

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

## ЛЕКЦИЯ № 1 ПРИНЦИПЫ И СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

### План

1. Система автоматического регулирования
2. Принципы автоматического регулирования
3. Классификация САР

### 1. Система автоматического регулирования

**Автоматичне регулювання** - це підтримка на заданому рівні або зміна будь-якої фізичної величини в об'єкті регулювання по необхідному закону без безпосередньої участі людини.

Для цього використовуються системи автоматичного регулювання (САР), основне призначення яких - звести до мінімуму відхилення регульованого процесу від заданого стану, що виникають під дією різних причин.

Апарат, машина, агрегат або процес, в якому регулюються ті чи інші параметри технологічного режиму, називається **об'єктом регулювання**, а технічний пристрій, за допомогою якого здійснюється (автоматичне) регулювання - **(автоматичним) регулятором**.

Автоматичний регулятор разом з об'єктом регулювання утворюють систему автоматичного регулювання.



Рис.1. Принципова схема системи автоматичного регулювання (САР)

Значення регульованої величини, яке в процесі регулювання слід підтримувати стабільним, називається **заданим значенням**, а її значення в заданий момент часу - діючим значенням.

Різниця між поточним і діючим значенням регульованої величини називається **відхиленням**. Для вимірювання відхилення застосовують елемент порівняння, котрий поміщається зазвичай в регулятор.

Пристрій, за допомогою якого забезпечується регулюючий вплив, називається **регулюючим органом**, який змінює кількість речовини або енергії, що підводиться до об'єкта регулювання та відводиться від нього.

Пристрій, що реагує на зміну регульованої величини називається первинним чутливим елементом (датчиком).

Будь-яка система автоматичного регулювання повинна включати:

- об'єкт регулювання;
- чутливий елемент (датчик);
- автоматичний регулятор;
- виконавчий механізм;
- регулюючий орган.

Ці 5 елементів є необхідними: за відсутності хоча б одного з них система перестає бути системою автоматичного регулювання.

## 2. Принципи автоматичного регулювання

Існують 2 основних принципи регулювання:

- за збуренням (навантаженні);
- по відхиленню (помилково).

Регулювання за збуренням (принцип Понсале) полягає в тому, що для компенсації впливу збурення на об'єкт регулювання вимірюють величину цього обурення і здійснюють регулюючий вплив, що забезпечує необхідну зміна регульованого параметра.



## Рис.2. Структурна схема регулювання по збуренню

Для реалізації такого регулювання у склад технічних засобів повинні входити:

- ▣ датчик (первинний вимірювальний елемент), що вимірює величину збурюючого впливу;
- ▣ перетворювач, що забезпечує стандартну форму вихідного сигналу з датчика;
- ▣ регулятор, вихідний сигнал з якого надходить на виконавчий механізм регулюючого органу.

**Перевага регулювання за збуренням** полягає в тому, що збурюючий вплив можна усунути до того, як настає неузгодженість регульованого параметра, викликане цим збуренням.

**Основний недолік регулювання за збуренням** зводиться до того, що формування керуючого впливу здійснюється незалежно від регульованого параметра і без урахування інших збурюючих впливів, котрі неконтролюються датчиками.

Таким чином, недоліки регулювання за збуренням обумовлені тим, що справжнє значення регульованого параметра не вимірюється і не контролюється.

Як приклад звернемося до системи централізованого регулювання температури повітря в опалюваних будівлях. Тут температура теплоносія в подавальному трубопроводі задається згідно з опалювальним графіком, залежно від температури зовнішнього повітря. Регульована величина (температура внутрішнього повітря опалюваних приміщень) безпосередньо на температуру теплоносія ніяк не впливає. Тому результуючий тепловий режим окремих приміщень може суттєво відрізнятись.

Принцип регулювання по відхиленню полягає в тому, що визначається відхилення  $x(t)$  регульованого параметра  $g(t)$  від його заданого значення  $y(t)$  і залежно від величини відхилення формується регулюючий вплив, що зводить відхилення  $x(t)$  до нуля.

**Особливість даного принципу** полягає в тому, що регулятор впливає на об'єкт регулювання при відхиленні регульованої величини від заданого значення, незалежно від причин цього відхилення.

$$x(t) = g(t) - y(t)$$

$$x(t) \rightarrow 0$$

Поточне значення регульованого параметра  $g(t)$  через первинний вимірювальний елемент (датчик) і стандартний вимірювальний перетворювач надходить на регулятор, де порівнюється з його заданим значенням  $y(t)$  і, залежно від різниці  $x(t)$  формується регулюючий вплив, яке через виконавчий механізм регулюючого органу змінюють його положення, зводячи відхилення  $x(t)$  до нуля.



Рис. 3 Структурна схема регулювання по відхиленню

У системах, регульованих за принципом відхилення для формування регулюючих впливів необхідна наявність неузгодженості. Саме по собі це є недоліком, так як саме неузгодженість підлягає усуненню регулятором. Разом з тим такі системи отримали широке практичне розповсюдження, оскільки регулює вплив в них здійснюється незалежно від кількості, виду і місця докладання збурюючих впливів.

Всього одним регулюючим впливом часто досягається компенсація декількох збурень.



Рис.4. Зворотній зв'язок в САР

**Регулювання по відхиленню - основний принцип побудови систем автоматичного регулювання.** Переваги таких САР пояснюються, в першу чергу, наявністю зворотного зв'язку, тобто, передачею сигналу від датчика регульованого параметра на регулятор, який формує регулюючий вплив на об'єкт регулювання з урахуванням відхилення поточного значення регульованого параметра від заданого.

**Головними недоліками** систем зі зворотним зв'язком є принципова наявність помилки регулювання і схильність до коливань. Незважаючи на це, системи зі зворотним зв'язком широко розповсюджені в природі і техніці.

У системах, регульованих за принципом відхилення для формування регулюючих впливів необхідна помилка регулювання. Саме по собі це є недоліком, так як саме помилка підлягає усуненню регулятором.

Разом з тим такі системи отримали широке практичне розповсюдження, оскільки регулюючий вплив в них здійснюється незалежно від кількості, виду і місця докладання збурюючих факторів.

Всього одним регулюючим впливом часто досягається компенсація декількох збурень.

Кожен з розглянутих двох принципів регулювання: за збуренням і відхиленням має свої переваги і недоліки. Щоб оптимально поєднати в системах регулювання переваги обох принципів були створені **комбіновані системи, в яких регулює вплив здійснюється як за збуренням, так і за відхиленням.**

### 3. Класифікація САР

У **системах стабілізації** значення регульованої величини підтримується на постійному рівні.

**Системи програмного регулювання** забезпечують зміну регульованої величини за заздалегідь встановленою програмою. Таке регулювання застосовується, в основному, при автоматизації періодичних процесів, коли регульований параметр потрібно змінювати в часі за заздалегідь заданим законом.

Слідкуючі системи забезпечують взаємну відповідність тих чи інших регульованих параметрів, що змінюються в деяких межах в часі за довільним, наперед невідомим законом.

Розглянемо найбільш поширені системи регулювання.

До найбільш поширених систем регулювання відносяться:

- замкнуті;
- зі зворотним зв'язком;
- прямої і непрямой дії;
- безперервної і дискретної дії;
- з кількома регульованими параметрами.

У **замкнутих системах** регулюючий вплив формується залежно від знаку і величини різниці між діючим і заданим значенням регульованого параметра. За відсутності збурень неузгодженість у системі дорівнює нулю, і, отже, дорівнює нулю і зміна регулюючого впливу. При появі збурень виникає неузгодженість, яка і є причиною зміни регулюючого впливу.

Замкнутість системи регулювання полягає в наявності зворотного зв'язку за регульованим параметром.



Рис. 5. Принцип дії замкненої САР

Принцип дії замкнутої системи регулювання зображений на малюнку. Тут на об'єкт регулювання діють кілька збурень, викликаючи відхилення регульованої величини. Поточне значення останньої сприймається датчиком, а потім порівнюється із заданим значенням в регуляторі. Залежно від величини відхилення, регулятор формує регулюючий вплив на виконавчий механізм регулюючого органу. Вплив, що надходить на вхід того або іншого елемента системи, будемо називати вхідною величиною або входом, а вплив на виході цього ж елемента - вихідною величиною або виходом. У замкнутій системі вихідна величина попереднього елемента є вхідний величиною наступного. Наприклад, входом об'єкта регулювання є збурюючі та і регулюючі дії, а виходом - сигнал пропорційно зміненого регульованого параметра. входом виконавчого механізму регульованого параметра є регулюючий вплив, сформований регулятором, а вихідний сигнал надходить безпосередньо на регулюючий орган.

**Системи регулювання із зворотним зв'язком** характеризуються тим, що сигнал регульованого вихідного параметра повертається в перетвореному вигляді до об'єкта регулювання.

Таким чином, **зворотний зв'язок** - це вплив, що подається з виходу того чи іншого елемента системи на його вхід, або на вхід або вихід одного з попередніх елементів. Якщо зростання вихідної величини, поданої на вхід елемента, викликає ще більше збільшення цієї вхідної величини, то зворотний зв'язок називається **позитивним**.

Якщо ж збільшення вихідної величини, поданої на вхід, викликає її зменшення, то зворотний зв'язок називається **негативним**.

Системи автоматичного регулювання належать до систем з негативним зворотним зв'язком.

Якщо в системах регулювання зусилля, що розвивається датчиком, недостатньо для приведення в дію регулюючого органу, то в цьому випадку до системи необхідне підведення енергії від стороннього джерела. Така система регулювання називається **системою непрямої дії**. Типова схема САР непрямої дії зображена на малюнку.

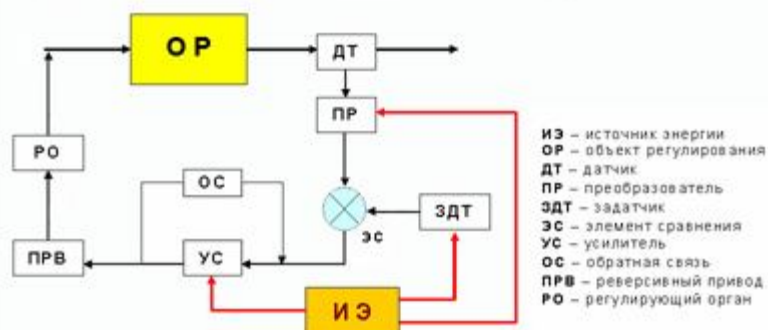


Рис. 6. Схема САР непрямої дії

Кількість елементів, що складають систему непрямої дії, перевищує кількість елементів у системі прямої дії. На додаток до об'єкта регулювання, датчика і

регулюючого органу в системі непрямої дії додаються перетворюючі та підсилювальні пристрої, а також елементи зворотних зв'язків, призначені для формування регулюючого впливу з того чи іншого закону.

Для установки заданого значення регульованої величини застосовують **здатчик**.

Переміщення регулюючого органу в системах непрямої дії здійснюється зазвичай за допомогою **реверсивного приводу (серводвигуна)**.

Привід і регулюючий орган зазвичай об'єднані і складають **виконавчий механізм регулятора**.

Залежно від виду використовуваної допоміжної енергії системи непрямої дії поділяються на:

- **пневматичні**, в яких використовується енергія стисненого повітря;
- **електричні**, де джерелом енергії служить електричний струм;
- **гідравлічні**, де джерелом енергії є тиск рідини;
- **комбіновані**, що використовують кілька джерел енергії (електропневматичні, електрогідравлічні і т.д.).

Якщо ж зусилля, що розвивається датчиком, забезпечує приведення в дію регулюючого органу, і ніякої додаткової енергії ззовні не потрібно, то така система регулювання є системою **прямої дії**.

Система автоматичного регулювання є системою **безперервної дії**, якщо при безперервному відхиленні регульованої величини від заданого значення, регулюючий орган також переміщається безперервно. Такі системи в робочому стані завжди замкнені.

Радіаторний терморегулятор якраз і відноситься до систем безперервної дії.

Існують також системи дискретної (переривчастої) дії, які поділяються на:

- імпульсні;
- релейні.

До **імпульсних систем** відносяться такі системи, в яких при безперервному відхиленні регульованої величини регулюючий вплив здійснюється не безперервно, а через деякі фіксовані проміжки часу.

Регулюючий орган діє на об'єкт регулювання окремими імпульсами, тривалість, величина і знак яких залежить від стану системи в певний момент часу. У проміжках між імпульсами система розмикається. Період чергування імпульсів не залежить від відхилення регульованої величини і задається примусово.

У **релейних системах** регулюючий орган переміщується тільки при досягненні регульованою величиною певних значень. До тих пір, поки регульована величина знаходиться в діапазоні допустимих відхилень, система залишається розімкнутою, і регулюючий орган - нерухомим. Коли ж регульована величина виходить за межі допустимого діапазону, система замикається.

## Лекція №2 Датчики фізичних величин

### План

1. Вимірювальні перетворювачі (датчики)
2. Датчики переміщень
3. Датчики температури
4. Датчики тиску
5. Датчики витрат
6. Датчики рівня
7. Датчики вологості
8. Магніторезистивні датчики і датчики Холла

### 1. Вимірювальні перетворювачі (датчики)

*Датчиком* називається чутливий елемент, призначений для вимірювання фізичних величин і перетворення їх в сигнал, зручний для підсилення, передачі на відстані і впливу на виконавчий механізм (ВМ) автоматичного пристрою.

Умовне графічне позначення датчика на функціональній схемі показано на рис.1.1. Найчастіше вихідними величинами датчика є електричні або гідравлічні параметри.

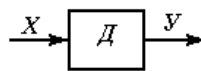


Рис. 1.1. Умовне позначення датчика

На рис. 1.1  $X$  - вхідні сприймається і контрольована фізична величина (температура  $t$ , тиск  $p$ , витрата  $F$ , рівень  $L$  та ін);  $Y$  - вихідна величина (напруга  $U$ , струм  $I$ , е.р.с.  $e$ ), що виробляється датчиком, має електричну природу і являє собою параметр електричного кола ( $R$ ,  $L$ ,  $C$ ) і е.р.с.

Датчик, перетворює вхідну фізичну величину параметра електричного кола, називається параметричним, а в е.р.с. - генераторним. Всі датчики поділяють на вимірювальні і релейні. Вимірювальні датчики мають лінійну статичну характеристику (рис. 1.2) і видають на виході безперервний сигнал.



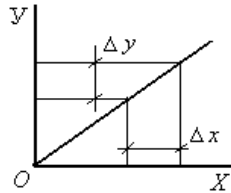


Рис. 1.2. Статична характеристика вимірювального датчика:  $X$ ,  $Y$  - вхідна і вихідна величина датчика;  $\Delta y$ ,  $\Delta x$  - збільшення вхідної і вихідної величин

Релейні датчики мають релейну статичну характеристику (рис. 1.3) і видають на виході дискретний (перервний) за рівнем сигнал.

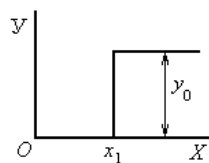


Рис. 1.3. Статическая характеристика релейного датчика

З релейної характеристики (рис. 1.3) випливає, що якщо вхідна величина  $x < x_1$ , то вихідна величина  $y = 0$ . При  $x > x_1$  вихідна величина  $y = y_0$  і залишається незмінною при подальшому збільшенні  $x$ .

Чутливість датчика виражається як відношення приросту вихідної величини до збільшенню вхідної величини (рис. 1.2) у сталому режимі

$$s = \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (1.6)$$

Чутливість датчика графічно виражається крутизною його статичної характеристики. Чим більша крутизна, тим більшу чутливість має датчик.

## 2. Датчики переміщень

**Реостатні датчики.** Реостатні датчики перетворюють переміщення в зміну електричного опору. Принципова схема реостатного датчика представлена на рис. 1.5.

При переміщенні движка реостата (за зміну  $\alpha, s$ ) змінюється напруга  $U_{\text{вих}}$ . Щоб статична характеристика датчика була лінійною, необхідно виконати умову  $R_n \gg R_p$ .

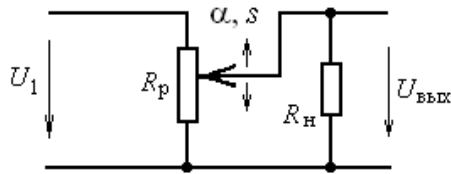
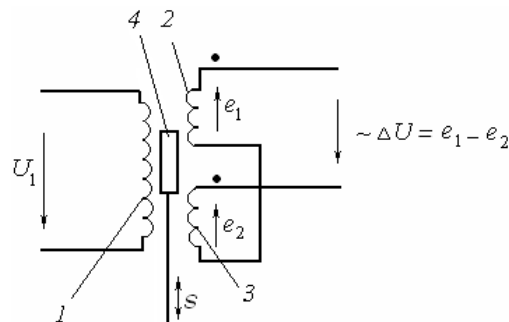


Рис. 1.5. Реостатний датчик:  $\alpha, s$  - вхідна величина

(кутове або лінійне переміщення);  $U_{\text{вих}}$  - вихідна величина (напруга);  $R_p$  - опір реостата;  $R_n$  - опір навантаження;  $U_1$  - напруга живлення

Обмотки реостатів виконуються із сплавів високого питомого опору: константана, сплавів платини, золота. Для контролю кутових переміщень застосовуються датчики, каркаси яких виконуються у вигляді частини кола.

**Індуктивні датчики.** В індуктивних датчиків переміщення перетворюється в зміну індуктивності  $L$  або взаємної індуктивності  $M$ . Для прикладу на рис. 1.6 представлена принципова схема індуктивного диференційно-трансформаторного датчика.



Мал. 1.6. Принципова схема індуктивного диференційно-трансформаторного датчика:  $S$  - вхідна величина (переміщення плунжера);  $\Delta U$  - вихідна величина(напруга);  $U_1$  - напруга живлення(змінне);  $I$  - первинна обмотка; 2 і 3 - секції вторинної обмотки

Параметри обмоток 2 і 3 однакові; включені обмотки зустрічно. При переміщенні плунжера 4 вгору або вниз міняється коефіцієнт взаємоіндукції в обмотках 2 і 3. Внаслідок цього одна з наведених е.д.с.  $e_1$  або  $e_2$  збільшується, а інша зменшується. Оскільки обмотки 2 і 3 включені зустрічно, то на виході

датчика виникає змінна різниця напруги  $\sim \Delta U = e_1 - e_2$  певної фази, яка змінюється за величиною зі зміною переміщення  $S$ .

До датчиків переміщення також відносяться: тензочутливі, ємнісні, фотоелектричні, магніточутливі та ін. Датчики переміщення часто застосовуються в перетворюючих пристроях датчиків тиску, витрати, рівня та ін.

### 3. Датчики температури

**Біметалевий датчик температури.** Дія біметалевого датчика (рис. 1.7) ґрунтується на різниці температурних коефіцієнтів розширення різних металів.

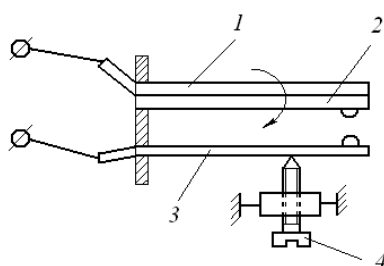


Рис. 1.7. Принципова схема біметалевого датчика температури: 1 – пластина зі сталі, міді чи латуні; 2 – сплав заліза з нікелем – інвар (64 % Fe + 36 % Ni); 3 – нерухомий контакт; 4 – регулювальний гвинт

Коефіцієнт температурного розширення платини 1 більше, ніж пластини 2 в 10-20 раз. При нагріванні біметалева полоса прогинається і контакт замикається. Статична характеристика датчика релейна. Датчики застосовуються для обмеження допустимих значень температури.

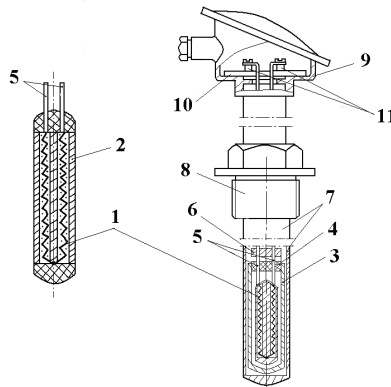
**Термочутливі датчики (термоопори).** Термоопори є датчиками температури, дія яких ґрунтується на властивості металів або напівпровідників змінювати свій електричний опір при зміні температури.

Конструкція термометра опору приведена на мал. 1.8. Чутливий елемент платиного термометра опору виконується у вигляді спіралі з дроту 1, поміщеною в двох або чотирьохканальній керамічній каркасі 2. Захисна оболонка 3 чутливого елемента ущільнена керамічною втулкою 4. Висновки 5 чутливого елемента проходять через ізоляційну керамічну трубку 6. Усе це знаходиться в захисному чохлі 7, встановленому на об'єкті виміру за допомогою штуцера 8. На кінці захисного чохла розташовується сполучна голівка 9 термометра опору. У голівці

знаходиться ізоляційна колодка 10 з гвинтами 11 для кріплення виведень термометра і підключення сполучних дротів. Нині для виготовлення термометрів опору застосовуються наступні метали: мідь, платина і нікель. Найбільше застосування знайшли мідні(ТСМ) і платинові(ТСП) термометри опору (таблиця. 1). Мідь є дешевим матеріалом, який може бути високої частоти. Опір міді змінюється з температурою в діапазоні 10-200 °С практично лінійно:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (1.7)$$

где  $R_t$  и  $R_0$  – сопротивления термометра при температуре  $t$  и  $0, ^\circ\text{C}$ ;  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления медной проволоки,  $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3}, ^\circ\text{C}^{-1}$ .



**Рис. 1.8. Конструкция термометра сопротивления**

**Термоелектричні датчики (термопари).** Термопара є генераторним датчиком. Дія термопари ґрунтується на виникненні термоелектрорушійної сили (термо-ЕРС) в ланцюзі, що складається з двох різнорідних провідників при зміні температури місця їх спаю, коли температура вільних кінців постійна (*явище Томсона*).

Термопара є замкнутим контуром, що складається з двох різнорідних провідників (термоелектродів)  $A$  і  $B$  - позитивного і негативного (мал. 1.9). В точках з'єднання термоелектродів виникає термо-ЕРС., значення якої залежить лише від матеріалу термоелектродів і різниці температур  $t_1$  і  $t_0$ . Результуюче значення термо-ЕРС визначається за виразом

$$E_{AB}(t_1, t_0) = e_{AB}(t_1) - e_{AB}(t_0), \quad (1.9)$$

где  $E_{AB}(t_1)$  – термо-ЭДС в спае 1;  $E_{AB}(t_0)$  – термо-ЭДС в спае 2.

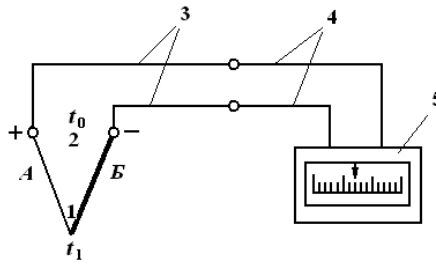


Рис. 1.9. Схема соединения термопары и потенциометра:

А и Б – термоэлектроды; 1 – горячий спай; 2 – холодный спай; 3 – термоэлектродные провода; 4 – соединительные провода; 5 – измерительный прибор (потенциометр)

Если температуру  $t_0$  в спае 2 поддерживать постоянной, то

$$E_{AB}(t_1, t_0) = e_{AB}(t_1). \quad (1.10)$$

Кінець 1 термопары (мал. 1.9) поміщують в середовище, температуру якого вимірюють; його називають робочим кінцем (гарячим спаєм). Кінці 2 називають вільними кінцями (холодним спаєм). Для правильної оцінки температури за шкалою вимірювального приладу вільні кінці термопары "переносять" за допомогою термоелектродних дротів в місце з більше постійною температурою. Термоелектродні дроти виготовляють з матеріалів, які при з'єднанні між собою розвивають термо-ЕРС, однакову з термо-ЕРС термопары. Вони фактично подовжують термоелектроди термопары.

#### 4. Датчики тиску

**Датчик тиску** - пристрій, фізичні параметри якого змінюються залежно від тиску вимірюваного середовища (рідини, газу, пари). У датчиках тиск вимірюваного середовища перетворюється в уніфікований пневматичний, електричний сигнали або цифровий код.

Для прикладу розглянемо схему перетворювача (мал. 1.10), призначеного для виміру надлишкового тиску. Перетворювач складається з вимірювального блоку і електронного пристрою.

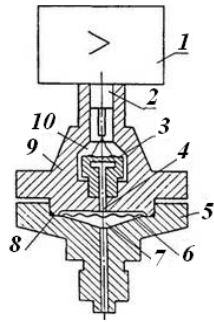


Рис. 1.10. Преобразователь «Сапфир-22ДИ»

Чутливим елементом (ЧЕ) перетворюючого блоку є мембранний напівпровідниковий перетворювач 3, розміщений усередині основи 9. ЧЕ виконується на основі пластини з монокристалічного сапфіра з кремнієвими плівковими тензорезисторами (структура КНС - кремній на сапфірі), міцно сполученою з металевою мембраною. Внутрішня порожнина 4 тензоперетворювача заповнена кремнійорганічною рідиною і відокремлена від вимірюваного середовища металевою гофрованою мембраною 6, привареною по зовнішньому контуру до основи 9. Вимірюваний тиск подається в камеру фланця 5. Між основою 9 і фланцем поміщено ущільнююче прокладення 8. Порожнина 10 повідомлена з навколишньою атмосферою.

Вимірюваний тиск впливає на мембрану 6 і через рідину передається на мембрану тензоперетворювача 3, викликаючи її прогин і відповідну зміну опору тензорезисторів, сполучених в мостову схему. Електричний сигнал по дротах через герметичне виведення 2 надходить в електронний блок 1, який містить коректори для плавного підстроювання діапазону і нуля вихідного сигналу. При вимірі абсолютного тиску порожнина 10 відкачується і герметизується. Як при вимірі надмірного тиску, так і абсолютного тиску в цій конструкції вимірюваний тиск впливає через рідину безпосередньо на мембрану тензоперетворювача.

Дія тиску викликає зміну положення чутливого елемента, при цьому змінюється електричний опір його тензорезисторів, що призводить до розбалансу мостової схеми. Електричний сигнал, що утворюється при розбалансі мостової схеми, вимірюється АЦП і подається в електронний перетворювач, який перетворить цю зміну у вихідний сигнал. У моделях 150ТА і 150ТАR порожнина над чутливим елементом вакуумовано і герметизовано.

## 5. Датчики витрат

При автоматичному контролі витрат рідини або газу найширше застосовують датчики, що працюють на принципі вимірювання змінного чи постійного перепаду тиску, а також турбінні, вихрові, ультразвукові та ротаційні перетворювачі. Для вимірювання витрат по методу змінного перепаду тиску застосовують спеціальні звужуючі пристрої: діафрагми, сопла і витратомірні трубки Вентурі (рис. 1.14).

**Діафрагма** (рис. 1.14а) це тонкий диск з центральним отвором, передня частина якого має циліндричну форму, яка переходить в конус, що розширюється. Відбір тиску здійснюється за допомогою кільцевих камер, розташованих по периметру труби або за допомогою окремих отворів в трубопроводі.

**Сопло** (рис. 1.14б) має спрофільовану вхідну частину, котра переходить в циліндричну ділянку діаметром  $d_c$ . Відбір тиску здійснюється так само, як і в діафрагмі. Сопла дозволяють вимірювати більші витрати, ніж діафрагма. Втрати тиску та помилка вимірювання для сопла менші, ніж для діафрагми.

**Сопло Вентурі** (рис. 1.14в) застосовують там, де при вимірюванні витрат неприпустимі великі втрати тиску. Воно складається з двох частин: стандартного сопла і дифузора. Відбір тиску від сопла здійснюється через кільцеві камери.

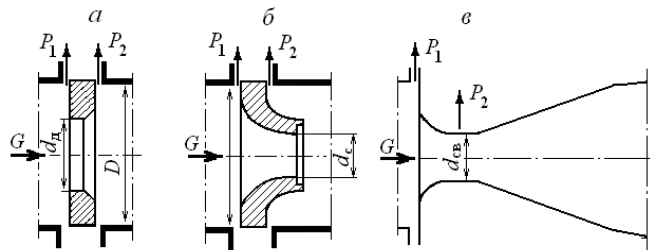


Рис. 1.14. Сужающие устройства: а – диафрагма; б – сопло; в – сопло Вентури

Залежність між перепадом тиску в звужуючому пристрої і витратами середовища дозволяє градуувати ці прилади в одиницях витрат. Для перетворення перепаду тиску в електричний вихідний сигнал (аналоговий або цифровий) застосовують перетворювачі витрат.

Точність вимірювань тиску залежить від правильного встановлення датчика і з'єднуючих трубок від місця відбору тиску до датчика. Температура вимірюваного середовища в робочій частині датчика не повинна перевищувати  $120^{\circ}\text{C}$ . Для

зниження температури датчик встановлюють на з'єднуючій лінії довжиною 0,5-3 м. Такі лінії повинні мати ухил (не менше 1:10) від місця відбору тиску, в верх до датчика, якщо вимірюється тиск газу і вниз до датчика, якщо вимірюється тиск рідини.

## Індукційні витратоміри

Індукційні витратоміри застосовують для вимірювання в напірних трубопроводах середніх об'ємних витрат гарячої та холодної води. Вони можуть працювати у складі теплових лічильників, а також в системах контролю і регулювання інших електропровідних рідин.

Принцип роботи індукційного витратоміра ґрунтується на вимірюванні електрорушійної сили (ЕРС) індукції, що виникає в об'ємі електропровідної рідини, яка рухається в магнітному полі, що створене системою в перерізі каналу першочергового перетворювача. Для прикладу розглянемо структуру електромагнітного витратоміра-лічильника «ВЗЛЕТ ТЭР» (рис. 1.16).

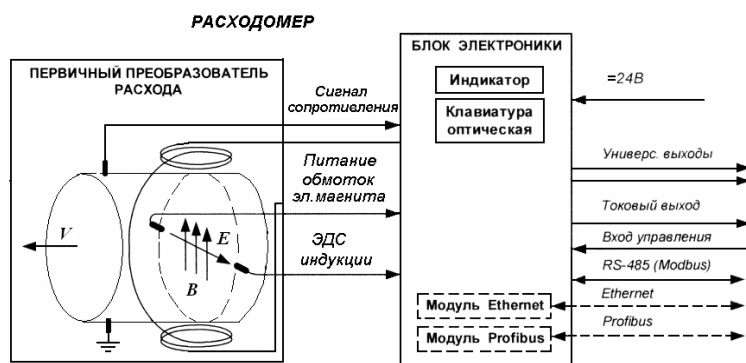


Рис. 1.16. Структура індукційного расходомера

Електромагнітний первичний преобразователь (ППР) расходомера (рис. 1.16) представляє собою повний магнітопроникаємий циліндр, зовні якого розташовані обмотки електромагніта. Внутрішня поверхня циліндра має електроізоляційне покриття. Для зняття вимірювального сигналу в стінках циліндра в горизонтальній площині діаметрально розташовані два електрода, контактуючі з контролюваною рідиною.



ЭДС индукции  $E$  пропорциональна средней скорости потока жидкости  $V$ , расстоянию между электродами  $d$  (внутреннему диаметру первичного преобразователя) и магнитной индукции  $B$ :

$$E = k \cdot B \cdot d \cdot V, \quad (1.11)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности.

Для данного типоразмера электромагнитного расходомера величины  $B$  и  $d$  постоянные. Значение ЭДС не зависит от температуры, вязкости, а также проводимости жидкости при условии, что проводимость не меньше указанной в технических характеристиках расходомера. С учетом (1.11) для ЭДС индукции расход  $Q$  определяется по формуле:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot V = \frac{\pi d}{4kB} \cdot E. \quad (1.12)$$

Объем жидкости  $V$ , прошедший через ППР за интервал времени  $T$ , рассчитывается по формуле

$$V = \int_0^T Q(t) dt. \quad (1.13)$$

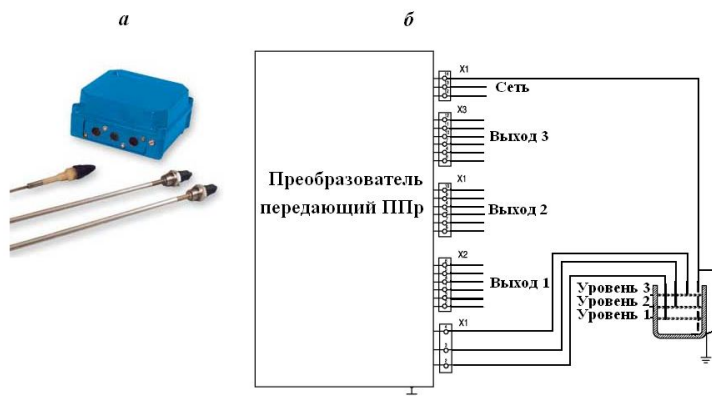
Для определения сопротивления контролируемой жидкости в стенках цилиндра в вертикальной плоскости диаметрально расположены два электрода.

## 6. Датчики рівня

**В системах ТГіВ датчики рівня застосовують для контролю рівня води в прямках для відкачування насосом дренажної води, рівня вугілля в бункерах котлів, рівня рідини в баках-акумуляторах гарячого водопостачання, рівня води в резервуарах під тиском (в теплофікаційних деаераторах, основних і пікових підігрівачах ТЕЦ, в барабанах парових котлів та ін.).**

Для примера на рис. 1.18 представлен общий вид и электрическая схема подключения прибора ЭРСУ-ЗР, предназначенного для сигнализации и поддержания в заданных пределах уровня электропроводных жидкостей в трех точках в одном или различных резервуарах.

**Основные технические характеристики: выходной сигнал – переключающие контакты.**



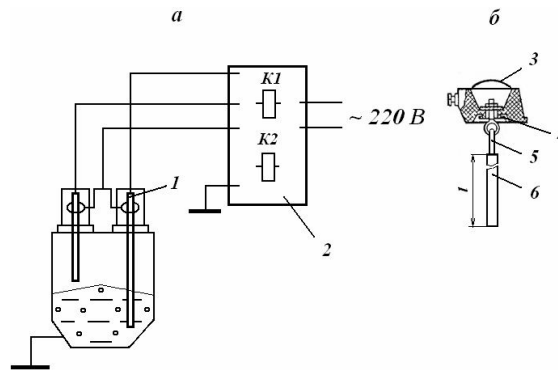
**Рис. 1.18. Общий вид (а) и электрическая схема подключения прибора ЭРСУ-3Р (б)**

**Прибор состоит из передающего преобразователя и трех датчиков.**

**Для контроля заполнения бункеров котельных установок углем широко находит применение реле искробезопасного контроля сопротивлений ИКС-2Н совместно с датчиком уровня ДУ (рис. 1.19).**

**При контроле двух уровней заполнения бункера применяется одно реле ИКС-2Н с двумя датчиками. В этом случае порядок работы схемы реле следующий. Пока бункер пуст, искробезопасные цепи управления разомкнуты. Поступающий в бункер уголь заполняет его и входит в соприкосновение с нижним электродом. Реле при этом не срабатывает, так как электрод нижнего уровня включен через замыкающий контакт исполнительного реле К2. При дальнейшем заполнении бункера уголь входит в соприкосновение с электродом верхнего уровня. В этот момент срабатывает реле К1 и своим замыкающим контактом подает питание на катушку исполнительного реле К2, которое срабатывает и своими контактами дает сигнал о заполнении бункера и замыкает цепь электрода нижнего уровня. Уровень угля снижается и цепь уголь – верхний электрод разрывается, но искробезопасная цепь управления продолжает оставаться замкнутой через нижний электрод, а, следовательно, продолжает подаваться сигнал о заполнении бункера. При дальнейшей разгрузке бункера искробезопасная цепь нижнего электрода разрывается и**

схема возвращается в исходное положение, то есть подается сигнал о возможности заполнения бункера.



**Рис. 1.19. Устройство контроля сопротивлений ИКС-2Н:**

*а* – принципиальная схема; *1* – датчик уровня ДУ; *2* – реле контроля сопротивлений ИКС-2Н; *б* – датчик уровня ДУ; *3* – пластмассовый корпус; *4* – охранный кольцо; *5* – крепление электрода с корпусом; *6* – электрод

Для вимірювання рівня рідини в резервуарах під тиском широко застосовують дифманометричні рівне вимірювачі, принцип дії яких засновано на вимірюванні гідростатичного тиску рідини за допомогою диференційного манометра.

## 7. Датчик вологості

Ємнісні датчики вологості нині по масовості використання конкурують і навіть перевершують волосяні, оскільки по простоті і дешевизні вони не поступаються волосяним. Вимірюваною фізичною величиною є ємність конденсатора, а це означає, що як індикатор або вихідний пристрій може використовуватися будь-який вимірювач ємності. На підкладку з кварцу наноситься тонкий шар алюмінію, що є однією з обкладинок конденсатора.

На поверхні алюмінієвого покриття утворюється тонка плівка окислу  $Al_2O_3$ . На окислену поверхню наноситься напиленням інший електрод з металу, що вільно пропускає пари води. Такими матеріалами можуть бути тонкі плівки паладію, родію або платини. Зовнішній щільний електрод є другою обкладинкою конденсатора.

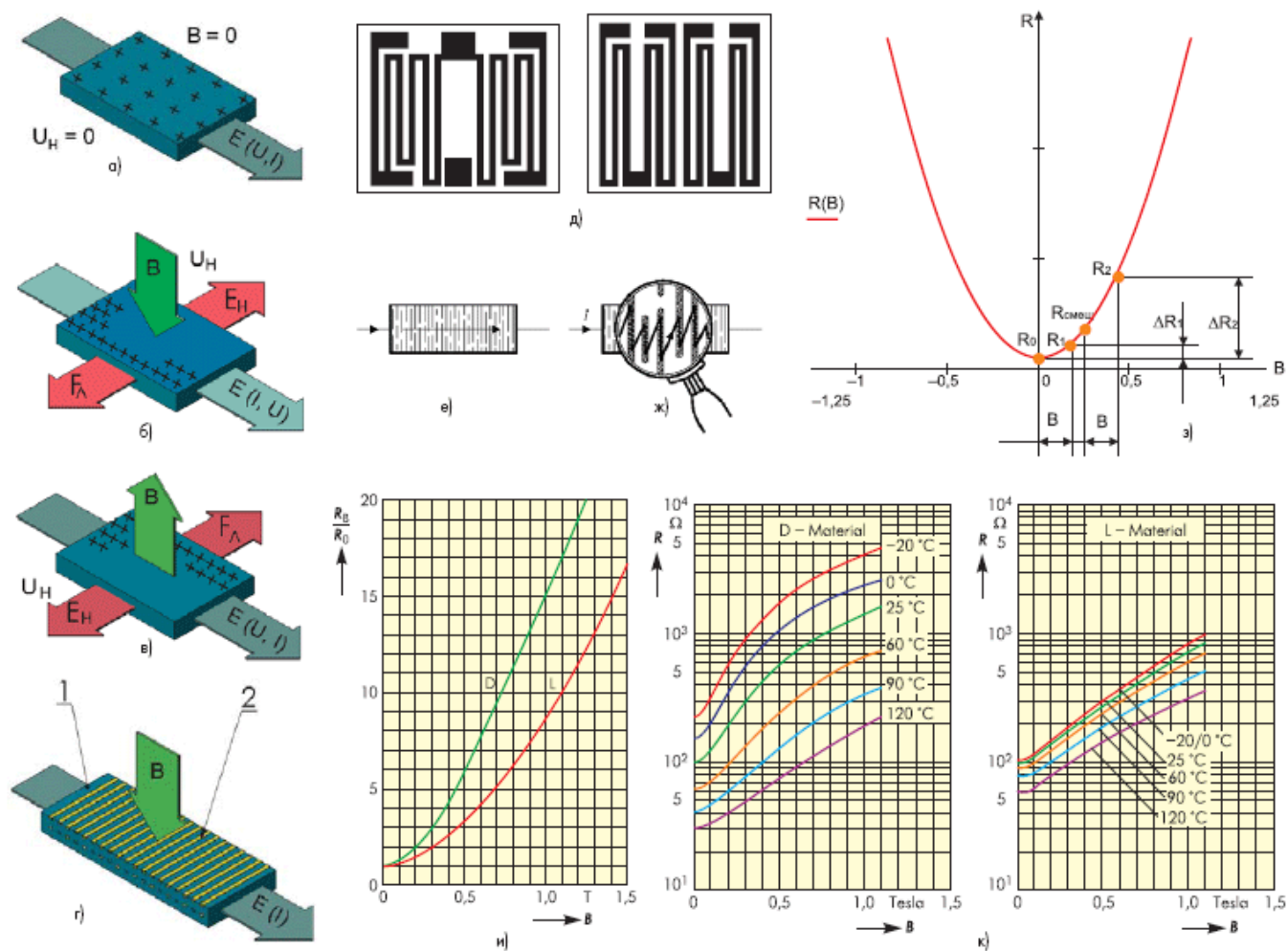


Конструкція **резистивного датчика** вологості є меандром з двох не дотичних електродів, на поверхню якого нанесено тонкий шар гігроскопічного діелектрика. Останній, сорбуючи вологу з довкілля, змінює опір проміжків між електродами меандру. Про вологість судять по зміні опору або провідності такого елемента.



## 8. Магніторезистивні датчики і датчики Холла

Магніторезистор - це напівпровідниковий резистор, в якому використовується залежність електричного опору від магнітного поля. Магніторезистор є ізоляційною підкладкою, на яку наклеєний шар речовини. До напівпровідникової пластини підпаюються або приварюються провідники. Принцип дії магніторезисторів ґрунтується на використанні магніторезистивного ефекту, що призводить до зміни активного опору резистора при внесенні його в магнітне поле або при зміні напруженості цього поля. Отже, змінюючи напруженість магнітного поля або переміщаючи в цьому полі сам резистор, можна змінювати опір резистора. Магніторезистори використовують як датчики кута повороту або лінійних переміщень в спеціальних пристроях автоматики.



**Рис. 15.** Полупроводниковые магниточувствительные датчики на основе действия силы Лоренца:

а, б, в — принцип работы элементов Холла, чувствительных к направлению действующего магнитного поля и управляющего электрического тока:

а — течение тока и распределение положительного заряда в элементе Холла в отсутствие поля;

б — возникновение компенсационного электрического поля  $E_H$  и напряжения Холла  $U_H$  при воздействии южного магнитного поля на элемент Холла;

в — компенсационное поле и напряжение Холла при воздействии северного магнитного поля;

г — принцип работы полупроводникового магниторезистивного элемента:

1 — материал InSb; 2 — материал NiSb;

д — меандровая резисторная структура датчиков типа FP212 InIneol;

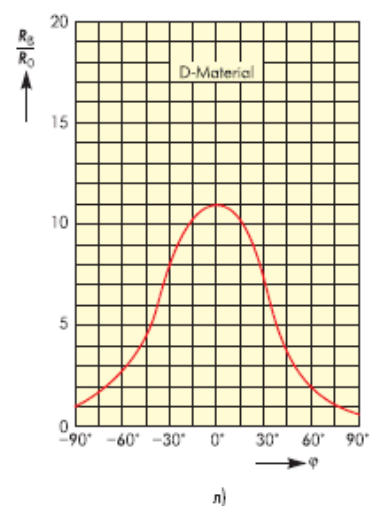
е, ж — полупроводниковый элемент из InSb с интегрированными проводящими итами из NiSb в отсутствие (е) и под действием магнитного поля в 1Т (ж);

з — зависимость полупроводникового магнитосопротивления  $R$  от приложенного магнитного поля  $B$ ;

и — зависимость магниторезистивного отношения  $R/R_0$  от индукции приложенного поля  $B$  для D- и L-материалов с различными уровнями допирования, при температуре 25 °С;

к — рекомендуемые рабочие характеристики датчиков InIneol;

л — график зависимости магниторезистивного отношения  $R/R_0$  от угла поворота перпендикулярного приложенного поля индукцией  $B$



## Лекція №3

### Тема: Автоматичні регулятори і закони регулювання

#### План

1. Класифікація автоматичних регуляторів
2. Закони регулювання

#### 1. Класифікація автоматичних регуляторів

**Автоматичний регулятор** – це елемент САР, який формує керуючий вплив для виконавчого механізму регулюючого органу. Автоматичний регулятор це регулюючий блок, який містить підсилювачі вхідного сигналу, елементи що формують необхідний закон регулювання, та засоби формування вихідного сигналу.

До регулятора підключаються:

- на вході - датчик вимірюваного (регульованого) параметра і задаючий пристрій;
- на виході – виконавчий механізм регулюючого органу (клапана).

Автоматичні регулятори класифікують за наступними характеристиками:

- Принцип дії;
- Конструкція;
- Закон регулювання.



По принципу дії: - **прямої дії, непрямой дії**. В регуляторах **прямої дії** регулюючий орган здійснює переміщення за рахунок енергії оточуючого середовища. Такі регулятори не потребують подачі додаткової енергії ззовні. Зазвичай регулюючий орган таких регуляторів об'єднано з вимірюючим пристроєм. Регулятори прямої дії отримали найбільше розповсюдження при автоматичній стабілізації тиску, витрат, рівня та температури.



ГЕРЦ  
арт. 7791

В регуляторах **непрямої дії** регулюючий орган приводиться в дію від стороннього джерела енергії. В регуляторах непрямої дії регулюючий орган виконується у вигляді окремої конструкції.

По конструкції регулятори розподіляють на: **приборного** типу та агрегатного типу. В регуляторах **приборного** типу всі елементи регулятора зібрано в одному корпусі. В агрегатних регуляторах вимірюючий пристрій (датчик) і задатчик розміщено окремо від інших елементів.



Широке розповсюдження в системах ТГВ отримали електричні регулятори (насосні групи, теплові вузли, котли вентиляційні установки, кондиціонери та інші об'єкти).

Пневматичні регулятори вибухо- та пожежобезпеки застосовуються в тих випадках, коли неможна застосовувати електричні регулятори.

Гідравлічні регулятори широко застосовують в насосних підстанціях систем тепlopостачання.

Важливою складовою класифікації автоматичних регуляторів є закон регулювання.

## 2. Закони регулювання

Незалежно від принципу дії та конструкції регулятора, його головною характеристикою є **закон регулювання**.

**Законом регулювання** називають математичну залежність між змінами (відхиленням) регульованого параметра і положенням регулюючого органу.

Залежно від того, який закон регулювання реалізується регуляторами, вони розподіляються на наступні типи:

- позиційні;
- пропорційні (статичні) (П – регулятори);
- інтегральні (астатичні) (І – регулятори);
- пропорційно – інтегральні (ізодромні) (ПІ – регулятори);
- пропорційно – диференційні;
- пропорційно – інтегрально – диференційні (ПІД – регулятори).



Електромеханічний регулятор  
комнатної температури арт. 779000

**Позиційними** називають регулятори у яких зміна вхідної величини спричиняє стрибкоподібну зміну вихідної величини з одного фіксованого положення в інше.  
Закон регулювання

$$x_{\text{вих1}} = A \text{ якщо } x_{\text{вх}} \geq B$$

$$x_{\text{вих1}} = C \text{ якщо } x_{\text{вх}} < B$$

Де А, В, С – фіксовані (задані) величини.

Позиційне регулювання характеризується стрибкоподібною функціональною залежністю між відхиленням регульованого параметра від заданого значення і переміщенням регулюючого органу. При позиційному регулюванні регулюючий



орган має декілька фіксованих положень (позицій). В практиці автоматизації найширше розповсюджені двох- та трьохпозиційні регулятори.

У двохпозиційних регуляторів може бути лише два положення регулюючого органу «відкрито – закрито», «більше – менше» та ін. До них можна віднести біметалічний датчик температури типу ДТКБ-53, дилатометричні – ТУДЭ -1-2, ТУДЭ-4, ТУДЭ-8, що застосовуються при автоматизації систем вентиляції промислових будівель і споруд.

Двохпозиційні регулятори також широко застосовують в системах тепlopостачання та опалення. Їх недоліком є невисока точність регулювання. Тому двохпозиційні регулятори застосовують, як правило, для об'єктів регулювання, що мають велику ємність. Наприклад, баки-акумулятори, ємнісні теплообмінники, підлогове опалення [1]. Тип і характеристики виконавчого механізму, на котрий діє регулятор, повинні відповідати типу регулятора і виду сигналу на його виході.

**Пропорциональними** називаються регулятори, у которых изменение выходной величины пропорционально изменению входной, т.е. данная зависимость выражается приведенным линейным уравнением, где  $k$  – коэффициент усиления регулятора, являющийся его параметром настройки.

$$x_{\text{вых}} = k x_{\text{вх}}$$

$k$  – коэффициент усиления регулятора.

Приведенное уравнение аналогично уравнению, характеризующего работу усилительного звена. Поэтому в структурных схемах регулирования такие регуляторы представлены усилительными звеньями. Сокращенно пропорциональные регуляторы называют П-регуляторами и иногда – статическими регуляторами.

Регулятор имеет один параметр настройки – коэффициент пропорциональности регулятора  $k_p$ , который устанавливается при наладке. Также к пропорциональным регуляторам относятся гидравлические регуляторы давления прямого действия типа УРРД (рис. 3.24) и статический регулятор давления непрямого действия (РД-3м – РК-1) [10]. Регуляторы работают с остаточной ошибкой регулирования.

**Пропорциональные регуляторы** прямого действия находят широкое применение в системах тепlopотребления [1] в качестве регуляторов температуры, расхода, и перепада давления.

*Регулятор температуры* прямого действия с манометрическим поршневым датчиком с композиционным твердым наполнителем на основе воска (термостатическая головка) для автоматического управления термостатическим клапаном отопительного прибора фирмы «Herz Armaturen» представлен на рис. 3.29.



Рис. 3.29. Общий вид пропорционального регулятора температуры (термостатическая головка) ГЕРЦ-TS-90

В конструкции пропорциональных регуляторов прямого действия объединены совместно датчик, регулятор с задатчиком и исполнительный механизм. На задатчике термостатической головки наносится шкала условных делений, например, 1 2 3 4 5 6 , ориентировочно соответствующая шкале значений регулируемой температуры. Точность регулирования температуры воздуха может достигать  $\pm 0,5 - \pm 1.5$  °C и зависит от правильного выбора регулятора и его настройки.

Пропорциональные регуляторы расхода, давления, перепада давления, являющиеся регуляторами прямого действия, работают за счет непосредственного отбора давления от теплопроводов и объединяют в себе все три элемента автоматического регулятора: датчик, регулятор и исполнительное устройство. Наиболее распространенными являются регуляторы автоматической стабилизации, предназначенные для поддержания значения регулируемого параметра на заданном уровне.

**Интегральными** называют регуляторы, у которых изменение выходной величины пропорционально интегралу отклонения входной величины, как в приведенном интегральном уравнении, где **ТИ** - постоянная времени регулятора, являющаяся его параметром настройки.

$$x_{\text{вых}} = \frac{1}{T_{II}} \int_0^t x_{\text{вх}} dt$$

$T_{II}$  – постоянная времени регулятора,

Это интегральное уравнение аналогично уравнению, которое описывает работу интегрирующего звена. Поэтому в структурных схемах интегральные регуляторы представляют интегрирующим звеном. Сокращенно интегральные регуляторы называют И-регуляторами, а также астатическими регуляторами.

При работе И – регулятора регулируемый орган перемещается до тех пор, пока регулируемый параметр не будет равен заданному. Следовательно, ошибка регулирования  $X \approx 0$ , а время регулирования  $t_p$  будет больше, чем в пропорциональных регуляторах. К тому же в И – регуляторах может возникнуть значительное перерегулирование. Поэтому И – регуляторы рекомендуют применять в системах с самовыравниванием, с небольшими запаздыванием и возмущениями.

**Пропорционально-интегральными** называют регуляторы, у которых изменение выходной величины пропорционально отклонению и интегралу отклонения входной величины в соответствии с приведенным уравнением, где  $k$  – коэффициент усиления регулятора, а  $T_{II}$  – постоянная времени регулятора (время изодрома), являющиеся его параметрами настройки

$$x_{\text{вых}} = kx_{\text{вх}} + \frac{1}{T_{II}} \int_0^t x_{\text{вх}} dt$$

$k$  – коэффициент усиления регулятора;  
 $T_{II}$  – постоянная времени регулятора (время изодрома);

Из приведенного уравнения следует, что пропорционально-интегральные регуляторы следует рассматривать как систему, состоящую из усилительного и интегрирующего звеньев, соединенных параллельно.

Пропорционально-интегральные регуляторы сокращенно называют ПИ-регуляторами и часто – изодромными регуляторами.

Из переходной характеристики ПИ-регуляторов на графике следует, что сначала выходная величина изменяется под действием пропорциональной составляющей, а затем – под действием интегральной. Результирующее изменение **Xвых** представляет собой сумму воздействий пропорционального и интегрального регуляторов. Амплитудно-фазовая характеристика представляет собой прямую,

### ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ



$k$  – коэффициент усиления регулятора,  $T$  – время интегрирования,

параллельную мнимой оси и отстоящую от неё на расстояние  $k$ .

Формулы для расчета передаточной функции **W(p)** и амплитудно-фазовой характеристики **W(jω)** указаны на соответствующих графиках.

**Пропорционально-дифференциальными** называют регуляторы, у которых изменение выходной величины пропорционально отклонению и скорости отклонения входной величины. Эта зависимость представлена формулой, из которой следует, что пропорционально-дифференциальные регуляторы можно рассматривать как систему усилительного и идеально дифференцирующего звеньев, соединенных параллельно.

$$x_{\text{вых}} = kx_{\text{вх}} + T_{\text{д}} \frac{dx_{\text{вх}}}{dt}$$

$k$  – коэффициент усиления регулятора,  
 $T_{\text{д}}$  – постоянная времени регулятора;

Пропорционально-дифференциальные регуляторы сокращенно называют ПД-регуляторами, а е пропорциональными регуляторами с предварением.

Переходная и амплитудно-фазовая характеристики ПД-регулятора показаны на рисунке. 29

### ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ



На левом графике, выходная величина сначала импульсно меняется скачком под действием дифференциальной составляющей, а затем под действием пропорциональной составляющей принимает постоянное значение. В действительности переходный процесс в таких регуляторах протекает по пунктирной кривой, что указывает на наличие не идеального, а реального дифференцирующего звена.

График амплитудно-фазовой характеристики идеального ПД-регулятора представляет собой прямую, параллельную мнимой полуоси и отстоящую от неё на расстояние  $k$ . В практике регулирования ПД-регуляторы применяются редко.

**В пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторах (ПИД-регуляторах)** изменение выходной величины пропорционально отклонению, интегралу и скорости отклонения входной величины и выражается приведенным уравнением из 3-х слагаемых: линейного, интегрального и дифференциального.

$$x_{\text{вых}} = kx_{\text{вх}} + \frac{1}{T_I} \int_0^t x_{\text{вх}} dt + T_D \frac{dx_{\text{вх}}}{dt}$$

$k$  – коэффициент усиления регулятора;  
 $T_I, T_D$  – постоянные времени интегральной и дифференциальной составляющих;

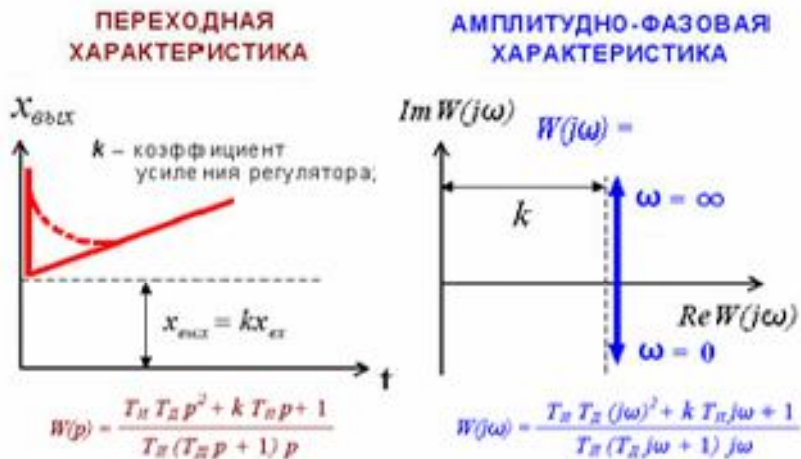
Из этого уравнения следует, что рассматриваемые регуляторы представляют собой систему из параллельно соединенных усилительного, интегрирующего и идеального дифференцирующего звеньев.

Эти регуляторы получили наибольшее распространение в системах автоматизации производственных процессов.

Регуляторы с воздействием по скорости отклонения входной величины увеличивают быстродействие системы, т.е. позволяет завершать процесс регулирования в более короткое время, чем в тех случаях, когда скорость отклонения не учитывается. Такие регуляторы как бы «предваряют» большие отклонения регулируемой величины за счет некоторого опережения изменения выходного сигнала по отношению к входному. Поэтому **пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы называются ещё регуляторами с предварением.**

Предварение может быть прямым и обратным. Если в представленном уравнении перед последним слагаемым правой части заменить плюс на минус, получим уравнение регулятора с обратным предварением. В этом случае сигнал на выходе будет уже не опережать изменение входного сигнала, а отставать от него.

### ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ



Переходная характеристика идеального ПИД-регулятора и его амплитудно-фазовая характеристика показаны на соответствующих графиках. В действительности же переходный процесс в таких регуляторах протекает по пунктирной кривой на левом графике, что указывает на наличие реального дифференцирующего звена, а не идеального.

Уравнения передаточной функции  $W(p)$  и амплитудно-фазовой характеристики  $W(j\omega)$  приведены под соответствующими графиками.

## Практичне заняття

### 1. Выбор типа регулятора

При выборе типа регулятора всегда следует иметь в виду, что часто не регулятор является причиной невыполнения поставленной задачи регулирования, а неверно рассчитанное технологическое оборудование объекта регулирования. Например, большой запас поверхности теплообменников, недостаточная частота вращения электродвигателей вентилятора, насоса и т.д. Чаще всего основными причинами нарушения задач регулирования является ошибка в подборе регулирующих клапанов (завышенные условные проходы), большие колебания перепадов давления, неправильно выбранное место установки датчика.

Выбор типа регулятора всегда проводится только для конкретного регулируемого объекта, динамические свойства которого тщательно изучены.

В большинстве случаев динамические свойства объектов регулирования оценивают по кривой разгона объекта, полученной экспериментально (рис. 3.35).

Значения запаздывания  $\tau$  и постоянной времени объекта регулирования  $T$  в виде отношения  $\tau/T$  условно характеризуют степень трудности регулирования объекта  $s$ , т.е.

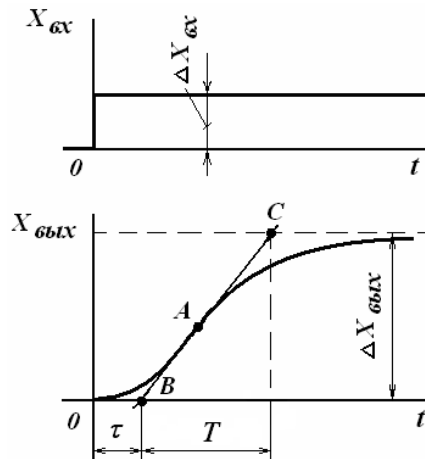
$$s = \tau/T. \quad (3.64)$$

Пределы степени трудности регулирования объектов:

$s = 0 - 0,1$  – очень хорошо регулируемый объект;

$s = 0,1 - 0,2$  – хорошо регулируемый объект;





$s = 0,2 - 0,4$  – еще регулируемый объект.

Рис. 3.35. Кривая разгона регулируемого объекта

Для большинства объектов регулирования систем ТГив  $s = 0 - (0,2-0,3)$ , т.е. в достаточной степени являются хорошо регулируемыми объектами.

Выбор типа регулятора следует проводить по принципу от наиболее простого к наиболее сложному. Наиболее простые – двухпозиционные, затем – пропорциональные (П – регуляторы) и интегральные (И – регуляторы), и наиболее сложные – изодромные (ПИ и ПИД – регуляторы).

**Двухпозиционные регуляторы** (открыто – закрыто) могут применяться для объектов с большой емкостью, когда степень самовыравнивания объекта  $\rho = \Delta X_{вх} / \Delta X_{вых} \approx 1$  и чувствительность объекта к возмущениям незначительна.

Двухпозиционные регуляторы нашли применение в воздушно-тепловых завесах (ВТЗ), отопительных агрегатах и могут применяться в качестве вспомогательных и разрешающих в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, а также в системах теплоснабжения и центрального отопления.

**Пропорциональные (П – регуляторы)** могут применяться для объектов не обладающих самовыравниванием, но имеющих большую емкость. Если объект имеет значительное запаздывание  $\tau$ , т.е.  $s = \tau/T > 0,2 - 0,3$ , то он должен обязательно иметь плавное изменение нагрузок.

П – регуляторы применяются тогда, когда статическая ошибка регулирования допускается условиями эксплуатации объекта.

В системах теплоснабжения нашли широкое применение пропорциональные регуляторы, представленные на рис. 3.29, а также в таблицах 3.1 и 3.2.

**Астатические (И – регуляторы)** применяются в том случае, когда объект обладает большой степенью самовыравнивания, плавным и нечастым изменением нагрузок, небольшим запаздыванием,  $s = \tau/T = 0 - 0,1$ .

Достоинством И – регулятора является то, что он поддерживает точное значение регулируемого параметра.

Недостаток – часто для увеличения постоянной времени  $T_{им}$  в И – регулятор вводят прерыватель сигнала СИП, например, в трехпозиционном регуляторе температуре ТЭ2ПЗ (рис. 3.27).

**Изодромные регуляторы (ПИ и ПИД – регуляторы)** могут за короткий переходный процесс обеспечить заданную точность поддержания регулируемого параметра. Они применяются в тех случаях, когда с заданной задачей регулирования не справляются наиболее простые регуляторы, рассмотренные выше.

В настоящее время изодромные регуляторы (ПИ и ПИД) широко применяются при автоматизации котельных установок, работающих на твердом, жидком и газообразном топливе, в системах теплоснабжения (ЦТП и ИТП), в системах отопления зданий и сооружений. Распространенные в практике изодромные регуляторы представлены в таблице 3.3 и на рис. 3.34, 3.35.

Выбор параметров настроек регуляторов при наладке системы регулирования и ее эксплуатации выполняется квалифицированным обслуживающим персоналом или специалистами сервисной службы.

**Позиційні регулятори.** Позиційне регулювання характеризується стрибкоподібною функціональною залежністю між відхиленням регульованого параметра від заданого значення і переміщенням регулюючого органу. При

позиційному регулюванні регулюючий орган має декілька фіксованих положень (позицій). В практиці автоматизації найширше розповсюджені двох- та трьохпозиційні регулятори.

Найбільш розповсюдженими є стабілізуючі регулятори, котрі застосовують для підтримання значення регульованого параметра на заданому рівні (рис. 3.25). Наприклад, кімнатні регулятори температури арт. 7791, 779015, 779000, а також термореле захисту арт. 810000 AMZ 112 фірми «Herz Armaturen» Австрія [1], термореле для побутових холодильників в яких датчик і регулюючий пристрій об'єднано в одному виробі.



Термореле  
захисту  
арт.810000

Рис. 3.25. Двохпозиційні регулятори фірми «Herz Armaturen»

Також двохпозиційними є двоходові клапани типу AMZ 112 і трьохходові – AMZ 113 фірми «Danfoss» з умовним проходом  $D_y = 15-25$  мм на тиск 1,6 МПа. Вони можуть застосовуватися в системах радіаторного і підлогового опалення, в системах пріоритетного керування подачею теплоносія в системах гарячого водопостачання (ГВП) і опалення.

В трьохпозиційних регуляторах регулюючий орган може займати три положення – відкрито, середнє (нормальне) і закрито. Для прикладу розглянемо регулятор температури електричний типу ТЭ2ПЗ з іскробезпечним входом лінії датчиків (рис. 3.26).

Регулятор призначено для регулювання температури повітря в системах вентиляції і кондиціонерах. Він є універсальним приладом, що забезпечує двох- та трьохпозиційне релейно-імпульсне регулювання температури повітря.

Перевод прибора в двухпозиционный или трехпозиционный режим работы осуществляется с помощью переключателя, расположенного на передней панели. В качестве датчика температуры  $R_t$  применяется медный термопреобразователь сопротивления типа ТСМ градуировки 50М (номинальное сопротивление при 0 °С - 50 Ом). Линия связи регулятора с датчиком – трехпроводная.

Регулятор обеспечивает ручное и автоматическое регулирование температуры воздуха. При ручном регулировании переключатель  $S3$  устанавливают в положение “Ручное” и нажатием на кнопки управления  $S4$  и  $S5$  подают сигнал на обмотки управления реверсивного электродвигателя исполнительного механизма  $ИМ$ , который через кинематическую передачу прикрывает или приоткрывает клапан на теплоносителе воздухонагревателя.

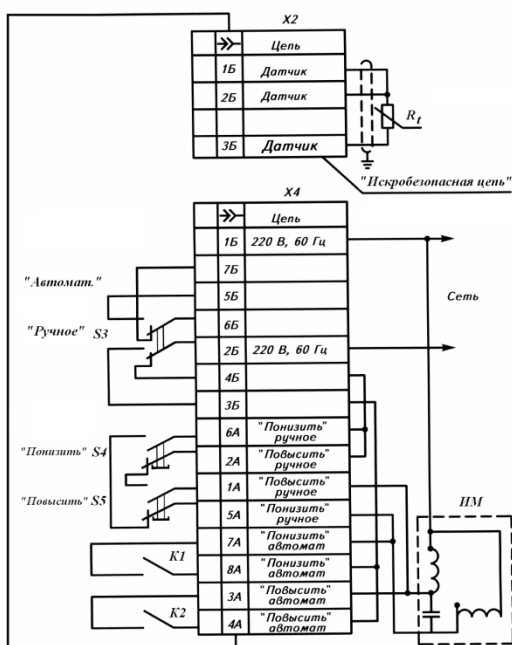


Рис. 3.26. Регулятор температуры ТЭ2П3

При автоматическом регулировании переключатель  $S3$  устанавливают в положение “Автоматическое”. Если температура воздуха меньше нормы, то замыкается контакт  $K2$  (рис. 3.26) и подается сигнал на ИМ “повысить автомат.” (см.

рис. 3.26). При температуре воздуха больше нормы замыкается контакт *K1* и подается сигнал на ИМ “понизить автомат.”

Диаграмма замыкания контактов регулятора ТЭ2ПЗ

Кон-такт	Температура		
	меньше	норма	больше
<i>K2</i>			
<i>K1</i>			

Рис. 3.27

Для устойчивости процесса регулирования регулятор ТЭ2ПЗ снабжен ступенчато-импульсным прерывателем (СИП), который встроен в корпус регулятора. Регулятор отработывает интегральный закон регулирования, т.е. работает без остаточной ошибки регулирования.

Функции позиционных регуляторов могут выполнять автоматические мосты КСМ1-КСМ4, автоматические потенциометры КСП1-КСП4, снабженные позиционными регулирующими устройствами.

**Пропорциональные регуляторы.** К ним относятся П – регуляторы, у которых между положением регулирующего органа и отклонением регулируемого параметра существует прямая зависимость

$$X_p = k_p X, \quad (3.62)$$

где  $X_p$  – регулирующее воздействие;  $X$  – отклонение регулируемой величины от ее заданного значения (сигнал ошибки);  $k_p$  – коэффициент пропорциональности регулятора.

Структурная схема П – регулятора (промышленного) представлена на рис. 3.28.

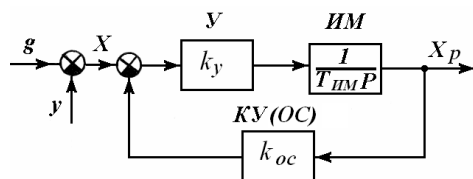


Рис. 3.28. Структурная схема П – регулятора

Обратная связь в электрических П – регуляторах вводится по положению выходного вала электрического ИМ с помощью реостатного датчика. Она является отрицательной жесткой обратной связью (ОС), которая действует как в переходном, так и в установившемся режиме. Ее назначение – обеспечивать устойчивость и требуемое качество процесса регулирования.



**Регуляторы расхода теплоносителя.** Их применяют для стабилизации требуемых и задаваемых параметров расходов теплоносителя на ответвлениях, например, на однотрубных стояках системы теплоснабжения.

В настоящее время выпускаются регуляторы расхода моделей 4001 и 4006 фирмы «Herz Armaturen», которые имеют следующий вид и основные характеристики (см. табл. 3.1).

Таблица 3.1

Регуляторы расхода (пропорциональные)

Общий вид	Модель	Диаметры Д <sub>н</sub> , мм	Предел измерения расхода, л/ч	
			Q <sub>min</sub>	Q <sub>max</sub>

	401	15-25	40	5000
	406 С интегрированным зонным клапаном для термостатического регулирования	15-50	40	5000

При проектировании узла системы отопления с регулятором расхода исходными данными являются:

$Q_{ст.}$  – расчетный расход теплоносителя через стояк (ветку, систему), кг/ч;  $\Delta p_{ст.}$  – расчетные потери давления стояка (ветки, системы), кПа.

Искомыми величинами являются:

- модель и типоразмер регулятора;
- задаваемый с помощью задатчика расход теплоносителя, кг/ч;
- расчетные потери давления на регуляторе расхода, кПа;
- расчетный располагаемый перепад давления в точках присоединения стояка к магистральным теплопроводам, кПа.


Модель и типоразмер регулятора определяется в соответствии с инструкцией производителя.

**Регуляторы перепада давления (см. табл. 3.2).**

Таблица 3.2

Регуляторы перепада давления (пропорциональные)

Общий	Модель	$D_{нз}$	$\Delta p$	Расход через
-------	--------	----------	------------	--------------

ВИД		мм	кПа	регулятор, л/ч	
				$Q_{min}$	$Q_{max}$
	402	15-50	5-30 25-60	50	10000
	4002 FIX	15-50	23	50	10000
	407	15-50	5-30	50	9000
	407 F	25-50	5-30	150	9000

Они применяются для стабилизации перепада давления на вводе потребителя теплоты (системы отопления и теплоснабжения, стояка 2-х трубной системы отопления), что обеспечивает независимость потребителя от динамических колебаний в разводящих теплопроводах.

В настоящее время выпускаются регуляторы перепада давления моделей 4002, 4002 FIX, 4007, 4007 F фирмы «Herz Armaturen», которые имеют следующий вид и основные характеристики (см. табл. 3.2).

При проектировании узла системы отопления с регулятором перепада давления исходными данными являются:

$Q_{ст.}$  – расчетный расход теплоносителя через стояк (ветку, систему), кг/ч;  $\Delta p_{ст.}$  – расчетные потери давления стояка (ветки, системы), кПа.



Искомыми величинами являются:

- модель и типоразмер регулятора;
- задаваемый с помощью задатчика перепад давления, кПа;
- расчетные потери давления на регуляторе перепада давления, кПа;
- расчетный располагаемый минимальный перепад давления в точках присоединения стояка или другого потребителя к магистральным теплопроводам, кПа

Модель и типоразмер регулятора определяется в соответствии с инструкцией производителя.

**Интегральные регуляторы.** Интегральным (астатическим) называется регулятор, который поддерживает регулируемую величину таким образом, что скорость перемещения регулирующего органа пропорциональна отклонению этой величины от заданного значения.

Интегральный регулятор отрабатывает закон регулирования, определяемый уравнением интегрирующего звена (идеального):

$$T_{ИМ} \frac{dX_p}{dt} = X \quad \text{или} \quad X_p = \frac{1}{T_{ИМ}} \int X dt + X_{po}, \quad (3.63)$$

где  $T_{ИМ}$  – постоянная времени регулятора (т.е. время, за которое регулирующий орган переместится из одного крайнего положения в другое);  $X_p$  – регулирующее воздействие;  $X$  – отклонение регулируемой величины от заданной (ошибка регулирования);  $X_{po}$  – начальное положение регулирующего органа (до начала действия возмущения).

Структурная схема И – регулятора (промышленного) представлена на рис. 3.30.

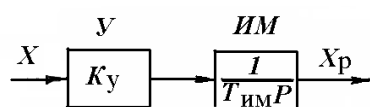


Рис. 3.30. Структурная схема И – регулятора

Величина  $\frac{1}{T_{ИМ}} = k_p$  – это коэффициент передачи регулятора, численно равный скорости перемещения регулирующего органа.

Параметром настройки регулятора является время  $T_{ИМ}$ . Чем больше  $T_{ИМ}$ , тем меньше скорость перемещения регулирующего органа.

В И – регуляторах часто применяют ИМ с постоянной скоростью и релейные усилители. Для увеличения времени  $T_{ИМ}$  часто используют ступенчатый импульсный прерыватель СИП, который позволяет обеспечить устойчивость системы регулирования и заданное время регулирования.

И – закон регулирования может быть реализован путем настройки в электрических регуляторах типа РС29 и др. Также к И – регуляторам относится трехпозиционный регулятор температуры ТЭ2ПЗ (рис. 3.27). Регуляторы работают без остаточной ошибки регулирования.

*Пропорционально-интегральные (изодромные) регуляторы.* К ним относятся ПИ – регуляторы, которые совмещают свойства П – регулятора и И – регулятора. ПИ – регулятор действует сначала как пропорциональный, а в конце переходного процесса как интегральный, обеспечивая быстрое затухание колебаний регулируемого параметра и устранения статической ошибки.

Уравнение ПИ – регулятора:

$$X_p = k_p \left( X + \frac{1}{T_{И}} \int X dt \right), \quad (3.63)$$

где  $T_{И}$  – время изодрома (термин завода изготовителя; «изодром» – «равный бег»).

Структурная схема ПИ – регулятора (промышленного) представлена на рис. 3.31.

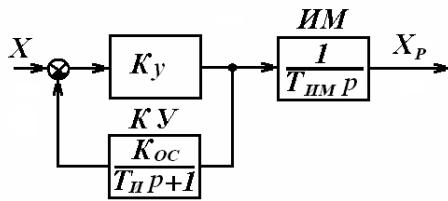


Рис. 3.31. Структурная схема ПИ – регулятора

В промышленных электрических регуляторах в качестве обратных связей КУ используются соединения электрических элементов  $R - C$ . В ИМ используют часто электродвигатели с постоянной скоростью вращения и релейные усилители.

ПИ – закон регулирования может быть реализован путем настройки в электрических регуляторах типа РС29 и др.

Функциональная схема системы автоматического регулирования "Контур-2" представлена на рис. 3.32.

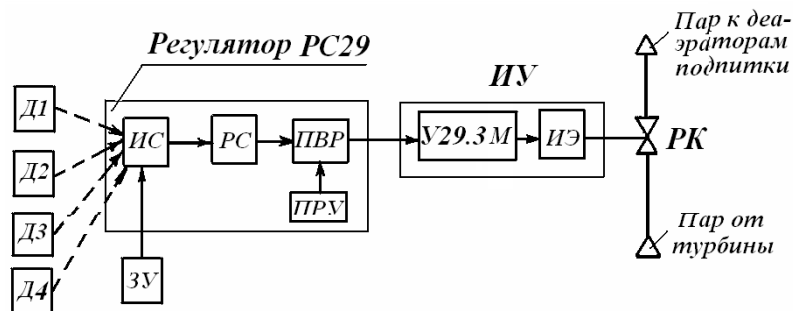


Рис. 3.32. Функциональная схема системы автоматического регулирования "Контур-2": Д1, Д2, Д3, Д4 – датчики; ИС – измерительный субблок; РС – регулирующий субблок; ПВР – переключатель выбора режима (ручной - автоматический); ПРУ – переключатель ручного управления (больше - меньше); ЗУ – задающее устройство ЗУ-11; У29.3М – трехпозиционный усилитель; ИЭ – исполнительный элемент (МЭО); РК – регулирующий клапан; ИУ исполнительное устройство

**Прибор регулирующий компактный с импульсным выходом РС 29М (комплекс КОНТУР 2).** Приборы РС 29М (рис. 3.33) применяются в системах автоматизации объектов промышленной энергетики и теплоснабжения, а также в наиболее мощных энергетических установках. Работают обычно в комплекте с усилителями У29.3М



Рис. 3.33. Общий вид регулятора РС 29М

**Техническая характеристика прибора:**

– функциональные возможности:

– регулирование по ПИ, П и трехпозиционному; двухпозиционному законам регулирования, а при использовании динамического преобразователя по ПИД закону;

– переключение вида управления с автоматического на ручное и обратно; ручное управление осуществляется исполнительным механизмом;

– сигнализация предельных значений сигнала отклонения регулируемой величины от заданного значения;

– световая индикация выходов, срабатывания сигнализатора предельных отклонений;

– цифровая индикация одного из четырех параметров по выбору заданного значения регулируемой величины, отклонения регулируемой величины от заданного значения, положения исполнительного механизма, дополнительного параметра.

#### Исполнения:

Наименование	Основные входы	Указатель положения	Дополнительные функции
РС29.0.12 М	до 5 унифицированных сигналов (из них 3 сигнала 0-5мА).	реостатный или дифференциально-трансформаторный	
РС29.1.12 М	до 3 сигналов $\pm 10\text{мГн}$ дифференциально-трансформаторных датчиков; до 2 унифицированных сигналов		
РС29.0.42 М	до 4 унифицированных сигналов	реостатный	аналого-релейное и
РС29.0.43 М			
РС29.1.42 М	до 3 сигналов $\pm 10\text{мГн}$ дифференциально-		

PC29.1.43 М	трансформаторных датчиков; до 2 унифицированных сигналов		динамические преобразования
PC29.2.22 М	до 3 термометров сопротивления градуировок 50М, 100М, 23; до 2 унифицированных сигналов		
PC29.2.23 М			
PC29.2.32 М			аналого-релейное и нелинейные преобразования
PC29.2.33 М			
PC29.3.42 М	1 вход для термопары ХК(L), ХА(K), ПП(S), ПР(V) по выбору; до 4 унифицированных сигналов		аналого-релейное и динамические преобразования
PC29.3.43 М			

**Зона нечувствительности** – 0,4-4,0 %.

**Коэффициент передачи** – 0,2-10,0 с / %.

**Постоянная времени интегрирования** – 5-500 с.

**Питание:** ~ (220) В, с частотой (50±1), (60±2) Гц.

**Потребляемая мощность:** не более 18 ВА.

**Выходные сигналы:**

- импульсы пульсирующего напряжения постоянного тока среднего значения 24 В;
- импульсы напряжения постоянного тока +10 В или -10 В;
- изменение сигнала рассогласования на 10 В в пределах от -10 В до +10 В постоянного тока;
- изменение состояния электронного ключа при сигнализации предельных отклонений (PC29.0.12М; PC29.1.12М; PC29.0.11М; PC29.0.12М); коммутирующая способность не более 0,15 А; 45 В постоянного тока;
- изменение состояния выходных контактов реле при аналого-релейном преобразовании; коммутирующая способность: активная цепь не более 0,25 А; 36 В; активно-индуктивная цепь не более 0,15 А; 36 В;
- изменение напряжения постоянного тока при динамическом преобразовании на 10 В в пределах от -10 В до +10 В для связи между приборами (42М; 43М).

В системах теплотребления находят широкое применение изодромные ПИ (ПИД) – регуляторы (рис. 3.34) фирмы «Armaturen» [1], которые относятся к

регуляторам непрерывного действия. Они имеют схожие характеристики качества регулирования, хотя при прочих равных условиях процесс регулирования с ПИ – регулятором более длителен, чем с ПИД – регулятором. ПИД и ПИ – регуляторы широко применяются для стабилизирующего, следящего и программного регулирования. Применяются в основном электронные и цифровые ПИД – регуляторы, которые по своим возможностям являются наиболее универсальными по сравнению с другими регуляторами. С их помощью можно осуществлять различные законы регулирования.

Наиболее распространенными являются стабилизирующие регуляторы, предназначенные для поддержания значения регулируемого параметра на заданном уровне. Например, комнатные программируемые регуляторы арт. 7940 и 7794 (рис. 3.34), в которых датчик и регулирующий прибор объединены в одном изделии.

Автоматические регуляторы следящего регулирования выпускаются в виде отдельно заказываемых изделий: датчиков, регуляторов, исполнительных устройств. Например, ПИД – регулятор арт. 7793 с датчиком арт. 779301 и 779300.

В качестве исполнительных механизмов непрерывного действия могут применяться термоприводы постоянного тока арт. 7711 и электромоторные приводы, например, привод арт. 1771211 в комплекте с регулирующим трехходовым клапаном арт. 14037 [1].



Рис. 3.34. Изодромные ПИ (ПИД) – регуляторы фирмы «Herz Armaturen»

**Лекція №4**  
**ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ ТА РЕГУЛЮЮЧІ ОРГАНИ СИСТЕМ**  
**АВТОМАТИКИ**  
**План**

1. Призначення виконавчих механізмів та їх класифікація.
2. Електромагнітні виконавчі механізми.
3. Електромоторні виконавчі механізми та схеми керування.
4. Гідравлічні і пневматичні виконавчі механізми.

**1. Призначення виконавчих механізмів та їх класифікація.**

Виконавчі механізми отримують сигнал від підсилювача і формують зусилля для приводу в дію регулюючого органу.

Базовий принцип класифікації виконавчих механізмів-вид енергоносія, в залежності від котрого вони діляться на гідравлічні, пневматичні, електричні і комбіновані.

По характеру переміщення регулюючого органу бувають безперервної і дискретної дії (відкрито-закрито), а також поступального і обертового руху.

Основні характеристики виконавчих механізмів:

- коефіцієнт підсилення по потужності;
- швидкість (постійна або регульована );
- зусилля переміщення на виході.

Вимоги до виконавчих механізмів:

- лінійне (кутове) переміщення узгоджується з переміщенням регулюючого органу;
- статична характеристика повинна бути лінійною (якщо можлива така реалізація);
- виконавчий механізм повинен бути реверсивним;
- потужність виконавчого механізму повинна забезпечувати задану швидкість на всіх режимах роботи.

**2.Електромагнітні виконавчі механізми.**



В АСР позиційної дії широке застосування дістали електромагнітні приводи, котрі перетворюють енергію електричного струму в поступальний рух робочого органу. Такі приводи, їх ще називають соленоїдними, представляють собою прямо ходовий магніт з якорем, котрий втягується.

Електромагнітні виконавчі механізми є прості і надійні. По виду руху діляться на електромагніти з поступальним рухом і електромагнітні муфти з обертовим рухом.

За характером руху осердя і з'єднаного з регулюючого органу електромагнітні виконавчі механізми діляться на тягнучі, штовхаючі, поворотні, утримуючі, реверсивні.

По кількості позицій вихідного силового елемента (регулюючого органу) розрізняють одно, двох і трьох позиційні електромагнітні виконавчі механізми.

В даний час широкого поширення дістали електромагнітні приводи серії EB, призначені для керування різними засувками, вентилями, клапанами.

Електромагнітні приводи серії EB3, розраховані на короткочасний режим роботи, а серії EB1 і EB2 на довготривалу присутність струму в їх обмотці.

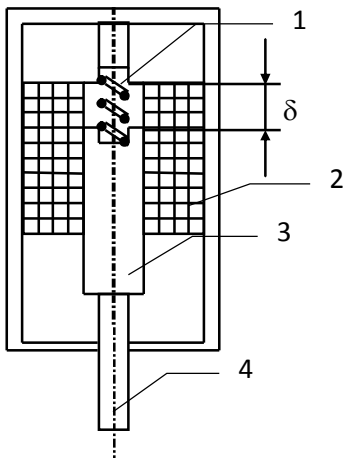


Рис.1. Соленоїдний виконавчий механізм

1-Повертаюча пружина; 2-Котушка; 3-Рухоме осердя; 4-Шток.

При допомозі рухомого осердя енергія магнітного поля перетворюється в механічну і через шток передається запираючому елементу. Переміщення осердя, при котрому проходить рух запираючого елементу, називається робочим ходом  $\delta$ .

### **3. Електромоторні виконавчі механізми**

Електромоторні виконавчі механізми поділяють за конструкцією на одно оборотні та багатооборотні.

#### *Однооборотні виконавчі механізми.*

До однооборотних виконавчих механізмів відносяться механізми, у котрих кут повороту вихідного валу не перевищує  $360^\circ$ . Вони застосовуються для різноманітних регулюючих органів в системах дистанційного і автоматичного керування. Однооборотні виконавчі механізми виготовляються з релейно-контактним і безконтактним керуванням. До них відносяться колонки дистанційного керування типу КДУ, виконавчі механізми типу ИМ-2/120, ИМТ, МЭК, МЭО і т.п.

Характерною особливістю безконтактних виконавчих механізмів типу МЭО є висока швидкодія, можливість роботи в стопорному режимі, відсутність обмежень по частоті і часі включень.

#### *Багатообертові виконавчі механізми.*

Для керування багатообертовими відсічними і регулюючими органами широке застосування дістали виконавчі механізми, що складаються з електродвигуна, понижуючого механічного редуктора і ряду додаткових пристроїв. На рис.2 приведена структурна схема приводу керованої арматури, де:

1. Регулюючий орган (засувка, клапан).
2. Електродвигун-джерело руху.

3. Силовий обмежувачий пристрій призначений для попередження поломки або перевантаження арматури.

4. Редуктор-служить для перетворення виду і швидкості руху вихідного елемента двигуна у відповідності з призначенням керованої арматури.

5. Пристрій відключення маховика дублера-використовується при налагоджувальних роботах, а також при відсутності енергії для двигуна, або виході його з ладу.

6. Фіксуєчий пристрій-для збереження положення робочого органу і арматури в положенні на момент зупинки.

7. Блок шляхових вимикачів (кінцевиків) - для сигналізації положення робочого органу, відключення двигуна від джерела енергії, блокування приводу з роботою інших механізмів.

8. Місцевий вказівник положення затвору арматури-для місцевого показування ступеню відкриття арматури в будь-який момент часу.

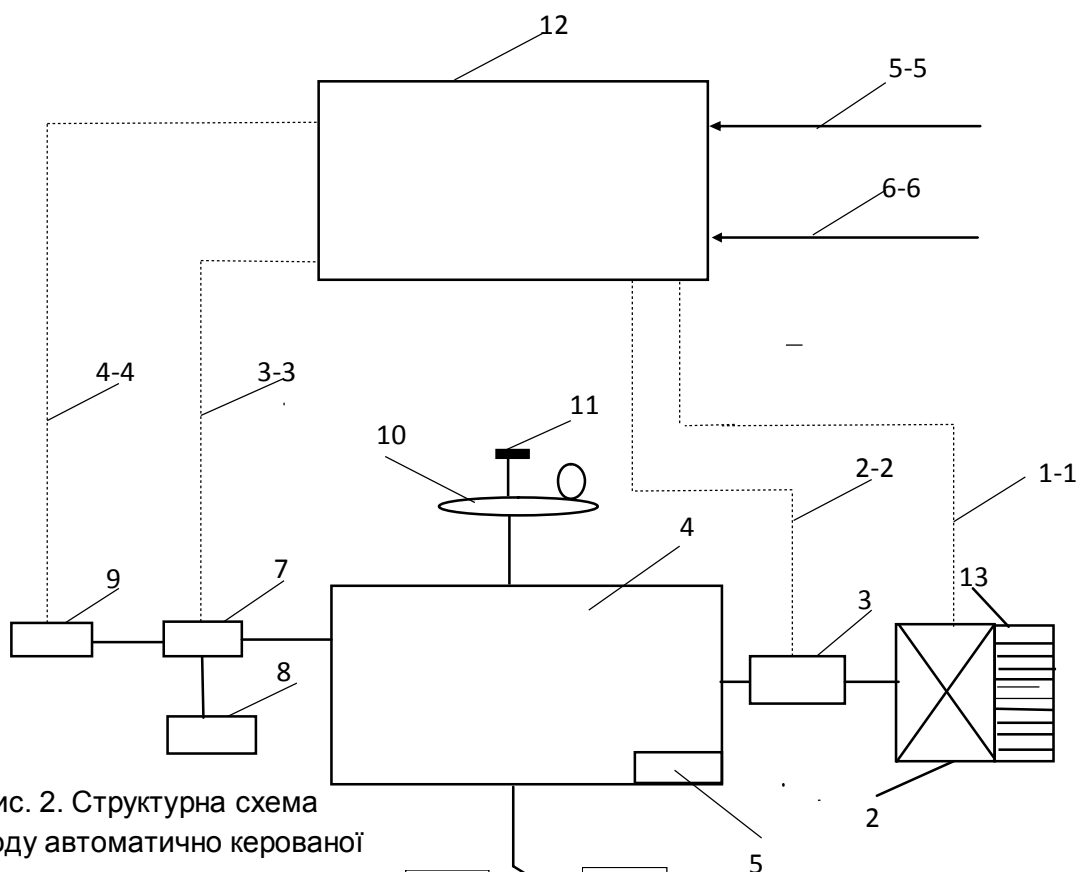


Рис. 2. Структурна схема приводу автоматично керованої

9. Датчики положення затвора арматури - для дистанційного показування ступеню відкриття арматури в даний момент часу.

10. Маховик ручного дублера.

11. Перемикач ручного дублера (ручне-автоматичне керування).

12. Пульт керування.

13. Тормозний, або демпферний пристрій-для виключення впливу на арматуру інерції рухомих деталей.

1-1. Коло керування реверсивним електродвигуном приводу.

2-2. Коло зв'язку з муфтою.

3-3. Коло шляхових вимикачів.

4-4. Коло датчика положення затвора.

5-5. Коло керуючого сигналу (диспетчеризація).

6-6. Коло живлення пульта керування.

#### **4. Схеми керування і сигналізації положення виконавчих механізмів.**

При дистанційному або автоматичному керуванні запорними і регулюючими органами важливо забезпечити наступні вимоги:

- Схема керування повинна забезпечити захист від перевантажень і коротких замикань в силових колах електроприводу.
- Забезпечувати неможливість одночасної подачі командних імпульсів від пристроїв дистанційного і автоматичного керування і блокувати можливість подачі живлення на одну з котушок реверсивного магнітного пускача при протіканні струму через іншу.
- Виключати можливість одночасного керування одним пристроєм з різних пультів.
- Забезпечувати можливість зупинки в будь-якому проміжному стані, і сприйняття подальшої команди на закриття чи відкриття.
- Нормальна зупинка виконавчого механізму в положенні повного відкриття чи закриття повинна здійснюватись кінцевими вимикачами, котрі розривають коло живлення відповідної котушки реверсивного пускача.
- Схема керування підсічним органом повинна забезпечити можливість дистанційного керування зі щита або з місця, і автоматичного керування по команді від пристрою блокування чи регулювання.
- Схема керування регулюючим органом повинна забезпечити його рух тільки під час дії імпульсу дистанційного або автоматичного керування.

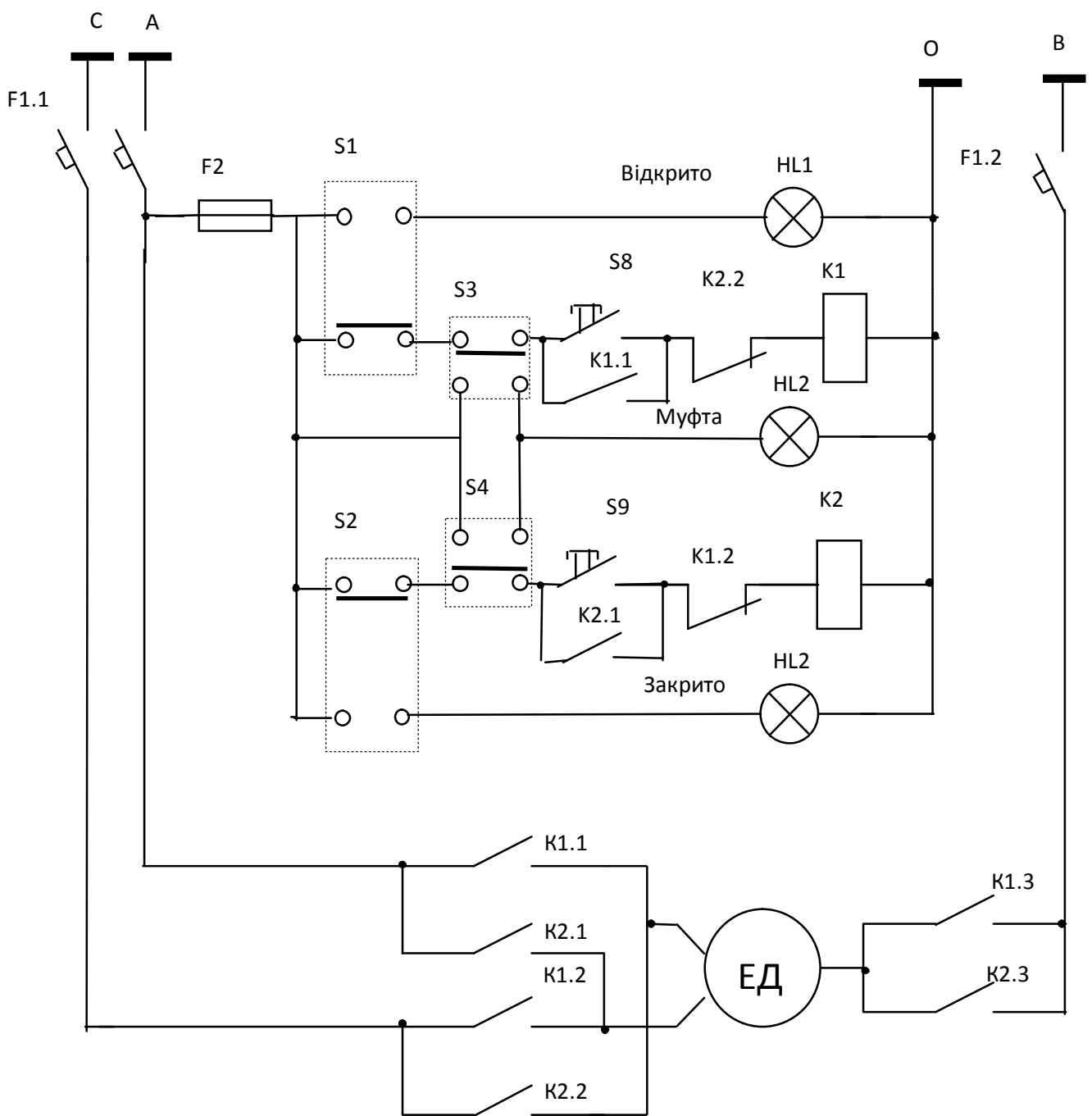


Рис.3. Схема дистанційного і автоматичного керування багатооборотним виконавчим механізмом з примусовим ущільненням запірною органу при закритті.

Розглянемо принцип роботи схеми дистанційного керування електроприводами, де:

ЕД- двигун;

К1, К2- магнітні пускачі;

F1- автоматичний вимикач;

F2- запобіжник;

S7- кнопка стоп;

S1, S2, S5, S6- шляхові вимикачі;

S3, S4- вимикачі муфти;

S8, S9-кнопки «відкрито», «закрито»;

HL1, HL2, HL3- сигнальні лампи.

На рис.1 показана повна і універсальна схема керування і сигналізації положення виконавчого механізму з примусовим ущільненням запірного органу при закритті. Схема передбачає можливість дистанційного керування зі щита, та забезпечує автоматичне керування при дії пристроїв блокування або регулювання та інших систем автоматики.

Сигнал на відкриття або закриття, що поступає від пристроїв автоматики, може бути не тільки імпульсним але й довготривалим. Відключення електродвигуна при заклинюванні запірного органу в проміжному стані проходить за рахунок теплового розмикача автоматичного вимикача, встановленого в силових колах живлення. В тих випадках, коли муфта граничного моменту використовується не для примусового ущільнення запірного органу, а для захисту електродвигуна при заїданні в проміжному стані, дія пристроїв автоматики повинна мати характер короткочасних імпульсів.

Для припинення дії помилково поданої команди, а також для короткотривалої зупинки запірного органу в проміжному стані передбачено взаємоблокування реле

## **5. Гідравлічні і пневматичні виконавчі механізми.**

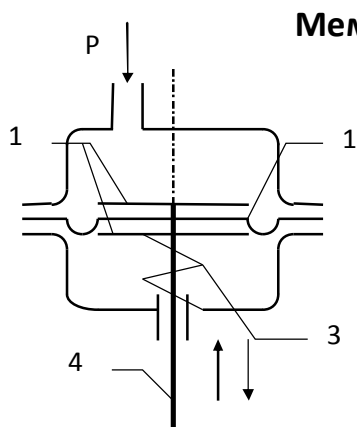
Гідравлічні і пневматичні виконавчі механізми перетворюють енергію робочого середовища, що знаходиться під тиском, в механічну енергію поступального або обертального руху.

В якості робочого середовища в гідродвигунах найчастіше використовується мінеральне масло, що зберігає свої властивості при дії на нього високого тиску. В пневмодвигунах робочим середовищем служить стиснуте повітря.



Розрізняють дві основні різновидності гідро і пневмодвигунів: з поступальним рухом (мембранні і поршневі) і з обертовим рухом (шестеренчасті, лопатеві, плунжерні і турбінні).

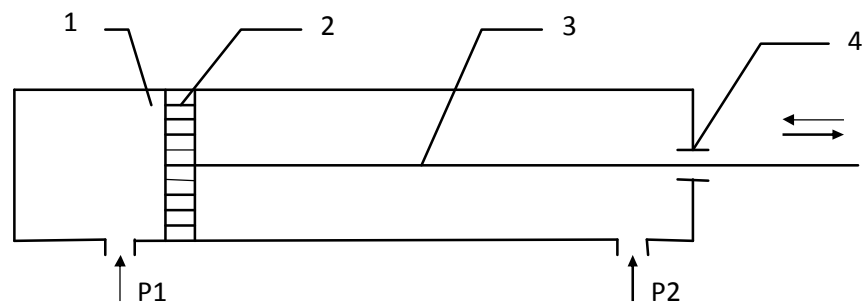
В пристроях автоматичного керування гідро і пневмодвигуни використовують значно рідше, ніж електродвигуни, але в ряді випадків вони є єдино допустимим технічним рішенням. Наприклад, в регуляторах прямої дії: тиску, витрат, температури та ін.



### Мембранні виконавчі механізми.

В мембранному виконавчому механізмі переміщення вихідного штоку 4 здійснюється силою, що створюється тиском робочого середовища на мембрану 2. При цьому повертаюча пружина 3 стискається. Чим більший діаметр мембрани, тим більше зусилля може бути передане на регулюючий орган. Порожнина під мембраною з'єднана з атмосферою. При знятті тиску мембрана, і відповідно шток повертаються пружиною в попередній стан. Диски 1 забезпечують жорсткість мембрани, виготовленої з прорезиненої тканини.

### Поршневі виконавчі механізми.



В циліндрі 1 виконавчого механізму переміщується поршень 2 зі штоком 3.

Поршень буде нерухомим якщо рівні тиски  $P_1$  і  $P_2$ . Якщо тиск в лівій порожнині більший, то на поршень буде діяти сила, рівна різниці тисків  $P_1$  і  $P_2$  помноженій на площу поверхні поршня.

Під дією цієї сили поршень почне переміщуватись вправо. Шток 3 проходить через ущільнювач 4. Недоліками є тертя між поршнем та стінками циліндра, необхідність періодичної заміни сальника 4.

## Лекція №5 КЛАПАНИ

### План

1. Основні терміни та визначення
2. Класифікація трубопровідної арматури
3. Типи арматури
4. Умовні графічні позначення арматури.

### 1. ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Трубопровідною арматурою називають пристрої, монтовані на трубопроводах, котлах, апаратах, агрегатах, ємностях та інших установках, призначені для керування потоками середовищ шляхом відключення трубопроводів або їх ділянок, розподілу потоків по необхідних напрямках, регулювання різних параметрів середовища (тиску  $P$ , витрати  $G$ , температури  $T$  і т.д.), випуску середовища по необхідному напрямку і т.д. шляхом зміни прохідного перетину в робочому органі арматури.

Слід особливо підкреслити, що принципово нічого іншого, як перекриття прохідного перетину, в ТА не відбувається. Якби функції не виконувала ТА, принцип її дії заснований тільки на зміні прохідного перерізу потоку. Так, у змішувачі кухонної мийки або ванної кімнати ми регулюємо температуру води, змінюючи співвідношення потоків холодної та гарячої води, однак досягається це тим, що змінюється прохідний перетин для кожного з потоків. Регулятор тиску, що встановлюється на газовому балоні, підтримує постійний тиск перед газовими пальниками, автоматично змінюючи прохідний перетин для потоку газу так, що при необхідних витратах надлишковий тиск гаситься в прохідному перерізі.

Конструкція арматури в загальному випадку містить наступні основні елементи: корпус з приєднувальними патрубками, кришку корпусу, робочий орган, привід.

Робочий орган арматури складається з двох елементів - сідла і затвора. Сідло є нерухомою частиною робочого органу, розташоване на корпусі і представляє з себе канал або отвір для проходу потоку, що має ущільнювальну поверхню, до якої повинен щільно примикати затвор. Затвор є рухомою частиною робочого органу і представляє з себе деталь або конструктивно об'єднану групу деталей, призначених для перекриття прохідного отвору сідла і переміщається або обертається щодо сідла. Затвор має кільце ущільнювача для посадки на сідло і герметизації робочого органу.

Управління арматурою здійснюється за допомогою деталей, що утворюють рухливе з'єднання (шток або шпindel) в кришці корпусу або корпусі. Це рухоме з'єднання герметизоване по відношенню до зовнішнього середовища.

Для переміщення затвора використовуються різні механізми, найчастіше гвинтова пара. При використанні гвинтової пари стрижень, на якому закріплений клапан затвора, має гвинтову різьбу і називається шпindelом. По різьбі шпинделя переміщується ходова гайка, що є другим елементом гвинтової пари. Якщо ж затвор переміщається зворотно-поступально без обертання, то стрижень називається

штоком. При ручному управлінні або електричному приводі частіше використовують шпindelьну ТА, а за наявності мембранного або поршневого приводу для переміщення затвора використовується шток.

За принципом управління і дії ТА підрозділяється на наступні групи:

- **керована**

- а) з ручним приводом
- б) з механічним приводом
- в) під дистанційно розташований привід

- **автоматично діюча (автономна)**

Керована ТА відрізняється тим, що переміщення робочого органу здійснюється за рахунок зовнішнього силового впливу від деякого зовнішнього джерела енергії - ручного зусилля, електричним мотором, пневмоприводом або гідроциліндром. Керована ТА з дистанційно розташований приводом відрізняється наявністю спеціальної механічної передачі, що дозволяє віднести джерело силового впливу від самої арматури. Так, наприклад, оператор котельні керує засувкою на паропроводі, що знаходиться над котлом, перебуваючи біля котла.

Керована ТА може бути додатково забезпечена силовою повертаючою пружиною, що повертає робочий орган в певне положення при відключенні керуючого впливу. При подачі керуючого силового впливу він долає дію зворотної пружини і переводить робочий орган в інше положення. Залежно від того, в якому положенні знаходиться робочий орган такої арматури при відсутності (зняття) керуючого впливу, буває ТА «**нормально відкрита**» і «**нормально закрита**». Як правило, така арматура застосовується для підвищення безпеки роботи устаткування і систем і запобігання аварійної ситуації, тобто виконує функції захисту. Так, наприклад, при відключенні електропостачання котельні клапан на паливному трубопроводі повинен самостійно повернутися в закрите положення, для запобігання вибухо- і пожежонебезпечної ситуації. Тобто, тут слід використовувати ТА в виконанні «нормально закрити». ТА калориферної установки вентиляції повинна мати виконання «нормально відкрита», щоб при відключенні керуючого сигналу гарантувати потік теплоносія через калорифер і запобігти його замерзанню.

Автоматично діюча ТА відрізняється тим, що управління і робочий цикл здійснюється лише дією самого робочого середовища без будь-яких сторонніх джерел енергії. До цього типу відносяться зворотні клапани, що спрацьовують під дією зміни напрямку потоку, регулятори тиску і витрати, терморегулятори і інші види арматури.

## **2. Класифікація трубопровідної арматури**

За функціональним призначенням ТА підрозділяється на наступні основні класи:

- засувна
- регулююча
- розподільна
- запобіжна
- захисна (відсічна)

**Засувна** ТА слугує для перекриття потоків середовищ. Вона повинна забезпечити надійне і повне перекривання живого перерізу трубопроводу. Принципово повинна працювати у двох станах: відкрито і закрито. Приклад застосування: автоматичні секціонуючі засувки в системах теплопостачання.

**Регулююча** ТА призначена для регулювання параметрів робочого середовища за допомогою зміни її витрати. Ця арматура не обов'язково повинна забезпечувати повне перекриття прохідного перерізу. До неї можуть застосовуватися додаткові вимоги по виду регулювальної характеристики, надійності і точності регулювання параметрів. Сюди входить і **дроселююча** ТА, призначена для зниження тиску потоку.

**Розподільна** ТА призначена для розподілу потоку за двома або більше напрямками. Найбільш яскравим прикладом є 3-х ходовий кран, який застосовується в опаленні для регулювання тепловіддачі опалювального приладу шляхом пропуску частини загальної витрати теплоносія на стояку повз приладу через замикаючу ділянку. Цей тип арматури широко використовується в системах гідро-і пневмоавтоматики для управління різними пристроями.

**Запобіжна** ТА призначена для запобігання аварійного підвищення будь-якого параметра в обслуговуваній системі шляхом автоматичного викиду надлишкової кількості середовища. Найбільш яскравим прикладом є запобіжний клапан, який встановлюється на паровому котлі. При підвищенні тиску в барабані котла вище граничного значення спрацьовує запобіжний клапан, і частина пари стравлюється через нього в атмосферу, підтримуючи тиск в котлі на рівні максимально допустимого значення. До цієї ж групи ТА відносяться і мембранно-розривні пристрої, наприклад вибухозахисний клапан. Він представляє з себе мембрану, що розривається у момент вибуху тиском і тим самим перешкоджає надмірному підвищенні тиску в системі.

**Захисна** ТА призначена для захисту обладнання від аварійної зміни параметра середовища (тиску, температури, напрямку потоку) шляхом відключення обслуговуваної ділянки. На відміну від запобіжної ТА потік середовища не викидається в атмосферу, а просто відключається необхідний елемент системи. У топкових пристроях захисна ТА відключає подачу палива до пальникового пристрою у разі згасання факела або при відключенні електропостачання та зупинці димососа і дутьового вентилятора.

За матеріалом корпусу ТА підрозділяється на наступні основні групи:

- *сталеві (з вуглецевої сталі)*
- *з корозійностійкої сталі*
- *з титану*
- *чавунна (з сірого чавуну)*
- *з ковкого чавуну*
- *з кольорових металів*
- *з пластмас*
- *з кераміки (порцеляна)*
- *чавунна із захисним покриттям (гума, пластмаса, емаль).*

По конструкції корпусу ТА підрозділяється на наступні основні групи:

- *прохідна*
- *кутова*

У прохідної ТА обидва приєднувальних патрубків розташовані на одній вісі або зі зміщенням на паралельних осях. Це найбільш поширений тип корпусу арматури. У кутовий ТА приєднувальні патрубків розташовані під кутом один до одного, причому найбільш часто під прямим кутом. Це дозволяє в деяких випадках спростити конструкцію арматури і уникнути необхідності встановлення на трубопроводі додаткового відводу для повороту потоку.

По конструкції приєднувальних патрубків ТА підрозділяється на наступні основні групи:

- *муфтова*
- *фланцева*
- *цапкова*
- *штуцерна*
- *під при варення*

**Муфтова** ТА виготовляється на малі і середні діаметри. Приєднувальні патрубків муфтового ТА мають внутрішню чи зовнішню різьбу, як правило трубу, призначену для вкручування труби з кінцевою короткою різьбою.

**Фланцева** ТА має на приєднувальних кінцях фланці, що являють собою диск або квадрат з отворами під болти. Відповідний фланець трубопроводу повинен мати аналогічні приєднувальні розміри.

**Цапкова** ТА має на кінці швидкокороз'ємне з'єднання з ущільнювальною прокладкою, що представляє із себе два або більше гвинтових захоплення. Яскравим прикладом використання цього достатньо рідкісного з'єднання є пожежний гідрант, до якого за допомогою цапки під'єднують пожежний рукав.

**Штуцерна** арматура виготовляється на малі і дуже малі діаметри. Штуцерне з'єднання представляє з себе пару, коли на арматурі на приєднувальному кінці нарізана зовнішня різьба, а трубопровід притягається до неї за допомогою накидної гайки. Для ущільнення з'єднання може застосовуватися прокладка або, якщо штуцер має на кінці конус, то м'яка мідна трубка може бути досить надійно герметизована за рахунок щільного обжимання на конусі.

Під приварку готують приєднувальні кінці арматури великих діаметрів, коли надійність всіх інших видів з'єднань є недостатньою.

За способом герметизації вузла проходу шпинделя або штока через кришку або корпус ТА підрозділяється на наступні основні групи:

- *сальникове*
- *сильфонне*
- *мембранна*
- *шлангова*

У **сальникової** ТА для ущільнення місця проходу шпинделя або штока використовується пружна сальникова набивка - просочена антисептичними і гідрофобними складами спеціальна формована стрічка з матеріалів рослинного

походження. Набивка стискається в напрямку осі штока або шпинделя і, завдяки своїм пружним властивостям, розширюється в радіальному напрямку, щільно заповнюючи простір зазору між стінкою і штоком.

Сальникове ущільнення отримало найбільше поширення завдяки своїй простоті, низькій вартості і можливості ремонту.

У **сильфонній, мембранній і шланговій** ТА відсутні рухомі з'єднання з зазорами, через які робоче середовище може витекти назовні, завдяки тому, що пристрій управління рухом затвора знаходиться по одну сторону пружного елемента, а робоче середовище - по інший бік. Інакше кажучи, стінка сильфона, шланга або мембрана виступають в ролі герметизуючого елемента рухомого з'єднання.

### 3. ТИПИ АРМАТУРИ

Виконання одних і тих же функцій може здійснюватися різними типами арматури, що мають одну або іншу принципову конструкцію затвора. За цією ознакою виділяють такі основні типи ТА:

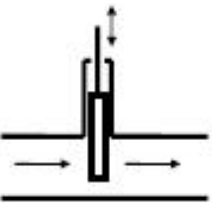
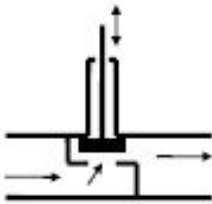
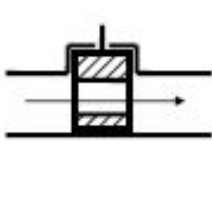
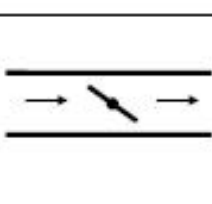
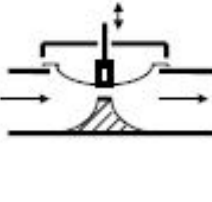
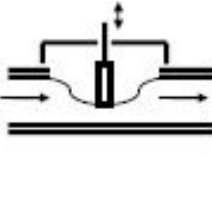
- засувки
- клапани
- заслінки
- крани
- мембранний (діафрагмовими) клапан
- шланговий клапан
- регулятори тиску, витрати й рівня

Порівняльна характеристика різних конструкцій арматури наведена в таблиці 2.1. До характеристик різних типів арматури, наведеним у таблиці, слід підходити обережно: в окремих конструкціях того чи іншого типу зазначені недоліки базового варіанту або ліквідовані зовсім, або істотно знижені. Так, засувки з звуженим проходом мають значно меншу будівельну висоту, ніж повнопрохідні (проте вони мають велику будівельну довжину і більшу гідравлічний опір). Кульові крани в порівнянні з кранами з конусної пробкою мають менший знос поверхонь і зусилля на привід, більш герметичні (проте складніше у виготовленні і дорожче). Прямоточний вентиль з косим шпинделем на відміну від звичайного має малий гідравлічний опір. Така ситуація зрозуміла: саме з метою ліквідації наявних недоліків і розробляються нові конструкції арматури.

Регулятори не входять до вищенаведених список, як окремий тип арматури і не наведені в таблиці. В принципі, вони представляють з себе конструкцію, у складі якої в якості регулюючої арматури використовується один їх перерахованих вище типів (найчастіше клапан). Тому їх не слід вважати самостійними типами арматури по конструкції затвора. Однак вони становлять самостійну групи за призначенням, які широко використовуються в системах ТГВ. Принцип їх роботи розглянуто нижче.

Таблиця 2.1

## Сравнительные характеристики различных типов арматуры

Наименование арматуры	Принципиальная схема	Краткая характеристика
Задвижка		Затвор движется возвратно-поступательно вдоль уплотнительной поверхности. Большая строительная высота, малая строительная длина. Медленное срабатывание. Большое усилие на привод затвора. Сильный износ поверхности седла на загрязненных жидкостях. Малое гидравлическое сопротивление. Отсутствие противодействия рабочей среды.
Клапан		Затвор движется по нормали к уплотнительной поверхности. Малая строительная высота, большая строительная длина. Быстрое срабатывание. Большое усилие на привод затвора. Большое гидравлическое сопротивление. Наличие противодействия рабочей среды. Высокая герметичность.
Кран		Затвор движется вращательно на 90° вдоль уплотнительной поверхности. Малая строительная высота, малая строительная длина. Быстрое срабатывание. Большое усилие на привод затвора. Сильный износ поверхности седла и пробки на загрязненных и агрессивных жидкостях. Малое гидравлическое сопротивление. Отсутствие противодействия рабочей среды.
Заслонка		Затвор движется вращательно на 90°. Малая строительная высота, малая строительная длина. Быстрое срабатывание. Малое усилие на привод затвора. Малая герметичность. Малое гидравлическое сопротивление. Отсутствие противодействия рабочей среды. Применяется на газах.
Диафрагмовый (мембранный) клапан		Затвор движется возвратно-поступательно по нормали к уплотнительной поверхности. Малая строительная высота, большая строительная длина. Быстрое срабатывание. Малое усилие на привод затвора. Применяется на агрессивных жидкостях. Большое гидравлическое сопротивление. Наличие противодействия рабочей среды.
Шланговый клапан		Затвор движется возвратно-поступательно по нормали к уплотнительной поверхности. Малая строительная высота, большая строительная длина. Быстрое срабатывание. Малое усилие на привод затвора. Применяется на агрессивных жидкостях. Малое гидравлическое сопротивление. Наличие противодействия рабочей среды.

**Засувки** мають затвор у вигляді листа, диска або клина, що переміщується уздовж поверхонь ущільнювачів сідла корпусу перпендикулярно осі потоку середовища.

Засувки бувають повнопрохідні, мають сідло в розмір діаметра трубопроводу, і



звужені, у яких діаметр сідла менше діаметра трубо-проводу, що дозволяє зменшити необхідний хід шпинделя і, як наслідок, будівельний розмір засувки.

Засувки так само бувають клинові і паралельні. Сідло клиновий засувки представляє з себе дві кільцеві поверхні, розташовані під невеликим кутом стосовно осі руху потоку, утворюючи клинову поверхню. Затвор представляє з себе одну або дві тарілки (диска), закріплені на шпинделі. Він буває однодисковий або дводисковий, пружний або суцільний. При переміщенні затвора в кінці ходу при наближенні до положення «закрито» тарілки засувки примикають до сідла і за рахунок наявності клиновий поверхні щільно притискаються до нього, будучи розклинені за рахунок зусилля, створюваного при русі шпинделя. У паралельній засувки поверхні сідел паралельні і перпендикулярні осі руху потоку. Розклинювання і щільне примикання тарілок затвора до сідел забезпечується за рахунок допоміжного клину, розташованого між тарілками.

Засувки випускаються з висувним шпинделем або штоком, і з невидвіжним шпинделем. Відрізняються вони конструкцією гвинтової пари, за рахунок якої відбувається переміщення затвора. Крім того, засувки з невидвіжним шпинделем мають менший будівельний розмір.

Перевагою засувок є те, що при переміщенні робочого органу вона не долає тиску середовища, що дозволяє зменшити зусилля, необхідне для переміщення затвора. Перевагою є так само те, що потік рухається прямоточно, без поворотів, внаслідок чого цей тип ТА має мале значення коефіцієнта місцевого опору у відкритому положенні.

Завдяки симетричності конструкції засувки можуть експлуатуватися при будь-якому напрямку руху потоку.

Недоліком засувок є сильне тертя поверхонь ущільнювачів в момент переміщення робочого органу, великі габарити в напрямку висування штока (як мінімум два діаметра трубопроводу). Істотним недоліком засувок є те, що в проміжному положенні затвора, коли тарілки частково перекривають перетин сідла, частина ущільнювальних кільцевих поверхонь знаходиться в зоні активного обтікання потоком і піддається сильному абразивному зносу твердими включеннями, що містяться в робочому середовищі. Після роботи в такому режимі поверхні ущільнювачів зношуються настільки, що не забезпечують достатньої герметичності при закритті засувки - засувка «не тримає». Це обмежує використання засувки як регулюючого елемента (але, цей недолік властивий багатьом видам арматури). Крім того, регулюючі характеристики засувок незадовільні, це в принципі засувна ТА.

Засувки використовуються на великих трубопроводах діаметром понад 50 мм, де потрібно повільне перекриття перетину для запобігання виникнення гідравлічного удару.

**Клапани** мають затвор у вигляді плоскої або конусної тарілки, що переміщається зворотно-поступально уздовж центральної вісі ущільнювальної поверхні сідла корпусу. У деяких конструкціях клапанів затвор рухається по дузі.

Клапани є найпоширенішим видом ТА, як основний елемент вони входять в конструкцію більшості регуляторів. Клапани мають велике кількість різновидів (запобіжні, запірні, регулюючі і т.д.). Клапани з затвором у вигляді тарілки

називаються тарілчастими, а якщо мають затвор у вигляді конусної голки - голчастими. Клапани бувають односідельні і двохсідельні. У двохсідельні клапанах є два сідла, що перекриваються відповідно двома тарілками.

Клапанами також називається ТА з пружньо-деформованими затворами – мембранні та шлангові. У мембранному клапані затвор представляє з себе пружну гнучку мембрану, яка під дією прикладеного зусилля прогинається в напрямку, перпендикулярному осі руху потоку. Сідлом є край перегородки, що стоїть поперек каналу для протоку робочого середовища. При прогині мембрана щільно примикає до краю перегородки та перекриває вільний перетин для проходу потоку. У шланговому клапані сам канал для протоку робочої рідини представляє з себе пружний деформується шланг, який при закритті клапана просто пережимається спеціальним елементом затвора. Такі конструкції дозволяють уникнути наявності рухливих сальникових ущільнень, за якими робоча середу може перетікати назовні.

Клапан з ручним управлінням, в якому затвор переміщається за допомогою різьбової пари, називається **вентилем**. Вентилі виготовляють як у муфтове (різьбовому) виконанні, так і фланцеві.

Основна перевага вентилів - відсутність тертя ущільнюючих поверхностей в момент закриття, так як затвор рухається перпендикулярно, що зменшує небезпеку пошкодження (задирів). Висота вентилів менше, ніж у засувок, з огляду на те що хід шпинделя невеликий і зазвичай становить не більше чверті діаметра трубопроводу. Однак будівельна довжина вентилів більше, ніж у засувок, оскільки потрібно повернути потік всередині корпусу.

Недоліком клапанів вентиляльної структури є великий гідравлічний опір через дворазову зміну напрямку потоку всередині корпусу, і менший прохідний перетин сідла, ніж у засувок.

Крім цього вентиль повинен експлуатуватися тільки при певному напрямку руху потоку через нього - коли потік підтікає під тарілку і в закритому стані тисне на тарілку з боку сідла. Тоді при відкриванні вентиля тиск робочого середовища допомагає відірвати тарілку від сідла. Якщо ж вентиль буде встановлений неправильно, то в закритому положенні тиск робочого середовища буде притискати тарілку до сідла і при спробі відкрити вентиль потрібно значно більше зусилля для переміщення шпинделя або штока, так як доведеться подолати тиск робочого середовища. Це може призвести до того, що великим зусиллям тарілка затвора буде зірвана з штока і вентиль вийде з ладу.

У системах вентиляції та кондиціонування повітря аналогом засувки є вентиляційний шибер, який представляє з себе прямокутний металевий лист, що переміщається в направляючих перпендикулярно вісі повітропроводу.

**Заслінки** мають затвор у вигляді плоского листа круглої або прямокутної форми, встановленого всередині каналу і обертається на осі, встановленої перпендикулярно осі руху потоку. Таким чином, затвор заслінки рухається по дузі.

Заслінки найбільш часто використовують у вентиляції і кондиціонуванні повітря на повітропроводах, а так само на різних газоходах, тобто там, де мають місце великі діаметри трубопроводів, невеликий тиск і невисокі вимоги до герметичності. Заслінки часто називають дросельними заслінками або дросель-клапанами. Залежно від кількості встановлених пластин бувають одинарні заслінки і багатостулкові. На

крапельних рідинах заслінки застосовують рідко, оскільки їх конструкція не забезпечує надійної герметичності перекриття прохідного перерізу. На повітрі і газах, враховуючи простоту і надійність конструкції, дросельні заслінки застосовують дуже часто для регулювання та відключення витрати.

**Крани** мають затвор у формі тіла обертання, що повертається навколо своєї осі, перпендикулярній осі потоку середовища. Затвор крана часто називають пробкою. Пробка крана має отвір, перпендикулярний до осі тіла обертання, що служить для проходу потоку. Якщо пробка крана повернена так, що вісь отвору збігається з віссю трубопроводу, то кран знаходиться у відкритому положенні, так як потік може протікати через отвір. Якщо ж пробку повернути на  $90^{\circ}$ , то вісь отвору стане перпендикулярна осі трубопроводу і кран буде закрито. Таким чином, на відміну від вентиля і засувки, для того, щоб відкрити або закрити кран, потрібно здійснити не кілька оборотів шпинделя, а всього один поворот пробки на  $90^{\circ}$ . Тому крани, як правило, обладнано не маховиком, а ручкою. Положення ручки уздовж осі трубопроводу відповідає відкритому станом, а перпендикулярно осі трубопроводу - закритому.

Залежно від кількості робочих положень пробки крани бувають двоходовими або триходовими. Принципово можуть бути крани і на більшу кількість положень, однак вони знайшли застосування тільки в лабораторній арматурі. Залежно від форми отворів на пробці крани можуть виконувати різні функції.

Залежно від форми тіла обертання, що утворює затвор, крани бувають:

- конусні
- циліндричні
- кульові

Конусні крани мають пробку у вигляді зрізаного конуса, в якому є прямокутний або круглий отвір. Корпус крана також має конусну поверхню, до якої повинна щільно примикати пробка. Для забезпечення герметичності пробка повинна бути змащена, щоб мастило заповнило мікрощілини між поверхнею пробки і корпусу. Крім того, мастило зменшує зусилля, потрібне на обертання пробки. Крім того, пробка повинна бути постійно притиснута до поверхні корпусу. Залежно від способу притиснення пробки розрізняють чепцеві і натяжні крани. У сальникових кранах між кришкою крана і верхнім торцем пробки розташована сальникова набивка, що є пружним елементом, що створює постійне зусилля, яке прижимає пробку до корпусу. У натяжних кранах знизу пробки є стрижень з різьбленням, що проходить через отвір у корпусі. Притиснення пробки здійснюється за рахунок пружини, що одягається на гвинт і стягнутої гайкою. Натяжні крани більш надійні, тому що в них робота крана не залежить від властивостей сальникової набивки, яка з часом втрачає свої пружні властивості. Тому натяжні крани використовують у газопостачанні.

Перевагою конусних кранів є невисока вартість, малий гідравлічний опір, простота конструкції і ревізії.

Недоліком таких кранів є велике зусилля, потрібне на поворот пробки. Після закінчення деякого терміну роботи (залежно від якості води в системі) мікрощілини між поверхнею корпусу і пробки заростають відкладеннями - пробка «прикипає». У

цих умовах на поворот пробки потрібне настільки велике зусилля, що можлива поломка крана.

Крани виготовляють з кольорових металів (бронзи і латуні), так як потрібно забезпечити високу якість обробки поверхні корпусу і пробки. Крім того, кольорові метали менше схильні до корозії, що знижує можливість «прикипання» пробки.

Циліндрична пробка не забезпечує достатньої герметичності крану, бо не може бути щільно притиснута до корпусу. Зате вона має можливість розміщення у вертикальному напрямку, що дає можливість регулювати вільну висоту прямокутного отвору в пробці. Так влаштовані крани подвійного регулювання, застосовувані в системах опалення. За рахунок переміщення пробки по висоті здійснюється монтажна регулювання системи, а після споживач має можливість зменшувати витрату теплоносія через прилад за рахунок повороту пробки на  $90^{\circ}$ .

Кульові крани є найбільш досконалими за своїми експлуатаційні характеристикам. У них пробка виконана у вигляді полірованого кулі, що має круглий отвір для проходу потоку. Діаметр отвору точно дорівнює внутрішньому діаметру під'єднуваного трубопроводу, тому даний кран практично не створює місцевих опорів потоку. Пробка крану не стосується поверхні корпусу, що виключає можливість «прикипання». Ущільнення затвора здійснюється за рахунок двох фторопластових кільцевих прокладок, що встановлюються на заводі в момент складання крана з зусиллям, що перевищує межу текучості фторпласта, внаслідок чого він надійно заповнює зазор між пробкою і корпусом і забезпечує високу герметичність всього крана. Вартість цих кранів, однак вище, ніж розглянутих раніше, так як для їх виготовлення потрібен більш високий рівень технології.

**Мембранний клапан**, званий так само діафрагмовим клапаном або вентилем, відрізняється тим, що сідло затвора виконано на торці перегородки, встановленої упоперек вісі руху потоку, а роль золотника виконує гнучка мембрана, яка під дією штока або шпинделя прогинається і перекидає прохідний перетин трубопроводу. Гнучка мембрана одночасно герметизує робочу порожнину арматури, так що сальник не потрібен. Мембранні клапани застосовуються на агресивних середовищах, сольових розчинах. Використовуються вони на теплових станціях при перекачуванні розчинів у системах хімоводопідготовки. У звичайних системах ТГВ вони не застосовуються, так як мають меншу герметичність, надійність і ремонтнопригодність, витримують менший тиск.

Шланговий клапан відрізняється тим, що прохідний канал арматури виконано у вигляді гнучкого шланга, який під дією штока або шпинделя пережимається і перекидає прохідний перетин. Гнучкий шланг одночасно герметизує робочу порожнину арматури, так що сальника не потрібен. Шлангові клапани мають малу герметичність і застосовуються в основному для цілей регулювання на агресивних середовищах, сольових розчинах. Використовуються вони там же, де і мембранні клапани.

У системах ТГВ широко застосовується автоматична арматура, до якої відносяться регулятори (тиску, витрати й рівня).

Регулятори тиску, витрати й рівня призначені для автоматичного підтримування параметра без використання вторинних джерел енергії.

Регулятор по конструкції представляє з себе клапан з пневмо- або гідроприводом мембранного, сільфонного або плунжерного типу, а так само спеціально настановну пружину, необхідну для налаштування регулятора на необхідне значення параметра регулювання. Конструкції регуляторів надзвичайно різноманітні.

**Регулятори рівня** поділяються на регулятори живлення, в яких рівень підтримується за рахунок періодичного доливання рідини в ємність, і регулятори переливу, в яких відбувається злив надлишку рідини. Прикладом регулятора рівня першого типу є кран змивного бачка унітазу.

**Регулятор тиску** розглянемо на прикладі редуктора газового балона. Отвір вхідного патрубку для подачі газу є сідлом клапана, до котрого притискається тарілка клапана, закріплена на одному кінці кутового ричага. Другий кінець важеля з'єднаний з рухомою мембраною, на яку із зовнішнього боку діє сила атмосферного тиску і сила стиснення установочної пружини, а з іншого боку - сила тиску газу в порожнині регулятора. Вісь обертання важеля закріплена на днище корпусу регулятора. Якщо один з пальників газової плити буде закрито, то зменшиться витрата газу, в результаті чого тиск газу в порожнині редуктора почне підвищуватися. Це призведе до переміщення мембрани, яка потягне за собою кінець важеля, з'єднаний з нею. Другий кінець важеля із закріпленим на ньому клапаном так само переміститься і прикриє отвір для проходу газу. У результаті тиск газу в порожнині редуктора буде практично на постійному рівні, так як хід клапана вкрай малий і зусилля настановної пружини при переміщенні мембрани зміниться незначно. Таким чином, регулятор буде забезпечувати пропуск необхідних витрат газу при постійному значенні тиску перед пальниками.

**Регулятор витрати** працює аналогічно регулятору рівня, підтримуючи постійний перепад тиску на деякому дроселюючому пристрої, наприклад, діафрагмі або регульованому соплі. Враховуючи, що коефіцієнт місцевого опору дроселюючого пристрою не змінюється, постійний перепад тиску означає, що швидкість потоку через дросель постійна і, отже, постійний витрата. Деякі регулятори мають дросель, конструкція якого дозволяє регулювати його опір, підлаштовуючи регулятор на необхідне значення витрат. Частіше, однак, опір дроселюючого пристрою залишають постійним, а змінюють зжимання установочної пружини, що дозволяє регулювати перепад тиску на дроселі і, відповідно, витрата через регулятор.

У регуляторах важливим моментом є розвантаження клапана від одностороннього тиску робочого середовища, що дозволяє значно зменшити зусилля, необхідні на переміщення робочого органу. Найбільш досконалим варіантом розвантаження є двохсідельна конструкція клапана, коли зусилля, що діють на дві тарілки, протилежні за напрямком і взаємно компенсуються. Однак у такій конструкції корпус складніше у виготовленні і важче забезпечити повну герметичність закриття двох клапанів одночасно. Тим не менш, така конструкція дуже широко застосовується в сучасних регуляторах.

#### 4. Умовні графічні позначення арматури

Графічні позначення різних типів арматури на кресленнях регламентуються ДСТУ. Нижче наведено перелік позначень для найбільш розповсюджених типів арматури.

Таблица 2.

Умовні позначення трубопровідної арматури на гідравлічних та пневматичних схемах

Арматура	Обозначение	Арматура	Обозначение
Клапан (вен-тиль) запорный: проходной		Клапан предохранительный: проходной	
угловой		угловой	
Задвижка		Регулятор давления:	
Заслонка		«до себя»	
Кран:		«после себя»	
проходной		Клапан обратный:	
угловой		подъемный проходной	
Клапан (вен-тиль) регулирующий: проходной		поворотный (защелка) приемный с сеткой	
угловой		Клапан дроссельный	
Кран трехходовой		Клапан редукционный	
Клапан (вен-тиль) трехходовой		Конденсатоотводчик	

## Лекеція №6 Ненапівпровідникові елементи електричних схем

### План

1. Опори
2. Конденсатори
3. Трансформатори
4. Дроселі
5. Коливальний контур
6. Електродвигун
7. Командоапарати
8. Реле
9. Апарати захисту електроприводів

### Загальні дані

Останнім часом найбільш широко почали застосовувати електронні засоби реалізації систем автоматики. Це стосується як промислової автоматики, так і побутових приладів з якими повсякчас доводиться мати справу (мобільні телефони, комп'ютери, телевізори та ін.). Для того, щоб отримати уяву про роботу цих систем нам необхідно ознайомитися з основами електроніки.

*Електроніка* – це галузь науки і техніки, яка займається вивченням фізичних основ, дослідженням, розробкою і застосуванням пристроїв, робота яких ґрунтується на протіканні електричного струму в твердих тілах, вакуумі та в газах. На початку минулого століття її головними елементами були реле. В 30-70 роках минулого століття головне місце займали вакуумні лампи. Зараз головне місце займають напівпровідникові прилади. В майбутньому це мабуть будуть біологічно-сумісні вуглецеві структури, створені з застосуванням нанотехнологій.

Спочатку розглянемо не напівпровідникові елементи електроніки, які широко застосовують в схемах автоматики. До таких елементів електричних схем відносяться: провідники, опори, конденсатори, катушки, дроселі, трансформатори, кнопки, реле.

### 1. Опори

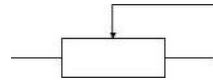
Опір (англ. resistor) — пасивний елемент електричної мережі, котрий (в ідеалі) характеризується лише опором електричному струму.

Основная характеристика резистора - сопротивление, **измеряется в Омах**. Сопротивление резистора измеряется также в единицах, кратных Ому: **килоОм= 1000 Ом, мегаОм= 1000 000 Ом**



**Рис.1. Постійні опори**


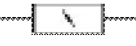


Существуют так же и переменные резисторы, обладающие способностью изменять своё сопротивление. Их применяют для изменения тока, напряжения и др. (например: изменение громкости и тембра). Чаще всего на принципиальной схеме

отображаются так: 

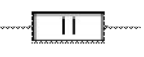



**Рис.2. Змінний опір**

Одной из основных характеристик является рассеиваемая мощность. Рассеиваемая мощность это мощность, которую резистор может рассеять без повреждения. Измеряется в Ваттах. Находится по формуле **мощность=ток<sup>2</sup> \* сопротивление**.

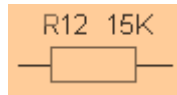
	0,125 W
	0.25 W
	0.5 W
	1.0 W



	2.0 W
	5.0 W

## ОБОЗНАЧЕНИЕ РЕЗИСТОРОВ НА СХЕМАХ

на схемах обычно применяются сокращенные обозначения сопротивления:



например:

обозначает: R12- позиционное обозначение резистора на схеме, 15K- сопротивление резистора 15 килоОм.

На советских резисторах маркировка обычно наносилась на сам корпус: просто указывалось сопротивление в Омах или килоОмах, причем для резисторов до 10 Ом часто использовалась буква R или E.

Например: 10R обозначает 10 Ом; 10 K обозначает 10 кОм; м10 обозначает 0,1мОм или 100 кОм

## 2. Конденсаторы

**Конденсатор**, є засобом накопичення енергії в електричних колах. Типовою сферою застосування є згладжуючі фільтри в системах живлення, міжкаскадні зв'язки, засоби фільтрації шумів.

Электрическая характеристика **конденсатора** определяется его конструкцией и средствами используемых материалов. Конденсатор состоит из пластин (или обкладок) находящиеся друг перед другом, сделанных из токопроводящего материала, и изолирующего материала (в основном бумага и слюда).

### Основные характеристики конденсатора:

**1. Емкость.** Измеряется в Фарадах. Сама по-себе Фарада довольно большая величина, поэтому на практике используются доли Фарады:  $10^{-3}$  Фарады=мікроФарада (мкФ),  $10^{-6}$  Фарады=наноФарада (нФ) і  $10^{-9}$  Фарады=пікоФарада (пФ). Існують конденсатори з постійною та змінною ємністю



Рис.3. Конденсатор

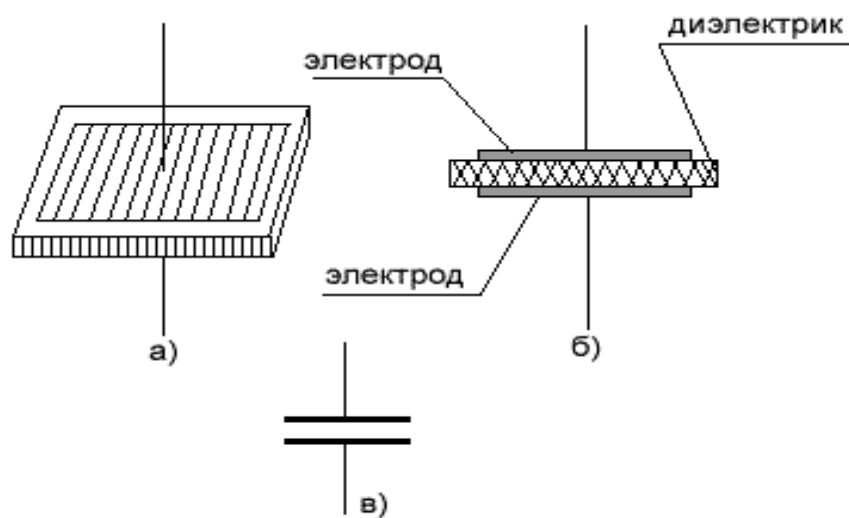


рис.2. а) и б) - устройство конденсатора;  
в) обозначение конденсатора на схемах

## 2. Максимально допустимое напряжение пробоя

Напряжение при котором происходит пробой диэлектрика. При создании электронных схем необходимо учитывать этот параметр и использовать конденсаторы с пробивным напряжением выше, чем напряжение цепи, куда он будет устанавливаться.

## 3. Поляризация.

Конденсаторы поділяють на поляризовані і неполяризовані. При однакових розмірах поляризовані конденсатори мають в 10-30 разів більшу ємність ніж неполяризовані. Але, їх полярність в схемах повинна обов'язково відповідати полярності джерела живлення.

## 3. Трансформатори

**Трансформатор** (від лат. transformo — перетворювати) — електричний апарат, що складається з набору індуктивно зв'язаних обмоток на будь-якому магнітопроводі або взагалі без нього і застосовується для перетворення змінного струму шляхом електромагнітної індукції без зміни частоти струму.

Отношение напряжений между первичной и вторичной обмотками называют коэффициент трансформации. Конструктивно многие **трансформаторы** имеют по несколько вторичных обмоток с различными напряжениями. **Обозначается трансформатор** так:

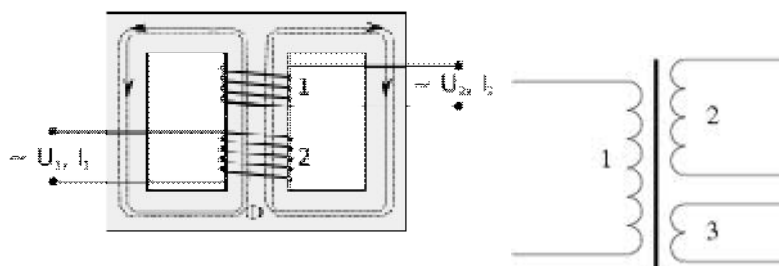


Рис.5. Схема та умовне позначення трансформаторів

Конструкция магнітопровода (сердечника) так-же бывает различных видов: Ш-образные пластины, П-образные и кольцевые (торроидальные). Сердечники изготавливаются из ферромагнитных материалов или специальной трансформаторной магнитомягкой стали.

#### 4. Дроссель (катушка индуктивности)

Итак: намотав на сердечник обмотку, получим простейший **дроссель**, то есть устройство, обладающее высоким сопротивлением к переменному току и низким к постоянному. Это свойство дросселя широко применяется в различных устройствах для фильтрации переменного напряжения, например, в фильтрах блоков питания.

Происходит это потому, что переменный ток, проходя через дроссель, образует в сердечнике электромагнитное поле, которое в свою очередь, способствует образованию противоположной силы: так называемой электродвижущей силы (ЭДС) самоиндукции. И чем больше наведенная энергия (зависит от количества витков и материала сердечника), тем выше будет наведенное поле и естественно ЭДС самоиндукции.



Рис.6. Катушка індуктивності

Этот параметр (сопротивление переменному току) назвали **индуктивность**. Обозначается он буквой L и измеряется он в Генри. На практике используется величина кратная: мили ( $10^{-3}$ ) и микроГенри ( $10^{-6}$ ).

На схемах **дроссель обозначается, рис.7.**

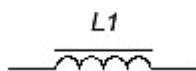


Рис.7. Позначення дроселя на схемах.

## 5. Коливальний контур

**Колебательный контур** — простейшая система, в которой могут происходить свободные электромагнитные колебания. По сути- это дроссель (катушка индуктивности), с включенным параллельно с ней конденсатором.

Принцип действия **колебательного контура**. Пусть конденсатор заряжен до максимального уровня. При подключении к катушке, конденсатр начнет разряжаться через неё, вызвав ЭДС самоиндукции, причем энергия, отдаваемая катушкой будет направлена противоположно току разряда конденсатора.

Разрядившись до минимума, конденсатор, благодаря противоположной энергии самоиндукции, начнет заряжаться заново, но уже в обратной полярности. Зарядившись, процесс разряда- заряда повториться вновь.

По сути это устройство можно было-бы назвать "вечным двигателем" (!!!) если-бы не потери энергии. Эти потери условно называют **добротностью контура**.

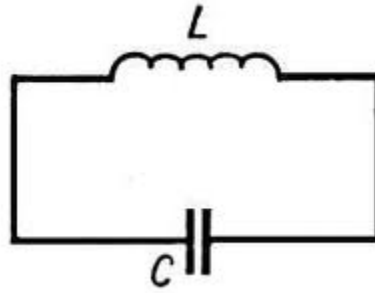


Рис.8. Коливальний контур

*Сама головна особливість коливального контура-* здатність підтримувати коливання.

Частота, з якою відбуваються коливання в контурі, називається **резонансною частотою**. Резонансну частоту можна змінювати, змінюючи індуктивність котушки (дроселя) або ємність конденсатора.

### 6. Електродвигун

**Електродвигатель-** это устройство (электрическая машина), преобразующая электроэнергию в энергию механическую. По классификации электродвигатели бывают постоянного и переменного тока, а также универсальные коллекторные.

**Устройство и принцип работы электродвигателя.** В основу электродвигателя положен принцип электромагнитной индукции. Электрическая машина состоит из неподвижной части — статора (для асинхронных и синхронных машин переменного тока) или индуктора (для машин постоянного тока) и подвижной части — ротора.

Частота вращения ротора зависит от частоты питающего напряжения и от числа пар магнитных полюсов. Разность между частотой вращения магнитного поля статора и частотой вращения ротора характеризуется скольжением. Двигатель называется **асинхронным**, если частота вращения магнитного поля статора не совпадает с частотой вращения ротора. **Синхронный двигатель** имеет отличие в конструкции ротора. Ротор выполняется либо постоянным магнитом, либо электромагнитом. В синхронном двигателе частота вращения магнитного поля статора и частота вращения ротора совпадают.



Рис.9. Электродвигун

В сервоприводах автоматики часто застосовують двигуни постійного струму. Їх перевагою є простота зміни напрямку обертання та порівняно високий обертаючий момент. Також можуть застосовуватися реверсивні двигуни змінного струму з вбудованим редуктором.

## 7. Командоапарати

К командоапаратам относятся устройства, предназначенные для выполнения различных переключений в цепях управления напряжением до 400 В. К командоапаратам относятся: кнопки управления, конечные выключатели, универсальные переключатели, ключи управления, ртутные контакты.

### Кнопки управления

Кнопки управления предназначены для дистанционного управления контакторами, магнитными пускателями и реле управления. Они могут быть одноштифтовыми (рис. 10) и многоштифтовыми.

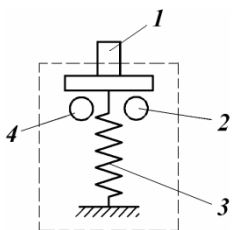


Рис. 10. Кнопка керування:

1 – штифт; 2, 4 – контакти; 3 – пружина

Условные графические обозначения кнопок управления (рис. 11) осуществляется по ГОСТ 2.755–74, а буквенные – по ГОСТ 2.710–84.



Рис. 11. Примеры условного обозначения кнопок управления

### ***Путевые и конечные выключатели***

Путевые выключатели выполняют переключение в цепях управления в зависимости от пути, проходным управляемым механизмом. Если переключения осуществляются в конечных положениях механизма, то такие аппараты, называются *конечными выключателями*. Принципиальная схема путевого (конечного) выключателя показана на рис. 12.

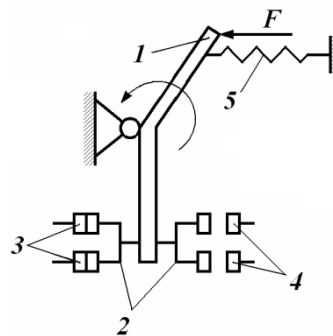


Рис. 12. Принципиальная схема путевого выключателя:

- 1 – рычаг; 2 – контактный мостик; 3 – размыкающие контакты;
- 4 – замыкающие контакты; 5 – возвратная пружина

Принцип работы путевых и конечных выключателей заключается в следующем. От действием перемещаемого усилия  $F$  рычаг 1 поворачивается относительно оси и контакты 3 размыкаются, а контакты 4 замыкаются. При отсутствии усилия  $F$  все возвращается в исходное состояние под действием пружины 5.

Шляхові та кінцеві вимикачі застосовують в схемах керування електроприводами засувки, клапанів, та інших механізмів.

### ***Універсальні перемикачі.***

Универсальные переключатели – это аппараты, предназначенные для одновременного переключения в различных цепях управления. Графическое и буквенное обозначение универсального переключателя (на примере УП 5312 –С38 ) приведено на рис. 13.

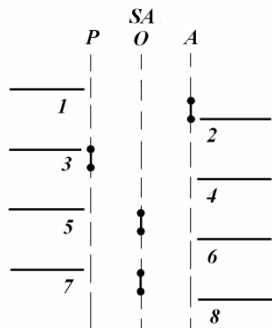


Рис. 13. Пример условного обозначения универсального переключателя УП5312 –С38

На рис. 13 показано, что приведенный универсальный переключатель имеет три фиксированных положения: Р — ручной режим, 0 — нулевое положение; А — автоматический режим. В нулевом положении замыкаются контакты 5 – 6 и 7 – 8, в ручном режиме 3 – 4, в автоматическом режиме 1 – 2.

## 8. Реле

### Общие сведения и классификация реле

Реле – это устройство, в котором при плавном изменении входной величины, выходная величина изменяется скачкообразно. Статическая характеристика реле – это зависимость выходной величины  $Y$  от входной  $X$  (см. рис. 18).

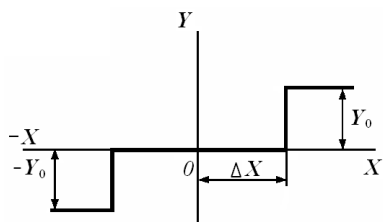
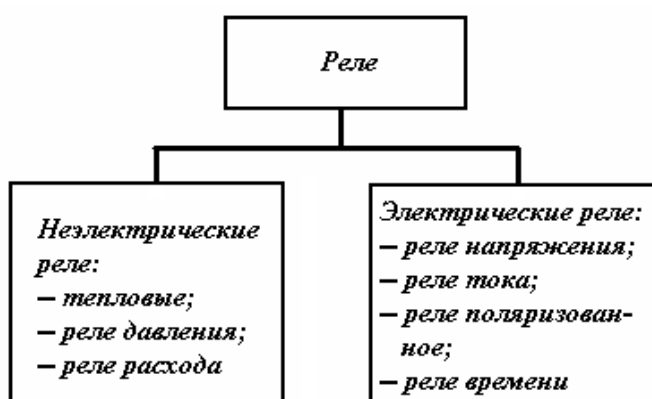


Рис 18. Статическая характеристика реле

Если  $X < \Delta X$ , то  $Y = 0$ ; если  $X > \Delta X$ , то  $Y = |Y_0|$  и при дальнейшем возрастании  $X$ ,  $Y$  не увеличивается. Такая статическая характеристика называется *релейной*.



## Классификация реле



**Неэлектрическое реле.** В неэлектрическом реле входная величина неэлектрического характера: температура, давление, расход, уровень, скорость и т.д.

**Тепловое реле** (рис. 19) предназначено для защиты электродвигателя от перегрузки при работе его в длительном режиме, т.е. при длительной работе с нагрузкой на 20 % и выше номинальной электропривод должен быть отключен.

Принцип работы теплового реле следующий. При токе выше номинального на 20 % и более, нагреватель 1 отдает больше тепла. Под действием этого тепла биметаллическая пластина 2 изгибается, и освобождается поворотный рычаг 3, который под действием пружины 4 поворачивается, и контакты 5 размыкаются. Вследствие этого напряжение с катушки контактора снимается, и электродвигатель отключается от сети. Чтобы привести все в исходное положение нужно нажать кнопку возврата 6.

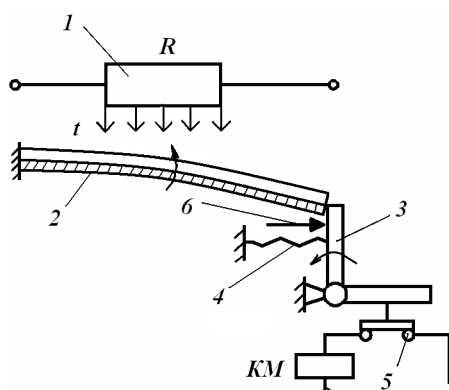


Рис. 19. Тепловое реле: 1 – нагревательный элемент; 2 – биметаллическая пластина; 3 – поворотный рычаг; 4 – пружина; 5 – контакты; 6 – возврат

## Электрические реле

К электрическим реле относят электромагнитные реле, у которых выходная величина носит электрический характер (рис. 20). Воспринимающим элементом реле является катушка 1, промежуточным элементом — пружина 7, исполнительным элементом — контакты 5 и 6.

*Принцип работы электромагнитного реле:* при подаче напряжения на катушку неподвижный магнитопровод намагничивается и якорь 3 притягивается, при этом контакты 5 размыкаются, а контакты 6 замыкаются. При снятии напряжения с катушки под действием пружины 7 якорь и контакты возвращаются в исходное состояние.

Основными параметрами электромагнитного реле являются: напряжение и ток срабатывания; напряжение и ток отпускания.

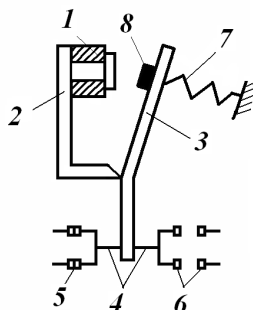


Рис. 20. Принципиальная схема электромагнитного реле:

- 1 – катушка; 2 – магнитопровод; 3 – якорь; 4 – контактный мостик;  
5 – размыкающие контакты; 6 – замыкающие контакты; 7 – возвратная пружина; 8 – немагнитная прокладка

Реле, чувствительные к направлению тока, проходящего через катушку, называются *поляризованными*. Поляризованные реле относятся к реле постоянного тока и бывают двух и трехпозиционные. Такие реле широко применяются в качестве чувствительных элементов в регуляторах.

*Условные обозначения катушек и контактов реле*

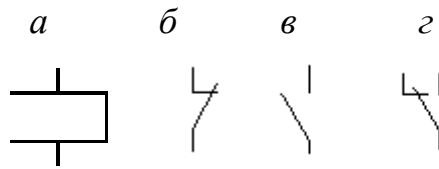


Рис. 21. Катушка (*а*), размыкающий (*б*), замыкающий (*в*) и переключающий (*г*) контакты реле

### Контакты и магнитные пускатели

В системах электроснабжения и управления электроприводами насосов, вентиляторов, дымососов и др. контакторы используются для коммутации главных цепей при дистанционном управлении. Общий вид контактора показан на рис. 25, где на металлической изолированной рейке 1 крепятся неподвижные части контактора и главный вал, с которым соединены его подвижные части.

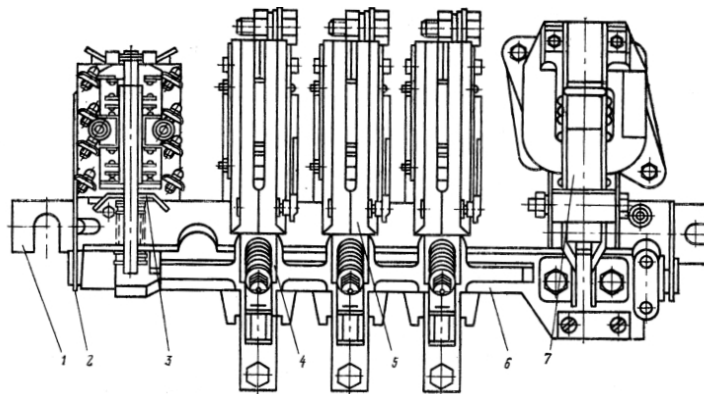


Рис. 25. Общий вид контактора КТ 6013:

1 – металлическая изолированная рейка; 2 – подшипники; 3 – узел вспомогательных контактов; 4 – контактная пружина; 5 – дугогасительная камера; 6 – главный вал; 7 – магнитопровод

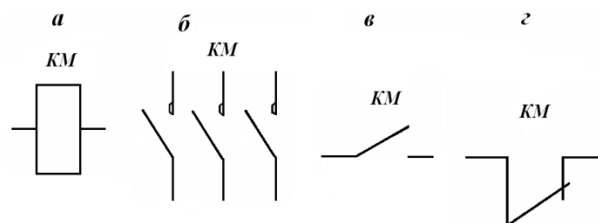


Рис. 26 Условные обозначения катушек и контактов контакторов и магнитных пускателей

*а* – катушка, *б* – главные контакты, *в* – замыкающий блок-контакт, *г* – размыкающий блок-контакт

Пускатели электромагнитные серии ПМЛ (рис. 27) предназначены для дистанционного пуска непосредственным подключением к сети, остановки и реверсирования трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при напряжении переменного тока 660 В частотой 50 Гц, а в исполнении с трехполюсными тепловыми реле серии РТЛ (ТУ 16-523.549-82) - для защиты управляемых электродвигателей от перегрузок недопустимой продолжительности и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз.



Рис. 27. Магнитный пускатель серии ПМЛ

Пускатели могут быть открытого, защищенного и пылевлагозащищенного исполнения, не реверсивные и реверсивные с тепловыми реле или без тепловых реле.

## 9. Апарати захисту електроприводів

Апарати захисту застосовуються для захисту електричних мереж та обладнання від аварійних режимів роботи (короткого замикання, перевантажень, зниження напруги) і захисту людей від ураження електричним струмом.

До апаратів захисту відносять: плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі, обладнані електромагнітними і тепловими розділювачами, а також реле максимального струму.

**Плавкие предохранители** – это электрические аппараты, защищающие установки от перегрузок и токов короткого замыкания (рис. 28). Основными элементами предохранителя являются плавкая вставка, включаемая в рассечку защищаемой цепи, и дугогасительное устройство, гасящее дугу, возникающую после плавления вставки.



Рис. 28. Плавкие предохранители: а – с наполнителем; б – разборный

В промышленности наибольшее распространение получили предохранители с наполнителем типов НПН – 60М, ПН-2 и разборные типа ПН-2.

**Автоматические выключатели** – это аппараты, которые снабжены расцепителями, срабатывающими при возникновении аварийных режимов.

Для примера на рис. 29 представлен автоматический выключатель АП50Б, предназначенный для установки в электрических цепях напряжением до 220 В постоянного и до 500 В переменного тока частотой 50 и 60 Гц, который обеспечивает защиту от токов короткого замыкания и перегрузки.



Рис. 29. Автоматический выключатель АП50Б

Условные обозначения автоматических выключателей, рис.30.

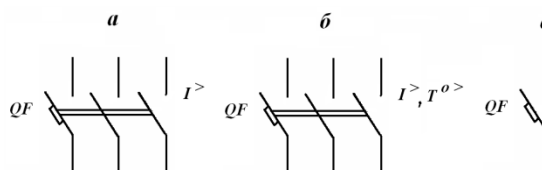


Рис. 30. Условные обозначения автоматических выключателей: *а* – трехфазный, обеспечивающий максимальную (М) защиту (от токов короткого замыкания (к.з.)); *б* – трехфазный, обеспечивающий максимальную и тепловую (МТ) защиту (от токов к.з. и перегрузки); *в* – однофазный

## Лекція №7

### Тема: Напівпровідникові пристрої автоматики

#### План

1. Напівпровідникові опори
2. Напівпровідникові діоди
3. Керовані 3-х електродні прилади

#### 1. Напівпровідникові опори

**Полупроводниковые резисторы.** Составляют большой класс полупроводниковых приборов с двумя выводами, выполненных на основе равномерно легированных материалов, в которых используется зависимость электрического сопротивления от напряжения, температуры, силы света и других факторов. На рис. 1. показаны условные обозначения типичных резисторов и их характеристики.

У **линейных резисторов** (рис. 1.а), выполненных на основе слаболегированного кремния или арсенида галлия, сопротивление практически постоянно в широком диапазоне изменения напряжений и слабо зависит от условий внешней среды.

В **варисторах** используется, наоборот, нелинейная симметричная вольт-амперная зависимость (рис. 1.б). Такую характеристику удастся получить у резисторов, изготовленных, например, из кристаллического карбида кремния, смешанного с глиной. Варисторы применяют для защиты от перенапряжений, искрогашения, стабилизации напряжения и т.д.

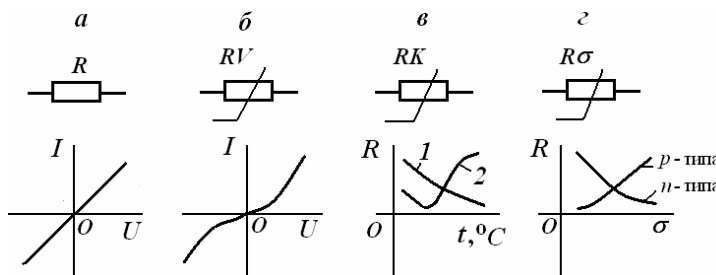
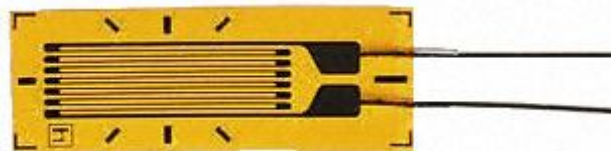


Рис. 1. Условные обозначения и характеристики полупроводниковых резисторов: а – линейный резистор; б – варистор; в – терморезистор; г – тензорезистор; д- фоторезистор; е- магниторезистор

В **терморезисторах** (рис. 1.6) можно получить значительное изменение сопротивления при изменении температуры. Терморезисторы, которые имеют отрицательное значение температурного коэффициента сопротивления  $k_{TR}$ , называют термисторами (характеристика 1 на рис. 1.6). Терморезисторы с большими положительными значениями  $k_{TR}$  называют позисторами (характеристика 2 на рис. 1.6)..

Терморезисторы применяют для измерения, контроля и регулирования температуры, тепловой защиты электродвигателей, противопожарной сигнализации, контроля различных свойств окружающей среды, влияющих на теплоотдачу (уровень жидкости и сыпучих материалов, давление, скорость течения жидкостей и газов), и т.д.

В полупроводниковых приборах, называемых **тензорезисторами**, используется зависимость сопротивления полупроводниковой пластины от деформации (рис. 1.2). Тензорезисторы широко применяются в измерительных схемах датчиков давления, расхода, уровня и в схемах для измерения и контроля деформации различных строительных деталей и конструкций.



**Фоторезистор** — полупроводниковый прибор, изменяющий величину своего сопротивления при облучении светом. Для изготовления фоторезисторов используют различные полупроводниковые материалы. Так, для регистрации видимого света используются фоторезисторы из селенида и сульфида кадмия, Se. Для регистрации инфракрасного излучения используются германий (чистый или легированный примесями Au, Cu или Zn), кремний, сульфид свинца и др.



Рис.2. Общий вид и условное обозначение фоторезистора

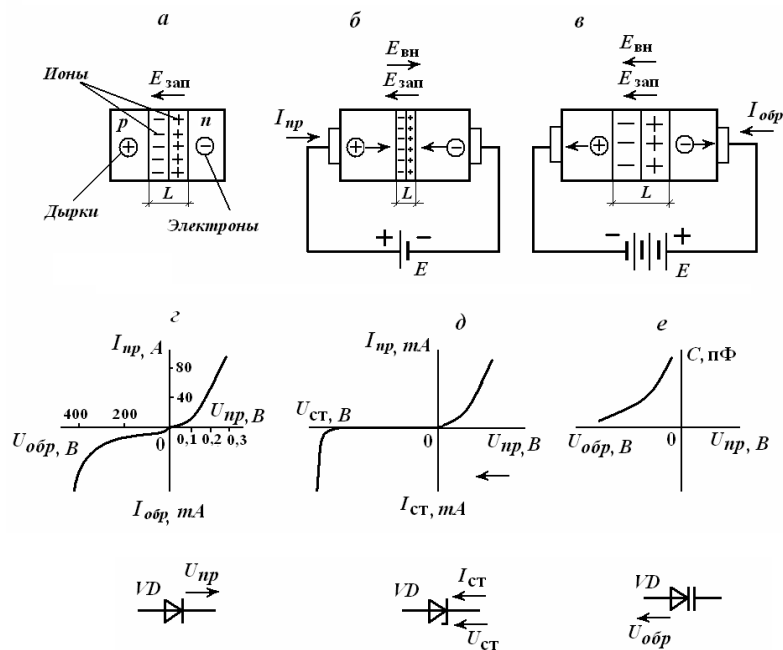
**Магниторезистор** - это полупроводниковый резистор, в котором используется зависимость электрического сопротивления от магнитного поля. Изменяя напряженность магнитного поля или перемещая в этом поле сам резистор, можно изменять сопротивление резистора. Основным полупроводниковым материалом для магниторезисторов является антимонид индия и арсенид индия - материалы с

большой подвижностью носителей заряда. Магниторезисторы используют в качестве датчиков угла поворота или линейных перемещений в специальных устройствах автоматики.

## 2. Напівпровідникові діоди

**Полупроводниковые диоды.** Являются следующим большим классом полупроводниковых элементов с двумя выводами, содержащих в монокристалле один электронно-дырочный  $p-n$  – переход (рис. 3.а). Электронно-дырочный  $p-n$  – переход характеризуется запирающим слоем, обладающим электрическим сопротивлением. А так как запирающий слой образуется положительными и отрицательными ионами, жестко связанными с кристаллической решеткой, то между разноименными заряженными слоями возникает разность потенциалов  $E_{зап}$ , препятствующая переходу электронов в  $p$ - зону, а дырок в  $n$  - зону.

Рис. 3. Структура (а), схемы включения (б, в), характеристики



полупроводниковых диодов и их условные обозначения:  $г$  – выпрямительный диод;  $д$  – стабилитрон;  $е$  – варикап

Одним из свойств  $p-n$  – перехода является вентиляный эффект, который заключается в том, что если к кристаллу с  $p-n$  – переходом приложить внешнее напряжение с полярностью (рис. 3.б), то под действием  $E_{вн}$  величиной 0,1-0,3 В толщина, а, следовательно, и сопротивление  $p-n$  – перехода будет снижаться, и через



него будет проходить большой ток  $I_{пр}$ . Это направление тока называется прямым. Если изменить полярность источника питания, то получим внешнее поле одного направления с полем  $p-n$  – перехода  $E_{зап}$ , которое усиливает его (рис. 3.в). Это приведет к расширению запирающего слоя и тем самым к увеличению сопротивления  $p-n$  – перехода, через который будет проходить небольшой обратный ток  $I_{обр}$ . На этом свойстве (односторонней проводимости) основаны выпрямительные диоды.

Вольтамперная характеристика выпрямительного силового диода (вентиль) и его условное графическое и буквенное обозначение представлена на рис. 3.г.

Полупроводниковые диоды с резким нарастанием обратного тока при нормированном значении обратного напряжения (рис. 3.д) называют **стабилитронами**, которые используются для стабилизации напряжения. Чаще всего материалом стабилитрона служит кремний. Вольтамперная характеристика стабилитрона и его условное графическое и буквенное обозначение показано на рис. 3.д. Стабилизирующее напряжение современных стабилитронов лежит в пределах 1-1000 В и зависит от толщины запирающего слоя. Стабилитроны допускают последовательное включение, тогда  $U_{cn} = U_{cn1} + U_{cn2} + U_{cn3} + \dots$ . Параллельное соединение стабилитронов недопустимо. Конструктивное оформление стабилитронов аналогично выпрямительным диодам.

Полупроводниковые диоды, в которых используется регулируемая емкость  $p-n$  – перехода, называют **варикапами**. Их можно рассматривать как конденсаторы с электрически управляемой емкостью. Зависимость  $C(U_{обр})$  варикапа и его условное графическое и буквенное обозначение представлено на рис 3.е. Варикапы применяют в системах дистанционного управления и в электронных узлах настройки колебательных контуров усилителей.

### 3. Керовані 3-х електродні прилади

**Управляемые полупроводниковые трехэлектродные приборы.** К ним относятся наиболее распространенные приборы данного класса элементной базы современной промышленной электроники – это транзисторы и тиристоры. Особенностью этих элементов является возможность управления с помощью небольшой мощности во входной цепи значительно большей мощностью в выходной цепи.

**Биполярные транзисторы.** Это полупроводниковые приборы с двумя взаимодействующими  $p-n$  – переходами, предназначенными для генерации, усиления и преобразования сигналов электромагнитной природы. Термин

«биполярный» означает, что физические процессы в приборе обусловлены движением носителей заряда обоих знаков (электронов и дырок).

Таким образом, транзистор представляет собой полупроводниковый прибор с двумя  $p-n$  – переходами (рис. 4.). Один из крайних слоев называется *эмиттером*, а другой – *коллектором*; средний слой – *база*;  $p-n$  – переход между эмиттером и базой, называемый *эмиттерный*, работает на прямом токе;  $p-n$  – переход между коллектором и базой, называемый *коллекторный*, он работает на обратном токе. Буквы у выводов транзистора обозначают: Э – эмиттер; Б – база; К – коллектор.

Транзистор, у которого эмиттер и коллектор имеют дырочную проводимость, а база электронную проводимость, называют транзистор типа (структуры)  $p-n-p$  (рис. 4а, б). Транзистор, у которого эмиттер и коллектор имеют электронную проводимость, а база дырочную проводимость, называют транзистор типа (структуры)  $n-p-n$  (рис. 4в)

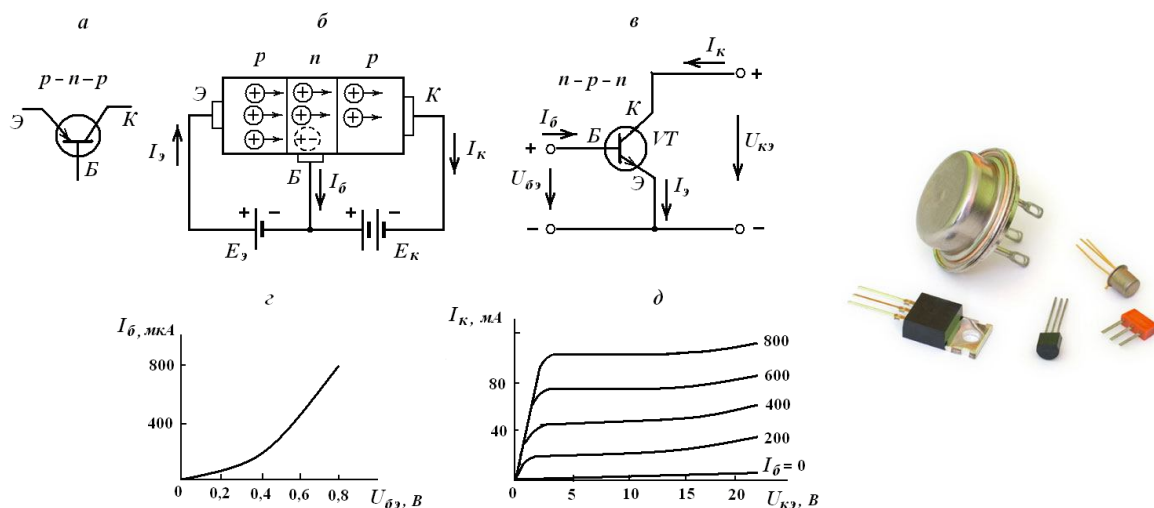


Рис. 4. Биполярный транзистор: а – условное обозначение; б – структура; б, в – схемы включения; г – входная характеристика; д – выходные характеристики

Принцип работы биполярного транзистора рассмотрим на примере транзистора типа  $p-n-p$  (рис. 4б), работающего на постоянном токе. Под действием положительного заряда источника  $E_1$  дырки из  $p$  – зоны эмиттера инжектируются в область базы, образуя эмиттерный ток  $I_1$ . В базе небольшая часть их рекомбинирует с электронами, а большая часть достигает области  $p$  коллектора. Поле коллекторного перехода для этих дырок является ускоряющим. В цепи коллектора будет проходить ток коллектора  $I_{\text{к}}$ . Поскольку транзистор изготавливают так, чтобы

обеспечить, возможно, меньшее значение тока базы, то ток коллектора незначительно отличается от тока эмиттера:  $I_k = I_э - I_B$ .

Наибольшее применение в усилительных каскадах находит схема с общим эмиттером (рис. 4в). В данной схеме входным током является ток базы  $I_э$ , выходным током – ток  $I_k$ . Тогда коэффициент усиления по току

$$\beta = \frac{\partial I_k}{\partial I_э} \approx \frac{\Delta I_k}{\Delta I_э - \Delta I_k} = \frac{\Delta I_k / \Delta I_э}{1 - \Delta I_k / \Delta I_э} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}.$$

Для современных транзисторов  $\beta = 10-200$ .

**Полевые транзисторы.** Полевым называется транзистор, в котором между двумя электродами образуется проводящий канал, по которому протекает ток. Управление этим током осуществляется электрическим полем, создаваемым третьим электродом. Электрод, с которого начинается движение носителей заряда, называется *истоком* (*I*) (рис. 5), а электрод, к которому они движутся – *стоком* (*C*). Электрод, создающий управляющее электрическое поле называется *затвором* (*З*).

Различают два типа полевых транзисторов: с управляющим *p-n*-переходом и с изолированным затвором (МДП-транзисторы). По типу электропроводности они подразделяются на транзисторы с каналами *p* и *n* – типов (рис. 5.).

**Транзистор с управляющим *p-n* – переходом.** Представляет собой пластину полупроводника *p* или *n* типа, на гранях которой созданы области противоположного типа электропроводности, на границах между которыми образованы *p-n* – переходы. На торцевых сторонах пластины и на боковых областях формируют омические контакты. Контакты областей затвора (*З*) соединены между собой и образуют общий контакт. От всех трех контактов имеются выводы. Если к электродам подключить напряжение питания, то между стоком *C* и истоком *I* будет протекать ток. Сопротивление канала, а, следовательно, и ток, проходящий через канал зависят от напряжения на затворе. Напряжение на затворе, при котором ток истока минимальный, называется напряжением отсечки  $U_{зи.отс}$ . Если на затвор подать переменный сигнал, то ток стока *C* будет изменяться по тому же закону.

а

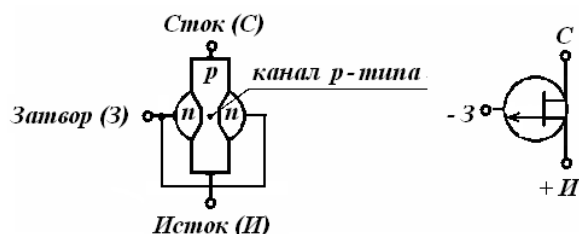


Рис. 5. Полевые транзисторы  $p$  – типа (а) и  $n$  – тип  
графические и буквенные обозначения

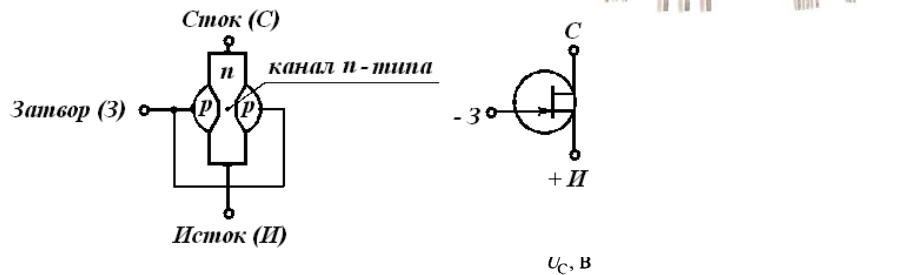


Рис. 6. Семейство выходных вольт-амперных характеристик  
полевого транзистора с  $n$ - $p$  – переходом

Зависимость между током  $I_C$  и напряжением  $U_C$  выходной цепи при напряжении на затворе  $U_3 = 0$  показана на рис. 6. Сначала характеристика имеет, близкий к линейному участок, затем линейная зависимость нарушается и в точке Н наступает режим насыщения. Для каждого напряжения  $U_3$  имеется своя точка насыщения, например,  $H_1 - H_3$ , чем характеризуется своеобразное сужение токопроводящей части канала.

Так как зоны затвора работают в режиме обратного напряжения, то входное сопротивление их велико, а входная мощность мала, что является ценным качеством полевых транзисторов.

**Полевые транзисторы с изолированным затвором.** Транзисторы этого типа называют также МДП-транзисторами (металл-диэлектрик-полупроводник) или МОП-транзисторами (метал-окисел-полупроводник), если в качестве диэлектрика используют окисел, например,  $SiO_2$ . Металлический электрод – затвор, обычно, наносят распылением в вакууме.

МОП-транзисторы могут быть с индуцированным каналом и с встроенным каналом.

МОП-транзисторы находят широкое применение в современной энергетической электронике. По сравнению с другими полупроводниковыми приборами, такими как биполярные транзисторы или тиристоры, они обладают следующими преимуществами:

1. Малое время переключения и, вследствие этого, малые потери при переключении;
2. Малая мощность, затрачиваемая на переключение;
3. Возможность использования хорошо отработанных технологий производства МОП-интегральных схем.

Главные области применения мощных МОП-транзисторов –

электрические приводы переменного тока, преобразователи частоты для электротехнологических установок, источники вторичного электропитания. В таких устройствах используются преимущественно МОП-транзисторы с индуцированным каналом.

МОП-транзистор с индуцированным каналом. Структура транзистора с индуцированным каналом  $n$ -типа показана на рис. 7а. На рис. 7б приведено его условное графическое обозначение.

Подложкой служит кристалл кремния  $p$ -типа. У МОП-транзисторов имеется дополнительный вывод от подложки. Металлический затвор отделен от полупроводника слоем диэлектрика. В качестве диэлектрика используется слой двуоксида кремния толщиной 0,002–0,05 мкм, выращиваемый на поверхности кремния  $n$ -типа. Области стока и истока легированы сильнее, чем канал, и обозначены  $n^+$ .

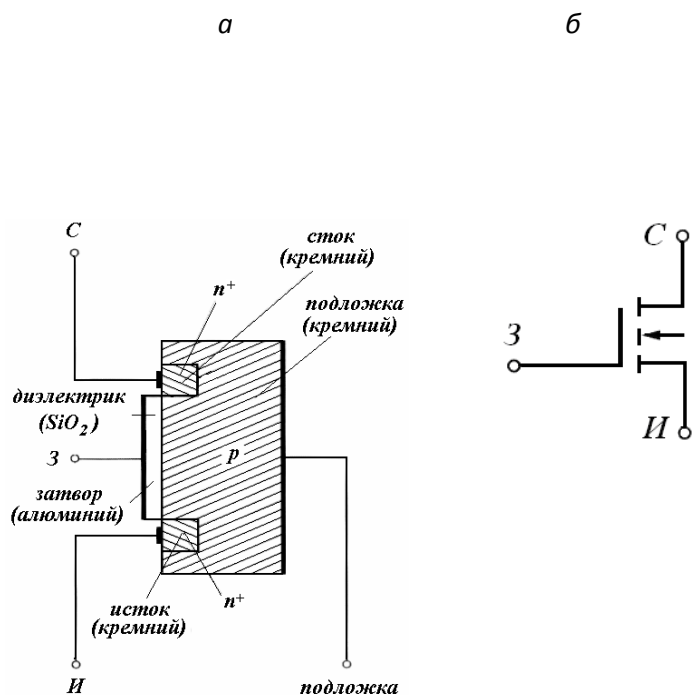


Рис. 7. Структура транзистора с индуцируемым каналом  $n$ -типа (а) и его условное графическое и буквенное обозначение (б)

При нулевом напряжении на затворе сопротивление между стоком и истоком очень велико, ток стока ничтожно мал и транзистор находится в состоянии отсечки. Если между затвором и истоком включен источник напряжения (рис. 8.), то электрическое поле затвора выталкивает дырки из приповерхностного слоя подложки и притягивает в этот слой электроны. В результате в области подложки, примыкающей к диэлектрику, образуется проводящий канал  $n$ -типа. Такой канал называют *индуцированным*.

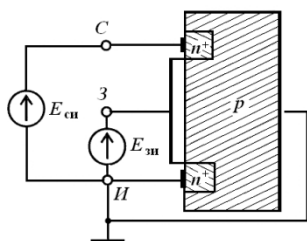


Рис. 8.

С увеличением положительного напряжения затвор-исток  $U_{зи}$  растет концентрация электронов в канале, следовательно, увеличивается его проводимость. Если между стоком и истоком приложено положительное напряжение, в индуцированном канале возникает ток стока. Его величина зависит как от напряжения  $U_{зи}$ , так и от напряжения сток-исток  $U_{си}$ . Напряжение затвора, при котором появляется заметный ток стока, называют *пороговым* и обозначают  $U_0$ . Пороговое напряжение МОП-транзистора с индуцированным каналом  $n$ -типа положительно. Его величина составляет для современных мощных МОП-транзисторов 2 – 4 В.

**Силовые МОП-транзисторы.** Необходимость разработки таких приборов мотивировалась тем, что мощные биполярные транзисторы требуют больших управляющих токов, а также имеют ограниченное быстродействие.

Силовые МОП-транзисторы имеют вертикальную структуру (рис. 9.). Электрод стока расположен внизу, а не в одной плоскости с истоком, как у маломощных МОП-транзисторов. Прибор содержит слаболегированную  $n^-$  - область, обеспечивающую высокое напряжение между стоком и истоком. Если напряжение

затвор-исток превышает пороговое напряжение  $U_0$ , под слоем диэлектрика в  $p$ -областях возникает горизонтальный проводящий канал. Его длина равна  $L$  (рис. 9.).

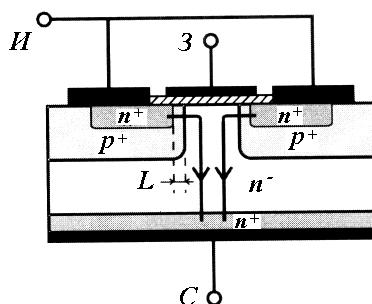


Рис. 9. Силовой МОП-транзистор

Структура мощных МОП-транзисторов существенно отличается от структуры малосигнальных транзисторов. В то же время характеристики приборов похожи. Пороговое напряжение мощных МОП-транзисторов составляет от 2 до 4 В.

Мощные МОП-транзисторы работают преимущественно в ключевом режиме. Поэтому для них важнейшими параметрами является сопротивление канала в открытом состоянии, а также время включения и выключения.

Преимущество мощных МОП-транзисторов перед биполярными заключается в высокой скорости переключения (1-10 нс против 1 мкс у биполярных приборов) и малой мощности, затрачиваемой на управление. Мощные МОП-транзисторы нашли применение как управляющая составная часть в биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT-транзисторах).

**Биполярные транзисторы с изолированным затвором.** Биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT - *Insulated Gate Bipolar Transistors*) - полностью управляемый полупроводниковый прибор. Его включение и выключение осуществляются подачей и снятием положительного напряжения между затвором и истоком. На рис. 10. приведена структура, условное обозначение и эквивалентная схема IGBT-транзистора. IGBT-транзистор можно рассматривать как сочетание мощного биполярного транзистора и управляющего МОП-транзистора.

Сочетание двух приборов в одной структуре позволило объединить достоинства полевых и биполярных транзисторов: высокое входное сопротивление с высокой токовой нагрузкой и малым сопротивлением во включённом состоянии. Таким образом, полевой транзистор управляет работой биполярного транзистора.

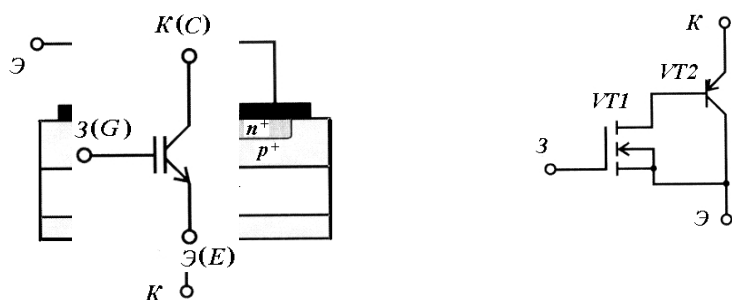
*a**б**в*

Рис. 10. Биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT-транзистор): *a* – структура; *б* – условное графическое и буквенное обозначение; *в* – эквивалентная схема

Современные IGBT-модули находят сегодня широкое применение при создании неуправляемых и управляемых выпрямителей, автономных инверторов для питания двигателей постоянного и переменного тока средней мощности и др.

**Тиристоры.** Тиристором называют полупроводниковый управляемый прибор ключевого типа с четырехслойной структурой  $p - n - p - n$ , имеющий два устойчивых электрических состояния – закрытое и открытое. Таким образом, тиристор в электрических цепях является аналогом бесконтактного выключателя.

По количеству выводов различают диодный тиристор, обладающий двумя выводами (анод и катод) и триодный тиристор, имеющий три вывода – анод, катод и управляющий электрод. Обычно тиристоры изготавливают из кремния.

Тиристоры, выключение которых по цепи управления невозможно, получили название незапираемых. Они нашли широкое применение в управляемых выпрямителях переменного тока в постоянный ток. В середине 90-х годов был разработан запираемый тиристор, областью применения которых являются мощные источники питания и высоковольтный электропривод (инверторы напряжения для преобразователей частоты и электроприводов различного назначения).

Структура, условное графическое и буквенное обозначение и вольт - амперная характеристика тиристора показаны на рис. 11. Тиристор имеет три  $p - n$  – перехода  $П1$ ,  $П2$ ,  $П3$  и три внешних вывода: анод А, катод К и управляющий электрод УЭ (рис. 11а).

Питающее напряжение  $U_a$  подается на тиристор таким образом, что переходы  $П1$  и  $П3$  открыты, а переход  $П2$  закрыт. Сопротивления открытых переходов



незначительны, поэтому почти все питающее напряжение  $U_a$  (рис. 11а) приложено к закрытому переходу П2, имеющему высокое сопротивление. Следовательно, ток тиристора мал.

Если ток в цепи управления  $I_y$  отсутствует, то при повышении напряжения  $U_a$  ток тиристора (линия ОА на рис. 11в) увеличивается незначительно, пока напряжение  $U_a$  не превышает напряжение переключения  $U_{пер}$  (точка А). При  $U_a > U_{пер}$  тиристор включается, и анодный ток практически ограничивается значением сопротивления нагрузки  $R_n$  (см. рис. 11а). С увеличением тока управления включение тиристора происходит при меньших значениях прямого анодного напряжения. После включения тиристора его электрическое состояние характеризуется малым сопротивлением между анодом и катодом (линия ВС). Включенное состояние тиристора сохраняется и по окончании действия тока управления. Тиристор выключается, если анодный ток становится меньше тока удержания  $I_{уд}$  (точка В).

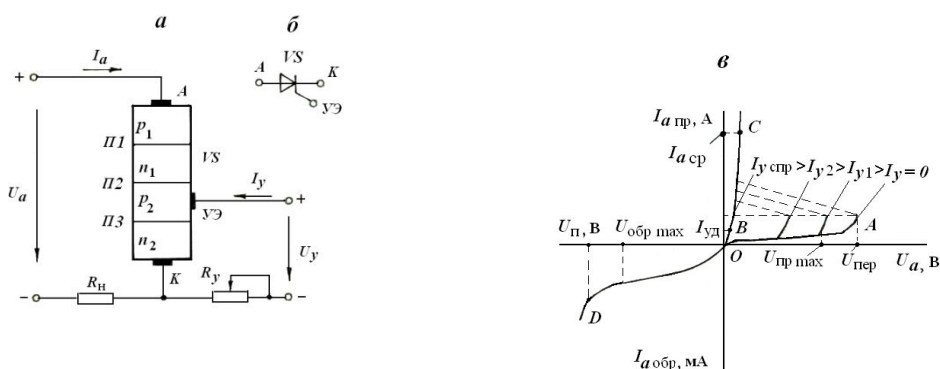


Рис. 11. Управляемый диод – тиристор: а – структура;

б – условное изображение; в – вольтамперная характеристика

На практике обычно используют импульсный способ включения тиристорov, при котором ток управления формируют в виде коротких (порядка нескольких микросекунд) положительных импульсов с большой скоростью нарастания. После окончания импульса управления тиристор остается во включенном состоянии, если анодный ток, зависящий от напряжения  $U_a$  и сопротивления  $R_n$ , будет больше тока удержания  $I_{уд}$ .

При работе тиристора в цепи переменного тока, когда напряжение между анодом и катодом тиристора периодически изменяет свой знак, тиристор закрывается в момент перехода анодного тока через нулевое значение. В современных преобразовательных установках (инверторах) большой мощности применяют **запираемые** тиристоры GTO, GCT и IGCT.