кг/м^3 . Іноді користуються відносною густиною; для рідин вона зазвичай визначається за відношенням до густини дисцильованої води при 4°C , а для газів – за відношенням до густини повітря за нормальних умов. Відносна густина – величина безрозмірна.

Прилади для вимірювання густини називаються **густиномірами**. Залежно від методу вимірювання вони поділяються на поплавкові, масові, гідростатичні, радіоактивні та ультразвукові.

Розглянемо роботу **автоматичного густиноміра поплавкового типу**.

Поплавкові густиноміри поділяються на прилади з плаваючими та зануреними у рідину поплавками. У густиномірах з плаваючим поплавком глибина занурення останнього обернено пропорційна густині вимірюваної рідини, а у густинометрах із зануреним поплавком між густиною рідини та вагою поплавка існує прямо пропорційна залежність. Такий пристрій відноситься до першого типу.

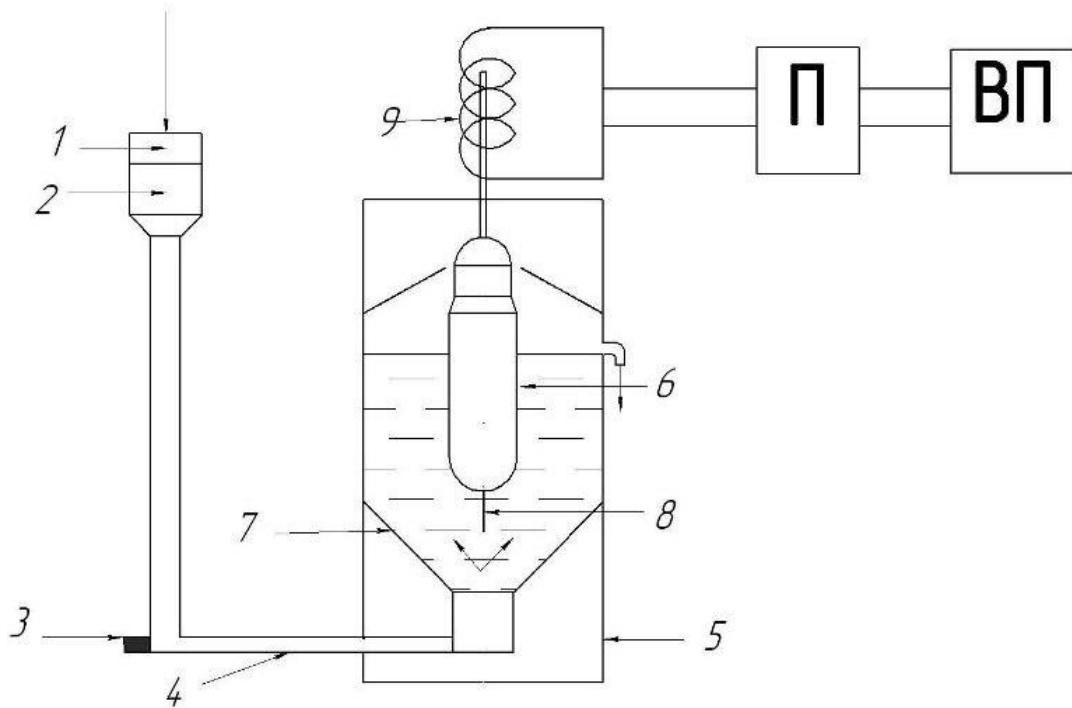


Рис. 6.9. Автоматичний густиномір поплавкового типу

Пристрій складається з циліндричного корпусу 5, що переходить знизу в конічну частину 7 (рис. 6.9). Досліджувана рідина надходить у лійку 1 з фільтром 2, а потім по трубі 4 потрапляє у конус 7. Піднімаючись угору, рідина омиває поплавок 6 та по зливній трубі виходить з густиноміра. Труба дозволяє забезпечити постійність рівня контрольованої рідини.

Поплавок 6 з'єднаний з осердям індуктивного датчика 9. Внизу поплавка має шток 8. У ньому зосереджена основна вага поплавка, це не дає йому відхилятися від вертикального положення. Для контролю температури з метою внесення поправки при зміні температури у трубі 4 встановлений резистивний термометр опору 3.

Таким чином, різній густині вимірюваної рідини відповідає різна глибина занурення поплавка, а отже, і положення осердя в котушці датчика, що призводить до зміни його індуктивного опору. Сигнал через перетворювальну схему П (наприклад, мостову) потрапляє до

вимірювального приладу ВП, шкала котрого заздалегідь відградується у значеннях густини.

У **гідростатичних густиномірах** порівнюються тиски, які чинять стовпи вимірюваного та еталонного газів однакової висоти h , що неперервно подаються знизу вгору в дві вертикальні трубки 1 та 2 з дуже малою швидкістю (рис. 6.10). Верхні кінці трубок відчинені, нижні з'єднані з дифманометром 4. Обидві трубки розміщені в термостаті 3, в якому температура рідини підтримується сталою.

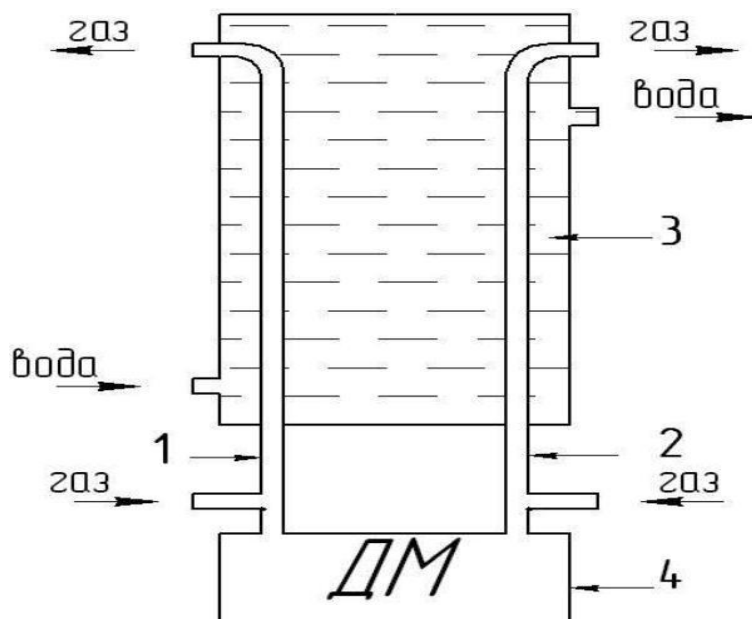


Рис. 6.10. Гідростатичний густиномір

Перепад тиску, вимірюваний дифманометром ДМ, пропорційний різниці густин газу, що контролюється, та еталонного газу ($\rho_1 - \rho_2$), константі g та висоті стовпів h :

$$\Delta P = P_1 - P_2 = (\rho_1 - \rho_2) \cdot g \cdot h.$$

Тут змінною величиною є лише різниця густин ($\rho_1 - \rho_2$). Шкалу дифманометра грабують у значеннях густини газу, що контролюється.

6.6. Контроль в'язкості

Під в'язкістю рідини розуміють її здатність здійснювати опір зміщенню одного шару рідини відносно іншого. Розрізняють динамічну μ та кінематичну ν в'язкість. Динамічна в'язкість вимірюється у системі СІ в Па·с (Паскаль-секунда), а кінематична – у $\text{м}^2/\text{с}$.

В'язкість рідини здебільшого залежить від її температури: чим вища температура рідини, тим менша її в'язкість, і навпаки. Прилади для вимірювання в'язкості мають назву **віскозиметрів**.

Для контролю в'язкості застосовується велика кількість пристроїв, що заснована на різноманітних методах вимірювання, основними з яких є метод падаючого тіла, метод крутного момента, вібраційний та ультразвуковий методи.

Розглянемо принцип дії **віскозиметра з падаючим тілом** (рис. 6.11).

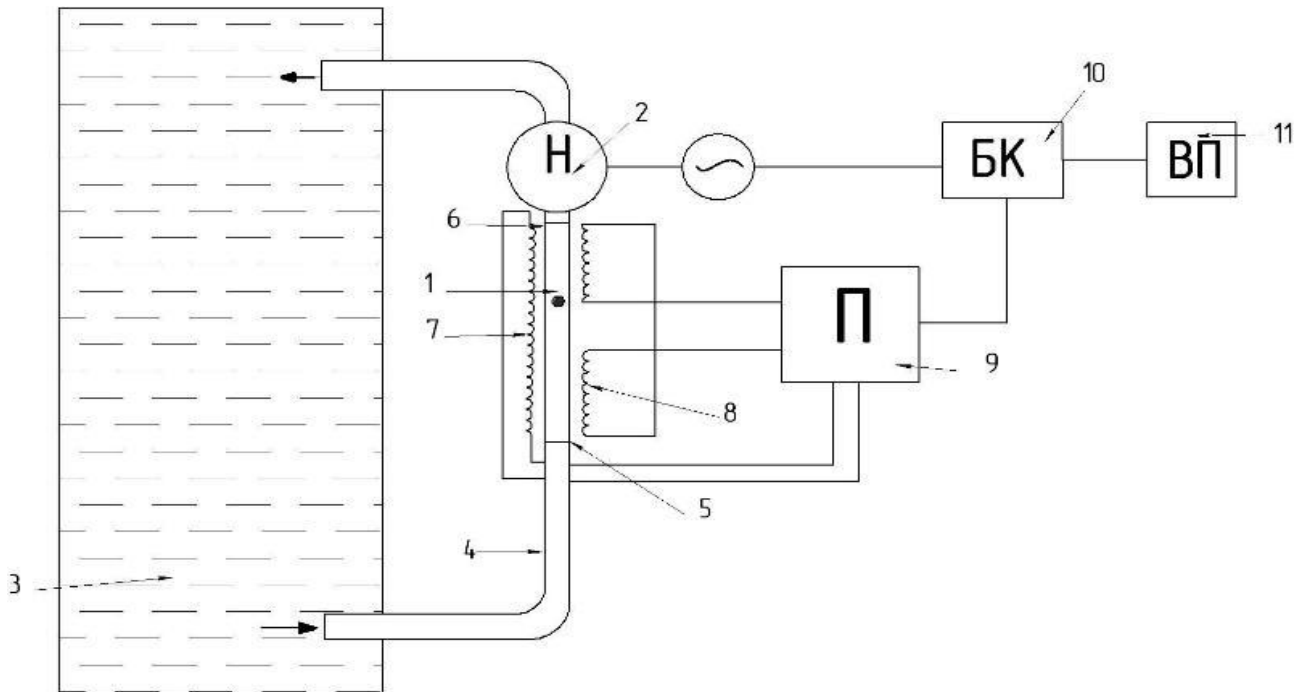


Рис. 6.11. Віскозиметр з тілом, що падає

Якщо в рідину, що контролюється, опустити тіло, яке вільно падає, наприклад металеву кульку, то швидкість падіння v кульки буде тим менша, чим більша в'язкість рідини μ . Час τ проходження кулькою деякої відстані L у рідині обернено пропорційний швидкості руху кульки v . Отже, чим вища в'язкість рідини, тим більший час τ :

$$\mu = k\tau,$$

де k – коефіцієнт пропорційності.

Шестеренний насос 2 прокачує знизу вгору рідину, що знаходиться в резервуарі 3, по трубі 4, у якій встановлені сітки 5 та 6. Між ними на відстані L знаходиться металева кулька 1. Поток рідини, що прокачується насосом, кулька піднімається у верхнє положення. У момент торкання кульки до верхньої обмежуючої сітки 6 насос вимикається, а кулька вільно падає в нерухомому середовищі. На трубу 4 одягнені дві індукційні котушки 7 та 8 диференційно-трансформаторної системи дистанційної передачі. При переміщенні кульки, що виконує роль осердя усередині котушок, на їх виходах змінюється сигнал, який посилюється підсилювачем 9 та через блок керування 10 потрапляє на

вторинний прилад 11. У момент торкання кулькою нижньої сітки блок керування автоматично вмикає насос і відраховує час падіння кульки. Існують також віскозиметри, які працюють за принципом порівняння часу падіння кульки в еталонній рідині та рідині, що контролюється.

Вимірювання в'язкості вібраційними віскозиметрами базується на залежності амплітуди коливань тіла у рідині, що контролюється, від її в'язкості.

Дія віскозиметрів, що працюють за методом крутного моменту, базується на використанні залежності крутного моменту, що обертає тіло у рідині, від її в'язкості (рис. 6.12).

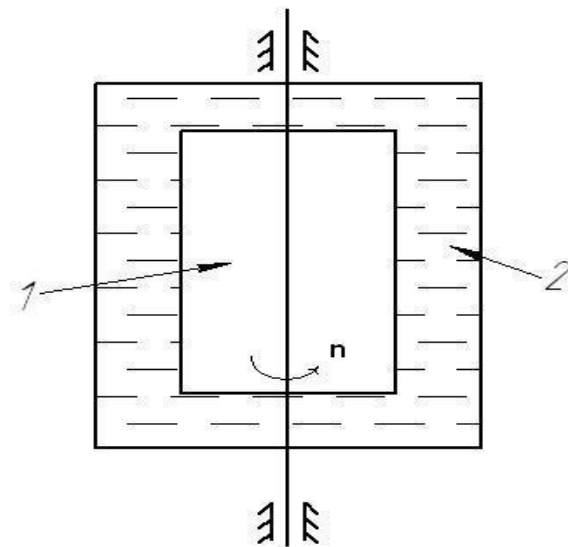


Рис. 6.12. Віскозиметр, що працює за методом крутного моменту

Якщо взяти два коаксіально встановлених циліндра, простір між ними заповнити контрольованою рідиною та обертати один з циліндрів (зовнішній) з постійним числом обертів, то через рідину 2 це обертання буде передаватися внутрішньому циліндру 1. Для забезпечення нерухомого стану цього циліндра до нього повинен бути прикладений протидіючий момент, який при нерухомому циліндрі дорівнює крутному моменту, котрий передається рідиною до цього циліндра.

Величина крутного моменту M , що передається рідиною циліндру 1, при сталій кутовій швидкості зовнішнього циліндра визначається виразом

$$M = k \mu ,$$

де k – коефіцієнт пропорційності; μ – динамічна в'язкість рідини.

За цим моментом і контролюють в'язкість.

Дія ультразвукових віскозиметрів базується на використанні залежності ступеня затухання ультразвукових коливань від в'язкості вимірюваної рідини: чим вища в'язкість рідини, що контролюється, тим швидше затухають коливання, і навпаки.

6.7. Контроль вмісту води у нафті та рідких нафтопродуктах

Нафта, що надходить на переробку, завжди містить деяку кількість води з розчиненими у ній солями. Вода – небажаний компонент у нафті, тому її усувають з нафти на установках зневоднення. При керуванні такими установками необхідно контролювати вміст води не тільки у вхідній, а й у зневодненій нафті.

Існує декілька методів вимірювання вмісту води у нафті, заснованих на залежності електричних параметрів обводненої нафти від кількості води, що в ній міститься, та на інших залежностях.

Для неперервного вимірювання вмісту води у нафті розроблені автоматичні прилади, принцип дії яких заснований на вимірюванні діелектричної проникності нафти, що містить воду. Розглянемо принцип роботи такого приладу (рис. 6.13).

Між пластинами конденсатора 1 протікає нафта, що контролюється, а між пластинами конденсатора 2 – зневоднена нафта, отримана шляхом відгонки з неї води. Зневоднення нафти здійснюється у блоці підготовки 3. Ємності конденсаторів 1 та 2 порівнюються у блоці 5, на виході якого формується сигнал у вигляді частоти змінного струму, пропорційній різниці ємностей конденсаторів 1 і 2.

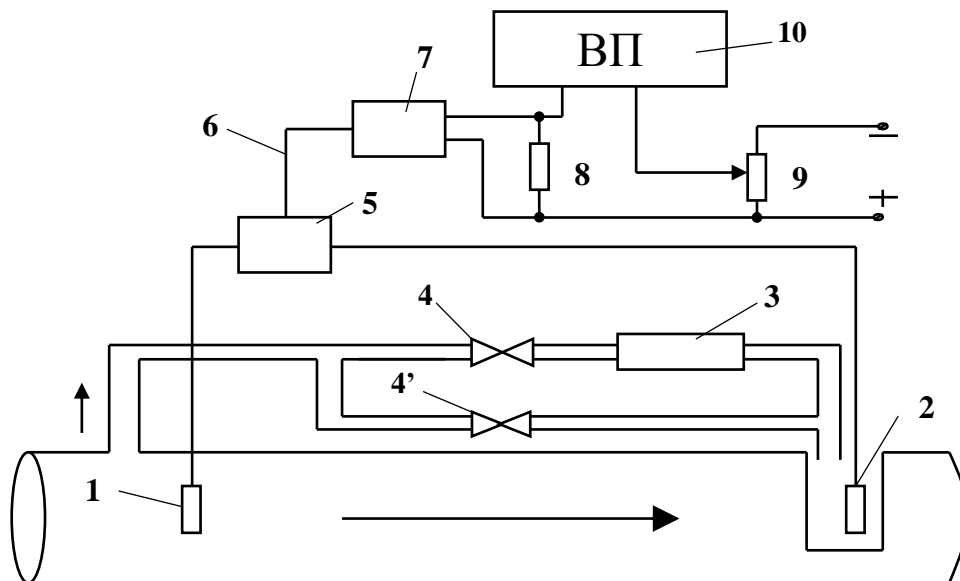


Рис. 6.13. Прилад для контролю вмісту води у нафті

Далі частота у перетворювачі 7 перетворюється у пропорційний сигнал постійного струму. Перетворювач 7 з'єднаний з блоком 5 лінією зв'язку 6. Вихідний сигнал перетворювача подається на вторинний прилад 10 типу потенціометра (як правило, реєстратора), шкала якого відградує в одиницях вмісту води у нафті.

Опір 8 призначений для налаштування чутливості.

Для періодичної перевірки точності роботи приладу (при встановленні нуля) за допомогою відкритого вентиля 4' через конденсатор 2 пропускають нафту, що аналізується (при цьому вентиль 4 закривають). При цьому сигнали датчиків повинні бути однаковими. Якщо є різниця, то налаштування здійснюють за допомогою змінного опору 9.

6.8. Контроль температури спалаху нафтопродуктів

Суть методу автоматичного контролю полягає у визначенні найнижчої температури горючої речовини, при якій вона здатна спалахувати. Нагрівання відбувається з установленою швидкістю до моменту спалаху парів нафтопродукту від запального пристрою. На сьогодні існує багато приладів для контролю температури спалаху як з аналоговим, так і з цифровим виходом, котрі працюють за схожим принципом. Розглянемо роботу такого пристрою (рис. 6.14).

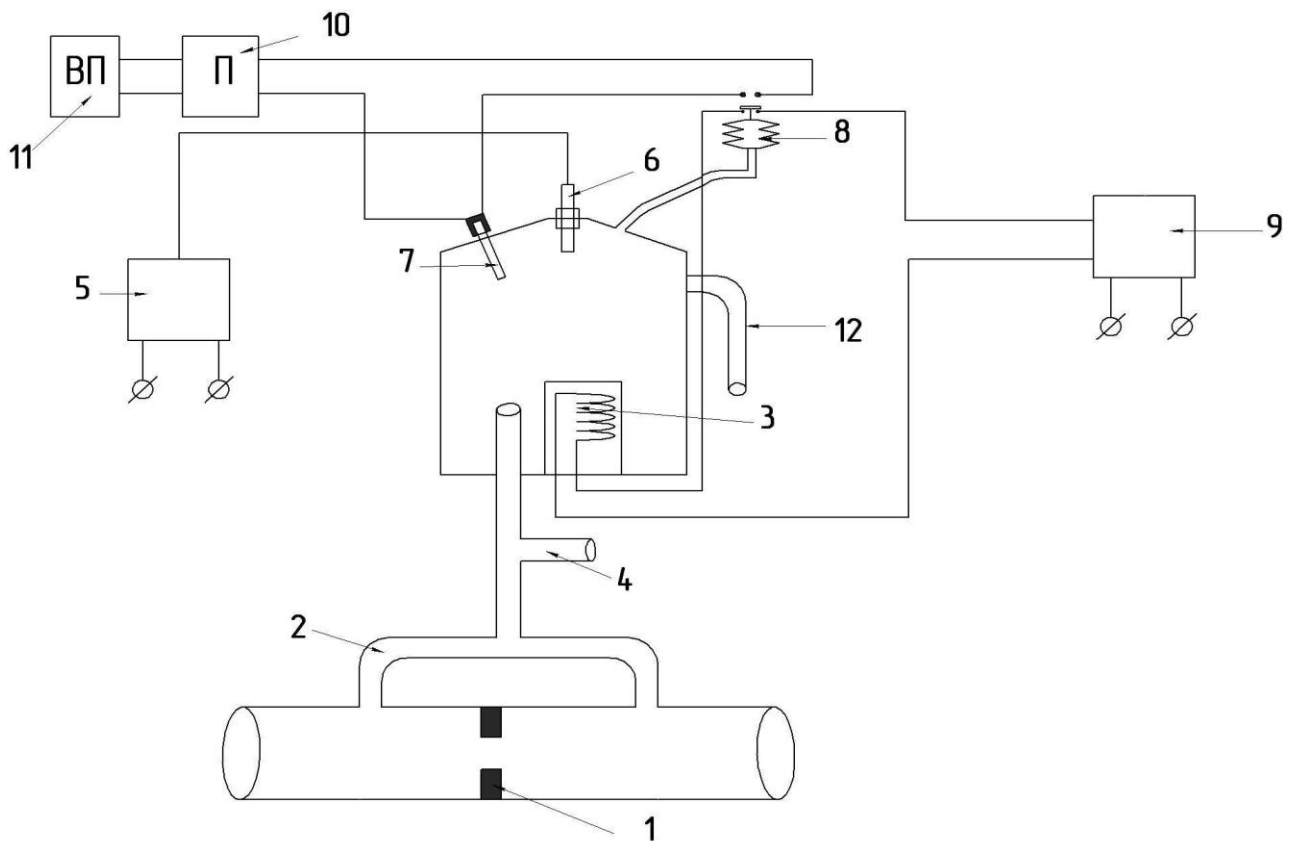


Рис. 6.14. Прилад для визначення температури спалаху нафтопродуктів

Прилад застосовується для визначення температури спалаху гасу, дизельних палив, мастильних олій, гудрону, мазуту, крекінг-залишку тощо. У технологічній лінії, з якої проводиться відбір проби, встановлена діафрагма 1 для створення перепаду тиску, необхідного для циркуляції нафтопродукту у пробовідбірній петлі 2. Проба нафтопродукту надходить до підігрівача 3, змішуючись з повітрям, що подається до приладу по

трубці 4. Нагрівач живиться електричним струмом від блока живлення 9. Зверху у просторі, заповненому пароповітряною сумішшю, встановлена запальна свіча 6, на яку з блоку живлення 5 періодично подається напруга. При цьому утворюється електрична іскра. При досягненні продуктом температури спалаху пароповітряна суміш займається, що викликає моментальне підвищення тиску. При цьому сильфонне реле тиску 8 своїми контактами вимикає живлення нагрівача 9 і підключає вимірювальне коло. Температура спалаху через підсилювач 10 вимірюється приладом 11, до якого підключена термопара 7, встановлена у зоні займання нафтопродукту. Температура пароповітряної суміші знижується.

Якщо при наступних іскрах на запалювачі спалах не виникне, то по мірі зниження тиску у зоні займання знову вмикається підігрівач для нагрівання нафтопродукту до температури спалаху. Таким чином, температура продукту у зоні займання підтримується на рівні його температури спалаху. Границі вимірювання температури для різних типів аналізаторів коливаються у межах від 25 до 360°C з похибкою, що не перебільшує 0,5 %.

6.9. Контроль вологості

Уміст вологи у тій чи іншій речовині характеризується її відносною та абсолютною вологістю.

Під **абсолютною вологістю** газу розуміють масу водяної пари в 1 м^3 газової суміші за нормальних умов. Під **відносною вологістю** ϕ газу розуміють відношення маси (об'єму) водяної пари, що міститься в 1 м^3 суміші, до максимально можливої маси (об'єму) водяної пари в 1 м^3 при тій же температурі. Відносна вологість – величина безрозмірна.

Під вологістю W твердих тіл розуміють відношення маси вологи, що міститься у тілі, до маси вологого матеріалу. Відношення ж маси вологи в тілі до маси абсолютно сухого матеріалу називають вологовмістом.

Прилади для вимірювання вологості називають **вологомірами**.

Існує багато різноманітних методів контролю вологості. При вимірюванні вологості газів частіше використовують психометричний метод та метод точки роси, а для визначення вологості твердих тіл – кондуктометричний метод і метод діелектричної проникності.

Психометричний метод вимірювання вологості газів базується на залежності швидкості випаровування вологи у навколишнє середовище від вологості цього середовища. При цьому вимірюються психометрична різниця ψ , тобто різниця температур, що вимірюються звичайним термометром і термометром зі зволоженою поверхнею. Чим нижча відносна вологість газу, що контролюється, тим інтенсивніше випаровується волога з поверхні вологого термометра, більше

витрачається на це тепла, тим нижча температура вологого термометра та більша різниця ψ . Прилади для вимірювання вологості газу, засновані на психометричному методі, називаються **психрометрами**.

У приладах, які працюють за **методом точки роси**, газ, що контролюється, охолоджується до стану насичення, тобто до точки роси. При незмінному тиску ця точка не залежить від температури газу. Для визначення моменту досягнення точки роси зазвичай використовують металеве дзеркало, температуру якого у момент осідання на ньому конденсату водяної пари фіксують як точку роси. При автоматичному контролі вологості газу за цим методом досягнення точки роси визначається на дзеркальній поверхні за ослабленням потоку світла, що відбивається від дзеркала й сприймається фотоелементом. Вологоміри, що працюють на основі методу точки роси, часто називають також **гігрометрами**. Розглянемо принцип дії автоматичного гігрометра (рис. 6.15).

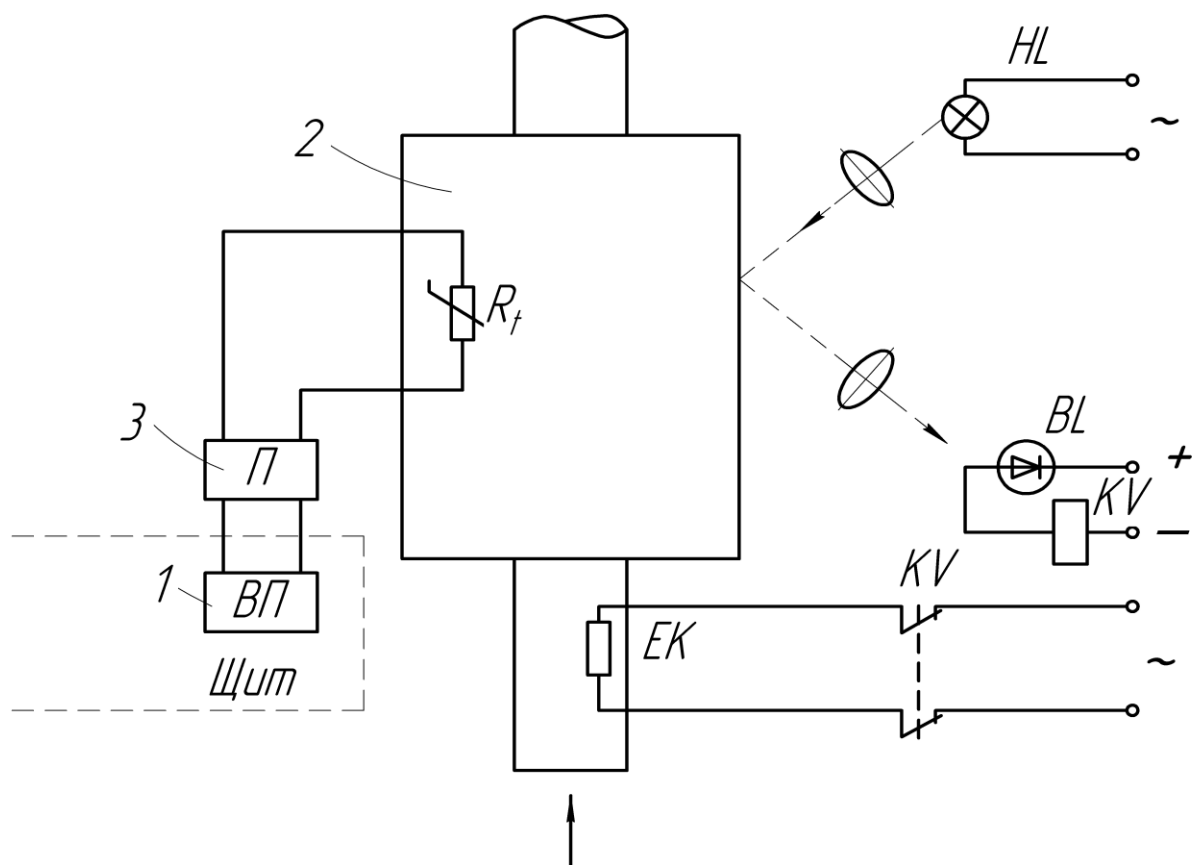


Рис. 6.15. Автоматичний гігрометр

Дзеркалом є відполірована торцова поверхня порожнистого металевого циліндра 2, котрий розміщений у середовищі, що контролюється (вологий газ). Внутрішня порожнина циліндра неперервно охолоджується рідиною, температура якої підтримується сталою за

допомогою електропідігрівача ЕК та електромагнітного реле КV. По обмотці реле протікає струм фотоелемента ВL. Останній сприймає відбитий від поверхні циліндра світловий потік, що створюється лампою розжарення НL через систему лінз, та перетворює його у фотострум .

Температура циліндра вимірюється термометром опору R_t через перетворювальну схему 3 із відповідним вимірювальним приладом 1. При досягненні поверхнею циліндра температури, що відповідає точці роси, на ній з'являється туман, який викликає зменшення енергії світлового потоку, а отже, і зменшення фотоструму в ланцюзі котушки КV. При цьому реле КV вимикається, замикаючи контактами КV ланцюг електропідігрівача ЕК. Рідина нагрівається до температури вище точки роси, що призведе до випаровування вологи з поверхні циліндра та зростання сили струму на виході фотоелемента. Реле знов вимикає електронагрівач.

При неперервній роботі приладу температура поверхні циліндра весь час коливається відносно точки роси.

Як вторинний прилад використовують, як правило, реєструвальний прилад із самописцем, що розташований на щиті або пульті диспетчера.

6.10. Газоаналізатори

Газоаналізатор — вимірювальний прилад для визначення якісного та кількісного складу газів. Розрізняють газоаналізатори ручної дії й автоматичні. Серед перших найбільш розповсюджені газоаналізатори, у котрих компоненти газової суміші послідовно поглинаються різними реагентами.

Автоматичні газоаналізатори безперервно вимірюють яку-небудь фізичну характеристику газової суміші або її окремих компонентів. За принципом дії автоматичні газоаналізатори діляться на 3 групи:

- прилади, що базуються на хімічних методах аналізу. За допомогою таких газоаналізаторов, що мають назву об'ємно-манометричних, визначають зміну об'єму або тиску газової суміші в результаті хімічних реакцій окремих її компонентів;
- прилади, що базуються на допоміжних фізико-хімічних процесах (термохімічні, фотоколориметричні, хроматографічні тощо);
- прилади, що базуються на чисто фізичних методах аналізу (термокондуктометричні, магнітні, оптичні та ін.).

Принцип дії термокондуктометричних газоаналізаторів полягає у вимірюванні теплопровідності газів. Магнітні газоаналізатори використовують в основному для визначення концентрації кисню. Оптичні зановані на вимірюванні оптичної густини або спектрів поглинання газових сумішей.

Нині існують прилади, котрі завдяки унікальній конструкції й програмному забезпеченню здатні в реальному часі проводити аналіз

декількох компонентів газової суміші одночасно (багатокомпонентні газоаналізатори), при цьому записуючи у пам'ять отриману інформацію.

Сучасні газоаналізатори високого класу мають багато додаткових функцій, наприклад:

- вимірювання диференційного тиску газу;
- визначення швидкості й об'ємної витрати газового потоку;
- вбудовану пам'ять;
- безпроводний інтерфейс для передачі даних на пульт керування;
- статистична обробка результатів.

Розглянемо принцип роботи **термокондуктометричного газоаналізатора**, що призначений для безперервного визначення водню, кисню, CO₂, SO₂, синтетичного аміаку та сірчаного ангідриду у газових сумішах. Газоаналізатор працює на базі мостової схеми (рис. 6.16).

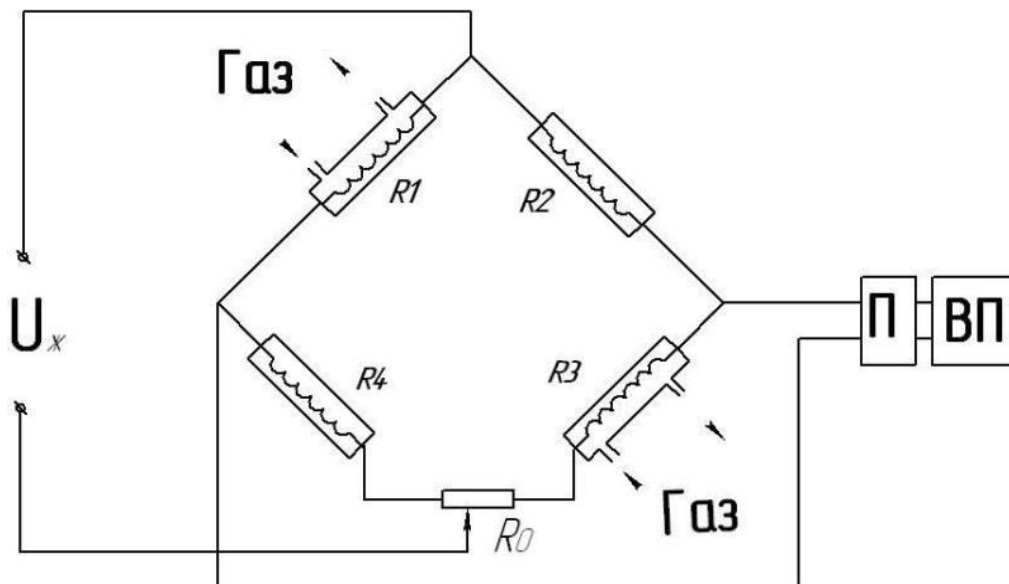


Рис. 6.16. Автоматичний газоаналізатор

Вимірювальна мостова схема газоаналізатора живиться постійним струмом від стабілізованого джерела живлення $U_{ж}$. Плечі мосту являють собою невеликі камери, в яких розташовані платинові спіралі з однаковими опорами R_1, R_2, R_3, R_4 . Чарунки з опорами R_2 та R_4 завжди заповнені повітрям. Перед початком роботи для налаштування приладу через робочі чарунки з опорами R_1 та R_3 також прокачують повітря. Мостова схема знаходиться у рівновазі, а різниця потенціалів на виході мосту дорівнює нулю. Відбувається баланс мостової схеми:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4 .$$

Якщо схема з деяких причин незбалансована, то проводять її налаштування за допомогою реостату R_0 . При цьому показчик приладу ВП повинен знаходитися на нульовій відмітці .

При пропусканні через робочі чарунки з опорами R1 та R3 газу, який аналізується, змінюється тепловіддача спіралей, тому змінюються й самі опори R1 та R3. Баланс мосту порушується:

$$R1 \cdot R3 \neq R2 \cdot R4 .$$

Виникає напруга розбалансу мосту, пропорційна вмісту компонента, що визначається, у газовій суміші. Ця напруга через підсилювач сигналу П вимірюється вторинним приладом (потенціометром ВП), шкала якого відградуєвана у відсотках визначуваного компонента. Інформація може бути записана у пам'ять пристрою. Для усунення впливу температури навколишнього середовища на результат вимірювань блок вимірювальних чарунок термостатований за допомогою електронагрівача.

ТЕМА 7. ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ ЦИФРОВОЇ ТЕХНІКИ

7.1. Поняття логічного елемента

Логічні елементи є мікросхемами, що складають основу пристроїв цифрової обробки інформації. Вони виконують найпростіші логічні операції над цифровою інформацією. На основі логічних елементів створюють різноманітні сучасні системи автоматики, телемеханіки, зв'язку й електронно-обчислювальних пристроїв.

Логічні елементи стандартизовані й уніфіковані за рівнями живлення, вхідними сигналами, навантаженнями і габаритними розмірами. Це значно спрощує процес проектування і технологію виготовлення різних систем автоматики, а також полегшує налагодження, обслуговування і ремонт апаратури.

Для аналізу й синтезу логічних елементів використовують метод математичної логіки – алгебру логіки. Цей метод дозволяє записувати роботу логічного елемента у вигляді рівняння, в якому наявність вхідного або вихідного сигналу позначається одиницею (1), а відсутність – нулем (0). Цим цифрам у реле відповідають два протилежних положення контактів: «Замкнено» та «Розімкнено», а в безконтактних елементах – два рівні вхідної та вихідної напруги (наприклад, нуль – 1В, а одиниця – 5В).

Логічні елементи зазвичай виконують на інтегральних мікросхемах. Залежно від електричних сигналів, що використовуються, логічні елементи поділяють на потенціальні та імпульсні.

У потенціальних елементах логічні «0» та «1» представлені двома різними рівнями електричного потенціалу, а в імпульсних – наявністю та відсутністю перепаду напруги від низького рівня до високого і навпаки. Найбільш розповсюджені потенціальні елементи.

Схеми простих логічних елементів (І, АБО) звичайно будуються на базі діодних ключів. Їх називають пасивними, тому що вони не створюють підсилення сигналу.

У складних схемах вхідний сигнал може розсіюватися, і для його підсилення використовують елементи, які побудовані на транзисторах і мають назву активних. Зазвичай у схемах використовують сполучення активних і пасивних елементів.

7.2. Логічні операції та елементи, що їх реалізують

Існують три основні операції над логічними змінними:

1. Диз'юнкція, або логічне додавання,

$$Y = X1 + X2 .$$

Таку операцію реалізує логічний елемент «АБО». Елемент має два входи $X1$ та $X2$ і один вихід Y . Він побудований таким чином, що одиниця на виході елемента формується в тому випадку, коли на вхід $X1$ або на вхід $X2$, або на обидва входи буде подана одиниця.

2. Кон'юнкція, або логічне множення,

$$Y = X1 \cdot X2 .$$

Таку операцію реалізує логічний **елемент «І»**. Елемент також має два входи $X1$ та $X2$ і один вихід Y . Одиниця на виході цього елемента формується лише у випадку, якщо на вхід $X1$ і на вхід $X2$ одночасно буде подана одиниця.

3. Інверсія, або логічне заперечення,

$$Y = \bar{X} .$$

Таку операцію реалізує логічний **елемент «НЕ»**. Він має один вхід X і один вихід Y . При подачі на вхід нульового сигналу на виході формується сигнал, який відповідає логічній одиниці. Якщо ж на вхід подати одиницю, то на виході елемента буде нуль.

Практично будь-яку логічну комбінацію можна реалізувати за допомогою основних логічних елементів «АБО», «І» та «НЕ», однак деякі операції зустрічаються настільки часто, що елементи, які їх реалізують, одержали власну назву.

4. Інверсія диз'юнкції,

$$Y = \overline{X1 + X2} .$$

Операцію реалізує **елемент «АБО – НЕ»** (стрілка Пірса). Має два входи і один вихід. Елемент являє собою комбінацію елементів «АБО» і «НЕ». Виконує операцію диз'юнкції з наступним запереченням результату.

5. Інверсія кон'юнкції,

$$Y = \overline{X1 \cdot X2} .$$

Операцію реалізує **елемент «І – НЕ»** (штрих Шеффера). Також має два входи й один вихід. Елемент являє собою комбінацію елементів «І» і «НЕ». Виконує операцію кон'юнкції з наступним запереченням результату.

6. Логічне повторення,

$$Y = X .$$

Операцію реалізує логічний **елемент «Буфер»**. Він має один вхід X і один вихід Y . Елемент повторює вхідний сигнал.

При подачі на вхід нульового сигналу на виході формується сигнал, який відповідає логічному нулю. Якщо ж на вхід подати одиницю, то на виході елемента також буде одиниця.

7. Нерівнозначність, або логічне порівняння,

$$Y = \bar{X1} \cdot X2 + \bar{X2} \cdot X1 .$$

Операцію реалізує **елемент «Вимикаюче АБО»**. Має два входи й один вихід, виконує операцію порівняння сигналів. Робота елемента аналогічна роботі елемента «АБО», однак він не формує на виході логічної одиниці, якщо на обидва входи одночасно подані одиниці.

На електричних схемах усі логічні елементи позначаються як DD.

Основні логічні елементи

Назва елемента	Назва функції та її рівняння	Таблиця істинності	Позначення на схемах															
Буфер (повторювач)	Повторення $Y = X$	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>X</td><td>Y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	X	Y	0	0	1	1										
X	Y																	
0	0																	
1	1																	
НЕ (інвертор)	Інверсія $Y = \bar{X}$	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>X</td><td>Y</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	X	Y	1	0	0	1										
X	Y																	
1	0																	
0	1																	
АБО (диз'юнктор)	Диз'юнкція $Y = X1 + X2$	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>X1</td><td>X2</td><td>Y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	X1	X2	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	
X1	X2	Y																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	1																
І (кон'юнктор)	Кон'юнкція $Y = X1 \cdot X2$	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>X1</td><td>X2</td><td>Y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	X1	X2	Y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	
X1	X2	Y																
0	0	0																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																
АБО – НЕ (стрілка Пірса)	Інверсія диз'юнкції $Y = \overline{X1 + X2}$	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>X1</td><td>X2</td><td>Y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	X1	X2	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	
X1	X2	Y																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	0																
І – НЕ (штрих Шеффера)	Інверсія кон'юнкції $Y = \overline{X1 \cdot X2}$	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>X1</td><td>X2</td><td>Y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	X1	X2	Y	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	
X1	X2	Y																
0	0	1																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
Вимикаюче АБО	Нерівнозначність $Y = \bar{X1} \cdot X2 + \bar{X2} \cdot X1$	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>X1</td><td>X2</td><td>Y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	X1	X2	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	
X1	X2	Y																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																

7.3. Елементи послідовної логіки

Ці елементи відрізняються тим, що стан їх виходу залежить від поданих сигналів не тільки у даний момент часу, але й від сигналів, які подані у попередній момент часу. Тобто такі елементи мають властивості запам'ятовування попереднього стану. Також їх називають тактирувальними елементами. Ці елементи будуються на найпростіших логічних елементах «АБО», «І», «НЕ» та їх похідних. До числа найбільш поширених тактирувальних елементів відносять тригери.

Тригер – логічний елемент з двома стійкими станами на виході, який використовується для запису і збереження інформації. Це елементарна комірка пам'яті для зберігання одного біта інформації (логічний «0» або логічна «1»). Тригери мають два виходи (прямий Q та інверсний \bar{Q}), число входів залежить від виду тригера і може бути різним.

Тригери поділяються на **асинхронні** і **синхронізуючі**. В асинхронних стан виходу може змінюватись у будь-який момент часу при зміні вхідного сигналу. Ці тригери мають тільки інформаційні входи. У синхронізуючих стан вихідного сигналу змінюється тільки після потрапляння його на спеціальний синхровхід дозволяючого імпульсу, що має назву синхроімпульсу. Загальною для позначення тригерів на електричних схемах є літера T (рис. 7.1). Наприклад, синхронізуючий **D-тригер**, що будується на 4-х логічних елементах «І – НЕ», на схемах позначається таким чином (тут C – синхровхід):

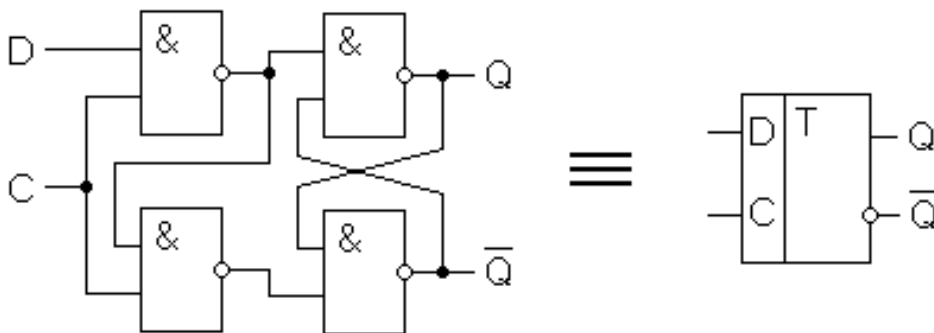


Рис. 7.1. Схема та схемне позначення синхронізуючого D-тригера

Недоліком тригера є те, що він може зберігати лише два стани – «0» або «1». Операційний елемент, який використовується для запису і зберігання двійкових чисел, називається **регістром**. Він складається із ряду паралельно з'єднаних тригерів. Число тригерів у будь-якому регістрі відповідає розрядності двійкових чисел, що записуються.

Регістри можна класифікувати за різними ознаками, серед яких головною ознакою є способи прийому і видачі даних. За цією ознакою розрізняють паралельні регістри, послідовні (зсувні) і паралельно-послідовні (універсальні).

- У **паралельних** регістрах прийом і видача слів виконуються за всіма розрядами одночасно. Функції таких регістрів зводяться тільки до прийому, зберігання і передачі інформації. У зв'язку з цим паралельні регістри називають регістрами пам'яті. У паралельних регістрах зберігаються слова, які можуть бути піддані порозрядним логічним перетворенням.

- У **послідовних** регістрах слова приймають і видають розряд за розрядом. Послідовні регістри називають регістрами зсуву, тому що з появою синхроімпульсу на тактовому вході інформація переміщується в розрядній сітці. Розрізняють односпрямовані регістри зсуву (з напрямом від молодших розрядів до старших або навпаки) та реверсивні з можливістю зсуву інформації в обох напрямках.

- **Послідовно-паралельні** регістри мають входи-виходи одночасно послідовного та паралельного типу. Є варіанти з послідовним входом і паралельним виходом (регістр SIPO, послідовний увід – паралельний вихід), паралельним входом і послідовним виходом (регістр PISO), а також варіанти з можливістю будь-якого поєднання способів прийому і видачі слів.

У регістрі на D-тригерах код числа, що запам'ятовується, подається на інформаційні D-входи і записується з подачею синхроімпульсу, що дозволяє, на об'єднаний C-вхід.

На електричних схемах усі регістри позначаються літерами RG. На рисунку показано зображення 4-розрядного числа регістра на D-тригерах (рис. 7.2, а) та його електрична схема (рис. 7.2, б)

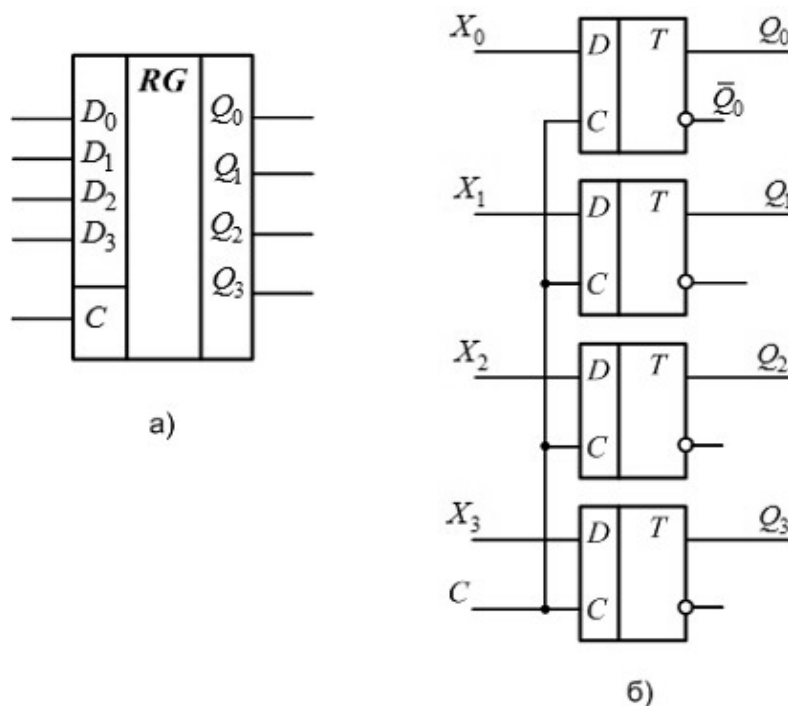


Рис. 7.2. Схемне позначення (а) та схема регістра на D-тригерах (б)
Здебільшого регістри використовують у мікросхемах пам'яті.

Лічильник – операційний елемент, котрий призначений для рахування лічильних імпульсів, які надходять на його вхід. Він складається із декількох послідовно з'єднаних тригерів і використовується для підрахунку імпульсів, що надходять. Лічильники працюють у двійковій системі числення.

Розрядність лічильника відповідає кількості тригерів, котрі в нього входять. Крім того, ця кількість визначається коефіцієнтом рахування, тобто максимальним числом, до якого повинен рахувати такий електронний лічильник. Якщо ж число рахувальних імпульсів, які надходять на лічильник, буде перевищувати коефіцієнт рахування, то при досягненні максимального числа лічильник обнулиться і почне рахувати спочатку. На електричних схемах усі лічильники позначаються літерами СТ.

На рисунку показано схемне позначення (рис. 7.3, а), будова (рис. 7.3, б) та часові діаграми роботи (рис. 7.3, в) 3-розрядного асинхронного лічильника імпульсів на Т-тригерах з керуванням за переднім фронтом імпульсів на лічильному вході

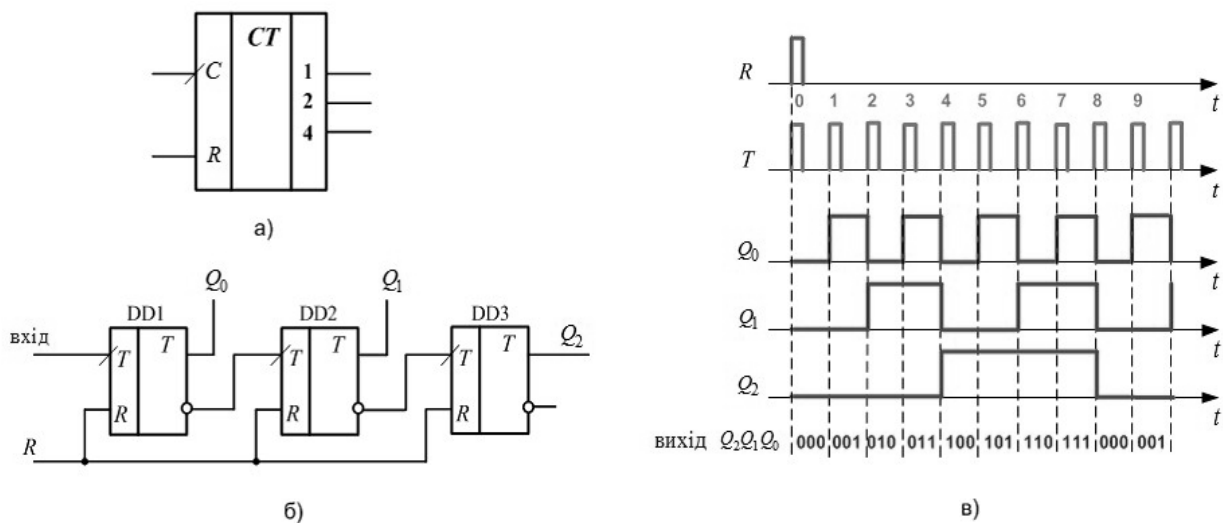


Рис. 7.3. Асинхронний лічильник імпульсів на Т-тригерах

Принцип роботи лічильника полягає в наступному:

- перший розряд лічильника переключується з приходом кожного вхідного імпульсу, що відповідає принципу роботи Т-тригера. На кожні два вхідні імпульси Т-тригер формує один вихідний імпульс;
- другий розряд перемикається в стан логічної одиниці після приходу кожного 2-го імпульсу;
- третій розряд перемикається в стан логічної одиниці після приходу кожного 4-го імпульсу.

Таким чином, на виході формуються двійкові коди 000, 001, 010, ..., що відповідає числу імпульсів, які надійшли до лічильника.

7.4. Структурний аналіз релейно-контактних схем та синтез безконтактних схем

Аналітичні методи структурного аналізу й синтезу релейно-контактних схем базуються на використанні математичного апарату алгебри логіки.

В основу аналітичної форми запису релейних схем покладені такі позначення:

A, B, C, \dots, X, Y – сприймаючі, проміжні та виконавчі елементи (обмотки реле, контакторів, магнітних пускачів);

a, b, c, \dots, x, y – нормально-розімкнені контакти елементів (замикаючі);

— — — — —

a, b, c, \dots, x, y – нормально-замкнені контакти елементів (розмикаючі);

$(a + b + c + \dots + x + y)$ – паралельне з'єднання контактів;

$(a \cdot b \cdot c \cdot \dots \cdot x \cdot y)$ – послідовне з'єднання контактів;

1 – постійно замкнене електричне коло;

0 – постійно розімкнене електричне коло;

F – структурна формула електричної схеми.

Алгебраїчний метод релейно-структурного аналізу може використовуватися для переведення релейно-контактних схем у безконтактні на логічних елементах. Така заміна дозволяє підвищити надійність роботи і швидкодію схеми, знизити експлуатаційні витрати.

Методика переведення релейно-контактної схеми на безконтактну зводиться в основному до таких операцій:

- у результаті аналізу релейно-контактної схеми всі діючі у ній сигнали розділяються на вхідні, вихідні й проміжні із присвоєнням відповідних літерних позначок;
- записують структурні формули для проміжних і вихідних сигналів схеми;
- за структурними формулами складають безконтактну схему на логічних елементах.

Наприклад, візьмемо ділянку релейної схеми (рис. 7.4):

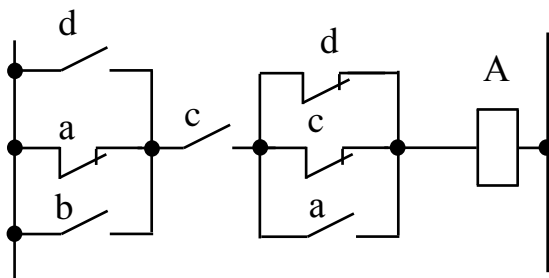


Рис. 7.4. Ділянка релейної схеми

ТЕМА 8. МІКРОПРОЦЕСОРНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

8.1. Основні поняття

Мікропроцесор – пристрій для обробки інформації та керування, який працює відповідно до заданої програми. Мікропроцесор (МП) містить одну або декілька великих інтегральних схем (ВІС) і має дуже широке застосування. **Мікропроцесорна система (МПС)** – обчислювальна, контрольно-вимірювальна або керувальна система, в якій основним пристроєм обробки інформації є МП. Вона може включати один чи декілька МП, пам'ять, пристрої вводу-виводу та низку інших, необхідних для виконання визначених функцій.

МікроЕОМ – це конструктивно завершена МПС, до складу якої входять пристрої зв'язку із зовнішніми пристроями, панель керування, джерело живлення і комплект програмного забезпечення.

Мікропроцесорна автоматична система (МПАС) являє собою автоматичну систему з умонтованими до неї засобами мікропроцесорної техніки. Технічна структура і взаємозв'язок основних засобів у рамках МПАС наведений на рисунку (8.1).

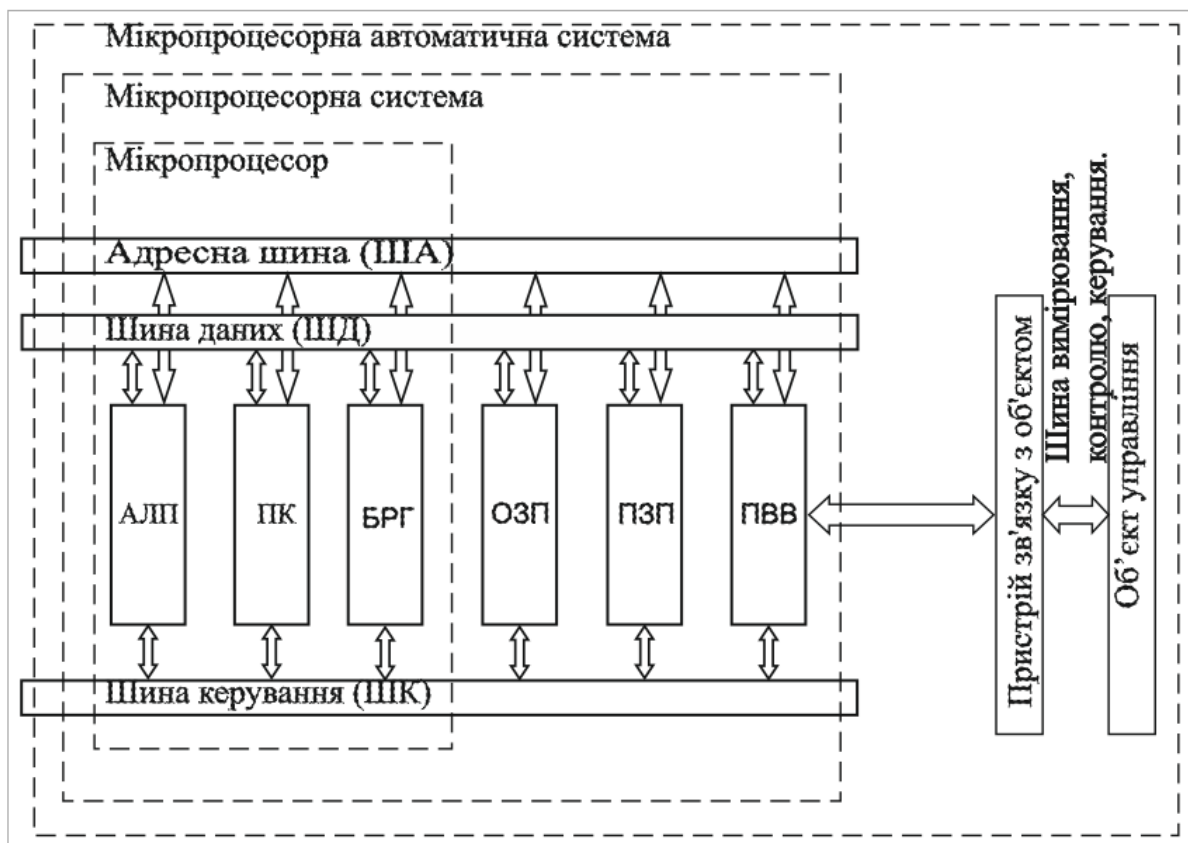


Рис. 8.1. Структурна схема МПАС

До складу МП входять арифметико-логічний пристрій АЛП, пристрій керування ПК і блок регістрів БРГ. МП є складовою частиною МПС та

МПАС. До складу МПС, окрім МП (одного чи декількох), входять оперативний і постійний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП і ПЗП), пристрої вводу-виводу інформації (ПВВ) та ряд інших пристроїв (на схемі не показано). Взаємодія частин МПАС здійснюється за допомогою шин (внутрішній інтерфейс) адреси (ША), даних (ШД) і керування (ШК), що зв'язують у єдину систему компоненти МПС, а також шин вимірювання, контролю і керування, які спільно з відповідними пристроями зв'язку з об'єктом (процесом) забезпечують безпосередньо взаємодію МПС з об'єктом керування чи процесом.

Для мікропроцесорних систем найбільш прийнятною є архітектура з трьома шинами: адресною, даних і керування. Адресна шина завжди є однонапрямленою (відносно МП). Проте за прийнятною шинною організацією як усередині кристалу, так і при підключенні декількох ВІС до однієї зовнішньої шини виникають труднощі, що обумовлені способами зв'язку декількох елементів з однією лінією загальної шини. Можливість підключення до шини декількох входів логічних елементів обмежується лише навантажувальною здатністю схем, до виходу яких ця шина приєднана. За умови використання потужних буферних схем навантажувальна здатність виявляється достатньою для більшості практичних випадків застосування такої шинної організації.

Застосування мікропроцесорних засобів для управління технологічними об'єктами сприяє можливості реалізації розподіленої технічної структури автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСКТП), котра передбачає створення територіально розподілених по технологічних дільницях об'єкта управління автономних мікропроцесорних локальних підсистем керування. При цьому всі локальні підсистеми об'єднуються в єдину систему за допомогою загальної мережі передачі даних. Це забезпечує підвищення надійності розподіленої структури АСКТП за рахунок резервування кожної окремої локальної підсистеми через загальну мережу шляхом програмного забезпечення, яке об'єднує в єдине ціле усі елементи розподіленої технічної структури.

Реалізація такої складної ієрархічної структури та перелічених вище функцій стала можливою лише з розвитком мікропроцесорних засобів, що забезпечують виконання наступних операцій:

- компенсація програмним шляхом недоліків датчиків (нелінійність характеристики, наявність зони нечутливості і зсуву нуля);
- обмеження значень вихідних параметрів регулювання технологічного процесу за математичною моделлю за відсутності необхідних датчиків;
- розрахунок в автоматичному режимі оптимальної структури і параметрів налаштування регуляторів в умовах зміни динамічних властивостей об'єкта керування;

– реалізація ефективних алгоритмів керування за рахунок швидкої перебудови програмним шляхом при зміні динаміки об'єкта, технології виробництва чи ситуації в ході технологічного процесу;

– реєстрація в процесі керування об'єктом не тільки існуючого, але і його попереднього стану, завдяки наявності значної пам'яті мікропроцесорних засобів, що суттєво для аналізу результатів при проведенні дослідницьких робіт.

Мікропроцесор є базовим елементом мікропроцесорних засобів. У МП об'єднані універсальні можливості засобу програмування з перевагами і можливостями, які надає технологія ВІС. Завдяки базовості МП, отриманими новими якостями володіють і ті засоби, до яких входить хоча б один сучасний мікропроцесор.

Мікропроцесор як програмно-керована ВІС, на відміну від звичайних ВІС, містить у своєму складі керуючі елементи, що дозволяють налаштувати її на виконання будь-яких функцій, тобто на реалізацію потрібної залежності між вхідною і вихідною послідовностями електричних сигналів.

Незважаючи на те, що МП володіє властивостями процесора ЕОМ, його не слід уважати тільки елементом обчислювальної техніки. Основна функція МП – перетворювати інформацію, тобто його слід віднести до однієї з груп елементів (пристроїв), що входять до технічних засобів системи автоматичного регулювання та керування. МП сам по собі не здатен реалізувати переробку інформації для розв'язання окремої задачі, його необхідно з'єднати з іншими пристроями, здійснити програмування і забезпечити обмін інформацією з цими пристроями.

8.2. Класифікація мікропроцесорів

1. За функціональним призначенням розрізняють універсальні і спеціалізовані МП (рис. 8.2).

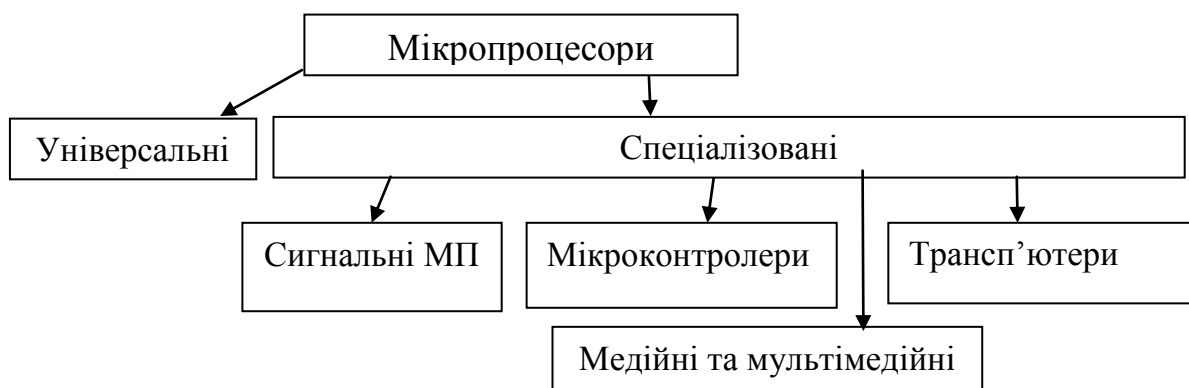


Рис. 8.2. Класифікація мікропроцесорів

Універсальні МП мають алгоритмічно універсальний набір команд, за допомогою якого можна здійснювати перетворення інформації відповідно до будь-якого заданого алгоритму. Продуктивність (швидкодія) таких процесорів практично не залежить від специфіки розв'язуваних задач.

Спеціалізовані МП призначені для розв'язання обмеженого і чітко визначеного кола задач, іноді навіть для розв'язання однієї конкретної задачі. До спеціалізованих МП належать: сигнальні; медійні та мультимедійні; трансп'ютери; мікроконтролери.

Сигнальні процесори (процесори цифрових сигналів) призначені для цифрової обробки сигналів у реальному масштабі часу (наприклад, фільтрація сигналів, обчислення згортки та кореляційної функції, підсилення, обмеження та трансформація сигналу, пряме й обернене перетворення Фур'є).

Серед спеціалізованих МП також можна виділити *мікроконтролери* – це мікропроцесори, що призначені для розв'язання задач керування якими-небудь процесами або пристроями. У сучасній літературі їх часто називають ПЛК (програмовані логічні контролери). Вони мають гнучку логічну структуру, їх програмування може здійснюватися як при виготовленні, так і безпосередньо перед застосуванням, крім того, у процесі експлуатації можна змінювати програму і вводити її з клавіатури або зі спеціального пристрою вводу-виведення інформації. Більшість сучасних АСУТП базується на високонадійних і легко програмованих ПЛК та індустріальних комп'ютерах (ІК). ПЛК і ІК пристосовані до роботи безпосередньо у виробничих умовах і відрізняються тим, що ІК більш ефективно розв'язують задачі обробки і візуалізації великих обсягів інформації на верхніх рівнях складних інтегрованих систем керування, а ПЛК орієнтовані в основному на безпосереднє керування промисловим об'єктом

Медійні та мультимедійні процесори призначені для обробки аудіо-сигналів, графічної інформації, відеозображень, а також для розв'язування багатьох задач у мультимедіакомп'ютерах, іграшкових приставках, побутової техніці.

Трансп'ютери призначені для масових паралельних обчислень і роботи у мультипроцесорних системах. Для них характерним є наявність внутрішньої пам'яті та вбудованого міжпроцесорного інтерфейсу, тобто каналів зв'язку з іншими МП.

На допомогу центральному процесорові в МП-системі іноді вводять *співпроцесори*, орієнтовані на ефективне виконання яких-небудь специфічних функцій. Раніше широко були поширені *математичні* співпроцесори, що обробляють числові дані у форматі з плаваючою комою; *графічні* співпроцесори, що виконують геометричні побудови й обробку графічних зображень; *співпроцесори вводу-виводу*, що

розвантажують центральний процесор від нескладних, але численних операцій взаємодії із зовнішніми пристроями. Можливі й інші співпроцесори, однак усі вони несамотійні – виконання основного обчислювального процесу здійснюється центральним процесором, що відповідно до програми видає «завдання» співпроцесорам на виконання їхніх допоміжних функцій.

2. За кількістю ВІС, використовуваних для побудови функціонально повного МП, розрізняють однокристальні, багатокристальні і багатокристальні секційні МП.

Однокристальні МП реалізуються у вигляді однієї ВІС. Логічна структура багатокристального МП розбивається на складні функціональні вузли, кожен з яких реалізується у вигляді окремої ВІС.

Однокристальні МП можуть бути одноядерними та багатоядерними. *Багатоядерний процесор* має фактично декілька обчислювальних пристроїв, розташованих на одному кристалі, які можуть працювати паралельно та мають спільні кола введення-виведення інформації.

Багатокристальні секційні (розрядно-модульні) МП використовуються для побудови багаторозрядних МП на основі паралельно включених мікропроцесорних секцій. Мікропроцесорна секція являє собою ВІС для обробки декількох розрядів даних (від 2 до 16), котра може використовуватися як самотійно, так і як модуль для побудови МП, що обробляє більш довгі кодові слова. Переважна більшість сучасних універсальних МП є *однокристальними*.

3. За розрядністю оброблюваних кодових слів даних МП можуть бути з *фіксованою* або *нарощуваною розрядністю* слів. Процесорами з нарощуваною розрядністю є тільки багатокристальні секційні МП, усі інші МП обробляють слова фіксованої розрядності.

4. За способом керування обчислювальним процесом розрізняють МП з мікропрограмним і зі схемним (апаратним) керуванням.

Мікропроцесори зі схемним керуванням мають фіксований набір команд, розроблений фірмою-виробником, який не може змінювати користувач. У МП з мікропрограмним керуванням систему команд розробляють при проектуванні конкретного мікропроцесорного комплексу (МПК) на базі набору найпростіших мікрокоманд з урахуванням класу задач, для яких призначений цей МПК. Узагалі *мікропроцесорним комплектом* називають сукупність інтегральних схем, сумісних за електричними, інформаційними та конструктивними параметрами і призначених для побудови електронно-обчислювальної апаратури та мікропроцесорних систем керування.

5. За типом архітектури, або принципом побудови, розрізняють МП з найманівською архітектурою та МП з гарвардською архітектурою.

6. За типом системи команд розрізняють CISC (Complete Instruction Set Computing) – процесори з повним набором команд і RISC (Reduced Instruction Set Computing) – процесори зі зменшеним набором команд.

8.3. Основні характеристики МП

МП, будучи складним обчислювальним пристроєм, реалізованим у вигляді ВІС, характеризується багатьма параметрами і властивостями.

Як ВІС МП може бути охарактеризований наступними параметрами: ступенем інтеграції (розмірами кристала і кількістю транзисторів на ньому), типом корпусу, числом виводів, кількістю і величинами напруг живлення, потужністю, що розсіюється, робочим температурним діапазоном, надійністю, навантажувальною здатністю і т.п. Ці параметри істотно відрізняються у різних процесорів і мають суттєве значення лише для розроблювачів апаратного забезпечення ЕОМ.

Розроблювачі програмного забезпечення ЕОМ використовують інтегральні системні характеристики МП як обчислювального пристрою, до них, наприклад, відносяться: використовувана система команд; структура системи переривань; можливість організації різних структур пам'яті і типів обміну інформацією із зовнішніми пристроями; способи організації спільної роботи декількох процесорів і ін.

Найбільш практично важливими для кінцевого користувача конструктивними і функціональними характеристиками є:

– *розрядність МП*. Іноді цей параметр називають внутрішньою розрядністю МП або розрядністю внутрішньої шини даних (ШД). Фактично це кількість біт інформації, що одночасно може бути записана в кожний з регістрів загального призначення МП. Перші процесори 8086/8088 були 16-розрядними, усі наступні МП цього сімейства, аж до Pentium IV, є 32-розрядними;

– *розрядність шини даних МП*. Іноді цей параметр називають зовнішньою розрядністю МП або розрядністю зовнішньої ШД. Це кількість зовнішніх виводів МП для передачі даних. Розрядність і внутрішньої, і зовнішньої ШД може відрізнятися. Так, наприклад, МП першого покоління сімейства Intel x86 8086 і 8088 відрізнялися тим, що 8088 мав восьмирозрядну зовнішню ШД, а 8086 – шістнадцятирозрядну, хоча розрядність внутрішньої ШД і в того, і в іншого дорівнювала 16. Нині використовуються мікропроцесори з довжиною слова даних 4, 8, 16, 32, 64 біт;

– *розрядність шини адреси (ША)*. Це кількість зовнішніх виводів МП для передачі адресної інформації. Розрядність шини адреси прямо визначає

максимальний обсяг фізично адресованої пам'яті як $M = 2^N$, де N - розрядність ША, де M – обсяг фізично адресованої пам'яті в байтах;

– швидкодія (продуктивність). Це інтегральна характеристика МП, до визначення якої існують різні підходи. По-перше, швидкодія МП істотно залежить від тактової частоти. Підвищення тактової частоти МП однозначно веде до підвищення продуктивності МП, хоча для обчислювальної системи в цілому ця залежність не є лінійною. Крім того, МП різних поколінь, що працюють на одній і тій же тактовій частоті, мають істотно різну продуктивність.

Пікова продуктивність МП – це теоретичний максимум швидкодії МПС за ідеальних умов. Вона визначається як кількість обчислювальних операцій, котрі виконуються за секунду усіма арифметико-логічними пристроями, що є у процесорі. Максимальна швидкодія досягається при обробленні нескінченної послідовності не зв'язаних між собою за даними команд, які також не конфліктують при доступі до пам'яті.

Для оцінювання пікової продуктивності потрібно враховувати тактову частоту процесора, розрядність оброблюваних даних, пропускну здатність та кількість внутрішніх шин, а також перелік функціональних пристроїв. Крім того, треба враховувати, що мікропроцесори використовують дві істотно різні форми представлення чисел: з плаваючою і фіксованою комами (крапками). Перші виконуються переважно блоком виконання операцій із крапкою, що плаває, (математичним співпроцесором), а другі – АЛП самого МП. Тому прийнято окремо оцінювати швидкість виконання МП операцій з числами, представленими в тій й іншій формах. Швидкість виконання цілочисельних операцій (над числами з фіксованою крапкою) вимірюється в **MIPS**, а швидкість виконання операцій із крапкою, що плаває, – у **MFLOPS** відповідно. Крім того, варто враховувати, що продуктивність різних обчислювальних систем, побудованих на тому самому МП, може дуже відрізнятись через архітектурні розходження цих систем.

8.4. Пам'ять МП

За швидкістю обміну інформацією розрізняють такі типи пам'яті: регістрова пам'ять МП, внутрішня кеш-пам'ять, зовнішня кеш-пам'ять, оперативна пам'ять, постійна пам'ять, зовнішня пам'ять (рис. 8.3).

Надоперативна (регістрова) пам'ять МП являє собою сукупність регістрів спеціального призначення. Звернення до неї не потребує виставлення адреси на шину адреси під час зчитування або запису інформації, тому час вибірки складає 5 – 7 нс. Ці елементи пам'яті розміщені безпосередньо в процесорі.

Внутрішня кеш-пам'ять – це оперативна пам'ять статичного типу ємністю 1 –16 кБ, яку також убудовано безпосередньо у МП. Вона працює на тактовій частоті процесора. **Зовнішня кеш-пам'ять** являє собою також

пам'ять статичного типу, однак має значно більшу ємність. Установлюється на системній платі і працює на частоті шини. Кеш-пам'ять являє собою буферну пам'ять, застосування якої дозволяє істотно скоротити кількість звертань до основної пам'яті за рахунок акумуляції (тимчасового зберігання) поточного фрагмента програми у швидкодіючій пам'яті.

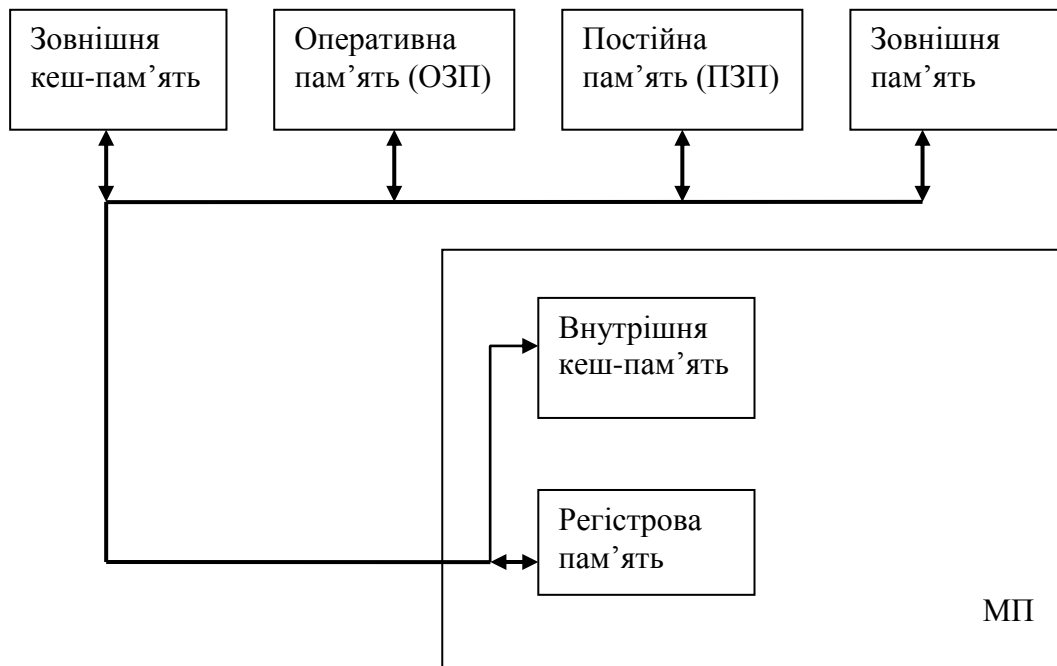


Рис. 8.3. Структура пам'яті мікропроцесора

Оперативна пам'ять (ОЗП) припускає зміну свого вмісту в ході виконання процесором обчислювальних операцій з даними і може працювати в режимі запису, зчитування та зберігання інформації. Таку пам'ять призначено для зберігання змінної інформації – поточних даних, результатів обчислень. Інформація, що записана в оперативну пам'ять, втрачається після вимкнення живлення. Залежно від способу збереження інформації всі ОЗП підрозділяються на статичні (SRAM) і динамічні (DRAM). У статичних ОЗП елементом збереження інформації є тригер, а в динамічних – конденсатор, тривале збереження інформації в яких забезпечується за допомогою режиму регенерації, що компенсує струми витоку в конденсаторі і повторюється через кожні декілька мілісекунд. Пам'ять SRAM дорожча, ніж DRAM, тому для збереження великих об'ємів інформації використовують DRAM, а як швидкодіючу пам'ять – застосовують SRAM.

Постійна пам'ять (ПЗП) являє собою спеціальну мікросхему, що містить інформацію, яка не має змінюватися в процесі виконання програми. Ця інформація заноситься у ПЗП під час виготовлення або на етапі програмування у спеціальному пристрої – програматорі, і у процесі

роботи може тільки зчитуватися. ПП використовується для зберігання таблиць, констант, кодів команд, стандартних підпрограм, наприклад підпрограм BIOS, POS. Записана в ПЗП інформація зберігається і після вимкнення живлення, тому ПЗП називають енергонезалежною пам'яттю.

На сьогоднішній день поняття ПЗП значно розширилося. Нижче перераховані основні типи сучасних ПЗП:

- ПЗП типу ROM з так званим масочним програмуванням у виробника за картою (маскою) замовника – пам'ять тільки для читання;

- ППЗП типу PROM – ПЗП, що однократно програмується користувачем;

- УФ ППЗП (EPROM) – перепрограмований ПЗП, тобто ПЗП, що програмується користувачем з можливістю стирання інформації ультрафіолетовим випромінюванням на спеціальному пристрої, для чого ППЗП на час стирання необхідно витягти зі схеми;

- ЕС ППЗП (EEPROM) – теж програмується користувачем, але з електричним стиранням без витягу ППЗП зі схеми.

З перерахованих типів ПЗП у МП-пристроях промислового призначення найбільш широко застосовуються ПЗП типу PROM і EPROM. ПЗП типу ROM і PROM широко застосовуються в пристроях керування технологічним устаткуванням і різними установками та приладами промислового і побутового призначення, що випускаються масово чи великими опціями й алгоритми функціонування яких протягом життя цього устаткування не змінюються. ПЗП типу PROM є основним типом пам'яті, яка використовується в промисловості для надійного збереження керуючих програм й оперативного їх коректування при модернізації устаткування чи внесенні змін у керований технологічний процес.

Зовнішня пам'ять реалізується у вигляді нагромаджувачів зі змінними і незмінними носіями: на твердих і гнучких магнітних дисках, стримерах, оптичних і лазерних компакт-дисках. В останні роки стали інтенсивно використовувати мікросхеми флеш-пам'яті.

Обмін інформацією з пристроями пам'яті цього типу є найповільнішим, але така пам'ять найбільша за ємністю. Низька швидкодія зовнішніх ЗП (запам'ятовуючих пристроїв) на магнітних носіях зумовлена повільністю роботи електромеханічних пристроїв.

Наявність того або іншого типу пам'яті поза мікросхемою МП зумовлюється функціональним призначенням МП системи. Всі ЗП характеризуються такими основними параметрами:

- розрядністю даних (визначається розрядністю комірки пам'яті);
- інформаційною ємністю (кількість одиниць інформації в бітах, яку ЗП може зберігати одночасно);
- часом вибірки;

- тривалістю циклу звернення (мінімально допустимий інтервал часу між двома послідовними зверненнями до ЗП);
- напругою живлення;
- потужністю енергоспоживання;
- питомою вартістю (відношення вартості ЗП до його інформаційної ємності).

8.5. Будова та принципи функціонування універсальних мікропроцесорів

Можна сформулювати деякі загальні принципи побудови та функціонування універсальних МП:

1. Усі МП працюють у двійковій системі числення.
2. Будь-який МП складається з трьох основних частин: пристрою керування, арифметично-логічного пристрою (АЛП) та ряду регістрів.
3. Обчислювальний процес організовується на основі принципу мікропрограмного управління.
4. МП не є самостійним функціональним пристроєм. Для роботи йому необхідні: пристрій живлення, пристрій уведення-виведення інформації і пам'ять.

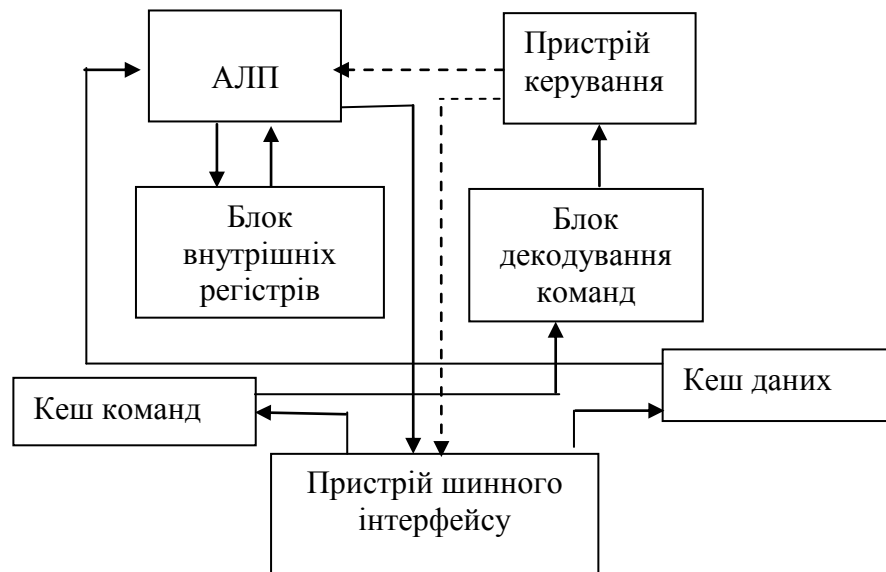


Рис. 8.4. Блок-схема універсального мікропроцесора

Кожен мікропроцесор має у своєму складі **блок внутрішніх регістрів** – набір регістрів різного призначення, частина яких доступна для дій, зумовлених безпосередньо програмістом, – збереження проміжних результатів або адрес даних (рис. 8.4). Ці регістри називаються **регістрами загального призначення**. Інша частина регістрів використовується процесором для службових (системних) цілей, доступ до них може бути обмежений. Це такі регістри: акумулятор, регістр адреси, регістр команд,

стану, програмний лічильник, загального призначення та ін. Наприклад, реєстр команд зберігає код команди протягом усього часу її виконання, реєстр адреси зберігає адресу поточної команди.

У складі внутрішніх реєстрів можна виділити **акумулятор** – реєстр, у якому зберігається один з операндів (операнд – це дані, що обробляються командою). Після виконання команди в акумуляторі замість операнда розміщується результат операції.

АЛП (арифметично-логічний пристрій) – це комбінаційна схема на основі суматора, який сигналами з виходів пристрою керування налагоджується на виконання певної арифметичної або логічної операції над операндами, що пересилаються з пам'яті або реєстрів МП.

Пристрій керування відповідно до кодів команд та зовнішніх керуючих сигналів і сигналів синхронізації виробляє сигнали управління для всіх блоків МП.

Блок декодування команд формує сигнали для пристрою керування згідно з дешифрованим кодом команди. Для прискорення роботи в МП існує *блок випереджальної вибірки*, який самостійно ініціює випереджальну вибірку кодів команд з пам'яті у чергу команд.

Кеш команд (даних) – буферна статична пам'ять, звернення до якої відбувається на частоті функціонування процесора.

Послідовність функціонування мікропроцесора визначається програмним кодом.

Програмний код – це послідовність команд або інструкцій, кожна з яких певним чином закодована і розташована в цілому числі суміжних байт пам'яті. Кожна інструкція обов'язково має операційну частину, що несе процесорові інформацію про необхідні дії. Операндна частина вказує процесорові, де знаходиться його «предмет праці» – операнди. Операнди – це об'єкти у вигляді значення даних, умісту реєстрів або комірок пам'яті, з якими оперує команда.

Одноядерний процесор фактично може виконувати тільки один процес – передачу керування від інструкції до інструкції відповідно до програми, яка виконується. При цьому можуть виконуватися переходи, розгалуження і виклики процедур, але весь цей ланцюжок запрограмований розроблювачем програми. Послідовність виконання інструкцій, запропонована програмним кодом, може бути порушена під впливом внутрішніх або зовнішніх (щодо процесора) причин – виключень і апаратних переривань.

Двоядерні процесори складаються із двох незалежних процесорних ядер, об'єднаних в одній інтегральній схемі, тобто в єдиний кристал. Такі системи сполучають два ядра в одному процесорі. Аналогічна технологія вперше була застосована до персонального комп'ютера й до домашньої ігрової консолі. На відміну від одноядерного, двоядерний процесор може працювати із багатопоточним прикладним програмним забезпеченням,

його операційна система вміє розподіляти програмні потоки окремо по кожному ядру. Це у свою чергу збільшує продуктивність без росту споживання енергії. Аналогічно будуються багатоядерні процесори.

Типова послідовність роботи МП при виконанні якої-небудь команди містить у собі наступні етапи:

- вибірку чергової команди і даних, необхідних для її виконання, з оперативної пам'яті;
- декодування команди;
- власне її виконання;
- запис отриманого результату в оперативну пам'ять.

8.6. Структура типової мікропроцесорної системи керування ТП

Типова мікропроцесорна система працює наступним чином. Інформація з датчиків D_1, D_2, \dots, D_n потрапляє до комутатора сигналів. Вибір датчика технологічної інформації пов'язаний з організацією системи опитування контрольованих параметрів такого об'єкта (або технологічного процесу ТП). На практиці використовують дві основні схеми: циклічного та вибіркового опитування.

Алгоритм циклічного опитування забезпечує послідовне опитування всіх датчиків указанного списку. При вибіркового опитуванні алгоритм запитує у системи управління МП номер потрібного датчика, і після введення поточного значення контрольованого параметра здійснюється обробка отриманого результату.

Важливе значення в обробці аналогових сигналів з використанням мікропроцесорних засобів має фільтрація випадкових перешкод, що з'являються при вимірюванні параметрів технологічного об'єкта. При побудові МП систем використовують різні алгоритми фільтрації. Наприклад, алгоритм усереднення показів забезпечує багатократне опитування датчика у визначений момент часу й усереднює його результати.

Далі сигнали з датчиків перетворюються в цифровий код за допомогою АЦП (аналоغو-цифрового перетворювача) і через блок уведення-виведення потрапляють до мікропроцесорної системи, яка відповідно до програми проводить аналіз значень параметрів на основі заданих уставок, виявляє аварійні ситуації (рис. 8.5). За необхідності формується керуючий вплив на різні частини технологічного процесу. Керівні сигнали у вигляді кодів подаються до ЦАП (цифро-аналогових перетворювачів), з виходу яких аналогові сигнали через блоки підсилювачів (П) потрапляють до виконавчих механізмів (ВМ) та органів, що регулюють (РО). У результаті відбувається вплив на технологічний процес, якщо його параметри відхилюються від заданих. Виконується процес регулювання.

Керівна програма зберігається у блоці пам'яті, також у цей блок подаються дані про хід технологічного процесу. Результати можна спостерігати на пристрої візуального відображення інформації (ПВВІ) – цифрова панель, табло, монітор комп'ютера тощо. Також у разі необхідності ці результати можуть фіксуватися реєструвальним пристроєм.

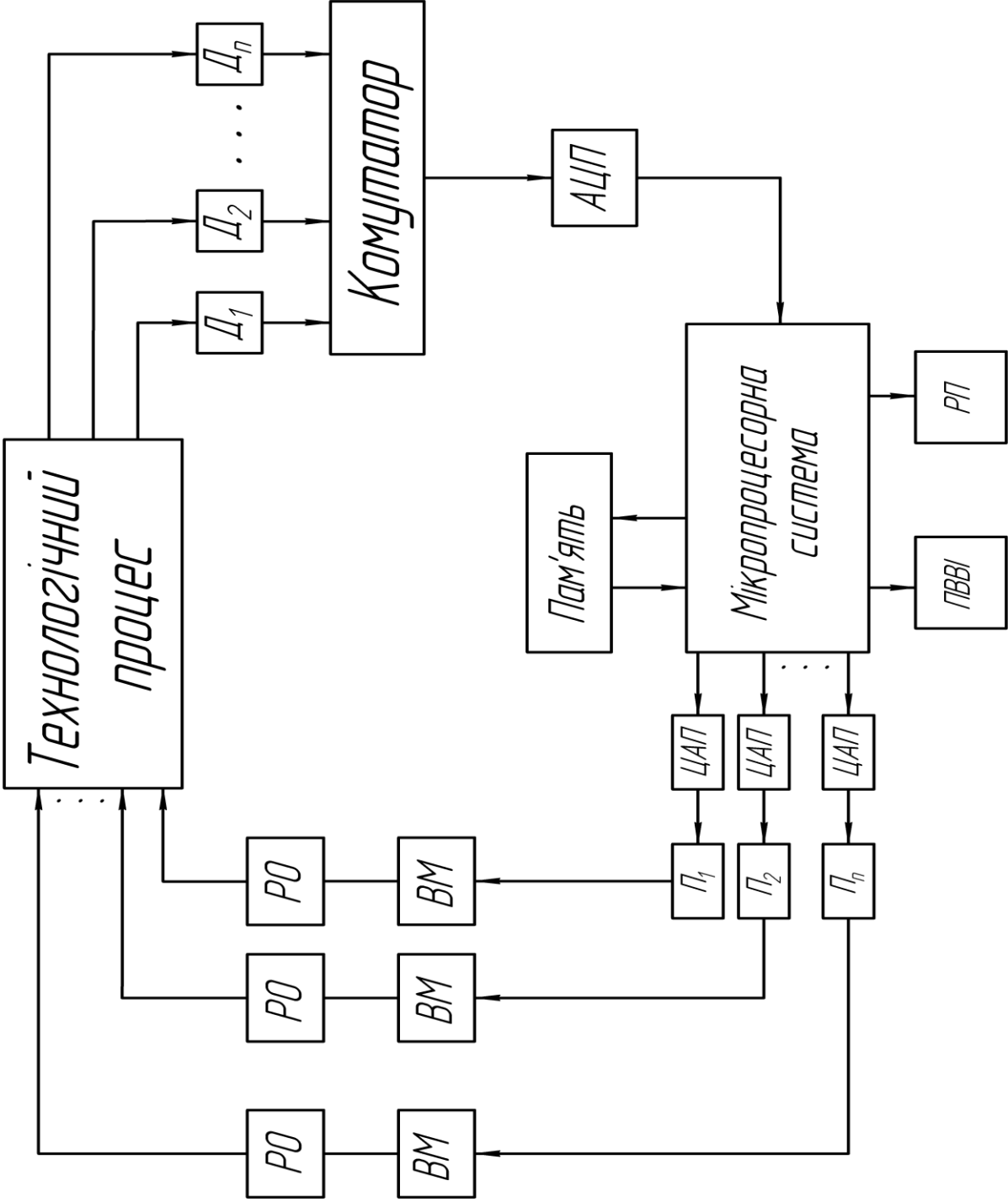


Рис. 8.5. Структура типової мікропроцесорної системи керування ТП

8.7. Модульні програмовані контролери фірми Siemens

8.7.1. Лінійка ПЛК SIEMENS

Програмовані контролери фірми Siemens представлені декількома рівнями складності і відповідно різного цінового діапазону.

Лінійка нижнього рівня ПЛК SIEMENS представлена логічними контролерами типу **LOGO**. Вони гарно підходять для створення засобів найпростішої автоматизації та заміни різноманітних таймерів, реле часу тощо. Також є можливість розширення завдяки наявності різноманітних модулів, але існує обмеження на розширення: так, загальна кількість дискретних входів системи (модуля самого ПЛК та модулів розширення) не може перебільшувати 24, а число дискретних виходів не може бути більшим за 16. Кількість аналогових входів та виходів також обмежена. У системі може бути не більше 8 аналогових входів і 2 аналогових виходів.

Розширення можливе при використанні центрального ПЛК типу LOGO 0BA7, який має у своєму складі порт Ethernet, що дозволяє розширити систему за рахунок мережевого обміну з іншими системами на базі LOGO 0BA7 з власними модулями розширення.

Лінійка початкового рівня ПЛК представлена контролерами **SIEMENS S7-200**. Ці ПЛК дозволяють реалізувати автоматичні системи невисокої складності. Звичайно, передбачено розширення функцій за рахунок різних модулів. Ці модулі розширення мають у своїй номенклатурі модулі роботи з терморезисторами різних типів і термопарами, модулі позиціонування, ваговимірювальні модулі, різні комунікаційні модулі.

Лінійка **SIEMENS S7-300** – модульні програмовані контролери для розв'язання задач автоматизації середнього рівня складності. Вони є найбільш популярними представниками ПЛК компанії Siemens. Мають істотні можливості для розширення – до 32 модулів (4 ряди по 8 модулів у кожному), дозволяють обслуговувати велику кількість сигналів (до 8200 дискретних та 512 аналогових). Набір убудованих технологічних функцій дозволяє розв'язувати завдання швидкісного рахунку, вимірювання частоти або тривалості періоду, ПІД-регулювання, позиціонування, переведення частини дискретних виходів в імпульсний режим.

SIMATIC S7-400 – це модульний програмований контролер, призначений для побудови систем автоматизації середнього і високого ступеня складності. Ефективному застосуванню цих контролерів сприяє можливість використання декількох типів центральних процесорів різної продуктивності, наявність широкої гама модулів уводу-виводу дискретних і аналогових сигналів, функціональних модулів і комунікаційних процесорів.

Основними галузями застосування SIMATIC S7-400 є:

- машинобудування;

- автомобільна промисловість;
- складське господарство;
- технологічні установки;
- системи вимірювання та збору даних;
- текстильна промисловість;
- пакувальні машини і лінії;
- виробництво контролерів;
- автоматизація машин спеціального призначення;
- автоматизація безперервних виробництв.

Контролери SIMATIC S7-400 можуть розв'язувати практично будь-які задачі управління, здатні до максимальної адаптації до вимог розв'язуваних завдань. Характеризуються високою гнучкістю, яка забезпечується простотою використання систем розподіленого вводу-виводу, а також потужними комунікативними спроможностями. Вони відповідають жорстким вимогам промислових стандартів, мають високий ступінь електромагнітної сумісності і високу стійкість до ударних і вібраційних навантажень (рис. 8.6). S7-400 має модульну конструкцію, при цьому установка і заміна модулів контролера, а також підключених до нього станцій систем розподіленого вводу-виводу може здійснюватися без відключення живлення («гаряча заміна»).

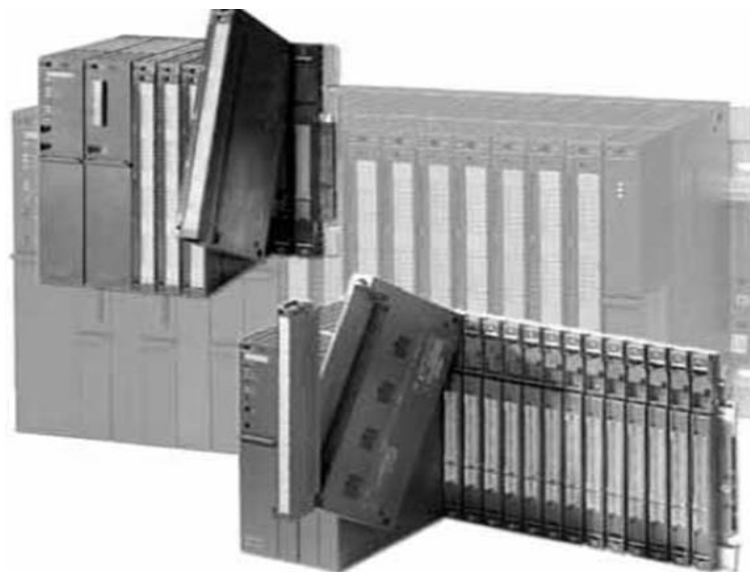


Рис. 8.6. Контролер SIMATIC S7-400

Різновидом лінійки SIMATIC S7-400 є контролери SIMATIC S7-400H з резервованою структурою, що забезпечує високу надійність функціонування системи управління. Вони мають такі додаткові функції:

- резервування всіх основних функцій на рівні операційної системи центральних процесорів;

- високий коефіцієнт готовності, який забезпечується застосуванням конфігурацій систем уведення-виведення, що перемикаються;
- можливість використання стандартних конфігурацій систем уведення-виведення;
- гаряче резервування – автоматичне безударне перемикавання на резервний блок у разі відмови ведучого блока;
- використання резервованих мереж PROFIBUS DP для підвищення надійності функціонування системи розподіленого введення-виведення.

Контролери типу **SIMATIC S7-400F/FH** призначені для побудови систем автоматики безпеки і протиаварійного захисту (систем ПАЗ) з можливістю застосування високонадійного зв'язку через мережі PROFIBUS DP або PROFINET IO з використанням профілю PROFISafe.

Новим рішенням від компанії Siemens є лінійка контролерів типу **SIMATIC S7-1500**. Вона характеризується практично необмеженими можливостями за рахунок збільшеної швидкодії та обсягу пам'яті. Час виконання однієї логічної операції становить 1 нс, а швидкість обміну по внутрішній шині – близько 400 Мб/с. Також удосконалюється і якість програмної підтримки ПЛК.

8.7.2. Склад контролерів SIMATIC S7-400 та призначення основних блоків

Система має у своєму складі наступні модулі:

- модулі блоків живлення (PS) – використовуються для підключення SIMATIC S7-400 до джерел живлення з напругами – 24/48/60/120/230 В або ~ 120/230 В;
- модулі центральних процесорів (CPU) – у складі контролера можуть використовуватися центральні процесори різної продуктивності. Всі центральні процесори оснащені вбудованими інтерфейсами MPI і PROFIBUS DP, а деякі моделі – вбудованим інтерфейсом PROFINET. За необхідності в базовому блоці контролера може бути використано до 4-х центральних процесорів;
- сигнальні модулі (SM) – для введення-виведення дискретних і аналогових сигналів;
- комунікаційні модулі (CP) – для організації послідовної передачі даних через PtP-інтерфейс, побудови систем розподіленого вводу-виводу на основі PROFIBUS DP і PROFINET IO, обміну даними через промислові мережі PROFIBUS, PROFINET і Industrial Ethernet, а також через Internet;
- функціональні модулі (FM) – для розв'язання типових завдань управління, до яких можна віднести швидкісний рахунок, позиціонування, автоматичне регулювання і т.д.

Система уведення-виведення програмованого контролера S7-400 може включати до свого складу дві частини: систему локального і систему розподіленого вводу-виводу.

Система локального уведення-виведення утворюється модулями, що встановлюються в монтажні стійки контролера, а також монтажні стійки SIMATIC S5. У найпростішому випадку ця система включає до свого складу тільки модулі, встановлені в базовий блок контролера. Застосування системи локального введення-виведення рекомендується у випадках розміщення базового блока і стійок розширення на невеликих відстанях один від одного, наприклад, в одній або декількох шафах управління, що стоять поруч. Стійки розширення, які не одержують напруги живлення від передавального інтерфейсного модуля, повинні комплектуватися власними модулями блоків живлення.

Розподілена система вводу-виводу інформаційних сигналів являє собою рознесені в просторі вузли збору й обробки даних, до яких підключаються датчики та виконавчі механізми.

Система розподіленого введення-виведення лінійки SIMATIC S7-400 може включати до свого складу:

- станції систем розподіленого вводу-виводу і прилади польового рівня, що підключаються до контролера через мережі PROFIBUS DP і PROFINET IO;

- прилади польового рівня AS-Interface, що підключаються до мережі PROFIBUS DP через комунікаційний модуль DP / ASi Link Advanced або до мережі PROFINET IO через комунікаційний модуль IE / ASi Link PN IO.

PROFIBUS і PROFINET – два мережеві протоколи для передачі інформації, які широко розповсюджені у сфері автоматизації:

- PROFIBUS – протокол з класичною шинною топологією (швидкість передачі інформації – до 12 Мбіт/с);

- PROFINET – стандарт промислової мережі Ethernet з додатковими можливостями, які дозволяють зробити обмін даними більш швидким й гнучким (швидкість передачі інформації може дорівнювати 1 Гбіт/с, або 100 Мбіт/с).

При цьому для обох протоколів можлива як провідна, так і безпроводна передача (Wi-Fi, Bluetooth).

8.7.3. Програмування ПЛК Simatic

Програмування проводиться за допомогою Simatic Manager, що є програмним забезпеченням фірми Siemens для розроблення систем автоматизації на основі програмованих логічних контролерів типу Simatic S7 та WinAC.

Simatic Manager забезпечує написання програм у трьох редакторах:

- 1) LAD (Ladder Diagram) – релейні діаграми. Редактор графічно відображає програму у вигляді, схожому на електричну монтажну схему. Логічні схеми дозволяють програмі імітувати проходження електричного струму від джерела напруги через ряд логічних умов на входах, які активізують умови на виходах. Джерелом напруги виступає шина, котра

перебуває зліва. Основними елементами є нормально замкнуті і нормально розімкнені контакти. Відповідно замкнуті контакти дозволяють потоку сигналу протікати через них до наступного елемента, а розімкнуті контакти – перешкоджають протіканню потоку сигналу.

Логіка ділиться на сегменти, так звані нетворки (Network), при цьому програма виконується зліва направо і зверху вниз. Особливостями редактора LAD є простота у використанні і розумінні для початківців-програмістів. В Америці мова релейних діаграм – найбільш розповсюджена мова для програмування нескладних ПЛК. Ladder Diagram також широко розповсюджена по всьому світу.

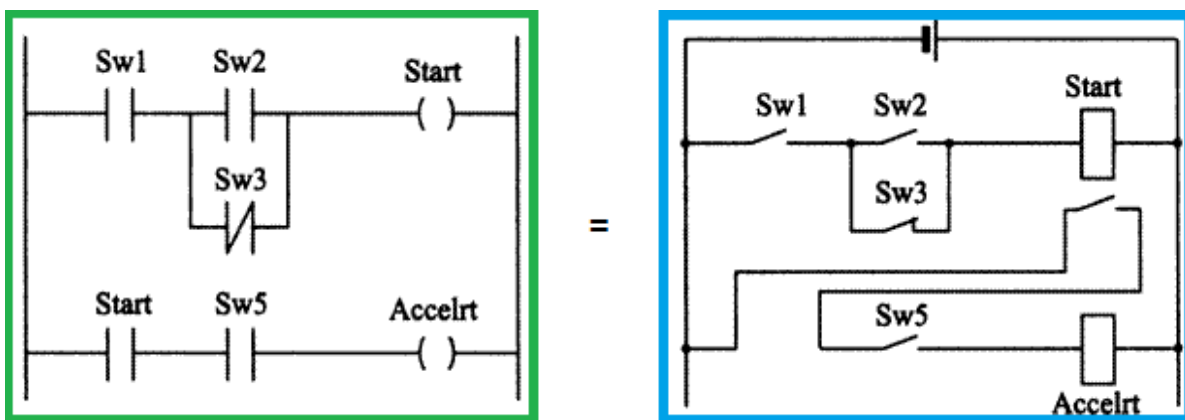
Розглянемо приклад побудови програми за релейною схемою.

Елементи схеми в програмі LAD прийнято зображати такими символами:

- ||- контакт нормально-розімкнений;
- |/|- контакт нормально-замкнений;
- ()- котушка реле;
- (/)- котушка реле інверсна.

У мові LAD для кожного контакту є логічна змінна, яка визначає стан контакту. Для нормально-розімкнутого контакту змінна приймає значення «ІСТИНА», коли контакт замкнений, або приймає значення «БРЕХНЯ», коли контакт розімкнуто (рис. 8.7). Напис над контактом – це ім'я змінної та одночасно назва контакту. При послідовному з'єднанні кількох контактів логіка рівноцінна операції «І». Паралельно з'єднані контакти відтворюють логічну операцію «АБО». Ланцюг замкнутий – «ON», розімкнутий – «OFF», що позначається на стані обмотки реле і на значенні логічної змінної стосовно обмотки «БРЕХНЯ» або «ІСТИНА». Обмотки реле також можуть бути інверсними: це означає, що логічна змінна набуває інверсного значення по відношенню до стану ланцюга: струм тече – «БРЕХНЯ», струму немає – «ІСТИНА».

В результаті маємо програму:



LAD-діаграма

електричне коло

Рис. 8.7. Програмування в редакторі LAD

Недоліком програми є те, що ця мова не підходить для програмування складних процесів, тоді простота втрачається й аналіз стає дуже складним;

2) FBD (Function Block Diagram) – функціональні блокові діаграми. Цей редактор відображає програму у вигляді звичайних логічних схем. Контактів немає, але є еквівалентні функціональні блоки. У такому редакторі не використовується поняття «потік сигналу», як у LAD, його висловлює аналогічне поняття потоку управління через логічні блоки FBD. Потоком сигналу називається стан «1» через елементи FBD. Логіка програми впливає із зв'язків між функціональними блоками, що позначають команди. Графічне представлення функціонального плану чітко відображує процес виконання програми.

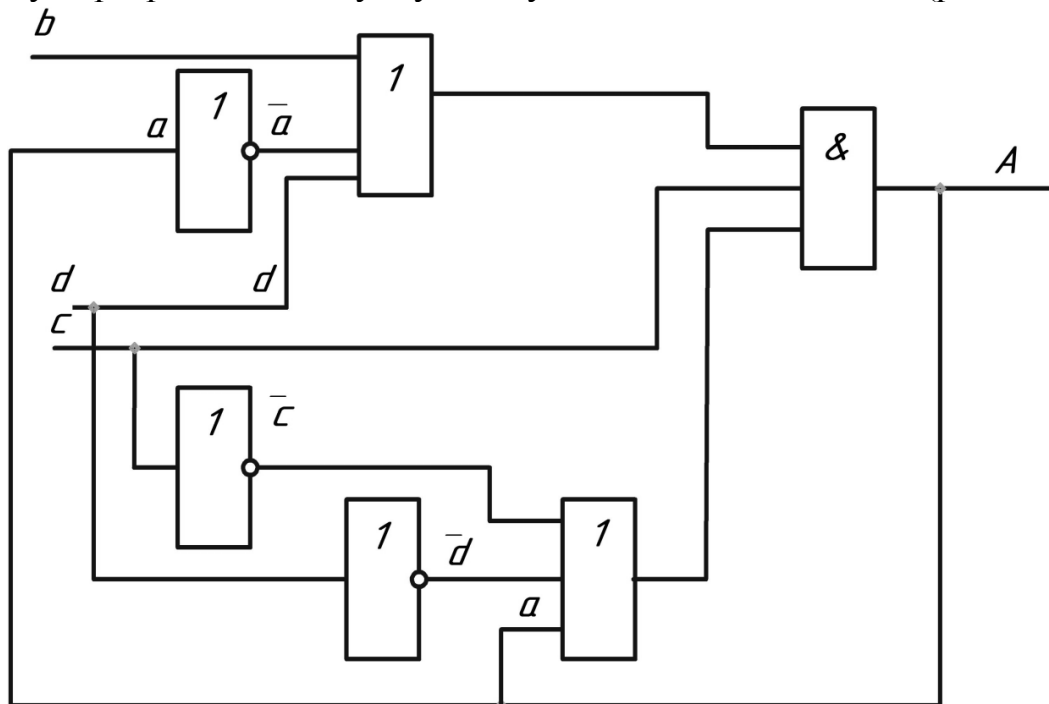
Таким чином, програма, написана на графічній мові FBD, являє собою набір пов'язаних між собою функціональних блоків, виходи і входи котрих з'єднані лініями зв'язку. Лінії зв'язку відображають певні програмні змінні, через які відбувається обмін даними від блока до блока.

Кожен окремий блок виконує конкретну функцію (логічне «і», «не», «або», лічильник і т. д.). При цьому один блок може мати кілька виходів і входів. Спочатку значення змінних задаються або константами, або зі спеціальних входів, а виходи їх зв'язуються далі з іншими змінними програми або з виходами ПЛК.

Раніше був розглянутий приклад побудови схеми на логічних елементах відповідно до ділянки релейної схеми (рис. 7.4)

$$A = (\bar{d} + a + b) \cdot c \cdot (\bar{d} + c + a).$$

Було розроблено наступну схему на логічних елементах (рис. 7.5)



У програмі FBD реалізація цієї схеми має вигляд (рис. 8.8)

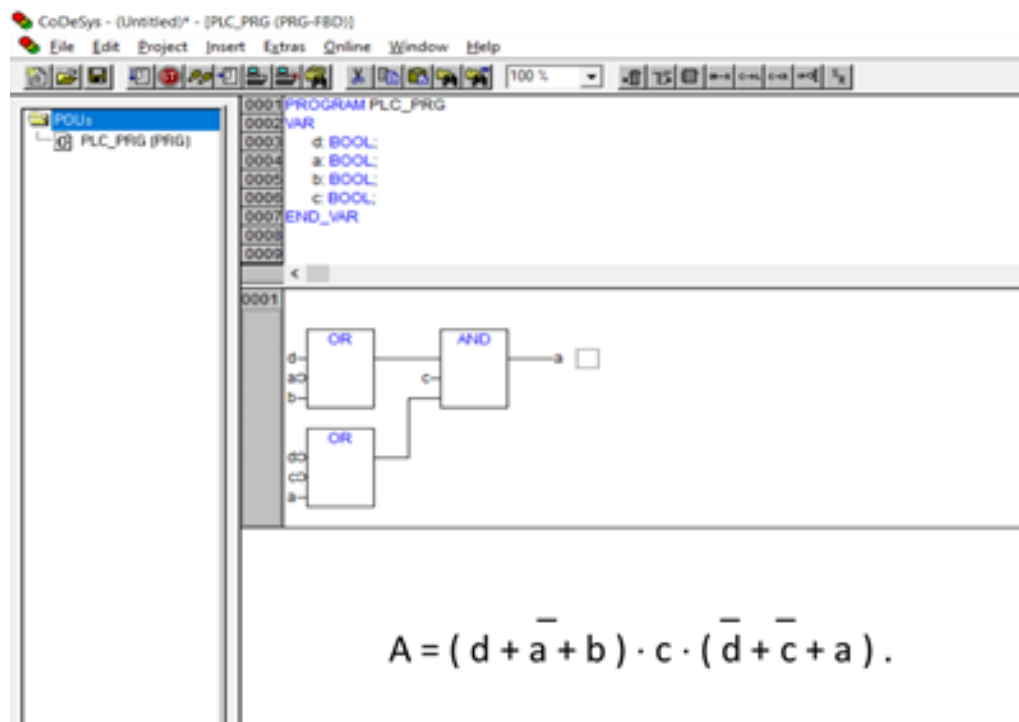


Рис. 8.8. Програмування в редакторі FBD

Можна побачити, що побудована у програмі FBD схема значно простіша за вихідну.

Перевага мови FBD перед мовою релейних діаграм LD збільшується зі збільшенням складності алгоритму управління. Алгоритм управління, написаний у FBD, дозволяє легше, ніж у LD, відстежувати зміни у програмі та шукати помилки під час налагодження;

3) STL (Statement List) – список інструкцій. Такий редактор дає можливість створювати програми, вводячи мнемонічні позначення команд. У цьому редакторі можна створювати програми, які неможливо створити в редакторах LAD і FBD. Програмування в STL дуже схоже на програмування на асемблері, тільки специфічне. ПЛК виконує команди в порядку, визначеному програмою, зверху вниз, потім починає спочатку. За допомогою редактора STL завжди можна подивитися або відредагувати програми, створені на LAD або FBD, зворотна дія не завжди можлива.

ТЕМА 9. АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ОБ'ЄКТІВ НГП

9.1. Засоби автоматизації бурових установок

Концепція максимальної автоматизації бурових установок дозволяє здійснювати більшість робочих операцій процесу буріння, включаючи спуско-підйомні операції (СПО) колон бурових і насосно-компресорних труб, з найкращими експлуатаційними показниками. Повністю автоматизований трубний маніпулятор, що керується з кабіни бурильника, дозволяє виконувати СПО без втручання оператора. Функції робочих обмежуються лише змащуванням різьбових з'єднань труб та зміною компонентів низу бурильних колон. Таким чином, для експлуатації автоматизованих бурових установок потрібна менш чисельна бурова бригада, ніж для традиційних бурових. Така система функціонує автоматично в послідовності, що задається програмованим логічним контролером, при цьому в оператора-бурильника зберігається можливість керувати усіма системами бурової зі свого пульта управління в кабіні.

Важливим елементом, що дозволяє експлуатувати бурові установки в автоматичному режимі, є гідравлічний силовий трубний ключ з автоматичними захватами, який розміщується позаду закріпленої частини основи мачти, регулюється по висоті і керується з пульта бурильника, обертаючись уперед і назад відносно центру свердловини для згвинчування та розгвинчування трубних з'єднань без використання ручної праці.

Іншим важливим елементом таких бурових установок є можливість забезпечення автоматичного буріння з постійним навантаженням на долото або з постійною швидкістю буріння, котрі вибираються оператором-бурильником зі свого пульта. Також можна встановлювати максимально можливе значення навантаження на гаку.

9.2. Автоматичні регулятори подачі долота

Під подачею долота розуміють послідовне опускання верхньої точки бурильної колони, що здійснюється в процесі руйнування породи. У встановленому режимі швидкість подачі долота повинна бути рівна швидкості буріння породи. Якщо швидкість подачі буде перебільшувати швидкість буріння, то навантаження на забій буде зростати, що може викликати викривлення стовбура свердловини або поломку бурильних труб. Якщо ж швидкість подачі долота буде нижчою за швидкість буріння, то навантаження на забій буде зменшуватися, що призведе до зменшення швидкості буріння.

При ручній подачі бурильник, керуючись показниками приладів (амперметра в колі статора бурового двигуна й індикатора ваги),

періодично розгальмовує барабан лебідки, що приводить до подачі долота. Таким способом досить складно здійснити плавну й рівномірну подачу, в результаті чого відбувається зниження якісних і кількісних показників буріння.

При використанні автоматичних регуляторів долото подається на забій автоматично залежно від параметрів, котрі характеризують процес буріння, наприклад тиску на забій або струму двигуна. Нині існує декілька десятків різних конструкцій автоматичних регуляторів долота. Відповідно до місця розташування вони бувають **наземні** або **глибинні**. Наземні регулятори у свою чергу діляться на електромашинні, гідравлічні й фрикційні.

Якщо конструкція силового вузла дозволяє тільки опускати бурильну колону, то такі регулятори мають назву **пасивних**, а якщо не тільки опускати, але й піднімати – то регулятори називають **активними**.

Електромашинні активні регулятори подачі долота типу РПДЕ призначені для підтримки режимів буріння свердловин при турбінному і роторному бурінні. Вони входять у комплект серійних бурових установок останніх випусків (рис. 9.1).

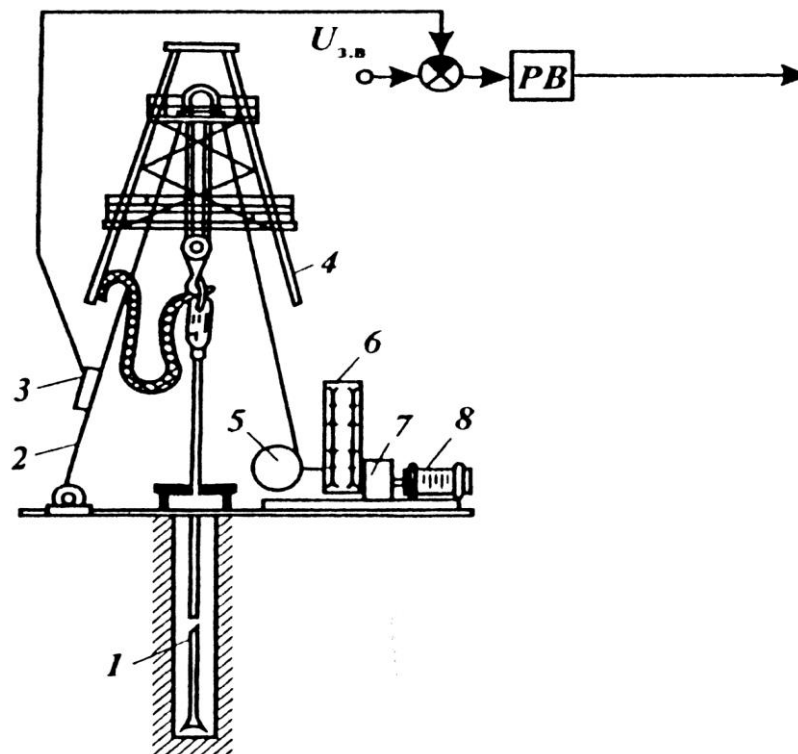


Рис. 9.1. Регулятор подачі долота:

- 1 – бурильний інструмент; 2 – талевий канат; 3 – датчик ваги;
 4 – бурою вишка; 5 – барабан лебідки; 6 – ланцюгова передача;
 7 – редуктор; 8 – електродвигун; РВ – регулятор ваги

Регулятори забезпечують режим підтримки заданого значення навантаження на долото, тобто основний режим, й режим підтримки

заданого значення швидкості подачі долота. Такі типи регуляторів оснащені електроприводом, що працює за системою «тиристорний перетворювач – двигун» (ТП-Д). Як двигун застосовують двигун постійного струму (ДПС).

Вхідною величиною для об'єкта регулювання є швидкість подачі, а вихідною – навантаження на долото. У серійних регуляторах подачі електромашинного типу використовують метод підтримки навантаження на долото шляхом формування швидкості подачі як величини, що пропорційна розузгодженню між поточним і заданим значенням навантаження. При цьому навантаження на долото є різницею між повною вагою колони бурових труб і зусиллям на гаку. Залежно від вантажопідйомності бурової установки використовують два виконання вимірювального вузла датчика ваги (ДВ) – пружне кільце розтягу або чашечну мембрану.

Розглянемо роботу автоматичного регулятора подачі долота за функціональною схемою (рис. 9.2).

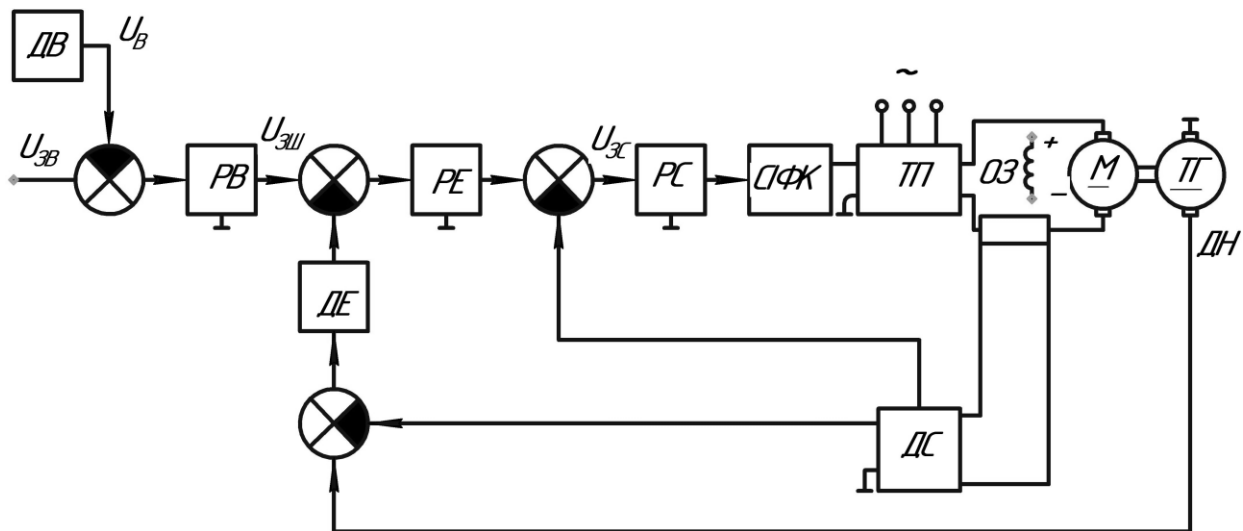


Рис. 9.2. Функціональна схема регулятора подачі долота

Різниця між сигналом завдання ваги $U_{зв}$ і сигналом, що подається від датчика ваги $U_{в}$, впливає на регулятор ваги (РВ), вихідний сигнал якого є сигналом заданого значення ЕРС (у встановленому режимі сигналом заданого значення швидкості подачі долота $U_{зш}$) для регулятора електрорушійної сили РЕ. Таким чином, зміна зусилля на гаку при бурінні призводить до зміни сигналу на виході регулятора РВ, що є сигналом завдання для контуру регулювання швидкості подачі долота (контуру ЕРС).

Система керування електроприводом складається з двох контурів регулювання: внутрішній контур регулювання струму включає в себе регулятор струму (РС), систему імпульсно-фазового керування СФК,

тиристорний перетворювач (ТП) й датчик струму (ДС). Сигнал датчика струму знімається з шунтуючого опору. Зовнішній контур регулювання ЕРС включає в себе регулятор ЕРС (РЕ), контур регулювання струму й датчик ЕРС (ДЕ). Сигнал, що пропорційний ЕРС двигуна, отримують як різницю сигналів датчиків напруги (ДН) і струму (ДС). Як датчик напруги застосовують тахогенератор постійного струму (ТГ).

Система автоматичного регулювання працює за принципом відхилення, тобто відхилення навантаження від заданого значення через систему керування змінює швидкість подачі долота і відновлює навантаження на долото до заданого значення. Реверсування електродвигуна відбувається зміною полярності обмотки збудження двигуна постійного струму М.

У системі управління таких регуляторів передбачені захисти:

- швидкодіючий захист від аварійних перевантажень по струму;
- захист тиристорного перетворювача від комутаційних перенапруг;
- захист від перебільшення максимально допустимої швидкості приводного електродвигуна;
- захист від перевантаження талевої системи бурової установки за допомогою системи обмеження стопорного струму електродвигуна.

Досвід експлуатації регуляторів типу РПДЕ показав, що такий спосіб регулювання швидкості дає гарні результати при проходженні відносно м'яких порід. При бурінні твердих порід у системі можуть виникати небажані автоколивальні процеси.

Розглянемо структурні схеми автоматизованих систем керування режимом буріння свердловин, які відрізняються від вищерозглянутої типової структурної схеми управління, що складалася впродовж багатьох років.

Відмінності схем обумовлені такими причинами:

1) неможливістю підтримування заданих параметрів режиму буріння при проходженні похило-спрямованих і горизонтальних свердловин з великим відхиленням вибою, навіть у разі застосування телеметричних систем контролю вибійних параметрів, що спричиняє зменшення ефективності й якості будівництва свердловин;

2) важкопрогнозованим впливом сил тертя бурильної колони об стінки свердловини, що вимагає пошуку альтернативних способів керування режимом буріння, які не залежать від характеру взаємодії бурильної колони зі стінками свердловини, а саме додатково до регулювання осьової сили в основному контурі механізму подачі долота введення гідравлічного контуру регулювання. Це обумовлено тим, що осьова гідравлічна сила від перепаду тиску у вибійному двигуні, котра діє в нижньому перетині колони, залежить від витрати промивальної рідини.

Отже, в таких випадках потрібний перехід до двоконтурного керування – за осьовою силою на долото і за витратою промивальної

пульт управління; МК – мікроконтролер; ПВН – пристрій введення і налаштування; ПК – переносний комп’ютер; СК – стаціонарний комп’ютер; Р – редуктор; БЛ – барабан лебідки; ТМ – талевий механізм; В – вертлюг; БН – буровий насос; ЕД – електродвигун; ТП – тиристорний перетворювач; БК – бурильна колона; ТС – телесистема; ВД – вибійний двигун; Д – долото.

Параметри завдання виставляються оператором через пристрій введення і налаштування (ПВН) і передаються до мікроконтролеру (МК), який працює відповідно до закладеного алгоритму керування. За відхилення контрольованих параметрів від заданих значень подається керуючий сигнал на відповідний тиристорний перетворювач (ТП), що змінює швидкість обертання електродвигуна (ЕД) або бурового насоса (БН), або барабана лебідки (БЛ) через редуктор (Р). Тим самим виконується процес керування режимом буріння свердловини. Контрольовані параметри можна спостерігати на пульті управління (ПУ).

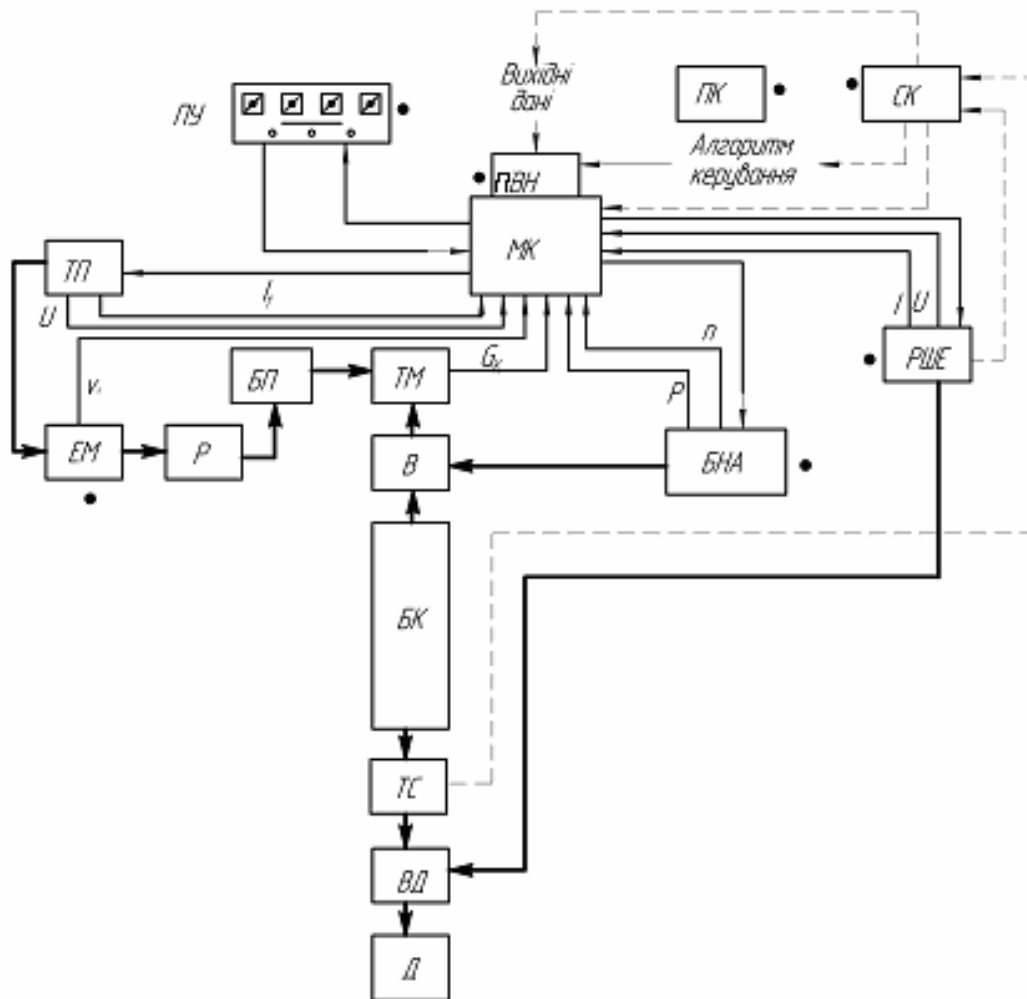


Рис. 9.4. Структурна схема системи автоматизованого керування режимами електробуріння

Друга структурна схема призначена для автоматизованого керування бурінням свердловин електробурами нового покоління (рис. 9.4) з регульованою частотою обертання.

У схему введено такі додаткові блоки: БНА – буровий насосний агрегат; РШЕ – регулятор швидкості електробура. Принцип роботи аналогічний схемі, що зображена на рис. 9.3.

Третя структурна схема запропонована для автоматизованого керування бурінням свердловин гідравлічним вибійним двигуном в установках з колоною безперервних гнучких труб, яка орієнтована на мобільні колтюбінгові бурові установки (рис. 9.5).

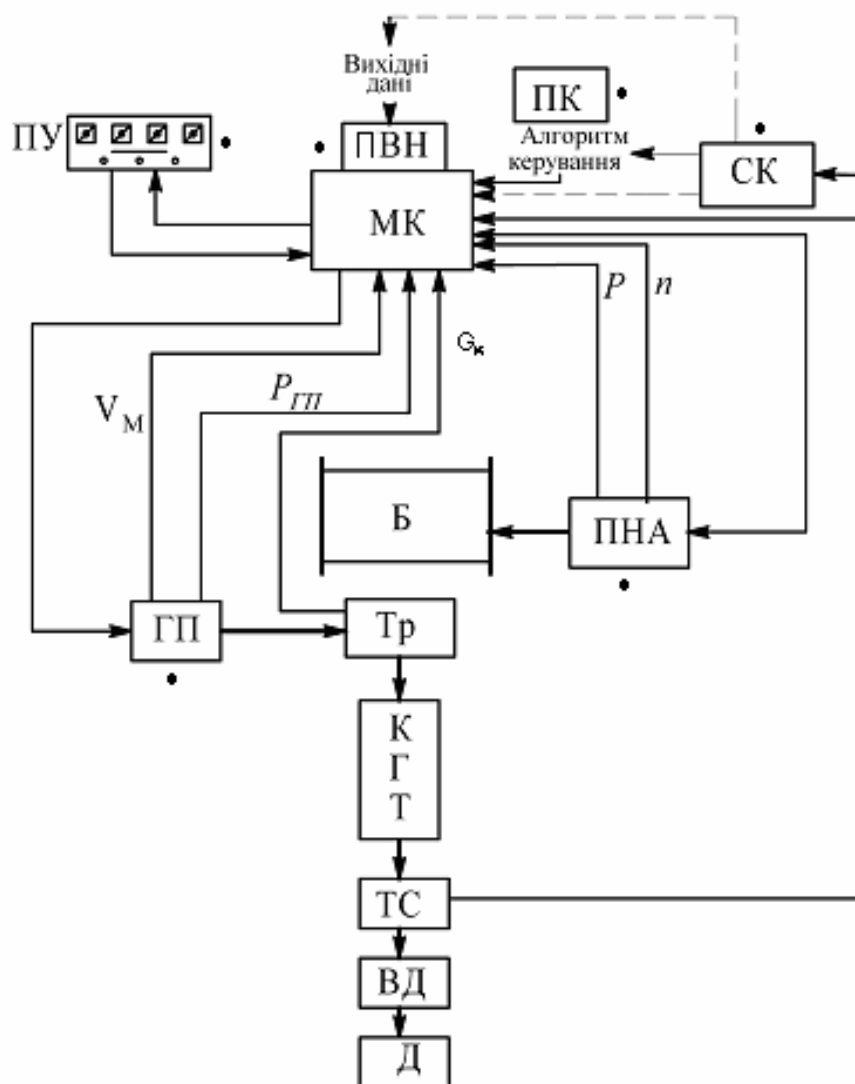


Рис. 9.5. Структурна схема автоматизованої системи керування для колтюбінгового устаткування

Додаткові блоки схеми: КГТ – колона гнучких труб; Б – барабан з КГТ; Тр – транспортер; ГП – об’ємна гідропередача; ПНА – промивальний насосний агрегат. Тут основний вплив відбувається через гідропередачу на транспортер колони гнучких труб КГТ.

Колтюбінговий спосіб буріння (coiled tubing) базується на використанні безмуфтових гнучких труб і широко застосовується для буріння як нових свердловин, так і нових стовбурів зі старих свердловин. Висока технічна й економічна ефективність досягаються при бурінні похилих і горизонтальних бокових стовбурів з існуючих свердловин.

Перевагою усіх розглянутих схем є те, що вони можуть бути реалізовані шляхом модернізації штатних систем регулювання, які перебувають в експлуатації або проектуються.

Недоліком цих систем є складність інформаційного забезпечення у зв'язку з необхідністю організації каналу зв'язку вибою з гирлом свердловини і виділення складової перепаду тиску у вибійному двигуні на тлі різного роду збурень у гідравлічному тракті.

Відомо, що сучасні бурові установки з цифровими системами керування приводами оснащені стаціонарним керуючим комп'ютером, тому запропоновані схеми можуть бути реалізовані більш простим способом – шляхом розширення програмного забезпечення системи за мінімальних змін стандартного комплекту, який управляє цим обладнанням. Для бурових установок з мікропроцесорним керуванням розширення програмного забезпечення зводиться до введення до блоку автоматичного керування насосними агрегатами і механізмом подачі долота додаткових алгоритмів, при цьому визначальне значення має вибір оптимальних алгоритмів керування.

Як алгоритм керування для всіх трьох схем можуть бути використані і типові алгоритми, що базуються на підтримці заданого значення головного параметра регулювання (осьової сили, струму і тиску), і нестандартні алгоритми, в яких залучені ще деякі додаткові параметри (наприклад, навантаження на гаку, механічна швидкість буріння, частота ходів насоса, кут положення корпусу вибійного двигуна й ін.), що служать для ідентифікації процесів у динамічній системі і відповідного коректування поточної координати завдання. У таких алгоритмах реалізуються і можливості адаптивного керування у функції декількох параметрів, тобто здійснюється перехід до інтелектуальних систем керування нового покоління з гнучкими процедурами прийняття рішення, що дозволить подолати відомі труднощі, котрі мають місце при розробці автоматизованих систем, ідентифікувати й усунути вплив збурюючих чинників, наприклад, унаслідок зашламування затрубного простору свердловини при незадовільному очищенні вибою, обвалах, осипаннях тощо.

Досить перспективним для привода регулятора подачі долота є електропривод, що працює за системою «перетворювач частоти – асинхронний двигун» (ПЧ – АД) з мікропроцесорним керуванням.

Переваги такої системи порівняно із системою ТП-Д полягають у наступному:

- у зв'язку зі скороченням на 40-50% габаритів і маси обладнання покращується компоновка обладнання бурової установки та зменшується виробнича площа;
- підвищується у 1,5 рази термін служби електрообладнання і скорочуються експлуатаційні витрати;
- підвищується якість управління за рахунок реалізації переваг цифрових систем керування.

Дослідженнями встановлено, що використання наземних автоматичних регуляторів подачі долота забезпечує збільшення механічної швидкості буріння на 10 %, що повністю виправдовує всі витрати на їх придбання та обслуговування. Використання автоматичних регуляторів подачі долота є доцільним на бурових установках усіх типів і класів, оскільки вони при відносно невеликій потужності й вартості підвищують продуктивність основного технологічного процесу – буріння.

9.3. Автоматизація промислових насосних станцій

Насосні станції за своїм обладнанням і процесами, котрі вони повинні здійснювати, відносно легко піддаються автоматизації. На автоматичних насосних станціях усі процеси, які пов'язані із пуском, зупинкою й контролем за станом насосно-силового обладнання, здійснюються в чітко визначеній послідовності автоматичними пристроями.

Крім того, при управлінні здійснюється контроль за тиском на напорній лінії, температурою підшипників і сальників, наявністю напруги на ввідних лініях насосної станції і на шинах автоматики, а також захист насосних агрегатів від короткого замикання, перевантаження і т.п.

Основними процесами, які можуть виконуватися на насосних станціях автоматично, є:

- пуск і зупинка насосних агрегатів;
- включення насосних агрегатів у визначеній послідовності, причому це включення може здійснюватися як на повну напругу (прямий пуск), так і на знижену напругу з наступним включенням на повну з визначеними часовими затримками (ступінчастий пуск);
- створення і підтримка необхідного розрідження в трубопроводі й насосі перед пуском, якщо він не знаходиться під заливом;
- відкриття і закриття засувки на трубопроводі у визначені моменти;
- контроль за насосними агрегатами при пуску, роботі й зупинці;
- відключення насосного агрегата, що працює, при порушенні ним режиму роботи і включення резервного агрегату;
- передача сигналів про роботу агрегатів і аварійних змінах у роботі на диспетчерський пункт;

- захист агрегатів у тих випадках, коли їм загрожує небезпека – перегрівання підшипників, випадіння фази, перевантаження електродвигуна тощо;
- опалення приміщень насосних станцій або обігрів шафи управління при від’ємній температурі в приміщенні насосної станції;
- включення та відключення, якщо необхідно, дренажних насосів.

Типова структурна схема автоматизованої насосної станції включає наступні блоки: ТП – трансформаторна підстанція; КРП – компенсатор реактивної потужності; СШУ – силова шафа управління насосного агрегату; ТК – технологічний контролер; Д – датчики, що контролюють основні параметри роботи насосу; ВМ – виконавчий механізм для підключення додаткового обладнання; ЦН – центробіжний насос; АСУ автоматизована система управління; ПЧ – перетворювач частоти; РП – розподільчий пристрій (рис. 9.6).

Як правило, частина насосних агрегатів знаходиться у стані роботи, а один (або декілька, це залежить від кількості робочих агрегатів) відключено і знаходиться у резерві. Ці насоси підключаються у випадку виходу з ладу робочих.

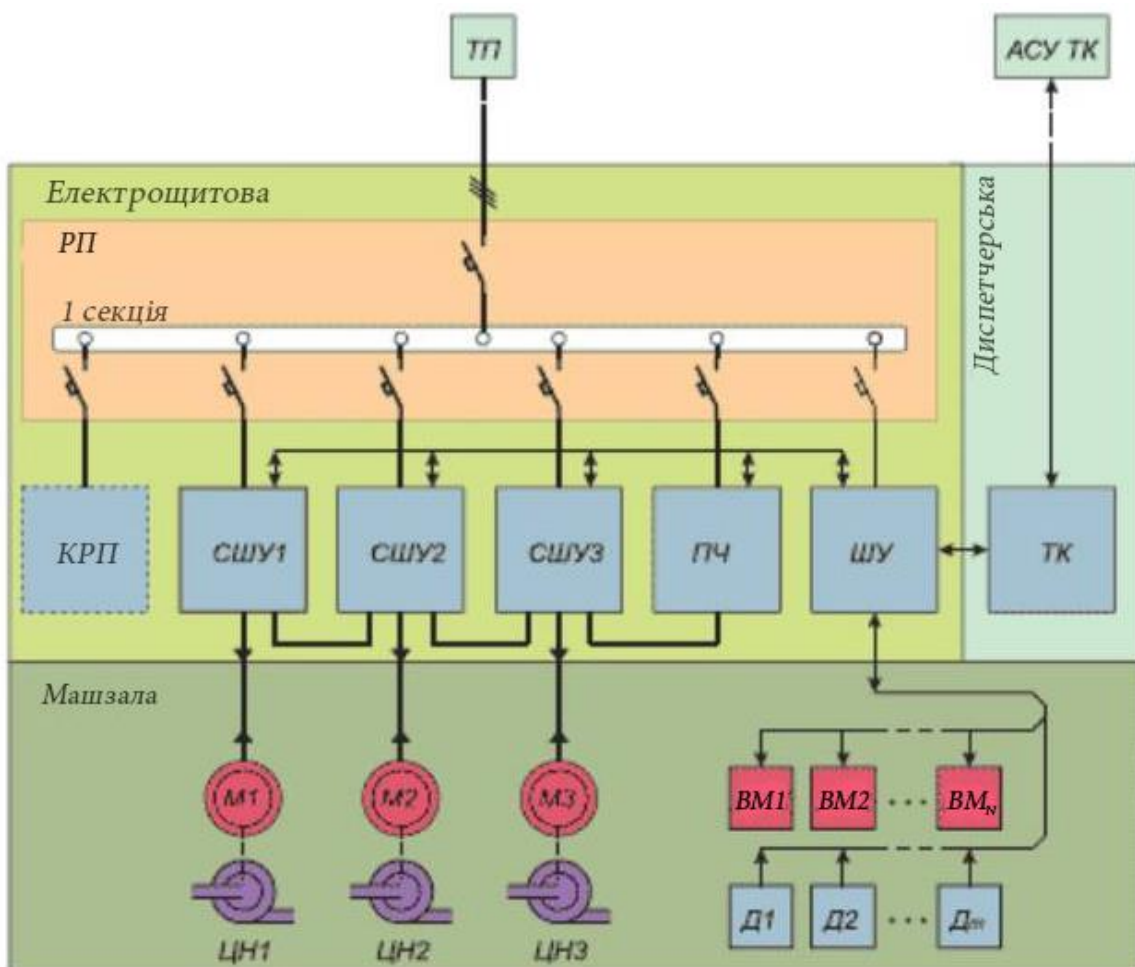


Рис. 9.6. Типова структурна схема автоматизованої насосної станції

Зазвичай на насосних станціях здійснюється автоматичне регулювання напору і продуктивності насосних агрегатів.

Розглянемо типову **схему автоматизації насосної установки з частотним керуванням**, яка містить електронасосний агрегат 7 заглибного типу, що розміщений у свердловині 6 (рис. 9.7). На напорному трубопроводі встановлений зворотний клапан 5 і витратомір 4. Насосна установка має бак (резервуар) 1 і датчики тиску (або рівня) 2 та 3, до того ж датчик 2 реагує на верхній тиск (рівень), а датчик 3 – на нижній тиск (рівень) у резервуарі. Керування насосною установкою забезпечує блок керування 8, котрий живиться від напруги мережі U_M з номінальними характеристиками напруги $U_{ном}$ та частоти $f_{ном}$.

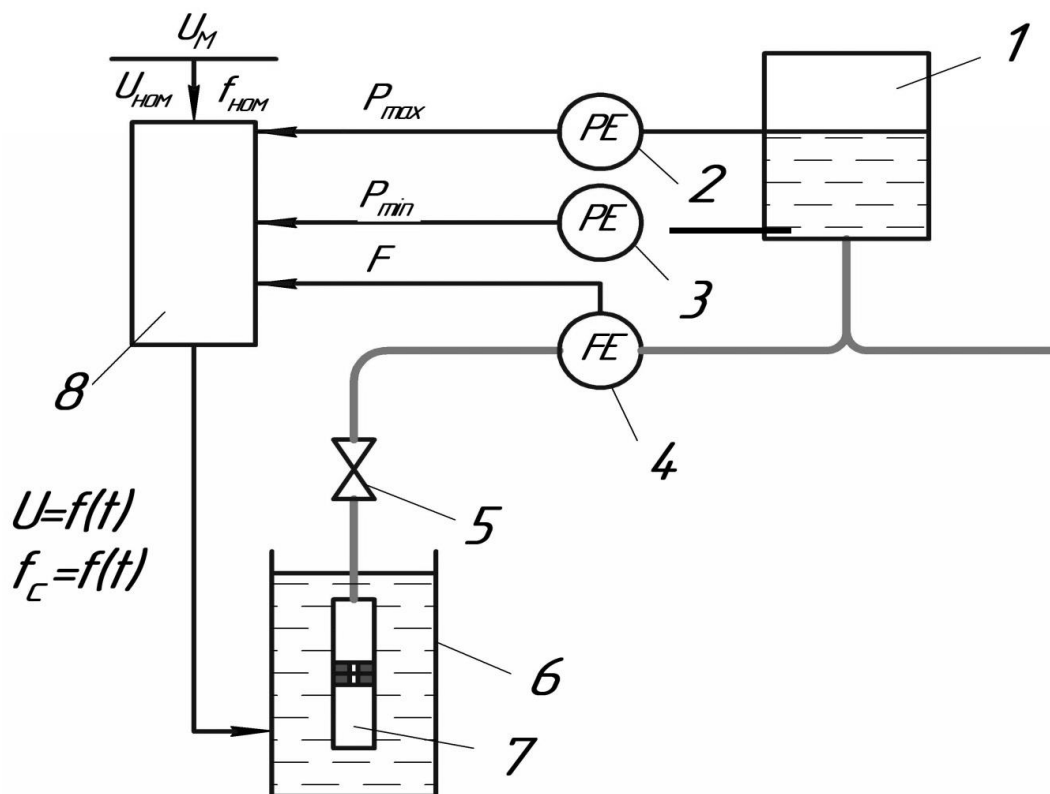


Рис. 9.7. Типова схема автоматизації насосної установки з частотним керуванням

Управління насосною установкою відбувається наступним чином: якщо насосний агрегат вимкнений, а тиск у резервуарі зменшується і стає нижчим за P_{min} , від датчика тиску PE надходить сигнал на включення електронасосного агрегату. Відбувається його запуск шляхом плавного збільшення частоти струму f_c , що подається на електродвигун насоса. Коли частота обертання насосного агрегату досягне заданого значення, насос вийде на робочий режим. При досягненні верхнього граничного тиску P_{max} відбудеться відключення насосного агрегату. Програмуванням режиму роботи частотного перетворювача можна забезпечити потрібну

інтенсивність роботи насоса, його плавний пуск і зупинку, а також автоматичну підтримку тиску в трубопроводі.

9.4. Автоматизація промислових компресорних станцій

Сучасний газовий промисел характеризується високим рівнем автоматизації, що дозволяє здійснювати контроль і управління режимами експлуатації газових свердловин, установок комплексної підготовки газового конденсату, внутрішньопромислової газозбірної мережі, дожимних компресорних станцій і т.п. Набувають розповсюдження автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУ ТП), котрі діють на базі автоматики, обчислювальної техніки, автоматизованих засобів збору інформації і забезпечують управління газовим промислом у цілому. Керує усіма об'єктами газового промислу з центрального диспетчерського пункту головний диспетчер, який отримує інформацію з інформаційного обчислювального центру. Впровадження АСУ ТП значно прискорює розробку нових родовищ і підвищує показники роботи всього промислу.

Автоматизація компресорних станцій (КС) дозволяє підвищити надійність її експлуатації, підтримувати тиск газу або повітря на заданому рівні, зменшити витрати електроенергії на виробництво стисненого повітря при покращених його параметрах, поліпшити контроль за технологічним процесом і станом машин. Автоматичні компресорні станції полегшують роботу обслуговуючого персоналу.

Автоматика дозволяє забезпечити найбільш стійкий технологічний режим експлуатації компресорних станцій і роботу газоперекачувальних агрегатів при оптимальних умовах їх експлуатації. У результаті більш стійкого режиму зменшується аварійність і підвищується річний коефіцієнт використання газопроводів.

На сучасному етапі автоматизації компресорних станцій доцільно для кожного агрегату мати місцевий щит управління і центральний диспетчерський пульт. У склад місцевого щита входить лише апаратура пуску і зупинки агрегату, а в склад центрального диспетчерського пульта – системи дистанційного управління пуском і зупинкою компресора, вентилями і система централізованого контролю. На основі досвіду автоматизації компресорних станцій з газомотокомпресорами, установок осушки й очистки газу та газорозподільчих пунктів створюються комплексні системи автоматизації для підземних сховищ газу.

При автоматизації компресорної станції зменшується чисельність чотирьох служб: компресорного цеху, служби КВП (контрольно-вимірювальних приладів), диспетчерської служби і служби енерговодопостачання. За наближеними підрахунками економія від модернізації й автоматизації компресорної станції встановленою

потужністю 500 м³/хв складає 100 – 120 тис. грн на рік і затрати на автоматизацію окупуються за 0,5 – 1 рік.

Стандартна система автоматизації компресорної станції будується за блочним принципом таким чином, щоб при збільшенні кількості компресорів в автоматизованій станції не були потрібні серйозні переробки в уже існуючій схемі та апаратурі.

Система забезпечує автоматичне і напівавтоматичне управління компресором за встановленою програмою, місцеве кнопочне керування кожним електродвигуном у період обкатки після ремонту або тривалої зупинки компресора, блокування дозволу пуску і захист відключенням компресора при порушенні режиму його роботи або порядку автоматичного виконання програми пуску.

Здійснюється також контроль за роботою компресора за допомогою теплотехнічних контрольно-вимірювальних приладів, установлених на місцевому щиті, автоматичне регулювання тиску в колекторі станції з можливістю зміни продуктивності кожного компресора вручну з місцевого щита, автоматична продувка холодильників, а також світлова і звукова сигналізація при відхиленні основних контрольованих параметрів від установлених значень. За необхідності несправні компресори вимикаються й автоматично вмикаються резервні.

9.5. Автоматизовані схеми управління верстатами-качалками

Для автоматизованого управління двигунами верстата-качалки застосовуються блоки управління серії БГШ (досить прості і надійні) на струми 15, 20, 40 і 100 А. Більш сучасними є блоки з мікропроцесорним управлінням БУС-3, БУС-4, СУС, СУШУЄС, СУ КСКН та інші.

Блоки управління виконують наступні функції:

- пуск і відключення двигуна в ручному режимі;
- автоматичне відключення електродвигуна при обриві однієї з фаз;
- відключення електродвигуна при перевантаженнях понад допустимої межі;
- відключення електродвигуна при короткому замиканні в його обмотках або кабелі;
- відключення електродвигуна при короткочасному зникненні або глибокому зниженні напруги й автоматичний пуск електродвигуна при відновленні напруги в мережі живлення за допомогою реле часу;
- відключення електродвигуна при аварійному стані свердловини.

Унаслідок наявності піщаних пробок на початку і в кінці експлуатації свердловини виникає необхідність використання регульованого електропривода.

Крім механічного регулювання швидкості, в нафтовидобутку за допомогою верстатів-качалок використовуються і системи автоматичного

регулювання. Електроприводи верстатів-качалок з автоматичним регулюванням продуктивності можна розділити на кілька класів:

- 1) електроприводи з плавно регульованою швидкістю приводного двигуна;
- 2) електроприводи з пристроями періодичного відкачування нафти;
- 3) електроприводи із ступеневим регулюванням швидкості (електроприводи з короткоцикловим періодом роботи).

Нині електроприводи з регулюванням швидкості широко застосовуються як у закордонній, так і у вітчизняній нафтовидобувній промисловості.

У регульованих електроприводах використовують двигуни постійного струму з тиристорним регулюванням напруги (ТРН), асинхронні двигуни, що працюють за системами «АД-ПЧ» та «ТПН-АД». Системи з тиристорними перетворювачами напруги ТПН, відрізняючись порівняно низькою вартістю, відносною простотою, хорошими масогабаритними показниками і високою надійністю, мають широкі технічні і функціональні можливості, що дозволяє використовувати їх для електропривода верстата-качалки.

9.6. Комплекс автоматизованого обліку витрати газу «Флоутек»

9.6.1. Характеристики і призначення комплексу

Комплекс «Флоутек» призначений для вимірювання параметрів природного газу, що проходить по вимірювальних трубопроводах. Результати вимірів та обчислень можуть демонструватися на візуалізуючому пристрої коректора й екрані дисплея ЕОМ, а також у вигляді роздрукованих звітів чи протоколів.

Комплекс забезпечує:

- вимірювання через рівні задані проміжки часу температури й абсолютного (або надлишкового) тиску газу, що проходить по вимірювальному трубопроводу (ВТП);
- вимірювання через рівні задані проміжки часу перепаду тиску газу на стандартному звужувальному пристрої, встановленому в ВТП;
- вимірювання із заданою періодичністю об'ємної витрати й обсягу газу, приведених до нормальних умов;
- обчислення значень обсягу газу й середніх значень температури, тиску, перепаду тиску і щільності газу за заданий оперативний інтервал часу, підсумовування й усереднення вимірювальної інформації за оперативний інтервал часу тривалістю 1 година і за добу;
- можливість виведення на цифровий індикатор обчислювача «Флоутек» і перегляду результатів вимірів й обчислень з указівкою

- номера ВТП, найменування параметра й одиниці виміру фізичної величини;
- можливість зберігання у пам'яті обчислювача добових й оперативних даних у вигляді записів, що містять значення обсягу і середніх значень температури, тиску, перепаду тиску й щільності газу за заданий оперативний інтервал часу (15 – 45 діб), за годинний інтервал (15 – 45 діб) і щодоби (32 – 96 діб); при кількості записів оперативних даних по кожному трубопроводі не менш 752 – 2256;
 - дату і час початку й кінця періоду, до якого ставляться дані;
 - виявлення і фіксацію в часі не менш 800 відхилень від нормальної роботи, наприклад: вихід вимірюваних параметрів за межі робочих діапазонів вимірювальних перетворювачів і повернення цих параметрів у робочі діапазони; зміна констант або заміна вимірюваних значень параметрів на константи й навпаки (втручання оператора); аварійне зниження напруги електричного живлення;
 - можливість взаємодії з оператором за допомогою ПЕОМ;
 - можливість обміну інформацією з ПЕОМ верхнього рівня по телефонному комутованому каналу чи виділеній двопровідній лінії, чотирипровідній лінії гучномовного зв'язку, або по радіоканалу;
 - формування на базі архівних даних добового й місячного звітів, протоколів унесення змін у пам'ять обчислювача і реєстрації позаштатних ситуацій.

Використання у системі цифрових датчиків підвищує стійкість та точність вимірів, виключаючи із процесу вимірів вплив шумів у лінії зв'язку. Застосування таких датчиків також спрощує процес перевірки, так як виключає з неї лінії зв'язку. Цифрові датчики не потребують періодичної корекції нуля протягом усього міжповірочного інтервалу, який триває два роки. Програмне забезпечення у складі комплексу дозволяє здійснювати дистанційний запит до обчислювача, створювати на віддалених ПК бази даних по споживанню газу для аналізу та перевірок за необмежений проміжок часу.

9.6.2. Структурна схема комплексу та основні характеристики

Для вимірювання об'ємної витрати й об'єму газу в комплексі використовується багатопараметричний вимірювальний перетворювач типу ПМ-3, який поєднаний зі стандартною діафрагмою діаметром 80 та 100 мм відповідно. Діафрагма використовується як звужувальний пристрій. Перетворювач ПМ-3 забезпечує одночасне вимірювання та перетворення абсолютного тиску, різниці тисків і температури газу в цифрові електричні вихідні сигнали (рис. 9.8).

Конструкція перетворювача забезпечує вимірювання тиску при подачі газу безпосередньо у вимірювальні камери.

Електричні сигнали постійного струму від перетворювачів тиску та температури надходять в обчислювач, котрий згідно із заданими алгоритмами формує і зберігає масиви інформації щодо вимірюваних та обчислювальних параметрів. Збережену обчислювачем інформацію можна зчитувати на ЕОМ, а також роздруковувати звіти та протоколи.

Модем забезпечує цифровий зв'язок обчислювача з ЕОМ або з іншим модемом для автоматичного прийому-передачі даних програмування обчислювача та калібрування каналів вимірювання параметрів газу. Результати вимірювань і обчислень можна передати на відстань до центральної ЕОМ по інтерфейсу RS-232C.

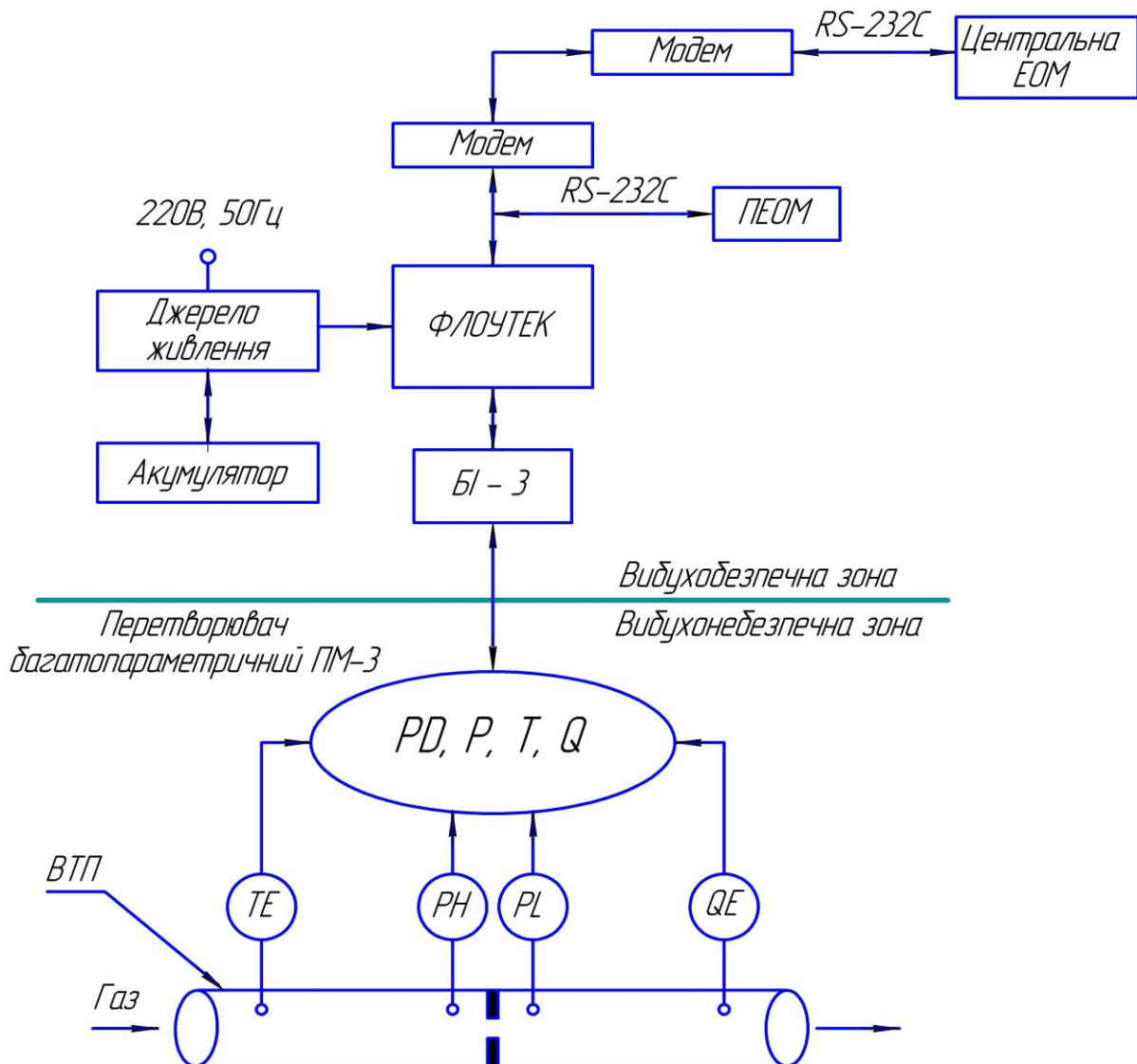


Рис. 9.8. Структурна схема комплексу «Флоутек»:

ТЕ – термометр опорного тиску; QE – газоаналізатор; PH – вимірювач більшого тиску; PL – вимірювач нижнього тиску; ВТП – вимірювальний трубопровід; БІ-3 – іскробезпечний бар'єр; RS-232C – інтерфейс

Живлення комплексу здійснюється від стабілізованого джерела постійного струму. Зв'язок із зовнішніми пристроями загального призначення здійснюється за допомогою іскробезпечного бар'єра БІ-3, що встановлюється поза вибухонебезпечною зоною. Вибухобезпечність вихідних електричних кіл бар'єра БІ-3 досягається за рахунок обмеження напруги та струму до іскробезпечних значень. Він розділений на дві зони (умовно) – вибухонебезпечну та вибухобезпечну. Схема розв'язку та узгодження RS-232C сигналів дозволяє організувати двонаправлений швидкісний обмін даними між цими зонами. Режим роботи комплексу – безперервний.

Основні технічні характеристики вимірювальних комплексів такого класу:

- внутрішній діаметр трубопроводу, по якому проходить газ – від 50 до 1000 мм;
- діапазон значень верхньої межі виміру абсолютного тиску – 0,1 до 10 МПа (можливість устанавлення);
- діапазон значень верхньої межі виміру надлишкового тиску – від 0,0063 до 10,5 МПа (можливість устанавлення);
- діапазон значень верхньої межі виміру різниці тисків – від 0,63 до 62 кПа;
- діапазон виміру температури газу – від -40 до $+80^{\circ}\text{C}$.

Система також може комплектуватися газоаналізатором QE, тип і параметри якого залежить від виду газової суміші, що прокачується.

Межі допустимої основної приведенної похибки комплексу при вимірюванні абсолютного чи надлишкового тиску газу не перевищують 0,15% від верхньої межі вимірів. Межі допустимої відносної похибки обчислювача при обчисленні об'ємної витрати та об'єму газу – не більше $\pm 0,02\%$.

Вимірювальний комплекс «Флоутек» забезпечує одночасне обслуговування до трьох вимірювальних трубопроводів.

ТЕМА 10. ОСНОВИ ТЕОРІЇ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

10.1. Типові лінійні ланки систем автоматичного керування

Теорія автоматичного керування (ТАК) – наука про загальні закономірності процесів керування, яка ґрунтується на вивченні керованих об'єктів під час зовнішніх впливів, отриманні інформації про перебіг процесів у цих об'єктах і формуванні керівних діянь, що забезпечують оптимальний стан керованих об'єктів.

Керованими об'єктами можуть бути: живі організми (тварини, рослини), колективи людей, виробничі підприємства, цехи, окремі агрегати, машини, їхні комплекси чи системи. Залежно від виконуваних функцій керованим об'єктом системи автоматичного керування (САК) можуть бути різними – від найпростіших автоматичних регуляторів, які підтримують сталість довільної фізичної величини (наприклад, напруги, температури, тиску, швидкості тощо), до складних кібернетичних систем із десятків комп'ютерів, котрі розв'язують завдання оптимального керування множиною об'єктів.

Порядок дослідження САК включає в себе математичний опис системи, дослідження встановлених і перехідних режимів. Під математичним описом розуміють систему диференціальних рівнянь високого порядку, які описують таку систему.

Для спрощення математичного опису систему розбивають на **елементарні ланки**, кожна з яких має визначені динамічні властивості. Головна вимога до них – направленість дії. Ланкою направленої дії називають ланку, яка передає вплив тільки в одному напрямку – з входу на вихід таким чином, що при послідовному з'єднанні ланок зміна стану наступної ланки не впливає на стан попередньої.

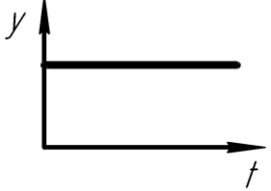
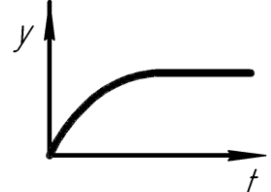
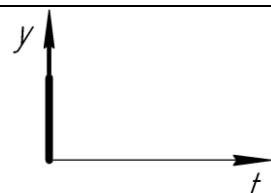
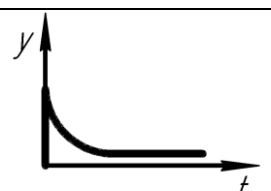
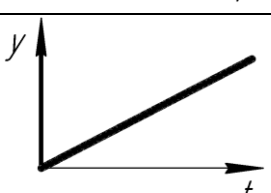
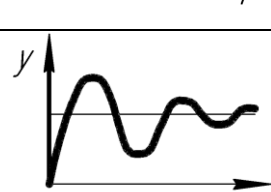

Усі елементарні ланки характеризуються **передавальними функціями** $W(p)$ – відношенням вихідного сигналу до вхідного, що записане при нульових початкових умовах.

Залежно від характеру протікання перехідного процесу розрізняють такі типові ланки: підсилювальну, аперіодичну, диференціюючу, коливальну, інтегруючу, ланку запізнення. Кожна ланка описується аналітично у вигляді диференціальних рівнянь не вище 2-го порядку та передавальної функції і графічно у вигляді часових і частотних характеристик, які пов'язують вхідні та вихідні величини ланки.

Так насоси, вентилятори, електродвигуни змінного струму подають у вигляді аперіодичних ланок, резервуари – у вигляді інтегровальних ланок, а компресори, електродвигуни постійного струму, парові турбіни – у вигляді коливальних ланок. Трубопровід подають у вигляді ланки запізнення, так як кількість рідини (або газу), що входить у нього, дорівнює кількості, що виходить, але з деяким відставанням у часі.

Таблиця 10.1

Динамічні показники типових ланок САК

Ланка	Рівняння ланки	Передавальна функція	Часова характеристика
Підсилювальна	$Y = K \cdot X$	$W(p) = K$	
Аперіодична	$T \frac{dY}{dt} + Y = K \cdot X$	$W(p) = \frac{K}{Tp + 1}$	
Диференціююча (ідеальна)	$Y = K \frac{dX}{dt}$	$W(p) = Kp$	
Диференціююча (реальна)	$T \frac{dY}{dt} + Y = K \frac{dX}{dt}$	$W(p) = \frac{Kp}{Tp + 1}$	
Інтегруюча	$Y = \frac{K'}{T} \int_0^t X dt$	$W(p) = \frac{K'}{Tp}$	
Коливальна	$T_2^2 \frac{d^2Y}{dt^2} + T_1 \frac{dY}{dt} + Y = K \cdot X$	$W(p) = \frac{K}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}$	
Ланка запізнення	$Y(t) = X(t - \tau)$	$W(p) = Ke^{-\tau p}$	

Багато об'єктів є сполученням ланок: наприклад, будь-яке приміщення – це послідовне з'єднання коливальної ланки та ланки запізнення.

Розраховуючи спільно рівняння окремих ланок, отримують загальне рівняння системи керування. На етапі теоретичних досліджень системи використовують стандартні методики і пакети програм (MathCad, MathLab, Vissim та інші). Сутність методу моделювання полягає в заміні системи або її ланок електронними блоками, котрі з'єднані між собою відповідним чином.

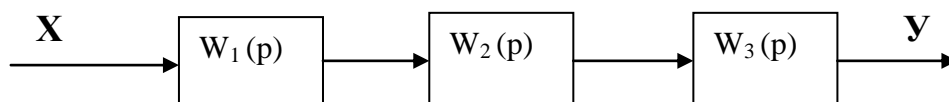
На основі значень характеристик, які були отримані при дослідженні математичної моделі, будують макетний зразок системи автоматичного керування разом з об'єктом керування. Роботу макетного зразка досліджують у двох режимах – статичному та динамічному (перехідному). Потім розраховують відхилення фактичних характеристик системи від заданих і за необхідності проводять коректування системи та її налагоджування. Динамічні показники типових лінійних ланок наведені у таблиці 10.1.

10.2. З'єднання ланок

У реальних умовах системи автоматичного керування – це складні з'єднання, які містять різноманітні типи ланок.

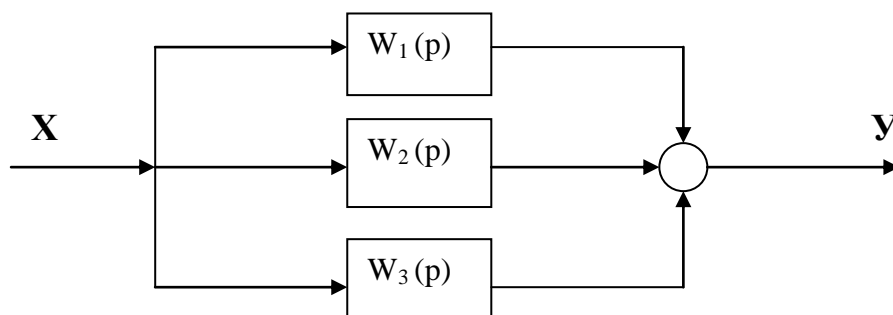
З'єднання типових ланок може бути послідовним, паралельним та змішаним.

Передавальна функція послідовно з'єднаних ланок дорівнює добутку передавальних функцій окремих ланок кола



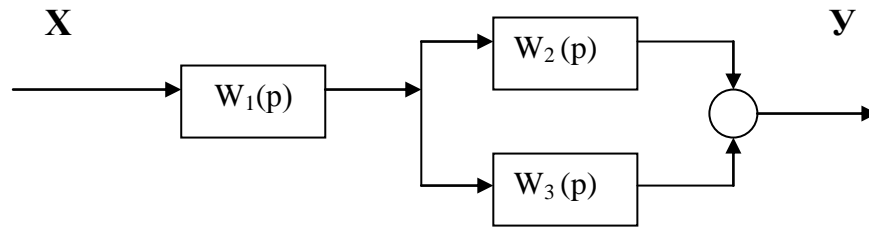
$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p).$$

Передавальна функція паралельно з'єднаних ланок дорівнює сумі передавальних функцій окремих ланок кола



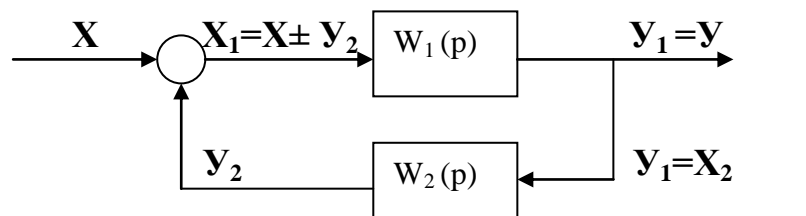
$$W(p) = W_1(p) + W_2(p) + W_3(p).$$

Передавальна функція при змішаному з'єднанні ланок дорівнює відповідно сумі та добутку передавальних функцій окремих ділянок кола



$$W(p) = W_1(p) \cdot [W_2(p) + W_3(p)].$$

При з'єднанні ланок у системі розрізняють прямі та зворотні зв'язки. **Прямий** зв'язок характеризується поданням сигналу з виходу попередньої ланки на вхід наступної. При **зворотному** зв'язку (33) сигнал із виходу ланки подається на її вхід або на вхід однієї з попередніх ланок



Зв'язок буває **позитивним**, якщо сигнал зворотного зв'язку Y_2 складається з вхідним сигналом X , або **негативним**, якщо сигнал зворотного зв'язку Y_2 віднімається із вхідного сигналу X .

Передавальна функція системи із зворотним зв'язком має вигляд

$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p) \cdot W_2(p)}.$$

Знак мінус відповідає позитивному зворотному зв'язку, а плюс – негативному (знак змінює своє значення в процесі математичних перетворень при виводі кінцевого рівняння). Позитивний зворотний зв'язок збільшує коефіцієнт передачі ланки, а негативний – зменшує. Зворотний зв'язок дозволяє суттєво поліпшити процес регулювання.

Якщо $W_2(p) = K_{зз}$, тобто в колі зворотного зв'язку знаходиться підсилювальна ланка з коефіцієнтом підсилення $K_{зз}$, то такий зв'язок називається **жорстким**, а якщо $W_2(p) = p \cdot K_{зз}$ (ідеальна диференціююча ланка), то зв'язок називається **гнучким**.

10.3. Стійкість САК

При дослідженні систем автоматизації прийнято перевіряти їх на стійкість.

Стійкість – це властивість системи повертатися в початковий стан після того, як вона була виведена з цього стану яким-небудь збуренням.

Розрізняють системи стійкі, нестійкі або стійкі при малих і нестійкі при великих збуреннях.

Для визначення стійкості систем розроблені спеціальні правила, які мають назву **критерієв стійкості**. Системи автоматизації, що характеризуються диференційними рівняннями невисокого порядку (не вище 4-го), досліджують за допомогою алгебраїчних критерієв стійкості, наприклад, критерієв Рауса, Гурвіца та ін. Для дослідження систем більш високого порядку використовують частотні критерії (критерій стійкості Найквіста, Михайлова).

У загальному вигляді динамічні властивості системи автоматичного керування описуються диференційним рівнянням в операторній формі

$$(a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n) X = (b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_{m-1} p + b_m) \cdot F(t),$$

де $p = \frac{d}{dt}$ – оператор диференціювання у часі, $a_0, \dots, a_n; b_0, \dots, b_m$ – постійні коефіцієнти; X – відхилення регульованої величини; $F(t)$ – збурювальна дія.

Тоді характеристичне рівняння системи буде мати вигляд

$$(a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n) = 0.$$

Систему вважають стійкою, якщо перехідний процес у ній буде затухаючим.

Критерій стійкості Гурвіца

За цим критерієм спочатку будують визначник Гурвіца з коефіцієнтів характеристичного рівняння системи (наприклад, для системи третього порядку)

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0$$

При цьому значення коефіцієнтів a_4 і a_5 для системи 3-го порядку будуть рівними нулю.

Критерій Гурвіца формулюється так: система стійка тоді й тільки тоді, коли визначник Гурвіца і всі діагональні мінори більші за нуль, тобто співпадають зі знаком першого коефіцієнта a_0 :

$$\Delta_0 = a_0 > 0 ; \quad \Delta_1 = a_1 > 0 ; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0 ; \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0 .$$

Для системи другого порядку маємо:

$$\Delta_0 = a_0 > 0 ; \quad \Delta_1 = a_1 > 0 ; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & 0 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 > 0 ,$$

тобто умова стійкості системи другого порядку полягає у тому, що всі коефіцієнти характеристичного рівняння повинні бути позитивні.

Критерій стійкості Михайлова

Нехай дано характеристичне рівняння системи

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n .$$

Проводиться заміна $p \rightarrow j\omega$,

де p – оператор диференціювання в часі; j – уявне число; ω – частота.

Тоді після підстановки маємо

$$D(j\omega) = a_0 (j\omega)^n + a_1 (j\omega)^{n-1} + \dots + a_n = X(\omega) + jY(\omega) = D(\omega) \cdot e^{j\psi(\omega)} ,$$

$$\text{де } X(\omega) = (a_n - a_{n-2}\omega^2 + a_{n-4}\omega^4 - \dots) ;$$

$$Y(\omega) = (a_{n-1}\omega - a_{n-3}\omega^3 + a_{n-5}\omega^5 - \dots) ,$$

де X – дійсна і Y – уявна функції Михайлова.

При зміні ω від 0 до ∞ вектор $D(j\omega)$, змінюючись за величиною, буде описувати своїм кінцем криву, що називається **годографом Михайлова**. Вона будується в координатах (X, jY) для різних ступенів характеристичного рівняння n і має вигляд, представлений на рис. 10.1.

Для того, щоб система автоматичного управління була стійкою, необхідно і достатньо, щоб вектор кривої Михайлова $D(j\omega)$ при зміні частоти ω від 0 до нескінченності починався в точці на позитивній дійсній напіввісі й повернувся, ніде не перетворюючись у нуль, навколо початку координат проти годинникової стрілки на кут $\frac{\pi \cdot n}{2}$, де n – порядок характеристичного рівняння. Таким чином, годограф повинен пройти проти годинникової стрілки послідовно n квадрантів координатної площини.

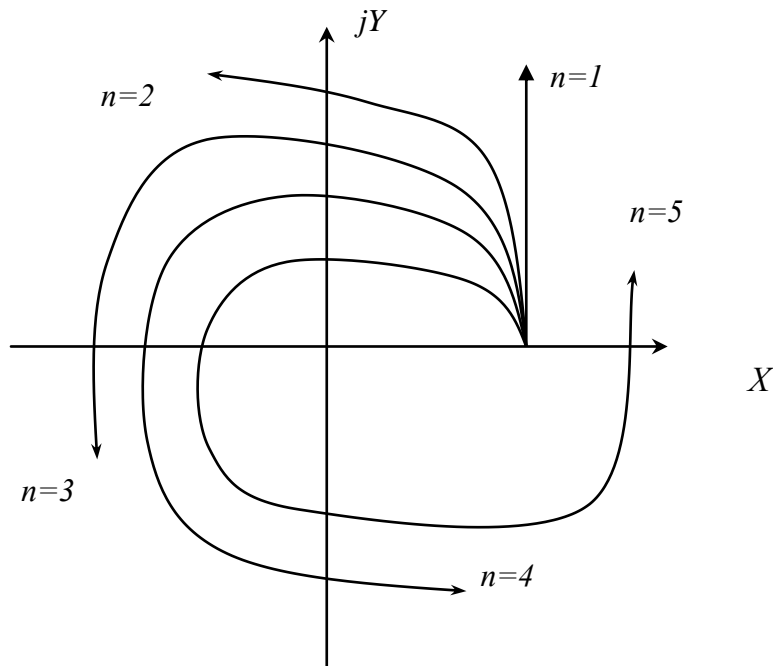


Рис. 10.1. Годограф Михайлова для різних ступенів характеристичного рівняння

Кінець кривої Михайлова йде в нескінченність у тому квадранті, номер якого дорівнює n . Ознакою нестійкості системи є порушення числа або послідовності пройденою кривою Михайлова координат площини.

Критерій стійкості Найквіста

Цей критерій є одним зі способів аналізу лінійних стаціонарних динамічних систем на стійкість. Він відноситься до сімейства частотних критеріїв стійкості поряд з критерієм Михайлова.

Критерій Найквіста формулюється таким чином: якщо система автоматичного управління стійка в розімкненому стані, то для її стійкості в замкненому стані необхідно і достатньо, щоб амплітудно-фазова частотна характеристика (АФЧХ) розімкненої системи $W(j\omega)$ при зміні частоти ω від 0 до нескінченності не охоплювала точку з координатами $(-1; j0)$ комплексної площини.

Для використання цього критерію необхідно побудувати годограф Найквіста (амплітудно-фазову частотну характеристику) розімкненої системи і пересвідчитися, що він не охоплює точку з координатами $(-1; j0)$.

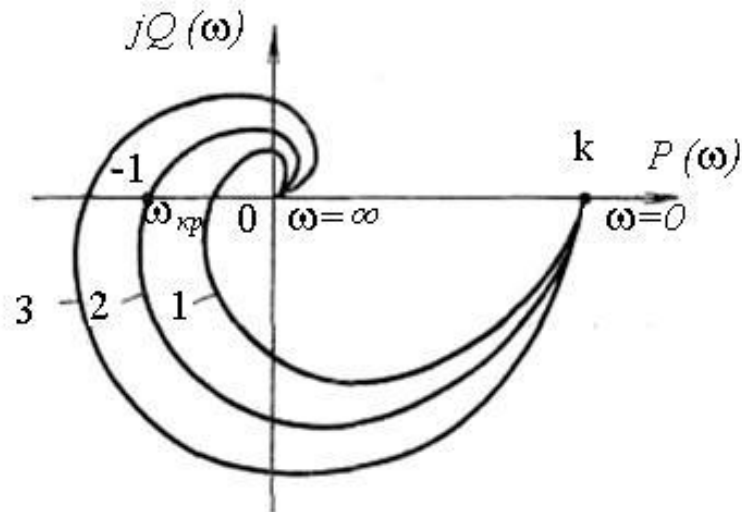


Рис. 10.2. Годограф Найквіста

На рисунку 10.2 зображений годограф Найквіста систем, стійких у розімкненому стані. Тут крива 1 відповідає системі, яка є стійкою і у замкненому стані; крива 2 – система регулювання знаходиться на межі стійкості; крива 3 – система є нестійкою в замкненому стані.

10.4. Якість САК

Стійкість є необхідною, але недостатньою умовою роботоздатності системи. Перехідні процеси в промислових системах керування та регулювання повинні задовольняти ряд вимог, які впливають з конкретних умов роботи об'єктів, що регулюються. У кожному окремому випадку ці вимоги можуть бути різними.

У теорії автоматичного регулювання аналіз якості й точності створеної системи автоматизації обмежується умовами, при яких можна припустити, що найбільш важкі для системи зовнішні впливи можуть бути наперед задані у вигляді визначених функцій часу. Найчастіше ці функції задаються у вигляді одиничного ступінчастого впливу, одиничного імпульсу і т.п. Для таких типових випадків розроблені прямі показники якості перехідних процесів.

При подачі на вхід одиничного ступінчастого впливу деяка вхідна величина X переходить з нульового положення в деяке незмінне стале положення X_{cm} .

Основними показниками якості процесу для такого випадку є:

а) **час перехідного процесу** (час регулювання) t_p . Він характеризує швидкодію системи і визначається як інтервал від початку перехідного процесу до моменту, коли відхилення величини X від X_{cm} стає менше деякої усталеної похибки $\varepsilon_{уст}$ (рис. 10.3). Зазвичай ця похибка складає 3–5 % від величини X_{cm} ;

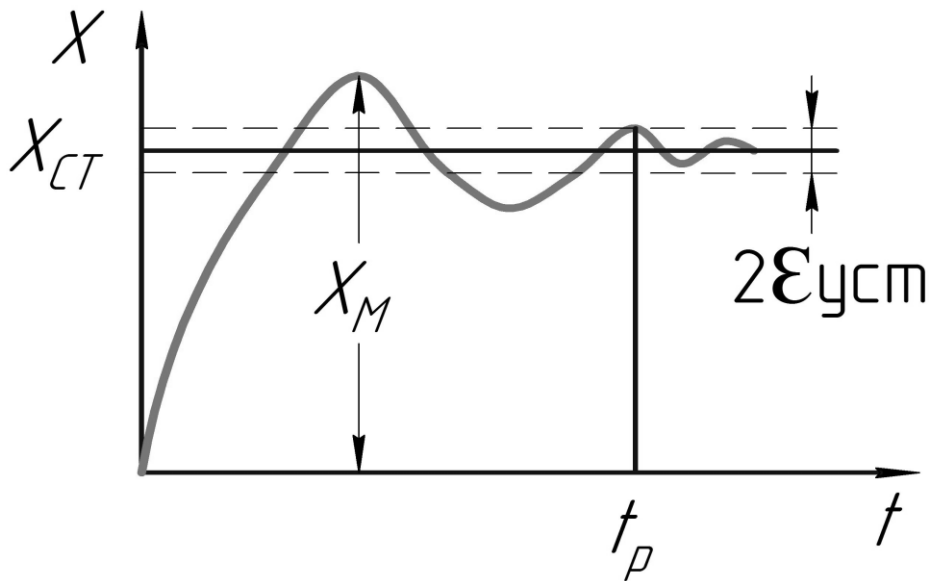


Рис. 10.3. Показники якості САК

б) максимальне відхилення X_m від X_{cm} або **перерегулювання**. Найбільшим відхиленням у перехідному процесі буде перше відхилення, яке йде безпосередньо за збуренням

$$\sigma = \frac{X_m - X_{cm}}{X_{cm}} 100\% ;$$

в) **залишкове відхилення** – цей показник також називають залишковою нерівномірністю. Характеризує величину відхилення регульованої величини від заданого значення після закінчення перехідного процесу;

г) **частота коливань** $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$, де T – період коливань (для коливальних процесів);

д) **коливальність**, тобто число перерегулювань за час перехідного процесу t_p . Іноді коливальністю називають відношення сусідніх максимумів. Коливання системи, що не затухають, відповідають коливальності 100%.

Перерегулювання, коливальність і час перехідного процесу щільно пов'язані: чим більше перерегулювання й коливальність, тим триваліший перехідний процес. Оптимальним вважають число напівколивань, рівне 2.

Змінюючи параметри налаштування регулятора, можна отримати менші абсолютні відхилення регульованої величини при більш тривалому перехідному процесі з більшим числом коливань або допустити ці відхилення, але за рахунок більш швидкої стабілізації перехідного процесу.

ТЕМА 11. ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

11.1. Типи схем

Для полегшення розроблення, втілення та наступної експлуатації автоматичних систем і пристроїв існують загальноприйняті правила складання схем автоматизації. Діючий стандарт конструкторської документації визначає чотири види схем: електричні, гідравлічні, пневматичні та кінематичні. Ці схеми в свою чергу поділяються на структурні, функціональні, принципів та схеми з'єднань (монтажні).

Структурна схема визначає основні функціональні частини пристрою, їх призначення і взаємозв'язок.

Функціональна схема (ФС) – основний документ, що визначає функціонально-блочну структуру окремих частин автоматичного контролю, регулювання й управління технологічним процесом. ФС показують оснащення об'єкта управління приладами і засобами автоматизації. Деякі елементи зображують у розгорнутому вигляді з деталізацією окремих вузлів.

Принципова схема визначає повний склад елементів і з'язки між ними та дає детальне уявлення про принципи роботи всього засобу. Усі елементи зображують у розгорнутому вигляді, а апарати – з місцями приєднання проводів. До схеми додається специфікація елементів.

Схема з'єднань показує зв'язок складових частин засобів автоматизації, прокладення проводів та кабелів, а також місця їх приєднання.

Іноді складають **схеми розташування**, на яких показують взаємне просторове розташування окремих пристроїв або блоків системи. Для великих систем можуть бути розроблені **загальні схеми**, котрі визначають складові частини комплексу й їх з'єднання між собою на місці експлуатації.

11.2. Зображення засобів автоматизації на функціональних схемах

Функціональні схеми автоматизації пов'язані безпосередньо з технологією виробництва й накладаються на схему розміщення технологічного обладнання (технологічну схему). Технологічне обладнання на ФС повинне відповідати дійсній конфігурації, але зображуватися спрощено. Крім технологічного обладнання, на ФС зображують трубопроводи (води, пари, газу, повітря, палива та ін.).

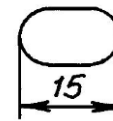
Відповідно до ГОСТу 21.404 – 85 прийняті такі умовні позначення основних елементів на схемах автоматизації технологічних процесів:



Перетворювач інформації, прилад, установлений по місцю (первинний)

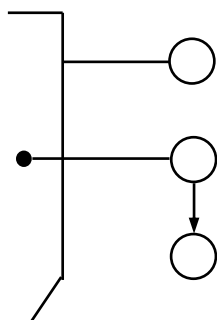


Прилад, установлений на щиті або на пульті диспетчера (вторинний прилад)



————— або - - - - -

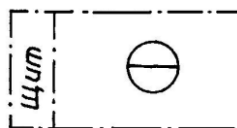
Контур технологічного об'єкта



Загальне позначення розміщення первинного перетворювача або приладу поза щитом

Точне позначення розміщення первинного перетворювача

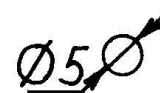
Використання стрілки для вказування напрямку передачі сигналу



Загальне позначення розміщення приладу на щиті (пульті диспетчера)



Виконавчий механізм (загальне позначення; позначення механізму з додатковим ручним приводом – Н)



Використання виконавчих механізмів для керування регулювальними органами показують таким чином:

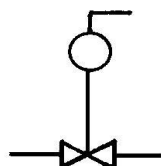
a – керування вентилем на трубопроводі;

b – керування затвором поворотним;

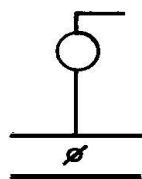
v – керування електричним контактом;

z – керування подільником напруги;

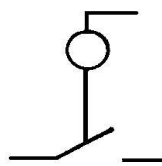
d – керування автотрансформатором регулювальним.



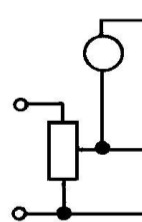
a



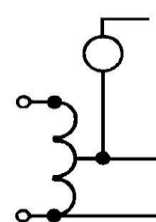
b



v

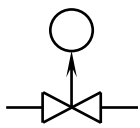


z

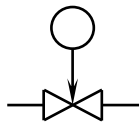
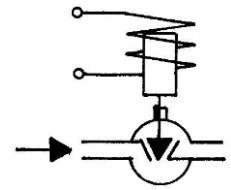


d

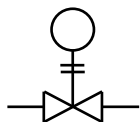
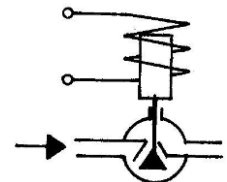
Характер роботи виконавчого механізму на схемах автоматизації показують таким чином:



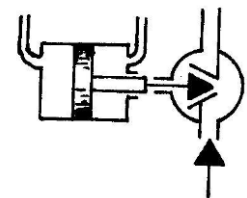
у разі припинення подачі керуючого сигналу він відкриває регулюючий орган, наприклад, при втягуванні осердя електромагніта у котушку:



закриває його, наприклад:



залишає у незмінному стані, наприклад:



11.3. Літерні позначення засобів автоматизації

За видом вимірюваної або контрольованої величини та функціональним призначенням прилади розрізняють за допомогою системи літерних позначень. Для цього використовують літери латинської абетки. Значення літерного символу залежить від місця його положення в літерному позначенні.

При розробленні ФС у верхній частині кола, що зображує пристрій, наносяться літерна позначка величини, яка вимірюється, і позначення функціональних ознак приладу. У нижній частині кола вказується цифрове позиційне позначення нумерації комплекту апаратури.

Порядок розташування літерних позначок у верхній частині має бути наступним:

- позначення основної вимірюваної величини;
- додаткове позначення, що уточнює за необхідності основну вимірювану величину;
- позначення функціональних ознак приладу.

Функціональні ознаки (якщо їх декілька у приладі) також розташовуються у визначеному порядку, а саме: I, R, C, S, A .

Літерні умовні позначення приладів та їх функцій наведені у таблиці 11.1.

Літерні умовні позначення приладів

Позначення	Величина, що вимірюється		Функціональні ознаки приладу
	Основне значення	Додаткове значення	
A	-	-	Сигналізація
C	-	-	Керування, регулювання
D	Густина	Різниця, перепад	-
E	Будь-яка електрична величина	-	Первинне перетворення інформації
F	Витрата	Співвідношення, частка, дріб	-
G	Розмір, положення, переміщення	-	-
H	Ручна дія	-	Верхня межа вимірюваної величини
I	-	-	Показання
J	-	Оббігання (почергове підключення)	-
K	Час	-	-
L	Рівень	-	Нижня межа вимірюваної величини
M	Вологість	-	-
P	Тиск, вакуум	-	-
Q	Будь-яка якісна характеристика речовини (склад, концентрація та ін.)	Інтегрування, додавання в часі	-
R	Радіоактивність	-	Реєстрація

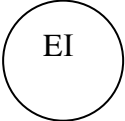
S	Швидкість, частота обертання	-	Наявність контактного пристрою
T	Температура	-	Дистанційна передача інформації
V	В'язкість	-	-
W	Маса	-	-
U	Здатність контролювати декілька величин	-	-
B,N,O	Рекомендовані резервні літери	-	-
X	Нерекомендована резервна літера	-	-

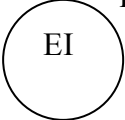
Розглянемо приклад побудови позначень приладу (рис. 11.1).

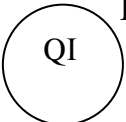


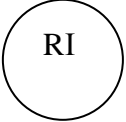
Рис. 11.1. Позначення приладу для вимірювання, реєстрації та автоматичного регулювання перепаду тиску в системі автоматизації, який установлений по місцю (прилад первинний)

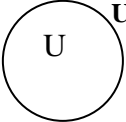
При побудові функціональних схем деякі літерні позначення наносять зовні графічного позначення праворуч від нього, наприклад:

 струм – контрольована величина – електричний струм (амперметр);

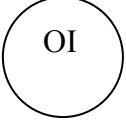
 напруга – контрольована величина – електрична напруга (вольтметр);

 H_2SO_4 – контрольована величина – концентрація сірчаної кислоти (концентратомір H_2SO_4);

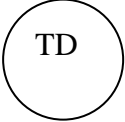
 γ – контрольована величина – γ -випромінювання;


 $U - f(p,T)$ – контрольована величина – тиск і температура.

Для позначення інших величин, які не передбачені стандартом, можуть використовуватися резервні літери – В, N, O та ін.; значення цих літер пояснюється безпосередньо на схемі, наприклад:

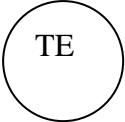
 – O – магнітний потік.

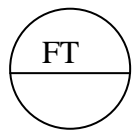
Характер контрольованої величини уточнюється за допомогою додаткових літер, які ставляться після позначення контрольованої величини: D – різниця; F – співвідношення; Q – інтегрування, наприклад:

 – контроль різниці температур;

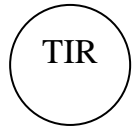
 – контроль співвідношення тисків.

Після позначення контрольованої величини вказують функціональні ознаки приладів, наприклад:

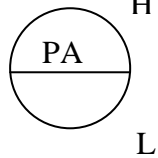
 – первинний перетворювач температур (термопара);



– вторинний перетворювач для дистанційної передачі інформації про витрату речовини;



– прилад поза щитом для вимірювання температур, що показує та реєструє;



– прилад на щиті для сигналізації верхньої та нижньої меж тиску.

Оббігаючий пристрій, що використовується для почергового підключення кількох первинних перетворювачів (TE) до вимірювального приладу, позначається літерою J після позначення контрольованої величини (рис. 11.2).

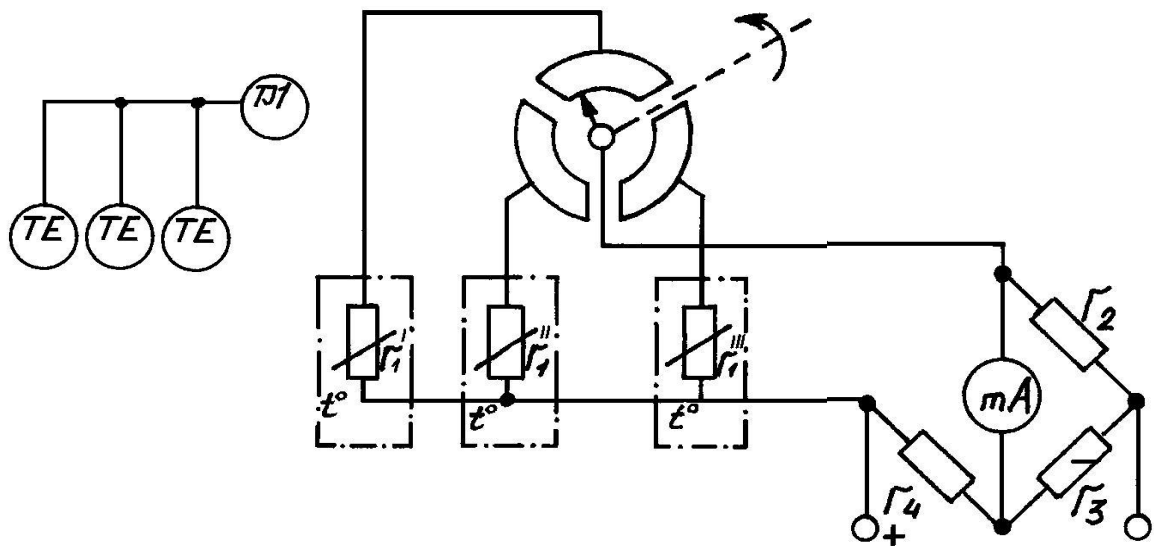


Рис. 11.2. Автоматичний міст для почергового контролю температури терморезисторами у трьох камерах за допомогою мостової схеми вимірювання

Використана література

1. Черевко О.І. Автоматизація виробничих процесів: підручник / О.І. Черевко, Л.В. Кіптєла, В.М. Михайлов, О.Є. Загорулько. – Харків: Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі, 2014. – 186 с.
2. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 544 с.
3. Автоматика і автоматизація технологічних процесів: підручник / Д.Б. Головка, К.Т. Реґо, Ю.О. Скрипник. – К.: Либідь, 1997. – 232 с.
4. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: навчальний посібник / Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К: Аграрна освіти, 2010. – 557 с.
5. Проць Я.І. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. – 344 с.
6. Мікропроцесорні засоби в автоматизованих системах керування технологічними процесами / [Бабіченко А.К., Красніков І.Л., Бабіченко Ю.А., Вельма В.І., Лисаченко І.Г., Подустов М.О., Дзєвочко О.М.]; за ред. А.К. Бабіченка. – Х.: Вид-во ТОВ «Водний Спектр Джі-Ем-Пі», 2016 р. – 440 с.
7. Семенцов Г.Н. Автоматизація процесу керування бурінням свердловин з регулюванням витрати бурового розчину / Г.Н. Семенцов, О.В. Гутак, Ю.Б. Головата // Нафтогазова енергетика. – 2012. – №1.
8. Семенцов Г.Н. Автоматизація технологічних процесів у нафтовій та газовій промисловості: навчальний посібник / Г.Н. Семенцов, Я.Р. Когуч, Я.В. Куровець, М.М. Дранчук. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. – 301 с.
9. Profibus [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://xn--b1afjrvh2f.xn--p1ai/index.php/lektsii/protokoly/kanalnyuroven/protokoly/80-profibus>.
10. Мережі Fast Ethernet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: http://citforum.ru/nets/lvs/glava_1.shtml.

ЗМІСТ

Вступ	3
Тема 1. Основні поняття та засоби автоматизації	4
Тема 2. Вимірювальні перетворювачі	9
Тема 3. Основні вимірювальні схеми	20
Тема 4. Релейні елементи автоматики	25
Тема 5. Підсилювач, виконавчий механізм, регулюючий орган	34
Тема 6. Автоматичний контроль технологічних параметрів	40
Тема 7. Основні елементи цифрової техніки	59
Тема 8. Мікропроцесорні засоби автоматизації	67
Тема 9. Автоматизація виробничих процесів об'єктів НГП	87
Тема 10. Основи теорії автоматичного керування	104
Тема 11. Функціональні схеми автоматизації	113
Використана література	120

Основи автоматизації об'єктів газової і нафтової промисловості
Навчальний посібник

Навчально-методичне видання

Єрмілова Наталія Василівна

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК
З ДИСЦИПЛІНИ
«ОСНОВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ГАЗОВОЇ І НАФТОВОЇ
ПРОМИСЛОВОСТІ»

для студентів спеціальності 185
«Нафтогазова інженерія та технології»

Комп'ютерна верстка Н.В. Єрмілова
Коректор І.Л. Петренко

Друк RISO
Обл.-вид. арк. 3,2

Поліграфічний центр
Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
36601, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24
Свідоцтво внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції
Серія ДК № 3130 від 06.03.2008

Віддруковано з оригінал-макета ПЦ
Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»