

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Діордієв В. Т., Кашкар'єв А. О., Дубініна С. В., Новіков Г. В.

**ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ
КОМПЛЕКСІВ**

Навчальний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти
закладів вищої освіти

Мелітополь, 2020

УДК [681.5: 004.94](075)

Рекомендовано Вченою радою Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного як навчальний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності

*141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
у закладах вищої освіти III-IV рівня акредитації
(Протокол № 10 від «28» травня 2020 р.)*

Рецензенти:

Назаренко І. П., доктор технічних наук, професор, декан факультету енергетики і комп'ютерних технологій Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Ставинський А. А., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Миколаївського національного аграрного університету.

Діордієв В. Т. Засоби автоматизації електротехнічних комплексів: навчальний посібник / В. Т. Діордієв, А. О. Кашкар'юв, С. В. Дубиніна, Г. В. Новіков. – Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2020. – 220 с., іл.

У навчальному посібнику викладено теоретичні основи та принципи дії основних засобів автоматизації електротехнічних комплексів. Розглянуто пристрої отримання, перетворення, оброблення й передавання інформації, а також формування керуючих сигналів. Наведено базові теоретичні відомості про виконавчі механізми та напрями їх використання.

Посібник призначено для студентів, які спеціалізуються у галузі електричної інженерії зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

ISBN 978-617-7823-30-7

УДК [681.5: 004.94](075)

© Діордієв В. Т., Кашкар'юв А. О.,
Дубиніна С. В., Новіков Г. В.

© Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
2020

Зміст

Вступ.....	6
1. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ.....	7
1.1. Класифікація ТЗА за функціональним призначенням в АСК.....	7
1.2. Тенденції розвитку ТЗА.....	11
1.3. Методи зображення ТЗА.....	12
1.4. Основні принципи побудови ТЗА.....	12
1.6. Динамічний режим роботи елементів	13
Контрольні питання.....	15
2. КЛАСИФІКАЦІЯ ПРИЛАДІВ І ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	16
2.1. Класифікаційні ознаки ТЗА.....	16
2.2 Функціонально-ієрархічна структура ТЗА	18
2.3 Вимоги до засобів автоматизації електротехнічних комплексів.....	23
Контрольні питання.....	30
3. ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ	31
3.1. Загальні відомості про перетворювачі	31
3.2. Класифікація й загальні характеристики перетворювачів	33
3.3. Структурні схеми вимірювальних перетворювачів	35
3.4. Статичні й динамічні характеристики вимірювальних	36
перетворювачів	36
Контрольні питання.....	40
4. КЛАСИФІКАЦІЯ ДАТЧИКІВ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	41
4.1. Основні поняття.....	41
4.2. Загальні відомості.....	43
4.3. Характеристики датчиків.....	46
4.4. Основні схеми включення вхідних пристроїв у АСК.....	66
Контрольні питання.....	68
5. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ДАТЧИКИ	69
5.1. Загальні відомості.....	69
5.2. Активні й пасивні сенсори.....	76
5.3. Сенсорно-комп'ютерні системи	77
5.4. Параметри аналогових і дискретних сигналів.....	79
Контрольні питання.....	85
6. ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ.....	86
6.1. Лінії зв'язку вимірювальних пристроїв	86
6.2. Особливості підключення споживачів до ліній зв'язку	92
Контрольні питання.....	94

7. ІНТЕРФЕЙСНІ СХЕМИ.....	95
7.1. Нормувальні перетворювачі.....	95
7.2. Перетворювач сигналів резисторних датчиків.....	97
7.3. Перетворювач малих постійних напруг.....	100
7.4. Пристрої забезпечення роботи датчиків у вибухонебезпечних приміщеннях.....	100
7.5. Бар'єр захисту від іскри.....	101
7.6. Блок живлення датчиків.....	102
Контрольні питання.....	103
8. Інформаційні електричні машини.....	104
8.1. Тахогенератори.....	104
8.2. Сельсини.....	106
Контрольні питання.....	112
9. ВИКОНАВЧІ ЕЛЕМЕНТИ.....	113
9.1. Загальні відомості про виконавчі елементи.....	113
9.2. Класифікація виконавчих елементів.....	116
9.3. Гідравлічні виконавчі елементи.....	118
9.4. Пневматичні виконавчі елементи.....	119
Контрольні запитання.....	120
10. ЕЛЕКТРОМАГНІТИ.....	121
10.1 Класифікація електромагнітів.....	121
10.2 Електромагніти змінного струму.....	126
Контрольні запитання.....	129
11. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ МУФТИ. ЕЛЕКТРИЧНІ ДВИГУНИ.....	130
11.1. Електромагнітні муфти.....	130
11.2. Електродвигуни.....	139
Контрольні запитання.....	141
12. КРОКОВІ ДВИГУНИ.....	142
12.1. Принцип дії крокових двигунів.....	142
12.2. Крокові двигуни з пасивним ротором.....	146
12.3. Крокові двигуни з активним ротором.....	149
12.4. Гібридні КД.....	150
12.5. Обмотки КД та керування КД.....	152
12.6. Лінійні крокові синхронні двигуни.....	156
Контрольні запитання.....	157

13. КЕРУЮЧІ ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИКИ ТА ПРИСТРОЇ ЗВ'ЯЗКУ З ОБ'ЄКТОМ	158
13.1. Загальні поняття про ПЛК	158
13.2. Класифікація ПЛК	160
13.3. Електромагнітні реле.....	165
13.4. Реле часу	179
13.5. Безконтактні релейні елементи	181
Контрольні запитання	188
14. ПРИСТРОЇ РЕЄСТРАЦІЇ ТА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ.....	189
14.1. Перетворювачі інтерфейсів	189
14.2. Модеми	194
14.3. Архіватори.....	195
14.4. Хмарні технології	196
Контрольні запитання	197
15. БЛОКИ ЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ	198
15.1. Блоки живлення	198
15.2. Блоки живлення для промислової автоматики	199
15.3. Блоки живлення для датчиків.....	200
15.4. Блоки живлення для важких умов експлуатації.....	200
15.5. Джерела безперервного живлення	201
Контрольні запитання	202
16. ПРИВІДНА ТЕХНІКА.....	203
16.1. Перетворювачі частоти	203
16.2 Пристрої плавного пуску	209
16.3 Моторні дроселі	210
16.4 Мережні дроселі	211
16.5. Гальмові (баластні) резистори.....	212
Контрольні запитання	213
Використана література.....	214
Алфавітний покажчик.....	216

Вступ

Дійсність невід'ємно пов'язана із сучасним розвитком автоматички, що реалізується на практиці за допомогою певних технічних засобів. Ми відчуваємо це кожного дня. Прилади та устаткування, яке нас оточує, - механізоване, електрифіковане, автоматизоване, а сьогодні, можна додати «діджиталізоване» (термін вийшов за рамки маркетингу та тривіальних рішень ІТ-індустрії). Для роботи цих приладів використовуються різні технічні засоби автоматизації (ТЗА), які можна класифікувати за різноманітними ознаками. За основу ми обрали класифікацію ТЗА за їх функціональним призначенням у структурі автоматичної системи керування. Саме за цим принципом побудовано зміст даного посібника.

Необхідно звернути увагу на словосполучення у назві «електротехнічних комплексів». Під час роботи над посібником основним завданням було показати, що сьогодні ТЗА мультигалузеві, а їх вибір нормується широким переліком нормативної документації, яка формалізує метрологічні показники, питання охорони праці, технології, економічних та юридичних аспектів діяльності об'єктів виробничої та невиробничої сфери. Щоб досягти поставленої мети та розглянути ТЗА як окреме обладнання, без особливостей їх вибору за певними умовами, ми обрали назву «Засоби автоматизації електротехнічних комплексів». Правильність прийнятого рішення підтверджується визначенням електротехнічного комплексу (ЕК) у паспорті спеціальності 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи».

У порівнянні із застарілими засоби автоматизації електротехнічних комплексів сучасні засоби мають більш просту конструкцію, що зумовлено модульним проектуванням та впровадженням інформаційних технологій. Хоча такі системи і будуються з використанням серійних елементів, модульних пристроїв та їх комбінацій, актуальною залишається задача вивчення їх номенклатури та базових характеристик для оптимально підбору технічних засобів автоматизації.

Розглянуто пристрої отримання, перетворення, оброблення й передавання інформації, а також формування керуючих сигналів. Наведено базові теоретичні відомості про виконавчі механізми, електронні блоки керування ними.

Посібник призначено для студентів, які спеціалізуються у галузі електричної інженерії зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

1. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ

1.1. Класифікація ТЗА за функціональним призначенням в АСК

У результаті аналізу структурних схем автоматизованих та автоматичних систем керування електротехнічними комплексами (ЕК), а також рекомендацій щодо проектування систем електрифікації та автоматизації, то можна класифікувати технічні засоби автоматизації (ТЗА) за структурною схемою АСК (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Класифікація ТЗА за функціональним призначенням в АСК: АСК – автоматична система керування; ОК – об'єкт керування;

ЛЗ – лінії зв'язку; ЗП – задаючі пристрої; ПАІ – пристрої аналізу інформації; П – підсилювачі; ПВІ – пристрої відображення інформації; ВМ – виконавчі механізми; РО – робочі органи; КП – контрольні пристрої; Д – давачі; ВП – вторинні пристрої

Будь-яка найскладніша автоматична система складається з певного комплексу елементів. Різноманіття автоматичних систем поро-

джує й різноманіття елементів, що, у свою чергу, приводить до необхідності їх класифікації. Нерідко ознаки класифікації вибираються довільно, і вона в цьому випадку не досягає своєї мети й навіть дезорієнтує при виборі необхідного елемента. Тому велике значення набувають виявлення й обґрунтування ознак, які повинні бути покладені в основу класифікації елементів автоматики. При цьому найбільш важливі послідовність розташування, виділення головних і допоміжних ознак, тобто розробка відповідної ієрархічної структури. В основу класифікаційної схеми можуть бути покладені функціональні ознаки. У цьому випадку елементи підрозділяються на наступні класи (рисунок 1.2): елементи інформації, порівняння, розподілу, посилення, обчислення, пам'яті, логіки, виконання, допоміжні.

Елементи автоматики можуть бути побудовані на різній фізичній і конструктивній основі, тому основними їхніми ознаками є функціональна залежність і принципи формування. Для подальшого підрозділу можуть бути прийняті такі ознаки, як стан речовини, з якого будується елемент (твердий, рідкий, газоподібний), і характер вимірюваної величини (або стану), тобто механічна, акустична, теплова, електрична, магнітна, хімічна й ін. Кожному характеру вимірюваної величини відповідає безліч конкретних вимірюваних величин і станів.

Будь-які величини й стани можуть бути реалізовані двома шляхами. Перший шлях пов'язаний з фізичними принципами формування елемента, другий - з конструктивними. Крім того, важливо знати в якості ознаки елемента характер його вихідного параметра (рисунок 1.2) (за ГОСТ 12997-84, який нині не діє).

У наведеній класифікаційній схемі перелічуються тільки основні ознаки ряду елементів, тобто вона неповна й вимагає подальшого уточнення й розвитку.

Приміром, елементи посилення розділяють насамперед по виконуваних функціях: підсилювачі струму, напруги, потужності як постійного, так і змінного струму. У той же час залежно від принципу дії електричні підсилювачі можуть бути електронними, магнітними, іонними, електромашинними, електромеханічними, фотоелектричними, гальваноманітними й на основі використання різних видів нелінійності. Також підсилювачі будь-якого принципу дії мають також розгалужену схему класифікації.



Рисунок 1.2 – Класифікаційні ознаки елементів автоматики

Для елементів обчислення головною ознакою є функціональна залежність, тобто та математична дія, для якої вони призначені - додавання, вирахування, множення, розподіл, зведення в ступінь, добування кореня, логарифмування, потенціювання, реалізація тригонометричних функцій, диференціювання за часом, параметру, інтегрування за часом, параметру.

Елементи пам'яті класифікуються як по виконуваних функціях, так і за принципом їх дії. Це насамперед задатчики опорних сигналів, елементи для завдання програми, різних тимчасових функцій і інших параметрів.

Елементами виконання можуть бути всілякі найпростіші й складні пристрої, класифікувати які важко, маючи на увазі також і поділ залежно від характеру дії. До класу допоміжних елементів можна віднести ті, які не одержали ще остаточного конструктивного оформлення.

Розглянемо деякі основні елементи, які найчастіше застосовуються в автоматичній, розділяючи їх по виконуваних функціях.

Датчик (вимірювальний перетворювач, чутливий елемент) - пристрій, призначений для того, щоб інформацію, що надходить на його вхід у вигляді деякої фізичної величини, функціонально перетворити в іншу фізичну величину на виході, більш зручну для впливу на наступні елементи (блоки). Основною характеристикою датчика є залежність його вихідної величини у від вхідної x , тобто $y = f(x)$.

Види датчиків розрізняють за принципом виробленого ними перетворення:

- параметричні (або пасивні), у яких зміна контрольованої величини x супроводжується відповідними змінами активного, індуктивного і ємнісного опорів датчика. Наявність стороннього джерела енергії є обов'язковою умовою роботи параметричного датчика;
- генераторні (або активні), у яких зміна контрольованої величини x супроводжується відповідними змінами ЕРС на виході датчика (наприклад, виникнення ЕРС може відбуватися внаслідок термо-, п'єзо-, фотоефекта й інших явищ, що викликають появу електричних зарядів). Ці датчики виконуються за схемою, яка не вимагає додаткового джерела енергії, тому що енергія на виході елемента повністю береться з його входу (внаслідок чого потужність вихідного сигналу завжди менше потужності вхідного сигналу).

Залежно від виду контрольованої неелектричної величини розрізняють датчики механічні, теплові, оптичні й ін. *Часто застосовуються електричні датчики із проміжним перетворенням*, тобто механічний датчик поєднують із електричним. Перетворення контрольованої величини в таких датчиках відбувається за схемою: вимірювана величина - механічне переміщення - електрична величина. Елемент, що перетворить вимірювану величину в переміщення, називається *первинним перетворювачем* або первинним вимірником (ПВ). Наприклад, тиск перетвориться в переміщення стрілки манометра П, яке потім перетвориться в зміну активного опору (провідниковий, резисторний (або реостатний) датчики й ін.).

Підсилювач. За принципом дії підсилювачі розділяються на електронні, напівпровідникові, магнітні, електромашинні, пневматичні, гідравлічні.

Стабілізатор. Залежно від виду величини яка стабілізується, розрізняють стабілізатори напруги й струму, що забезпечують сталість напруги або струму в навантаженні при коливаннях вхідної напруги й опору навантаження.

Реле - елемент автоматики, у якому при досягненні вхідної величини x певного значення вихідна величина y змінюється стрибком. Залежність $y = f(x)$ реле неоднозначна й має форму петлі.

Розподільник (кроковий шукач) - елемент автоматики, що здійснює почергове підключення однієї величини до ряду кіл. При цьому, кола, що підключаються, звичайно електричні. Розподільники використовуються при необхідності керування декількома об'єктами від того самого керуючого органа й по способу передачі імпульсів у керуванні кола діляться на електромеханічні (контактні), електронні й іонні (безконтактні).

Виконавчій пристрій - електромагніти з утяжним і поворотним якорями, електромагнітні муфти, а також електродвигуни, що належать до електромеханічних виконавчих елементів автоматичних пристроїв.

Електромагніти перетворюють електричний сигнал у механічний рух; їх застосовують для переміщення робочих органів, наприклад клапанів, вентилів, золотників і т.п.

Електромагнітні муфти використовуються в електроприводах і пристроях керування для швидкого вмикання й вимикання механізму, що приводиться в дію, а також для його реверсу, тобто зміни напрямку руху керованого пристрою. У деяких випадках електромагнітні муфти застосовують для регулювання швидкості й обмеження переданого моменту.

Електродвигун - це пристрій, що забезпечує перетворення електричної енергії в механічну, що й долає при цьому значний механічний опір з боку переміщуваних пристроїв. Однією з головних вимог до електродвигунів, є їхня здатність розвивати необхідну механічну потужність. Крім того, електродвигун повинен забезпечувати реверс, а також рух об'єкта із заданими швидкостями й прискореннями. Найбільш широко в якості електромеханічних виконавчих елементів застосовують електродвигуни постійного й змінного струму.

1.2. Тенденції розвитку ТЗА

1. Збільшення функціональних можливостей ТЗА:

- функції керування (від найпростішого пуску/зупинки й автоматичного реверсу до циклового й числового програмного й адаптивного керування);
- функції сигналізації (найпростіші лампочки до текстових і графічних дисплеїв);
- функції діагностики (індикації обриву електричного кола до програмного тестування всієї системи автоматизації);
- функції зв'язку з іншими системами (провідний зв'язок, промислові мережі).

2. Ускладнення елементної бази означає перехід від релейно-контактних схем до безконтактних схем на напівпровідникових окремих елементах, а від них до інтегральних мікросхем усе більшого ступеня інтеграції (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Етапи розвитку електричних ТЗА

3. Перехід від твердих (апаратних, схемних) структур до гнучких (що перенастроюються, перепрограмувальних) структур.

4. Перехід від ручних (інтуїтивних) методів проектування ТЗА до машинних, науково-обґрунтованих систем автоматизованого проектування (САПР).

1.3. Методи зображення ТЗА

У процесі вивчення даного курсу можуть застосовуватися різноманітні методи зображення й представлення ТЗА та їх складових частин. Найчастіше використовуються наступні:

1. **Конструктивний метод** припускає зображення приладів і пристроїв методами машинобудівного креслення у вигляді технічних рисунків, компоновань, загальних видів, проєкцій (у тому числі й аксонометричних), перетинів, розрізів і т.п.

2. **Схемний метод** припускає відповідно до ЕСКД представлення ТЗА схемами різних видів (електричних, пневматичних, гідравлічних, кінематичних) і типів (структурних, функціональних, принципівих, монтажних і ін.)

3. **Математична модель** застосовується частіше для програмно-реалізованих ТЗА й може бути представлена:

- передатними функціями типових динамічних ланок;
- диференціальними рівняннями процесів, що протікають;
- логічними функціями керування виходів і переходів;
- графами стану, циклограмами, тимчасовими діаграмами;
- блок-схемами алгоритмів функціонування і т.п.

1.4. Основні принципи побудови ТЗА

Для побудови сучасних АСК ТП потрібні різноманітні пристрої й елементи. Задоволення потреб настільки різних по якості й складності СУ в засобах автоматизації при їхній індивідуальній розробці й виготовленні зробило б проблему автоматизації неозорою, а номенклатуру приладів і пристроїв автоматики практично безмежною.

Наприкінці 50-х років у СРСР була сформульована проблема створення єдиної для всієї країни **Державної Системи Промислових Приладів і засобів автоматизації (ДСП)** – що представляє раціона-

льно організовану сукупність приладів і пристроїв, які задовольняють принципам типізації, уніфікації, агрегування, і призначених для побудови автоматизованих систем виміру, контролю, регулювання й керування технологічними процесами в різних галузях промисловості. А з 70-х років ДСП охоплює й непромислові сфери діяльності людини, такі як: наукові дослідження, випробування, медицина й ін. ДСП була оформлена у вигляді радянського стандарту ГОСТ 12997-84 «Изделия ГСП. Общие технические условия» (втратив чинність). Основні визначення:

- **типізація** – це обґрунтоване зведення різноманіття вибраних типів, конструкцій машин, устаткування, приладів, до невеликого числа найкращих з якого-небудь погляду зразків, що володіють істотними якісними ознаками. У процесі типізації розробляються й устанавлюються типові конструкції, що містять загальні для ряду виробів базові елементи й параметри, у тому числі перспективні. Процес типізації еквівалентний групуванню, класифікації деякої вихідної, заданої безлічі елементів, в обмежений ряд типів з обліком реально діючих обмежень.

- **уніфікація** – це приведення різних видів продукції й засобів її виробництва до раціонального мінімуму типорозмірів, марок, форм, властивостей. Вона вносить однаковість в основні параметри типових розв'язків ТЗА й усуває невиправдане різноманіття засобів однакового призначення й різнотипність їх частин. Однакові або різні за своїм функціональним призначенням пристрої, їх блоки й модулі, але, що є похідними від однієї базової конструкції, утворюють уніфікований ряд.

- **агрегування** – це розробка й використання обмеженої номенклатури типових уніфікованих модулів, блоків, пристроїв і уніфікованих типових конструкцій (УТК) для побудови безлічі складних проблемно-орієнтованих систем і комплексів. Агрегування дозволяє створювати на одній основі різні модифікації виробів, випускати ТЗА однакового призначення, але з різними технічними характеристиками.

Принцип агрегування широко застосовується в багатьох галузях техніки (наприклад, агрегатні верстати й модульні промислові роботи в машинобудуванні, ІВМ-сумісні комп'ютери в системах керування й автоматизації обробки інформації й ін.).

1.6. Динамічний режим роботи елементів

Динамічним режимом називається процес переходу елементів і систем з одного стану, що встановився, в інший, тобто така умова їх

роботи, коли вхідна величина x , а отже, і вихідна величина y змінюються в часі. Процес зміни величин x і y починається з деякого граничного часу $t = t_n$ і може протікати в інерційному й безінерційному режимах. При відсутності інерційності процес зміни x і y може характеризуватися графіком, наведеним на рисунку 1.4, а.

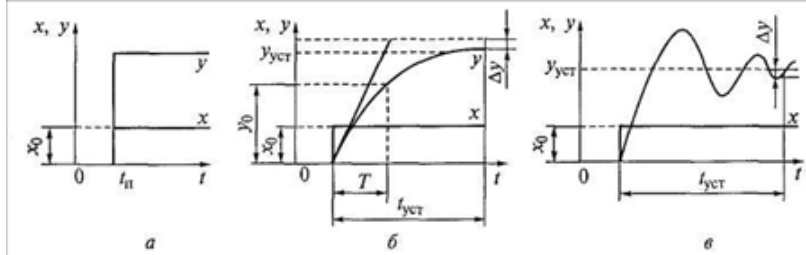


Рисунок 1.4 – перехідні процеси в елементах при стрибкоподібній зміні вхідної величини: а – при відсутності інерції; б, в – при наявності інерції

При наявності інерційності спостерігається запізнювання зміни y стосовно зміни x . Тоді при стрибкоподібній зміні вхідної величини від 0 до x_0 (рисунок 1.4, б) вихідна величина y досягає, $y_{уст}$ що встановилася не відразу, а після закінчення проміжку часу, протягом якого відбувається перехідний процес. При цьому перехідний процес може бути аперіодичним (неколивальним) загасаючим (див. рисунок 1.4, б) або коливальним загасаючим (рисунок 1.4, в).

Час $t_{уст}$ (час установлення), протягом якого вихідна величина y досягає значення, що встановилося, залежить від інерційності елемента, який характеризується постійною часу T . У найпростішому випадку встановлення величини y відбувається за показовим законом

$$y = y_0(1 - e^{-t/T}),$$

де T - постійна часу елемента, що залежить від параметрів, пов'язаних з його інерційністю.

Установлення вихідної величини y тим триваліше, чим більше значення T . Час установлення $t_{уст}$ вибирається залежно від необхідної точності виміру датчика й становить звичайно $(3...5) T$, що дає помилку в динамічному режимі не більш $5...1 \%$. Ступінь наближення Δy (див. рис. 1.4, б, в) звичайно оговорюється й у більшості випадків становить від 1 до 10 % від значення, що встановилося. Різниця між значеннями вихідної величини в динамічному й статичному режимах називається динамічною погрішністю. Бажано, щоб вона була якнайменша. В електромеханічних і електромашинних елементах інерційність в основному визначається механічною інерцією частин, що ру-

хаються й обертових частин. В електричних елементах інерційність визначається електромагнітною інерцією або іншими подібними факторами. Інерційність може бути причиною порушення стійкої роботи елемента або системи в цілому.

Контрольні питання

- 1.Що уявляють собою вимірювальний перетворювач і первинний перетворювач?
- 2.Як розрізняють вимірювальні перетворювачі за принципом виробленого ним перетворення?
- 3.Як розрізняють вимірювальні перетворювачі за видом контрольованої неелектричної величини?
- 4.Які характерні особливості генераторних і параметричних вимірювальних перетворювачів?
- 5.Як класифікують технічні засоби автоматики за виконуваними функціями?
- 6.Надайте характеристику етапам розвитку електричних технічних засобів автоматизації.
7. Що називають Державною Системою промислових Приладів і засобів автоматизації (ДСП)?
- 8.Який режим роботи елементів називають динамічним?
- 9.Які види перехідних процесів характеризують динамічний режим роботи елементів?
- 10.Які методи зображення ТЗА найчастіше використовуються?

2. КЛАСИФІКАЦІЯ ПРИЛАДІВ І ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

На ранніх етапах створення засобів автоматики в різних організаціях і на підприємствах розроблялася безліч різних приладів виміру й контролю з подібними технічними характеристиками, однак при цьому не враховувалася можливість спільної роботи приладів різних виробників. Це приводило до збільшення вартості розробок складних систем і гальмувало широке впровадження засобів автоматизації. Тому в 1960 р. було ухвалене рішення про створення ДСП, а з 1961 р. почалися роботи з її реалізації. Останній нормативний документ, який формалізує прилади і засоби автоматизації це ГОСТ 12997-84 «Изделия ГСП. Общие технические условия», але він втратив чинність.

ДСП була побудована на системотехнічних принципах створення універсальних технічних засобів промислової автоматики. Ці принципи передбачають:

1. Поділ приладів і засобів автоматизації за функціональними ознаками на основні типи.

2. Мінімізацію номенклатури на основі створення параметричних рядів, уніфікованих систем і агрегатованих комплексів приладів та засобів автоматизації.

3. Блоково-модульну побудову складних пристроїв на базі типових уніфікованих елементів: блоків і модулів.

4. Сумісність приладів і засобів автоматизації ДСП у роботі автоматичних систем контролю та управління на основі:

- уніфікації сигналів зв'язку між електричними, пневматичними й гідравлічними приладами;
- уніфікації конструктивів і приєднувальних розмірів;
- уніфікації технічних та експлуатаційних вимог.

Сьогодні, питання ДСП як офіційного документа або загальної формалізованої класифікації зустріти на практиці – не можливо. Спеціалізовані нормативні документи, в яких представлено загальну тематику автоматизації, не мають посилання на вимоги до класифікації технічних засобів автоматизації. Натомість, наявна велика кількість нормативної документації, які регламентують вимоги до сумісності, безпеки та виконання засобів автоматизації електротехнічних комплексів (п. 2.3).

2.1. Класифікаційні ознаки ТЗА

Описати систему ДСП не просто. Це надто складна структура, що об'єднує цілу низку гілок системи: електричну, пневматичну, гід-

равлічну, комбіновану, а кожна з гілок, у свою чергу, має складну функціональну структуру. Проте найважливіше значення для розуміння всієї системи має функціональна структура. За функціональним призначенням виробу ДСП поділяються на чотири основні групи (рисунок 2.1).

Вибір технічних засобів автоматизації за класифікаційними ознаками				
За виконуваними функціями	За видом енергоносія сигналу	За метрологічними властивостями	За стійкістю до механічних впливів	За ступенем захищеності від зовнішнього середовища
Засоби одержання інформації	Електричні	Засоби вимірювання	Засоби звичайні	Звичайні засоби
Засоби передачі, введення, виведення інформації	Пневматичні			Регулювання, керування, передачі тощо
Засоби перетворення, опрацювання і збереження інформації	Гідравлічні	Вібростійкі	Водозахищені	
Засоби використання інформації	Комбіновані		Захищені від агресивного середовища	
Допоміжні засоби	Без використання джерела зовнішньої енергії			Вибухово- та іскробезпечні

Рисунок 2.1 – Класифікація виробів за ГОСТ 12997-84

Закладені в ДСП загальні для всіх виробів поняття сумісності можна сформулювати в такий спосіб.

Інформаційна сумісність - сукупність стандартизованих характеристик, що забезпечують погодженість сигналів зв'язку по видах і номенклатурі, їх інформативним параметрам, рівням, просторово-тимчасовим і логічним співвідношенням і типу логіки. Для всіх виробів ДСП прийняті уніфіковані сигнали зв'язку і єдині інтерфейси, які являють собою сукупність програмних і апаратних засобів, що забезпечують взаємодію пристроїв у системі.

Конструктивна сумісність - сукупність властивостей, що забезпечують погодженість конструктивних параметрів і механічне сполучення технічних засобів, а також виконання ергономічних норм і естетичних вимог при спільному використанні.

Експлуатаційна сумісність - сукупність властивостей, що забезпечують працездатність і надійність функціонування технічних засобів при спільному використанні у виробничих умовах, а також зручність обслуговування, налаштування й ремонту.

Метрологічна сумісність - сукупність обраних метрологічних характеристик і властивостей засобів вимірів, що забезпечують порівнянність результатів вимірів і можливість розрахунків їх погрішності при роботі технічних засобів у складі систем.

Розглянемо функціонально-ієрархічну й конструктивно-технологічну структуру ТЗА.

2.2 Функціонально-ієрархічна структура ТЗА

Відмінними рисами сучасних структур побудови АСК промисловими підприємствами є: проникнення обчислювальних засобів і впровадження мережних технологій на всі рівні керування (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Ієрархія ТЗА

У світовій практиці фахівці з комплексної автоматизації виробництва також виділяють п'ять рівнів керування сучасним підприємством (рисунок 2.3), що повністю збігається з вище наведеною ієрархічною структурою.

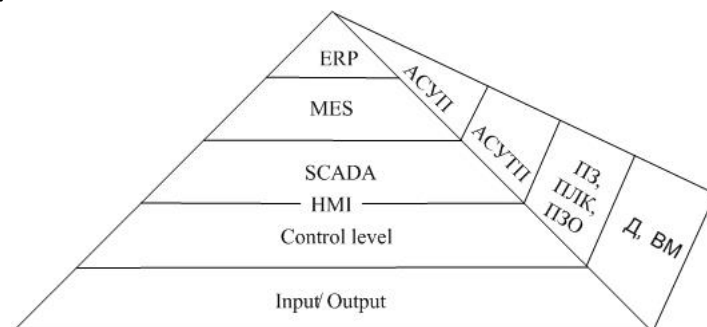


Рисунок 2.3 – Піраміда керування сучасним виробництвом

На рівні **ERP** – Enterprise Resource Planning (планування ресурсів підприємства) здійснюються розрахунки й аналіз фінансово-економічних показників, вирішуються стратегічні адміністративні й логістичні завдання.

На рівні **MES** – Manufacturing Execution Systems (системи виконання виробництвом) – завдання керування якістю продукції, планування й контролю послідовності операцій технологічного процесу, керування виробничими й людськими ресурсами в рамках технологічного процесу, технічного обслуговування виробничого встаткування.

Ці два рівні належать до завдань АСКП (автоматизованим системам керування підприємством) і технічні засоби, за допомогою яких ці завдання реалізуються – це офісні персональні комп'ютери (ПК) і робочі станції на їхній основі в службах головних фахівців підприємства.

На наступних трьох рівнях вирішуються завдання, які належать до класу АСК ТП (автоматизованих систем керування технологічними процесами).

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (система збору даних і супервізорного (диспетчерського) керування) – це рівень тактичного оперативного керування, на якому вирішуються завдання оптимізації, діагностики, адаптації й т.п.

Control-level – рівень безпосереднього (локального) керування, який реалізується на таких ТЗА як: ПО – панелі (пульти) операторів, ПЛК – програмувальні логічні контролери, ПЗО – пристрої зв'язку з об'єктом.

HMI – Human-Machine Interface (людино-машинний зв'язок) – здійснює візуалізацію (відображення інформації) ходу технологічного процесу.

Input/Output – Входи/Виходи об'єкта керування являють собою датчики й виконавчі механізми (Д/ІМ) конкретних технологічних установок і робочих машин.

Конструктивна структура ТЗА є розгалуженою та базується на основах стандартизації та уніфікації (рисунок 2.4).

УКТЗ (уніфікований комплекс технічних засобів) – це сукупність різних типів технічних виробів, призначених для виконання різних функцій, але побудованих на основі одного принципу дії, що й мають однакові конструктивні елементи.

АКТЗ (агрегатний комплекс технічних засобів) – це сукупність різних типів технічних виробів і приладів, взаємозалежних між собою по функціональному призначенню, конструктивному виконанню, виду живлення, рівню вхідних/вихідних сигналів, створювана на єдиній конструктивній і програмно-технічній базі по блочно-модульному принципу. Приклади відомих вітчизняних УКТС і АКТС.

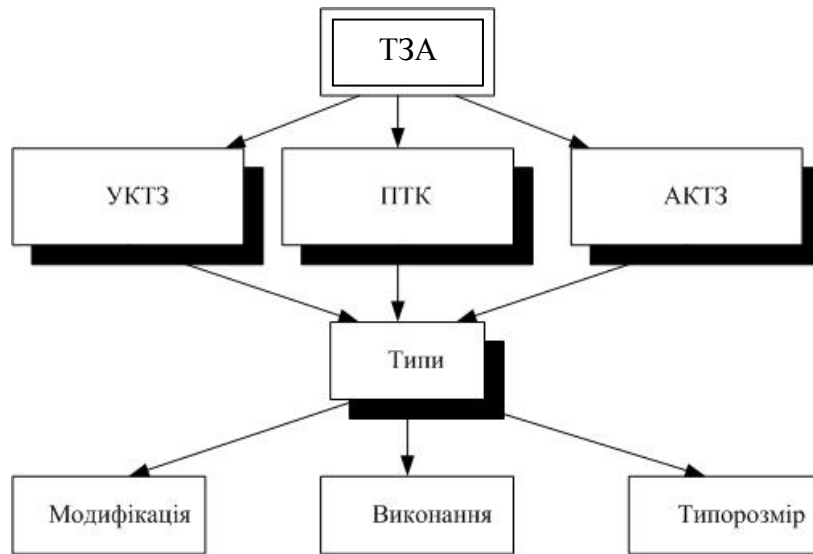


Рисунок 2.4 – Структура ТЗА

ПТК (програмно-технічний комплекс) – це сукупність мікропроцесорних засобів автоматизації (програмувальні логічні контролери, локальні регулятори, пристрої зв'язку з об'єктом), дисплейних панелей операторів і серверів, промислових мереж, що зв'язують між собою перелічені компоненти, а також промислового програмного забезпечення всіх цих складових частин, призначена для створення розподілених АСК ТП у різних галузях промисловості. Приклади сучасних вітчизняних і закордонних ПТК.

Конкретні комплекси технічних засобів складаються із сотень і тисяч різних типів, типорозмірів, модифікацій і виконань приладів і пристроїв.

Тип – це сукупність технічних виробів, однакових по функціональному призначенню, єдиного принципу дії, що мають однакову номенклатуру головного параметра.

Типорозмір – вироби того самого типу, але, що мають свої, конкретні значення головного параметра.

Модифікація – це сукупність виробів одного типу, що мають певні конструктивні особливості.

Виконання – конструктивні особливості, що впливають на експлуатаційні характеристики.

Система стандартів визначає ті вимоги до приладів і засобів автоматизації, які забезпечують їхню сумісність в АСК ТП за певними основними ознаками (рисунок 2.5).

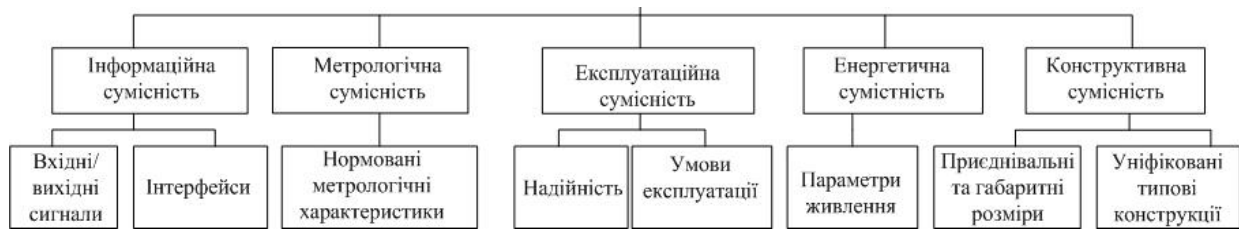


Рисунок 2.5 – Сумісність засобів автоматизації

Обмін інформацією між технічними засобами реалізується за допомогою сигналів зв'язку й інтерфейсів.

В АСК найпоширеніші електричні сигнали зв'язку, перевагами яких є висока швидкість передачі сигналу, низька вартість і доступність джерел енергії, простота прокладки ліній зв'язку. Пневматичні сигнали застосовують в основному в нафтовій, хімічній і нафтохімічній промисловості, де необхідно забезпечити вибухобезпечність і не потрібна висока швидкодія. Гідравлічні сигнали в основному застосовують у гідравлічних системах, що стежать, і пристроях керування гідравлічними виконавчими механізмами.

Інформаційні сигнали можуть бути представлені в природному або уніфікованому виді. *Природним сигналом* називається сигнал первинного вимірювального перетворювача, вид і діапазон зміни якого визначаються його фізичними властивостями й діапазоном зміни вимірюваної величини. Звичайно ці вихідні сигнали вимірювальних перетворювачів, найчастіше електричні, які можна передати на невелику відстань (до декількох метрів). Вид носія інформації й діапазон зміни *уніфікованого сигналу* не залежать від вимірюваної величини й методу виміру. Звичайно уніфікований сигнал одержують із природного за допомогою вбудованих або зовнішніх перетворювачів, що нормують.

Розглянемо більш докладно інформаційну сумісність ТЗА по рівнях вхідних/вихідних уніфікованих сигналів, тобто сигналів дистанційної передачі інформації з уніфікованими параметрами, що забезпечують інформаційне сполучення (інтерфейс) між різними приладами, блоками й системами АСК ТП (рисунок 2.6, таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Уніфіковані сигнали

Електричні сигнали				Пневматичні сигнали	
Аналогові			Дискретні	Аналогові	Дискретні
= I [мА]	= U [мВ]	~ U [В]	~γ [кГц]	= U [В]	[кПа]
0 – 5; -5 – +5; 4 – 20	0 – 10; -10 – +10; 0 – 1000	0 – 2; -1 – +1	0 – 8; 2 – 4; 0 – 100	для TTL: «0» ≤ +0,4 «1» ≥ +2,4	для УСЄППА: 20 – 100 «0» ≤ 10 «1» ≥ 110

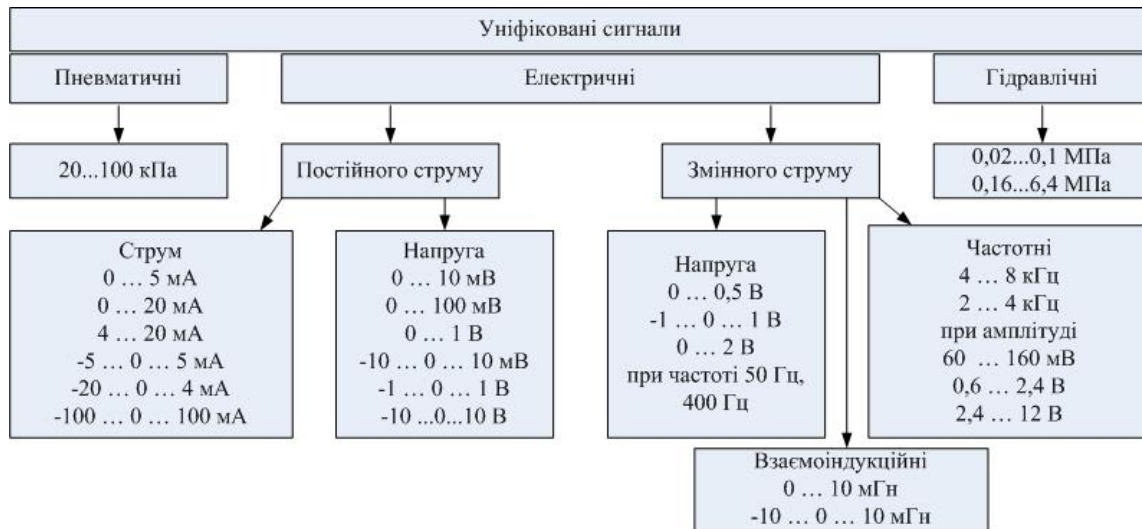


Рисунок 2.6 – Класифікація уніфікованих інформаційних сигналів

Енергетична сумісність ТЗА визначається стандартними рівнями живлення, використовуваними в сучасних загальнопромислових установках і технологічних машинах. У пневмоавтоматиці це наступні значення тиску стисненого повітря: $P_{пит} \geq 400$ кПа – високий рівень; $P_{пит}=150$ кПа – середній, $P_{пит}<10$ кПа – низький рівень. В електроавтоматиці це наступні значення робочих напруг: для високовольтної апаратури $U_p \geq 1000$ В; для низьковольтної апаратури $U_p < 1000$ В, яке у свою чергу має кращі стандартні найпоширеніші значення:

- для силових кіл $\sim U: 220, 380, 440, 660$ В, $= U: 110, 220, 440$ В;
- для кіл керування $\sim U: 24, 36, 110, 127$ В, $= U: 5, 6, 12, 24, 48$ В.

При створенні складних систем, особливо на базі мікропроцесорних пристроїв і обчислювальних засобів, обмін інформацією між технічними засобами верхнього рівня здійснюється за допомогою інтерфейсів. Інтерфейс - це сукупність програмних і апаратних засобів, що й реалізують взаємодію пристроїв які входять у систему, і призначених для збору, переробки й використання інформації.

Інтерфейс складається із програмної й апаратної частин. Програмна (інформаційна) частина визначає протокол (порядок) обміну сигналами й інформацією (алгоритми й тимчасові діаграми). Апаратна частина (інтерфейсні карти, плати) - здійснює інформаційний обмін керуючими, адресними й іншими сигналами між функціональними модулями.

2.3 Вимоги до засобів автоматизації електротехнічних комплексів

Одним з важливих механізмів гарантії якості ТЗА стала сертифікація, яка є одним з видів технічного регулювання та пов'язана із кількісною оцінкою певних показників, котрі визначаються відповідними нормативних документів. Вимоги до засобів автоматизації електротехнічних комплексів здебільшого зумовлені вимогами до якості кінцевого результату на об'єктах виробничої та не виробничої сфери.

Основні законодавчі акти, які забезпечують технічне регулювання в

Україні, це

1. Закон України «Про стандартизацію».
2. Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності»
3. ДСТУ 1.1:2001 «Національна стандартизація. Стандартизація та суміжні види діяльності. Терміни та визначення основних понять» та інші ДСТУ цього напрямку.

Нормативні документи з стандартизації розподіляють за такими категоріями:

1. Міждержавні стандарти – ГОСТ, стандарти серії ISO;
2. державні стандарти України — ДСТУ;
3. галузеві стандарти України — ГСТУ;
4. стандарти науково-технічних та інженерних товариств і спілок України СТТУ;
5. технічні умови України — ТУУ;
6. стандарти підприємств — СТП.

Як державні стандарти України використовуються також державні стандарти колишнього Союзу (міждержавні стандарти), передбачені угодою про проведення країнами СНД погодженої політики в сфері стандартизації, метрології та сертифікації.

Республіканські стандарти УРСР застосовуються як державні до їх заміни чи скасування.

Галузеві стандарти розробляють на продукцію за відсутності державних стандартів України чи в разі необхідності встановлення вимог, які перевищують або доповнюють вимоги державних стандартів.

Стандарти науково-технічних та інженерних товариств і спілок розробляють у разі необхідності поширення результатів фундаментальних і прикладних досліджень, одержаних в окремих галузях знань чи сферах професійних інтересів.

Галузеві стандарти, як і стандарти науково-технічних та інженерних товариств і спілок, не повинні суперечити обов'язковим вимогам державних стандартів і підлягають державній реєстрації національним органом з стандартизації.

Технічні умови – нормативний документ, який розробляють для встановлення вимог, що регулюють стосунки між постачальником (розробником, виробником) продукції, для якої відсутні державні чи галузеві стандарти (або в разі необхідності конкретизації вимог зазначених документів).

Стандарти підприємства розробляють на продукцію (процеси, послуги), які виробляють і застосовують (здійснюють, надають) лише на конкретному підприємстві.

Відповідно до специфіки об'єкта стандартизації розробляють стандарти таких видів:

- основоположні;
- на продукцію, послуги;
- на процеси;
- методів контролю (випробувань, вимірювань, аналізу).

Основоположні стандарти встановлюють організаційно-методичні та загальнотехнічні положення для визначеної галузі стандартизації, а також терміни та визначення, загальнотехнічні вимоги та правила, норми, що забезпечують впорядкованість, сумісність, взаємозв'язок та взаємопогодженість різних видів технічної та виробничої діяльності під час розроблення, виготовлення, транспортування та утилізації продукції, охорону навколишнього природного середовища.

Стандарти на продукцію, послуги встановлюють вимоги до груп однорідної або конкретної продукції, послуги, які забезпечують її відповідність своєму призначенню.

Стандарти на процеси встановлюють основні вимоги до послідовності та методів (засобів, режимів, норм) виконання різних робіт (операцій) у процесах, що використовуються у різних видах діяльності та які забезпечують відповідність процесу його призначенню.

Стандарти на методи контролю (випробувань, вимірювань, аналізу) встановлюють послідовність робіт, операцій, способи (правила,

режими, норми) і технічні засоби їх виконання для різних видів та об'єктів контролю продукції, процесів, послуг.

Аналіз нормативних документів показав відсутність системної класифікації засобів автоматизації принципами ДСП (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 - Орієнтовний перелік нормативних документів

Позначення	Назва
ДСТУ EN 60947-1:2014	Перемикач і контролер низьковольтні. Частина 1. Загальні правила (EN 60947-1:2007 EN 60947-1:2007/A1:2011, IDT)
ДСТУ EN 60947-1:2014/Зміна №2:2016	Перемикач і контролер низьковольтні. Частина 1. Загальні правила
ДСТУ EN 60947-1:2017	Апаратура комутаційна та апаратура керування низьковольтна. Частина 1. Загальні правила
ДСТУ EN 60947-2:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 2. Автоматичні вимикачі
ДСТУ EN 60947-2:2015/Зміна №1:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 2. Автоматичні вимикачі
ДСТУ EN 60947-2:2015/Зміна №2:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 2. Автоматичні вимикачі
ДСТУ EN 60947-2:2019	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 2. Автоматичні вимикачі
ДСТУ EN 60947-3:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 3. Вимикачі, роз'єднувачі, вимикачі-роз'єднувачі та комбінації запобіжник-комутаційний апарат
ДСТУ EN 60947-3:2015/Зміна №1:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 3. Вимикачі, роз'єднувачі, вимикачі-роз'єднувачі та комбінації запобіжник-комутаційний апарат
ДСТУ EN 60947-3:2015/Зміна №2:2016	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 3. Вимикачі, роз'єднувачі, вимикачі-роз'єднувачі та комбінації запобіжник-комутаційний апарат
ДСТУ EN 60947-4-1:2014	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 4-1. Електромагнітні контактори та пускачі електродвигунів (EN 60947-4-1:2010 EN 60947-4-1:2010/A1:2012, IDT)
ДСТУ EN IEC 60947-4-1:2019	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 4-1. Електромагнітні контактори та пускачі електродвигунів
ДСТУ EN 60947-4-1:2019	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 4-1. Електромагнітні контактори та пускачі електродвигунів
ДСТУ EN 60947-4-1:2019	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 4-1. Електромагнітні контактори та пускачі електродвигунів

Позначення	Назва
ДСТУ EN 60947-4-2:2014	Перемикач і контролер низьковольтні. Частина 4-2. Контактори і стартери для двигуна. Контролери змінного струму для двигуна і стартери напівпровідникові (EN 60947-4-2:2012, IDT)
ДСТУ EN 60947-4-3:2014	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 4-3. Електромагнітні контактори та пускачі електродвигунів. АС напівпровідникові прилади управління та електромагнітні пускачі для немоторних навантажень (EN 60947-4-3:2014, IDT)
ДСТУ EN 60947-4-3:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 4-3. Електромагнітні контактори та пускачі електродвигунів. АС напівпровідникові прилади керування та електромагнітні пускачі для немоторних навантажень
ДСТУ EN 60947-4-3:2015/Зміна №1:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 4-3. Електромагнітні контактори та пускачі електродвигунів. АС напівпровідникові прилади керування та електромагнітні пускачі для немоторних навантажень
ДСТУ EN 60947-4-3:2015/Зміна №2:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 4-3. Електромагнітні контактори та пускачі електродвигунів. АС напівпровідникові прилади керування та електромагнітні пускачі для немоторних навантажень
ДСТУ EN 60947-5-1:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-1. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Електромеханічні пристрої розподільчих кіл
ДСТУ EN 60947-5-1:2015/Поправка №1:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-1. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Електромеханічні пристрої розподільчих кіл
ДСТУ EN 60947-5-1:2015/Зміна №1:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-1. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Електромеханічні пристрої розподільчих кіл
ДСТУ EN 60947-5-1:2015/Поправка №2:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-1. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Електромеханічні пристрої розподільчих кіл
ДСТУ EN 60947-5-1:2019	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-1. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Електромеханічні пристрої розподільчих кіл
ДСТУ EN 60947-5-2:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-2. Пристрої розподільчих кіл і комутаційні елементи. Безконтактні давачі
ДСТУ EN 60947-5-2:2015/Зміна №1:20115	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-2. Пристрої розподільчих кіл і комутаційні елементи. Безконтактні давачі

Позначення	Назва
ДСТУ EN 60947-5-3:2014	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-3. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Вимоги до безконтактних перемикачів з визначеним режимом за умов відмови (EN 60947-5-3:2013, IDT)
ДСТУ EN 60947-5-3:2016	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-3. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Вимоги до безконтактних перемикачів з визначеним режимом за умов відмови
ДСТУ EN 60947-5-3:2016	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-3. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Вимоги до безконтактних перемикачів з визначеним режимом за умов відмови
ДСТУ EN 60947-5-3:2018	Апаратура комутаційна та апаратура керування низьковольтна. Частина 5-3. Пристрої та комутаційні елементи кіл керування. Вимоги до пристроїв неконтактної дії з визначеним поведінням у разі відмови
ДСТУ EN 60947-5-4:2015	Низьковольтне контрольно-розподільче обладнання. Частина 5-4. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Методи визначення характеристик низькопотенціальних контактів. Спеціальні випробування
ДСТУ EN 60947-5-5:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-5. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Електричні пристрої аварійного зупинення з функцією механічного фіксування (EN 60947-5-5:1997, IDT)
ДСТУ EN 60947-5-5:2015/Зміна №1:2015 (EN 60947-5-5:1997/A1:2005, IDT)	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-5. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Електричні пристрої аварійного зупинення з функцією механічного фіксування
ДСТУ EN 60947-5-5:2015/Зміна №2:2017 (EN 60947-5-5:1997/A2:2017, IDT)	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-5. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Електричні пристрої аварійного зупинення з функцією механічного фіксування
ДСТУ EN 60947-5-5:2015/Зміна №11:2015 (EN 60947-5-5:1997/A11:2013, IDT)	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-5. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Електричні пристрої аварійного зупинення з функцією механічного фіксування
ДСТУ EN 60947-5-6:2014	Пристрої комплексні розподільчі низьковольтні. Частина 5-6. Апаратура для ланцюгів управління та переключачелів. Інтерфейс постійного струму для безконтактних датчиків і підсилювачів переключення (NAMUR) (EN 60947-5-6:2000, IDT)
ДСТУ EN 60947-5-6:2017	Апаратура комутаційна низьковольтна та апаратура керування. Частина 5-6. Пристрої кіл керування та комутаційні елементи. Інтерфейс постійного струму для давачів наближення та перемикальних підсилювачів

Позначення	Назва
ДСТУ EN 60947-5-7:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-7. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Вимоги до безконтактних давачів з аналоговим виходом
ДСТУ EN 60947-5-7:2018	Апаратура комутаційна та апаратура керування низьковольтна. Частина 5-7. Пристрої та комутаційні елементи кіл керування. Вимоги до безконтактних давачів з аналоговим виходом
ДСТУ EN 60947-5-8:2014	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 5-8. Пристрої розподільчих кіл і перемикальні елементи. Трипозиційні вимикачі (EN 60947-5-8:2006, IDT)
ДСТУ EN 60947-5-8:2017	Апаратура комутаційна та апаратура керування низьковольтна. Частина 5-8. Пристрої та комутаційні елементи кіл керування. Трипозиційні перемикачі з функцією розблокування
ДСТУ EN 60947-5-9:2014	Пристрої комплексні розподільчі низьковольтні. Частина 5-9. Апаратура для ланцюгів управління та переключачелів. Переключачель подачі насоса (EN 60947-5-9:2007, IDT)
ДСТУ EN 60947-5-9:2018	Апаратура комутаційна та апаратура керування низьковольтна. Частина 5-9. Пристрої та комутаційні елементи кіл керування. Перемикачі швидкості потоку
ДСТУ EN 60947-6-1:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 6-1. Багатофункційне обладнання. Перемикальне комутаційне обладнання
ДСТУ EN 60947-6-1:2015/Зміна №1:2015	Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 6-1. Багатофункційне обладнання. Перемикальне комутаційне обладнання
ДСТУ EN 60947-6-1:2018	Апаратура комутаційна та апаратура керування низьковольтна. Частина 6-1. Багатофункційна апаратура. Комутаційна апаратура перемикання
ДСТУ EN 60947-6-2:2014	Перемикач і контролер низьковольтні. Частина 6-2. Устаткування багатофункційне. Пристрої перемикання клерувальні та захисні (EN 60947-6-2:2003 EN 60947-6-2:2003/A1:2007, IDT)
ДСТУ EN 60947-7-1:2017	Апаратура комутаційна та апаратура керування низьковольтна. Частина 7-1. Допоміжне обладнання. Клемники для мідних провідників
ДСТУ EN 60947-7-2:2017	Апаратура комутаційна та апаратура керування низьковольтна. Частина 7-2. Допоміжне обладнання. Клемники із захисним проводом для мідних провідників
ДСТУ EN 60947-7-3:2017	Апаратура комутаційна та апаратура керування низьковольтна. Частина 7-3. Допоміжне обладнання. Вимоги щодо безпеки клемників для плавких запобіжників

Позначення	Назва
ДСТУ EN 60947-8:2015	Пристрої комплексні розподільчі низьковольтні. Частина 8. Блоки керування для вбудованих систем теплового захисту обертових електричних машин
ДСТУ EN 60947-8:2015/Зміна №1:2015	Пристрої комплексні розподільчі низьковольтні. Частина 8. Блоки керування для вбудованих систем теплового захисту обертових електричних машин
ДСТУ EN 60947-8:2015/Зміна №2:2015	Пристрої комплексні розподільчі низьковольтні. Частина 8. Блоки керування для вбудованих систем теплового захисту обертових електричних машин
ДСТУ EN 62626-1:2015	Низьковольтна захищена комутаційна апаратура та апаратура керування. Частина 1. Захищені роз'єднувачі поза сферою дії ІЕС 60947-3 для забезпечення ізоляції під час ремонтних робіт і технічного обслуговування
ДСТУ EN 62626-1:2018	Апаратура комутаційна та апаратура керування низьковольтна. Частина 1. Вимикачі-роз'єднувачі навантаги, не охоплені ІЕС 60947-3, для забезпечення роз'єднання під час ремонту і технічного обслуговування
ДСТУ ІЕС 61131-1:2005	Контролери програмовні. Частина 1. Загальні відомості (ІЕС 61131-1:2003, ІДТ)
ДСТУ EN 61131-2:2014	Контролери з програмним управлінням. Частина 2. Загальні технічні вимоги та методи випробування (EN 61131-2:2007, ІДТ)
ДСТУ EN 61131-2:2017	Контролери програмовні. Частина 2. Вимоги до устаткування та випробування
ДСТУ EN 61131-2:2019	Контролери програмовні. Частина 2. Вимоги до устаткування та випробування
ДСТУ-3Т ІЕС/TR 61131-4:2010	Контролери програмовні. Частина 4. Настанови для користувача (ІЕС/TR 61131-4:2004, ІДТ)

Державні стандарти України та міжнародні нормативні документи, які формалізують електромагнітну сумісність електричних пристроїв та безпеку експлуатації відповідають галузі використання засобів автоматизації.

Контрольні питання

1. На які основні групи за функціональним призначенням поділяються ТЗА?
2. Які основні рівні функціонально-ієрархічної структури класифікації ТЗА (характеристика засобів автоматизації на кожному рівні)?
3. Які основні рівні керування сучасним виробництвом?
4. Які завдання реалізуються на кожному рівні керування сучасним виробництвом?
5. З яких виробів складається конструктивно-технологічна структура класифікації ТЗА?
6. Що називають типом виробу і типорозміром?
7. Що називають модифікацією виробів і виконанням?
8. Яким чином реалізується обмін інформацією між технічними засобами?
9. Які сигнали в АСК називають природними, а які уніфікованими?
10. Як класифікують уніфіковані інформаційні сигнали?

3. ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

3.1. Загальні відомості про перетворювачі

Жодна система керування не може працювати без інформації про стан об'єкта керування і його реакції на керуючі впливи. Елементами систем, що забезпечують одержання такої інформації, є вимірювальні перетворювачі. Фахівці з автоматики також використовують терміни «первинний перетворювач» або «датчик». Надалі термін «первинний перетворювач» будемо використовувати при описі принципу дії того або іншого вимірювального пристрою, а термін «датчик» - при поясненні конструктивного виконання.

Автоматизація виробничих процесів, наукових експериментів і досліджень вимагає великого обсягу вимірів різних фізичних величин. Про їхнє число можна судити по системі одиниць, яка містить у собі більш 120 фізичних одиниць. У цей час у промисловості існує приблизно наступний розподіл засобів вимірів: температури - 50 %, витрати (об'ємної й масової) - 15 %, тиску - 10 %, рівня - 5 %, кількості (маси, обсягу) - 5 %, часу - 4 %, електричних і магнітних величин - 5 %. Обсяг виконуваних вимірів може бути набагато більшим.

ДСП охоплює лише частину контрольованих величин, які найбільше часто використовують у практиці автоматизації. У ДСП усі контрольовані величини розбиті на п'ять груп:

- *Теплоенергетичні величини*: температура, тиск, перепад тисків, рівень і витрата.
- *Електроенергетичні величини*: постійні й змінні струм і напруга, потужність (активна й реактивна), коефіцієнт потужності, частота й опір ізоляції.
- *Механічні величини*: лінійні й кутові переміщення, кутова швидкість, деформація, зусилля, моменти, що обертають, кількість виробів, твердість матеріалів, вібрація, шум і маса.
- *Хімічний склад*: концентрація, склад, хімічні властивості.
- *Фізичні властивості* характеризують наступні величини: вологість, електропровідність, щільність, в'язкість, освітленість і ін.

ВП можуть з'єднуватися, утворюючи наступні *структурні схеми*: однократного прямого перетворення; послідовного прямого перетворення; диференціальну; зі зворотним зв'язком (компенсаційну).

Найпростіші ВП складаються з одного перетворювача. У випадку послідовного з'єднання декількох первинних перетворювачів вихідна величина попереднього перетворювача є вхідною величиною наступного. Послідовне з'єднання ВП застосовують у тому випадку, ко-

ли однократне перетворення не дає зручного для використання вихідного сигналу. При диференціальній схемі усувається вплив на результат перетворення зовнішніх факторів, що спотворюють, завдяки співставленню (порівнянню) перетвореної й деякої еталонної величин, однаково підданих дії цих факторів. Схема ВП зі зворотним зв'язком характеризується високою точністю, універсальністю й малою залежністю коефіцієнта перетворення від зовнішніх збурювань.

У вітчизняному приладобудуванні питання уніфікації й стандартизації вимірювальних перетворювачів вирішуються в рамках ДСП. Для того щоб створювати складні інформаційні системи (керуючі, вимірювальні), необхідно в першу чергу забезпечити інформаційну сумісність технічних засобів. Із цією метою в рамках ДСП спочатку були уніфіковані, а потім і стандартизовані вихідні сигнали ВП (ДЕРЖСТАНДАРТ 26.010-83, 26.011-83, 26.013-83, 26.014-83).

По виду вихідних сигналів розрізняють вимірювальні перетворювачі із природнім і уніфікованим вихідними сигналами. Перші являють собою пристрої, у яких здійснюється первинне (звичайно однократне) перетворення вимірюваної фізичної величини. Природнє формування сигналу тут забезпечується методом перетворення й конструкцією ВП. Такі перетворювачі найчастіше застосовують у пристроях прямого регулювання або при централізованому контролі порівняно простих об'єктів (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Класифікація ВП

Природній вихідний сигнал формується первинними ВП природнім шляхом і може являти собою кут повороту, переміщення, зусилля, напругу (постійну й змінну), опір (активний й комплексний), електричну ємність, частоту й ін. ВП із природнім вихідним сигналом

(термопари, терморезистори, тензодатчики й ін.) широко застосовують при автоматизації простих об'єктів.

Уніфікований сигнал - сигнал певної фізичної природи, що змінюється в певних фіксованих межах незалежно від виду вимірюваної величини, методу й діапазону її виміру.

При створенні складних систем з використанням ЕОМ і необхідності передачі сигналів на більші відстані застосовують перетворювачі природних сигналів в уніфіковані. Для цих цілей розробляються спеціальні перетворювачі, що нормують, параметри вихідних сигналів.

Окрему групу становлять перетворювачі з дискретним (релейним) вихідним сигналом, контактна група яких змінює своє положення при досягненні вимірюваною величиною заданого значення. Їх застосовують для позиційного регулювання й сигналізації.

3.2. Класифікація й загальні характеристики перетворювачів

У цей час існує безліч різноманітних за принципом дії й призначенню ВП. Безперервний розвиток науки й технології приводить до появи всі нових перетворювачів. Розроблювані класифікації допомагають розібратися в цій різноманітності. Створити універсальну класифікацію, що задовольняє запитам усіх можливих користувачів конкретної предметної області, - завдання практично нерозв'язне.

У якості класифікаційних ознак ВП можна прийняти багато характеристик перетворювачів: вид функції перетворення, вид вхідної і вихідної величин, принцип дії, конструктивне виконання і т.д.

За видом використовуваної енергії: електричні, механічні, пневматичні, гідравлічні.

По співвідношенню між вхідною і вихідною величинами ВП розрізняють так :

- неелектричних величин у неелектричні (важелі, редуктори, мембрани, пружини й ін.);
- неелектричних величин в електричні (потенціометри, термопари, ємнісні й індуктивні ВП);
- електричних величин в електричні;
- електричних величин у неелектричні (вимірювальні механізми електровимірювальних приладів).

Залежно від виду вихідного сигналу розрізняють ВП аналогові, дискретні, релейні, із природнім або уніфікованим вихідним сигналом.

По виду функції перетворення розрізняють наступні ВП: масштабні -, що змінюють у певне число раз вхідну величину без зміни її фізичної природи; функціональні - здійснюючі однозначне функціональне перетворення вхідної величини зі зміною її фізичної природи або без зміни; операційні - виконуючі над вхідною величиною математичні операції вищого порядку (диференціювання або інтегрування по тимчасовому параметру).

По виду структурної схеми розрізняють перетворювачі прямого однократного перетворення, послідовного прямого перетворення, диференціальні, зі зворотним зв'язком (компенсаційна схема).

По характеру перетворення вхідної величини у вихідну ВП поділяються на параметричні, генераторні, частотні, фазові.

По виду вимірюваної фізичної величини розрізняють ВП лінійних і кутових переміщень, тиску, температури, концентрації речовини і т.д.

- за фізичними явищами, покладеними в основу принципу дії, у ДСП прийнята наступна класифікація ВП:
 - механічні - із пружним чутливим елементом, дросельні, ротаметричні, об'ємні, поплавкові, швидкісні; електромеханічні: тензорезисторні, термоелектричні, термомеханічні, термокондуктометричні, манометричні;
 - електрохімічні: кондуктометричні, потенціометричні, полярографічні;
 - оптичні - фотоколориметричні, рефрактометричні, оптико-акустичні;
 - електронні й іонізаційні - індукційні, хроматографічні, радіоізотопні, магнітні.
- за динамічними характеристиками ВП відповідно до виду передатної функції.
- за видом статичної характеристики ВП: на реверсивні (двотактні), у яких знак вихідного сигналу визначається знаком вхідного, і нереверсивні (однотактні), у яких знак вихідного сигналу не залежить від знака вхідного.

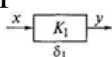
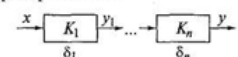
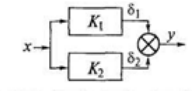
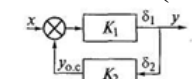
Навіть настільки розгорнута класифікація по ряду ознак не є вичерпною, тому що за кожним визначенням стоїть група перетворювачів з різними технічними й конструктивними характеристиками.

3.3. Структурні схеми вимірювальних перетворювачів

Незважаючи на все різноманіття ВП, їхні структурні схеми можна звести до декількох типів (таблиця 3.1). Структурна схема прямого однократного перетворення реалізується в багатьох ВП із природними вихідними сигналами, у яких вимірювана величина перетворюється безпосередньо в електричний сигнал, переміщення або зусилля. Статична характеристика, погрішність і інші властивості тут визначаються параметрами самого чутливого елемента.

У тих випадках, коли первинне перетворення не дозволяє одержати зручний або необхідний для подальшого використання сигнал, застосовують структурні схеми з декількома послідовними перетвореннями, наприклад при необхідності одержання уніфікованого вихідного сигналу, перетворення неелектричної величини в електричну, корекції статичної або динамічної характеристики перетворювача. Сумарний коефіцієнт перетворення (загальну чутливість) можна одержати досить високий, однак при цьому збільшується загальна похибка перетворення (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Типові структурні схеми ВП

Тип схеми	Статична характеристика	Похибка перетворення
Пряме однократне перетворення 	$y = K_1 x$	$\delta_n = \delta_1$
Послідовне пряме перетворення 	$y = \prod_{i=1}^n K_i x$	$\delta_n = \sum_{i=1}^n \delta_i$
Диференціальне перетворення 	$y = (K_1 - K_2)x$	$\delta_n = \delta_1 \frac{K_1}{K_1 + K_2} + \delta_2 \frac{K_2}{K_1 + K_2}$
Перетворення із зворотним зв'язком (компенсаційне) 	$y = \frac{K_1}{1 + K_1 \cdot K_2} x$	$\delta_n = \delta_1 \frac{1}{1 + K_1 \cdot K_2} - \delta_2 \frac{K_1 \cdot K_2}{1 + K_1 \cdot K_2}$

* Примітка. У формулах прийняті наступні позначення: x - вимірювана величина; y - вихідна величина; δ_i - погрішність ланки перетворювача; $\delta_{\text{п}}$ - загальна похибка перетворювача; K - коефіцієнт перетворення

Можливі варіанти, коли на один із входів подається еталонний сигнал і порівняння здійснюється з ним, або інформація перетворюється по одному каналу в реальних умовах, а по іншому - в еталонних.

До переваг диференціальних схем побудови датчиків слід віднести: значне зменшення адитивних (постійних) складових загальної погрішності, обумовлених впливом факторів, що обурюють; збільшення чутливості вдвічі при подачі вхідного сигналу на обидва входи; одержання реверсивної статичної характеристики; зниження нелінійності статичної характеристики й постійних складових вихідного сигналу в порівнянні з характеристиками окремих ВП, що входять у схему.

Найбільш досконалою схемою ВП є схема зі зворотним зв'язком, або компенсаційна схема. У датчиках, побудованих за цією схемою, забезпечується автоматичне зрівноважування контрольованої величини, що компенсує, величиною того ж роду безпосередньо або після попереднього перетворення. Основна перевага такої схеми полягає в її здатності компенсувати значні зміни параметрів вимірювального тракту. Крім того, основна частина енергії, необхідної для роботи датчика, береться від додаткових джерел, а не від вимірювального елемента.

Структурні схеми реальних ВП можуть являти собою будь-яку комбінацію з розглянутих вище типових структур. У колі послідовного перетворення вимірюваного сигналу прийнято розрізняти первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) і проміжні перетворювачі (рис. 3.2). Вимірювана величина впливає безпосередньо на первинний перетворювач. Часто метод первинного перетворення вхідної величини визначає найменування всього вимірювального перетворювача - або приладу. Проміжні перетворювачі можуть виконувати функції посилення, лінеаризації, перетворення роду сигналу й ін.

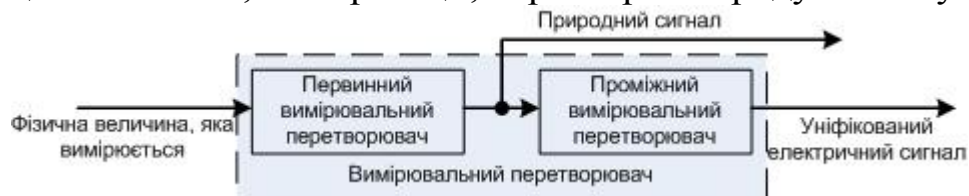


Рисунок 3.2 – Блок-схема кола послідовного перетворення

3.4. Статичні й динамічні характеристики вимірювальних перетворювачів

Статична характеристика вимірювального перетворювача - це функціональна залежність між вхідною x і вихідною y величинами в

режимі, що встановився. Як і будь-яку функцію, статичну характеристику можна представити аналітично (рівнянням), у вигляді графіка або таблицею. Звичайно в рівняння перетворення входять конструктивні параметри. Для реального перетворювача статичну характеристику можна одержати експериментально. Для більш наочного сприйняття дуже широко використовують графічну форму вистави статичної характеристики. Найбільше часто використовувані статичні характеристики датчиків представлені на рисунку 3.3.

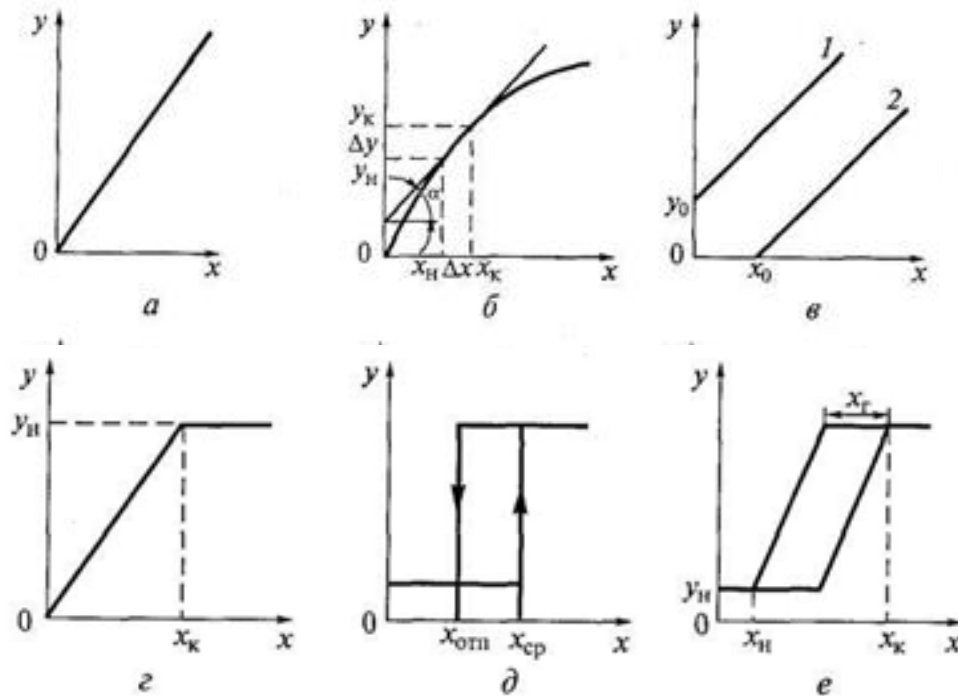


Рисунок 3.3 – Статистичні характеристики ВП: а – лінійна; б – нелінійна; в – з холостим ходом та зоною нечутливості; г – з ділянкою насичення; д – релейний вид; е – з петлею гістерезису

У загальному випадку статичні характеристики ВП не відрізняються від аналогічних характеристик узагальнених ланок систем керування, тому що самі входять у їхнє число.

Статична характеристика може бути лінійною й нелінійною (рисунку 3.3, а, б). При цьому необхідно відрізнити нелінійність як необхідну функціональну залежність (експонентну, логарифмічну) від властивої нелінійності як похибки лінійності. У загальному випадку рівняння перетворення для лінійної статичної характеристики має вигляд

$$y = f(x) = \pm B + K \cdot x$$

де B - постійна;

K - коефіцієнт перетворення.

Якщо $B = 0$, то графік рівняння проходить через початок координат і ВП не має ні вихідного сигналу холостого ходу v_0 , ні зони нечутливості $0 \dots x_0$ (див. рисунок 3.3, а).

При $B > 0$ характеристика зміщена відносно початку координат по осі абсцис на величину вихідного сигналу холостого ходу $y_0 = B$ (рисунок 3.3, в, пряма 1).

При $B < 0$ характеристика має зону нечутливості $0 \dots x_0$, у межах якої при зміні x $y = 0$ (рисунок 3.3, в, пряма 2).

Статична характеристика може мати ділянку насичення (рисунок 3.3, г), тоді вона описується двома рівняннями: на ділянці $0 \dots x_k$ рівнянням $y = Kx$; на ділянці $x > x_k$ рівнянням $y = y_h$.

При $K = \infty$ характеристика має релейний характер (рисунок 3.3, д). Така характеристика, властива датчикам позиційного регулювання, характеризується коефіцієнтом повернення

$$K_{нов} = \frac{x_{відп}}{x_{спр}},$$

де $x_{відп}$, $x_{спр}$ - значення вхідного сигналу, що забезпечують відповідно відпускання й спрацьовування датчика.

Ряд датчиків має неоднозначність ходу статичної характеристики при збільшенні й зменшенні вхідної величини x (рисунок 3.3, е). Це явище зветься гістерезисом й характеризується відповідним коефіцієнтом

$$K_z = \frac{x_z}{x_k - x_n},$$

де x_z - ширина зони неоднозначності (гістерезису);

x_k , x_n - значення відповідно кінця й початку робочого діапазону вхідної величини.

На рисунку 3.3 представлені характеристики одноктні (нереверсивних) датчиків. Характеристики двоктних датчиків мають другу аналогічну галузь, розташовану в третьому квадранті симетрично початку координат. Нелінійну характеристику можна перетворити в лінійну або функціональну за допомогою апроксимації.

Для нелінійних характеристик коефіцієнт перетворення не є постійною величиною, тому в цьому випадку використовують диференціальний коефіцієнт перетворення K_d , під яким розуміють межу відношення вихідної і вхідної величин

$$K_{\partial} = \frac{dy}{dx} = \left. \frac{\Delta y}{\Delta x} \right|_{\Delta x \rightarrow 0}.$$

Диференціальний коефіцієнт перетворення в загальному випадку змінюється від точки до точки й визначається кутом α нахилу дотичної до характеристики в робочій точці; $K_{\partial} = \operatorname{tg} \alpha$. Коефіцієнт перетворення характеризує чутливість датчика K_s і залежно від найменування вхідної і вихідної величин може бути представлений у розмірному або безрозмірному виді.

Якщо на характеристиці виділити лінійну ділянку, у межах якої працює перетворювач, то різниця між верхнім і нижнім значеннями вхідного (вихідного) сигналу визначає робочий діапазон Δ_p його зміни, а їх відношення - динамічний діапазон Δ_d (рисунок 3.3, б):

$$\Delta_p x = x_k - x_n; \quad \Delta_d x = \frac{x_k}{x_n};$$

$$\Delta_p y = y_k - y_n; \quad \Delta_d y = \frac{y_k}{y_n}.$$

Поріг чутливості - це мінімальне значення вхідного сигналу x , що викликає появу помітного вихідного сигналу y .

Похибки датчиків діляться на основні й додаткові. Основна погрішність датчика - максимальна різниця між обмірюваним значенням вихідного сигналу y_p і його дійсним значенням y_k , обумовленим ідеальною статичною характеристикою для даної вхідної величини при нормальних експлуатаційних умовах (y_i). Вона може виражатися як в абсолютних одиницях: $\Delta = y_p - y_i$, так і у відносних. В останньому випадку вона дорівнює відношенню абсолютної погрішності до дійсного значення вихідного сигналу

$$\delta = \frac{y_p - y_i}{y_i} = \frac{\Delta}{y_i}.$$

Можна використовувати відносну наведену погрішність γ , рівну відношенню максимальної абсолютної погрішності Δ у діапазоні вимірюваної величини до верхнього значення цього діапазону y_k у відсотках:

$$\gamma = \frac{\Delta_{\max}}{y_k} \cdot 100.$$

Додаткові похибки - це похибки, викликані умовами зовнішнього середовища й внутрішніми процесами в деталях перетворювача. До цих процесів можна віднести: зміни температури, вологості; коливан-

ня напруги джерела живлення, механічні впливи; старіння й зношування матеріалу. Додаткова погрішність виражається звичайно у відсотках зміни вихідної величини на певну величину параметра, що збурює.

Залежно від специфіки застосування датчиків погрішності нормуються абсолютним значенням, відносним або класом точності, що визначаються узагальненою характеристикою основної наведеної й додаткових похибок.

Статичні характеристики дозволяють оцінити роботу перетворювачів у режимі, що встановився. Однак у реальних умовах датчикам іноді доводиться працювати в умовах швидкоплинних процесів, тобто в динамічному режимі, коли на вхід надходять сигнали, що змінюються в часі. У цих випадках починають проявлятися явища відставання вихідного сигналу від вхідної зміни його частоти, фази, амплітуди.

По динамічних характеристиках більшість датчиків належить до підсилювальних, аперіодичних і коливальних ланок першого й більш високих порядків. Найбільш використовувані характеристики датчиків: частотна характеристика й передатна функція, а параметри - постійна часу, час запізнювання й коефіцієнт підсилення.

Контрольні питання

1. На які групи поділяють контрольовані величини?
2. Які існують структурні схеми вимірювальних перетворювачів?
3. Як розрізняють вимірювальні перетворювачі за видом вихідних сигналів?
4. Що таке статична характеристика вимірювального перетворювача?
5. Які види статичних характеристик характерні для вимірювальних перетворювачів?
6. Що таке гістерезис вимірювального перетворювача?
7. Дайте визначення чутливості і порогу чутливості вимірювального перетворювача.
8. Що таке основна і додаткова похибки вимірювального перетворювача?
9. Яка будова і які переваги диференціальних схем побудови вимірювального перетворювача?
10. Яка будова і переваги схеми перетворення зі зворотним зв'язком?

4. КЛАСИФІКАЦІЯ ДАТЧИКІВ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

4.1. . Основні поняття

Найбільше часто використовуване визначення датчиків звучить так: «датчик - це пристрій, що сприймає сигнали й зовнішні впливи й реагує на них». Це дуже широке визначення. Фактично, воно настільки широке, що охоплює майже все: від людського ока до спускового гачка в револьвері.

Будуть розглядатися датчики, які можуть бути підключені до вимірювальної системи за допомогою електричних проводів, а не через електрохімічні розчини й нервові волокна. Виходячи із цього, перефразуємо визначення датчика: *Датчик* - це пристрій, що сприймає зовнішні впливи й реагує на них зміною електричних сигналів.

Поняття *датчик* необхідно відрізнити від поняття *вимірювальний перетворювач*. Перетворювач конвертує один тип енергії в інший, тоді як датчик перетворить будь-який тип енергії зовнішнього впливу в електричний сигнал.



Рисунок 4.1 – Датчик може складатись з кількох перетворювачів, E_1 , E_2 , E_3 – різні види енергії (останній елемент даної системи є датчиком прямої дії)

Перетворювачі можуть бути частиною складених датчиків (рисунку 4.1). Наприклад, до складу хімічного датчика можуть входити два перетворювачі, один з яких конвертує енергію хімічних реакцій у тепло, а інший, термоелемент, перетворює отримане тепло в електричний сигнал. Комбінація цих двох перетворювачів являє собою хімічний датчик - пристрій, що виробляє електричний сигнал у відповідь на хімічну реакцію. У структуру складених датчиків, як правило, входить хоча б один датчик прямої дії й кілька перетворювачів. *Датчиками прямої дії* називають датчики, які побудовані на фізичних явищах, що дозволяють проводити безпосереднє перетворення енергії зовнішнього впливу в електричні сигнали.

На практиці датчики не працюють самі по собі. Вони входять до складу вимірювальних систем, що поєднують багато різних детекторів, перетворювачів сигналів, сигнальних процесорів, запам'ятовувальних пристроїв і приводів. Датчики в таких системах можуть бути як зовнішніми, так і вбудованими. Часто їх розташовують на входах ви-

мірювальних приладів для того, щоб вони реагували на зовнішні дії і сповіщували систему про зміни в навколишніх умовах.

До електричних датчиків незалежно від типу й пристрою пред'являються наступні основні вимоги:

- надійність у роботі;
- достатня чутливість, що дозволяє суттєво спростити схему системи. У цьому випадку відпадає необхідність у посиленні сигналу, точність системи підвищується;
- безперервна залежність його вихідної величини у від вхідної x ;
- мінімальні габаритні розміри й вага;
- необхідний діапазон зміни параметрів;
- відсутність зворотного впливу датчика на вимірюваний процес;
- мінімальна інерційність;
- відповідність умовам навколишнього середовища.

На роботу електричних датчиків впливають наступні фактори: періодичність і максимальна частота процесу, змінність знаку кривої зміни процесу й наявність у ній постійної складової, температурні умови місця виміру, атмосферні умови (вологість, температура повітря і т.д.), наявність вібрації, прискорень або струсів в установці й ін.

Датчики є невід'ємною частиною систем збору даних, які, у свою чергу, можуть входити до складу більших вимірювальних комплексів з безліччю зворотних зв'язків.

Блок-схема автоматизованого вимірювального комплексу (рисунки 4.2), що складається із системи збору даних і керуючого пристрою добре показує роль датчиків. Суб'єктами вимірів можуть бути будь-які матеріальні об'єкти. Дані про вимірюваний об'єкт збираються за допомогою датчиків, частина з яких, (2, 3 і 4), розташовується на поверхні або усередині об'єкта. Датчик 1 не має безпосереднього зв'язку з об'єктом, тобто є *безконтактним*.

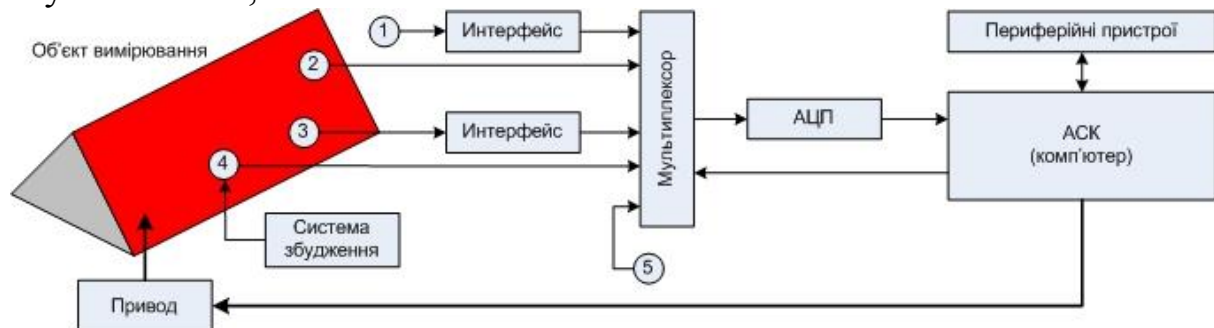


Рисунок 4.2– Автоматизований вимірювальний комплекс, який зображує роль датчиків у системі збору даних. Датчик 1 є безконтактним, датчики 2 та 3 – пасивні пристрої, 4 – активні, а датчик 5 – внутрішній елемент системи збору даних

Часто датчик 5 служить для контролю над умовами усередині самої системи збору даних. Датчики 1 і 3 не можуть бути прямо приєднані до стандартних електронних схем через невідповідність форматів вихідних сигналів. Їх підключають через спеціальні інтерфейсні пристрої - перетворювачі сигналів. Датчики 1-3 і 5 - пасивні, оскільки для формування вихідних сигналів їм не потрібна додаткова електрична енергія. Датчик 4 - представник активних пристроїв. Для забезпечення його роботи необхідний допоміжний сигнал, одержуваний від схеми збудження. Прикладом активних датчиків є термістор. Такий датчик працює від джерела постійного струму, що є в цьому випадку схемою збудження.

Вхідні сигнали датчиків (зовнішні впливи) можуть мати практично будь-яку фізичну або хімічну природу. Потік світла, температура, тиск, коливання, переміщення, положення, швидкість, концентрація іонів - усе це приклади зовнішніх впливів. Конструкція датчиків міняється залежно від їхнього призначення. Для особливих умов застосування може знадобитися розробка спеціальних корпусів і схем монтажу. Іноді від датчиків потрібно щоб вони реагували тільки на певний діапазон вхідних сигналів. Наприклад, детектор руху в охоронній системі повинен спрацьовувати тільки на переміщення людей і ніяк не реагувати на пересування маленьких тварин, таких як собаки й кішки.

4.2. Загальні відомості

Системи класифікації датчиків можуть бути дуже різними, від дуже простих до складних. Критерій класифікації завжди вибирається залежно від мети проведення класифікації. У цій книзі пропонується кілька практичних підходів до цієї проблеми.

Усі датчики можна розділити на дві категорії: **пасивні** й **активні**. **Пасивний** датчик не має потреби в додатковому джерелі енергії й у відповідь на зміну зовнішнього впливу на його виході завжди з'являється електричний сигнал. Це означає, що такий датчик перетворює енергію зовнішнього сигналу у вихідний сигнал. Прикладами пасивних датчиків є термопари, фотодіоди й п'єзоелектричні чутливі елементи. (Більшість пасивних датчиків є пристроями прямої дії). На відміну від пасивного побратима **активний** датчик для своєї роботи вимагає зовнішньої енергії, називаної *сигналом збудження*. При формуванні вихідного сигналу активний датчик тим або іншим способом впливає на сигнал збудження. Оскільки такі датчики міняють свої ха-

рактики у відповідь на зміну зовнішніх сигналів, їх іноді називаються *параметричними*. Фактично, в активних датчиках відбувається перетворення зміни їх внутрішніх характеристик в електричні сигнали. Наприклад, термістори є температурно-чутливими резисторами. Самі по собі термістори не роблять ніяких електричних сигналів, але при проходженні через них електричного струму (сигналу збудження), їхній опір може бути визначений по зміні струму й/або спаданню напруги на них. Активним датчиком є резистивний тензодатчик, чий електричний опір залежить від величини його деформації.

Залежно від вибору точки відліку датчики можна розділити на абсолютні й відносні. *Абсолютний* датчик визначає зовнішній сигнал в абсолютних фізичних одиницях вимірів, що не залежать від умов проведення, тоді як вихідний сигнал відносного датчика в кожному конкретному випадку може трактуватися по-різному. Прикладом абсолютного датчика є термістор. Його електричний опір прямо залежить від абсолютної температури по шкалі Кельвіна. Інший же популярний датчик температури - термопара - є відносним пристроєм, оскільки напруга на його виході є функцією градієнта температури на дротиках термопари. Тому визначити конкретну температуру по вихідному сигналу термопари можна тільки щодо відомої базової точки відліку. Іншим прикладом абсолютних і відносних датчиків є датчик тиску. Показання абсолютного датчика відповідають значенням тиску щодо абсолютного нуля по шкалі тисків, тобто щодо повного вакууму. Відносний датчик визначає тиск щодо атмосферного тиску, який не є нульовим.

Інший підхід до класифікації датчиків полягає в розгляді їх характеристик. Для того щоб віднести датчик до тієї або іншої групи необхідно знати, які величини він може вимірювати, його характеристики, на якому фізичному принципі він реалізований, який механізм перетворень він застосовує, з якого матеріалу він виготовлений, яка область його застосування, у таблицях 4.1-4.5 представлена схема такої класифікації, яка є найбільш інформативною.

Таблиця 4.1 – Характеристики датчиків

Чутливість	Точність	Характеристика при перевантаженні
Стабільність - короткострокова - довгострокова	Швидкодія	Експлуатаційний ресурс
	Гістерезис	Діапазон вхідних значень
	Нелінійність	Дозволяюча здатність
Вибірковість	Мертва зона	Оточуюче середовище
Важіль	Розміри	Форма вихідного сигналу
Вартість	Передатна функція	Тип вихідного сигналу
Насичення	Сигнал збудження	Вихідний імпеданс
Надійність	Умови використання	Динамічні характеристики

Таблиця 4.2 – Матеріал датчиків

Неорганічний	Органічний
Провідник	Діелектрик
Напівпровідник	Рідина
Біологічні тканини	Гази
Плазма	інше

Таблиця 4.3 – Засоби детектування

Біологічні	Хімічні	Електричні
Тепло, температура	Радіоактивність	Магнітні та електромагнітні хвилі
Механічні коливання	Випромінювання	Переміщення в просторі

Таблиця 4.4 – Механізм перетворювань

Фізичні	Термоелектрика	Термопружність
	Фотоелектрика	Фотомагнетизм
	Магнітна електрика	Електромагнетизм
	Електропружність	Фотопружність
	Термомагнетизм	Термооптика
Хімічні	Хімічні перетворення	Електрохімічний процес
	Фізичні перетворення	Спектроскопія
Біологічні	Біохімічні перетворення	Вплив на об'єкт тестування
	Фізичні перетворення	Спектроскопія

Таблиця 4.5 – Зовнішні впливи

Акустичний	Хвиля (амплітуда, фаза, поляризація швидкість), спектр та ін.
Електричний	Заряд, струм, потенціал, напруга, електричне поле (амплітуда, фаза, поляризація, спектр), провідність, діелектрична проникність та ін.
Магнітний	Магнітне поле (амплітуда, фаза, поляризація, спектр) та ін.
Біологічний	Біомаса (вид, концентрація, стан) та ін.
Хімічний	Елементи (ідентичність, концентрація, стан) та ін.
Оптичний	Хвиля (амплітуда, фаза, поляризація, швидкість), спектр, коефіцієнт та здатність відбиття і поглинання, здібність випромінювання та ін.
В'язкість	Упорядкованість структури, інтеграція та ін.
Випромінюючий	Тип, енергія, інтенсивність та ін
Тепловий	Температура, потік, тепло, теплоємність, теплопровідність та ін.
Механічний	Положення (координати лінійні та кутові), прискорення, сила, напруженість, тиск, деформація, важіль, щільність, рух, момент, швидкість потоку, витрата маси, форма, шорсткість та її напрям, жорсткість, піддатливість

4.3. Характеристики датчиків

Може знадобитися кілька етапів перетворень, перш ніж вхідний сигнал, що надходить на датчик, перетвориться у вихідний електричний сигнал.

Передатна функція

Для кожного датчика можна вивести *ідеальне* або *теоретичне* співвідношення, що зв'язує сигнали на його вході й виході. Виведене ідеальне співвідношення між вхідним і вихідним сигналом можна виразити у таблиці або графіка, або математичного виразу. Це ідеальний (теоретичний) вираз часто називають *передатною функцією*. Передатна функція встановлює взаємозв'язок між вихідним електричним сигналом датчика S і зовнішнім впливом s : $S = f(s)$. Ця функція може бути як лінійною, так і нелінійною. У багатьох випадках передатна функція є одномірною

$$S = a + bs,$$

де a - постійна складова (тобто значення вихідного сигналу при нульовому вхідному впливі), b - нахил прямої, який часто називають *чутливістю* датчика.

Параметр S - це та характеристика електричного сигналу, яку системи збору даних сприймають як вихідний сигнал датчика. Залежно від властивостей датчика це може бути амплітуда, частота або фаза. Також логарифмічною, експонентною, статичною або поліноміальною апроксимацією високого порядку.

Для нелінійних передатних функцій чутливість b не є константою. Для кожного конкретного значення вхідного сигналу s_0 її можна визначити у вигляді

$$b = \frac{dS(s_0)}{ds}.$$

У багатьох випадках нелінійні датчики можуть вважатися лінійними усередині обмеженого діапазону значень. Для більш широкого діапазону значень нелінійна передатна функція представляється у вигляді відрізків декількох прямих ліній - кусково-лінійна апроксимація.

У випадках, коли на вихідний сигнал датчика впливають кілька зовнішніх впливів, його передатна функція стає багатомірною. Прикладом датчика із двовимірною передатною функцією є інфрачервоний датчик температури (рисунок 4.3). Його передатна функція зв'язує дві температури (T_b — абсолютну температуру об'єкта виміру, T_s — абсолютну температуру поверхні сенсорного елемента) з вихідною напругою V

$$V = G(T_b^4 - T_s^4),$$

де G - константа.

Тобто, що залежність між температурою об'єкта й вихідною напругою (передатна функція) є не тільки нелінійною (параболою четвертого порядку), але вона також залежить від температури поверхні чутливого елемента. Для визначення чутливості такого датчика стосовно температури об'єкта, треба отримати частинну похідну від останнього виразу:

$$b = \frac{dV}{dT_b} = 4GT_b^3$$

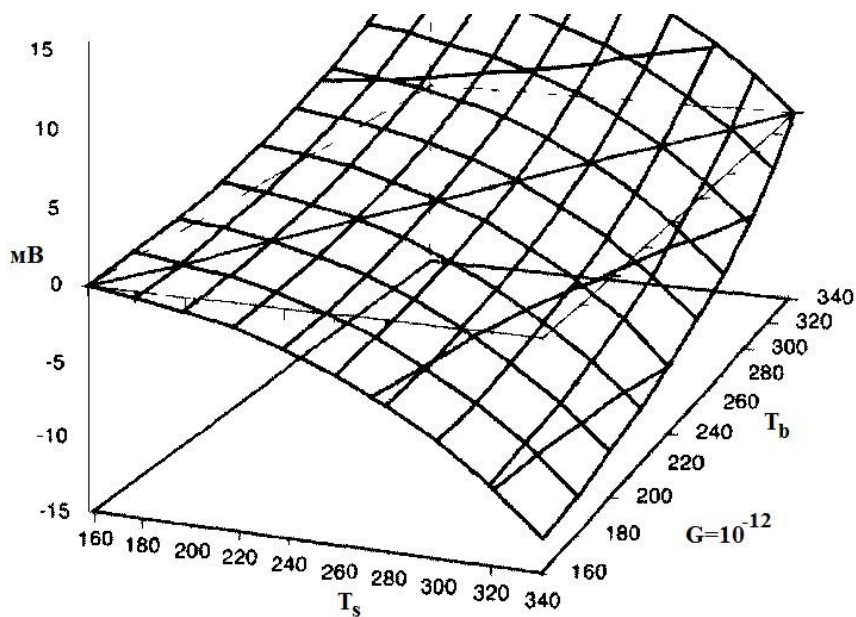


Рисунок 4.3 – Двомірна передатна функція інфрачервоного датчика температури

Діапазон вимірюваних значень (максимальний вхідний сигнал)

Динамічний діапазон зовнішніх впливів, який датчик може сприйняти, називається *діапазоном вимірюваних значень* (F_s) - максимально можливе значення вхідного сигналу, яке датчик може перетворити в електричний сигнал, не виходячи за межі припустимих погрешностей. Для датчиків з дуже широкою й нелінійною амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ) динамічний діапазон зовнішніх впливів часто виражається в децибелах, які є логарифмічним заходом відносин або потужності, або напруг. Сигнали відображені в логарифмічному виді, мають набагато менші значення, ніж вихідні, що на практиці в ряді випадків буває дуже зручно. Оскільки логарифмічна шкала є нелінійною, сигнали низького рівня в ній представляються з більшим дозволом, тоді як сигнали високого рівня перетерплюють більший стиск. Інакше кажучи, логарифмічна шкала для малих сигналів працює як мікроскоп, а у випадку більших сигналів - як телескоп (таблиця 4.6)

$$1dB = 20 \log \frac{S_2}{S_1} .$$

Виходячи із цього можна затверджувати, що децибел у двадцять раз перевищує логарифми відносин сили, струму й напруг, тобто:

$$1dB = 10 \log \frac{P_2}{P_1} .$$

Таблиця 4.6 – Відношення між потужністю, силою (напруга, струм) та децибелами

Відношення потужності	1,023	1,26	10	102	103	104	105	106	107	108	109	1010
Відношення сил	1,012	1,12	3,16	10	31,6	100	316	103	3162	104	3104	105
Децибели	0	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Діапазон вихідних значень

Діапазон вихідних значень (FSO) — алгебраїчна різниця між електричними вихідними сигналами, обмірюваними при максимальному й мінімальному зовнішньому впливі. У цю величину повинні входити всі можливі відхилення від ідеальної передатної функції. На рисунку (4.4, а) величина *SFS* відображає діапазон вихідних значень.

Точність

Коли говорять про точність датчика, найчастіше мають на увазі *погрішність вимірів*. Під погрішністю вимірів, як правило, розуміють величину максимальної розбіжності між показаннями реального й ідеального датчиків. Вважається, що обмірюване значення відповідає реальному з певним ступенем вірогідності.

Похибку датчика можна також представити у вигляді різниці між значенням, обчисленим по вихідному сигналу датчика і реальним значенням поданого вхідного сигналу. На рисунку (4.4, а) показана ідеальна або теоретична передатна функція. Товстою лінією на рисунку виділено одну з реальних передатних функцій, які не обов'язково є лінійними й монотонними. Навіть коли датчики виготовляються в ідентичних умовах, через різницю в матеріалах, в майстерності працівників, помилках розроблювачів, виробничих допусків і т.п., їхні передатні функції завжди будуть різнитися одна від одної. Однак усі вони не повинні виходити за межі певної зони, що лежить у границях гранично припустимих погрішностей, які перебувають від лінії ідеальної передатної функції на відстані $\pm\Delta$. В ідеальному випадку вихідний сигнал повинен бути рівний Y , що відповідає крапці z на передатній функції. Замість цього по реальній функції при значенні x ми потрапимо в крапку Z , і, отже, одержимо вихідний сигнал, рівний Y'

відповідний до точки z' на ідеальній передатній функції, якій, у свою чергу, повинен відповідати вхідний сигнал x' . Оскільки $x' < x$, погрішність вимірів у цьому випадку буде дорівнювати $-\delta$.

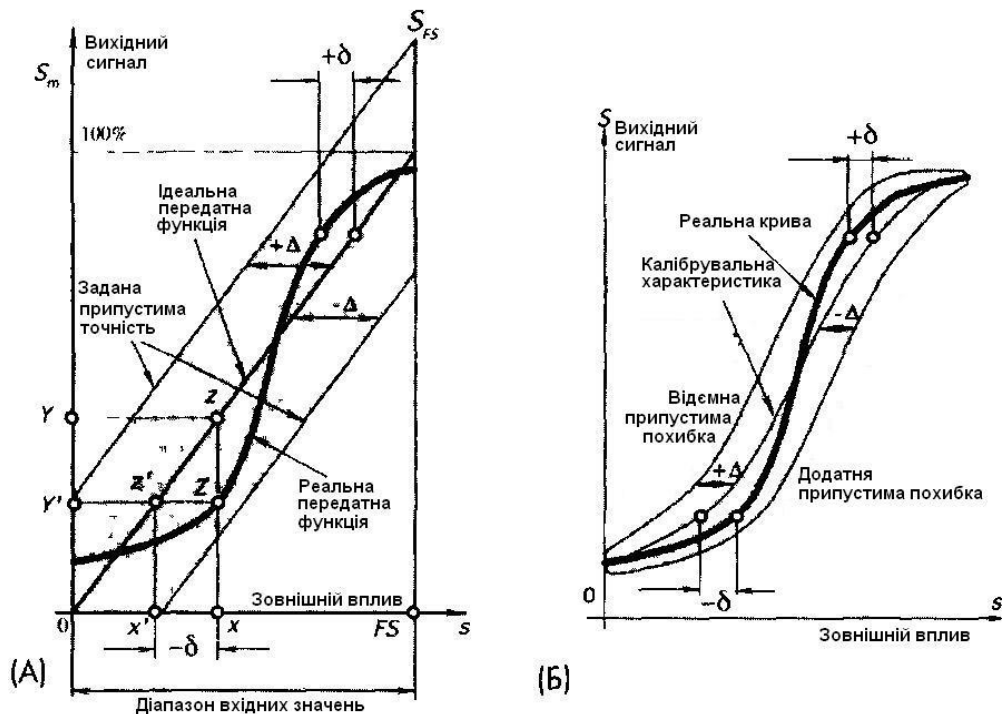


Рисунок 4.4 – Передатна функція (а) та межа припустимої похибки (б). Похибки визначаються відносно вхідних значень

На точність датчиків впливають такі характеристики як: гістерезис, мертва зона, параметри калібрування, повторюваність датчиків від партії до партії й відтворюваність погрішностей, які будуть розглянуті в наступних розділах. При більш коректному калібруванні (калібрування на більшій кількості точок, рисунок 4.4, б), калібрована крива проходить ближче до реальних передатних функцій, що означає підвищення точності вимірів. На практиці межі припустимих погрішностей устанавлюються не навколо ідеальної передатної функції, а щодо каліброваної кривої.

Погрішність датчиків може бути представлена в наступних видах:

1. Безпосередньо в одиницях вимірюваної величини (А),
2. У відсотках від значення максимального вхідного сигналу,
3. В одиницях вихідного сигналу.

У сучасних датчиках точність часто характеризується величиною *статистичної помилки вимірів*, що враховує вплив як система-

тичних, так і випадкових погрішностей, що й не залежать від помилок, допущених при визначенні передатних функцій.

Калібрування

Якщо виробничі допуски на датчик і допуски на інтерфейс перевищують необхідну точність системи, завжди необхідно проводити калібрування. Наприклад, потрібно виміряти температуру з точністю $\pm 0,5^\circ\text{C}$ датчиком, за довідковими даними, що володіють погрішністю $\pm 1^\circ\text{C}$. Це можна зробити тільки після проведення калібрування. У процесі проведення повного калібрування визначаються коефіцієнти, що описують передатну функцію всієї системи в цілому, включаючи датчик, інтерфейсний пристрій і АЦП.

Для нелінійних функцій калібрування потрібно проводити більш ніж у двох крапках. Кількість необхідних калібрувань диктується видом математичного виразу. Якщо передатна функція моделюється поліноміальною залежністю, кількість каліброваних точок вибирається залежно від необхідної точності. Оскільки, як правило, процес калібрування займає досить багато часу, для зниження вартості виготовлення датчиків на виробництві кількість каліброваних крапок задається мінімальним.

Застосування кусково-лінійної апроксимації є іншим підходом до калібрування нелінійних датчиків. Як згадувалося вище, будь-яку криву в межах досить невеликого інтервалу можна замінити лінійною функцією.

Для проведення калібрування датчиків важливо мати точні фізичні еталони, що дозволяють моделювати відповідні зовнішні впливи. Наприклад, при калібруванні контактного датчика температури його необхідно поміщати або в резервуар з водою, або в «сухий колодязь», у яких є можливість точно регулювати температуру. При калібруванні інфрачервоних датчиків потрібна наявність чорного тіла, а для калібрування гігрометрів — набір насичених розчинів солей, використовуваних для підтримки постійної відносної вологості в закритому контейнері і т.д. Звідси ясно видно, що точність наступних вимірів прямо пов'язана з точністю проведення калібрування. Помилка каліброваних еталонів повинна включатися в повну помилку вимірів.

Помилка калібрування

Помилка калібрування — це погрішність, допущена виробником при проведенні калібрування датчика на заводі. Ця погрішність носить систематичний характер, і, виходить, додається до всіх реальних

передатних функцій. Помилка калібрування зрушує характеристику перетворення датчика в кожній крапці на певну величину. Вона не обов'язково повинна бути рівномірною у всьому діапазоні вимірів і може залежати від типу помилки, допущеної в процесі калібрування. Для прикладу розглянемо калібрування у двох крапках реальної передатної функції (рисунок 4.5). Для визначення нахилу й початкового зрушення функції на датчик подамо послідовно два зовнішні впливи s_1 і s_2 і зареєструємо два вихідні сигнали A_1 і A_2 . Перший сигнал був обмірюваний абсолютно точно, однак, при визначенні другого допущена погрішність — Δ , що привело до помилок при визначенні коефіцієнтів a і b . Отримане значення початкового зрушення a_1 буде відрізнятися від реального значення a на величину

$$\delta_a = a_1 - a = \frac{\Delta}{s_2 - s_1},$$

а нахил буде визначений з похибкою згідно рисунка 4.5.

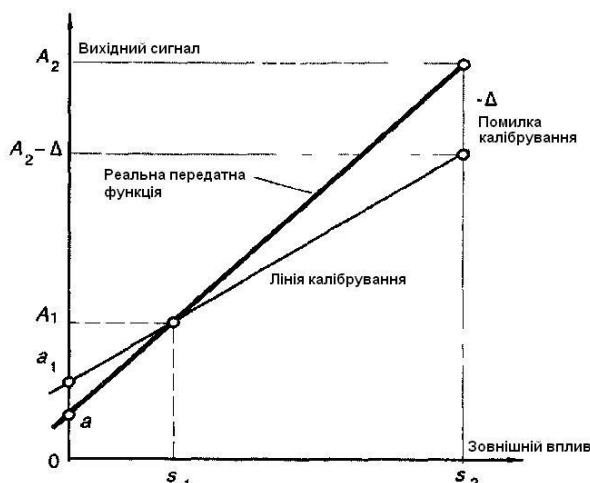


Рисунок 4.5 – Похибка калібрування

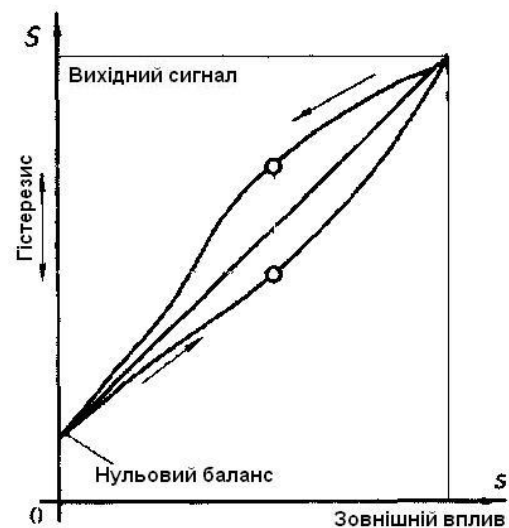


Рисунок 4.6 – Передатна функція з гістерезисом

Гістерезис

Гістерезис – це різниця значень вихідного сигналу для того самого вхідного сигналу, отриманих при його зростанні й спаданні (рисунок 4.6). Типовою причиною виникнення гістерезису є тертя й структурні зміни матеріалів.

Нелінійність

Нелінійність визначається для датчиків, передатну функцію яких можливо апроксимувати прямою лінією. Під нелінійністю розуміється максимальне відхилення L реальної передатної функції від апроксимуючої прямої лінії. При проведенні декількох циклів калібрування вибирається гірше з отриманих значень нелінійності. Нелінійність звичайно виражається або у відсотках від максимального вхідного сигналу, або в одиницях вимірюваних величин. Перший спосіб проведення апроксимуючої лінії полягає в проведенні прямої через *кінцеві* крапки передатної функції (рисунок 4.7,а). Для цього спочатку визначаються вихідні значення по найбільшому й найменшому зовнішніх впливах, а потім через ці крапки проводиться пряма лінія (лінія 1). При такій лінеаризації помилка нелінійності мінімальна в кінцевих крапках і максимальна десь у проміжку між ними.

Інший спосіб лінеаризації заснований на застосуванні *методу найменших квадратів* (лінія 2 на рисунку 4.7, а). Для цього в широкому діапазоні вимірюваних величин для ряду значень (n) зовнішніх впливів x вимірюються вихідні сигнали S . Після чого, застосовуючи формулу лінійної регресії, визначають значення коефіцієнтів a і b .

На практиці, у деяких випадках, може знадобитися більша точність лінеаризації у вузькому діапазоні вхідних сигналів. У цьому випадку калібрування проводять у вузькій області, де потрібна підвищена точність, після чого через калібровану крапку c проводиться апроксимуюча лінія (лінія 3 на рисунку 4.7,а).

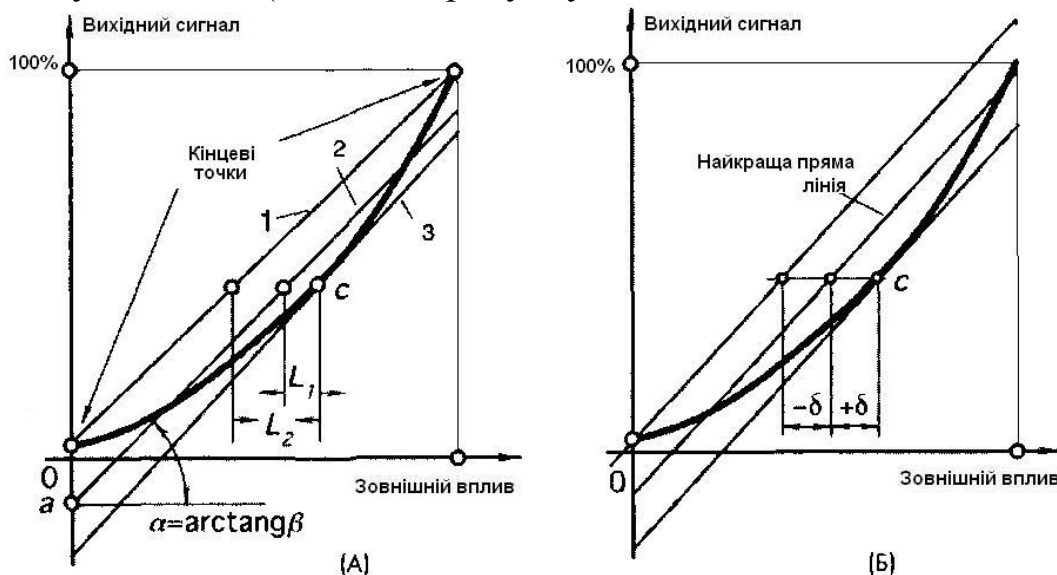


Рисунок 4.7 – Лінійна апроксимація нелінійної передатної функції (а) та незалежна лінеаризація (б)

Метод *незалежної лінеаризації* часто називається «методом найкращої прямої» (рисунок 4.7,б). Він полягає в знаходженні лінії, що проходить посередині між двома паралельними прямими, розташованими, як можливо, ближче одна до одної, що й охоплюють усі вихідні значення реальної передатної функції.

Залежно від методу лінеаризації апроксимуючі лінії будуть мати різні коефіцієнти a й b . Отже, значення нелінійності, отримані різними способами, можуть серйозно різнитися одне від одного.

Насичення

Кожний датчик має свої межі робочих характеристик. Навіть якщо він вважається лінійним, при певному рівні зовнішнього впливу його вихідний сигнал перестане відповідати наведеній лінійній залежності. У цьому випадку говорять, що датчик увійшов у зону насичення (рисунок 4.8).

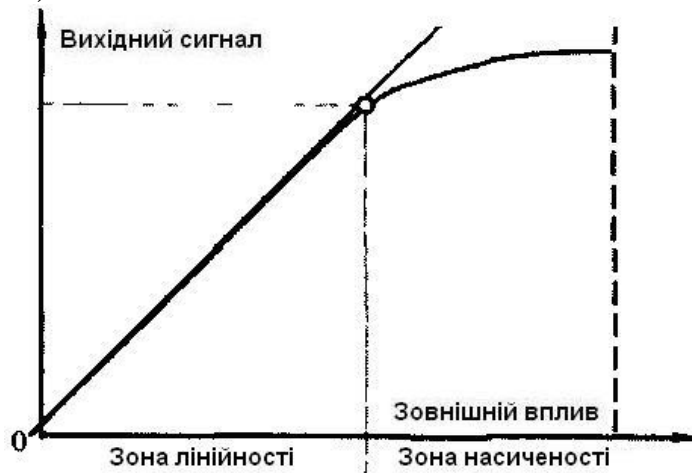


Рисунок 4.8 – Передатна функція з насиченням

Відтворюваність

Відтворюваність - це здатність датчика при дотриманні однакових умов видавати ідентичні результати. Відтворюваність результатів визначається по максимальній різниці вихідних значень датчика, отриманих у двох циклах калібрування (рисунок 4.9,а). Звичайно вона виражається у відсотках від максимального значення вхідного сигналу (FS)

$$\delta_r = \frac{\Delta}{FS} 100\% .$$

Причинами поганої відтворюваності результатів часто є: тепловий шум, поверхневі заряди, пластичність матеріалів і т.д.

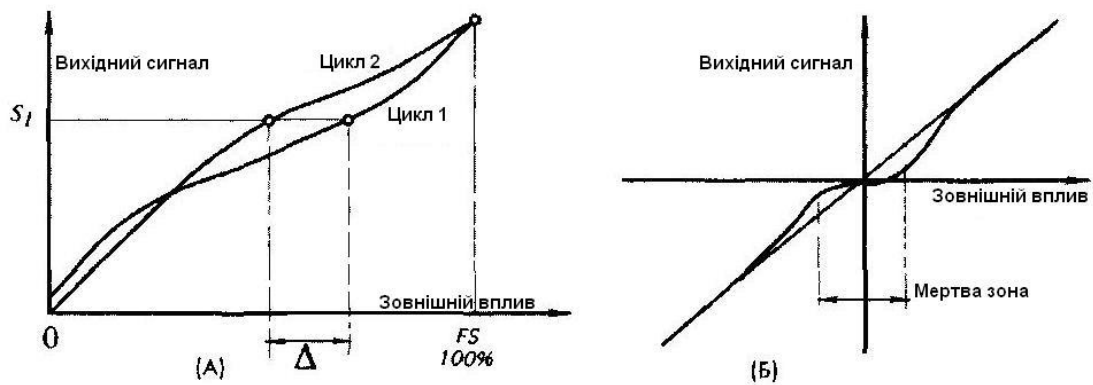


Рисунок 4.9,а – похибка відтворюваності: одному сигналу відповідають різні зовнішні впливи, б – мертва зона на передатній функції

Зона нечутливості

Мертва зона — це нечутливість датчика в певному діапазоні вхідних сигналів (рисунок 4.9, б). У межах цієї зони вихідний сигнал залишається майже постійним (часто рівним нулю).

Роздільна здатність

Роздільна здатність характеризує мінімальну зміну вимірюваної величини, яку може відчувати датчик. При безперервній зміні зовнішнього впливу в межах діапазону вимірюваних значень вихідні сигнали датчиків не будуть завжди абсолютно гладкими, навіть при відсутності шумів. На них завжди будуть видні невеликі сходи. Особливо чітко це видно в потенціометричних датчиках. Величина зміни вхідного сигналу, що приводить до появи мінімальної сходинки на вихідному сигналі датчика за певних умов, називається його розв'язною здатністю.

Спеціальні характеристики

Для деяких датчиків необхідно вказувати *спеціальні характеристики вхідних сигналів*. Наприклад, для детекторів освітленості такою характеристикою є його чутливість у межах обмеженої оптичної смуги. Отже, для таких датчиків необхідно визначати спектральні характеристики.

Вихідний імпеданс

Вихідний імпеданс Z_{out} є характеристикою, що вказує наскільки легко датчик узгоджується з електронною схемою. Опір, відповідний до вихідного імпедансу датчика, підключається паралельно опору, що характеризує вхідний імпеданс електронної схеми Z_m , (потенційне з'єднання) або послідовно з ним (струмове з'єднання). Обидва варіан-

ти з'єднань показані на рис.4.10. Звичайно вхідні й вихідні імпеданси представляються в комплексному виді, оскільки вони, як правило, містять у собі активні й реактивні компоненти. Для мінімізації викривлень вихідного сигналу датчик зі струмовим виходом (рисунок 4.10,б) повинен мати максимально можливий вихідний імпеданс, а його інтерфейсна схема — мінімальний вхідний імпеданс. У випадку потенційного з'єднання (рисунок 4.10,а) датчику слід мати низький вихідний імпеданс, а в інтерфейсній схемі — високий вхідний.

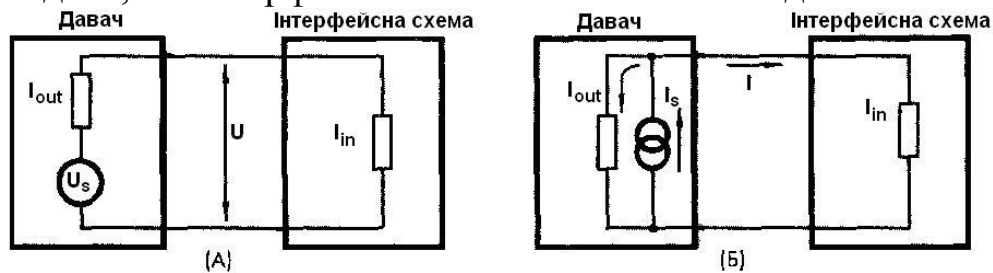


Рисунок 4.10 – З'єднання датчика з інтерфейсною схемою:
 а – датчик з вхідним сигналом у вигляді напруги;
 б – датчик зі струмовим входом

Сигнал збудження

Сигнал збудження — це електричний сигнал, необхідний активному датчику для роботи. Сигнал збудження описується інтервалом напруг U /або струму. Для деяких типів датчиків також необхідно вказувати частоту сигналу збудження і його стабільність. Вихід сигналу збудження за наведені межі може привести до зміни передатної функції датчика, і, отже, до викривлення вихідного сигналу. Приведемо приклад опису сигналу збудження:

Максимальний струм, що протікає через термістор:

У повітрі без збурень:..... 50 мкА,

У воді: 200 мкА.

Динамічні характеристики

У стаціонарних умовах датчик повністю описується своєю передатною функцією, діапазоном вимірюваних значень, каліброваними коефіцієнтами і т.д. Однак на практиці вихідний сигнал датчика не завжди досить точно відслідковує зміну зовнішнього сигналу. Причини цього полягають як у самому датчику, так і в його з'єднанні із джерелом зовнішніх впливів, що не дозволяє сигналам поширюватися з нескінченно великою швидкістю. Можна сказати, що будь-який датчик має параметри, які залежать від часу, називаними *динамічними характеристиками*. Якщо датчик має обмежену швидкодію, він мо-

же реєструвати значення зовнішніх впливів, що відрізняються від реальних - *динамічна погрішність*.

Час розігріву — це час між подачею на датчик електричної напруги або сигналу порушення й моментом, коли датчик починає працювати, забезпечуючи необхідну точність вимірів. Багато датчиків мають несуттєвий час розігріву. Однак деякі детектори, що особливо працюють у пристроях з контрольованою температурою (термоста-тах), для свого розігріву вимагають секунди, а то й хвилини.

У теорії автоматичного керування прийнято описувати взаємозв'язок між входами й виходами пристрою у вигляді лінійних диференціальних рівнянь із постійними коефіцієнтами. Очевидно, що при розв'язку таких рівнянь можна визначити динамічні характеристики пристрою. Залежно від конструкцій датчиків, рівняння, що описують їх, можуть мати різний порядок.

Датчики нульового порядку, що мають лінійну передатну функцію, можна описати наступними залежностями від часу t

$$S(t) = a + bs(t).$$

Коефіцієнт a називається зсувом, а b — статичною чутливістю.

З виду рівняння видно, що воно описує датчики, до складу яких не входять енергонакопичувальні елементи, такі як конденсатори або маси. Датчики нульового порядку належать до пристроїв миттєвої дії. Іншими словами, у таких датчиків немає необхідності визначати динамічні характеристики.

Диференціальні рівняння *першого порядку* описують поведінку датчиків, до складу яких входить один енергонакопичувальний елемент. Такі рівняння мають вигляд

$$b_1 \frac{dS(t)}{dt} + b_0 \cdot S(t) = s(t).$$

Типовий приклад датчика першого порядку - датчик температури, у якому роль енергонакопичувального елемента відіграє теплоємність. Для опису датчиків першого порядку існує кілька способів. Але виробники датчиків для цього найчастіше використовують *частотні характеристики*, що показують наскільки швидко датчик може зреагувати на зміну зовнішнього впливу. Для відображення відносного зменшення вихідного сигналу при збільшенні частоти застосовується амплітудно-частотна характеристика (рисунки 4.11,а).

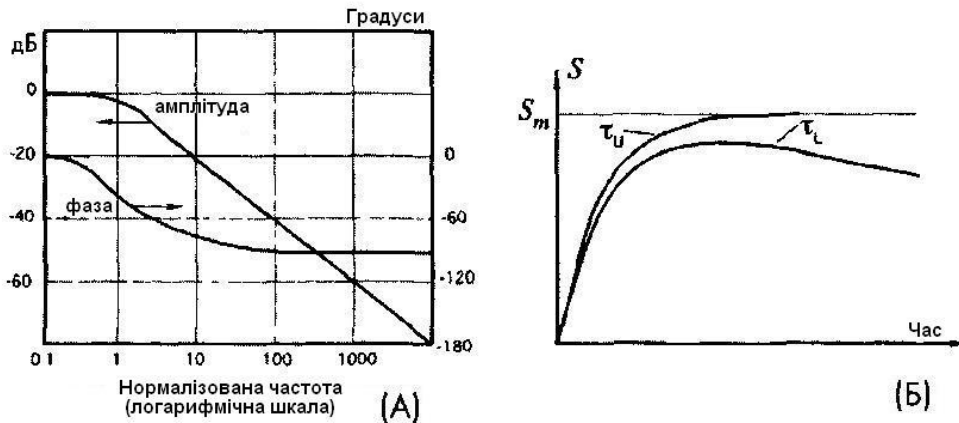


Рисунок 4.11 – Частотні характеристики: а - частотна характеристика датчика першого порядку; б - частотна характеристика датчика з обмеженням по верхній та нижній частоті зрізу, де τ_u та τ_L – відповідні постійні години

Частотні характеристики прямо пов'язані зі швидкодією датчика, що виражається в одиницях зовнішнього впливу на одиницю часу. Які характеристики: АЧХ або швидкодія, використовуються для опису датчика, залежить від його типу, області застосування й переваг розроблювача.

Інший спосіб опису швидкодії полягає у визначенні часу, необхідного для досягнення вихідним сигналом датчика рівня 90% від стаціонарного або максимального значення при подачі на його вхід східчастого зовнішнього впливу. Для датчиків першого порядку дуже зручно використовувати параметр, називаний *постійною часу*. Постійна часу t є показником інерційності датчика. У термінах електричних величин вона дорівнює добутку ємності на опір: $t = CR$. У теплових термінах під C и R розуміються теплоємність і тепловий опір. Як правило, постійна часу досить легко вимірюється. Тимчасова залежність системи першого порядку має вигляд

$$S = S_m \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right),$$

де S - значення вихідного сигналу, що встановилося;

t – час;

e - підстава натурального логарифма.

Заміняючи t на τ , одержуємо

$$\frac{S}{S_m} = \left(1 - \frac{1}{e} \right) = 0,6321.$$

Іншими словами можна сказати, що після закінчення часу, що дорівнює постійній часу, вихідний сигнал датчика досягає рівня, що становить приблизно 63% від значення, що встановилося. Аналогічно можна показати, що після закінчення часу, рівного двом постійним часу, рівень вихідного сигналу складе 86,5%, а після трьох постійних часу — 95%.

Частота зрізу характеризує найменшу або найбільшу частоту зовнішніх впливів, яку датчик може сприйняти без викривлень. Верхня частота зрізу показує наскільки швидко датчик реагує на зовнішній вплив, а нижня частота зрізу — з яким самим повільним сигналом він може працювати. На рисунку 2.14,б показана характеристика датчика, який має обмеження як по верхній, так і по нижній частоті зрізу. На практиці для встановлення зв'язку між постійною часу датчика першого порядку і його частотою зрізу f_z , як верхньою так і нижньою

$$f_z \approx \frac{0,159}{\tau}.$$

Фазове зрушення на певній частоті показує наскільки вихідний сигнал відстає від зовнішнього впливу (рисунок 4.11,а). Зрушення вимірюється або в градусах, або в радіанах і звичайно вказується для датчиків, що працюють із періодичними сигналами. Якщо датчик входить до складу вимірювальної системи зі зворотними зв'язками, завжди необхідно знати його фазові характеристики. Фазове зрушення датчика може знизити запас по фазі всієї системи в цілому й привести до виникнення нестабільності.

Диференціальні рівняння другого порядку описують поведінку датчиків із двома енергонакопичувальними елементами

$$b_2 \frac{d^2 S(t)}{dt^2} + b_1 \frac{dS(t)}{dt} + b_0 S(t) = s(t).$$

Прикладом датчика другого порядку є акселерометр, до складу якого входить маса й пружина.

На виходах датчиків другого порядку після подачі на їхні входи східчастого впливу практично завжди з'являються коливання. Ці коливання можуть бути дуже короткочасними, тоді говорять, що датчик демпфирований, або вони можуть тривати тривалий час, а то й постійно. Тривалі коливання на виході датчика є свідченням його неправильної роботи, тому їх треба намагатися уникати. Будь-який датчик другого порядку характеризується *резонансною (власною) частотою*, яка виражається в герцах або радіанах у секунду. На власній частоті відбувається значне збільшення вихідного сигналу датчика. Звичайно

виробники вказують значення власної частоти датчика і його коефіцієнт загасання (демпфірування). Від резонансної частоти залежать механічні, теплові й електричні властивості детекторів. Звичайно робочий частотний діапазон датчиків вибирається або значно нижче власної частоти (принаймні на 60%), або вище її. Однак для деяких типів датчиків резонансна частота є робочою. Наприклад, детектори руйнування скла, використовувані в охоронних системах, настроюються на вузьку смугу частот у зоні частоти резонансу, характерну для акустичного спектра, виробленого склом, що розбиваються.

Демпфірування — це значне зниження або придушення коливань у датчиках другого й більш високих порядків. Коли вихідний сигнал установлюється досить швидко й не виходить за межі стаціонарного значення, говорять, що система має критичне загасання, а її коефіцієнт демпфірування рівний 1 (рисунок 4.12). Коли коефіцієнт загасання менше 1, і вихідний сигнал перевищує значення, що встановилося, говорять, що система недодемпфирована. А коли коефіцієнт загасання більше 1, і сигнал установлюється набагато повільніше, чим у системі із критичним загасанням, говорять, що система передемпфирована.

Для коливального вихідного сигналу, показаного на рисунку 2.14, *коефіцієнт загасання або демпфірування* визначається абсолютним значенням відносини більшої амплітуди до меншої пари послідовно взятих півхвиль коливань щодо значення, що встановилося, тобто можна записати

$$\text{Коефіцієнт демпфірування } K_d = \frac{F}{A} = \frac{A}{B} = \frac{B}{C} = \dots$$

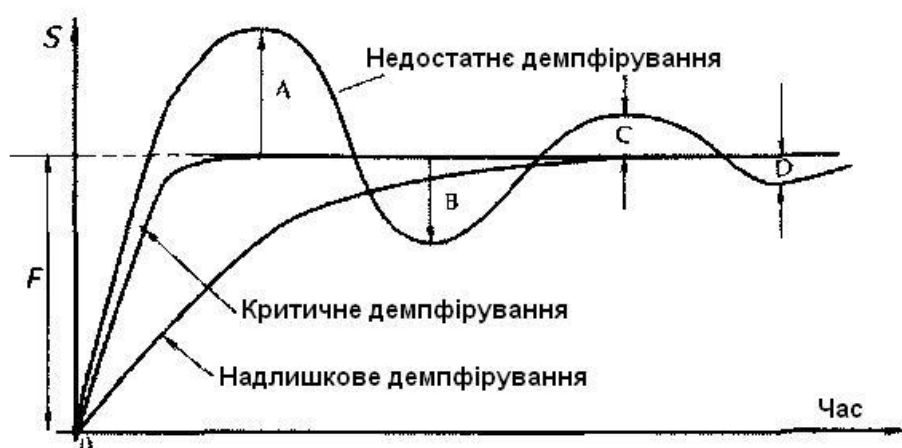


Рисунок 4.12 – Вид вихідних сигналів у датчиках з різним коефіцієнтом демпфування

На рисунку 4.13 наведені можливі варіанти вихідних сигналів датчиків у відповідь на східчастий зовнішній вплив.

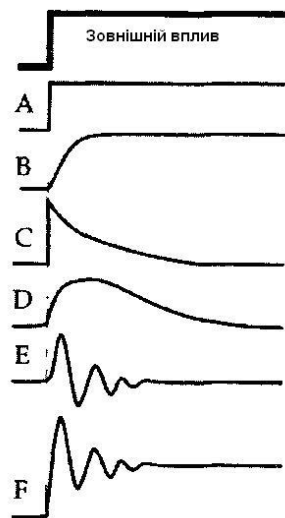


Рисунок 4.13 – Варіанти вихідних сигналів: а – нескінченні верхня та нижні частоти; б – система першого порядку з обмеженою верхньою частотою зрізу; с – система першого порядку з обмеженою нижньою частотою зрізу; д - система першого порядку з обмеженням по верхній та нижній частоті зрізу; е – система з вузькою полосою частот (резонансна система); ф - широкополосна система з резонансом.

Фактори навколишнього середовища

Умови зберігання - сукупність граничних значень факторів навколишнього середовища, що впливають на датчик протягом певного проміжку часу, при яких не відбувається істотної зміни його робочих характеристик і забезпечується підтримка його працездатності. Звичайно умови зберігання встановлюють; максимальну й мінімальну температури зберігання, а також максимальну відносну вологість при цих температурах. До значення відносної вологості необхідно додати таку характеристику, як «відсутність конденсату».

Короткострокова й довгострокова стабільність (дрейф) - характеристики точності датчиків. Короткострокова стабільність описує зміни робочих характеристик датчика в плінні хвилин, годин і навіть днів. Вихідний сигнал датчика може збільшуватися або зменшуватися, що може бути виражене через величину шуму наднизької частоти. Довгострокова стабільність залежить від процесів *старіння*, які змінюють електричні, механічні, хімічні й термічні властивості матеріалів датчика. Довгостроковий дрейф параметрів може вимірятися досить тривалими інтервалами часу: місяцями й роками. Довгострокова стабільність є дуже важливою характеристикою для датчиків, використовуваних для прецизійних вимірів. Швидкість старіння визначається умовами зберігання й експлуатації, а також тим, наскільки добре елементи датчиків ізольовані від навколишнього середовища, і які матеріали використовувалися для їхнього виготовлення. Інтенсивне ста-

ріння типове для датчиків, до складу яких входять органічні компоненти, і не настільки суттєво для датчиків з неорганічних елементів.

У перелік умов навколишнього середовища, що впливають на датчики, практично ніколи не входять фізичні параметри, вимірювані датчиками. Наприклад, для датчика, що визначає тиск повітря, враховуються наступні фактори навколишнього середовища: температура повітря й рядом розташованих об'єктів, вологість, вібрації, радіація, що іонізує, електромагнітні поля, гравітаційні сили й т.п. Усі ці параметри не тільки можуть, але й впливають на робочі характеристики датчика. При цьому необхідно враховувати, як динамічні, так і статичні складові цих факторів. Багато з параметрів навколишнього середовища мають мультиплікативну природу, тобто вони впливають на передатну функцію датчика, наприклад, міняють його коефіцієнт підсилення. Одним з підтверджень цього ефекту є поведінка резистивного датчика напруг, чутливість якого збільшується з ростом температури.

Дуже важливою вимогою для сучасних датчиків є забезпечення їх стабільної роботи в різноманітних умовах навколишнього середовища. Тому розроблювачі, а також експериментатори завжди повинні враховувати всі можливі зовнішні впливи, здатні вплинути на робочі характеристики датчиків. Наприклад, на виході п'єзоелектричного акселерометра можуть з'являтися паразитні сигнали через: різку зміну навколишньої температури, електростатичний розряд, утворення електричних зарядів (ефект трибоелектрики), вібрацію сполучних проводів, електромагнітну інтерференцію (ЕМІ) і т.п.

Температура навколишнього середовища впливає на робочі характеристики датчиків, тому завжди повинна братися до уваги. Робочий діапазон температур — це інтервал навколишніх температур, що задаються верхнім і нижнім граничними значеннями, усередині якого датчик працює із заданою точністю.

Похибка саморозігріву з'являється в датчиках, що нагріваються від сигналу збудження настільки, що це починає впливати на його точність. Наприклад, через термісторний датчик температури необхідно пропускати електричний струм, що приводить до розсіювання тепла усередині його конструкції. При цьому ступінь саморозігріву датчика залежить від його конструкційних особливостей і від умов навколишнього середовища: сухе повітря, рідина і т.д.

Саморозігрів датчика приводить до появи помилок при вимірі температури, оскільки термістор починає працювати як джерело додаткової теплової енергії. Найдужчий розігрів датчиків спостерігається

ся в середовищі стоячого повітря. Для термісторів виробники часто вказують погрішність саморозігріву при роботі в повітрі, стоячій рідині й інших середовищах. З метою зменшення погрішності саморозігріву переважніше використовувати високоомні датчики й датчики з низькою робочою напругою.

Надійність

Надійність - це здатність датчика виконувати необхідні функції при дотриманні певних умов протягом заданого проміжку часу . Якщо використовувати статистичні терміни, можна дати наступне визначення: *надійність* - це ймовірність того, що пристрій буде функціонувати без *поломок протягом* зазначеного інтервалу часу або заданої кількості циклів. Слід зазначити, що *надійність* не є характеристикою дрейфу або шуму. Вона відображує час до виходу пристрою з ладу (*відмови*), тимчасового або постійного при дотриманні регламентованих умов експлуатації.

Незважаючи на те, що *надійність* є дуже важливою характеристикою, вона рідко вказується виробниками датчиків. Можливо, причина цього полягає у відсутності загальноприйнятих способів її виміру. У США для багатьох електронних приладів у якості способу визначення експлуатаційної *надійності* застосовується процедура обчислення середнього часу між відмовами (СЧМВ), описана в стандарті MIL-HDBK-217. Ця процедура заснована на визначенні СЧМВ всього пристрою після обчислення СЧМВ його окремих елементів, при цьому необхідно враховувати вплив зовнішніх факторів: температури, тиску, механічних напруг, ступені екранування і т.д. На жаль, процедура знаходження СЧМВ не дозволяє оцінити *надійність* прямо, і таку характеристику важко застосовувати на практиці. Тому часто для визначення *надійності* датчиків їх піддають кваліфікаційним випробуванням, які проводяться в найгірших умовах.

Іншим можливим способом «прискороного старіння» є використання тієї ж самої сукупності параметрів, що й у реальних режимах експлуатації, включаючи максимальне навантаження й цикли включення/виключення, але перевірку системи проводити в розширених діапазонах навколишніх умов. При цьому допускається, щоб робочі характеристики датчиків виходили за межі, зазначені в їхніх описах, але в нормальних умовах експлуатації вони повинні повертатися до необхідних значень. Для оцінки кількості циклів (n) може застосовуватися наступна емпірична формула

$$n = N \left(\frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\text{test}}} \right)^{2/5},$$

де N — приблизна кількість циклів за весь експлуатаційний період, ΔT_{\max} — максимально можлива флуктуація температури, а ΔT_{test} — максимальна флуктуація температури, зафіксована під час тестування.

Наприклад, нехай нормальна робоча температура датчика дорівнює 25°C , максимальна робоча температура, зазначена в описі, становить 50°C , тестування проводилося при температурі 100°C . Також було оцінено, що датчик за період своєї експлуатації (допустимо, 10 років) зазнає 20000 робочим циклам, тоді кількість тестових циклів складе

$$n = 20000 \left(\frac{50 - 25}{100 - 25} \right)^{2/5} = 1283.$$

Це значить, що для тестування, що моделює весь строк експлуатації, проведеного при вищевказаних умовах, буде потрібно 1300 циклів замість 20000. Слід зазначити, що коефіцієнт 2.5 отриманий для місць з'єднання припою, оскільки саме ці елементи найбільш піддані виходу з ладу. Але деякі датчики не мають паяних з'єднань, а елементи інших пристроїв мають більш високий коефіцієнт, ніж 2.5 (наприклад, з'єднання за допомогою електропровідних епоксидних смол), тому на практиці цей коефіцієнт може або злегка знижуватися, або злегка збільшуватися. У результаті тестування на «прискорене старіння», надійність виражається через імовірність відмов. Наприклад, якщо при проведенні тестування 100 датчиків два з них вийшли з ладу (при оціненому терміні служби 10 років), можна стверджувати, що надійність даного типу пристроїв становить 98% протягом перших 10 років їх експлуатації. Датчик, залежно від області застосування, може зазнати впливу й інших факторів навколишнього середовища, які потенційно можуть міняти його робочі характеристики або допомагати виявляти приховані дефекти.

Характеристики датчиків, які обґрунтовані умовами їх застосування

Для можливості застосування в різних областях важливими стають наступні характеристики датчиків: їх *конструкція*, *вага* й *габарити*. Якщо для датчиків головними параметрами є точність і надійність, така характеристика, як *вартість* відходить на другий план.

Так якщо пристрої призначені для систем життєзабезпечення, оборонних комплексів або космічних кораблів, їх висока вартість завжди виправдана пропонованими вимогами по точності й надійності. Однак існує ряд інших областей застосування датчиків, де їх вартість є основною.

Статистична оцінка

У всіх компонентів будь-яких пристроїв існує дрейф характеристик, пов'язаний з навколишніми умовами й старінням. Зовнішні перешкоди можуть впливати на робочі параметри систем і міняти їхні вихідні сигнали. Будь-які вимірювальні комплекси складаються з безлічі компонентів, включаючи датчики. Тому незалежно від того, наскільки точно проводилися дослідження, можна говорити лише про приблизну оцінку значення реальної фізичної величини, що є об'єктом вимірів (тобто зовнішній вплив).

У зашумлених умовах показання датчика s' будуть відрізнятися від реального значення зовнішнього сигналу s на величину помилки виміру δ

$$\delta = s' - s .$$

Необхідно завжди чітко розуміти різницю між *погрішністю* вимірів, яку можна визначити за допомогою формули, вказаної вище, і *статистичною помилкою* результатів. Погрішність вимірів можна певною мірою знизити за рахунок коректування систематичних складових. Можна сказати, що погрішність вимірів — це те, що ми реально одержуємо під час проведення конкретних вимірів, а статистична помилка — це те, наскільки ми можемо повірити отриманим результатам.

Міжнародний Комітет з мір та ваги вважає, що статистичні помилки можна розділити на дві групи, хоча між групами А і Б немає чітких границь:

- Група А: похибки, оцінювані статистичними методами.
- Група Б: похибки, оцінювані іншими методами.

Статистична помилка типу А звичайно визначається по стандартному відхиленню s , рівному позитивному квадратному кореню зі статистично певної дисперсії $\sqrt{s^2}$, діленої на число вимірів n . Для окремих компонентів *стандартна* статистична помилка їх звичайно рівна s .

Для визначення статистичної помилки типу Б звичайно використовують усю доступну інформацію, що включає:

- Усі дані, отримані в попередніх вимірах,
- Знання, отримані з аналізу характеристик і поведінки аналогічних датчиків, використання подібних матеріалів і інструментів,
- Специфікації, видані виробником,
- Дані, отримані в процесі калібрування,
- Статистичні дані, отримані з довідників і іншої літератури.

Для одержання більш докладної інформації, пов'язаної з визначенням статистичних помилок вимірів, рекомендуємо звернутися до спеціалізованих літературних джерел, наприклад.

Після одержання оцінок усіх статистичних погрешностей їх необхідно об'єднати й визначити повну стандартну статистичну помилку. Це можна зробити за допомогою *закону поширення статистичних погрешностей*, який полягає в знаходженні квадратного кореня із суми квадратів усіх компонентів статистичних помилок

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2},$$

де n – число компонентів повної стандартної статистичної помилки.

4.4. Основні схеми включення вхідних пристроїв у АСК

Більшість варіантів включення вхідних комутаційних пристроїв у системи електроавтоматики можна представити декількома типовими схемами (рисунок 4.14):

Пряме включення (а) означає видачу в АСК логічної одиниці при впливі на вхідний пристрій (наприклад, при натисканні на кнопку оператором або при наїзді на кінцевий вимикач контрольованим рухливим об'єктом).

Інверсне включення (б) означає видачу в систему логічного нуля при тих же вхідних впливах.



Рисунок 4.14 – Схеми включення вхідних пристроїв у АСК

1. Включення контактних вхідних пристроїв у релейно-контактні схеми (РКС) проводиться шляхом безпосереднього послі-

довного й паралельного з'єднання їх замикаючих (рисунок 4.15,а) і розмикаючих (рисунок 4.15,б) контактів.

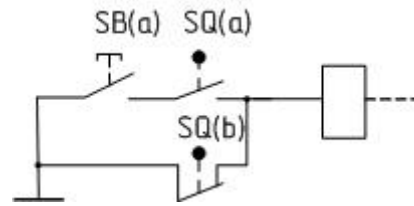


Рисунок 4.15 – Включення контактних входних пристроїв у РКС

2. Включення контактних входних пристроїв у безконтактні логічні схеми (БЛС) проводиться через резисторні схеми узгодження (рисунок 4.16 і 4.17).

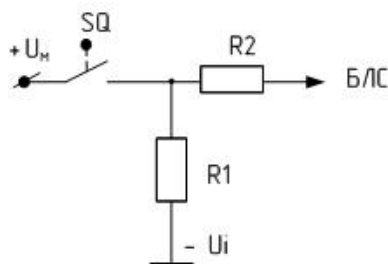


Рисунок 4.16 – Пряма схема включення: де резистор R1 захищає блок живлення при замиканні кінцевика й подає нульвий потенціал на БЛС при його розмиканні, а R2 обмежує вхідний струм БЛС

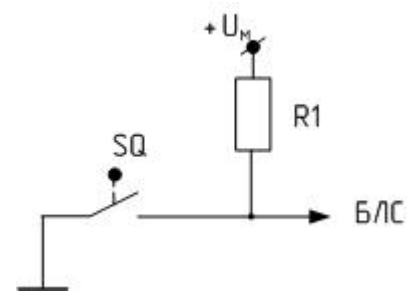


Рисунок 4.17 – Інверсна схема включення: де резистор R1 виконує всі функції попередньої схеми

3. Включення безконтактних входних пристроїв у РКС звичайно здійснюється через проміжні електромагнітні реле, контакти яких вбудовуються в схеми по розглянутому вище першому варіанту.

4. Включення безконтактних входних пристроїв у БЛС в основному здійснюється за допомогою розділових трансформаторів (рисунок 4.18.) і оптронної пари (рисунок 4.19).

Приклад реальної схеми підключення безконтактного індуктивного шляхового вимикача до БЛС на TTL-Мікросхемах наведений на рисунку 4.20.

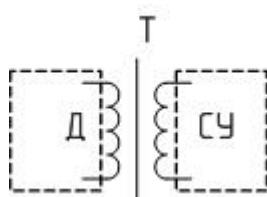


Рисунок 4.18 – Розділові трансформатори

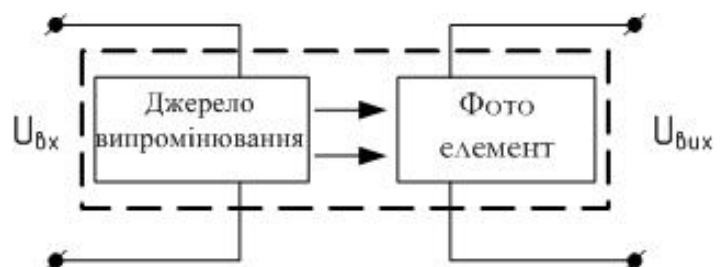


Рисунок 4.19 – Оптронна пара

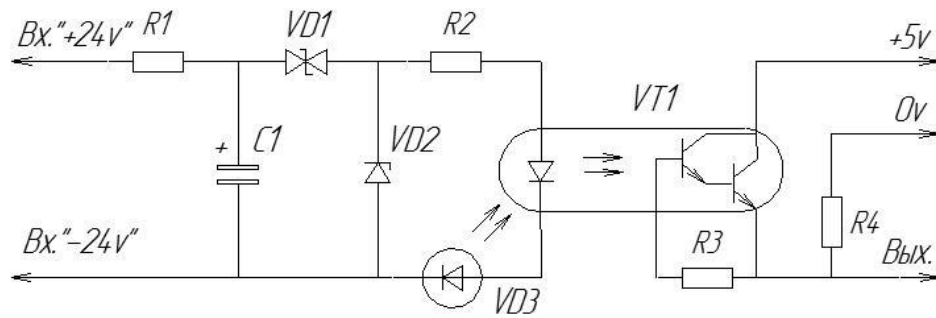


Рисунок 4.20 – Оптронна розв'язка

У схемі резистор R1 задає величину вхідного струму, необхідну для забезпечення режиму стабілізації елементів VD1 і VD2, а також разом з конденсатором C1 утворює RC-коло, що збільшує час реакції на передній фронт вхідного сигналу з метою усунення можливого «дрезігу» цього сигналу. Двоанодний стабілітрон VD1 підвищує поріг спрацьовування по вхідному колу, що необхідно при використанні безконтактних датчиків з високим рівнем залишкової напруги. Елементи R1, VD1 і VD2 утворюють параметричний стабілізатор напруги, призначений для живлення випромінювача оптрона VT1 і світлодіода VD3. Стабілітрон VD2 здійснює захист від пробую VT1 і VD3 при порушенні полярності вхідного сигналу. У якості гальванічної розв'язки застосований транзисторний оптрон VT1.

Контрольні питання

1. Наведіть визначення датчика. Чим відрізняється поняття датчика від вимірювального перетворювача?
2. Які датчики називають датчиками прямої дії? Які датчики називаються складними?
3. Перелічіть основні вимоги, що ставляться до електричних датчиків.
4. Які датчики називають пасивними, а які - активними?
5. Які датчики називають абсолютними, а які – відносними?
6. Що таке передаточна функція датчика?
7. Що називають діапазоном вимірюваних значень датчика і діапазоном вихідних значень?
8. Які характеристики впливають на точність датчиків?
9. Що таке зона нечутливості і розв'язна здатність датчика?
10. Що таке гістерезис датчика?

5. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ДАТЧИКИ

5.1. Загальні відомості

Зовсім нові можливості з'явилися в 80 -х роках ХХ століття, коли почалося серійне виробництво мікропроцесорів і *мікрокомп'ютерів*, що вміщалися вже на одному кристалику кремнію ("чипі"). Кожний з них – це маленький універсальний штучний електронний "мозок", який можна вмонтувати в *сенсор* і виконувати в ньому досить складну обробку первинної інформації. Тим самим склалися передумови для народження принципово нового класу сучасних "*інтелектуальних*" *сенсорів*.

Такі *сенсори*, як правило, є "активними", тобто не просто пасивно сприймають вплив, властивості, характеристики *об'єкта спостереження*, але й самі спеціальним чином впливають на *об'єкт*, сприймаючи й аналізуючи викликані цим зміни. Для них не є проблемою врахувати нелінійність характеристик *чутливих елементів*, різні виправлення й вплив сторонніх впливів (напр., зміни температури). Якщо потрібно, вони самі автоматично можуть повторити вимір, усереднити результати, перерахувати в інші одиниці виміру й т.п.

Функціональна схема "інтелектуального" сенсора показана на рисунку 5.1. Його "*інтелект*" зосереджений у мікрокомп'ютері МК (інші назви – *мікропроцесор*, *мікроконтролер*, *мікроконвертор*). МК не тільки обробляє інформацію, але й організовує всю роботу *сенсора* і його інформаційний зв'язок із зовнішнім світом – з *користувачем*, із зовнішнім комп'ютером, з каналом зв'язку або з комп'ютерною мережею. *Мікрокомп'ютер* при наявності відповідних закладених у його *пам'ять мікропрограм* може виконувати також самоконтроль, *контроль* усіх вузлів *сенсора* й видавати *користувачеві* попередження й *діагностичні повідомлення*. *Користувач* має можливість впливати на роботу *сенсора* через клавіатуру Кл, зокрема, вибирати й змінювати режими роботи, задавати або змінювати якісь уставки й параметри і т.д.

Інтелектуальний сенсор – це сенсор, що має у своєму складі *мікрокомп'ютер* і завдяки цьому здатний виконувати досить складну обробку первинної інформації; враховувати всі нелінійності й необхідні виправлення; видавати дані в найбільш зручній для *користувача* формі; активно впливати на *об'єкт спостереження*, сприймаючи й аналізуючи викликані цим зміни; робити самоконтроль і самодіагностику; накопичувати й систематизувати дані; підтримувати інформаційний зв'язок із зовнішнім світом; змінювати режими своєї роботи,

адаптуючись до мінливих умов; переходити до виконання інших функцій і т.д.

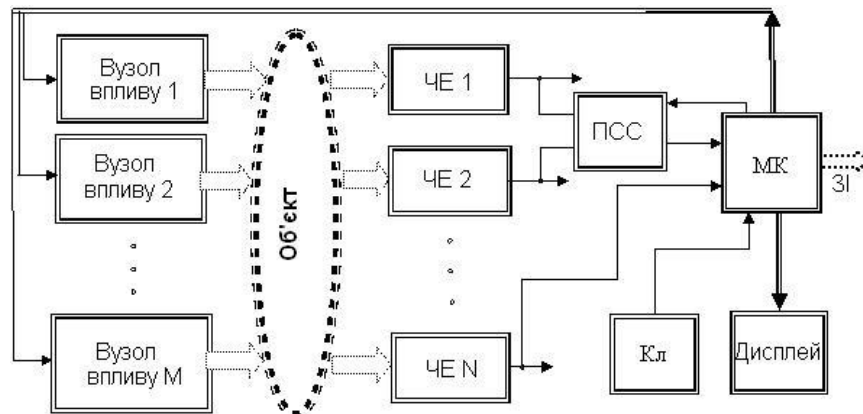


Рисунок 5.1 – Функціональна схема "інтелектуального" сенсора: ЧЕ – чутливі елементи; ПСС – підсилювачі-селектори сигналів; МК – мікрокомп'ютер; Кл – клавіатура; ЗІ – засоби індикації.

Сучасні датчики електричних величин являють собою складну систему різномірних компонентів – аналогових і цифрових електронних схем, алгоритмів виміру й конструктивних елементів.

Усе частіше в них вбудовуються **мікропроцесори**, що дозволяють за рахунок математичної обробки інформації безпосередньо в процесі виміру й активного керування виміром значно підвищити точність. Тенденція «інтелектуалізації» датчиків фізичних величин приводить до надзвичайного ускладнення процесу проектування, який носить системний характер і неможливий без використання засобів автоматизації. У той же час мікропроцесорні датчики, як об'єкти проектування, мають особливості, що утрудняють розвиток і застосування засобів автоматизованого проектування.

Переваги таких датчиків.

Особливості й переваги, одержувані від використання «інтелектуальних» датчиків пов'язані із залученням **обчислювальних ресурсів** у сам датчик.

Обробка даних проводиться в кожному індивідуальному датчику, на відміну від обробки в центральному контролері системи, як у більшості традиційних систем. При цьому інтелектуальний датчик поряд з одержанням звичайної корисної інформації може бути динамічно запрограмований залежно від змін у вимогах користувача. Це зменшує необхідність у дорогих, спеціально орієнтованих на даний

додаток датчиках, тому що дешеві програмувальні загальцільові датчики достатні для більшості додатків.

Застосування цифрових методів обробки інформації дозволяє підвищити не тільки якість вимірів, але й значно розширити функції приладів. Крім уже відомих можливостей (настроювання меж виміру, фільтрація сигналу, коректування погрішностей) з'являються й інші функції (реалізація функцій регуляторів, завдання припустимих значень, самодіагностика, збільшення обсягу переданої інформації з польових шин і ін.).

Інтелектуальні сенсори можна класифікувати, як і *прості датчики*, за призначенням, за класом точності або швидкодії, за габаритами та вагою, за діапазоном припустимих умов використання, за принципом дії та ін.

Які функції виконує «інтелект» датчика?

Інтелект датчиків, як правило, забезпечує **виконання деякої підмножини з наступних функцій:**

- автономний (необслуговуваний) режим роботи на протязі тимчасових періодів від кількох годин до кількох місяців;
- обробку й зберігання більших обсягів вхідних даних;
- високу стабільність метрологічних характеристик протягом тривалих інтервалів часу;
- стійкість до впливу внутрішніх, зовнішніх перешкод і збоїв;
- підвищення точності датчиків і корекція погрішностей;
- самотестування;
- самонавчання з елементами штучного інтелекту;
- комутація (інтерфейси передачі даних).

До додаткових функцій належать:

- забезпечення підвищеної надійності при роботі у важких кліматичних умовах;
- мінімізація енергоспоживання від автономних гальванічних джерел живлення;
- корекція погрішності й можливість автокалібровки вимірювальних каналів;
- апаратна й програмна фільтрація вхідного сигналу з метою зменшення перешкод;
- реалізація режиму періодичної подачі й відключення живлення;
- використання сторожового таймера для запобігання втрати програмного керування;

- використання статичних оперативних запам'ятовувальних пристроїв (ОЗУ) з резервуванням живлення;
- герметизація корпусу;
- багаторазовий вимір параметрів.

Особлива увага приділяється забезпеченню режиму мінімізації енергоспоживання за рахунок наступних засобів:

- використання елементної бази з малим енергоспоживанням;
- уведення в загальну структуру пристрою систем керування режимами енергоспоживання (наприклад, менеджерів живлення);
- вибір мінімальної тактової частоти контролера;
- використання режимів припинення, повної зупинки або вимикання живлення під час роботи відносно повільно діючих периферійних пристроїв;
- використання економічних перетворювачів постійної напруги.

Види перетворюючої апаратури в інтелектуальних датчиках

1. **Датчики, що мають аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) і інтерфейс для зв'язку з ПЕВМ типу RS-232, RS-422, RS-485.** Пристрої даного типу не мають вбудованого мікроконтролера й здійснюють тільки оцифровку аналогового сигналу з подальшою передачею на ПЕВМ.

2. **Датчики, що мають АЦП, мікроконтролер і інтерфейс зв'язки.** Такі пристрої здійснюють внутрішню корекцію одержуваного аналогового сигналу, а ряд з них уже використовують протоколи зв'язку типу Hart, Modbus і ін. Настроювання параметрів даних датчиків здійснюється в основному локально (вручну за допомогою комунікаторів різних типів).

3. **Датчики, що мають АЦП, мікроконтролер (або спеціалізований мікропроцесор) і дуплексний зв'язок з ПЕВМ.** Подібні пристрої мають в основному інтерфейс RS-485 і здійснюють зв'язок з ПЕВМ по протоколах більш високого рівня: Profibus, Fieldbus Foundation і ін. Дані прилади дозволяють операторові безпосередньо з пульта керування здійснювати настроювання їх параметрів і режимів роботи, проводити діагностику й калібрування. Це дає можливість виключити проміжні ланки в ланцюзі розподілених систем – програмно-логічні контролери, скоротити витрати на проводку, контактні з'єднання й спростити технічне обслуговування за рахунок дистанційної діагностики й конфігурування. Тому датчики цієї групи можна називати «інтелектуальними».

Одним з типових випадків застосування мікроконтролерів для рішення вимірювальних завдань є створення так званих інтелектуальних датчиків. Інтелектуальні датчики містять, як правило основні елементи, що зображені на рисунку 5.2.

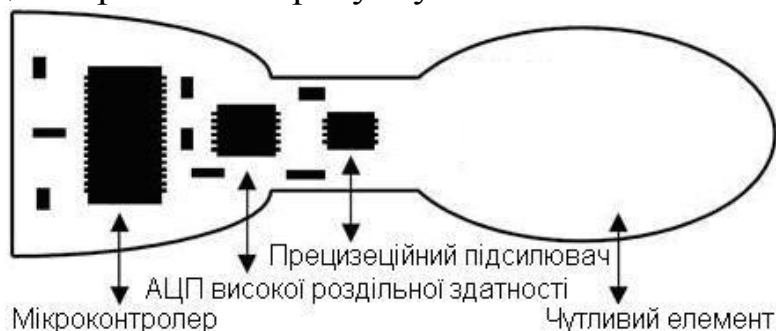


Рисунок 5.2 – Умовна будова інтелектуального датчика

У цей час випускаються мікроконтролери промислового стандарту, у яких усі пристрої обробки вимірювального сигналу об'єднані на одному кристалі. Як приклад можна привести пристрої фірми Analog Devices, називані мікроконвертерами: ADUC 812, 816, 834, 848 і ін. У цьому випадку структурна схема інтелектуального датчика спрощується за рахунок об'єднання функцій.

Датчики подібного типу можуть поєднуватися в мережу (рисунок 5.3).

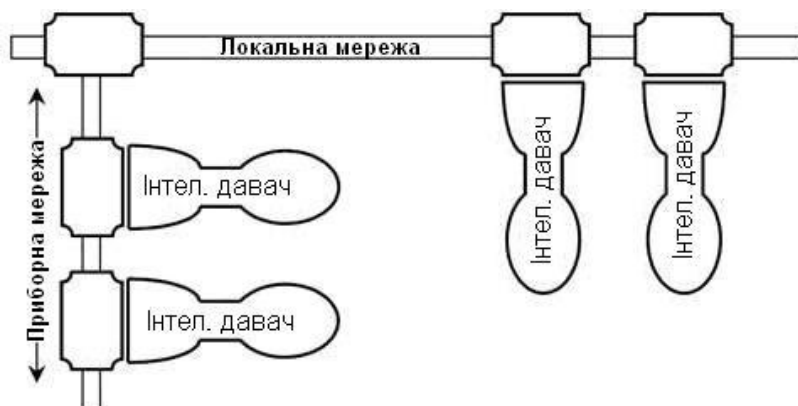


Рисунок 5.3 – Об'єднання інтелектуальних датчиків за допомогою мережних технологій

Одним з важливих завдань, розв'язуваних за допомогою мікроконтролера в інтелектуальних датчиках, є **корекція характеристики з метою компенсації погрешностей**.

В останні роки з'явився новий клас датчиків — так звані *інтелектуальні датчики*. На відміну від звичайних датчиків інтелектуальні датчики є пристроями зі зворотним зв'язком.

Вони здатні самостійно підбудуватися під умови експлуатації й постійно регулювати свою чутливість.

До інтелектуальних датчиків відносять датчики, що мають у своєму складі АЦП, спеціалізований мікропроцесор, мережний контролер для організації однобічного або двобічного зв'язку з ПЕВМ по інтерфейсах *RS-232*, *IW-485*, а також за допомогою протоколів більш високого рівня: *Profibus*, *Fieldbus Foundation*. Такі пристрої здійснюють внутрішню корекцію одержуваного аналогового сигналу; у них можуть використовуватися протоколи зв'язку типу *HART*, *Modbus* і ін. Налаштування параметрів і режимів роботи, діагностика й калібрування інтелектуальних датчиків здійснюється або локально, або безпосередньо з пульта керування.

Інтелект датчиків забезпечує виконання деякого набору з наступних функцій:

- 1) первинна обробка інформації в самому датчику;
- 2) тарировка характеристик для підвищення точності виміру;
- 3) перепрограмування характеристики перетворення;
- 4) нагромадження даних за певний час із їхньою прив'язкою до сітки часу для пакетної передачі інформації в цифровій формі;
- 5) самотестування;
- 6) формування вихідних даних в уніфікованій аналоговій і/або цифровій формі;
- 7) реалізація режиму періодичної подачі й відключення живлення і інших способів мінімізації енергоспоживання;
- 8) використання сторожового таймера для запобігання втрати програмного керування;
- 9) передача даних у цифровій формі по уніфікованому радіоканалу.

Загальна структурна схема інтелектуального датчика показана на рисунку 5.4.

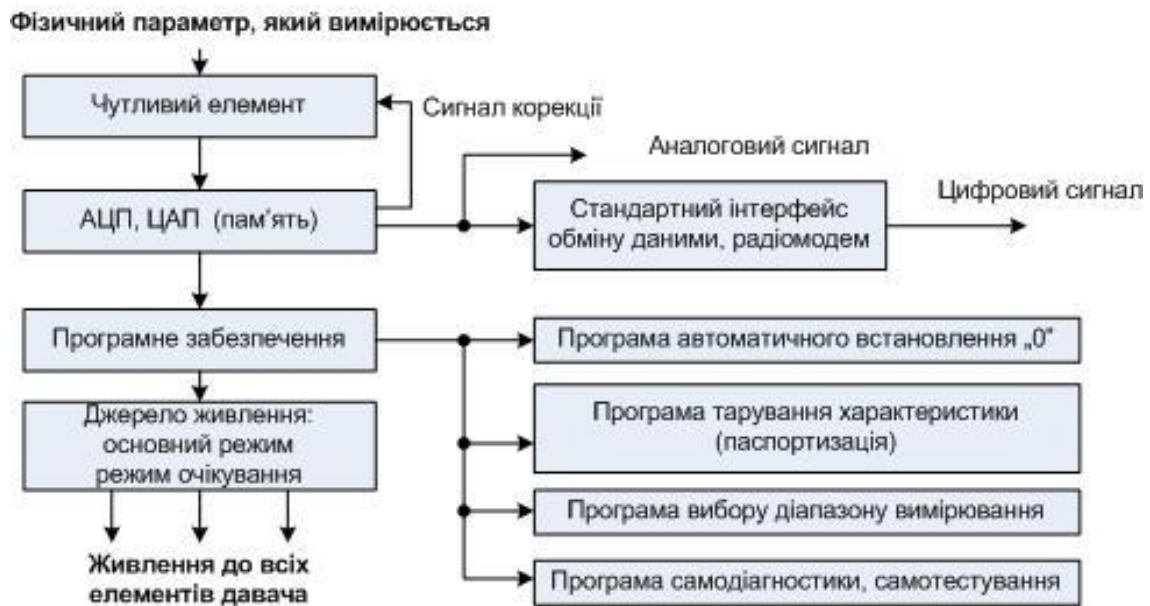


Рисунок 5.4 – Загальна структурна схема інтелектуального датчика

Вимірюваний фізичний параметр сприймається чутливим елементом, на виході якого виникає електричний сигнал, відповідний до значення параметра. У пам'яті датчика втримується еталонна (паспортна) характеристика перетворення. За допомогою однієї з підпрограм вона порівнюється з поточною характеристикою датчика, і за результатами цього порівняння в результат виміру вноситься корекція (виправлення). Залежно від того, до складу якої системи автоматизації входить датчик, використовується або аналоговий вихідний сигнал, або цифровий. Передача цифрових даних здійснюється або по тій же парі провідників, за допомогою якої подається напруга живлення і яка використовується для передачі вихідного аналогового сигналу, або через загальну для ряду датчиків цифрову провідну мережу. У випадку значного видалення датчиків від основних засобів системи автоматизації датчик за допомогою окремих спеціальних засобів телемеханіки може спілкуватися з контролером по радіоканалу.

Таким чином, у порівнянні зі звичайними, традиційними датчиками сучасні інтелектуальні датчики забезпечують:

- 1) різке зменшення викривлень вимірювальної інформації на шляху від датчика до контролера ;
- 2) збільшення надійності виміру завдяки самодіагностиці датчиків;
- 3) можливість використання принципів виміру, що вимагають досить складної обчислювальної обробки вихідних сигналів;

- 4) можливість побудови мультисенсорних датчиків ;
- 5) можливість проведення всієї необхідної первинної переробки вимірювальної інформації в датчику;
- 6) можливість передачі в систему автоматизації не тільки поточного значення вимірюваної величини, але й додаткових сигналів;
- 7) наявність у датчику бази даних для зберігання значень вимірюваної величини за заданий тривалий інтервал часу;
- 8) можливість дистанційно з пульта оператора в оперативному режимі вибрати діапазон виміру датчика, установлювати нуль приладу;
- 9) можливість шляхом програмування роботи датчика на досить простій технологічній мові реалізовувати в ньому прості алгоритми регулювання, програмного керування, блокувань механізмів;
- 10) можливість будувати досить прості ланцюги регулювання, програмного керування, блокувань на самому нижньому рівні керування із трьох компонентів: інтелектуальних датчиків, польової мережі й інтелектуальних виконавчих механізмів.

5.2. Активні й пасивні сенсори

Дотепер ми розглядали приклади *простих сенсорів*, які тільки реагують на вплив з боку *об'єкта спостереження*. Такі *сенсори* називають "*пасивними*". На відміну від них "*активні*" *сенсори* самі якимсь **спеціальним чином впливають на об'єкт спостереження (предмет або процес) і сприймають викликані цим зміни**.

Функціональна схема таких *сенсорів* показана на рисунку 5.5. Одним із прикладів може бути *тонометр* – *сенсор* артеріального тиску крові. Вузлом впливу на *об'єкт* є в ньому манжета, яка накладається на плече або на передпліччя й створює всебічний тиск на біотканину і кровеносні судини. Задатчиком впливу є надувна гумова "груша" або мініатюрний компресор. Чутливим елементом і одночасно підсилювачем сигналів служить *стетоскоп*, який приставляють до артерії, розташованої *по* напрямкові струму крові за манжетою.

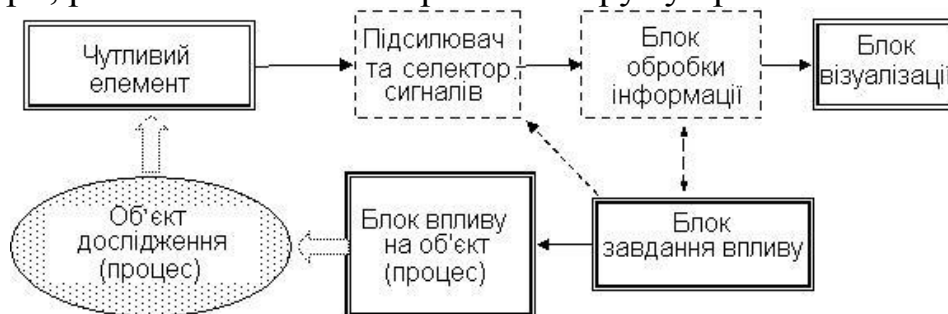


Рисунок 5.5 – Функціональна схема "активного" сенсора

Інший приклад "активного" сенсора приведемо з області фізіології рослин. Там у свій час з'явилася необхідність визначати об'ємний *потік* рідини крізь стебло або *по* гілках рослини й зміни цього потоку згодом. Вирішене це завдання було так. На стебло (гілку) в одному з місць устанавлюють тонкий нагрівач, наприклад, вольфрамовий дріт, крізь який пропускається електричний струм. Нагріваючи гілку в місці свого розташування, нагрівач разом з нею нагріває й рідину, що тече *по* гілці, до фізіологічно припустимої температури, наприклад, до 39-40 °С. Нагрівач і є в цьому випадку вузлом впливу на *об'єкт*. Датчиком впливу служить регульоване джерело струму через нагрівач. Далі *по* ходу руху рідини уздовж стебла на відстані порядку сантиметра встановлюють другий термочутливий елемент (термістор, *термопару*). Сигнал від нього підсилюють, фільтрують *по* частоті й подають в електронний вузол обробки інформації. Там визначається *різниця* температур гілки в місцях нагрівання й контролю. Чим сильніше *потік* рідини, тим більше тепла переносить із собою рідина, і тем менше *різниця* температур. Таким чином, *по* зміні різниці температур визначають зміни об'ємного потоку рідини усередині стебла (гілки).

5.3. Сенсорно-комп'ютерні системи

З появою в другій половині минулого століття електронних обчислювальних машин з'явилася й можливість виконувати досить складну обробку первинної інформації, одержуваної від *сенсора*. У зв'язку із цим інженери й учені почали створювати "розумні" *сенсорно-комп'ютерні системи* (рисунок 5.6). *Сенсори* тут відіграють роль зовнішніх "органів почуттів" комп'ютера, поставляючи йому первинну інформацію. Складну її обробку, підготовку до видачі отриманих результатів у найбільш зручній для *користувача* формі, її *документування*, систематизацію, упакування й тривале зберігання виконує *комп'ютер*.

Ще одним прикладом є пасивні комп'ютерні системи охорони й відеоспостереження. *Чутливими елементами* в них служать відеокамери й датчики наближення, присутності, зміни обстановки. Сигнали від датчиків і отримані зображення передаються в *комп'ютер*, де вони маркуються вказівкою місця виявлення й поточного часу. Далі вони обробляються, співставляються між собою й зі стандартними сигналами, зафіксованими в пам'яті. У випадку виявлення тривожних змін *комп'ютер* фіксує їх у своїй довгочасній пам'яті й виробляє сиг-

нали залучення уваги службовців, а на *монітор* виводиться полієкранна *інформація*.

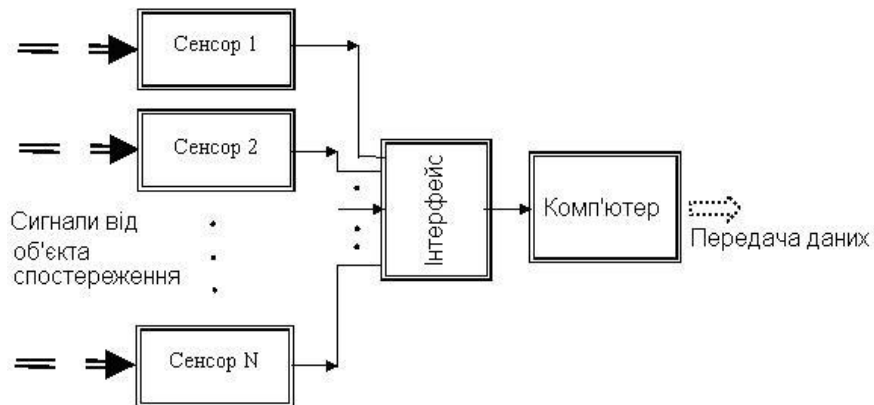


Рисунок 5.6 – Структура "пасивної" сенсорно-комп'ютерної системи

Структура "активних" *сенсорно-комп'ютерних систем* наведена на рисунку 5.7. Тут до складу системи входять також засоби впливу на досліджуваний *об'єкт* або процес. Цими засобами управляє *комп'ютер*, який може автоматично змінювати динаміку, інтенсивність і склад впливів залежно від даних, що вводяться від *сенсорів*. Одним із прикладів такої системи є комп'ютерні томографи. Об'єктом дослідження для них є головний мозок або інша частина людського тіла. У якості вузлів впливу використовуються точкові джерела рентгенівського випромінювання, місце розташування яких можна міняти щодо досліджуваної частини тіла. У якості *сенсорів* використовують детектори рентгенівського випромінювання, розташовані в одній площині в різних напрямках і під різними кутами.

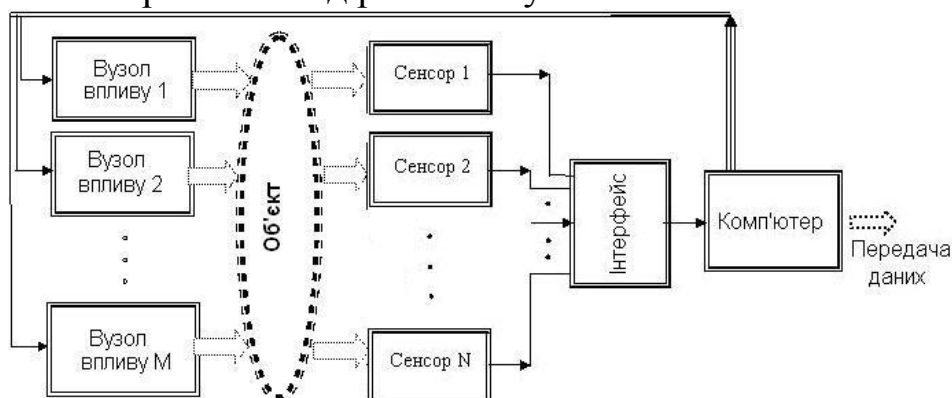


Рисунок 5.7 – Структура "активної" сенсорно-комп'ютерної системи

У сучасних томографах, які стали могутнім засобом діагностики захворювань, застосовують уже сотні таких детекторів одночасно. Високопродуктивний *комп'ютер* на основі великого масиву даних, отриманих багатьма детекторами під різними кутами, виконує складні

обчислення, визначаючи *за* цими даними розподіл щільності живих тканин у відповідному перетині тіла. Отримані зображення й обчислені показники видаються лікарям. За допомогою комп'ютера лікар, який проводить дослідження, залежно від мети може змінювати режими роботи, переміщати вузли впливу й масиви *сенсорів* щодо людського тіла, одержуючи зображення його внутрішньої структури також і в інших перетинах, і т.д. У такий спосіб ("*перетин* за перетином") може бути отримана замірна картина внутрішньої будови досліджуваного органа. Одним із засобів впливу може бути також введення в організм людини контрастних речовин, що суттєво підвищують контрастність зображень, що й дозволяють досліджувати також і динаміку фізіологічних процесів.

5.4. Параметри аналогових і дискретних сигналів

Сигнал (у теорії інформації й зв'язки) — матеріальний носій інформації, використовуваний для передачі повідомлень у системі зв'язку. Сигнал може генеруватися, але його приймання не обов'язкове, на відміну від повідомлення, яке повинне бути прийняте стороною, що ухвалює, інакше воно не є повідомленням. Сигналом може бути будь-який фізичний процес, параметри якого змінюються відповідно до переданого повідомлення.

Сигнал, детермінований або випадковий, описують математичною моделлю, функцією, що характеризує зміну параметрів сигналу. Математична модель представлення сигналу, як функції часу, є основою концепцією теоретичної радіотехніки для аналізу і синтезу радіотехнічних пристроїв і систем.

Класифікація сигналів

По фізичній природі носія інформації:

- електричні;
- електромагнітні;
- оптичні;
- акустичні
- і ін.;

За способом завдання сигналу:

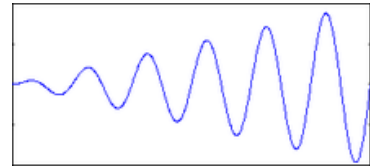
- регулярні (детерміновані), задані аналітичною функцією;
- нерегулярні (випадкові) довільні значення, що приймають, у будь-який момент часу. Для опису таких сигналів використовується апарат теорії ймовірностей.

Залежно від функції, що описує параметри сигналу, виділяють аналогові, дискретні, квантовані й цифрові сигнали:

- безперервні (аналогові), описувані безперервною функцією;
- дискретні, описувані функцією відліків, узятих у певні моменти часу;
- квантування за рівнем;
- дискретні сигнали, квантування за рівнем (цифрові).

Аналоговий сигнал (АС)

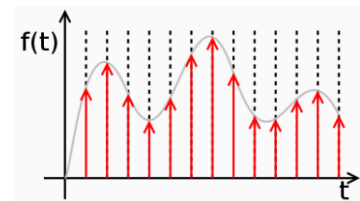
Більшість сигналів мають аналогову природу, тобто змінюються безупинно в часі й можуть приймати будь-які значення на деякому інтервалі. Аналогові сигнали описуються деякою безперервною математичною функцією часу.



Аналогові сигнали використовуються в телефонії, радіомовленні, телебаченні. Увести такий сигнал у комп'ютер і обробити його неможливо, тому що на будь-якому інтервалі часу він має нескінченну безліч значень, а для точного (без похибки) представлення його значення потрібні числа нескінченної розрядності. Тому необхідно перетворити аналоговий сигнал так, щоб можна було представити його послідовністю чисел заданої розрядності.

Дискретний сигнал

Дискретизація аналогового сигналу полягає в тому, що сигнал представляється у вигляді послідовності значень, узятих у дискретні моменти часу. Ці значення називаються відліками. Δt називається інтервалом дискретизації.



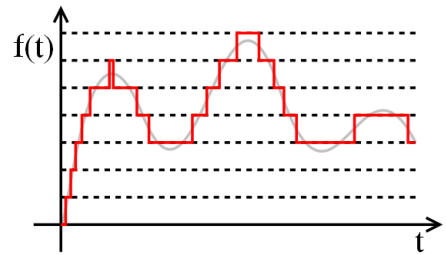
Частота дискретизації (або частота семплування, англ. sample rate) — частота узяття відліків безперервного в часі сигналу при його дискретизації (зокрема, аналого-цифровим перетворювачем). Вимірюється в Герцах.

Термін застосовується й при зворотному, цифро-аналоговому перетворенні, особливо якщо частота дискретизації прямого й зворотного перетворення обрана різна (Дане приймання, називане також «Масштабуванням часу», зустрічається, наприклад, при аналізі над низькочастотних звуків).

Чим вище частота дискретизації, тим більше широкий спектр сигналу може бути представлений у дискретному сигналі. Для того, щоб однозначно відновити вихідний сигнал, частота дискретизації повинна більш ніж у два рази перевищувати найбільшу частоту в спектрі сигналу.

Квантований сигнал

При квантуванні вся область значень сигналу розбивається на рівні, кількість яких повинна бути презентована в числах заданої розрядності. Відстані між цими рівнями називаються кроком квантування Δ . Число цих рівнів дорівнює N (від 0 до $N-1$). Кожному рівню привласнюється деяке число. Відліки сигналу рівняються з рівнями квантування й у якості сигналу вибирається число, відповідне до деякого рівня квантування. Кожний рівень квантування кодується двійковим числом з n розрядами. Число рівнів квантування N і число розрядів n двійкових чисел, що кодують ці рівні, зв'язані співвідношенням $n \geq \log_2(N)$.



Квантування (англ. Quantization) — в інформатиці розбивка діапазону значень безперервної або дискретної величини на кінцеве число інтервалів. Існує також векторне квантування — розбивка простору можливих значень векторної величини на кінцеве число областей. Найпростішим видом квантування є розподіл цілочисельного значення на натуральне число, називане коефіцієнтом квантування.

Не слід плутати квантування з дискретизацією (і, відповідно, крок квантування із частотою дискретизації). При дискретизації мінлива в часі величина (сигнал) замірється із заданою частотою (частотою дискретизації), таким чином, дискретизація розбиває сигнал по тимчасовій складовій (на графіку — по горизонталі).

При оцифруванні сигналу рівень квантування називають також глибиною дискретизації або бітністю. Глибина дискретизації вимірюється в бітах і позначає кількість біт, що виражають амплітуду сигналу. Чим більше глибина дискретизації, тим точніше цифровий сигнал відповідає аналоговому. У випадку однорідного квантування глибину дискретизації називають також динамічним діапазоном і вимірюють у децибелах.

Види квантування

Однорідне (лінійне) квантування — розбивка діапазону значень на відрізки рівної довжини. Його можна представляти як розподіл вихідного значення на постійну величину (крок квантування) і узяття цілої частини від частки.

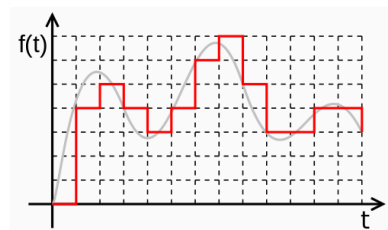
Квантування за рівнем — представлення величини відліків цифровими сигналами. Для квантування у двійковому коді діапазон на-

пруги сигналу від U_{\min} до U_{\max} ділиться на 2^n інтервалів. Величина інтервалу, що вийшла (крок квантування):

Кожному інтервалу привласнюється розрядний двійковий код — номер інтервалу, записаний двійковим числом. Кожному відліку сигналу привласнюється код того інтервалу, у який попадає значення напруги цього відліку. Таким чином, аналоговий сигнал представляється послідовністю двійкових чисел, відповідних до величини сигналу в певні моменти часу, тобто цифровим сигналом. При цьому кожне двійкове число представляється послідовністю імпульсів високого (1) і низького (0) рівня.

Цифровий сигнал

Цифровий сигнал — сигнал даних, у якого кожний з параметрів, що представляють, описується функцією дискретного часу й кінцевою безліччю можливих значень.



Сигнали являють собою дискретні електричні або світлові імпульси. При такому способі вся ємність комунікаційного каналу використовується для передачі одного сигналу.

Дискретний цифровий сигнал складніше передавати на більші відстані, ніж аналоговий сигнал, тому його попередньо модулюють на стороні передавача, і демодулюють на стороні приймача інформації. Використання в цифрових системах алгоритмів перевірки й відновлення цифрової інформації дозволяє суттєво збільшити надійність передачі інформації.

Слід мати на увазі, що реальний цифровий сигнал по своїй фізичній природі є аналоговим. Через шуми й зміни параметрів ліній передачі він має флуктуації по амплітуді, фазі/частоті, поляризації. Але цей аналоговий сигнал (імпульсний і дискретний) наділяється властивостями числа. У результаті для його обробки стає можливим використання чисельних методів (комп'ютерна обробка).

Важливою властивістю цифрового сигналу, що визначив його домінування в сучасних системах зв'язку, є його здатність до повної регенерації аж до деякого граничного відношення сигнал/шум, у той час як аналоговий сигнал вдається лише підсилити разом з накладеними на нього шумами. Тут же криється й недолік цифрового сигналу: якщо цифровий сигнал потопав в шумах, відновити його неможливо (ефект крутої скелі (англ.)), у той час як людина (не машина) може засвоїти інформацію із сильно зашумленого сигналу на аналоговому радіоприймачі, хоча й із труднощами. Якщо порівнювати сті-

льниковий зв'язок аналогового формату (AMPS, NMT) із цифровим зв'язком (GSM, CDMA), то при перешкодах на цифровій лінії з розмови випадають часом цілі слова, а на аналоговій можна звістці розмова, хоча й з перешкодами. Вихід з даної ситуації - частіше регенерувати цифровий сигнал, вставляючи регенератори в розрив лінії зв'язку, або зменшувати довжину лінії зв'язку (наприклад, зменшувати відстань від стільникового телефону до базової станції (БС), що досягається більш частим розташуванням БС на місцевості).

Сигнал і подія

Подія (одержання записки, спостереження сигнальної ракети, приймання символу по телеграфу) є сигналом тільки в тій системі відносин, у якій повідомлення зорієнтується значимим. Очевидно, що сигнал, заданий аналітично, подією не є й не несе інформацію, якщо функція сигналу і її параметри відомі спостерігачеві.

У техніці сигнал завжди є подією. Інакше кажучи, подія — зміна стану будь-якого компонента технічної системи, що зорієнтується логікою системи як значиме, є сигналом. Події, які не розпізнаються даною системою логічних або технічних відношень як значущі – не є сигналом.

Уявлення сигналу й спектр

Є два способи представлення сигналу залежно від області визначення: тимчасовий і частотний. У першому випадку сигнал представляється функцією часу $f(t)$, що характеризує зміну його параметра.

Крім звичного тимчасового представлення сигналів і функцій при аналізі й обробці даних широко використовується опис сигналів функціями частоти. Дійсно, будь-який як завгодно складний за своєю формою сигнал можна представити у вигляді суми більш простих сигналів, і, зокрема, у вигляді суми найпростіших гармонійних коливань, сукупність яких називається частотним спектром сигналу.

Для переходу до частотного способу представлення використовується перетворення Фур'є:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$$

Функція $S(\omega)$ називається спектральною функцією або спектральною щільністю.

Оскільки спектральна функція $S(\omega)$ є комплексною, то можна говорити про спектр амплітуд $|S(\omega)|$ і спектр фаз $\phi(\omega) = \arctg(S(\omega))$. Фізичний зміст спектральної функції: сигнал $f(t)$ представляється у вигляді суми нескінченного ряду гармонійних складових (синусоїд) з амплітудами $\frac{|S(\omega)|}{\pi} d\omega$, що безупинно заповнюють інтервал частот від 0 до ∞ , і початковими фазами $\phi(\omega)$.

Розмірність спектральної функції є розмірність сигналу, помножена на час.

Параметри сигналів

- *Потужність сигналу* $P(t) = s^2(t)$
- *Питома енергія сигналу* $E = \int_{-\infty}^{+\infty} s^2(t) dt$
- *Тривалість сигналу* T визначає інтервал часу, протягом якого сигнал існує (відмінний від нуля);
- *Динамічний діапазон* є відношення найбільшої миттєвої потужності сигналу до найменшої: $D = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}}$
- *Ширина спектра сигналу* F — смуга частот, у межах якої зосереджена основна енергія сигналу;
- *База сигналу* є добуток тривалості сигналу на ширину його спектра $B = TF$. Необхідно відзначити, що між шириною спектра й тривалістю сигналу існує обернено пропорційна залежність: чим коротше спектр, тим більше тривалість сигналу. Таким чином, величина бази залишається практично незмінною;
- Відношення *сигнал/шум* дорівнює відношенню потужності корисного сигналу до потужності шуму;
- *Обсяг переданої інформації* характеризує пропускну здатність каналу зв'язку, необхідну для передачі сигналу. Він визначається як добуток ширини спектра сигналу на його тривалість і динамічний діапазон $B = TF$.

Контрольні питання

1. Поясніть поняття інтелектуального сенсору. Які його переваги?
2. З яких вузлів і елементів складається функціональна схема інтелектуального сенсору?
3. Які основні функції виконує інтелект датчика?
4. Які сенсори називають активними? З яких блоків і елементів вони складаються?
5. Яка структура пасивної сенсорно-комп'ютерної системи? Наведіть приклад.
6. Яка структура активної сенсорно-комп'ютерної системи? Наведіть приклад.
7. Наведіть визначення сигналу в теорії інформації і зв'язку.
8. Як класифікують сигнали залежно від функції, що описує параметри сигналу?
9. Який сигнал називають аналоговим, а який – дискретним?
10. В чому полягає процедура квантування сигналу?

6. ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

6.1. Лінії зв'язку вимірювальних пристроїв

У даному розділі будуть розглянуті лінії зв'язку для вимірювальних пристроїв з аналоговими вихідними сигналами. Лінія зв'язку вимірювального пристрою виконує функції:

передача інформаційного сигналу від датчика до апаратури здійснюючої обробку й використання інформації (ПЗО, контролер, регулятор...);

передача електричної енергії для живлення датчика.

При підключенні вимірювальних пристроїв з аналоговими вихідними сигналами застосовують: чотирипровідні, трипровідні й двопровідні лінії зв'язку.

6.1.1. Чотирипровідна лінія зв'язку

Використовує два окремі проведення для передачі живлення й два окремі проведення для передачі інформаційного сигналу. На рисунку 6.1. у верхній частині умовно зображений вимірювальний перетворювач, кабель зв'язку, вторинний перетворювач у вигляді вимірника-регулятора, у нижній частині структурної схеми чотирипровідне підключення вимірювального пристрою.

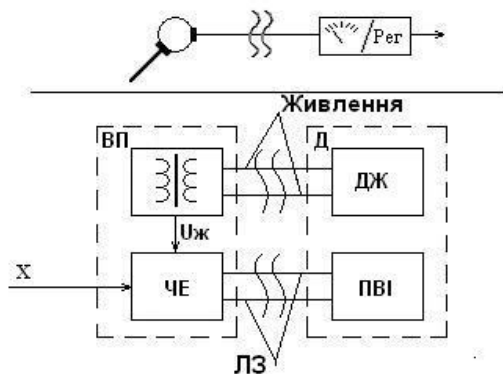


Рисунок 6.1 – Структурно -функційна схема чотирипровідної лінії зв'язку: ВП – вимірювальний пристрій; ЧЕ – чутливий елемент; х – вимірюваний фізичний параметр; ДЖ – джерело живлення; ПВІ – пристрій відображення інформації; Уж – напруга живлення; ЛЗ – лінії зв'язку.

Позначення трансформатора вказує на можливість застосування гальванічного поділу по живленню. Переваги:

- дозволяє передавати всі відомі стандартні електричні сигнали;
- можливість застосування усередині ВП блоки гальванічного поділу (виключення впливу живильного сигналу, можливість підключення великої кількості різних споживачів інформації, забезпечення безпеки сигнальних ланцюгів і обслуговуючого персоналу від впливу живлячого напруги).

Недоліки: висока вартість лінії зв'язку.

Висновок: необхідно зменшити кількість проводів шляхом ускладнення ВП і ЧЕ.

6.1.2. Трипровідна лінія зв'язку

Використовує одне окреме проведення для передачі живлення, одне окреме проведення для передачі інформаційного сигналу й одне проведення загальне. На рисунку 6.2 у верхній частині умовно зображений вимірювальний перетворювач, кабель зв'язку, вторинний перетворювач у вигляді вимірника-регулятора, у нижній частині структурної схеми трипровідне підключення вимірювального пристрою.

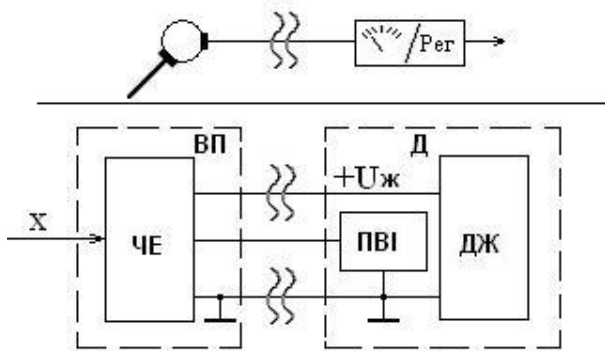


Рисунок 6.2 – Структурно – функційна схема трипровідної лінії зв'язку

Зображена на рисунку 6.2 лінія зв'язку використовується для передачі сигналів напруг. У цьому випадку загальна шина є провідником передачі електричної потужності до вимірювального перетворювача й також є провідником для передачі інформаційного сигналу. Через це загальне проведення може бути джерелом погрішності, тому що струм живлення створює спадання напруги на опорі цього проведення.

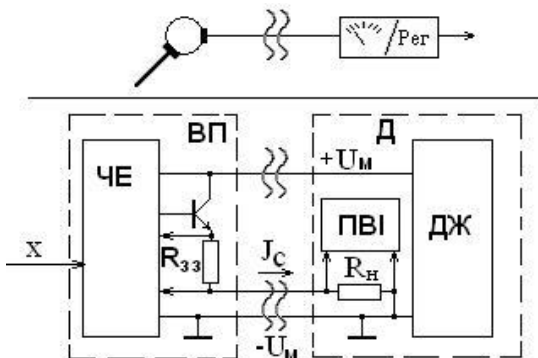


Рисунок 6.3

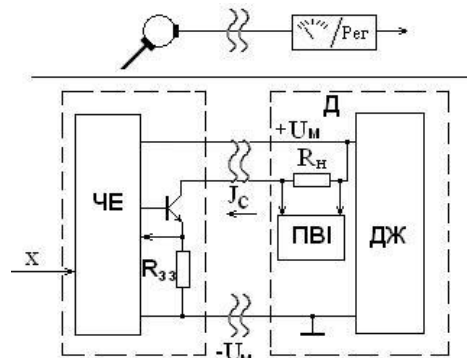


Рисунок 6.4

На рисунках 6.3 і 6.4 зображені трипровідні схеми для передачі сигналів струму, перша із загальним плюсом, друга - із загальним мінусом.

Вимірювальний пристрій перетворить вхідну фізичну величину x у сигнал струму на виході. Стабілізація струму J_c на виході здійснюється за допомогою датчика струму $R_{зз}$, що формує сигнал зворотного зв'язку (ЗЗ). Управляючи транзистором (див. рисунок вище), його струмом бази, ВП регулює струм J_c . На стороні вторинного перетворювача струм сигналу J_c перетвориться в напругу сигналу для УОИ.

У першому випадку струм сигналу протікає по проведенню $+U_{П}$ і вертається по проведенню J_c через резистор, що нормує, $R_{н}$. На стороні вторинного перетворювача опір, що нормує, $R_{н}$, перетворить сигнал струму в сигнал напруги.

Перевага трипровідної лінії зв'язку в тому, що вона виходить дешевше, дозволяє передавати будь-які аналогові стандартні електричні сигнали, має меншу кількість проводів, а недолік у тому, що неможливо застосувати гальванічний поділ сигнальних і живильних ланцюгів, тому що вони використовують загальні проведення.

6.1.3. Двопровідна лінія зв'язку

Використовує тільки два проведення для передачі живлення датчику й одночасно для передачі інформаційного сигналу в пристрої обробки інформації. На рисунку 6.5 зображена структурна схема двопровідного підключення вимірювального пристрою.

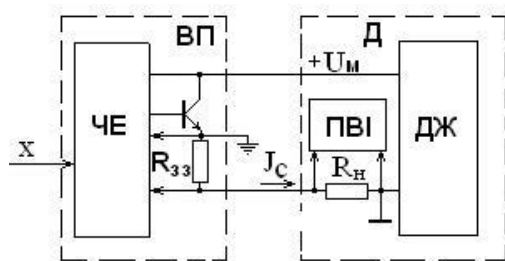


Рисунок 6.5

Робота схеми. Вимірювальний пристрій при нульовому вхідному фізичному впливі формує сигнал 4 мА, відповідний до нульового значення вихідного інформаційного сигналу. При зміні вимірюваної фізичної величини від нуля (початок) до максимуму діапазону виміру струмовий сигнал на виході змінюється від 4 мА до 20 мА. Схема виміру вихідного струму вимірювального перетворювача знімає сигнал з $R_{зз}$, обчислює неузгодженість і формує керуючий сигнал на транзистор для стабілізації необхідного струму (перетворювач компенсаційного типу). Нульовий сигнал 4 мА може складатися як сума струмів X мА – струм через ВП і струм через опір зворотного зв'язку $R_{зз}$, рівний також Y мА, які в сумі дадуть 4 мА. При зміні вимірюваної фізичної

величини зміниться й струм на виході. Наприклад, при збільшенні вхідного фізичного параметра до 50% від діапазону, вихідний струм буде рівний 12 мА, і буде стабілізуватися схемою компенсаційного типу на даному рівні. Це значить, що виникає додатковий струм через транзистор, рівний 8 мА.

$R_{\text{норм}}$ необхідний для перетворення струму в напругу. У якості його застосовується резистор, що має стабільний опір, що мало залежить від температури, вологості, не підданий старінню і т. Д. Наприклад, береться резистор за ДСП номіналом 200..250 Ом.

Переваги: дана схема використовує мінімальну кількість проводів.

Недоліки:

- зі стандартних сигналів схема застосовна тільки для сигналу струму 4-20 мА;
- неможливість гальванічного поділу кола живлення й кіл сигналу, тому що й живлення, і сигнал передаються по одному колу.

Незважаючи на зазначені недоліки, двопровідне включення вимірювальних пристроїв широко поширене. Це зв'язане також з популярністю стандарту 4-20 мА.

6.1.4. Характеристики лінії зв'язку

Лінії зв'язку вимірювальних пристроїв із сигналами струму й із сигналами напруги відрізняються одна від одної тим, що фактори зовнішнього середовища, що збурюють, виявляють на них різний вплив.

ЛЗ напруги. Представимо лінію зв'язку із сигналом напруги схемою заміщення (рисунок 6.6). Тут у схемі протікають струми: $I_{\text{вих}}$ – струм, що протікає через навантаження (через ПВІ), $I_{\text{в}}$ – струм витоку, що протікає як правило через ізоляцію кабелів.

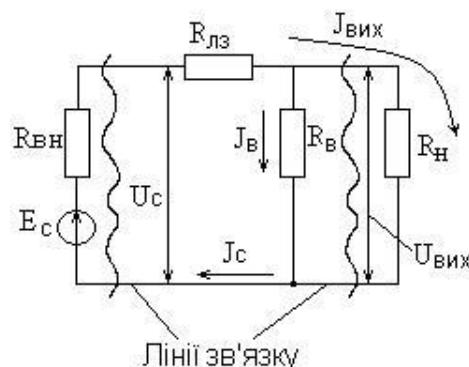


Рисунок 6.6 – Схема електрична розрахункова лінії зв'язку по напрузі: E_c – джерело сигналу; $R_{\text{вн}}$ – внутрішній опір джерела сигналу,

в ідеального джерела напруги $R_{вн} \rightarrow 0$, у реального воно становить $1 \div 10$ Ом; $R_{лс}$ (опір лінії зв'язку) – $0 \div 10$ Ом; $R_{в}$ (опір витоку) – 1 МОм і більше; $R_{н}$ (опір навантаження) – 10 КОм й більше; $U_{с}$ – вихідний сигнал вимірювального пристрою, а $U_{вих}$ – напруга на виході ЛЗ, або сигнал на вході пристрою обробки інформації; $R_{н}$ – опір приймача.

Вплив опорів лінії зв'язку й витоку (рисунок 6.7)

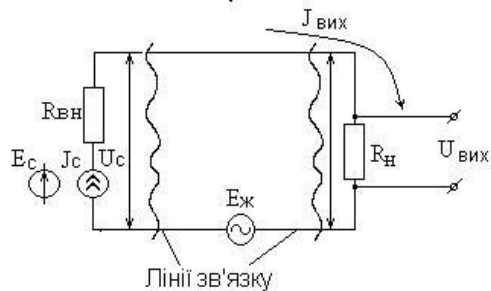


Рисунок 6.7

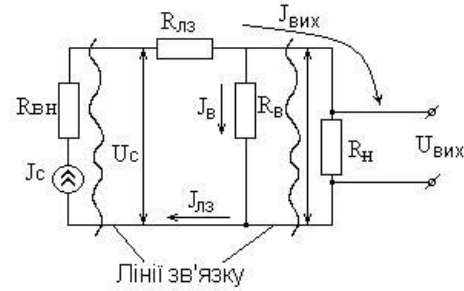


Рисунок 6.8

Вираз для $U_{вих}$:

$$U_{вих} = \varepsilon - J_{вих} \cdot R_{вн} - J_{вих} \cdot R_{лс} - J_{у} \cdot R_{вн} - J_{у} \cdot R_{лс}$$

ε – ЕРС джерела;

$J_{вих}$, $R_{вн}$, $J_{у}$, $R_{лс}$ - потенційні джерела похибки, так як вони створюють спадання напруги в ланцюзі сигналу. Ці складові необхідно мінімізувати.

$R_{у}$ – опір ізоляції як правило істотно вище $R_{н}$, отже $J_{у} < J_{вих}$ і погрішність від витоку в лінії зв'язку по напрузі незначна.

$R_{вн}$ – визначається виробником/розроблювачем вимірювального пристрою, при номінальному значенні $J_{вих}$ і при $J_{у} < J_{вих}$ погрішність від $R_{вн}$ не виходить за межі основної погрішності вимірювального пристрою.

$R_{лс}$ – визначається перетином, матеріалом, довжиною провідника, якістю електричних контактів. $R_{лс}$ може бути джерелом погрішності при використанні сигналів напруги. Ураховувати й компенсувати $R_{лс}$ вдається не завжди, тому що на опір проведення впливає навколишня температура.

$J_{вих}$ – струм через навантаження, визначається в основному значенням $R_{н}$, якщо вибирати $R_{н}$ вище, то $J_{вих}$ відповідно буде нижче, і небажані спадання напруги в ланцюзі сигналу теж будуть менші.

Вплив ЕРС перешкод (завади) (рисунок 6.8). ЛЗ являє собою електрично замкнене коло, електричний контур. Електромагнітні хвилі викликають виникнення ЕРС перешкоди в контурі, а отже виникає й струм перешкоди. Цей струм, протікаючи по елементах контуру, створює падіння напруг. Чим вище опір елемента контуру, тем вище

спадання напруги, тим вище потужність, що розсіюється, перешкоди на цьому елементі. У лінії зв'язку по напрузі найвищий опір в R_n , тобто найвище спадання напруги. Звідси можна зробити висновок, що лінія зв'язку по напрузі чутлива до електромагнітних перешкод. А через те, що площа контуру залежить від довжини лінії зв'язку, то, чим довша лінія зв'язку, тим більше перешкод вона «збирає».

ЛЗ струму (рисунок 6.9).

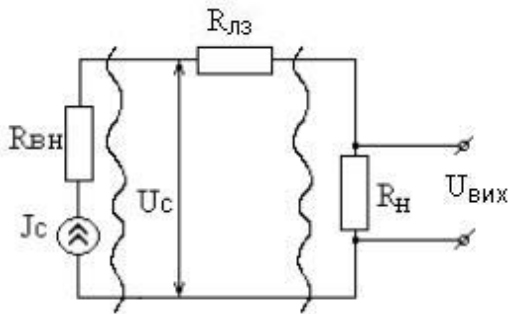


Рисунок 6.9.

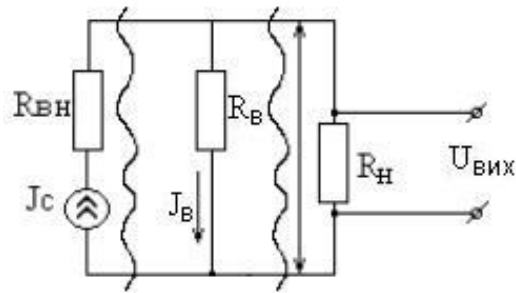


Рисунок 6.10

$R_{вн}$ – внутрішній опір джерела сигналу, в ідеального джерела струму $R_{вн} \rightarrow \infty$, у реального воно становить $10000 \div 1000000$ Ом;

$R_{лз}$ (опір лінії зв'язку) – $0 \div 10$ Ом;

R_y (опір виток) – 1МОм і більш;

R_n (опір навантаження) – $100 - 500$ Ом, типове значення 250 Ом;

Тут U_c – вихідний сигнал вимірювального пристрою, а $U_{вих}$ – напруга на виході ЛЗ, або сигнал на вході пристрою обробки інформації.

R_n – опір приймача.

У схемі протікають струми: $I_{вих}$ – струм на виході ЛЗ, що протікає через навантаження (через ПВІ), I_y – струм виток, що протікає як правило через ізоляцію кабелів.

Вплив опорів лінії зв'язку й виток (рисунок 6.10). Вираз для $U_{вих}$:

$$U_{вих} = J_{вих} \cdot R_n,$$

R_n у цьому випадку резистор, що нормує, перетворить струм у напругу. Його точність і стабільність пропорційно відбиваються на сигналі.

$$J_{вих} = J_c - J_y$$

Із представлених виразів видно, що $U_{\text{вих}}$ не залежить від $R_{\text{лс}}$ ($0 \div 10 \text{ Ом}$). Погрішність може внести завищений струм витoku, обумовлений низьким опором ізоляції. Зниження опору ізоляції може виникнути через вплив факторів навколишнього середовища й порушення умов експлуатації (перепади температур, вологість, механічні ушкодження ізоляції...).

Вплив ЕРС перешкоди на сигнал струму незначний через те, що опір приймача багато менше опору джерела сигналу.

6.2. Особливості підключення споживачів до ліній зв'язку

6.2.1. Лінія зв'язку по напрузі

Схема підключення в цьому випадку виглядає в такий спосіб (рисунок 6.11).

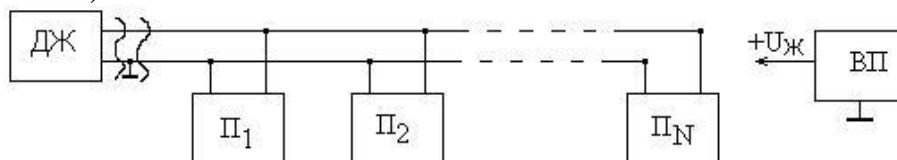


Рисунок 6.11

Споживачі $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_N$ підключені до джерела напруги паралельно. Кількість споживачів обмежена умовою: загальний сумарний опір з'єднаних паралельно споживачів не повинний бути менше опору, що дає граничну погрішність при передачі сигналу.

Дозволяють підключати в паралель велику кількість приймачів (Π), що живляться від одного джерела живлення або приймачів з єдиною сигнальною землею, що спрощує розв'язок завдання, забезпечення надійності без застосування додаткових технічних засобів. Переваги:

- можливість підключення великої кількості споживачів з високим вхідним опором;
- можливість застосування загальної землі й одного джерела живлення;
- простота схеми, і не потрібно ніяких додаткових умов.

6.2.2. Струмова лінія зв'язку

Оскільки приймачі включаються послідовно, то в кожного є своя сигнальна земля. Отже, кола приймачів, крім сигнального, повинні бути гальванічно розв'язані (6.12). У кожного приймача повинен бути своє ізольоване від інших вторинне джерело живлення.

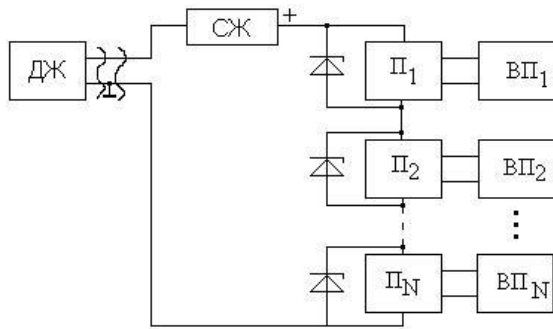


Рисунок 6.12. Схема структурно-функційна струмової лінії зв'язку: ВП – вимірювальний перетворювач, який є джерелом сигналу; ДЖ – джерело живлення; СЖ – стабілізатор живлення; $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_N$ – приймачі.

Якщо вийшов з ладу хоча б один приймач, ланцюг (схема) втрачає свою працездатність. Однак, можна поставити ключ до кожного приймача, тоді схема продовжить свою роботу. Ще один варіант розв'язку – включити стабілітрон.

Для того, щоб при виході з ладу, добуванні, від'єднанні одного із приймачів лінія зв'язку не втрачала свою працездатність, паралельно приймачам включають стабілітрони, такі, щоб напруга стабілізації стабілітрона була більше або дорівнювала максимальному падінню напруги на приймачі.

Загальна кількість приймачів обмежена умовою: сума падінь напруг на приймачах і на ВП повинна бути менше напруги живлення лінії зв'язку.

Крім того, кожен приймач повинен мати джерело живлення, гальванічно не пов'язане з колами ВП і джерелами живлення інших приймачів.

Для того щоб при виході з ладу одного із приймачів (добуванні або від'єднанні) лінія зв'язку не втрачала працездатність, паралельно кожному приймачу включений стабілітрон $U_{ст} \geq U_{п1}$.

6.2.3. Комбіновані лінії зв'язку

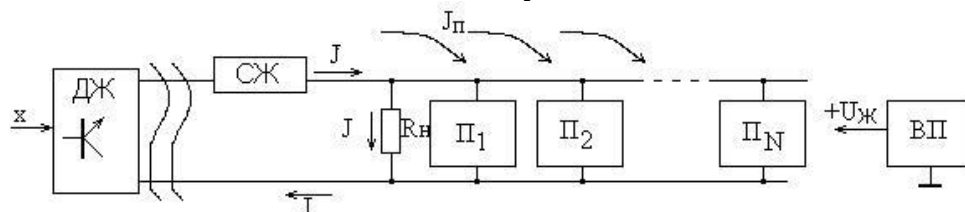


Рисунок 6.13

У даній схемі (рисунок 6.13) інформаційний сигнал передається на відстань за допомогою сигналу струму. Опір, що нормує, перетворює сигнал струму в сигнал напруги. Подальший розподіл сигналу на

приймачі $J_1 \dots J_N$ проводиться за допомогою лінії зв'язку по напрузі. Споживачі повинні мати більші опори.

$J_H = J - J_O$ - струм джерела струму.

Сума вхідних провідностей приймача повинна бути багато менше провідності R_H .

Обмеження:

- вхідний опір, паралельно включений до приймачів, повинний бути багато більше R_H .
- комбінована лінія зв'язку поєднує гідності струмової лінії зв'язку й лінії зв'язку по напрузі.

Контрольні питання

1. Які функції виконує лінія зв'язку вимірювального пристрою?
2. В чому полягають переваги і недоліки чотирипровідного підключення вимірювального пристрою?
3. В чому полягають переваги і недоліки трипровідного підключення вимірювального пристрою?
4. В чому полягають переваги і недоліки двопровідного підключення вимірювального пристрою?
5. В чому відмінність одна від одної ліній зв'язку вимірювальних пристроїв із сигналами струму і з сигналами напруги?
6. Як передається сигнал по лінії зв'язку по напрузі?
7. Як передається сигнал по лінії зв'язку по струму?
8. Які переваги і недоліки лінії зв'язку по напрузі?
9. Які переваги і недоліки лінії зв'язку по струму?
10. Як передається сигнал по комбінованій лінії зв'язку?

7. ІНТЕРФЕЙСНІ СХЕМИ

7.1. Нормувальні перетворювачі

Для перетворення вихідних сигналів первинних перетворювачів в уніфікований сигнал використовуються нормувальні перетворювачі. Особливої актуальності такі датчики набувають у системах автоматичного контролю та керування - АСКТП та ІВС, оскільки мікропроцесорні системи в основному працюють з уніфікованими сигналами 0.5 і 4.20мА.

А. Нормувальні перетворювачі для роботи з термоелектричними термометрами

До складу нормувального перетворювача (рисунок 7.1) входять такі основні вузли: вимірювальний міст постійного струму з джерелом живлення стабілізоване (ДЖС), електронний підсилювач ЕПП, пристрій від'ємного зворотного зв'язку ПЗЗ та навантажувальний опір R_n і опір зворотного зв'язку $R_{зз}$. Для перетворення термоЕРС термоелектричних термометрів в уніфіковані сигнали постійного струму типу 0.5; 0.20; 4.20 мА використовуються нормувальні перетворювачі. Промисловість України випускає перетворювачі таких типів: Ш78; П282; Ш705 з класами точності 0,4; 0,5; 1,0 та навантажувальними вихідними опорами 10; 2,5; 1; 0,5 кОм.

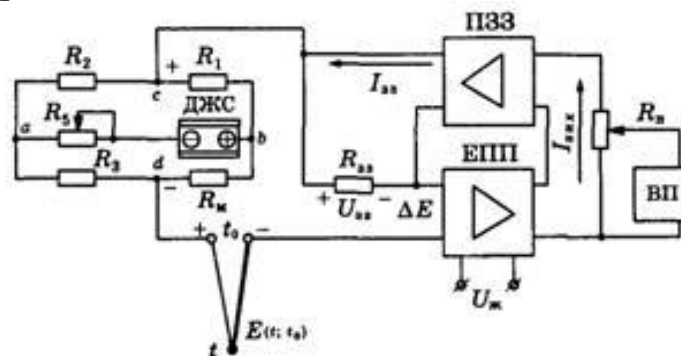


Рисунок 7.1 – Принципова схема нормувального перетворювача для роботи з термоелектричним термометром

Принцип дії нормувальних перетворювачів (рис.7.1) ґрунтується на статичній автокомпенсації. Сигнал $E(t; t_0)$ від термоелектричного термометра подається на вимірювальний міст постійного струму і далі — на вхід підсилювача ЕПП. Вимірювальний міст складається з манганінових резисторів R_1 , R_2 , R_3 і мідного резистора R_M , за допомогою якого вводиться термокомпенсація вільних кінців термоелектри-

чного термометра. Резистор R_M розміщується поряд з вільними кінцями термометра. ТермоЕРС термоелектричного термометра за допомогою мосту постійного струму коригується шляхом зміни падіння напруги вимірювальної діагоналі (с-d) за рахунок мідного резистора R_M . Загальний сигнал термоелектричного термометра і вимірювальної діагоналі компенсуючого мосту дорівнює $E(t;t_0)+U_{cd}$.

Електронний підсилювач ЕПП виконаний за схемою модулятор-демодулятор. Демодульований сигнал підсилюється електронним підсилювачем постійного струму, вихідний струм $I_{вих}$ якого, проходячи через навантажувальний резистор R_H подається на пристрій зворотного зв'язку ПЗЗ. Струм зворотного зв'язку $I_{ЗЗ}$, проходячи через резистор $R_{ЗЗ}$ зворотного зв'язку, створює падіння напруги $U_{ЗЗ}$ на ньому, яке компенсує загальний сигнал термоелектричного термометра

$$E(t; t_0) \div U_{cd} = U_{ЗЗ}.$$

Нескомпенсований сигнал $\Delta U = U_{ЗЗ} - E(t;t_0) - U_{cd}$ підсилюється підсилювачем ЕП, що спричиняє зміну вихідного струму $I_{вих}$, струму зворотного зв'язку $I_{ЗЗ}$, зміну компенсуючої напруги $U_{ЗЗ}$ і зрештою рівноваги сигналів схеми.

Б. Нормувальні перетворювачі для роботи з терморезисторними перетворювачами

Для лінійного перетворення пасивного сигналу-опору термометра R_t в уніфікований сигнал постійного струму 0.5 і 4.20 мА призначені нормувальні перетворювачі типів Ш79; Ш282 і Ш703 з класами точності 0,4; 0,5; 1,0 і навантажувальними опорами 2,5; 1; 0,5 кОм.

Принцип дії нормувальних перетворювачів базується на статичній автокомпенсації. До складу перетворювача (рис 7.2) входять такі основні вузли: вимірювальний міст ВМ постійного струму з джерелом стабілізованого живлення (ДСЖ), електронний підсилювач ЕПП, пристрій від'ємного зворотного зв'язку ПЗЗ та навантажувальний опір R_H і опір зворотного зв'язку $R_{ЗЗ}$.

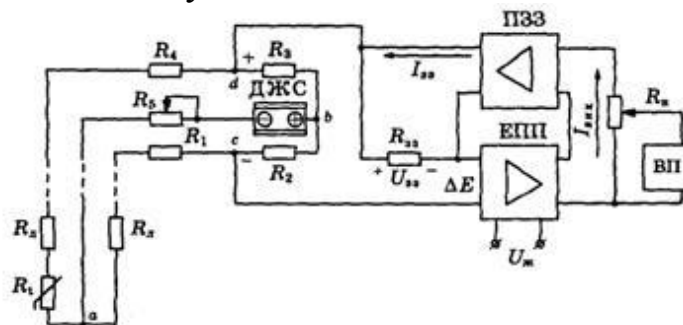


Рисунок 7.2 – Принципова схема нормувального перетворювача для роботи з терморезисторним термометром

Вимірювальний міст ВМ складається із чотирьох манганінових резисторів R_1, R_2, R_3, R_4 , термометра опору R_t та двох резисторів ліній зв'язку $R_{л}$. У діагональ живлення а-в мосту увімкнено джерело живлення постійного струму, а вимірювальна діагональ с-d під'єднана до електронного підсилювача ЕПП.

Електронний підсилювач ЕПП зібраний за схемою модулятор-демодулятор. Модульований сигнал підсилюється електронним підсилювачем, вихідний струм $I_{вих}$ якого проходячи через резистор $R_{зз}$ подається на пристрій зворотного зв'язку $P_{зз}$. Струм $I_{зз}$ проходячи через резистор зворотного зв'язку $R_{зз}$, спричиняє на ньому падіння напруги $U_{зз}$, яку компенсує падіння напруги U_{cd} вимірювальної діагоналі вимірювального мосту ВМ

$$U_{cd} = U_{зз}.$$

Початковому опорі R_t у вимірювальній діагоналі с-d відповідає сигнал, рівний нулю $U_{cd}=0$ і вихідний струм $I_{вих}=0$, з підвищенням температури в об'єкті вимірювання збільшується опір R_t падіння напруги у вимірювальній діагоналі с-d і пропорційно зростає вихідний струм $I_{вих}$ нормувального перетворювача.

Крім наведених нормувальних перетворювачів останнім часом з'явилося багато нових перетворювачів температури, тиску, перепаду тиску та інших величин з уніфікованими сигналами постійного струму, які випускаються як державними, так і малими спеціалізованими підприємствами.

7.2. Перетворювач сигналів резисторних датчиків

Призначений для перетворення з резисторного датчика відносної зміни опору в стандартний струмовий сигнал 0..5мА з метою передачі сигналу на відстань.

Значення струму виходу, рівне нулю, відповідає деякому початковому опорі R_0 датчика R_d . При зміні опору від R_0 до R_{max} вихідний струм змінюється від 0 до 5мА. ДОН – джерело опорної напруги.

Функціональний склад схеми (рисунок 7.3): R_d – резисторний датчик зі стандартною характеристикою. Ця характеристика нормується початковим і кінцевим значеннями опору при зміні вимірюваної величини в діапазоні змін $R_0 = 100 \text{ Ом}$, $R_{max} = 150 \text{ Ом}$.

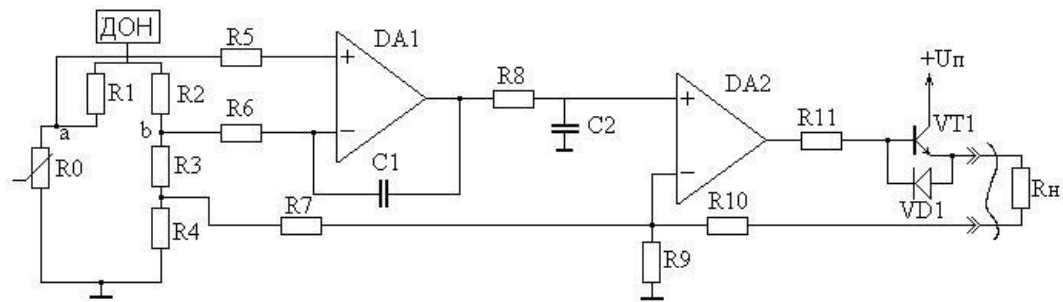


Рисунок 7.3 – Схема електрична принципова нормувального перетворювача

Резисторна мостова схема складається з резисторів R_1 , R_2 , R_3 , R_4 і отримує живлення від джерела опорної напруги (ДОН). Як елемент мостової схеми входить $R_д$.

Двоконтурний регулятор I-регулятор-ІІ-регулятор вихідного струму, складається з $DA1$, $DA2$, C_1 , C_2 , R_5 , R_6 , R_8 , R_{11} і опорів в R_3 , R_7 , R_9 , R_{10} .

Перший контур регулювання формує сигнал зворотного зв'язку для $DA2$ у вигляді спадання напруги на R_9 . Другий контур регулювання створює спадання напруги на R_4 , і в такий спосіб балансує вимірювальний міст. Вихідний каскад зібраний на транзисторі $VT1$, резисторі R_{11} і захисному діоді $VD1$. Елементи R_1 , R_8 і C_2 утворюють фільтри й одночасно є елементами, що вносять астатизм у даний регулятор. При роботі схеми виникають перешкоди. Тому елементи C_1 , R_8 і C_2 є фільтрами, утворюючи одночасно інтегратор.

Нехай у початковий момент часу вимірювальний міст збалансований, і в обох плечах мосту течуть рівні струми. Отже, напруга між точками a і b дорівнює нулю. При зміні опорі датчика $R_д$ виникає різниця потенціалів між точками a і b . Підсилюючись підсилювачами $DA1$ і $DA2$, ця різниця потенціалів викликає зміну вихідного струму схеми. Струм, пройшовши через опір, що нормує, $R_н$, повертається в схему й створює спадання напруги на R_9 для першого контуру регулювання й на R_4 - для другого контуру регулювання. Зміни спадання напруги на R_4 компенсує неузгодженість мостової схеми, і вона повертається в балансний стан, коли потенціал між точками a і b дорівнює нулю.

Генератор перетворить вхідну напругу $U_{вх}$ у змінний струм J через первинну обмотку трансформатора T . Випрямлячі $B1$ і $B2$ випрямляють отриману напругу із вторинних обмоток. $\Phi 1$ і $\Phi 2$ фільтрують напругу живлення від пульсації. $R_д$ – опір датчика, що пере-

творює вхідний фізичний параметр у сигнал опору. Вимірювальний міст перетворює сигнал опору в диференціальний сигнал напруги.

Диференціальний підсилювач напруги DA1 є одночасно інтегралом. Він підсилює й одночасно фільтрує вхідний сигнал додатковим інтегруючим ланцюжком R8-C2.

DA2 – підсилювач потужності, керує транзистором VT1. Діод VD1 служить для захисту переходу база-емітер від негативної напруги, яка може виникнути при перехідних режимах.

Транзистор VT1 регулює струм у лінії зв'язку за струмом.

R_H – резистор, що нормує, перетворює сигнал струму в сигнал напруги.

R9, R10 – резисторний дільник, що формує сигнал ЗЗ першого контуру регулювання.

R4, R7 – резисторний дільник, що формує сигнал ЗЗ другого контуру регулювання.

$X=X_0$ – вхідний параметр. У цьому випадку $R_d=R_{до}$

$R_d=100 \text{ Ом}$,

Різниця потенціалів у крапках а і б дорівнює нулю ($a-b=0$), $J_{вих}=0$.

Вхідний параметр зростає: $X=X_1$, тоді $R_{до}<R_{дmax}$, $J_{вих}\neq 0$, ($a-b$) $\neq 0$.

Вхідний параметр досягає максимального значення: $X=X_{max}$, тоді $R_d=R_{дmax}=150 \text{ Ом}$, ($a-b$) ухвалює максимальне значення, а струм виходу $J_{вих}=5\text{мА}$.

Живлення здійснюється від імпульсного перетворювача (рисунок 7.4). Робота схеми. Пристрій живиться від промислової мережі 24В постійного струму.

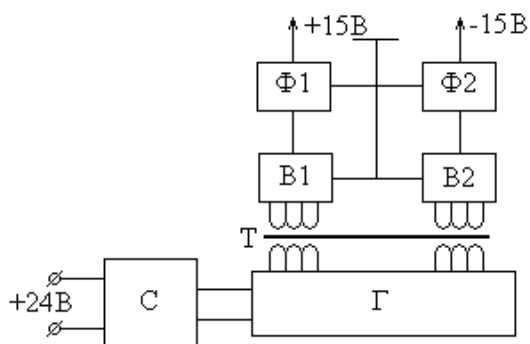


Рисунок 7.4 – Блок живлення: С – стабілізатор; Г – генератор; Т – трансформатор; В1, В2 – випрямлячі; Ф1, Ф2 – фільтри. С – стабілізатор напруги.

7.3. Перетворювач малих постійних напруг

Призначений для перетворення нестандартних електричних сигналів (сигналів термопар) у стандартний струмовий сигнал (5мА). Дана схема відрізняється від попередньої тим, що послідовно з резисторним мостом включена термопара (рисунок 7.5). У діагональ мосту включений, компенсуючий терморезистор R_k , він призначений для компенсації температури холодного спаю термопари.

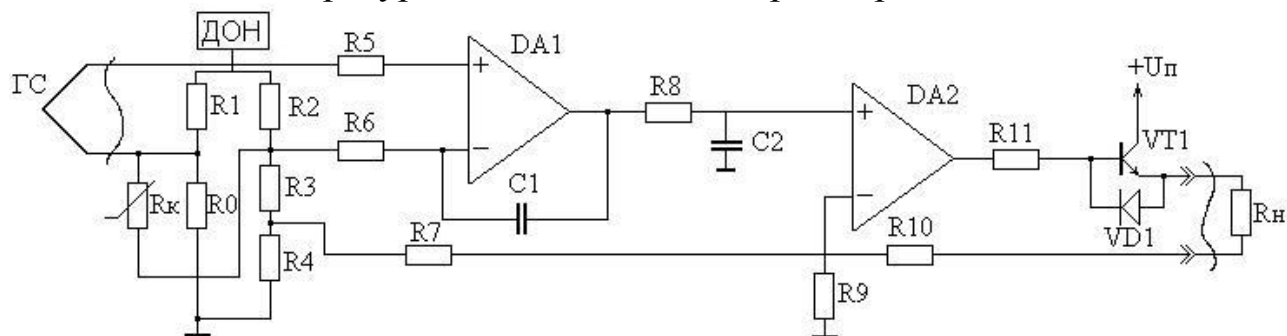


Рисунок 7.5 – Схема електрична принципова блоку уніфікованого струмового сигналу

Електрична схема самого перетворювача містить підсилювач, і живиться від двополярного джерела $\pm 15\text{В}$ живлення. Перетворювач імпульсний.

Існують два принципи, по яких будуються блоки живлення: трансформаторний; імпульсний. Імпульсний блок живлення складається зі стабілізатора та генератора, який перетворить постійну напругу в змінну із частотою 30 кГц. Оскільки напруга стала змінною, то трансформатор прийняв і видав на виході інше значення напруги. Напруга, що знімається із вторинних обмоток, випрямлюється й фільтрується фільтром.

7.4. Пристрої забезпечення роботи датчиків у вибухонебезпечних приміщеннях

Джерела живлення на схемі не показані, але вони теж мають гальванічну розв'язку (за рахунок трансформатора) від джерела живлення й між захищеними від іскри колами й вихідними колами перетворювача (рисунок 7.6).

Такі пристрої обмежують значення струмів і напруг на рівні безпечних значень, а також містить R_n для перетворення сигналу струму в сигнал напруги.

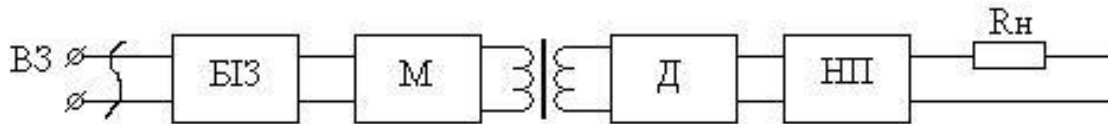


Рисунок 7.6 – Схема структурна блоку захисту датчиків та системи керування: ВЗ – вибухонебезпечна зона; БІЗ – бар'єр іскрового захисту; М – модулятор; Д – демодулятор; НП – нормувальний перетворювач.

Модулятор перетворює сигнал напруги в змінний сигнал для наступної його передачі через трансформатор.

Демодулятор працює синхронно з модулятором і випрямляє сигнал з виходу трансформатора.

Перетворювач, що нормує, перетворює сигнал напруги в стандартний електричний сигнал.

7.5. Бар'єр захисту від іскри

Бар'єр іскрового захисту (БІЗ) застосовується при використанні виду вибухозахистів (рисунок 7.7). Забезпечує передачу живлення по вибухонебезпечних зонах і передачу сигналу з вибухонебезпечної зони.

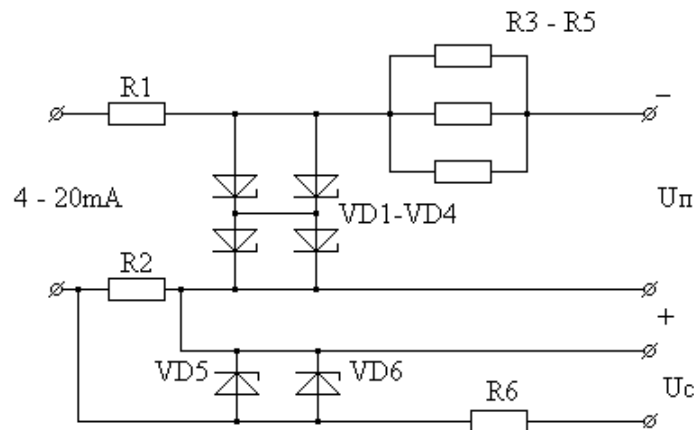


Рисунок 7.7 – Схема електрична принципова типового бар'єру іскрового захисту

При використанні такого виду вибухозахисту обмежуються параметри напруги, струму, ємності й індуктивності ліній зв'язку, й приладів, що підключаються до неї з метою виключення можливостей утворення іскри з потужністю, достатньою для запалення вибухонебезпечної суміші.

БІЗ здатний обмежувати напругу й струм в електричних колах, які захищені від іскри на рівні заданих безпечних значень. Напругу

обмежують стабілітрони (діоди Зенера, обмежувальні діоди), які, як правило, включені із застосуванням резервування.

Обмеження по струму в колі живлення забезпечується резисторами R3 – R5, обмеження по напрузі забезпечується стабілізаторами VD1- VD4.

Для кола сигналу обмеження забезпечує R6, обмеження по напрузі - VD5, VD6. R2 виконує функцію резистора, що нормує, перетворить струм у напругу. Надлишкова кількість стабілізаторів і опорів використовується з метою резервування.

7.6. Блок живлення датчиків

Таке позначення несе інформацію про те, що даний пристрій має вид вибухозахисту, захищене від іскер електричне коло (рисунок 7.8).

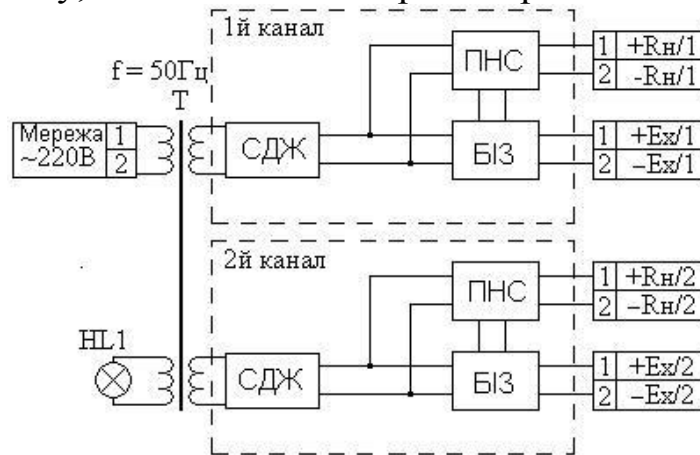


Рисунок 7.8 – Структурно-функційна схема блоку живлення датчиків у вибухонебезпечних зонах: СДЖ – стабілізуюче джерело живлення; ПНС – перетворювач напруга-струм; БІЗ – бар'єр іскрового захисту; HL1 – індикатор включення в мережу.

Схема має два ідентичні канали. Блок живлення призначений для спільної роботи з датчиками (з виконанням захисту від іскри) з використанням стандартного струмового сигналу 4...20мА. Установлюється поза вибухонебезпечними зонами приміщень і зовнішніх установок. Іскробезпечність вхідних кіл, пов'язана з датчиками, досягається за рахунок обмеження струму й напруги в його електричних колах до безпечних значень, а також за рахунок відповідного виконання конструкторського блоку.

Обмеження струму й напруги досягається за допомогою БІЗ. Обмеження струму короткого замикання здійснюється установкою БІЗ, резистора не менш 200Ом.

Обмеження напруги на рівні 28В здійснюється за допомогою стабілітрона КС512А.

Електричні кола пов'язані з іскровим захистом, а також силові кола змінного струму, розділені непарним екраном. Цей друкований екран з'єднаний з «землею».

Контрольні питання

1. Яке призначення нормувальних перетворювачів?
2. Які вузли входять до складу вимірювального перетворювача, що працює з термоелектричними термометрами?
3. В чому полягає принцип статичної автокомпенсації нормувальних перетворювачів?
4. Яке призначення перетворювача сигналів резисторного датчика?
5. Яке призначення перетворювача малих постійних напруг?
6. Які пристрої забезпечують роботу датчиків у вибухонебезпечних приміщеннях?
7. Яке призначення бар'єру іскрового захисту, з яких елементів він складається і яке його призначення?
8. Що таке модулятор?
9. Що таке демодулятор?
10. З яких елементів складається структурно-функціональна схема блоку живлення датчиків у вибухонебезпечних зонах?

8. ІНФОРМАЦІЙНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

8.1. Тахогенератори

Тахогенераторами (ТГ) називаються невеликі інформаційні електричні машини (ІЕМ), призначені для перетворення механічного переміщення - обертання валу - в електричний сигнал - вихідну напругу. Класифікація ІЕМ представлена на рисунку 8.1.



Рисунок 8.1- Класифікація інформаційних електричних машин

Основна вимога, яка пред'являється до більшості ТГ - лінійність вихідної характеристики, тобто пропорційність вихідної напруги U_T частоті обертання n (рисунок 8.2)

$$U_T = k \cdot n = k_1 \frac{d\alpha}{dt},$$

де k, k_1 - постійні величини; α - кут повороту.

По роду струму розрізняють ТГ змінного та постійного струму. ТГ змінного струму можуть бути асинхронними й синхронними. ТГ постійного струму можуть бути або з постійними магнітами, або з електромагнітним збудженням (з обмоткою збудження).

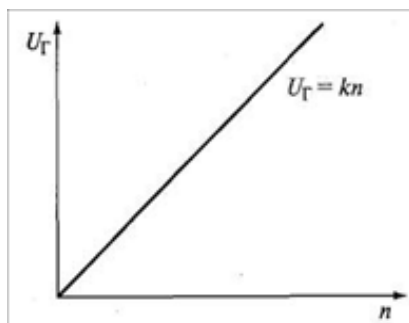


Рисунок 8.2 – Характеристика ідеального ТГ

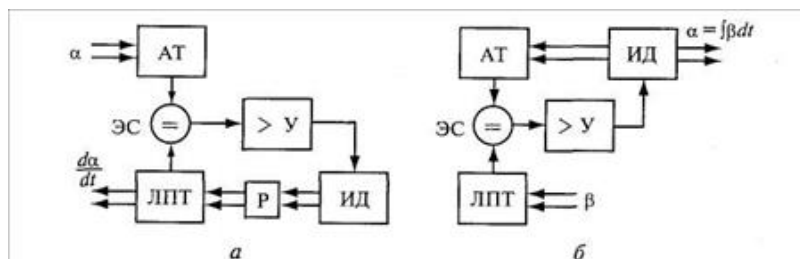


Рисунок 8.3 – Схеми використання ТГ для диференціюючих (а) та інтегруючих (б) функцій

Схеми використання ТГ для диференціюючих та інтегруючих функцій представлені на рисунку 8.3.

ТГ в схемах автоматики використовуються для наступних цілей:

- виміру швидкості обертання. У цьому випадку вихідна напруга подається на вольтметр, шкала якого градуйована в об/хв;
- здійснення зворотного зв'язку по швидкості в системах, що стежать;
- здійснення електричного диференціювання: $U_{\Gamma} = k_1(d\alpha/dt)$;
- здійснення електричного інтегрування: $\alpha = \frac{1}{k_1} \int U_{\Gamma}(t) dt$.

Основні вимоги, що ставляться до тахогенераторів:

- висока лінійність вихідної характеристики - мінімальне відхилення її від прямої $U_{\Gamma} = k_n$ вихідної характеристики, що є ідеальною, тахогенератора;
- більша крутість вихідної характеристики $k = U_{\Gamma}/n$, мВ/(об/хв);
- симетрія вихідної напруги: $U_{\Gamma}(+n) = U_{\Gamma}(-n)$;
- мінімальне значення нульової напруги U_{Γ} при $n = 0$ (у тахогенераторів змінного струму) і мінімальна зона нечутливості (у тахогенераторів постійного струму);
- максимальна вихідна потужність при мінімальній споживаній потужності;
- мінімальна пульсація вихідної напруги (у тахогенераторів постійного струму);
- мінімальна зміна фази вихідної напруги (у тахогенераторів змінного струму);
- малий момент інерції ротора й малий момент опору;
- стабільність вихідної характеристики при зміні навколишніх умов;
- малі габаритні розміри й маса;
- високі показники надійності (ресурс, інтенсивність відмов і ін.).

До ТГ, що забезпечують зворотний зв'язок по швидкості й демпфірування систем, що стежать, пред'являються підвищені вимоги по крутості вихідної характеристики й потужності вихідного сигналу. Лінійність вихідної характеристики для них не відіграє істотної ролі.

До ТГ, призначених для виконання операцій диференціювання й інтегрування, навпаки, пред'являються підвищені вимоги відносно лінійності, точності, стабільності характеристик, у той час як значення

потужності вихідного сигналу й крутість вихідної характеристики тут не є визначальними факторами.

8.2. Сельсини

У сучасній техніці дуже часто виникає необхідність синхронізації обертання або повороту різних осей механізмів, що перебувають на значній відстані одна від одної й механічно між собою не зв'язаних. Це завдання найчастіше вирішується за допомогою електричних систем синхронному зв'язку.

Синхронним зв'язком називається такий електричний зв'язок, який забезпечує одночасне обертання або одночасний поворот двох або декількох механічно не зв'язаних осей механізмів, що перебувають на відстані одна від одної.

У техніці одержали поширення два основні види систем синхронного зв'язку: система електричного валу (синхронного обертання) і система передачі кута (синхронного повороту).

Системи синхронного обертання застосовуються там, де потрібно здійснити синхронне обертання двох або декількох електричних машин, що перебувають на відстані одна від одної осей механізмів, які мають значні моменти опору. Синхронне обертання здійснюється за допомогою звичайних електричних машин, найчастіше трифазних асинхронних двигунів з фазним ротором. Обмотки роторів двигунів у цьому випадку з'єднуються одна з одною, обмотки статорів живляться від однієї й тієї ж мережі трифазного струму.

Системи синхронного повороту застосовуються для дистанційного керування, регулювання або контролю. Найчастіше синхронний поворот здійснюється за допомогою невеликих індукційних електричних машин - трифазних або однофазних сельсинів.

Трифазні сельсини конструктивно не відрізняються від звичайних асинхронних машин з фазним ротором. Найпростіша трифазна система синхронного зв'язку являє собою з'єднання двох однакових сельсинів: приймача й датчика. Сельсини включаються в мережу змінного струму своїми первинними обмотками, якими можуть бути як обмотки статора, так і обмотки ротора (звичайно первинною є обмотка статора). Кінці відповідних фаз вторинних обмоток обох сельсинів з'єднуються один з одним (рисунок 8.4). Залежно від порядку проходження фаз приймача й датчика сельсини обертаються в одному або різних напрямках.

Найбільше поширення в даний час одержали системи передачі кута за допомогою однофазних сельсинів.

Однофазні сельсини - це звичайно індукційні машини, які мають однофазну обмотку збудження й трифазну обмотку синхронізації. На рисунку 8.5 представлена схема однофазного контактного сельсина з обмоткою збудження на статорі й трифазною обмоткою синхронізації на роторі.

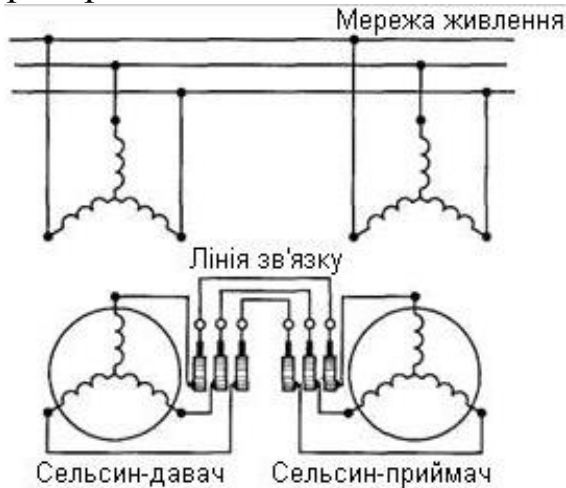


Рисунок 8.4 – Схема включення трифазних сельсинів

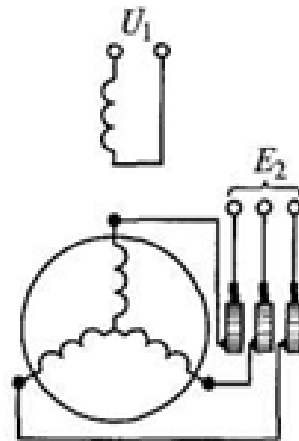


Рисунок 8.5 – Схема однофазного контактного сельсина

У схемах автоматики використовуються дві принципово відмінні одна від одної системи синхронної передачі кута: індикаторна й трансформаторна.

Індикаторна система синхронного повороту застосовується там, де момент опору на відомій вісі малий або зовсім відсутній (вісь навантажена стрілкою або шкалою). В індикаторній системі сельсин-приймач самостійно відпрацьовує кут, що задається сельсином-датчиком.

Трансформаторна система синхронного повороту застосовується там, де на відомій вісі є значний момент опору. У трансформаторній системі сельсин, що приймає (сельсин-приймач) відпрацьовує кут що задається сельсином-датчиком не самостійно, а за допомогою механічно й електрично пов'язаного з ним виконавчого двигуна.

Сельсини випускаються як на промислову частоту 50 Гц, так і на підвищені частоти 400 та 500 Гц.

Робота сельсинів в індикаторному режимі

Найпростіша індикаторна система синхронного зв'язку для дистанційної передачі кута складається із двох однакових сельсинів (приймача й датчика) і лінії зв'язку (рисунки 8.6). Обмотки збудження

(ОЗ) обох сельсинів підключаються до однофазної мережі змінного струму. Кінці фаз А, В та С обмотки синхронізації приймача з'єднуються лінією зв'язку з кінцями фаз обмотки синхронізації датчика.

Змінні струми $I_{вд}$ і $I_{вп}$ обмоток збудження сельсинів створюють магнітні потоки $\Phi_{вд}$ і $\Phi_{вп}$, які індукують в обмотках синхронізації сельсинів електрорушійні сили: $E_{Ад}$, $E_{Вд}$, $E_{Сд}$, $E_{Ап}$, $E_{Вп}$ і $E_{Сп}$. Значення ЕРС обмотки тієї або іншої фази залежить від її просторового розташування щодо обмотки збудження. Якщо фази обмоток синхронізації датчика й приймача розташовані однаково щодо відповідних обмоток збудження ($\alpha_d = \alpha_p$), то в з'єднаних між собою лінією зв'язку обмотках синхронізації приймача й датчика індукуються однакові й зустрічно спрямовані ЕРС, які урівноважують одна одну, і в колі обмоток синхронізації струм відсутній. Таке положення роторів сельсинів - погоджене.

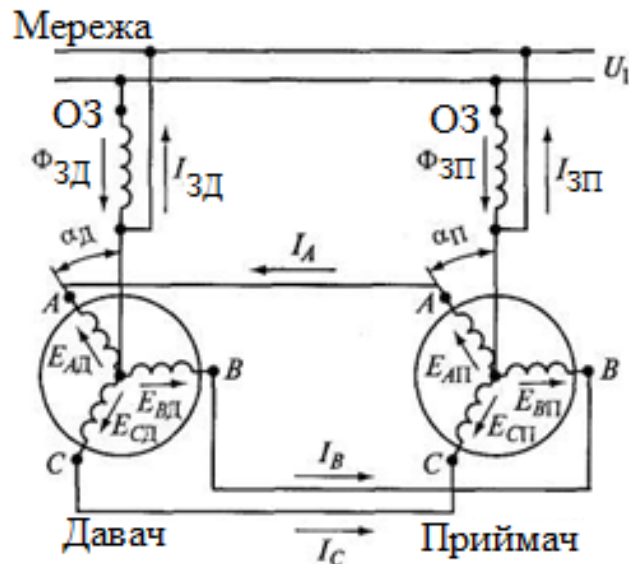


Рисунок 8.6 – Індикаторна система синхронного зв'язку

Якщо ротор датчика поворотом на деякий кут вивести з погодженого положення, то рівновага ЕРС, індукованих в однойменних обмотках синхронізації, порушиться. За рахунок цього в обмотках синхронізації й лінії зв'язку з'являться струми I_A , I_B і I_C . У результаті взаємодії цих струмів з магнітними потоками обмоток збудження виникнуть обертаючі моменти як у сельсин-датчику, так і в сельсин-приймачі, які будуть прагнути привести ротори сельсинів у погоджене положення. Обертаючі моменти, що діють на ротори приймача й датчика, будуть рівні за значенням і протилежні за напрямком.

Оскільки ротор сельсин-датчика після повороту звичайно фіксується (загальмовується), то повертатися (до погодженого положення)

буде ротор сельсин-приймача. Значення синхронізуючого моменту, що розвивається сельсин-приймачем, залежить від кута неузгодженості й параметрів сельсинів системи.

Основною вимогою, яка пред'являється до сельсинів, що працюють у схемах синхронного зв'язку, є точність відпрацювання сельсином-приймачем заданого сельсин-датчиком кута. Точність роботи сельсинів у схемі синхронного зв'язку залежить як від якості роботи (точності) сельсин-приймачів, так і від якості роботи (точності) сельсин-датчиків.

Точність роботи сельсин-приймача в індикаторному режимі характеризується похибкою $\Delta\theta$, яка визначається як напівсума максимального позитивного $\theta_{\max 1}$ і максимального негативного $\theta_{\max 2}$ відхилень ротора приймача від погодженого з ротором датчика положення за один оберт

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{\max 1} - \theta_{\max 2}}{2}.$$

Похибка у статичному режимі визначається шляхом повороту ротора датчика спочатку за годинниковою стрілкою на 360° . Вимір похибки проводиться або безупинно (за допомогою приладів), або через 1 або 10° , залежно від необхідної точності.

За значенням похибки $\Delta\theta$ у статичному режимі при роботі зі схеми «один на один», розрізняють індикаторні сельсини-приймачі чотирьох класів точності: 1-й клас - $\Delta\theta$ не більш $\pm 30'$; 2-й клас - $\Delta\theta$ не більш $\pm 45'$; 3-й клас - $\Delta\theta$ не більш $\pm 60'$; 4-й клас - $\Delta\theta$ не більш $\pm 90'$.

Точність роботи сельсинів-приймачів в індикаторному режимі визначає ряд факторів:

- питомий синхронізуючий момент $M_{уд}$ - момент, що доводиться на 1° кута неузгодженості;
- момент опору на валу приймача M_c (звичайно момент тертя самого приймача $M_c = M_T$);
- добротність сельсина - відношення питомого синхронізуючого моменту до моменту тертя ($D = M_{уд} / M_T$);
- магнітна й електрична несиметрія;
- дисбаланс ротора;
- час заспокоєння - час, протягом якого заспокоюється (зупиняється) ротор приймача після неузгодженості на $\pm 179^\circ$;
- точність сельсинів-датчиків, режим роботи й ін.

Робота сельсинів у трансформаторному режимі

Найпростіша трансформаторна система синхронного зв'язку (рисунок 8.7) складається із двох сельсинів - приймача й датчика, з'єднаних лінією зв'язку, підсилювача (П) і виконавчого двигуна (ВД), вал якого механічно з'єднаний з валом ротора сельсина-приймача (зворотний механічний зв'язок).

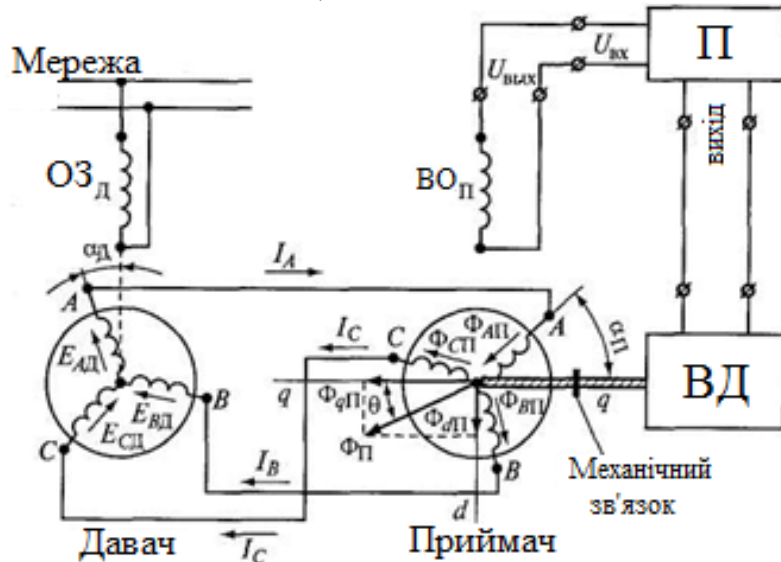


Рисунок 8.7 – Трансформаторна система синхронного зв'язку

Однофазна обмотка збудження сельсина-датчика ОВД підключається до мережі змінного струму. Струм цієї обмотки створює пульсуючий магнітний потік $\Phi_{ВД}$, який, зіплюючись із обмоткою синхронізації, наводить у її фазах наступні ЕРС:

$$\begin{aligned} E_{АД} &= E_{\phi \max} \cdot \cos \alpha_d ; \\ E_{ВД} &= E_{\phi \max} \cdot \cos(\alpha_d - 120^\circ) ; \\ E_{СД} &= E_{\phi \max} \cdot \cos(\alpha_d - 240^\circ) \end{aligned}$$

де $E_{\phi \max}$ - максимальна ЕРС, що наводиться магнітним потоком в однофазній обмотці збудження датчика, яка залежить від розташування фаз обмотки синхронізації щодо обмотки збудження.

Потоки фаз приймача $\Phi_{АП}$, $\Phi_{ВП}$, $\Phi_{СП}$ складаючись, утворюють результуючий магнітний потік $\Phi_{П}$ обмотки синхронізації приймача, спрямований під відповідним (залежним від кута неузгодженості) кутом до однофазної вихідної обмотки приймача ($ВО_{П}$).

Потік $\Phi_{П}$, пульсуючи із частотою мережі, наводить у вихідній однофазній обмотці приймача ЕРС, що є вихідною напругою приймача $U_{ВХ}$.

Погодженим положенням сельсинів у трансформаторній системі синхронного зв'язку називається таке положення роторів, при якому вихідна напруга приймача $U_{\text{вих}}$ дорівнює нулю. На відміну від погодженого положення сельсинів в індикаторній системі, в цьому випадку поворот ротора сельсина-приймача становить 90° . Внаслідок цього, за початок відліку кутів у сельсині-приймачі приймається точка на вісі, перпендикулярній вісі однофазної вихідної обмотки (рисунок 8.7).

Сельсин-приймач у трансформаторній системі синхронного зв'язку самостійно не відпрацьовує заданий датчиком кут $\alpha_{\text{д}}$, а лише виробляє ЕРС вихідної обмотки, що змінюється за законом синуса, залежно від кута неузгодженості θ . Відпрацьовування заданого датчиком кута - повороту ротора сельсина-приймача на кут $\alpha_{\text{п}} = \alpha_{\text{д}}$ - здійснюється за допомогою виконавчого двигуна.

Принцип дії трансформаторної системи синхронному зв'язку (рисунок 8.7) полягає в наступному. При виводі ротора сельсина-датчика з погодженого положення (повороті на деякий кут $\alpha_{\text{д}} = \theta$), на вихідній обмотці сельсина-приймача з'являється напруга $U_{\text{вих}}$. Ця напруга подається на вхід підсилувача, а потім на обмотку керування виконавчого двигуна.

Ротор двигуна починає обертатися, повертаючи при цьому ротор сельсина-приймача, з яким він механічно зв'язаний. Разом з ротором приймача повертається в просторі і його магнітний потік $\Phi_{\text{п}}$; при цьому змінюються потокозчеплення з вихідною обмоткою і її ЕРС (вихідна напруга $U_{\text{вих}}$). Ротори двигуна й сельсин-приймача повертаються доти, поки ротор сельсин-приймача не повернеться на заданий датчиком кут $\alpha_{\text{п}} = \alpha_{\text{д}}$ і сельсини не займуть погоджене положення, у якому потік $\Phi_{\text{п}}$ перпендикулярний вісі вихідної обмотки $ВО_{\text{п}}$ і вихідна напруга сельсина-приймача $U_{\text{вих}}$, а отже, і напруга на підсилувачі й обмотці керування виконавчого двигуна, дорівнюють нулю.

На відміну від індикаторної системи синхронного зв'язку по проводах лінії зв'язку трансформаторної системи завжди, навіть у погодженому положенні, протікають струми. Сельсин-приймачі в трансформаторній системі живляться не від мережі (як це має місце в індикаторній системі), а від обмотки синхронізації датчика.

Контрольні питання

1. Які основні інформаційні електричні машини Ви знаєте?
2. Призначення тахогенераторів та їх види.
3. Режими роботи тахогенераторів.
4. Що таке нульова напруга тахогенератора, причини її виникнення і методи зменшення.
5. Конструкція асинхронних тахогенераторів, галузь застосування, переваги та недоліки.
6. Конструкція тахогенераторів постійного струму, галузь застосування, переваги та недоліки.
7. Конструкція синхронних тахогенераторів, галузь застосування, переваги та недоліки.
8. Конструкція та призначення та принцип дії сельсинів.
9. Особливість індикаторного та трансформаторного режимів роботи сельсинів.
10. Основні вимоги, які пред'являються до сельсинів.

9. ВИКОНАВЧІ ЕЛЕМЕНТИ

9.1. Загальні відомості про виконавчі елементи

Виконавчий елемент (ВЕ) - функціональний елемент АСК, що здійснює вплив на об'єкт керування шляхом зміни потоку енергії й потоку матеріалів, що надходять на об'єкт. Виконавчі елементи в основному бувають двох типів:

- з двигуном (сервомотор, серводвигун або сервопривод), при цьому виконавчий елемент робить механічне переміщення регулювального органу;
- з електричним виходом, коли вплив, що безпосередньо прикладається до об'єкта регулювання, має електричну природу.

Наприклад, у регуляторі напруги генератора постійного струму регулюючим впливом є напруга збудження, одержувана від підсилувача.

Залежно від характеру об'єкта й виду допоміжної енергії, яка застосовується в системі автоматичного керування, роль виконавчих елементів виконують самі конструктивні елементи: електронні, електромашинні, магнітні або напівпровідникові підсилувачі, реле, пневматичні або гідравлічні сервомотори й ін.

Динамічні характеристики виконавчих елементів з механічним виходом відрізняються значно більшою інерційністю, ніж елементи з електричним виходом. Часто виконавчі елементи 2-го типу служать приводом для виконавчих елементів 1-го типу.

Сервоелектродвигуни, що застосовуються в якості виконавчих елементів з механічним виходом, відрізняються спеціальним виконанням, що забезпечує знижену інерційність (подовженим ротором малого діаметра, порожнім ротором). Значно меншу інерційність при тій же потужності мають гідравлічні й пневматичні серводвигуни.

Виконавчий механізм (ВМ) або сервопривод - виконавчий елемент із механічним виходом. Їх класифікують по призначенню й типу керованих елементів, виду здійснюваних переміщень, роду застосовуваної енергії.

ВМ використовуються для привода:

- елементів, що регулюють потоки енергії, рідини, газу, сипучих і переміщуваних твердих тіл (реостатів, клапанів, засувки і заслінок, насосів, шлагбаумів і т.д.);
- елементів, систем стеження (копіювальних верстатів, маніпуляторів, авто компенсаторів, що регулюють і інших пристроїв);
- кермових пристроїв транспортних об'єктів;

- особливих елементів систем керування (противаг у вантажопідйомних спорудженнях, затискних автоматичних пристроїв і т.п.).

До контрольних елементів ВМ відносяться:

- механізм зворотного зв'язку, що визначає характеристику регулятора, або забезпечує передачу сигналу на дистанційний показник положення ВМ;
- кінцеві або шляхові вимикачі, які зупиняють ВМ у крайніх, а іноді й проміжних положеннях (трипозиційний ВМ), а кінцеві вимикачі, у деяких випадках, виконують сигнальні функції;
- вимірник обертаючого моменту на вихідній осі ВМ, що забезпечує вимикання двигуна або його проковзування в спеціальній муфті після досягнення гранично припустимого моменту, що необхідно для одержання заперної, або затискної дії або захисту його від аварій у випадку влучення під керований пристрій сторонніх предметів;
- гальмовий пристрій швидкохідних двигунів для боротьби з інерцією при зупинці;
- засувка з вимикачем головного соленоїда й спускний пристрій, що розчіплює пристрій у виконавчому механізмі із соленоїдами великої потужності.

У більшості електричних ВМ потужність електродвигунів лежить у діапазоні 10... 1000 Вт. Пневматичні ВМ працюють при тисках до 0,6 МПа, а гідравлічні - до 3 МПа. У деяких випадках потужність досягає десятків кіловатів, а тиск - 10 МПа. ВМ звичайно розташовують на вихідному валу з обертаючим моментом від 1 до 100 Н·м при кількості робочих обертів від 0,25 до 30 с⁻¹, зусиллі від 100 до 5000 Н та ході від 25 до 750 мм.

У приладах точної механіки застосовують ВМ з меншими обертаючими моментами, які регулюються. Час перестановки пристрою керованого ВМ з одного крайнього положення в інше звичайно перебуває в межах 5... 120 с. При часі перестановки більш 120 с, її можна здійснити за допомогою регуляторів переривчастої (крокової) дії, щоб не ускладнювати надмірно редуктор. Час перестановки соленоїдних, а також дозуючих і аварійних ВМ доходить до долей секунд.

Виконавчий механізм електричний (ВМЕ) - ВМ у якому переміщення регулювального органа проводиться за рахунок електричної енергії. Виділяють два базових типи:

- с приводом від електродвигуна (найбільше широко поширені в схемах загальнопромислової автоматики);

- с приводом від електромагніту (соленоїда).

В ВМЕ застосовуються асинхронні двигуни. Для виконавчих пристроїв малої потужності - двофазні з короткозамкненим або порожнім ротором, для потужніших - трифазні з короткозамкненим або масивним ротором. Для зменшення вибігу двигуна й поліпшення якості регулювання, використовується електричне гальмування або електромагнітні гальма, які вмикаються при знятті із двигуна напруги живлення.

Керування ВМЕ за допомогою відповідних зворотних зв'язків можна побудувати так, щоб переміщення регульовального органа, або швидкість його руху, змінювалися пропорційно сигналу керування.

Конструктивно ВМЕ виконуються, як правило, з обертовим рухом вихідного вала й рідше - з поступальним переміщенням вихідного штока. У системах загальнопромислової автоматики для привода засувки, кранів, шиберів і інших пристроїв, найбільше часто застосовуються однооборотні ВМЕ, у яких кут повороту вихідного вала становить 120... 170°. За допомогою багатооборотних ВМЕ керують регульовальними органами (запірні вентиля, засувки).

Блок-схема електродвигунного ВМ представлена на рис.9.1. Вона працює в такий спосіб. Двигун Д через редуктор Р переміщує регульовальний орган РО. Сигнал U_m , що надходить на вхід ВМЕ, має звичайно недостатню потужність для керування двигуном, тому він попередньо підсилюється підсилювачем П. Кінцеві вимикачі КВ служать для обмеження переміщення РО. Оператор може встановлювати РО за допомогою пристрою дистанційного керування ДК, контролюючи його положення приладом КП, а при несправності ДК - штурвалом ручного керування РК.

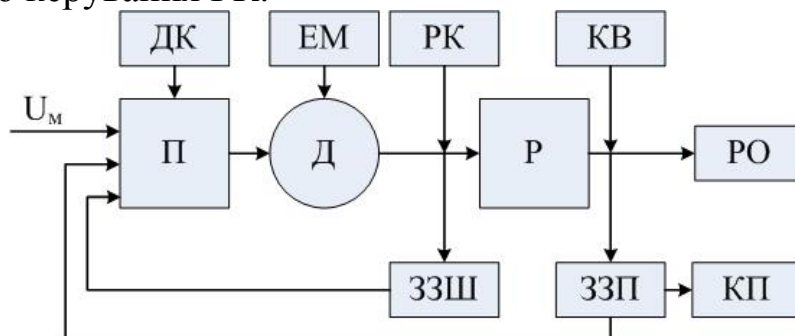


Рисунок 9.1- Блок-схема електродвигунного ВМ: Д – двигун; Р – редуктор; РО – регульовальний орган; U – підсилювач; КВ – кінцевий вимикач; ДК – пристрій дистанційного керування; ЕМ – електромагніт; ЗЗШ, ЗЗП – зворотній зв'язок по швидкості та положенню; КП – контрольний прилад; РК – ручне керування.

Датчики зворотного зв'язку по положенню ЗЗП, виконані у вигляді потенціометрів, індуктивних датчиків або лінійних індукційних потенціометрів, і зворотного зв'язку по швидкості ЗЗШ, виконані у вигляді тахогенераторів постійного або змінного струму, слугують для введення додаткових сигналів, необхідних для одержання необхідних характеристик від ВМЕ.

Номинальний момент M на вихідному валу й час T повного оберту вихідного вала, тобто швидкодія, є основними характеристиками ВМЕ. Потужність P на валу двигуна, необхідна для забезпечення заданих часу T і моменту M , визначається по формулі

$$P = \frac{61,5 \cdot M}{T \cdot \eta},$$

де η - ККД редуктора.

Інерційність приводу ВМЕ (час від початку руху регульовального органу до встановлення повної швидкості) залежить від співвідношення між пусковим моментом двигуна й моментом інерції ($M_{\text{п}} \approx 2 \dots 2,5 M_{\text{н}}$). Важливою характеристикою ВМЕ є час запізнювання - час від моменту подачі сигналу до початку обертання вихідного вала.

9.2. Класифікація виконавчих елементів

Виконавчі елементи (ВЕ) систем автоматики призначені для створення керуючого впливу на регульовальний орган (РО) об'єкта керування (ОК). При цьому змінюється положення або стан РО, що призводить в остаточному підсумку до зміни положення або стану ОК, відповідно до алгоритму керування. Один із варіантів класифікації виконавчих елементів АСК представлений на рисунку 9.2.

Залежно від керуючого впливу на виході, ВЕ діляться на два види: силові й параметричні. Зміна просторового положення РО можлива в тому випадку, якщо ВЕ створюють керуючий вплив у вигляді сили або моменту. Такі ВЕ одержали назву силових. До них відносяться електромагніти, електромеханічні муфти, а також різні види двигунів.

В АСК траєкторією машино-тракторного агрегату є двигун, що змінює положення керма при відхиленні дійсного значення курсу від заданого. Такий пристрій, що містить двигун, редуктор і елементи керування двигуном (підсилювач, реле, контактор, золотниковий розподільник і т.п.), називають силовим приводом, або просто приводом. Залежно від виду енергії живлення розрізняють електро-, пневмо-, гідро- і комбіновані приводи.



Рисунок 9.2 – Класифікація ВЕ АСК

Ще одним варіантом ВЕ є привод, що стежить, який відтворює на виході задане на вході переміщення, але з більшим механічним зусиллям. Тобто момент, або сила на виході його суттєво більше, чим на вході. Привод, що стежить, широко застосовується в автоматичних маніпуляторах (роботах), верстатах із числовим програмним керуванням (ЧПК), для керування прокатними станами і т.д. Привод, що стежить, є частиною слідкуючих систем, тобто формально цей привод можна віднести не до елементів автоматики, а до пристроїв, так як що в ньому поєднується кілька елементів. Але в складних (комплексних) АСК привод може розглядатися як один функціональний елемент - виконавчий.

Зміна стану РО пов'язане зі зміною його параметрів (опору, магнітного потоку, температури, швидкості й т.п.), або параметрів енергії живлення (напруги, струму, частоти, фази - в електричних пристроях; тиску робочого середовища - у пневматичних і гідравлічних пристроях).

ВЕ, що змінюють стан РО – параметричні (електромагнітні реле, контактори, тиристорні й транзисторні реле). Наприклад, в автоматичному керуючому пристрої термостата ВЕ є підсилювач, навантаження якого служить нагрівальний елемент РО термостата. При відхиленні температури від заданого значення, змінюється вхідна напруга підсилювача. При цьому змінюється й вихідна напруга, а отже, і струм у нагрівальному елементі та температура в термостаті. У цьому пристрої підсилювач поєднує в собі функції підсилювача та ВЕ. Він створює керуючий вплив (напруга, струм), що змінює температуру

нагрівального елемента, наприклад РО. Таке використання підсилювачів досить часто зустрічається в пристроях автоматики. Підсилювачі можуть бути й параметричним ВЕ.

Силіві ВЕ залежно від характеру руху їх вихідного вала можна розділити на три види: з лінійним, поворотним (кут повороту менше 360°) і обертальним (кут повороту більше 360°) рухами. Статична характеристика ВЕ може бути лінійною, нелінійною, реверсивною, неревверсивною і т.д.

До силових ВЕ висувається ряд вимог, які обумовлені конструкцією й алгоритмом роботи ОК, умовами експлуатації й т.п. Основними вимогами, яким повинні задовольняти характеристики й параметри ВЕ, є наступні:

- максимальна сила або момент, що розвиває ВЕ, повинні бути більше аналогічних величин РО, необхідних для переміщення об'єкта керування у всіх режимах роботи;
- висока швидкодія;
- максимальний ККД;
- статична характеристика ВЕ повинна бути близька до лінійної, а керуючий вплив, створюваний ВЕ в процесі роботи, повинен плавно регулюватися;
- мінімальний поріг чутливості; невелика потужність керування, висока надійність і довговічність, невеликі розміри й маса.

9.3. Гідравлічні виконавчі елементи

У наш час гідравлічні системи й елементи автоматики в основному використовуються в силових пристроях і приводах керування, наприклад, у системах автоматики піднімальних механізмів. Будь-яку гідросистему можна розділити на наступні складові частини:

- енергетична частина, до якої входять ємності з робочою рідиною (насоси, фільтри, гідроаккумулятори, гідробаки і т.д.);
- агрегати - споживачі гідравлічної енергії (гідропідсилювачі органів керування, силові циліндри й гідромотори);
- комунікації й агрегати гідросистеми (трубопроводи, шланги, поворотні з'єднання, крани, перемикачі, сигналізатори тиску і т.д.).

Застосування гідравлічних приводів обумовлене вимогами мінімізації маси й габаритних розмірів агрегатів і систем. Гідравлічні насоси, двигуни, силові пристрої у 4 - 5 разів легші аналогічних електричних пристроїв таких же потужностей та моментів. Позитивними якостями гідравлічних систем є також простота, надійність, довговічність, широкий температурний режим роботи.

Гідравлічні системи у «чистому» виді в ніш час знаходять усе більш рідке застосування, оскільки уступають електричним схемам у зручності передачі командних імпульсів і необхідній масі трубопроводів при передачі однакової потужності. З метою мінімізації маси, сучасний розвиток гідравлічних систем пішов по шляху створення електрогідравлічних командних і виконавчих агрегатів. Тому сучасна гідросистема по суті є електрогідравлічною.

Гідравлічну систему в загальному випадку характеризують:

- склад функціональних споживачів;
- вид робочої рідини й величина її тиску;
- тип насосів, застосовуються (плунжерні, шестерні, лопатеві і т.д.);
- виконавчі силові приводи (гідроциліндри й підсилювачі, гідродвигуни і т.д.);
- пристрою, що перетворюють командні сигнали (електричні, пневматичні, механічні й ін.) у гідравлічні командні впливи (відкриття й закриття кранів, переміщення плунжерів, відкриття або закриття клапанів);
- конструкція і ємність баків для робочої рідини;
- фільтри для захисту агрегатів від впливу забрудненої рідини і її очищення;
- засоби ущільнення рухливих і нерухливих з'єднань (марка застосовуваної гуми, конструкція ущільнювальних кілець, манжет і т.д.);
- припустимий температурний режим роботи агрегатів, робочої рідини, ущільнень і способи захисту від теплового впливу, спосіб охолодження робочої рідини (застосування теплообмінних радіаторів, природне розсіювання теплоти від гідробака і т.д.).

9.4. Пневматичні виконавчі елементи

Повітря для пневматичних приладів

У пневматичних виконавчих елементах основним джерелом енергії є стиснене повітря. Робочий діапазон зміни вхідних і вихідних пневматичних сигналів приладів і засобів автоматизації зазвичай перебуває в межах 20... 100 кПа.

Номінальний нормальний живильний тиск стисненого повітря становить 140 кПа \pm 10 %.

Крім нормального діапазону тисків обчислювальні пневматичні прилади працюють також у низькому діапазоні робочих тисків 0... 1000 Па.

Робота приладів у низькому діапазоні тисків має такі переваги:

- стає можливим використання лінійних дроселів, необхідних для реалізації результатів точних математичних операцій;
- споживання повітря знижується в 10... 100 раз;
- потужність, споживана пневматичними агрегатами, у порівнянні з потужністю, споживаною при роботі в нормальному діапазоні тисків, менше в 1000... 10000 раз;
- розміри прохідних перетинів дроселів збільшуються, що запобігає їхньому засміченню.

Стиснене повітря для живлення пневматичних пристроїв повинно бути очищене від пилу, вологи й оливи; відносна вологість повітря при 20°C не повинна перевищувати 50...60 %.

Системи автоматизації при мінусових температурах, а також точні пневматичні обчислювальні прилади вимагають зниження вологості живильного повітря до 2...3%, що запобігає випаданню в них вологи при низьких температурах навколишнього середовища (-30...-40°C). Для такого глибокого осушування повітря застосовують двоступінчасті дегідратори.

Повітря являє собою суміш газів, головним чином азоту й кисню, що становить по вазі відповідно 75,6 і 23,1%.

Стан повітря визначається двома величинами: його питомою вагою v і температурою t , від яких залежать усі інші його параметри, у тому числі й тиск p , щільність, питомий об'єм v і ін. Основні параметри, що характеризують стан повітря, а також формули для їхніх розрахунків наведені у відповідній довідковій літературі.

Контрольні запитання

1. Призначення виконавчого елемента (ВЕ).
2. Типи виконавчих елементів.
3. Конструкція електродвигунного виконавчого механізму (ВМ).
4. Навести приклади параметричних регулювальних органів.
5. Основні вимоги до ВЕ.
6. Конструкція та призначення серводвигунів.
7. Галузь використання та характеристика гідравлічних ВМ.
8. Гідравлічні розподільні пристрої
9. Галузь використання та характеристика пневматичних ВМ.
10. Призначення та принцип дії пневматичних дроселів й розподільників.

10. ЕЛЕКТРОМАГНІТИ

10.1 Класифікація електромагнітів

Електромагніт (ЕМ) є найпоширенішим перетворювачем електричного сигналу в механічний рух. ЕМ набули застосування в якості приводних або керуючих пристроїв у ряді механізмів, електричних апаратів і реле, приводах для включення й вимикання комутаційних апаратів, електромагнітних контакторах, автоматичних регуляторах, приводах для включення й відключення механічних, пневматичних, гідравлічних ланцюгів.

У САР і АСК позиційного принципу дії, досить широке поширення, як виконавчі механізми, одержали електромагнітні приводи, що перетворюють енергію електричного струму в поступальний рух робочого органа - так звані електромагнітні виконавчі механізми (ЕМВМ).

ЕМВМ призначені для перетворення електричного струму в механічне переміщення з метою впливу на регулювальний орган об'єкта керування. Вони є найпоширенішими перетворювачами електричного сигналу в механічне переміщення. ЕМВМ набули застосування в якості приводного або керуючого пристрою в ряді механізмів, електричних апаратів і реле. Наприклад, у піднімальних і гальмових електромагнітах, у приводах для вмикання й вимикання комутаційних апаратів, в електромагнітних контакторах і регуляторах, у приводах для включення й відключення механічних, пневматичних і гідравлічних ланцюгів, для зчеплення й розчіплювання обертових валів, відкривання й закривання клапанів, вентилів, заслінок, золотників на невеликій відстані (до декількох міліметрів) із зусиллям у кілька десятків ньютонів.

ЕМВМ здатні працювати як на постійному, так і на змінному струмі. Однак електромагніти постійного струму застосовуються набагато ширше, оскільки при однакових розмірах вони розвивають більше тягове зусилля, мають більш високу стабільність параметрів, конструктивно простіше й дешевше.

Характерною рисою таких пристроїв є їхня здатність працювати тільки в схемах двопозиційного ("відкрите" – "закрите") регулювання. Це пояснюється тим, що регулювальний орган (вентиль, клапан і т.д.) може перебувати тільки у двох кінцевих положеннях, що відповідає двом можливим положенням сердечника електромагніту.

Принципово можливе створення багатопозиційного (три положення й більш) ЕМВМ. Однак це супроводжується ускладненням конструкції, тому широкого поширення багатопозиційні приводи не одержали.

ЕМВМ у порівнянні з ВМ на основі електродвигунів відрізняються простотою конструкції й схем керування, меншими вагою і розмірами й значно нижчою вартістю. Завдяки відсутності редуктора вони більш надійні в експлуатації.

ЕМВМ за принципом дії поділяються на дві групи:

- розраховані на тривале обтікання котушки соленоїда електричним струмом. При подачі напруги живлення якір соленоїда втягується, а повертається він у вихідне положення при знятті напруги. Основні недоліки при цьому: постійне споживання електроенергії, спрацьовування при зникненні живлячого напруги.

- з короткочасним обтіканням катушок соленоїда електричним струмом. Вони складаються із двох електромагнітів – тягового й засувки. Тяговий електромагніт призначений для втягування якоря соленоїда і напруга живлення на його катушку подається короткочасно. Утримання якоря в робочому стані після знеструмлення тягової катушки здійснюється механічно спеціальною засувкою. Повернення у вихідний стан здійснюється шляхом короткочасної подачі напруги на електромагніту катушку засувки, яка звільняє зворотну пружину і якір соленоїда закривається.

По призначенню ЕМВМ розрізняють на:

- утримуючі, призначені для фіксації положення феромагнітних тіл, наприклад електромагніти для вилучення предметів з феромагнітних матеріалів.

- приводні, які служать для переміщення виконавчих пристроїв, наприклад клапанів, золотників, засувок. Вони використовуються також у контакторах, електромагнітних муфтах та ін. Ці електромагніти виконують певну роботу й тому розраховуються на певну силу й переміщення.

По роду струму в обмотці розрізняють електромагніти постійного й змінного струму. Електромагніти постійного струму діляться на нейтральне живлення, що не реагують на полярність напруги, і поляризоване живлення, що реагують на полярність напруги.

За призначенням розрізняють електромагніти:

- утримуючі, які служать для фіксації положення феромагнітних тіл (ЕМ, призначені для підйому предметів з феромагнітного матеріалу, ЕМ плити для фіксації деталей на металообробних верстатах, ЕМ

верстати). Ці ЕМ не виконують роботи, від них потрібно лише певна сила, на яку вони розраховуються;

- приводні, які служать для переміщень виконавчих пристроїв (клапанів, золотників, засувок, залізничних стрілок), а також використовуються в контакторах, електромагнітних муфтах і ін. Ці ЕМ виконують певну роботу, а тому розраховуються на певну силу й переміщення;
- спеціальні, які використовуються в прискорювачах елементарних часток, медичній апаратурі й ін.

За конструктивним виконанням розрізняють:

- клапанні - із зовнішнім якорем, що притягує (рисунок 10.1, а...г), при цьому магнітні системи можуть мати різну форму (невелике переміщення якоря (кілька міліметрів), розвивають більші зусилля й мають високу чутливість):
 - П-подібний магнітопровід і сердечник круглого перетину;
 - П-подібний магнітопровід і плоский якір-яромо;
 - Ш-подібний магнітопровід і сердечник круглого перетину;
 - циліндричний магнітопровід.
- прямоходові - з поступальним рухом якоря. Використовуються вони, як правило, у вигляді соленоїдів і тому часто називаються соленоїдними ЕМ (рисунок 10.1, д, е). Прямоходові ЕМ мають великий хід якоря, менші, ніж клапанні, розміри й вищу швидкодію, однак чутливість у них нижча. За своїм призначенням прямоходові ЕМ виконуються у двох варіантах:
 - з нерухливим осердям-«стоп» (рисунок 10.1, д, е),
 - без осердя з наскрізним отвором по віссі котушки - так звані довгоходові електромагніти (рисунок 10.1, е).
- ЕМ з нерухливим сердечником створює велике зусилля, значення якого зростає в міру наближення якоря до сердечника. Довгоходові системи дозволяють одержати досить великий хід якоря (до 200 мм) за рахунок подовження котушки. Ці ЕМ застосовуються в установках, що працюють у режимі короткочасного навантаження, тобто коли струм, що проходить через котушку, має велике значення, але не викликає її перегріву.
- З поперечним рухом - якір рухається в поперечному напрямку до середньої лінії між полюсами. У цих системах якір підвішується на пружині, а робочий кут повороту якоря вибирається таким, щоб він не займав крайніх положень проти полюсів. Практичне використання одержали наступні форми магнітних систем:

- з виступаючим якорем (рисунок 10.1, ж) - при кутах повороту якоря $25...40^\circ$;
- з якорем, що витягається (рисунок 10.1, з) - при кутах повороту якоря $10...15^\circ$, що дозволяє одержати тягову характеристику будь-якої форми (зростаюча, спадаюча з будь-яким кутом нахилу), що забезпечується відповідним вибору профілю якоря.

Розглянуті системи з якорем, що рухається в поперечному напрямку, застосовуються в автоматичних регуляторах, коли потрібно одержати велике значення коефіцієнта повернення. Крім того, їх зручно використовувати в пристроях, що працюють на постійному струмі (при змінному струмі можуть виникнути вібрації якоря, у той час як зазор між полюсами і якорем повинен бути постійним).

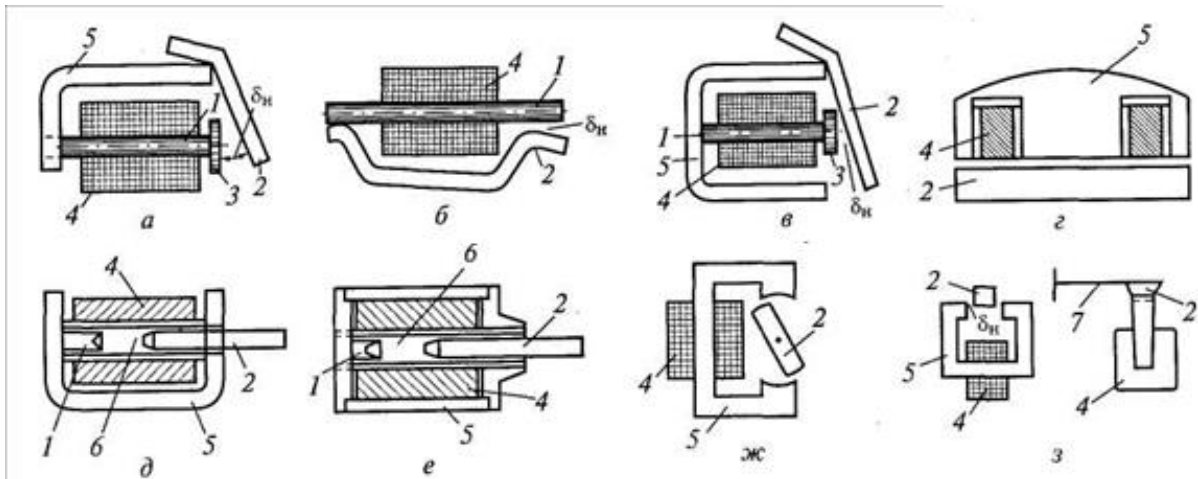


Рисунок 10.1- Нейтральні електромагніти різної конструкції: а-г – клапанні; д, е – прямоходові; ж, з – з поперечним рухом якоря; 1 – осердя; 2 – якір; 3 – полюсний наконечник; 4 – котушка; 5 – ярмо; 6 – направляюча трубка; 7 – пружина; δ_n – початковий повітряний зазор.

ЕМ складається з магнітопроводу й власне котушки .

Магнітопровід в ЕМ постійного струму виконується суцільним зі смугового або круглого матеріалу - технічно чистого заліза. Високочутливі ЕМ мають магнітопровід із залізонікелю та залізонікелькобальтових сплавів. Широке застосування в магнітопроводах швидкодіючих ЕМ знайшли леговані кремнієм сталі. Легування електротехнічних сталей кремнієм обумовлює значне підвищення електроопору. При цьому зменшуються втрати енергії на вихрові струми, що дозволяє застосовувати сталь у більш потужних пристроях, що працюють на змінному струмі.

Магнітопроводи ЕМ змінного струму виконують шихтованими, тобто збирають із пластин, які штампуються з листового матеріалу товщиною 0,3...0,5 мм. Матеріалами можуть бути: гаряче- і холоднокатана електротехнічна сталь.

Іноді магнітопроводи ЕМ постійного струму також роблять шихтованими для усунення вихрових струмів, що виникають у процесі включення й вимикання.

Котушка. По своїй конструкції котушки бувають каркасними й безкаркасними, а за формою - круглого й прямокутного перетину. Каркасна котушка складається з каркаса й обмотки. На одному каркасі може бути кілька обмоток. Безкаркасна котушка простіше каркасної. Відсутність каркаса дозволяє повністю використовувати намотувальне вікно.

Електромагніти повинні відповідати наступним вимогам:

1. Обирана конструкція повинна відповідати довжині ходу, тяговому зусиллю й заданій тяговій характеристиці. Для більших тягових сил і малої довжини ходу якоря використовують короткоходові (рисунок 10.2, а), а для невеликих тягових сил і значних ходів якоря - довгоходові ЕМ (рисунок 10.2, б), для більших переміщень якоря - електромагніти із замкненим циліндричним магнітопроводом і квазі-постійною тяговою силою (рисунок 10.2, в).

2. Для швидкодіючих систем необхідно застосовувати електромагніти із шихтованим магнітопроводом, а для повільних систем - з нешихтованим магнітопроводом і поворотним якорем з масивною мідною гільзою.

3. Число циклів спрацьовування повинне бути менше припустимого.

4. Електромагніти змінного струму при однакових виконаних механічних роботах, споживають електроенергії більше, ніж електромагніти постійного струму.

5. Електромагніти повинні бути зручними в експлуатації й простими в обслуговуванні.

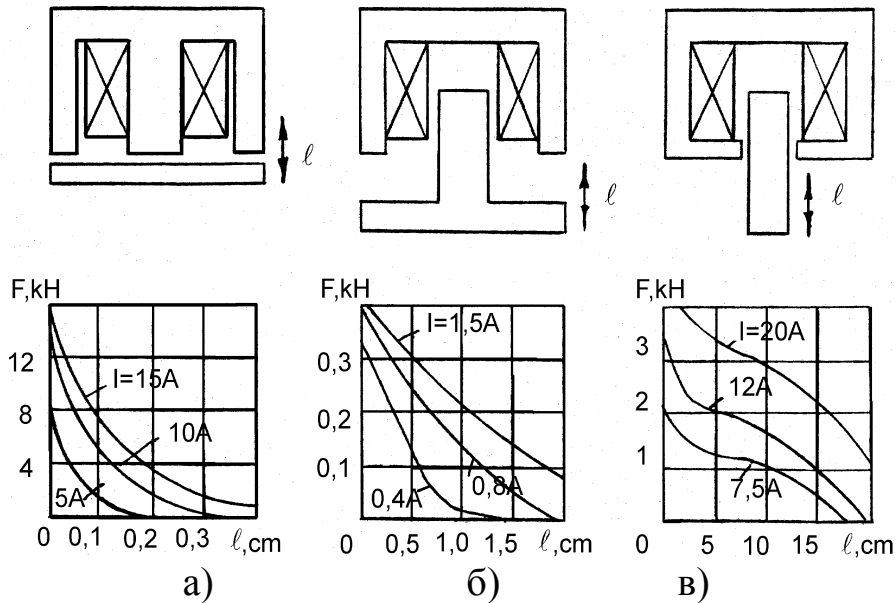


Рисунок 10.2 – Форми магнітопроводів і тягові характеристики електромагнітів: а – короткоходові; б і в – довгоходові.

Вибір електромагніту здійснюють по напрузі, струму й споживаній потужності. Після вибору електромагніту, розраховують його обмотки на нагрівання, вважаючи, що середня припустима температура нагрівання становить 85...90°C.

10.2 Електромагніти змінного струму

Тягова характеристика. Як ір ЕМ притягається до сердечника при подачі в обмотку як постійного, так і змінного струму. Вважаючи потік у магнітопроводі синусоїдальним, що справедливо при синусоїдальній напрузі на затискачах обмотки із малим активним опором, вираження для тягового зусилля буде наступним

$$Q_T = \frac{\Phi_\delta^2}{2\mu_0 S} = \frac{(\Phi_{\max} \cdot \sin \omega t)^2}{2\mu_0 S} = Q_{T \max} \cdot \sin^2 \omega t,$$

де Φ_δ - магнітний потік у повітряному зазорі;

S - поперечний переріз повітряного зазору;

ω - кругова частота живильного струму;

$Q_{T \max} = \Phi_{\max}^2 / (2\mu_0 S)$ - амплітуда тягового зусилля, незмінного за знаком і пульсуючого з подвоєною частотою (рисунок 10.3).

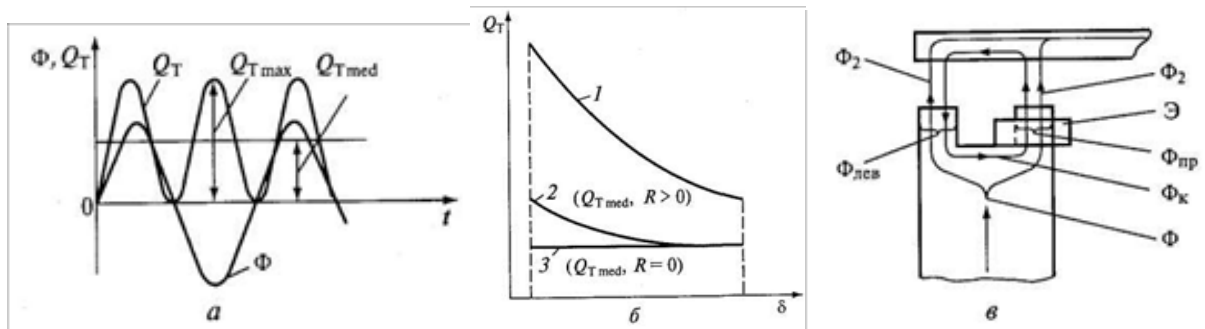


Рисунок 10.3 – Магнітний потік та тягове зусилля ЕМ (а), тягові характеристики ЕМ постійного (1) та змінного (2, 3) струму (б) та схема екрану для усунення вібрації якоря

Різною залежністю від δ пояснюється відмінність статичних тягових характеристик ЕМ і струмів, показаних на рис.10.3, б. Якщо тягова характеристика 1 електромагніту постійного струму круто піднімається зі зменшенням δ , то тягова характеристика 2 електромагніту, що працює на змінному струмі, більш полого через зростання індуктивності обмотки.

Способи усунення вібрації якоря. Як видно з рис. 10.3, а, у деякі моменти часу тягове зусилля Q_T дорівнює нулю. Якщо $f = 50$ Гц, то якір робить 100 коливань у секунду, що призводить до підвищеного механічного зношування й виникнення шуму.

Ефективними засобами зниження вібрації якоря є зменшення пульсації тягового зусилля за допомогою магнітних екранів (короткозамкнених витків), що охоплюють частину перетину сердечника, і використання багатозазорних ЕМ.

На рисунку 10.3, у наведена конструкція частини магнітопроводу ЕМ з екраном і показані напрямки магнітних потоків при зменшенні основного потоку Φ . Тоді, відповідно до принципу Ленца, потік Φ_k , створюваний струмом, наведеним в екрані (Е) правим потоком $\Phi_{пр}$, буде спрямований узгоджено із правим потоком $\Phi_{пр}$, тобто $\Phi_2 = \Phi_{пр} + \Phi_k$ і $\Phi_1 = \Phi_{лів} - \Phi_k$, де Φ_1 Φ_2 - сумарні потоки в повітряних зазорах.

Для того щоб виключити вібрацію якоря, можна також використовувати двох- або трифазний електромагніт зі струмами в котушках, зміщеними по фазі.

Якщо з якорем з'єднані інерційні механізми, то він стає більш важчим, що запобігає вібрації. Однак чутливість ЕМ при цьому знижується.

Тягові характеристики електромагнітів постійного й змінного струму

Основні характеристики прямоходових ЕМ – залежність між переміщенням якоря й тяговим зусиллям, залежність між положенням якоря (його переміщенням) і витратою електроенергії й час спрацювання. Ці характеристики залежать від форми магнітопроводу, що складається з ярма і якоря, розташування обмоток, що намагнічують, і роду живильного струму (змінного або постійного).

Залежно від ходу якоря (його максимального переміщення) розрізняють короткоходові (рисунок 10.2 а) і довгоходові (рисунок 10.2 б,с) електромагніти.

Поляризовані електромагніти.

Принципова відмінність поляризованих електромагнітів (ПЕМ) від нейтральних полягає в існуванні залежності між напрямком переміщення якоря й полярністю керуючої напруги U_k , що прикладається до робочої обмотки. Ця залежність досягається за допомогою двох магнітних потоків: робочого Φ_r , створюваного постійною напругою, полярність якого може змінюватися, і поляризуючого Φ_n , утвореного постійним магнітом або електромагнітом постійного струму з незмінною полярністю живлячого напруги (рисунок 10.2).

Підвищена швидкодія ПЕМ (мс) у порівнянні з нейтральними ЕМ досягається не тільки конструктивними особливостями (шихтованим магнітопроводом, невеликим ходом і масою якоря, малою постійною часу обмотки), але й безпосередньо пов'язана з його принципом дії: при спрацюванні й відпусканні потік у магнітопроводі не виникає й не зникає, а перерозподіляється, або змінює своє значення. Ще одна особливість ПЕМ з постійним магнітом полягає в можливості прийняття якорем різних фіксованих положень при знеструмленій робочій обмотці.

Розрізняють три основні конструктивні схеми магнітопроводів ПЕМ: послідовну, паралельну (диференційну), а також бруківку (рисунок 10.4).

Схема ПЕМ з послідовним магнітним ланцюгом, у якому робочий потік Φ_r , створюваний струмом робочої обмотки, і потік поляризації Φ_n постійного магніту замикаються в загальному простому нерозгалуженому магнітопроводі 1 (рисунок 10.4, а) разом з його схемою заміщення (у схемі заміщення передбачається, що магнітний ланцюг не насичений). При зустрічній дії потоків Φ_r і Φ_n якір 2 відтягується пружиною 3. Зміна полярності робочої напруги викликає притягання якоря до осердя.

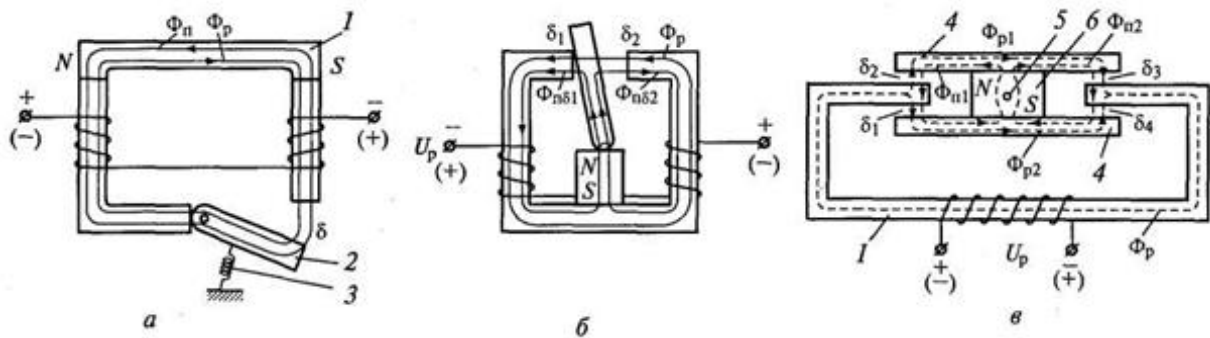


Рисунок 10.4 - Конструктивні та еквівалентні електричні схеми поляризованих ЕМ: а – нерозгалужений магнітопровід; б – з диференційним магнітним колом; в – з мостовим магнітопроводом; 1 – магнітопровід; 2 – якір; 3 – пружина; 4 – полюсні наконечники; 5 – вісь; 6 – постійний магніт.

Основні недоліки ПЕМ з послідовним магнітним ланцюгом - це, по-перше, мала магнітна проникність магнітотвердого матеріалу постійного магніту, через що знижується чутливість ПЕМ і необхідна підвищена МРС робочої обмотки, а, по-друге, вплив, що розмагнічує робочу МРС на постійний магніт, що несприятливо позначається на стабільності намагніченості останнього й збільшує розміри ПЕМ.

Контрольні запитання

1. Призначення та галузь застосування електромагнітів (ЕМ).
2. Види та принцип дії ЕМ.
3. Переваги та недоліки ЕМ постійного та змінного струму.
4. Що розуміють під інерційністю ЕМ?
5. Причини виникнення вібрації якоря та способи її усунення.
6. Тягові характеристики електромагнітів постійного й змінного струму.
7. Конструкція та призначення поляризованих електромагнітів.
8. Види поляризованих електромагнітів.
9. Порівняльна характеристика утримуючих та приводних електромагнітних виконавчих механізмів (ЕМВМ).
10. Переваги ЕМВМ над електродвигунними ВМ.

11. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ МУФТИ. ЕЛЕКТРИЧНІ ДВИГУНИ

11.1. Електромагнітні муфти

Класифікація муфт

Передачу обертаючого моменту із вихідного валу (найчастіше валу приводного двигуна) на співвісний вхідний вал (вал механізму, що приводиться) здійснюють за допомогою муфт. Їхня класифікація представлена на рисунку 11.1. Першою класифікаційною ознакою служить керованість муфт, потім - вид керуючої енергії, далі - характер з'єднання вхідного й вихідного валів і, нарешті, - принцип керування.



Рисунок 11.1- Класифікація електромагнітних муфт

Для швидкого включення, вимикання й реверсу механізмів, що приводяться, а також для регулювання їх швидкості й обмеження переданого моменту, застосовують різні керовані зчіпні муфти. До них відноситься велика група електромеханічних муфт, тобто муфт, у яких для передачі механічного моменту виконавчому механізму використовують електричний сигнал. Оскільки потужність сигналу, який генерується, менший ніж потужність на привідному валу робочої машини (ПВРМ), то електромеханічну муфту можна розглядати як підсилювач із коефіцієнтом підсилення по потужності. Коефіцієнт підсилення по потужності

$$k_p = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{ex}}} = \frac{M\Omega}{UI},$$

де M - електромагнітний момент муфти;

Ω - кутова частота, що встановився, обертання;

U - напруга живильної мережі;

I - значення, що встановилося, струму в котушці.

У муфті-підсилювачі електричний сигнал управляє потужністю, переданої від ведучого валу до ПВРМ.

Керовані муфти по виду статичної характеристики (залежності швидкості обертання вихідного валу від сигналу керування), підрозділяються на релейні й аналогові. Перші, після подачі сигналу керування, здійснюють жорстке зчеплення валів, а другі - гнучке, при якому швидкість ведучого валу зв'язана плавною залежністю з керуючим сигналом. Гнучке зчеплення дозволяє в деяких системах керування обійтися без керованих виконавчих двигунів.

Приводи з керованими муфтами мають більшу швидкодію через менший момент інерції муфт у порівнянні з виконавчими двигунами.

Керовані електромеханічні муфти застосовують у регульованих приводах у діапазоні потужностей від декількох ват і до десятків мегават. Розглянемо кілька типів електромеханічних муфт із електричним керуванням.

Муфти ковзання

Муфти ковзання (МК) призначені в основному для гнучкого зчеплення валів і регулювання частоти обертання при нерегульованому приводному двигуні. Їх називають також асинхронними індукційними муфтами зі зв'язком через магнітне поле з електромагнітним керуванням. Із усього конструктивного й функціонального різноманіття МК розглянемо широко розповсюджені муфти індукторного типу з масивним якорем, як найбільш прості у виготовленні й експлуатації.

Принцип дії таких МК пояснимо на прикладах їх конкретних виконань (рисунок 11.2.). Так на рисунку 11.2, а показана схема муфти індукторного типу з ковзними струмопровідними контактами, основними частинами якої є якір 4 і індуктор 6. Між двома рядами зубців 3 муфти розміщена кільцева обмотка 5, живлення до якої підводить за допомогою кілець 2. Таку конструкцію називають однойменно полюсною, тому що зубці кожного ряду мають однакову полярність. Індуктор за допомогою шліців з'єднується із ведучим валом 1, а якір посаджено на веденому валу 7. При обертанні індуктора внаслідок механічного переміщення електромагнітів виникає обертове магнітне поле. Взаємодія вихрових струмів, що наводяться при цьому в якорі, з обертовим магнітним полем, рухає якір убік обертання індуктора.

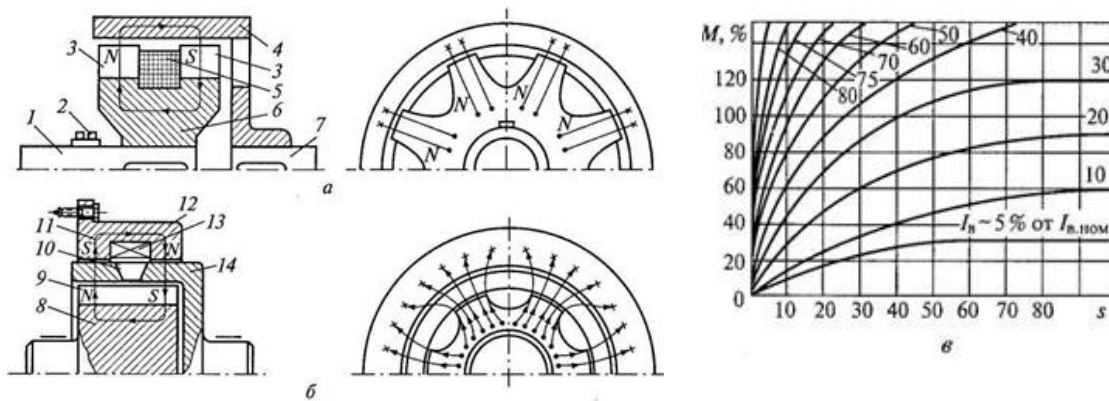


Рисунок 11.2 - Схеми і характеристики муфт ковзання: а – індукторна із ковзкими контактами; б – безконтактна індукторна; в – механічні характеристики; 1 – ведучий вал; 2 – кільце; 3, 9 – зубці; 4, 14 – якір; 5, 13 – обмотка; 6, 8 – індуктор; 7 – вихідний вал; 10 – кільце немагнітне; 11 – магнітний потік; 12 – нерухома частина.

Виділимо на внутрішній поверхні якоря контури, відповідні до обрисів зубців полюсів N і S. При обертанні індуктора потокозчеплення з виділеними контурами зменшується і, відповідно до закону електромагнітної індукції, в якорі наводяться вихрові струми. Згідно із принципом Ленца їх напрямки повинні бути такими, щоб створюваний ними магнітний потік був спрямований згідно з магнітним потоком обмотки, а механічні сили від взаємодії останнього з вихровими струмами викликали рух якоря за індуктором. Можна сказати, що на внутрішній поверхні якоря проти кожного полюса N індуктора виникає полюс S, а проти полюса S індуктора - полюс N на якорі. Взаємне притягання цих полюсів, протилежних за полярністю, змушує ведений вал обертатися убік ведучого.

На рисунку 11.2, б представлена схема магнітної системи безконтактної МК індукторного типу. У нерухомій частині 12 магнітопроводу цієї муфти розміщена кільцева обмотка 13. Якір 14 складається із двох феромагнітних половин циліндричної форми, які з'єднуються немагнітним кільцем 10, що перешкоджають замиканню магнітного потоку 11 по якорю. Проходячи по індуктору 8, цей потік намагнічує зубці 9. Якщо на внутрішній поверхні якоря при обертанні індуктора магнітна індукція по окружності змінюється, наводячи вихрові струми в якорі, то на зовнішній його поверхні магнітне поле близьке до однорідного, завдяки чому якір 14 практично не взаємодіє з нерухливою частиною 12. Безконтактне виконання збільшує експлуатаційну надійність МК, однак при цьому неминуча підвищена витрата міді в

обмотці й збільшення розмірів магнітної системи. Це пояснюється необхідністю створення більшої МРС для подолання додаткового, неробочого зазору між нерухливою частиною магнітопроводу й зовнішньою поверхнею якоря.

Для МК великої потужності, з якорем у вигляді білячої клітки (рисунок 11.2), наведені механічні характеристики залежності моменту від ковзання $M(s)$ при незмінних струмі зрушення ($I_B = \text{const}$) і частоті обертання приводного двигуна ($n_1 = \text{const}$). Кожному значенню струму зрушення відповідає своя механічна характеристика. З ростом I_B зменшується s , внаслідок більшого зв'язку якоря з індуктором через більш сильне магнітне поле.

Найважливіші переваги МК - простота конструкції й керування, низька вартість, відсутність деталей, які зношуються, що обумовлює підвищений експлуатаційний ресурс. Крім відзначених раніше гнучкого зчеплення й плавного регулювання частоти обертання, в різноманітних конструктивних виконаннях МК забезпечуються обмеження обертаючого моменту, регулювання гальмового зусилля за будь-яким законом, запобігання електропривода від поломок, пуск приводного двигуна вхолосту й з моментом опору, що перевищують пусковий момент. Основними недоліками МК є значні розміри, маса й втрати енергії при тривалій роботі з великим ковзаннями (потужність втрат пропорційна s).

Феропорошкові муфти

Феропорошкові муфти (ФПМ) призначені в основному для гнучкого зчеплення валів, хоча можуть застосовуватися й для твердого зчеплення.

Конструктивна відмінність ФПМ із сухим або рідким наповнювачем і електромагнітним керуванням від розглянутих раніше фрикційних муфт (ФМ) з таким же керуванням полягає в тому, що, по-перше, напівмуфта на відомому валу посаджена жорстко і, по-друге, незмінний робочий зазор заповнений магнітодіелектриком. Останній являє собою або суміш феромагнітного порошку із сухим діелектриком, називаним роздільником і призначеним для запобігання комкування й істотного зменшення зношування муфти при високих температурах, або стану феромагнітного порошку та у рідкому діелектрику.

Наповнювачі-магнітодіелектрики мають властивість тиксотропії, тобто здатність ставати драглистими, усе більш ущільнюючись аж до затвердіння в міру посилення магнітного поля, а при знятті його повертатися у вихідний стан. Орієнтуючись по силових лініях поля,

ферромагнітні частки утворюють ланцюжки-зв'язки, що зчіплюють ведучу й вихідну поверхні. Ведуча поверхня, захоплюючи вихідну, приводить її в рух.

На рисунку 11.3, а показана схема циліндричної ФПМ із двома концентричними поверхнями 10 і 9. Кільцевий простір між ними заповнений порошковою сумішшю 8. На внутрішній - провідній напівмуфти розташована обмотка збудження 7, виведена на контактні кільця 2, до яких притискаються щітки 4. Кришки 5 і 14, виготовлені з немагнітного матеріалу, дозволяють направити більшу частину магнітного потоку через порошок шар, зменшивши потік розсіювання і знизити масу вихідної напівмуфти.

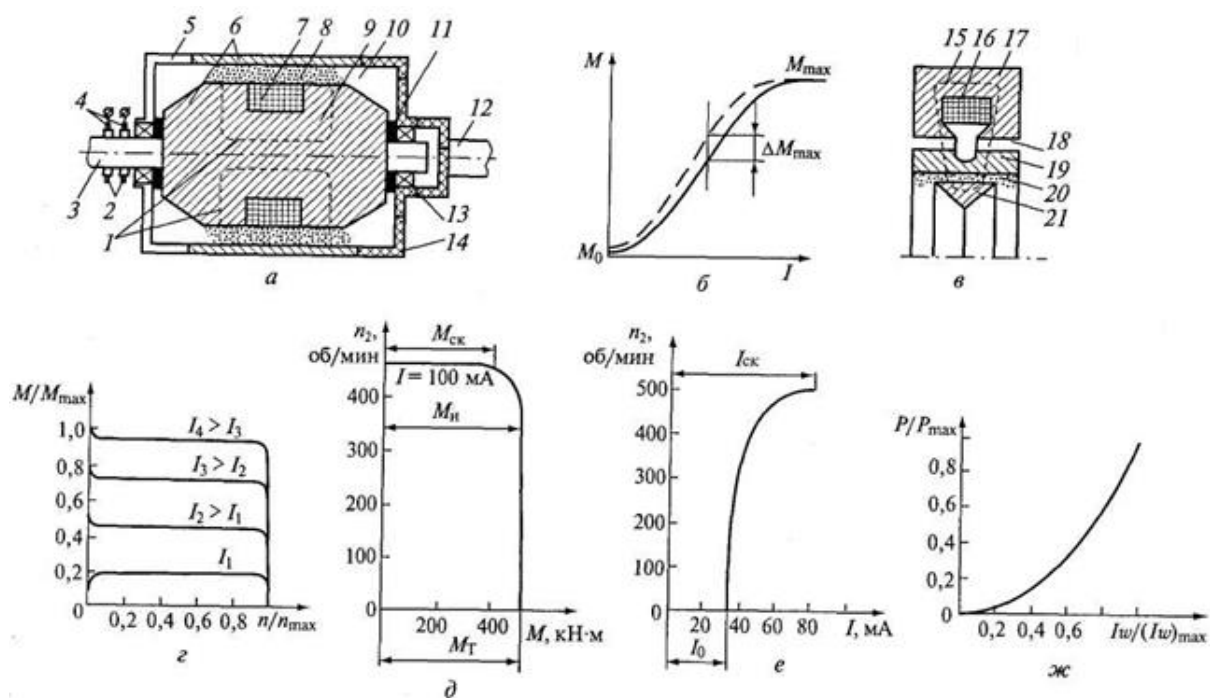


Рисунок 11.3 – Ферропорошкові муфти: а – схема циліндричної ФПМ; б – залежність обертального моменту муфти від струму; в – магнітна система безконтактної муфти; г - залежність переданого моменту від струму керування та частоти обертання; д – залежність швидкості веденого валу від переданого моменту; е – залежність швидкості веденого від струму; ж – залежність переданої потужності від МРС обмотки; 1, 15 – магнітні потоки; 2 – контактні кільця; 3 – ведучий вал; 4 – ведений вал; 5, 14 – кришки; 6 – ферромагнітні деталі; 7 – обмотка збудження; 8 – порошкова суміш; 9, 10 – концентричні поверхні; 11 - ущільнення; 12 – вал, який приводиться; 13 – підшипники; 16 – обмотка; 17 – нерухома частина; 18 – повітряний зазор; 19 – ведуча частина; 20 – робочий повітряний зазор; 21 – ведена частина.

Лінійність залежності $M(1)$ при малих і більших значеннях струму порушується (рисунок 11.3, б) через зміну щільності шару, що зчіплює, і насичення магнітопроводу. При відсутності струму в обмотці із провідного валу 3 на ведений вал 12 передається невеликий обертаючий момент M_0 , обумовлений силами тертя в робочому шарі, ущільненнях муфти й залишковим магнітним потоком. Характеристика $M(1)$ має магнітний і механічний гістерезис (спадна частина показана штриховою лінією). Відношення $\Delta M/M_{\max}$ коливається в межах 7...15%, а M_0/M_{\max} - у межах 3...10%.

На рисунку 11.3 подано ескіз магнітної системи ФПМ із нерухливою обмоткою. Такі муфти ще називають безконтактними через відсутність ковзних контактів каблучка-щітка.

ФПМ мають важливу перевагу в порівнянні ФМ, тому що в них здійснюється гнучке зчеплення валів: магнітні взаємодії, що утворювалися при даному струмі, витримують певний граничний момент опору M_c ; при $M < M_c$ ці взаємодії руйнуються, муфта починає прослизати, потім зв'язування знову відновлюються й розриваються. Через такий імпульсний вплив частоти обертання й провідного n_1 і веденого n_2 валів нерівні, і останній обертається з ковзанням

$$s = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}$$

відмінним від нуля. Таким чином, при гнучкому зчепленні валів буде $n_2 < n_1$. Проковзування обмежує переданий момент M аж до зупинки відомого валу ($s = 1$) при значному перевищенні M_c над M .

Рисунок 11.3, г ілюструє одне з найважливіших властивостей ФПМ – не залежність моменту M на веденому валу (переданого моменту) від його частоти обертання при незмінному струмі обмотки керування.

На рисунку 11.3, д показана залежність $n_2(M)$ для однієї із ФПМ при $I=100 \text{ мА}=\text{const}$ і $n_1=500\text{об/хв}=\text{const}$. При $M = M_{\text{СК}}$ ковзання починається, а при $M = M_T$ воно стає рівним одиниці.

Для цієї ж муфти (рисунок 11.3, е) залежність $n_2(I)$ при постійному навантажувальному моменті $M_H = 393 \cdot 10^3 \text{ Нм} = \text{const}$ і $n_1 = 500 \text{ об/хв} = \text{const}$. Криву $n_2(I)$ можна побудувати по залежностях $M(I)$ і $n_2(M)$. З рисунка видно, що при досить великому струмі вали зчеплені жорстко ($n_2 = n_1, s = 0$). Зменшення струму до значення $I_{\text{СК}}$ викликає проковзування муфти, внаслідок чого n_2 стає менше від n_1 . Чим менше I , тим більше s . Коли I досягає значення I_0 , ведений вал зупиняється ($n_2=0, s=1$).

Таким чином, ФПМ дозволяє регулювати частоту обертання. При цьому теплота, що виділяється, розсіюється або за допомогою спеціальної системи охолодження, або за рахунок збільшення розмірів муфти й пов'язаного із цим недовикористання її по М. Крім того, на майже вертикальній ділянці характеристики $n_2(I)$ підтримувати необхідну частоту обертання можна тільки за допомогою досить складної системи автоматичного регулювання. Отже, можливості ФПМ по регулюванню частоти обертання в широкому діапазоні обмежені.

На рисунку 11.3, ж показана залежність $P/P_{\max} = f[I_w/(I_w)_{\max}]$ переданої потужності від МРС обмотки муфти. Так як наповнювач практично не має інерційності, кожному миттєвому значенню струму відповідають певні потік Φ и переданий момент М.

Оскільки наповнювач збільшує магнітну проникність робочого зазору в 4...8 раз, потужність керування знижується приблизно вдвічі у порівнянні із ФМ. До переваги ФПМ відноситься швидкодія (в 10...15 раз більше, ніж у ФМ), обумовлене нерухомістю обох напівмуфт в осьовому напрямку й практичної відсутності інерційності наповнювача. Основний недолік ФПМ - більші розміри й маса у порівнянні із ФМ.

Часто ФПМ застосовують у якості зчіпних, запобіжних, динамометричних і гальмових, а завдяки лінійній залежності $M(I)$ - в якості підсилювачів потужності для сервоприводів систем, що стежать.

Фрикційні муфти

Фрикційні муфти (ФМ) призначені в основному для жорсткого зчеплення валів. Гнучке з'єднання з їхньою допомогою можливо тільки шляхом імпульсного керування, при якому частота обертання валу являє собою функцію генератора імпульсів напруги, що подається на затискачі обмотки. Фрикційні муфти, або електромеханічні муфти сухого тертя, з механічним зв'язком (рисунок 11.4) характеризуються більшою різноманітністю конструкцій і схем керування.

На рисунку 11.4, а показана однодискова нереверсивна ФМ, що складається із двох циліндричних напівмуфт. На ведучому валу 7 жорстко посаджена напівмуфта 4, що є сердечником і ярмом електромагніту. Його якорем служить напівмуфта 2, яка з'єднана з веденим валом 1 ковзною посадкою і тому може переміщатися в осьовому напрямку. За допомогою кілець 6 і щіток, на обмотку 5 подається керуюча напруга. Виникаюче тягове зусилля викликає притягання якоря (напівмуфти 2) до сердечника (напівмуфти 4) і щільне зчеплення фрикційних дисків 5 з матеріалів з високим коефіцієнтом тертя (сталь

- сталь, чавун - чавун, бронза - бронза, чавун - бронза, сталь - феррідолітій (ін.), завдяки чому забезпечується зчеплення валів.

При знеструмленій обмотці якір відтягується від осердя пружиною (на рисунку 11.4 не показана). Основна перевага однодискової ФМ - простота, однак із зростанням переданого обертаючого моменту значно збільшуються її розміри.

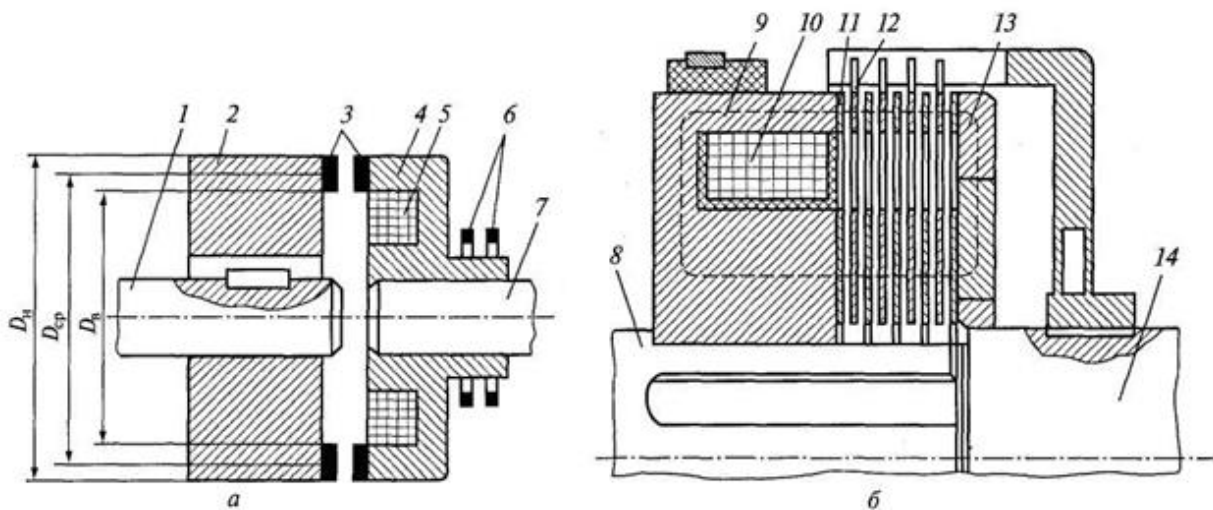


Рисунок 11.4 - Конструкційна схема фрикційних муфт: а – однодискова; б – багатодискова; 1, 14 – ведений вал; 2, 4 – напівмуфти; 3, 11, 12 – фрикційні диски; 5, 10 – обмотка; 9 – кільця; 7, 8 – ведучий вал; 9 – осердя; 13 – прижимна шайба.

Багатодискові ФМ (рисунок 11.4, б), де фрикційні диски 11 з'єднані шліцями внутрішньої окружності із провідним валом 8, а диски 12 за допомогою шліців на зовнішній окружності - з веденим валом 14. При відключеній обмотці 10 диски 11 і 12, що чергуються, прослизують один відносно одного. Подача напруги керування забезпечує притискання дисків один до одного. внаслідок притягання до сердечника 9 натискної шайби 13, що є якорем електромагніту. У результаті цього виникає зчеплення між дисками, необхідне для передачі заданого моменту M .

При заданому зовнішньому діаметрі D_n фрикційної муфти можна знайти число фрикційних дисків m для передачі необхідного обертаючого моменту M веденому валу. Їх небагато ($m = 6...10$), а виходить, надійне й швидке включення ФМ досягається при досить високих значеннях питомого тиску на фрикційних поверхнях - 7,8...9,8 Па.

З рисунка 11.4, б, де штрихами умовно показана середня силова лінія верхньої половини ФМ, видно, що стосовно натискної шайби 14 фрикційні диски являють собою магнітні шунти, по яких замикаються

потоки розсіювання, що послабляють силу притягання. Щоб магнітний опір у радіальному напрямку став значно більше, чим в осьовому, у дисках зроблені вирізи, що приводять до створення вузьких перемичок, що легко насичуються. Таким чином вдається обмежити потік розсіювання через кожний диск у середньому до 2...4 %.

Обмотку ФМ звичайно підключають до постійної напруги (або змінної, через вбудований випрямляч), щоб використовувати переваги електромагнітів постійного струму. Встановлений режим у приводах з електромагнітними муфтами настає після закінчення перехідних процесів не тільки в муфті, але й у приводному двигуні. Тому перехідні процеси розглядають не власно в муфті, а в системі двигун-муфта-механізм, що приводиться.

Для аналізу перехідних процесів під час пуску привода із ФМ можна виділити три часових інтервали.

Час $t_{вл}$ вибірки люфту $\delta_{\Delta} = \delta_0 - \delta_k$, де δ_0 , δ_k - довжина повітряного зазору відповідно у відтягнутому стані якоря при $I = 0$ і притягнутому стані, коли якір перемістився до початку зіткнення фрикційних поверхонь. Інакше кажучи, цей період охоплює час $t_{тр} + t_{дв1}$, де $t_{тр}$ - час рушання якоря від подачі напруги U на затискачі котушки до початку осьового руху якоря; $t_{дв1}$ - час осьового руху якоря до зіткнення фрикційних поверхонь. Час $t_{вл}$ визначається тільки параметрами ФМ. У цей період ведений вал нерухливий, тому що зчеплення напівмуфт ще немає.

Час зчеплення $t_{сч} = t_{дв2}$ - від моменту зіткнення до моменту повного зчеплення поверхонь тертя. У цей час диски прослизають один відносно одного, поки ще не закінчився осьовий рух якоря, а магнітний потік і електромагнітний момент продовжують зростати. Після початку обертання веденого валу при $M > M_c$ (M_c - момент опору, створюваний навантаженням), частота обертання двигуна зменшується, а частота обертання механізму, що приводиться, збільшується. Вони стають однаковими, коли настає повне зчеплення. Час $t_{сч}$ визначається параметрами не тільки ФМ, але й двигуна, що й приводиться механізму.

Час повного розгону $t_{п р}$ - від моменту встановлення повного зчеплення напівмуфт до моменту досягнення, що встановилося значення частоти обертання. На цьому етапі процес протікає так само, як і при твердому з'єднанні валів, і час $t_{п р}$ визначається не тільки параметрами двигуна, а й приводного механізму.

11.2. Електродвигуни

Найпоширенішими силовими мікродвигунами автоматики є асинхронні двигуни (АД). Двигуни мають короткозамкнений ротор, який найчастіше має обмотку, виготовлену у вигляді білячої клітки. Рідше ротор виготовляється масивним і порожнім із чавуну або сталі, що робиться або для одержання м'яких механічних характеристик, або заради досягнення особливої механічної міцності ротора, необхідної при високих частотах обертання, або з метою зменшення акустичного шуму при роботі двигуна. В якості силових двигунів у схемах автоматики дуже часто застосовуються трифазні й однофазні асинхронні мікродвигуни широкого застосування, розраховані на роботу від мережі із частотою 50 Гц. Класифікація силових асинхронних мікродвигунів представлена на рисунку 11.5.

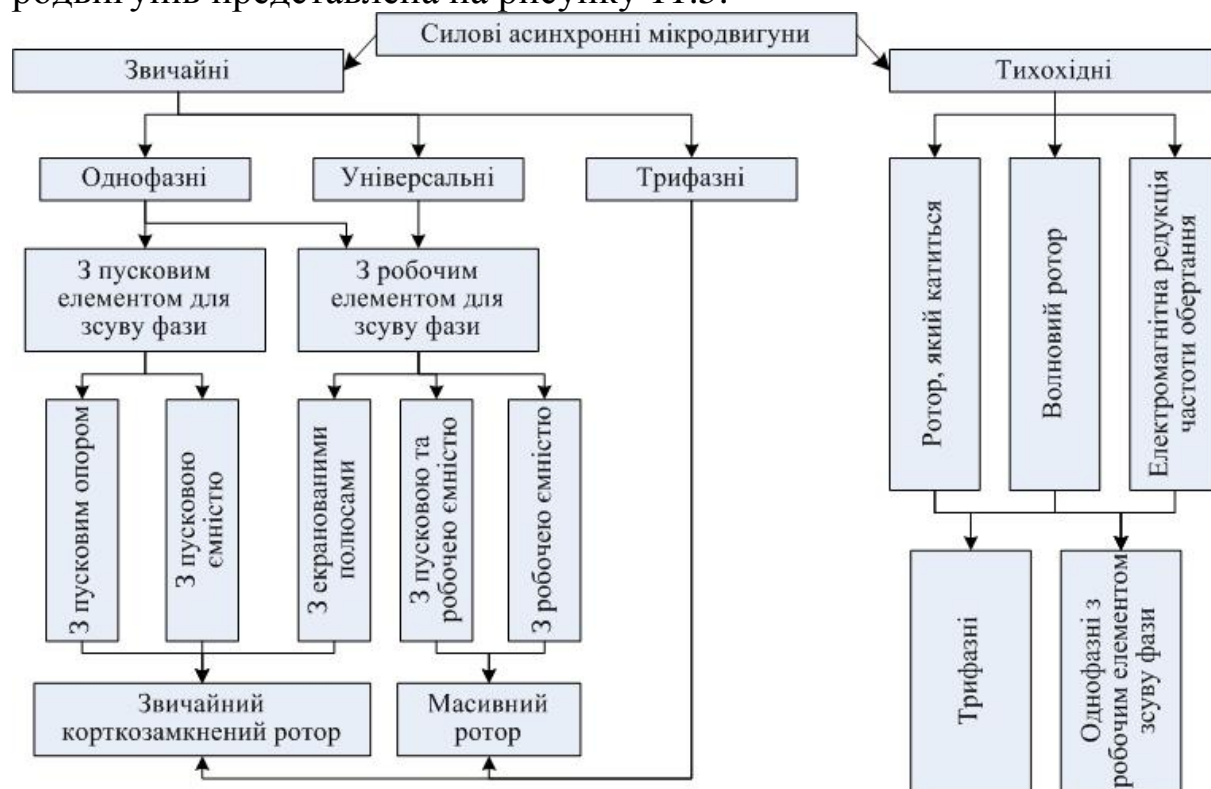


Рисунок 11.5- Класифікація силових асинхронних мікродвигунів

Оскільки механічна потужність АД практично (за інших рівних умов) прямо пропорційна частоті живлячого напруги, а габаритні розміри визначаються значенням обертаючого моменту M , то в схемах автоматики дуже часто застосовують асинхронні двигуни, розраховані на роботу від напруг підвищеної частоти f .

У ряді схем автоматики виникає зворотне завдання - необхідність одержання малих частот обертання n . В асинхронних і синхронних двигунів змінного струму середніх і більших потужностей цього

можна легко досягти за рахунок збільшення числа пар полюсів p , так від цього залежить синхронна частота обертання n_c

$$n_c = \frac{60f}{p}.$$

Для двигунів малих потужності й габаритних розмірів цей спосіб практично неприйнятний, особливо якщо вони розраховані на роботу від мереж підвищеної частоти. При малих габаритах збільшення числа пара полюсів p , а отже, і числа пазів двигуна є досить важким, а іноді й неможливим.

З метою одержання низьких частот обертання доводиться застосовувати спеціальні тихохідні двигуни або з електромагнітною редукцією частоти обертання, або хвильовим ротором.

Однофазні асинхронні двигуни по своїй конструкції, в переважній більшості випадків, є двофазними. Вони, як правило, мають на статорі дві обмотки, здвинуті в просторі на 90° . Одна обмотка називається робочою, або головною. Вона підключається безпосередньо до однофазної мережі. Інша обмотка називається пусковою, або допоміжною. Вона підключається до однофазної мережі через фазозсувний елемент або тільки на час пуску, або постійно. У деяких двигунах допоміжна обмотка взагалі не підключається до мережі, а ЕРС у ній наводиться потоком головної обмотки.

Залежно від типу фазозсувного елемента, а також від способу використання допоміжної (пускової) обмотки, силові однофазні асинхронні (і синхронні) мікродвигуни можна розділити *на п'ять груп*: з пусковим опором; пусковим конденсатором; пусковим і робочим конденсатором; робочим конденсатором; екранованими полюсами.

Крім однофазних мікродвигунів у системах автоматики у якості силових використовуються також універсальні асинхронні мікродвигуни, які, за призначенням трифазні, але при зміні схеми з'єднання обмоток і включенні фазозсувних елементів можуть працювати й від однофазних мереж змінного струму.

У системах автоматики й телемеханіки, у різних приладах виконавчі двигуни постійного струму (ДПС) знаходять не менш широке застосування, ніж виконавчі двигуни змінного струму. До позитивних якостей виконавчих ДПС відносяться наступні:

- можливість одержання теоретично будь-яких, як завгодно малих і великих частот обертання;
- можливість плавного регулювання частоти обертання у широкому діапазоні;

- стійкість роботи практично при будь-яких частотах обертання;
- лінійність механічних, а в ряді випадків - і регулювальних характеристик;
- відсутність самоходу;
- значний пусковий момент;
- порівняно невелика електромеханічна постійна часу;
- малі габаритні розміри й маса (значно менші, ніж у виконавчих двигунів змінного струму).

Основним недоліком найбільше широко розповсюджених колекторних (контактних) виконавчих двигунів постійного струму, що обмежують області їх застосування, є наявність ковзних контактів - колектора й щіток.

Контрольні запитання

1. Призначення та класифікація електромагнітних муфт.
2. Особливості керованих і некерованих електромагнітних муфт.
3. Муфти ковзання (МК) та принцип їх роботи.
4. Найважливіші переваги МК
5. Призначення та принцип роботи ферропорошкових муфт.
6. Призначення та принцип роботи фрикційних муфт.
7. Одно- та багатодискові фрикційні муфти.
8. Коли закінчується перехідний режим у приводах з електромагнітними муфтами?
9. Які існують електродвигуни для приводу робочих органів машин?
10. Призначення та види виконавчих двигунів.

12. КРОКОВІ ДВИГУНИ

У приводах подачі прецизійних шліфувальних верстатів, приладах точної механіки й оптики часто необхідне відпрацьовування переміщень, що становлять кілька мікрометрів, а іноді й десятки частки мікрометра. При використанні для цієї мети крокових двигунів, що як володіють малим кутовим кроком все-таки необхідна механічна передача з більшим передатним відношенням, якій властиві істотні похибки. Так як у вказаних установках дуже високі вимоги до точності, то застосування крокових двигунів практично виключається. Частковим вирішенням завдання може бути використання крокових двигунів з електричним дробленням кроку, коли за допомогою спеціальної електронної схеми при подачі чергового імпульсу, забезпечується переміщення не на повний крок, а тільки на його частину. У цьому випадку керування переходить від дискретного до безперервного. Однак і тут не обійтися без механічної передачі.

У зв'язку із цим для мікропереміщень необхідні двигуни, виконані на іншій фізичній основі. Принципово можлива побудова двигунів на основі теплового розширення тіла, електромагнітної взаємодії, магнітострикції, зворотного п'єзо ефекту.

Двигуни для мікропереміщень, побудовані на тепловому розширенні тіла, не використовуються через велику інерційність і негативний вплив температурних полів на інші прилади й вузли.

Двигуни, виконані для втягування або поворотні електромагнітні пристрої, іноді знаходять застосування, однак в них дуже важко забезпечити тягове зусилля, що слабо залежить від переміщення. Крім того, такий двигун є інерційним через велику індуктивність тягової котушки. Частота пропускання керуючого сигналу в ньому становить 10...20 Гц. Позитивна якість двигуна - забезпечення достатньо великих переміщень, обумовлених ходом електромагніту (хід може становити кілька міліметрів). У більшості випадків в установках поряд з мікропереміщеннями необхідні й відносно більші фіксовані подачі.

12.1. Принцип дії крокових двигунів

У схемах автоматики, телемеханіки й обчислювальної техніки поряд з автоматичними системами безперервної дії, які виконуються за допомогою розглянутих вище звичайних двигунів, широко застосовуються системи дискретної (імпульсної) дії. У таких системах використовуються спеціальні виконавчі двигуни - крокові.

Крокові двигуни (КД) - це електромеханічні пристрої, які перетворюють електричні імпульси напруги керування в дискретні (стрибокподібні) кутові й лінійні переміщення ротора з можливою його фіксацією в потрібних положеннях. На відміну від звичайних двигунів, крокові двигуни мають неповторні відмінності, які визначають їхні виняткові властивості при використанні в деяких областях застосування.

Головна перевага КД - це можливість здійснення точного позиціонування й регулювання швидкості без застосування датчиків у ланцюзі зворотного зв'язку. У випадку застосування крокових двигунів у системах зі змінним навантаженням і більшими прискореннями без зворотного зв'язку все-таки не обійтися. Це пояснюється тим, що якщо момент навантаження прикладеної до крокового двигуна зрівняється або перебільшить максимальний крутний момент крокового двигуна на даній частоті обертання, те кроковий двигун випадає із синхронізації й інформація про положення ротора втрачається. У випадках, коли відбувається випадання крокового двигуна із синхронізації й відбувається втрата інформації про положення ротора потрібно вводити в систему зворотний зв'язок із застосуванням тих або інших типів датчиків.

Перші крокові двигуни виготовлялися у вигляді електромагніту, що приводить в обертання храпове колесо (рисунок 12.1), яке за одне включення електромагніту під напругу (за один такт) переміщалося на цілком певний кут - крок, величина якого визначається величиною зубцевого кроку храпового колеса.

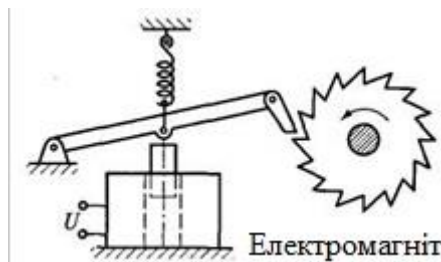


Рисунок 12.1- КД з електромагнітом та храповим механізмом

Для забезпечення реверсу на валу двигуна встановлювалося два храпові колеса, повернених на 180° друг щодо друга, і двигун забезпечувався двома електромагнітами. Незважаючи на наявність ряду недоліків храпових крокових двигунів, вони й у цей час знаходять досить широке застосування в схемах автоматики.

Крокові електродвигуни може бути розглянутий як ДПС без колекторного вузла. Обмотки КД є частиною статора. На роторі розта-

шований постійний магніт або, для випадків зі змінним магнітним опором, зубчастий блок з магнітом'якого матеріалу. Усі комутації проводяться зовнішніми схемами. Якщо порівнювати крокові двигуни зі звичайними двигунами постійного струму, то кроковий двигун вимагає більш серйозних схем керування, що забезпечують виконання належних комутацій обмоток під час роботи двигуна.

Проектування тих або інших систем вимагає вибору типу привода. Кроковий привод звичайно вибирається у випадку, якщо необхідно точне позиціонування й точне керування швидкістю. Для підвищення крутного моменту, при використанні крокового привода, можливе застосування понижувальних редукторів. Однак потрібно враховувати, що для КД редуктор підходить не завжди. Це пов'язане з тим, що в крокових двигунів, на відміну від колекторних двигунів, момент має найбільше значення на низьких швидкостях і поступово зменшується в міру збільшення швидкості обертання ротора. Крім цього КД, при стандартних схемах підключення, досягають значно менших обертів обертання вихідного вала, що також накладає обмеження на передаточне число редуктора. І ще одним важливим фактором, що обмежують використання редукторів разом зі КД, є наявність люфту в редукторів. Не дивлячись на усе вище перераховані недоліки, КД мають свою, незамінну, область застосування. КД характерні такі позитивні особливості:

- кут повороту ротора залежить від числа поданих на двигун пускових імпульсів;
- кроковий двигун розбудовує максимальний момент у режимі зупинки, у випадку якщо обмотки двигуна отримують живлення;
- висока точність позиціонування й повторюваності, так якісні крокові двигуни мають точність 2,5% від величини кроку, при цьому дана помилка не накопичується при наступних кроках;
- КД може швидко стартувати, зупинятися й виконувати реверс;
- гарна надійність двигуна, обумовлена відсутністю щіток, при цьому термін служби двигуна обмежується тільки лише терміном служби підшипників;
- чіткий взаємозв'язок кута повороту ротора від кількості вхідних імпульсів (у штатних режимах) дозволяє виконувати позиціонування без застосування зворотного зв'язку;
- забезпечує одержання наднизьких швидкостей обертання вала двигуна, для навантаження підведеної безпосередньо до вала двигуна без використання редуктора;

- робота в широкому діапазоні швидкостей, тому що швидкість прямо залежить від кількості вхідних імпульсів.

Характерні недоліки КД:

- кроковий двигун має явище резонансу;
- можливий варіант випадання двигуна із синхронізації з наступною втратою інформації про положення, при роботі кола зворотному зв'язка;
- при стандартних схемах підключення кількість споживаної енергії не зменшується при відсутності навантаження;
- складне керування при роботі на високих швидкостях;
- низька питома потужність крокового привода;
- для забезпечення ефективного керування КД потрібно досить складна схема.

Основні типи КД:

- з постійними магнітами;
- зі змінним магнітним опором;
- гібридні.

По числу фаз (обмоток керування) крокові двигуни можна розділити на однофазні, двофазні й багатofазні.

По типу роторів - на активні (збуджені) і пасивні (незбуджені). *Активні* крокові двигуни можна у свою чергу розділити на двигуни з постійними магнітами (магнітоелектричні) і двигуни з обмотками збудження (електромагнітні), а пасивні - на індукторні й реактивні.

По кількості пакетів сталі магнітопроводу двигуни діляться на однопакетні, двопакетні й багатопакетні.

По способу фіксації ротора при знеструмлених обмотках керування розрізняють двигуни із внутрішньою й зовнішньою фіксацією.

КД можна розділити на групи також по типу магнітної системи й іншим ознакам. Далі розглядаємо лише деякі найбільш типові конструкції крокових двигунів, що одержали найбільш широке розповсюдження.

У КД обертаючий момент створюється магнітними потоками статора й ротора, при цьому статор і ротор мають задану орієнтацію один відносно одного. Статор виготовляється з матеріалів з високою магнітною проникністю і має певну кількість полюсів. Полюсом є ділянка намагніченого тіла, на якому сконцентровано магнітне поле. І статор, і ротор крокового двигуна мають полюси. Магнітопроводи,

для зменшення втрат на вихрові струми, збираються з декількох окремих пластин,. Обертаючий момент крокового двигуна залежить від величини магнітного поля, яка пропорційна кількості витків і струму в обмотці. Отримання живлення хоча б однією з обмоток КД надає ротору двигуна певне положення, у якому він буде перебувати доти, поки прикладений до двигуна зовнішній момент не перевищить моменту втримання даного крокового двигуна.

Прийнято розрізняти крокові електродвигуни (Autonics, Motionking, Fulling motor) і серводвигуни (Lenze). Принцип їх дії багато в чому схожий, і багато контролерів можуть працювати з обома типами. Основна відмінність полягає в кроковому (дискретному) режимі роботи крокового двигуна (n кроків на один оберт ротора) і плавності обертання синхронного двигуна. Серводвигуни вимагають наявності в системі керування датчика зворотному зв'язку по швидкості та/або положенню, у якості якого звичайно використовується резольвер або \sin/\cos енкодер. КД переважно використовуються в системах без зворотних зав'язків, що вимагають невеликих прискорень при русі. У той час як синхронні сервомотори звичайно використовуються у швидкісних вискодинамічних системах.

12.2. Крокові двигуни з пасивним ротором (зі змінним магнітним опором)

Застосовувані в цей час крокові двигуни в більшості є багатофазними й багатополюсними синхронними електричними машинами. На відміну від звичайних синхронних двигунів, ротори крокових двигунів не мають пускової короткозамкненої обмотки, що пояснюється частотним (а не асинхронним) їх пуском. Ротори двигунів можуть бути збудженими (активними) і незбудженими (пасивними).

На рисунку 12.2 зображені схеми роботи m -фазного крокового двигуна. Для спрощення аналізу фізичних процесів розглянемо роботу цього двигуна з найпростішим незбудженим ротором, що має два полюси.

Живлення обмоток статора може бути однополярне або двополярне. При однополярному живленні напруга змінюється від нуля до $+U$; при двополярному - від $+U$ до $-U$.

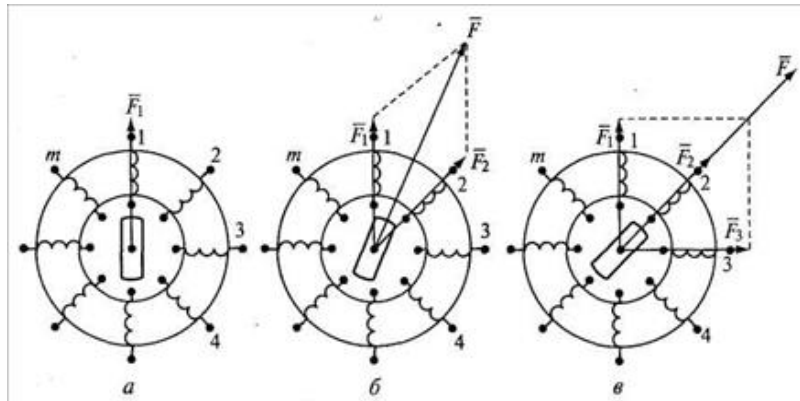


Рисунок 12.2 – Схема роботи m -фазного КД: а – послідовне живлення однополярними імпульсами; б – живлення парної кількості обмоток; в – живлення непарної кількості обмоток.

Сучасні електронні комутатори можуть забезпечувати живлення обмоток статора або кожну по черзі, або групами в різних комбінаціях. Кожному стану - такту комутації, число яких залежить від способів включення обмоток, відповідають цілком певні величина й напрямок вектора F результуючої МРС двигуна, а отже, і цілком певне положення ротора у просторі. Так, якщо обмотки двигуна живляться по черзі (1, 2, 3, ..., m) однополярними імпульсами, то ротор двигуна буде мати τ стійких положень, які збігаються з осями обмоток (рисунок 12.2, а). На практиці з метою збільшення результуючої МРС статора, а отже, і магнітного потоку, а також синхронізуючого моменту, звичайно одночасно живлять дві, три й більше число обмоток. При цьому ротор двигуна при холостому ході займає положення, у яких його вісь збігається з результуючим вектором МРС.

У тому випадку, коли живлення отримує парна кількість обмоток, положення результуючого вектора МРС і ненавантаженого ротора збігаються з лінією, що проходить між двома середніми обмотками (рисунок 12.2, б). У тому випадку, коли живиться непарне число обмоток, стійкі положення ротора збігаються з віссю середньої обмотки (рисунок 12.2, в). Таким чином, в обох випадках (при парному й непарному числі обмоток, що живляться) ротор двигуна буде мати τ стійких положень. Однак сусідні положення в цих випадках будуть зміщені на кут $2\pi/(2\tau) = \pi/\tau$.

Якщо по черзі включати то парне, те непарне число обмоток (наприклад, 1 - 2, 1 - 2 - 3, 2 - 3, 2 - 3 - 4 і т.д.), то число стійких положень ротора n збільшиться вдвічі: $n = 2\tau$.

На практиці управління двигуном, при якому обмотки включаються по черзі рівними групами по дві, три і т.д., називають симетри-

чним. Почергове включення нерівних груп обмоток називають несиметричним керуванням. Крім однополярного й двополярного, симетричного й несиметричного способів керування кроковими двигунами, розрізняють ще потенційний й імпульсний способи керування.

При потенційному управлінні напруги на обмотках змінюються тільки в момент вступу керуючого сигналу - команди. При відсутності наступного сигналу керування одна обмотка або група обмоток, збуджені попереднім сигналом, залишаються під напругою й ротор займає цілком певне фіксоване положення.

При імпульсному керуванні будь-яка обмотка (або група обмоток), збуджена сигналом - імпульсом керування, після закінчення деякого часу, обумовленого тривалістю імпульсу, автоматично знеструмується. Фіксація положення ротора в період паузи між імпульсами забезпечується або внутрішнім реактивним моментом (при наявності активного ротора), або спеціальними магнітними, електромагнітними або механічними фіксуючими пристроями.

Крокові двигуни зі змінним магнітним опором мають кілька полюсів на статорі й ротор зубчастої форми з магнітом'якого матеріалу (рисунок 12.3). Намагніченість ротора відсутня. Для простоти на рисунку ротор має 4 зубця, а статор має 6 полюсів. Двигун має 3 незалежні обмотки, кожна з яких намотана на двох протилежних полюсах статора. Такий двигун має крок 30° .

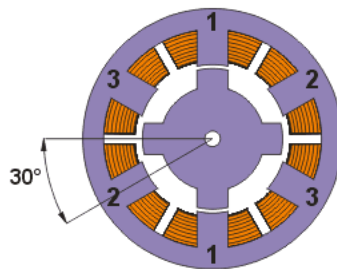


Рисунок 12.3 - Двигун зі змінним магнітним опором

При включенні струму в одній з котушок, ротор прагне зайняти положення, коли магнітний потік буде замкнутим, тобто зубці ротора будуть перебувати напроти тих полюсів, на яких обмотка підключена до мережі і отримує живлення. Якщо потім виключити цю обмотку й включити наступну, то ротор поміняє положення, знову замкнувши своїми зубцями магнітний потік. Таким чином, щоб здійснити безперервне обертання, потрібно включати фази поперемінно. Двигун не чутливий до напрямку струму в обмотках. Реальний двигун може мати більшу кількість полюсів статора й більшу кількість зубців ротора,

що відповідає більшій кількості кроків на оберт. Іноді поверхню кожного полюса статора виконують зубчастою, що разом з відповідними зубцями ротора забезпечує дуже маленьке значення кута кроку, порядку декількох градусів. Двигуни зі змінним магнітним опором досить рідко використовують в промисловості.

12.3. Крокові двигуни з активним ротором

Двигуни з постійними магнітами складаються зі статора, який має обмотки, і ротора, що містить постійні магніти (рисунок 12.4). Полюси, що чергуються, ротора мають прямолінійну форму й розташовані паралельно осі двигуна. Завдяки намагніченості ротора в таких двигунах забезпечується більший магнітний потік і, як наслідок, більший момент, ніж у двигунів зі змінним магнітним опором.

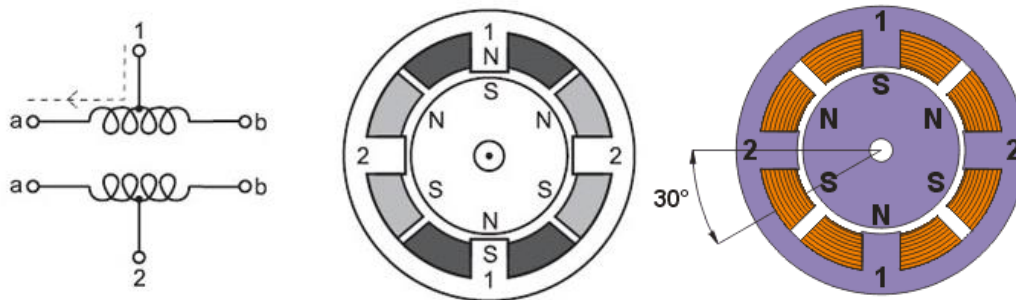


Рисунок 12.4 – Уніполярний КД із постійними магнітами

Показаний на рисунку двигун має 3 пари полюсів ротора й 2 пари полюсів статора. КД має 2 незалежні обмотки, кожна з яких намотана на двох протилежних полюсах статора. Такий двигун, як і розглянутий раніше двигун зі змінним магнітним опором, має величину кроку 30° . При наявності струму в одній із котушок, ротор прагне зайняти таке положення, коли різнойменні полюси ротора й статора перебувають один напроти одного. Для здійснення безперервного обертання потрібно включати фази поперемінно. На практиці двигуни з постійними магнітами звичайно мають 48-24 кроків на оберт (кут кроку $7,5-15^\circ$).

Розріз реального КД з постійними магнітами показаний на рисунку 12.5.

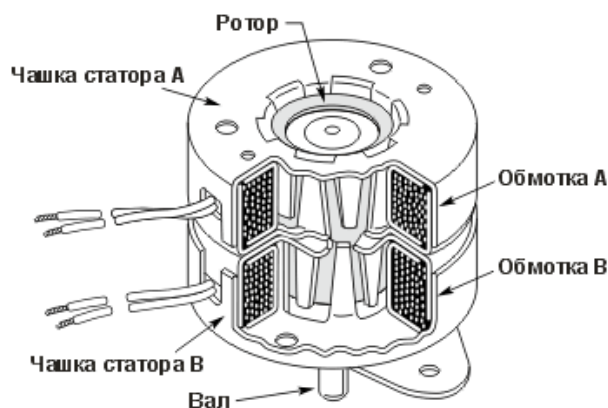


Рисунок 12.5 – Розріз крокового двигуна з постійними магнітами

Для здешевлення конструкції двигуна магнітопровід статора виконаний у вигляді штампованого циліндра. Усередині перебувають полюсні наконечники у вигляді ламелей. Обмотки фаз розміщені на двох різних магнітопроводах, які встановлені одна на одну. Ротор являє собою циліндричний багатополіусний постійний магніт.

Двигуни з постійними магнітами піддаються впливу зворотної ЕРС із боку ротора, котра обмежує максимальну швидкість. Для роботи на високих швидкостях використовуються двигуни зі змінним магнітним опором.

12.4. Гібридні КД

Гібридні КД є дорожчими, ніж двигуни з постійними магнітами, проте вони забезпечують меншу величину кроку, більший момент і вищу швидкість. Типове число кроків на оберт для гібридних двигунів становить від 100 до 400 (кут кроку $3,6 - 0,9^\circ$). Гібридні двигуни поєднують у собі кращі риси двигунів зі змінним магнітним опором і двигунів з постійними магнітами. Ротор гібридного двигуна має зубці, розташовані в осьовому напрямку (рисунок 12.6).

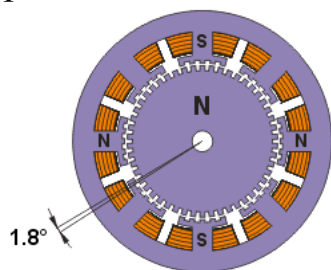
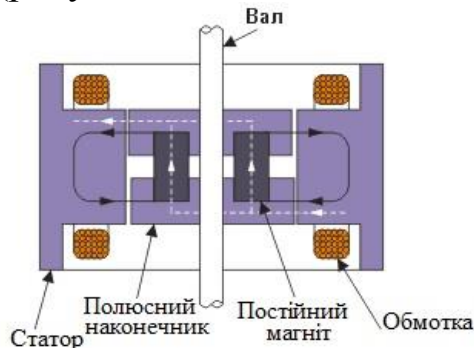


Рисунок 12.6 – Гібридний двигун та його поздовжній розріз



Ротор розділений на дві частини, між якими розташований циліндричний постійним магніт. Таким чином, зубці верхньої половинки ротора є північними полюсами, а зубці нижньої половинки – південними. Крім того, верхня й нижня половинки ротора повернені один відносно другого на половину кута кроку зубців. Число пар полюсів ротора дорівнює кількості зубців на одній з його половинок. Зубчасті полюсні наконечники ротора, як і статор, набрані з окремих пластин з метою зменшення втрат на вихрові струми. Статор гібридного двигуна також має зубці, забезпечуючи велику кількість еквівалентних полюсів, на відміну від основних полюсів, на яких розташовані обмотки. Зазвичай використовуються 4 основних полюси для кроків у $3,6^\circ$ двигунів і 8 основних полюсів для кроків $0,9^\circ$ та $1,8^\circ$ двигунів. Зубці ротора забезпечують менший опір магнітного ланцюга в певних положеннях ротора, що поліпшує статичний і динамічний моменти. Це забезпечується відповідним розташуванням зубців, коли частина зубців ротора перебуває строго напроти зубців статора, а останні - між ними. Залежність між числом полюсів ротора, числом еквівалентних полюсів статора й числом фаз визначає кут кроку S двигуна

$$S = 360 / (N_{ph} * Ph) = 360 / N,$$

де N_{ph} – кількість еквівалентних полюсів на фазу відповідає кількості полюсів ротора,

Ph – кількість фаз,

N - повна кількість полюсів для всіх фаз разом.

Поздовжній перетин гібридного крокового двигуна показано на рисунку 12.6. Стрілками показаний напрямок магнітного потоку постійного магніту ротора. Частина потоку (на рисунку показана чорною лінією) проходить через полюсні наконечники ротора, повітряні зазори й полюсний наконечник статора. Ця частина не бере участь у створенні моменту.

Як видно на рисунку, повітряні зазори у верхнього й нижнього полюсного наконечника ротора різні. Це досягається завдяки повороту полюсних наконечників на половину кроку зубців. Тому існує інший магнітний ланцюг, який містить мінімальні повітряні зазори і, як наслідок, має мінімальний магнітний опір. По цьому ланцюгу замикається інша частина потоку (на рисунку показана штриховою білою лінією), яка й створює момент. Частина ланцюга лежить у площині, перпендикулярній рисунку, тому не показана. У цій же площині створюють магнітний потік котушки статора. У гібридному двигуні цей

потік частково замикається полюсними наконечниками ротора, і постійний магніт його «бачить» слабо. Тому на відміну від двигунів постійного струму, магніт гібридного двигуна неможливо розмагнітити ні при якій величині струму обмоток.

Величина зазору між зубцями ротора й статора дуже невелика – в межах 0.1 мм. Це вимагає високої точності при його збиранні, тому кроковий двигун не варто зайвий раз розбирати, інакше його термін служби може значно зменшитися.

Щоб магнітний потік не замикався через вал, який проходить усередині магніту, його виготовляють із немагнітних марок сталі. Вони звичайно мають підвищену крихкість, тому з валом, особливо малого діаметра, слід обходитися з обережністю.

Для одержання більших моментів необхідно збільшувати поле, створюване статором, та поле постійного магніту. При цьому потрібен більший діаметр ротора, що погіршує відношення крутного моменту до моменту інерції. Тому потужні крокові двигуни іноді конструктивно виконують із декількох секцій у вигляді етажерки. Крутний момент і момент інерції збільшуються за пропорційною залежністю до кількості секцій, а їх відношення не погіршується.

Існують і інші конструкції крокових двигунів. Наприклад, двигуни з дисковим намагніченим ротором. Такі двигуни мають малий момент інерції ротора, що в ряді випадків є важливим.

Більшість сучасних КД є гібридними. По суті, гібридний двигун є двигуном з постійними магнітами, але з більшим числом полюсів. По способу керування такі двигуни однакові, тому далі будуть розглядатися тільки такі двигуни. Найчастіше на практиці двигуни мають 100 або 200 кроків на оберт, відповідно крок рівний $3,6^\circ$ або $1,8^\circ$. Більшість контролерів дозволяють працювати в напівкроковому режимі, де цей кут удвічі менше, а деякі контролери забезпечують мікрокроковий режим.

12.5. Обмотки КД та керування КД

Залежно від конфігурації обмоток, КД діляться на біполярні й уніполярні. Біполярний двигун має одну обмотку в кожній фазі, яка для зміни напрямку магнітного поля повинна драйвером змінити полюс. Для такого типу двигуна потрібен мостовий драйвер, або напівмостовий із двополярним живленням. Усього біполярний двигун має дві обмотки й, відповідно, чотири виводи (рисунок 12.7, а).

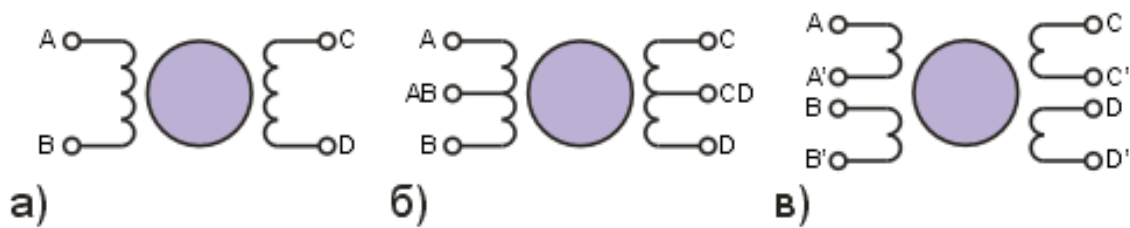


Рисунок 12.7 - Обмотки біполярного й уніполярного КД

Уніполярний двигун також має одну обмотку в кожній фазі, але від середини обмотки зроблений відвід. Це дозволяє змінювати напрямок магнітного поля, створюваного обмоткою, простим перемиканням половинок обмотки. При цьому суттєво спрощується схема драйвера. Драйвер повинен мати тільки 4 простих ключа. Таким чином, в уніполярному двигуні використовується інший спосіб зміни напрямку магнітного поля. Середні виводи обмоток можуть бути об'єднані усередині двигуна, тому такий двигун може мати 5 або 6 виводів (рис.12.7, б). Іноді уніполярні двигуни мають роздільні 4 обмотки, тому їх помилково називають 4-х фазними двигунами. Кожна обмотка має окремі виводи, тому всього виводів 8 (рисунок 12.7, в). При відповідному з'єднанні обмоток, такий двигун можна використовувати як уніполярний, або як біполярний. Уніполярний двигун із двома обмотками й відводами теж можна використовувати в біполярному режимі, якщо відводи залишити непідключеними. У кожному разі струм обмоток слід вибирати так, щоб не перевищити максимальної потужності, що розсіюється.

Біполярний або уніполярний?

Якщо порівнювати між собою біполярний і уніполярний двигуни, то біполярний має більш високу питому потужність. При тих самих розмірах біполярні двигуни забезпечують більший момент.

Момент, створюваний кроковим двигуном, пропорційний величині магнітного поля, створюваного обмотками статора. Шлях для підвищення магнітного поля – це збільшення струму або числа витків обмоток. Природнім обмеженням при підвищенні струму обмоток є небезпека насичення залізного сердечника. Однак на практиці це обмеження діє рідко. Набагато більш істотним є обмеження по нагріванню двигуна внаслідок омичних втрат в обмотках. Саме цей факт і забезпечує одну з переваг біполярних двигунів. В уніполярному двигуні в кожний момент часу використовується лише половина обмоток. Інша половина просто займає місце у вікні сердечника, що змушує робити обмотки проводами меншого діаметра. У той же час у бі-

полярному двигуні завжди працюють усі обмотки, тобто їхнє використання оптимальне. У такому двигуні перетин окремих обмоток удвічі більше, а омичний опір – відповідно вдвічі менше. Це дозволяє збільшати струм у корінь із двох раз при тих же втратах, що дає виграш у моменті приблизно 40%. Якщо ж підвищеного моменту не потрібно, уніполярний двигун дозволяє зменшити габарити або просто працювати з меншими втратами. На практиці часто застосовують уніполярні двигуни, тому що вони мають більш прості схеми керування. Це важливо, якщо драйвери виконані на дискретних компонентах. Існують спеціалізовані мікросхеми драйверів для біполярних двигунів, з використанням яких драйвер КД виходить не складніший, ніж для уніполярного двигуна.

Розрізняють два види комутації обмотки КД: симетрична й несиметрична (рисунок 12.8). При симетричній системі комутації на всіх чотирьох тактах збуджується однакове число обмоток керування. При несиметричній системі комутації парним і непарним тактам відповідає різне число збуджених обмоток керування.

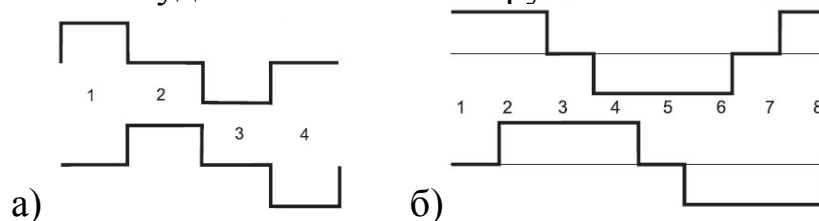


Рисунок 12.8 - Види комутації обмоток КД: а – симетрична; б – не симетрична

Ротор у крокового двигуна активного типу являє собою постійний магніт, при числі пар полюсів більше 1, виконаний у вигляді «зірочки».

Число тактів K_T системи керування називають кількістю станів комутатора за період T його роботи. Як видно з рисунків, для симетричної системи керування $K_T=4$, а для несиметричної $K_T=8$.

У загальному випадку число тактів K_T залежить від числа обмоток керування (фаз статора, рисунок 12.9) m_k й може бути розраховане по формулі

$$K_T = m_k n_1 n_2,$$

де $n_1=1$ — при симетричній системі комутації;

$n_1=2$ — при несиметричній системі комутації;

$n_2=1$ — при однополярній комутації;

$n_2=2$ — при двополярній комутації.

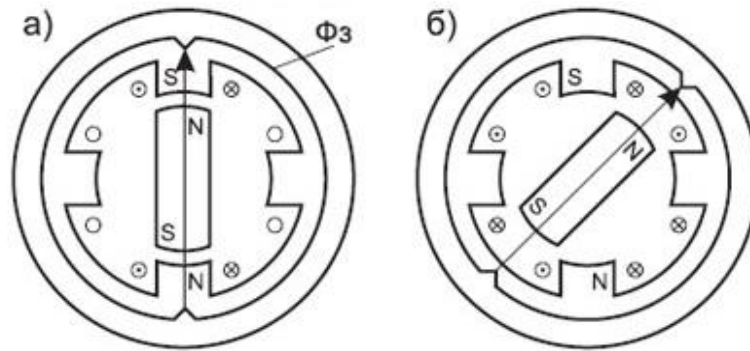


Рисунок 12.9 - Пояснення положення ротора КД з постійними магнітами при підключенні до живлення однієї (а) та двох (б) обмоток

При однополярній комутації струм в обмотках керування протікає в одному напрямку, а при двополярній - в обох. Синхронізуючий (електромагнітний) момент машини є результатом взаємодії потоку ротора з дискретно обертовим магнітним полем статора. Під дією цього моменту ротор прагне зайняти в просторі машини таке положення, при якому осі потоків ротора й статора збігаються. Ми розглянули крокові синхронні машини з однієї парою полюсів ($p=1$). Реальні крокові мікродвигуни є багатополіусними ($p>1$). Для прикладу приведемо двополюсний трифазний КД (рисунок 12.10).

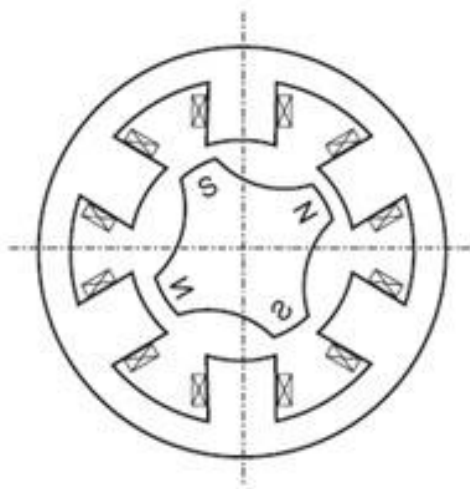


Рисунок 12.10 - Схема двополюсного трифазного КД

Двигун з p парами полюсів має зубчастий ротор у вигляді зірочки з рівномірно розташованими уздовж кола $2p$ постійними магнітами. Для багатополіусної машини величина кутового кроку ротора дорівнює

$$\alpha_{ш} = 360 / K_{тр}.$$

Чим менше крок машини, тем точніше (за абсолютною величиною) буде спрацьовуватися кут. Збільшення числа пар полюсів пов'язане з технологічними можливостями й збільшенням потоку розсіювання, тому зазвичай $p=4\dots 6$. Найчастіше величина кроку ротора активних крокових двигунів становить десятки градусів.

12.6. Лінійні крокові синхронні двигуни

При автоматизації виробничих процесів досить часто необхідно переміщати об'єкти в площині (наприклад, у графобудівниках сучасних ЕОМ і т.д.). У цьому випадку доводиться застосовувати перетворювач обертового руху в поступальний за допомогою кінематичного механізму.

Лінійні КД перетворюють імпульсну команду безпосередньо в лінійне переміщення (рисунок 12.11). Це дозволяє спростити кінематичну схему різних електроприводів. Статор лінійного крокового двигуна являє собою плиту із магнітом'якого матеріалу. Підмагнічування магнітопроводів проводиться постійним магнітом.

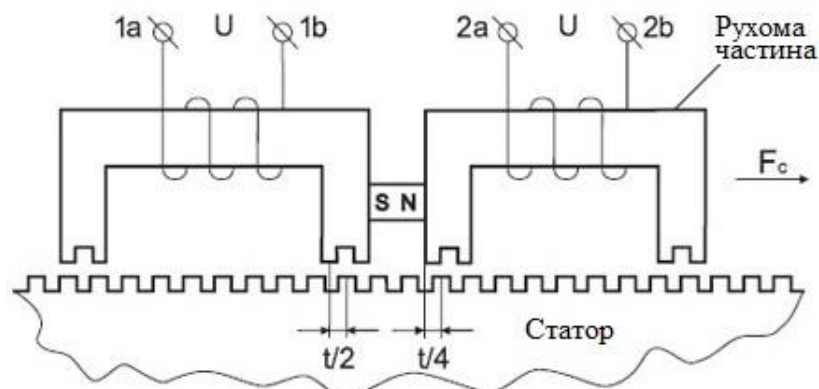


Рисунок 12.11 - Схема роботи лінійного КД

Зубцеві поділи статора й рухливої частини двигуна рівні. Зубцеві поділи в межах одного магнітопроводу ротора зрушені на половину зубцевого поділу $t/2$. Зубцеві поділи другого магнітопроводу зрушені відносно зубцевих розподілів першого магнітопроводу на чверть зубцевого розподілу $t/4$. Магнітний опір потоку підмагнічування не залежить від положення рухливої частини.

Принцип дії лінійного крокового двигуна не відрізняється від принципу дії індукторного крокового двигуна. Різниця лише в тому, що при взаємодії потоку обмоток керування зі змінної складової потоку підмагнічування, створюється не момент, а сила F_c , яка переміщує рухливу частину таким чином, щоб проти зубців даного магніто-

проводу перебували зубці статора, тобто на чверть зубцевого розподілу $t/4$, тобто

$$\Delta x_{\text{ш}} = t_z / K_t$$

де K_t — число тактів схеми керування.

Для переміщення об'єкта в площині по двом координатам застосовуються двокоординатні лінійні КД.

У лінійних КД застосовують магніто-повітряну підвіску. Ротор притягається до статора силами магнітного притягання полюсів ротора. Через спеціальні форсунки під ротор нагнітається стиснене повітря, що створює силу відштовхування ротора від статора. Таким чином, між статором і ротором створюється повітряна подушка, і ротор підвішується над статором з мінімальним повітряним зазором. При цьому забезпечується мінімальний опір руху ротора й висока точність позиціонування.

Контрольні запитання

1. Сфера застосування крокових двигунів (КД).
2. Конструкція та принцип дії КД.
3. Переваги КД.
4. Як КД діляться по числу фаз (обмоток керування)?
5. Чим відрізняються КД від серводвигунів?
6. Що таке симетричне керування КД?
7. Призначення і конструкція однопакетних КД з активним ротором?
8. Призначення і конструкція гібридних КД.
9. Біполярні та уніполярні КД. Їх конструкція та призначення.
10. Лінійні синхронні КД. Їх конструкція та призначення.

13. КЕРУЮЧІ ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИКИ ТА ПРИСТРОЇ ЗВ'ЯЗКУ З ОБ'ЄКТОМ

13.1. Загальні поняття про ПЛК

Сьогодні, на основі технічної бази реалізації керуючих елементів автоматики, можна виділити пристрої, що не містять електронні й мікропроцесорні обчислювальні блоки і пристрої, які містять такі блоки (таблиця 13.1.). Перші, це релейні пристрої дискретних керуючих сигналів, релейні пристрої захисту, автотрансформаторні й тиристорні регулятори напруги, параметричні блоки (активний, індуктивний і ємнісний опори).

До других відносяться:

- інтелектуальні електронні пристрої (блоки комутації тиристорів, пристрої захисту, регулятори й вимірники-регулятори, програмувальні реле й контролери, перетворювачі частоти живильної мережі);
- пристрої зв'язку з об'єктом, системи й засоби передачі даних, інформаційно-обчислювальні пристрої (нормуючі перетворювачі, аналізатори параметрів мережі, блоки введення/виводу інформації й виводу команд, модеми (LAN, WAN, GSM), перетворювачі інтерфейсів);
- пристрої реального часу (таймери);
- промислові програмовані логічні контролери (ПЛК) - це технічні засоби автоматизації, призначені для приймання, зберігання, перетворення, обробки (логічної, арифметичної) інформації й виробітку команд керування, створені на базі мікропроцесорної техніки, що і є спеціалізованими керуючими ЕОМ, призначеними для роботи в локальних і розподілених АСКТП.

Вони вперше з'явилися наприкінці шістдесятих років в автомобільній промисловості США в результаті злиття трьох напрямків техніки:

- релейно-контактна й безконтактна електроавтоматика (основа ПЛК);
- циклове програмне керування (керування ПЛК);
- мікропроцесорна техніка (елементна база ПЛК).

Спочатку виробництвом ПЛК займалися комп'ютерні фірми, але пізніше до їхньої розробки підключилися й електротехнічні фірми, які випускали пристрої електроавтоматики й краще знали потреби промисловості, тому їх ПЛК були більш зручні в програмуванні й орієнтовані на заводських фахівців (електриків, наладчиків).

Таблиця 13.1- Класифікація керуючих елементів автоматики

Тип	Програмувальне реле Програмно-логічний контролер (головний (master), вторинний (slave)) Модулі введення/виводу Інтерфейсні модулі
функції	Індикація й візуалізація (світлодіодна, графічна) Вимір і індикація Вимір і керування із твердими вимогами до точності регулювання Програмні задатчики (регулятори) Комунікаційні (інтерфейсні, модемні)
Виконання	Моноблочне Модульне Панельне
призначення	Загального призначення Керування клапанами Системи вентиляції (з урахуванням виду нагрівання: водяне й/або електричне) Системи гарячого водопостачання Технологічний процес (сушіння, термо-камера, клімат. печі і т.д.)
Кількість і вид каналів керування	Одноканальні й багатоканальні Дискретні й/або аналогові Наявність входів і виходів Тип виходу: е/м реле, транзисторні ключі, оптопари Тип входу: дискретний, аналоговий, спеціальний (кондуктометричні та тензометричні датчики, взаємна індуктивність, РН-датчики й ін.)
Сервісні параметри	Наявність мережних протоколів зв'язку RS-232, RS-485, USB і ін. Наявність гальванічної розв'язки Наявність системи реального часу Умови експлуатації Тип живлення (-/~) Вид монтажу (панель, щит, стіна, Din-Рейка) Вимоги до габаритів

У теперішній час виробництвом і впровадженням ПЛК займаються десятки провідних світових фірм. У нашій країні найпоширеніші: Siemens (29%), Rockwell Automation (16%), Mitsubishi (12%), Schneider (9%), Omron (8,5%), Funuc (3,5%), Koyo Electronics, Marpos, Festo, ABB, Bosch і ін.

Цікаво відзначити, що поріг рентабельності ПЛК постійно знижувався, і якщо в 70-і роки вважалось, що економічно вигідно замінити контролером систему електроавтоматики зі 100 одиниць реле (у 80-і роки – з 60, в 90-і роки – з 20), то у теперішній час ця цифра опустилася до декількох одиниць.

Особливості ПЛК у порівнянні із традиційними ТЗА:

1. Циклічний характер роботи, визначає можливість ПЛК управляти виробничими процесами в реальному масштабі часу.

2. Проблемно орієнтоване програмно-математичне забезпечення, розраховане на конкретні типові завдання керування, регулювання й контролю ТП.

3. Легке й вільне програмування й перепрограмування за допомогою спеціальних інженерних мов високого рівня стандарту ІЕС 6.1131-3.

4. Простота й доступність у процесі підключення, налагодження й експлуатації ПЛК, орієнтація на звичайний виробничий персонал (електриків, наладчиків).

5. Схожість фізичних структур і конструкцій ПЛК різного призначення й різних фірм виготовлювачів.

6. Модульна архітектура побудови спрощує конфігурування при розробці й вільне нарощування або урізування при подальшій модернізації систем автоматизації.

7. Можливість експлуатації ПЛК у безпосередній близькості від технологічного устаткування (цех, поле, пожежонебезпечні умови), невибагливість, простота в обслуговуванні.

10. Широкі комунікаційні можливості ПЛК, що дозволяють створювати на їхній основі складні розподілені АСКТП із застосуванням мережних технологій.

13.2. Класифікація ПЛК

Усі універсальні мікропроцесорні ПЛК, що становлять основу програмно-технічних комплексів (ПТК), підрозділяються на класи, кожний з яких розрахований на певний набір виконуваних функцій і відповідний обсяг одержуваної й оброблюваної інформації про об'єкт керування.

Контролери на базі персональних комп'ютерів (ПК)

Цей напрямок істотно розвинувся останнім часом через:

– підвищення надійності ПК, особливо в промисловому виконанні;

- використання відкритої архітектури (наприклад, Іbm-сумісних ПК);
- легкість підключення будь-яких блоків вводу/виводу (модулів ПЗО);
- можливість використання номенклатури програмного забезпечення (операційних систем реального часу, баз даних, прикладних програм контролю й керування).

Контролери на базі ПК, як правило, використовують для керування невеликими замкненими об'єктами в промисловості, у спеціалізованих системах автоматизації в медицині, наукових лабораторіях, засобах комунікації. Загальне число входів/виходів такого контролера звичайно не перевершує декількох десятків, а набір функцій передбачає складну обробку інформації. Область застосування контролерів на базі ПК:

- виконується великий обсяг обчислень за досить малий інтервал часу при невеликій кількості входів і виходів об'єкта керування;
- засоби автоматизації працюють у навколишньому середовищі, що не занадто відрізняються від умов офісних персональних комп'ютерів;
- реалізовані контролером функції доцільно (у силу їх нестандартності) програмувати на звичайних мовах високого рівня, типу С++, Pascal і ін.;
- практично не потрібна потужна апаратна підтримка роботи в критичних умовах, яка забезпечується звичайними контролерами (діагностика роботи, резервування, усунення несправностей, безупинної роботи ПЛК).

2. Локальні програмувальні контролери

У теперішній час у промисловості використовується ьакі два типи локальних контролерів.

Що вбудовуються в устаткування і є його невід'ємною частиною. Такий контролер може управляти верстатом з ЧПУ, сучасним інтелектуальним аналітичним приладом, автомашиністом і іншим устаткуванням. Випускається на рамі (платі) без спеціального кожуха, оскільки монтується в загальний корпус устаткування.

Автономні, що реалізують функції контролю й керування великим досить ізольованим технологічним об'єктом, як, наприклад, районні котельні, електричні підстанції. Автономні контролери містяться в захисних корпусах і розраховані на різні умови навколишнього середовища. Майже завжди ці контролери мають порти для з'єднання з іншою апаратурою й інтерфейси, які можуть через мережу

зв'язувати їх з іншими засобами автоматизації. У такий контролер часто вбудовується (або підключається до нього) спеціальна панель оператора, що складається з алфавітно-цифрового дисплея й набору функціональних клавіш.

Локальні контролери, як правило, мають невелику або середню обчислювальну потужність, а кількість їх входів/виходів, коливається від декількох десятків до декількох сотень. Контролери реалізують найпростіші типові функції обробки вимірювальної інформації, блокування, регулювання й програмно-логічного керування. Багато з них мають один або кілька фізичних портів для передачі інформації на інші системи автоматизації. У цьому класі слід виділити спеціальний тип локальних контролерів, призначених для систем протиаварійного захисту. Вони відрізняються особливо високою надійністю, живучістю й швидкодією. У них передбачаються різні варіанти повної поточної діагностики несправностей з локалізацією їх до окремої плати, резервування, як окремих компонентів, так і всього пристрою в цілому.

4. Мережні комплекси контролерів

Мережні ЛПК найбільше широко застосовуються для керування виробничими процесами в усіх галузях промисловості. Мінімальний склад даного класу ПЛК передбачає наявність наступних компонентів:

- набір контролерів;
- кілька дисплейних робочих станцій операторів;
- системну (промислову) мережу, що з'єднує контролери між собою й з робочими станціями.

Контролери кожного мережного комплексу, як правило, мають ряд модифікацій, що відрізняються одна від одної швидкодією, обсягом пам'яті, можливостями по резервуванню, здатністю працювати в різних умовах навколишнього середовища, числом каналів вводу/виводу (від декількох сотень до тисячі), наявністю різних ПЗО. Це полегшує використання мережного комплексу для різноманітних технологічних об'єктів, оскільки дозволяє найбільш точно підібрати контролери під окремі елементи об'єкту автоматизації й різні функції контролю й керування.

У якості дисплейних робочих станцій (пультів оператора) майже завжди використовуються персональні комп'ютери у звичайному або промисловому виконанні, здебільшого із двома типами клавіатур (тра-

диційної алфавітно-цифрової і спеціальної функціональної), і оснащені одним або декількома моніторами, що мають великий екран.

Промислова мережа може мати різну структуру: шину, кільце, зірку; вона часто підрозділяється на сегменти, зв'язані між собою повторювачами й маршрутизаторами. До передачі повідомлень пред'являються жорсткі вимоги: вони гарантовано повинні доставлятися адресатові, а для повідомлень вищого пріоритету, наприклад, що попереджають про аварії, також слід забезпечити зазначений термін передачі повідомлень. Промислова мережа з характерною структурою й особливі фізичні канали зв'язку (радіоканали, виділені телефонні лінії, оптоволоконні кабелі) дозволяють інтегрувати вузли об'єкта, що відстоять один від одного на багато десятків кілометрів, у єдину систему автоматизації. Розглянутий клас мережних комплексів контролерів має верхні обмеження як по складності виконуваних функцій (виміру, контролю, обліку, регулювання й блокування), так і за обсягом автоматизованого об'єкта (у межах тисяч входів/виходів). Найчастіше мережні комплекси застосовуються на рівні цехів машинобудівних заводів, агрегатів нафтопереробних, нафтохімічних і хімічних виробництв, а також цехів підприємств харчової промисловості.

4. ПЛК для малих розподілених систем керування

Цей клас мікропроцесорних ПЛК перевершує більшість мережних комплексів контролерів по потужності й складності виконуваних функцій. У цілому, цей клас ще має ряд обмежень за обсягом виробництва (порядку десятка тисяч входів/виходів) і набору реалізованих функцій. Основні відмінності від попереднього класу полягають у трохи більшій різноманітності модифікацій контролерів, блоків вводу/виводу, більшій потужності центральних процесорів, більш розвиненій і гнучкій мережній структурі. Як правило, ПЛК цього класу мають розвинену багаторівневу мережну структуру. Так нижній рівень може виконувати зв'язок контролерів і робочої станції компактно розташованого технологічного устаткування, а верхній рівень підтримувати взаємодію декількох вузлів один з одним і з робочою станцією диспетчера всієї ділянки автоматизованого виробництва. На верхньому рівні (рівні робочих станцій операторів) ці комплекси, в більшій мірі, мають досить розвинену інформаційну мережу.

Рівні поєднують стандартними цифровими мережами окремі контролери, що з'єднують, з вилученими від них блоками вводу/виводу й інтелектуальними приладами. Подібна проста й дешева мережа з'єднує по одній крученій парі проводів контролер з безліч-

чю інтелектуальних польових приладів, що різко скорочує довжину кабельних мереж на підприємстві й зменшує вплив можливих перешкод, оскільки виключається передача низьковольтної аналогової інформації на значні відстані.

Потужність контролерів, що застосовуються у цьому класі засобів, дозволяє на додаток до типових функцій контролю й керування реалізовувати більш складні й об'ємні алгоритми керування (самонастроювання алгоритмів регулювання, адаптивне керування). Малі розподілені системи керування використовуються для автоматизації окремих середніх і великих технологічних об'єктів підприємств, а також цехів і ділянок дискретних виробництв і цехів заводів чорної й кольорової металургії.

5. ПЛК для повномасштабних розподілених АСКТП

Це найбільш потужний за можливостями і охопленню виробництва клас контролерних засобів, що практично не має границь ні по виконуваних на виробництві функціях, ні за обсягом автоматизованого виробничого об'єкта. Одна така система може використовуватися для автоматизації виробничої діяльності цілого великомасштабного підприємства.

Дана група ПЛК включає всі особливості перелічених контролерних засобів і додатково має ряд властивостей, що впливають на можливість їх використання:

- наявність розвиненої багаторівневої мережної структури, що передбачає виділення трьох рівнів: інформаційного, системного й польового, причому для організації окремих рівнів можуть використовуватися різні варіанти побудови мереж;
- вихід на корпоративну мережу підприємства, систему керування бізнес-процесами, глобальну мережу Інтернет, а також на рівень інтелектуальних приладів;
- широкий модельний ряд застосовуваних контролерів, що різняться по числу входів/виходів, швидкодії, обсягу пам'яті різного типу, можливостям по резервуванню, наявності вбудованих і вилучених інтелектуальних блоків вводу/виводу на всі види аналогових і дискретних сигналів;
- широкий діапазон робочих станцій і панелей операторів;
- наявність потужного сучасного програмного забезпечення, до складу якого входять:
 - а) людино-машинні інтерфейси операторів із системою керування;

- б) набір технологічних мов з об'ємними бібліотеками типових програмних модулів для розв'язку завдань керування й регулювання;
- в) універсальні прикладні пакети програм, що реалізують типові функції керування окремими агрегатами, диспетчерське керування ділянками виробництва, технічний облік і планування виробництва в цілому;
- г) системи автоматизованого проектування й конструкторського документообігу для розробки системи автоматизації.

13.3. Електромагнітні реле

У системах автоматики й телемеханіки одним з найпоширеніших елементів є реле. Реле - це пристрій, який автоматично здійснює стрибкоподібну зміну (перемикання) вихідного сигналу під впливом керуючого сигналу, що змінюється безупинно в певних межах.

Реле керування електроприводами включаються безпосередньо в колі вхідних величин і мають пряму й непряму дію на об'єкт. Вхідні й вихідні кола реле розраховані, як правило, на значні струми.

Реле автоматики й зв'язку включаються в колі вхідних величин як безпосередньо, так і через перетворювачі; мають, в основному, пряму дію на керований об'єкт; їхні вхідні й вихідні кола розраховуються на невеликі струми.

У схемах керування електроприводами застосовуються реле постійного струму РЭВ-300, що функціонують і як реле напруги, і як реле струму. Реле має високий коефіцієнт повернення, так як має досить великий кінцевий зазор і невеликий хід якоря. РЭВ призначені для роботи в схемах електропривода змінного струму. Ці реле використовуються для захисту від струмів к.з., від перевантажень (у сукупності з реле часу). Коефіцієнт повернення реле напруги 0,2-0,4, так що реле напруги захищають, фактично, від втрати напруги. Час спрацьовування реле серії РЭВ становить 0,06 с, а час повернення – 0,07 с.

В схемах керування й автоматики застосовуються електромагнітні реле часу з електромагнітною затримкою за допомогою короткозамкненого кільця, проміжні реле й ін.

Електричне реле є проміжним елементом, який підключає одне, або кілька керованих електричних кіл при впливі на нього певних електричних сигналів керуючого кола (рисунок 13.2).

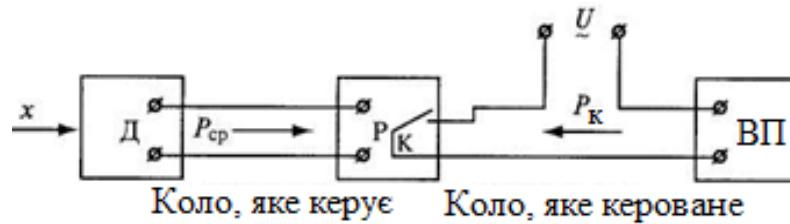


Рисунок 13.2 – Структурна схема включення реле АСК: x – контрольована величина; Д – датчик; Р – реле; ВП – виконавчий пристрій; К – контакт реле

Основні параметри реле:

- потужність спрацьовування $P_{сп}$ - мінімальна електрична потужність, яка повинна бути підведена до реле від керуючого кола для його надійного спрацьовування, тобто приведення в дію керованого кола. Ця потужність визначається загальними електричними й конструктивними параметрами реле;
- потужність керування $P_к$ - максимальна електрична потужність у керованому колі, при якому контакти реле ще працюють надійно. Потужність керування визначається параметрами контактів реле, що перемикають кероване коло. Вибір відповідного типу реле проводиться на підставі значень $P_{сп}$ і $P_к$, так як ці параметри постійні для окремих конструкцій реле;
- припустима розривна потужність $P_р$ - потужність у колі, що розривається контактами при певному струмі або напрузі без утворення стійкої електричної дуги при даній напрузі;
- коефіцієнт керування (підсилення) $K_к$ - величина, що характеризує відношення керованої потужності до потужності спрацьовування реле: $K_к = P_к / P_{сп} \geq 1$;
- час спрацьовування $t_{сп}$ - інтервал часу від моменту введення сигналу з керуючого кола до моменту початку впливу реле на кероване коло. Припустиме значення $t_{сп}$ визначається необхідною швидкістю передачі сигналу в кероване коло.

Існуючі типи реле можна класифікувати по наступних основних ознаках:

- призначенню - керування, захисту й сигналізації;
- принципу дії - електромеханічні (електромагнітні, нейтральні, електромагнітні поляризовані, магнітоелектричні, електродинамічні, індукційні, електротермічні), магнітні безконтактні, електронні, тригерні (безконтактно-електронні), фотоелектронні, іонні;

- вимірюваній величині - електричні (струму, напруги, потужності, опору, частоти, коефіцієнта потужності), механічні (сили, тиску, швидкості, переміщення, рівня, обсягу й ін.), теплові (температури, кількості теплоти), оптичні, сили звуку й інших фізичних величин (часу, в'язкості й ін.);
- потужності керування - малопотужні з потужністю керування $P_k \leq 1$ Вт, середньої потужності з $P_k = 1 \dots 10$ Вт, потужні з $P_k > 10$ Вт;
- число включень в одиницю часу визначається величиною, обернено пропорційною часу циклу: $f = \frac{1}{t_{\text{ц}}}$;
- часу спрацьовування - безінерційні ($t_{\text{сп}} \leq 0,001$ с), швидкодіючі ($t_{\text{сп}} = 0,001 \dots 0,050$ с), уповільнені ($t_{\text{сп}} = 0,15 \dots 1,00$ с), реле часу ($t_{\text{сп}} > 1$ с).

Найпоширеніші електромеханічні реле такі, у яких зміна вхідної електричної величини викликає механічне переміщення рухливої частини - якоря, що приводить до замикання або розмикання контактів.

Для здійснення автоматичного керування будь якими об'єктами, використовується релейне керування, при якому зміна керуючого параметра (вхідного сигналу) приводить до стрибкоподібної зміни керованого параметра (вихідного сигналу).

Електричний апарат, що реалізує релейний закон керування, називається реле. У реле при плавній зміні керуючого (вхідного) параметра до певного заданого значення керований (вихідний) параметр змінюється стрибкоподібно. При цьому хоча б один із цих параметрів повинен бути електричним.

Основними функціональними органами реле є: сприймаючий (вимірювальний), проміжний і виконавчий. Сприймаючий орган реагує на керуючу величину X і перетворює її у фізичну величину, необхідну для роботи реле. Проміжний орган порівнює перетворену фізичну величину з певним, наперед заданим значенням. При досягненні перетвореною величиною заданого значення проміжний орган передає вплив виконавчому органу, який, забезпечуючи стрибкоподібну зміну вихідного керованого параметра, впливає на кероване коло.

В електромагнітному реле переміщення елементів сприймаючого органу обумовлене взаємодією електромагнітного поля чутливого елемента з якорем. У якості сприймаючого органу використовуються електромагнітні механізми. Вони мають порівняно більші тягові зусилля при відносно малих габаритах, що й обумовлює їхнє широке за-

стосування в реле. На електромагнітному принципі здійснюється робота реле струму (максимального й мінімального), реле напруги (максимальної та мінімальної), сигнальні, проміжні й інші, реле часу, реле частоти й інші типи реле, які застосовуються в схемах захисту та керування електроприводами автоматики.

Проміжний орган реле – пружина, виконавчий орган – контактна система.

Залежно від ходу якоря розрізняють наступні типи реле: клапанного типу (якір притягається із зовнішньої сторони магнітопроводу), соленоїдного типу (якір втягується усередину), поворотного типу (якір має зовнішній поперечний рух щодо силових ліній магнітного поля).

Магнітна енергія й зусилля на якорі електромагнітного реле визначаються на основі розрахункових формул для електромагнітних механізмів.

Дію функціональних органів електромагнітного реле можна простежити за схемою, наведеною на рисунку 13.3. Сприймаючий орган А перетворює вхідну величину (напругу) $U_{вх}$, що надходить на обмотку 2 магнітопроводу 1, у проміжну величину, тобто в механічну силу якоря 3. Механічна сила якоря $F_я$ діє на контактну систему виконавчого органа В. Проміжна величина – сила якоря $F_я$, – пропорційна вхідній величині $U_{вх}$, порівнюється із заданим значенням сили $F_{пр}$, яка розвивається пружиною 9 проміжного органа Б.

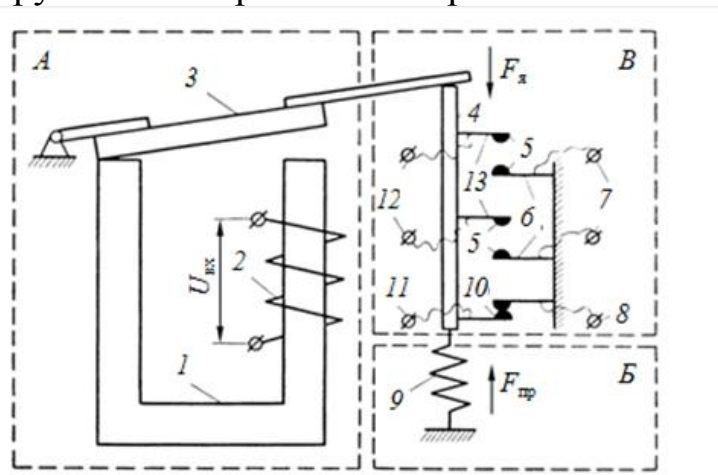


Рисунок 13.3 – Схема роботи електромагнітного реле

При $U_{вх} < U_{сп}$, $F_я < F_{пр}$ тримач 4 рухливих контактів 13 не пересувається ($U_{сп}$ – напруга спрацьовування).

При $U_{вх} > U_{сп}$, $F_я > F_{пр}$ рухливі контакти 13 виконавчого органа В починають рухатися, чим забезпечується замикання замикаючих 4-5, 13-6 контактів і розмикання розмикальних контактів 10. При цьому

вихідний параметр змінюється стрибкоподібно. Опір між точками керування кіл: між клемми 12-7 стрибкоподібно змінюється від ∞ до 0; між клемми 11-8 – від 0 до ∞ .

13.1.1. Електромагнітні реле змінного струму

У тих випадках, коли основним джерелом енергії є мережа змінного струму, бажано застосовувати реле, обмотки яких живляться змінним струмом (рисунок 13.4).

Електромагнітне зусилля в таких реле змінюється (пульсує) з подвоєною частотою 2ω , обертаючись у нуль двічі за період живлячої (вхідної) напруги. Отже, якорь реле може вібрувати, періодично відтягуватися від осердя зворотною пружиною, що викликає зношення його осі, обгорання контактів, переривання електричного кола й інші небажані явища.

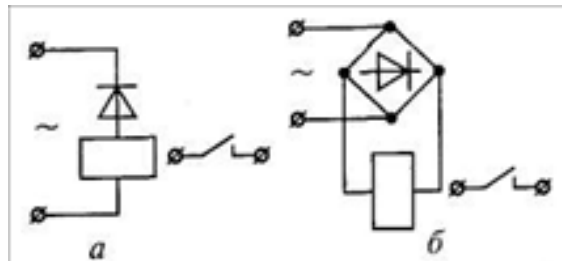


Рисунок 13.4 – Схеми включення реле постійного струму у мережу змінного струму з напівперіодним (а) та з двонапівперіодним (б) випрямленням

Хоча змінний струм є більш розповсюдженим, ніж постійний, реле постійного струму знайшли більш широке застосування, тому що вони не вимагають використання шихтованого магнітопроводу (набраного з окремих листів), а також спеціальних заходів для усунення вібрації якоря. Можливе включення реле постійного струму в мережу змінного струму через випрямні пристрої. На рисунку 13.4 зображені схеми таких пристроїв.

Розглянемо способи усунення вібрації якоря реле змінного струму.

Застосування двофазного реле.

На рисунку 13.5, а зображена схема двофазного реле змінного струму, що має дві обмотки, розташовані на двох осердях EM1 і EM2 із загальним якорем. Обмотки реле з'єднані паралельно одна одній. У коло однієї з обмоток включений конденсатор С, завдяки чому струми I_1 і I_2 в обмотках реле виявляються зрушеними по фазі на кут $\pi/2$ (ри-

сунок 15.5,б). Через те, що струми в обмотках проходять через нуль у різні моменти часу, результуюче тягове зусилля $F_e(p)$, що діє на яркір, ніколи не обертається в нуль і має постійне значення, тобто не містить змінної складової (рисунок 13.5,в).

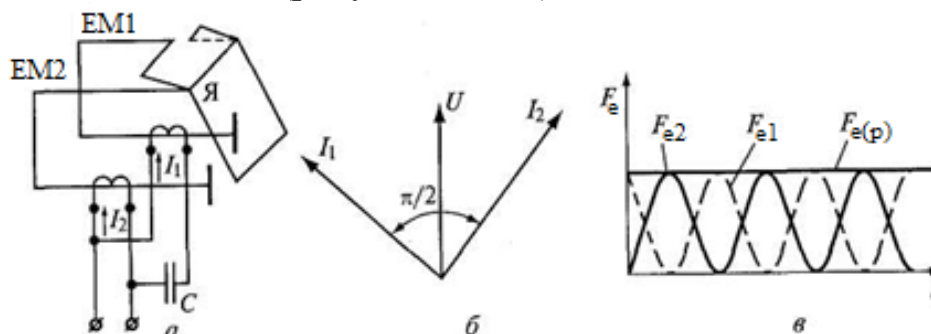


Рисунок 13.5 – Двофазне реле змінного струму: а – схема підключення; б – вектори струмів в обмотках; в – результуюче зусилля.

Застосування короткозамкненого витка (екрана), що охоплює частину кінця осердя (розщеплене осердя), є найбільш ефективним способом усунення вібрації ярка реле.

На рисунку 13.6 зображена схема реле змінного струму з короткозамкненим витком (контакти реле й виводи обмотки на схемі не показані). Кінець осердя, звернений до ярка, розщеплений на дві частини, на одну з яких надіта короткозамкнена обмотка - екран Е (один або кілька витків).

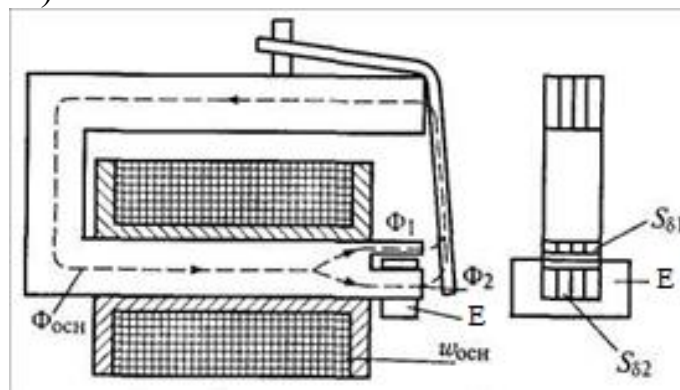


Рисунок 13.6 – Схема реле змінного струму з короткозамкненим витком

Принцип роботи реле полягає в наступному. Змінний магнітний потік $\Phi_{осн}$ основної обмотки $\omega_{осн}$, проходячи через розрізану частину осердя, ділиться на дві частини. Частина потоку Φ_2 проходить через екрановану половину полюса перетином $S \delta_2$, у якій розміщується короткозамкнена обмотка (екран), а інша частина потоку Φ_1 проходить через неекрановану половину полюса перетином $S \delta_1$. Потік Φ_2 наво-

дить у короткозамкненому витку ЕРС $e_{кз}$, яка створює струм $I_{кз}$. При цьому виникає ще один магнітний потік $\Phi_{кз}$, який впливає на магнітний потік Φ_2 і викликає його відставання щодо потоку Φ_1 по фазі на кут $\varphi = 60...80^\circ$. Завдяки цьому результуюче тягове зусилля F_3 ніколи не доходить до нуля, тому що потоки проходять через нуль у різні моменти часу.

13.3.2. Електромагнітні реле постійного струму

Електромагнітні реле є найпоширенішими із групи електромеханічних реле й набули широкого застосування в пристроях автоматки, телемеханіки й обчислювальної техніки. Електромагнітні реле, які використовуються для перемикання потужних кіл струму, називаються контакторами. Реле постійного струму поділяються на нейтральні й поляризовані. Нейтральне реле однаково реагує на постійний струм обох напрямків, що протікає по його обмотці, тобто положення якоря не залежить від напрямку струму в обмотці реле. Поляризовані реле реагують на полярність сигналу. По характеру руху якоря електромагнітні нейтральні реле поділяються на два типи: з кутовим рухом якоря й утяжним якорем.

На рисунку 13.7 показані схеми електромагнітних реле клапанного типу й з якорем, що втягується усередину котушки. Для зменшення магнітного опору робочого повітряного зазору осердя електромагнітного реле звичайно забезпечується полюсним наконечником.

При відсутності керуючого сигналу якір віддалений від осердя на максимальну відстань за рахунок зворотної пружини (рисунок 13.8, а). У цьому випадку одна пара контактів замкнена (розмикаючі контакти - РК), а інша пара розімкнута (замикаючі контакти - ЗК).

Принцип дії таких реле заключається у наступному: при подачі струму в обмотку (котушку) створюється магнітний потік, який, проходячи через сердечник, ярмо, якір і повітряний зазор $\delta_n(0)$, створює магнітне зусилля, що притягує якір до осердя. При цьому якір, впливаючи на колодку, переміщає її таким чином, що контакти ЗК замикаються, а РК розмикаються. У деяких конструкціях реле якір при вимиканні струму під дією власної ваги вертається у вихідне положення (рисунок 13.7 в).

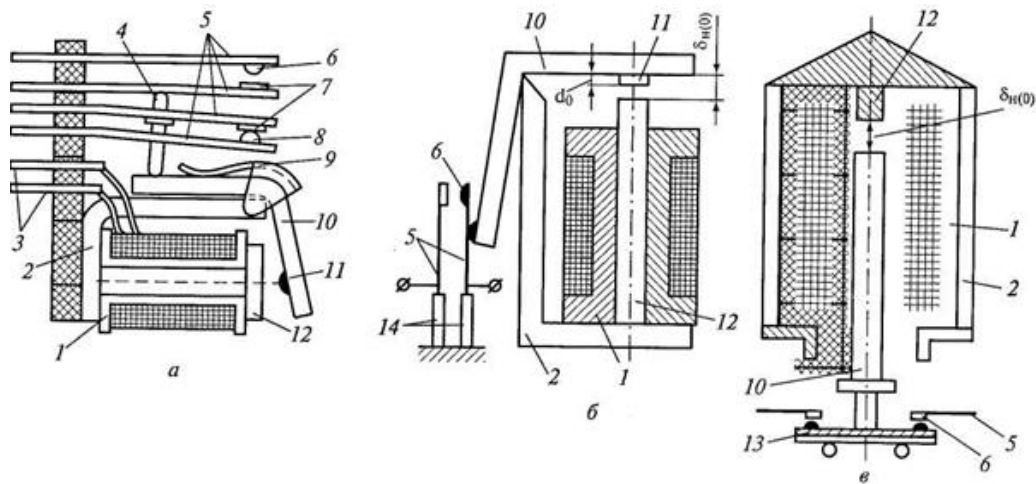


Рисунок 13.7 – Схеми електромагнітних реле: а – клапанного типу із замикаючим і розмикаючим контактом; б – клапанного типу із замикаючим контактом; в – з якорем, який втягується; 1 – каркас з обмоткою; 2 – ярмо; 3 – виводи обмоток; 4 – колодка; 5 – контактні пружини; 6 – замикаючі контакти; 7 – рухомі контакти; 8 – розмикаючі контакти; 9 – зворотна пружина; 10 – якорь; 11 – штифт відлипання; 12 – осердя; 13 – струмопровідний шар; 14 – ізоляція.

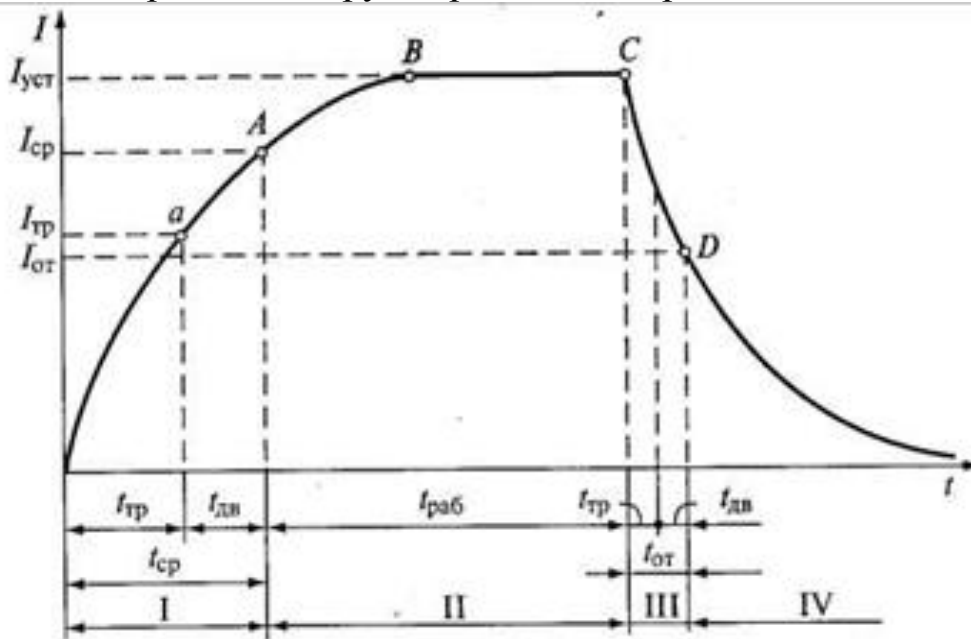


Рисунок 13.8 – Часова діаграма роботи реле

Розглянемо особливості роботи реле по етапах (рисунок 13.8) на прикладі реле з кутовим переміщенням якоря (рисунок 13.7, б). За рахунок індуктивності котушки реле струм у ній наростає (убуває) не миттєво, а поступово. При детальному розгляді роботи реле в процесі спрацьовування й відпускання можна визначити чотири етапи.

Етап I - спрацьовування реле. Тривалість цього етапу - час повного спрацьовування $t_{сп}$, тобто проміжок часу від моменту подачі напруги на котушку реле до моменту надійного замикання контактів (точка A); I_p - струм рушання, при якому починається рух якоря; t_p - час, за який струм досягає значення I_p , (точка a), тобто проміжок, відповідний до початку руху якоря; $I_{спр}$ - струм, при якому спрацьовує реле; $t_{спр}$ - час руху якоря при спрацьовуванні. Таким чином, час повного спрацьовування, що відповідає закінченню руху якоря, $t_{спр} = t_{тр} + t_{дв}$.

Етап II - робота реле ($t_{роб}$ - час роботи реле). Після того як реле спрацює, струм в обмотці продовжує збільшуватися (ділянка АВ), поки не досягне значення, що встановилося. Ділянка АВ необхідна для того, щоб забезпечити надійне притягування якоря до осердя, що виключає вібрацію якоря при струсах реле. Згодом струм в обмотці реле залишається незмінним. Відношення струму, що встановився, $I_{вст}$ до струму спрацьовування $I_{спр}$ називається коефіцієнтом запасу реле по спрацьовуванню $K_{зап}$, тобто він визначає надійність роботи реле: $K_{зап} = I_{вст}/I_{спр} = 1,5...2$. Величина $I_{вст}$ не повинна перевищувати значення, припустимого для обмотки реле за умовами її нагрівання.

Етап III - відпускання реле. Цей період починається від моменту припинення подачі сигналу (точка C) і триває до моменту, коли струм в обмотці реле зменшується до значення $I_{відп}$ (точка D - припинення впливу реле на кероване коло). При цьому розрізняють час рушання при відпусканні $t_{тр}$ і час руху $I_{дв}$.

Час відпускання $t_{відп} = t_{тр} + t_{дв}$, де $t_{тр}$ - час до початку руху якоря при відпусканні; $t_{дв}$ - тривалість переміщення якоря. Відношення струму відпускання до струму спрацьовування називається коефіцієнтом повернення: $K_{п} = I_{відп}/I_{спр} < 1$; звичайно $K_{п} = 0,4...0,10$.

Етап IV - спокій реле - відрізок часу від моменту розмикання контактів реле (точка D) до моменту подачі нового сигналу на його обмотку. При швидкому проходженні керуючих сигналів один за одним робота реле характеризується максимальною частотою спрацьовування (числом спрацьовувань реле в одиницю часу).

13.3.3. Поляризовані електромагнітні реле

На відміну від розглянутих раніше нейтральних електромагнітних реле, у поляризованого реле (ПР) напрямок електромагнітного зусилля залежить від полярності сигналу постійного струму в обмот-

ці. Поляризація цих реле здійснюється за допомогою постійного магніту.

Існує багато конструктивних різновидів поляризованих реле, які класифікуються по ряду ознак. За конструктивною схемою магнітного кола розрізняють реле з послідовною, паралельною (диференціальною) і мостовою магнітними системами, по числу обмоток керування - одно й багатообмоткові, по способу настроювання контактів (числу стійких положень якоря) - дво- і трипозиційні.

Поляризовані реле можуть бути використані також у якості віброперетворювачів, але найбільше поширення вони одержали в малопотужній автоматиці, особливо в системах, що стежать, при керуванні реверсивними двигунами.

До переваг поляризованих реле відносяться: висока чутливість, яка характеризується малою потужністю спрацьовування й становить 10-5 Вт; великий коефіцієнт керування; малий час спрацьовування.

Недоліки ПР у порівнянні з нейтральними електромагнітними реле наступні: трохи складніша конструкція; більші габаритні розміри, вага й вартість.

У поляризованих реле використовують диференціальні й мостові схеми магнітних кіл, які мають багато різновидів (назва кіл визначається типом електричної схеми заміщення електромагнітної системи). На рисунку 13.9 зображене поляризоване реле з диференціальною схемою магнітного кола.

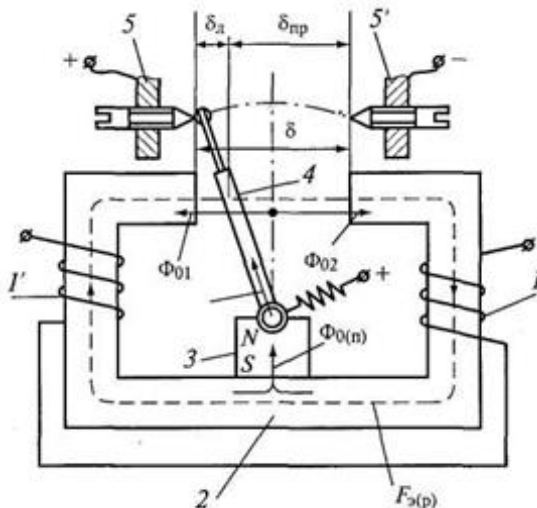


Рисунок 13.9 – Поляризоване реле з диференційною схемою магнітного кола: 1, 1' - котушки намагнічування; 2 - ярмо; 3 - постійний магніт; 4 - якор; 5, 5' - контакти.

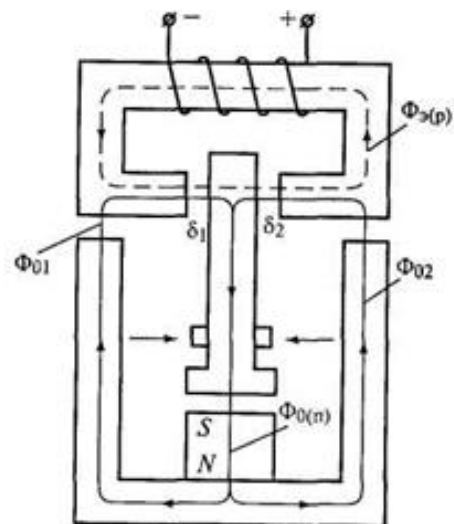


Рисунок 13.10 – Поляризоване реле з мостовою схемою магнітного кола

На якір реле діють два незалежних один від одного потоки: потік $\Phi_0(p)$, створований постійним магнітом 3 і незалежний від робочого стану схеми, у яку включене реле, і робочий (керуючий) потік $\Phi_e(p)$, створований котушками, що намагнічують, 1 і 1' і залежний від струму, що протікає по їхніх обмотках.

Електромагнітне зусилля, що діє на якір 4, залежить, таким чином, від сумарної дії потоків $\Phi_e(p)$ і $\Phi_0(p)$. Зміна напрямку електромагнітного зусилля при зміні полярності струму в робочій обмотці відбувається внаслідок того, що змінюється напрямок робочого потоку відносно потоку поляризації.

Потік поляризації $\Phi_0(p)$ проходить по якору й розгалужується на дві частини - Φ_{01} і Φ_{02} відповідно до провідностей повітряних зазорів ліворуч δ_l і праворуч δ_{pr} від якоря. Залежно від полярності керуючого сигналу робочий потік $\Phi_e(p)$ віднімається з потоку Φ_{01} у зазорі ліворуч від якоря й додається до потоку Φ_{02} праворуч від якоря (рисунки 13.9), або навпаки. У випадку, показаному на рисунку, якір перекинеться з лівого положення в праве. При вимиканні сигналу, якір буде перебувати в тому положенні, яке він займав до вимикання сигналу. Результирує електромагнітне підсилення, котре діє на якір, буде спрямоване до того зазору, де магнітні потоки додаються.

У поляризованому реле з мостовою схемою магнітного кола (рисунки 13.10) сили притягування якоря, включеного в одну з діагоналей цієї схеми, діють так само, як і в диференціальній схемі, тобто в повітряному зазорі з однієї сторони якоря робочий потік $\Phi_e(p)$ спрямований згідно з потоком поляризації $\Phi_0(p)$, а з іншого - зустрічно. Мостові схеми поляризованих реле мають більш високу стабільність параметрів і стійкість до зовнішніх механічних впливів.

Поляризовані реле випускаються трьох видів настроювання. Реле, зображене на рисунку 13.10, є двопозиційним. Якщо нерухливі контакти 5 і 5' симетрично розташовані щодо нейтральної лінії (якір відрегульований симетрично), то при вимиканні керуючого сигналу якір реле залишається в тому ж положенні, яке він займав при наявності керуючого сигналу. Повторне включення керуючого сигналу колишньої полярності не приведе до зміни положення якоря. Якщо змінити полярність керуючого сигналу, то якір перекинеться в інше положення й залишиться в ньому після зняття сигналу. Таке настроювання називається нейтральним або двопозиційним.

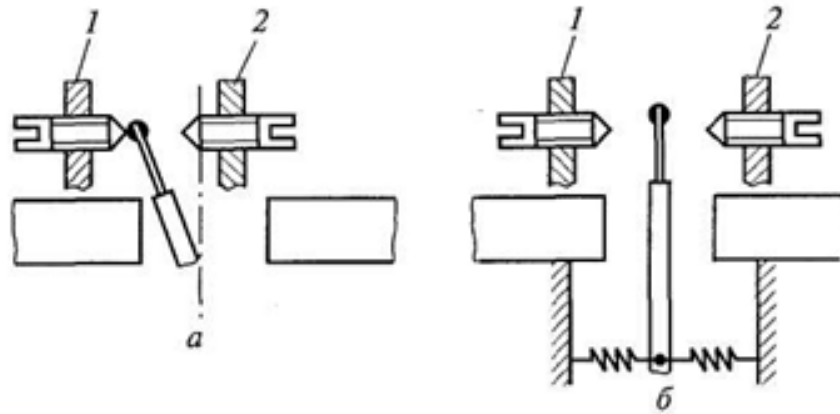


Рисунок 13.11 - Способи регулювання контактів поляризованого реле: а – двопозиційне з притисненням до одного з контактів; б – трипозиційне; 1, 2 – контакти.

Якщо один з контактів 1 або 2 (рисунок 13.11, а) висунути за нейтральну лінію, то реле стає двопозиційним з перевагою до одного з контактів. У цьому випадку при виключеному реле якорь завжди притиснутий до лівого контакту 1 (до правого контакту 2, якщо за нейтральну лінію висунути лівий контакт) і перекидається вправо лише на час протікання в керуючій обмотці струму відповідної полярності.

Трипозиційне реле має симетрично розташовані від нейтральної лінії нерухливі контакти (рисунок 13.11, б). Якорь, при відсутності керуючого сигналу, втримується в середньому положенні за допомогою спеціальних пружин, розташованих з двох сторін, або закріплюється на плоскій пружині, пружність якої створює стійке положення рівноваги в середньому положенні. При подачі сигналу в керуючу обмотку, контакт на якорі замикається з лівим або правим контактом (залежно від полярності сигналу) і повертається в нейтральне положення після зняття сигналу.

Поляризовані реле знаходять широке застосування в схемах автоматики завдяки своїм характерним властивостям. Наявність декількох обмоток дозволяє використовувати їх як логічні елементи, невелика потужність спрацьовування - у якості елементів контролю невеликих електричних сигналів, малий час спрацьовування й чутливість до полярності вхідних сигналів - у якості амплітудних модуляторів і демодуляторів. Завдяки високій чутливості поляризовані реле часто використовують у малопотужних колах змінного струму із включенням через випрямляч.

13.3.4. Магнітні пускачі

Існує багато видів автоматичних схем керування електричними двигунами, пуск і зупинка яких здійснюються за допомогою кнопок. Такі схеми виконуються у вигляді окремих пристроїв, названих магнітними пускачами. Магнітний пускач - це один з видів контакторів, призначений для пуску трифазних асинхронних двигунів.

Електромагнітний пускач - пускач, у якого сила, необхідна для замикання головних контактів, забезпечується електромагнітом [ДЕРЖСТАНДАРТ Р 50030.4.1-2002 (МЭК 60947-4-1-2000)].

Пускач магнітний - електричний вимикач змінного струму з магнітним приводом, призначений, головним чином, для дистанційного пуску, зупинки й захисту трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором (рисунок 13.12).

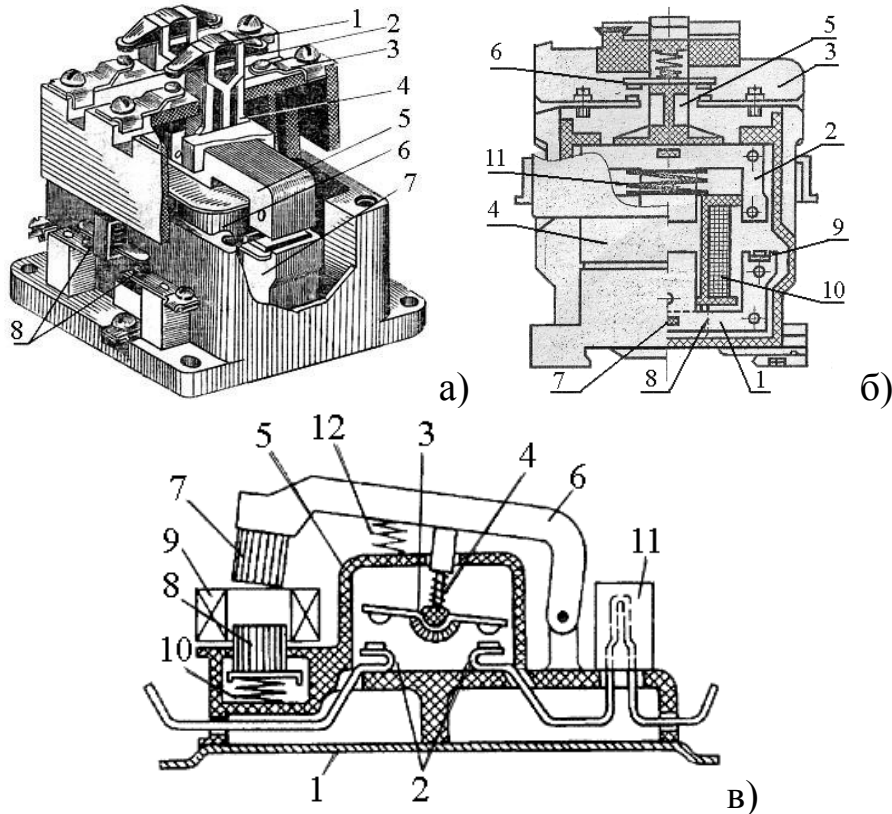


Рисунок 13.12 - Магнітні пускачі:

а) усередині корпусу пускача розміщена електромагнітна система, що включає в себе нерухливу Ш-подібну частину осердя 7 і обмотку 6, намотану на котушку. Осердя набране з ізольованих один від одного (для зменшення втрат від вихрових струмів) листів електротехнічної сталі. Рухлива частина осердя 5 (якір) з'єднана із пластмасовою траверсою 4, на якій змонтовані контактні містки 2 з рухливими контактами. Плавність замикання контактів і необхідне зусилля натискання забезпечуються контактними пружинами 1. Нерухливі контак-

ти припаяні до контактних пластин 3, які мають гвинтові затискачі для приєднання проводів зовнішнього кола. Крім головних контактів, пускачі мають додаткові (блокувальні) контакти 8, розташовані на бічних поверхнях апарата. Головні контакти закриті кришкою, що захищає їх від забруднення, випадкових доторкань і міжфазних замикань.

б) пускач має прямохідну Ш-подібну магнітну систему, що складається із осердя 1, якоря 2 і укладену у два корпуси 3, які з'єднано між собою двома пружинами 4. По напрямних корпусів ковзає траверса 5, на якій укріплений якір 2 і містки головних і допоміжних контактів 6. Пускач має три головні контакти й один замикаючий або розмикальний допоміжний контакт. Осердя 1 кріпиться до основи за допомогою пластини 7 і амортизаторів 8, які служать для зм'якшення удару під час включення.

На крайніх кернах осердя кріпляться короткозамкнені витки 9, котушка 10, що втягує, розташована на середньому керні осердя й спирається на амортизатори. Зворотна пружина 11 встановлюється на середній керні якоря. Пускачі допускають установку контактних стійок, які збільшують число допоміжних контактів.

в) 1 - металева основа; 2, 3 - нерухливі й рухливі мостикові контакти; 4 - контактна пружина; 5 - закрыта дугогасна камера; 6 - траверса; 7 - якір електромагніту; 8 - котушка електромагніту; 9 - магнітопровід електромагніту; 10 - пружини, що амортизують; 11 - теплове реле; 12 - пружина, що відключає.

Принцип дії пускача полягає в наступному: при включенні пускача по котушці проходить електричний струм, осердя намагнічується й притягує якір, при цьому головні контакти замикаються і по головному колу протікає струм. При відключенні пускача котушка знеструмлюється, під дією зворотної пружини якір вертається у вихідне положення, головні контакти розмикаються.

При відключенні магнітного пускача внаслідок перебоїв в електропостачанні всі його контакти, у тому числі й допоміжні, розмикаються. З появою напруги в мережі пускач не включається доти, поки не буде натиснута кнопка "Пуск". Те ж відбувається, якщо напруга в мережі знижується до 50-60% номінальної.

13.4. Реле часу

Реле часу – це логічні реле з нормованим часом спрацювання. Вони призначені для утворення заданих витримок часу під час передачі сигналів з одного кола в інше.

Серед реле часу найбільш широкого розповсюдження набули електромагнітні реле часу, в яких використовуються магнітні системи постійного і змінного струму.

Час спрацювання електромагнітних реле як при включенні, так і при виключенні має дві складові:

час зрушення – це проміжок часу з моменту подачі на обмотку (при включенні реле) або зняття з обмотки (при виключенні реле) живлення до початку руху рухомих частин реле, тобто це час нерухомого стану якоря під час зміни магнітного потоку при включенні або виключенні обмоток реле: збільшення часу зрушення може здійснюватися за рахунок магнітного демпфірування;

час руху – це час руху якоря до повного його притягнення. Вплив на час здійснюється за допомогою механічного демпфірування (пневматичний демпфер, часовий механізм тощо).

Принципи дії реле часу:

- *електромагнітне уповільнення*. Реле часу з електромагнітним уповільненням застосовуються тільки при постійному струмі. Окрім основної обмотки реле цієї серії мають додаткову короткозамкнуту обмотку, що уявляє собою мідну гільзу. При наростанні основного магнітного потоку, він створює струм в додатковій обмотці, який перешкоджає наростанню основного магнітного потоку. При цьому результуючий магнітний потік зростає повільніше, час притягування якоря зменшується, чим забезпечується витримка часу. Цей вид реле часу забезпечує витримку часу при спрацюванні від 0,07 с до 0,11 с, а при відключенні - від 0,5 с до 7 с.

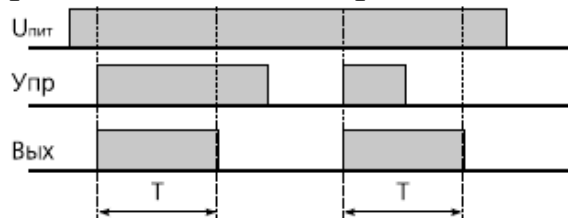
- *пневматичне уповільнення*. Реле часу з пневматичним уповільненням має спеціальний уповільнюючий пристрій — пневматичний демпфер. Регулювання витримки здійснюється зміною перетину отвору для повітря. Цей тип реле часу забезпечує витримку часу від 0,4 до 180 с, з точністю спрацювання 10 % від уставки.

- *часовий або анкерний механізм*. Реле часу з анкерним, або годинним механізмом працює за рахунок пружини, яка заводиться під дією електромагніту і контакти реле спрацювають тільки після того, як анкерний механізм відлічить час, виставлений на шкалі. Цей тип реле часу забезпечує витримку часу від 0,1 до 20 с, з точністю спрацювання 10 % від уставки.

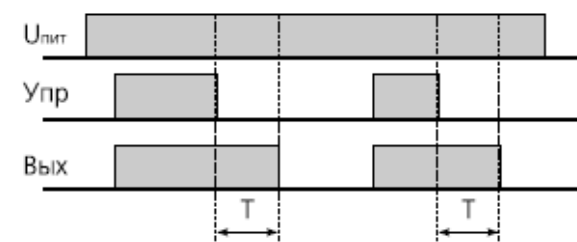
- *моторні реле часу*. Моторні реле часу призначені для відліку часу від 10 с до декількох годин. Воно складається з синхронного двигуна, редуктора, електромагніту для зчеплення і розчеплення двигуна з редуктором, контактів.

- *електронні реле часу*. До появи недорогих мікроконтролерів, робота електронних реле часу була заснована на перехідних процесах в розрядному контурі RC або RL. Сучасні реле часу відпрацьовують необхідну затримку часу відповідно до програми, «зашиитої» в мікроконтролер. При цьому сам мікроконтролер може тактуватися за допомогою вбудованого кварцевого резонатора або RC-генератора.

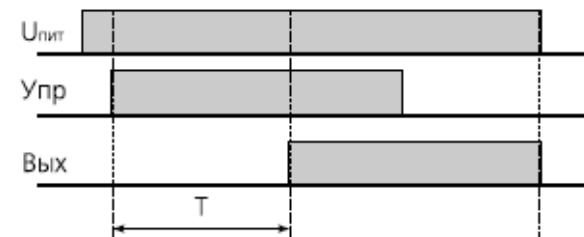
Режими роботи сучасних електронних реле часу на основі мікропроцесорів (рисунок 13.13) задаються за допомогою Dip-перемикача, розташованого, як правило, на передній панелі.



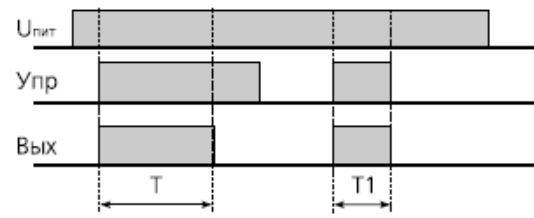
Формування імпульсу незалежно від тривалості керуючого імпульсу



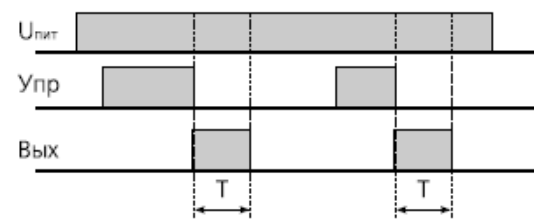
Запуск реле по фронту й формування імпульсу по спаду керуючого сигналу



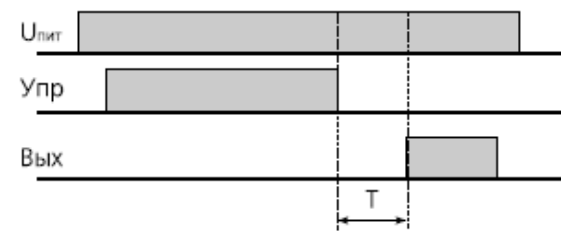
Затримка включення по фронту керуючого сигналу



Формування імпульсу залежно від тривалості керуючого імпульсу



Формування імпульсу по спаду керуючого сигналу



Затримка включення по спаду керуючого сигналу

Рисунок 13.13 Діаграми найбільш поширених режимів роботи електронних реле часу

13.5. Безконтактні релейні елементи

13.5.1. Напівпровідникові релейні елементи.

В апаратах низької напруги, призначених для виконання простих функцій (комутування кіл, фазове регулювання), широко поширення знайшли схеми керування тиристорами, виконані на основі транзисторів і трансформаторів з магнітопроводами, що насичуються. Характерним для цих схем є простота конструкції, висока надійність і низька вартість.

Транзистор, як керований елемент, може бути використаний у якості формувача імпульсів, підсилювача, фазового інвертора, логічного елемента, граничного елемента при перетворенні вихідних сигналів різних датчиків. Мала вхідна потужність, необхідна для схем керування на транзисторах, досягається застосуванням індикаторних кіл або з інших кіл з більшим вихідним опором.

Широкі можливості мають транзисторні схеми відносно формування вихідних сигналів із заданими параметрами імпульсів. Причому схеми, що реалізують ті самі функції, можуть бути виконані на транзисторах різного типу й виду: ррр-типу, прп-типу, одноперехідних транзисторах, польових оптронних транзисторах та ін. Тому існує велика кількість різноманітних варіантів схем керування й окремих їхніх вузлів, а також синхронізуючих пристроїв.

Проте, більшість із них можна віднести до вже відомих типових схем, таким, як мультивібратор з одним або двома стійкими станами, блокінг-генератор, тригер Шмідта й ін.

Мультивібратор з одним стійким станом застосовується для формування прямокутних імпульсів із заданою тривалістю через електронні реле часу (рисунок 13.14). Тривалість імпульсу визначається вибором постійної часу перезарядження конденсатора С. Для запуску схеми можна використовувати короткі синхронізуючі імпульси. Схема сама повертається до вихідного стану.

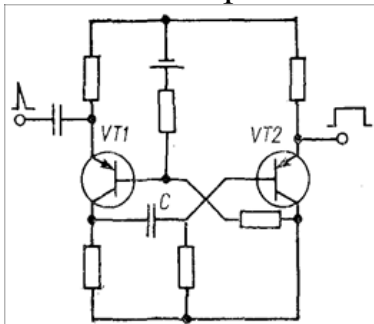


Рисунок 13.14 - Схема транзисторного формувача прямокутних керуючих імпульсів

Якщо зробити симетричні перехресні зв'язки між базою й колектором транзисторів VT1 і VT2, то мультивібратор буде мати два стійкі стани: включений транзистор VT1 і виключений VT2 або виключений VT1 і включений VT2. Вхідні сигнали різної полярності необхідно подавати на базовий вивід транзистора VT1 або VT2. Мультивібратори із двома стійкими станами здатні включатися каскадно, як це відбувається в кільцевих лічильниках. При такому режимі роботи забезпечується можливість зміну вихідних імпульсів на задану величину для керування тиристорами в багатополосному виконанні.

Аналогічні функції можуть виконувати транзисторні схеми блокування-генератора й тригера Шмідта. Оскільки тригер Шмідта генерує імпульси з дуже малим часом наростання, він може використовуватися у якості вихідного формувача керуючих імпульсів, при твердих вимогах до крутості їх фронту, наприклад при керуванні паралельно з'єднаними тиристорами.

На рисунку 13.15 наведена проста схема керування апаратом змінного струму, виконаним на базі симістора VS. Джерелом напруги керування в схемі є двосторонній стабілітрон VD. Транзистор VT включений у діагональ випрямного мосту, що дозволяє забезпечувати протікання струму керування через нього при зміні полярності напруги на симісторі. Включення й відключення схеми здійснюються відповідно подачею напруги зсуву на базу транзистора і її зняттям.

Застосування трансформаторів та дроселів (рис. 13.16), що насичуються магнітопроводами в системах керування апаратами змінного струму, обумовлене здатністю цих магнітопроводів різко змінювати індуктивний опір обмоток. Залежно від мети застосування, магнітопровід трансформатора може бути виконаний з матеріалу із прямокутною петлею гістерезису або з магнітом'яких матеріалів, у яких коерцитивна сила НС становить десяті частки ампера на сантиметр.

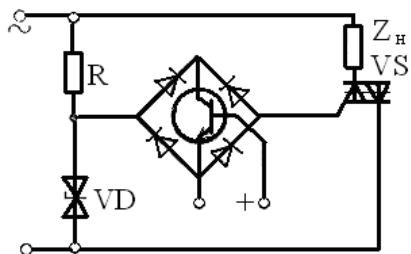


Рисунок 13.15 – Схема керування симетричним тиристором

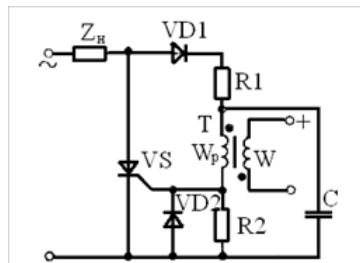


Рисунок 13.16 – Керування на основі трансформатора з магнітопроводом, що насичується

Твердотільні реле (ТТР) – клас модульних напівпровідникових приладів, виконаних за гібридною технологією, що містять у своєму складі потужні силові ключі на симісторних, тиристорних або транзисторних структурах. Вони використовуються для заміни традиційних електромагнітних реле, контакторів і пускачів (табл. 13.2).

Таблиця 13.2- Класифікація і характеристики реле

Тип корпусу	Малогабаритний / Стандартний Промисловий малогабаритний Промисловий з повітряним охолодженням Промисловий з водяним охолодженням Корпус для трифазного реле
Призначення	загальнопромислові комутація малопотужного навантаження комутація кіл постійного струму безперервне регулювання напруги комутація потужного навантаження комутація однофазного навантаження із запасом по струму комутація трифазного навантаження
Кількість фаз:	однофазне / трифазне
Тип навантаження	резистивне / індуктивне ($\cos \varphi > 0,5$) резистивне
Сигнал керування (діапазон, тип)	3...32 VDC 90...250 VAC 5...32 VDC змінний резистор 470-560 кОм уніфікований сигнал напруги 0...10 В уніфікований сигнал струму 4...20 мА
Діапазон комутованої напруги	40...440 VAC 12...250 VDC 10...440 VAC, при $U_{\text{живл.нав.}} = 220 / 380 \text{ VAC}$ 10...250 VAC, при $U_{\text{живл.нав.}} = 220 / 230 \text{ VAC}$ 60...1200 VAC
Максимальна пікова напруга	9 клас (900 VAC) 4 клас (400 VDC) 6 клас (600 VAC) 11 клас (1100 VAC) 12 клас (1200 VAC) 16 клас (1600 VAC)
Ряд номінальних струмів	5, 10, 15, 25, 40, 60, 80, 100, 120, 150, 250, 500, 600, 800 А
Межа вкл/відкл керуючого сигналу	3 / 1 VDC 90 / 10 VAC 5 / 1 VDC
Струм споживання у колі керування	6...35 мА; 5...30 мА; 3...5 мА; 4...20 мА

Конструктивні особливості:

- Вбудоване RC-коло підвищує надійність роботи в умовах дії імпульсних перешкод, особливо при комутації індуктивного навантаження.
- Повне заливання всіх елементів компаундом і герметичний корпус запобігає проникненню усередину пилу й вологи, зберігаючи працездатність ТТР навіть у несприятливих умовах експлуатації (ступінь захисту IP54 без урахування клем приєднання).
- Мідна основа забезпечує максимально ефективний відвід тепла від вихідного силового елемента.
- Висока термостійкість корпусу зі спеціалізованого пластикату (аналогічний карболіту, але менш крихкий) гарантує його цілісність навіть при короткому замиканні.
- Індикація – контроль наявності вхідного сигналу.

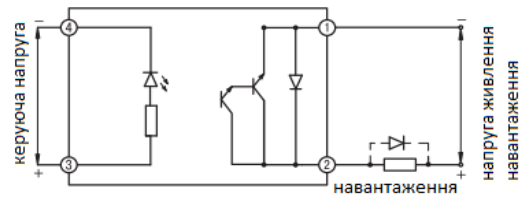
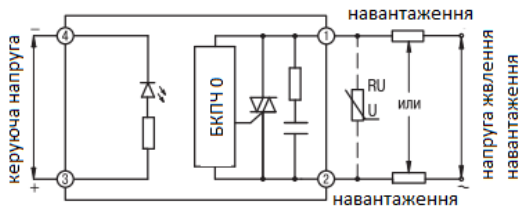
Умови експлуатації

- Температура навколишнього повітря: $-30\dots+70$ °С.
- Атмосферний тиск: $84\dots106,7$ кПа.
- Відносна вологість $\leq 80\%$ (при $+25$ °С та нижче без конденсації вологи).

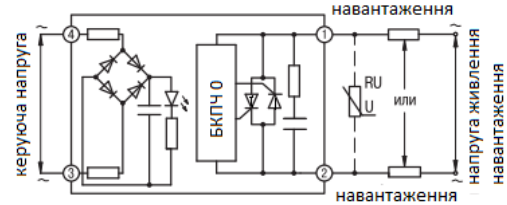
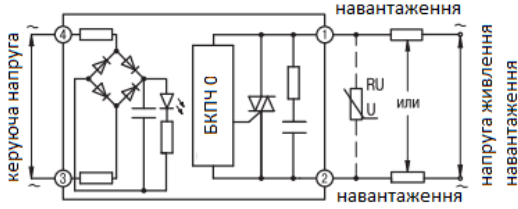
Рекомендації з експлуатації

- При використанні ТТР для керування індуктивним навантаженням необхідно встановити шунтуючий діод паралельно навантаженню.
- Для захисту ТТР від імпульсних перенапруг у колі навантаження, використовується варистор (для ТТР, розрахованих на комутацію змінної напруги).
- При струмі навантаження вище 5 А необхідне застосування радіаторів охолодження.
- При недостатній природній циркуляції повітря через радіатор використовується вентилятор.
- ТТР при відключенні навантаження не забезпечують повного розмикання електричного кола й вихідні клеми перебувають під напругою. Для повного відключення навантаження в періоди технічного обслуговування устаткування, необхідно застосовувати додаткові заходи по відключенню кола живлення навантаження (контактори, рубильники, вимикачі навантаження).

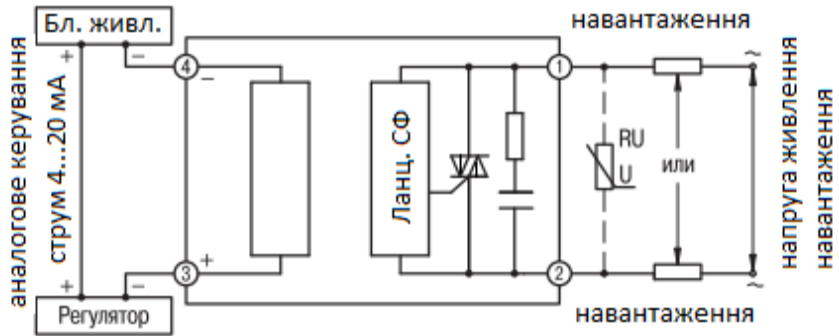
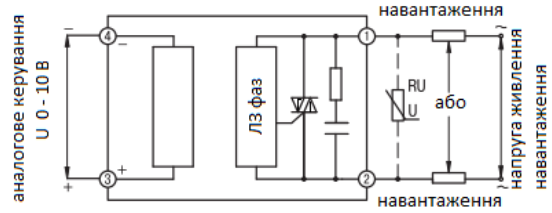
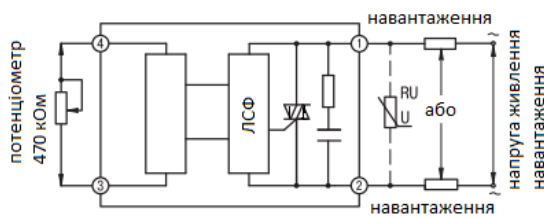
Схеми включення ТТР (рисунок 13.17, 13.18)



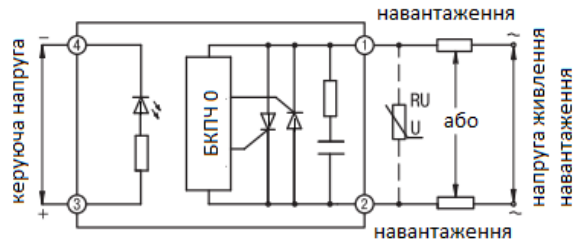
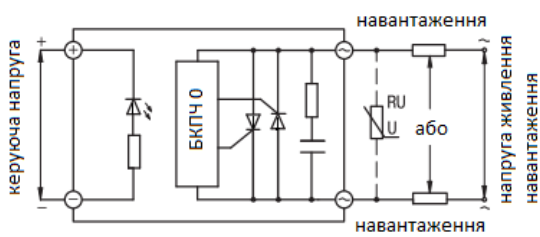
Дискретне керування постійною напругою



Дискретне керування змінною напругою

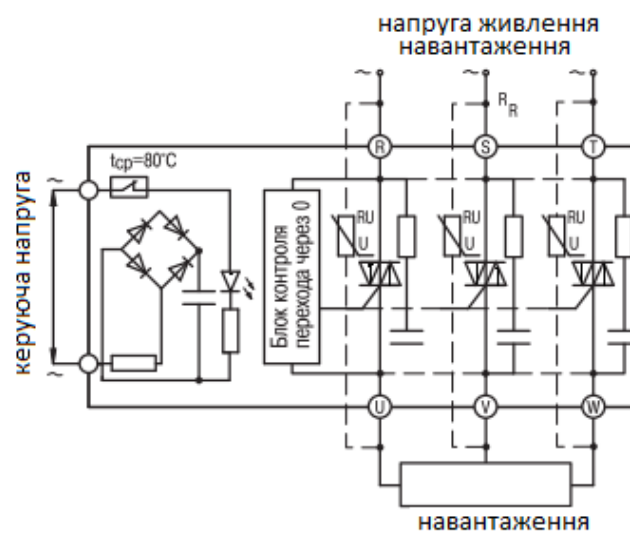
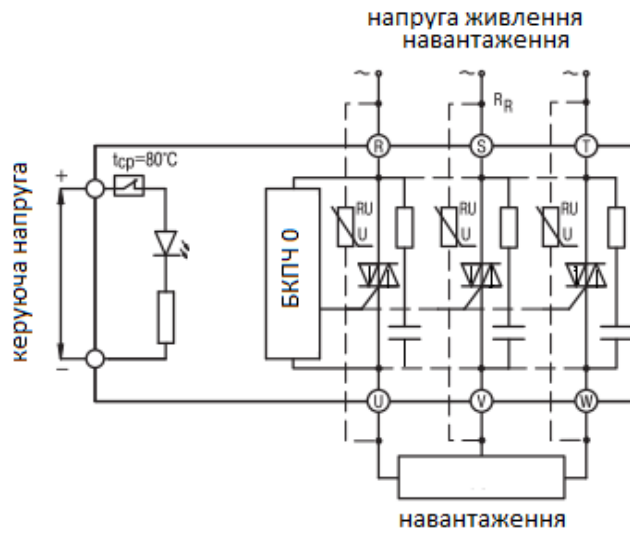


Аналогове керування вихідною напругою

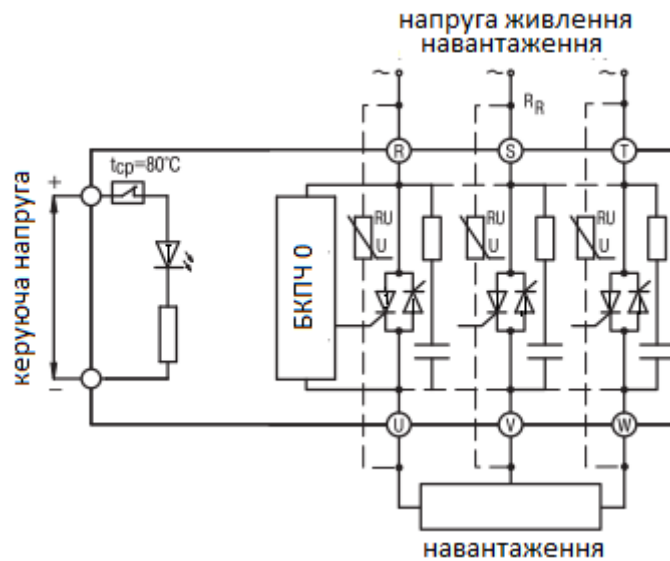


Дискретне керування постійною напругою

Рисунок 13.17 – Поширені схеми включення твердотільних реле для керування однофазним потужним навантаженням



Дискретне керування навантаженням на симісторах



Дискретне на тиристорах

Рисунок 13.18 – Поширені схеми включення твердотільних реле для керування трифазним навантаженням

13.5.2. Трансформаторні релейні елементи

Трансформатори з магнітопроводами, що насичуються, використовуються також у якості синхронізуючих пристроїв у системах керування тиристорними апаратами. Принцип реалізації такого способу синхронізації пояснюється функціональною схемою системи керування тиристорним блоком (рисунок 13.19).

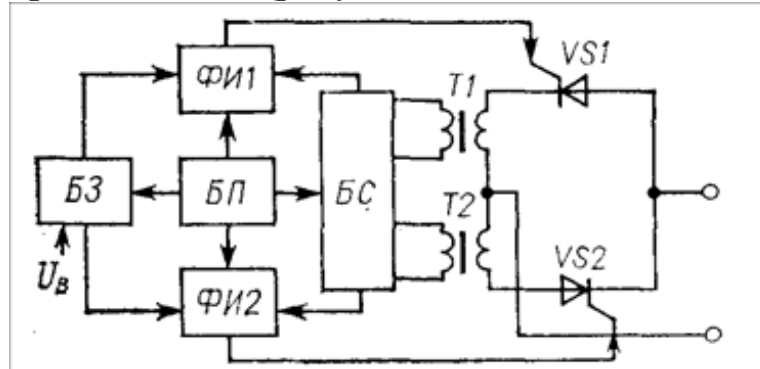


Рисунок 13.18 - Схема синхронізації на основі ПСК-трансформаторів

Трансформатори Т1 і Т2 у ній включені послідовно з тиристорами в кожному із плечей силового блоку. Це значить, що у первинних обмотках трансформаторів протікає постійний пульсуючий струм. Якщо магнітопровід трансформатора виготовлений з магнітом'якого матеріалу, характеристика якого має різко виражену зону насичення, то при синусоїдальному струмі в первинній обмотці магнітний потік змінюється по подібній трапеції формі і у вторинній обмотці наводиться ЕРС шпильастої (трикутної) форми. При однонапівперіодному випрямленні струму, що має місце в кожному плечі тиристорного блоку, різнополярні імпульсні ЕРС виникають на початку півперіоду струму й наприкінці його.

Перший імпульс є результатом різкого намагнічування магнітопроводу до насичення. Другий імпульс відповідає виходу магнітопроводу з режиму насичення наприкінці півперіоду струму. Він фіксує закінчення провідності тиристора в області й може бути використаний для запуску формувача керуючих імпульсів (ФІ), за допомогою якого здійснюється включення тиристора в зустрічно-паралельній області. У блоці синхронізації (БС) імпульс трикутної форми перетворюється в прямокутний або експонентний (рисунок 13.18), крутий фронт якого відповідає моменту переходу струму в навантаженні через нульове значення.

Розглянутий спосіб синхронізації керування тиристорним блоком по струму відрізняється простотою й може використовуватися в апаратах низької й високої напруги.

Контрольні запитання

1. Види керуючих елементів автоматики.
2. Що таке промислові програмовані логічні контролери (ПЛК), та яке їх призначення?
3. На базі чого створені ПЛК?
4. Які основні функції ПЛК?
5. Що собою уявляють мережні комплекси контролерів?
5. Класифікація пристроїв зв'язку з об'єктом.
7. Призначення реле та їх види.
8. Основні параметри та характеристики реле.
9. Причини виникнення вібрації якоря реле змінного струму та заходи для усунення.
10. Електромагнітні реле постійного струму. Конструкція, переваги та недоліки.
11. Поляризовані електромагнітні реле. Конструкція, переваги та недоліки.
12. Магнітного пускача, конструкція та застосування в системах автоматики.
13. Реле часу. Призначення та конструкції.
14. Безконтактні релейні елементи. Конструкція, переваги та недоліки.
15. Трансформаторні релейні елементи. Конструкція, переваги та недоліки.

14. ПРИСТРОЇ РЕЄСТРАЦІЇ ТА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ

14.1. Перетворювачі інтерфейсів

Перетворювач інтерфейсів «струмова петля»/RS-232

Для взаємного перетворення сигналів приладів у вигляді «струмової петлі» та сигналів інтерфейсу RS-232 (рисунок 14.1), необхідно:

- підключення від 1 до 8 приладів до одного послідовного порту комп'ютера;
- перетворення сигналу інтерфейсу RS-232 у «струмову петлю» та навпаки;
- наявність вбудованого джерела живлення;
- гальванічна розв'язка.

Умови експлуатації:

- температура оточуючого повітря : +1...+50 °С.
- атмосферний тиск: 84...106,7 кПа.
- відносна вологість повітря (при +25°С нижче) – не більше 80%.

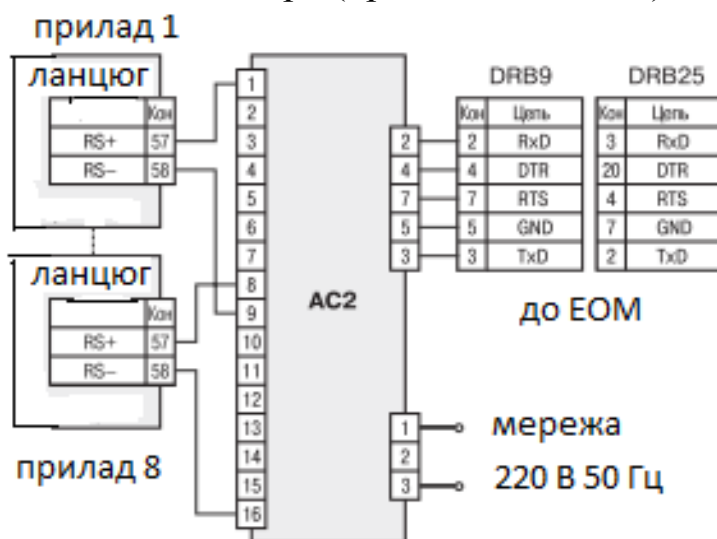


Рисунок 14.1 – Схема підключення перетворювача інтерфейсу AC2 (ОВЕН)

Перетворювач інтерфейсів «струмова петля»/RS-485 (рис. 14.2) призначений для перетворення даних від приладів з інтерфейсом «струмова петля» в інтерфейс RS-485, підтримує стандартні протоколи Modbus (RTU/ASCII). Особливості:

- взаємне перетворення сигналів інтерфейсів «струмова петля» та RS-485;
- передача даних від приладів з інтерфейсом «струмова петля» у мережу RS-485 по запиті майстра мережі;

- підтримка розповсюджених протоколів передачі даних у мережі RS-485;
- гальванічна ізоляція входів між собою та від мережі живлення;
- напруга живлення – 90...245 В, 47...63 Гц.

Умови експлуатації

- температура оточуючого повітря: –20...+75 °С.
- атмосферний тиск: 84...106,7 кПа.
- відносна вологість повітря (при нижче +25 °С) – не більше 80%

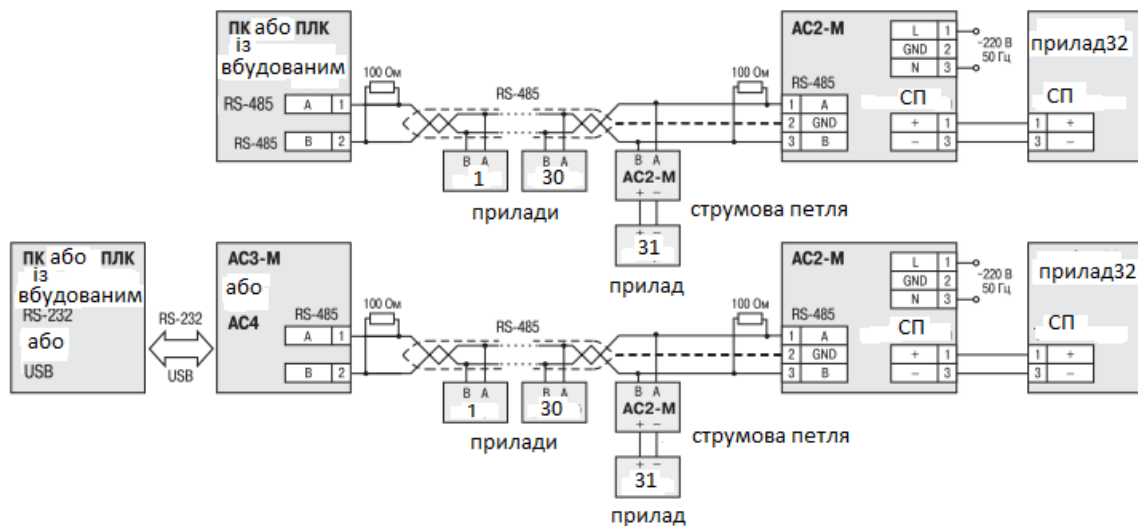


Рисунок 14.2 – Схема підключення АС-М (ОВЕН) до ПЛК

Автоматичний перетворювач інтерфейсів RS-232/RS-485

Застосовується для взаємного перетворення сигналів інтерфейсів RS-232 та RS-485 (рисунок 14.3). Дозволяє підключити до промислової інформаційної мережі RS-485 пристрої з інтерфейсом RS-232 (персональний комп'ютер, зчитувач штрих-кодів, електронні ваги та ін.). Особливості пристроїв:

- взаємне перетворення сигналів інтерфейсів RS-485, RS-232;
- автоматичне визначення напрямку передачі даних;
- гальванічна ізоляція входів між собою та від мережі живлення;
- напруга живлення: =24 В або ~220 В;
- вбудовані узгоджувальні резистори.

При побудові мережі з використанням інтерфейсу зв'язку RS-485 до лінії, яка виконана витією парою, може бути підключено до 32 пристроїв, що обмежується навантажувальною здатністю перетворювача.

При використанні повторювача RS-485 (АС5) до перетворювача можна підключити більше 32 пристроїв (до 256). Перетворювачі мають вбудовані узгоджувальні резистори опором 100 та 120 Ом.

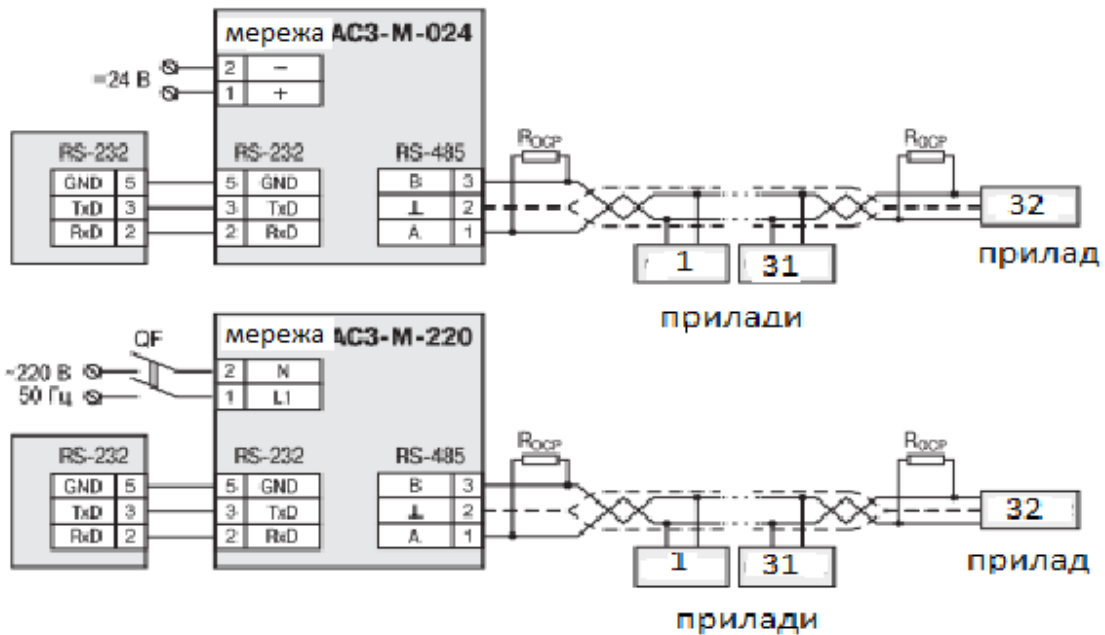


Рисунок 14.3 – Схема підключення перетворювача інтерфейсу AC3 (ОВЕН)

Автоматичний перетворювач інтерфейсів USB/RS-485

Застосовується для взаємного перетворення сигналів інтерфейсів USB та RS-485 (рисунок 14.4). Дозволяє підключати промислову мережу RS-485 до персонального комп'ютера, який має USB-порт.

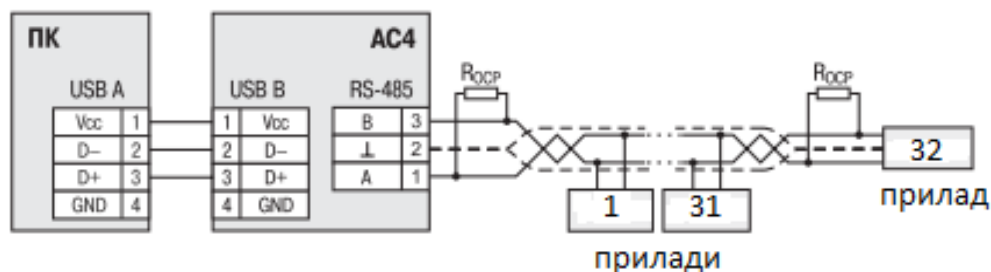


Рисунок 14.4 – Схема підключення перетворювача інтерфейсу AC4 (ОВЕН)

Особливості:

- взаємне перетворення сигналів інтерфейсів USB та RS-485;
- автоматичне визначення напрямлення передачі даних;
- гальванічна ізоляція входів;
- створення віртуального COM-порту при підключенні приладу до ПК, що дозволяє без додаткової адаптації використовувати інформаційні системи (SCADA, конфігуратори), що працюють з апаратним COM-портом;
- живлення від шини USB;

- вбудовані узгоджувальні резистори;
- температура оточуючого повітря: $-20...+75$ °C;
- атмосферний тиск: 84...106,7 кПа;
- відносна вологість повітря (при нижче $+25$ °C) – не більше 80%.

Перетворювач інтерфейсу Ethernet – RS-232/RS-485 використовується при створенні систем диспетчеризації, автоматизованих систем обліку електро- і тепло-енергоресурсів як у комерційних, так і технологічних цілях.

- 4 послідовні порти для віддаленої роботи по мережі Ethernet (Internet) з одним або кількома пристроями, які оснащені RS-232 та RS-485;
- 2 універсальні послідовні інтерфейси RS-232/RS-485, режим роботи визначається за допомогою вбудованих DIP-перемикачів;
- 2 інтерфейси RS-232, один з яких повно модемний;
- висока швидкість передачі даних по послідовним інтерфейсам, до 921600 біт за допомогою мережевого протоколу UDP;
- експлуатується у закритих вибухобезпечних приміщеннях без агресивних парів та газів;
- температура оточуючого повітря: $-25 ... +70$ °C;
- верхня межа відносної вологості – 95 % при 35 °C без конденсації вологи;
- атмосферний тиск: 85...107 кПа.

Перетворювач дозволяє:

- працювати в одному з двох режимів передачі даних Ethernet – RS-232/RS-485: «запит-відповідь», «без запиту».

Режим «запит-відповідь»:

- приймання запиту з мережі Ethernet та його передача у вказаний послідовний інтерфейс;
- отримання відповіді від пристрою на послідовному інтерфейсі та його передачу у мережу Ethernet пристрою, який відправив запит.

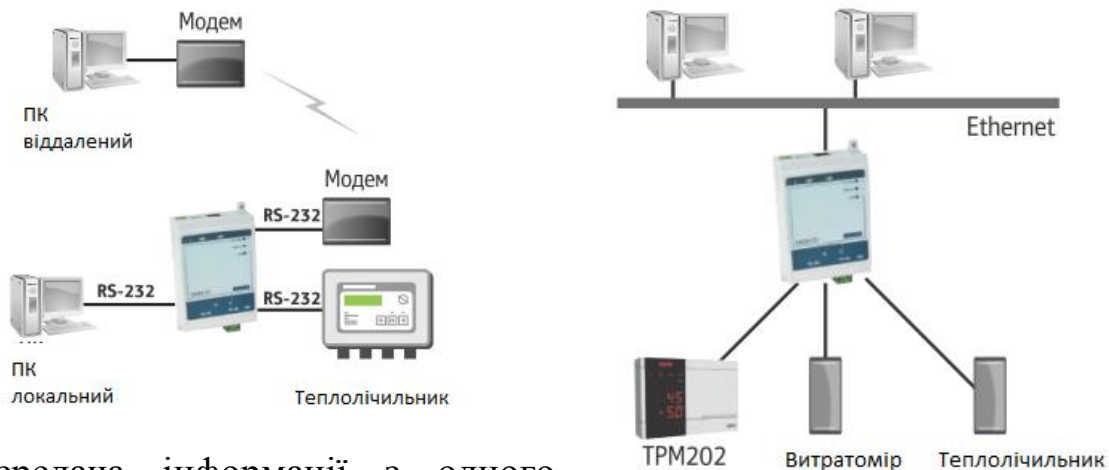
Режим «без запиту»:

- приймання даних від пристрою на послідовному інтерфейсі та передача цих даних у мережу Ethernet вказаному пристрою на вказаний порт;
- приймання даних з мережі Ethernet та їх передача до вказаного послідовного інтерфейсу.
- здійснює індикацію обміну по послідовному порту і по мережі Ethernet за допомогою вбудованих світлодіодних індикаторів.

- підтримує сигнали RS-232: RxD, TxD, GND, RTS, CTS, DSR, DTR, DCD.
- підтримує мережний інтерфейс 10BaseT/100BaseTxEthernet та протоколи TCP/IP, UDP, DHCP, HTTP, DNS, що дозволяє використовувати його у розподілених мережах виробництва.
- відбиває послідовні порти як віртуальні COM-порти ПК. Здійснюється за допомогою програми конфігуратора віртуальних портів (КВП).

Повторювачі сигналів інтерфейсів

Повторювачі сигналів інтерфейсів призначені для побудови промислових інформаційних мереж RS-485. Дозволяють збільшувати фізичну довжину лінії зв'язку та кількість приладів у мережі (рисунок 14.5).



Передача інформації з одного пристрою з інтерфейсом RS-232 на різні комп'ютери: на локальні та віддалені, які підключені до перетворювача через GSM-модем

Опитування пристрою з послідовним інтерфейсом кількома ПК, які знаходяться у мережі Ethernet

Рисунок 14.5 – Схема підключення повторювача сигналу

Здійснюють:

- збільшення кількості приладів у мережі RS-485 шляхом додавання нового сегменту з кількістю приладів до 32;
- збільшення довжини мережі шляхом додавання нового сегменту довжиною до 1,2 км;
- автоматичне визначення напрямку передачі даних;
- гальванічна розв'язка сигналів між сегментами мережі;

- вбудовані узгоджувальні резистори;

Умови експлуатації

- температура оточуючого повітря : $-20\dots+75$ °С;
- атмосферний тиск: $84\dots106,7$ кПа;
- відносна вологість повітря (при $+25$ °С та нижче без конденсації вологи) – не більше 80 %;
- вплив електромагнітного середовища: клас А.

Підключення помножувача (рисунок 14.6) додає до мережі RS-485 ще один сегмент з кількістю приладів до 32 та довжиною до 1,2 км. Початок сегменту – місце підключення повторювача.

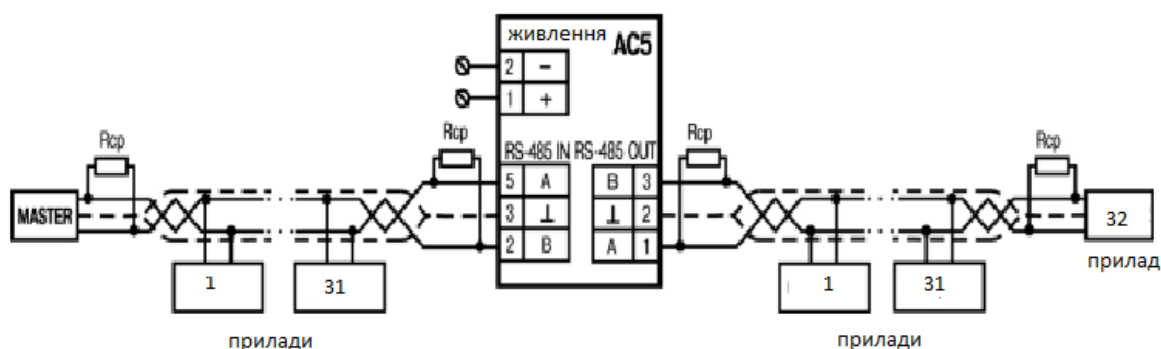


Рисунок 14.6 – Схема підключення помножувача сигналу AC5 (ОВЕН)

14.2. Модеми

GSM/GPRS-модем призначено для віддаленого обміну даними через безпроводні системи зв'язку стандарту GSM з обладнанням, яке оснащено послідовними інтерфейсами RS-232 або RS-485 90 (рисунок 14.7) та включають:

- вбудовані інтерфейси RS-485 та RS-232 (працюють одночасно);
- автоматичне перезавантаження модема;
- варіанти напруги живлення: - 24 В, ~ 220 В;
- компактний корпус для кріплення на DIN-рейку: $22,5 \times 107,1 \times 120,1$ мм;.
- для зв'язку модема з ПК через порт RS-232 необхідно використовувати подовжувач COM-порта;
- для коректної роботи модема необхідна GSM-антена;
- для зв'язку SCADA-систем з ПЛК через модем необхідний Modbus OPC/DDE-сервер;
- температура оточуючого повітря: $-30\dots+70$ °С;
- атмосферний тиск: $84\dots106,7$ кПа;

- відносна вологість повітря (при +25 °С нижче) – не більше 80%;
- керування модемом здійснюється по послідовному інтерфейсам за допомогою АТ-команд у відповідності із стандартами GSM 07.05 та GSM 07.07;
- приймання та передача даних за допомогою CSD-з'єднання;
- приймання та передача даних за допомогою GPRS-з'єднання;
- приймання та передача SMS;
- індикація:
 - обмін даними по послідовним портам;
 - реєстрація в мережі GSM та передача даних у режимі GPRS.
- вбудовано узгоджувальні резистори на інтерфейс RS-485 опором 120 Ом.

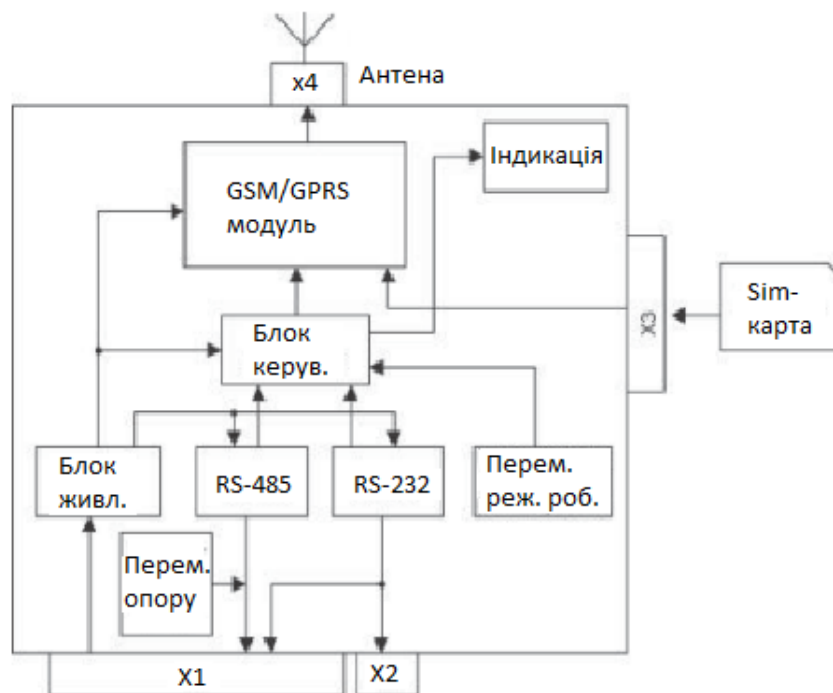


Рисунок 14.7 – Функціональна схема модему

14.3. Архіватори

Архіватори призначені для опитування приладів, модулів вводу та контролерів, які мають можливість передачі даних в мережу RS-485 (протоколи ОВЕН, Modbus RTU, Modbus ASCII). Виконує архівування параметрів, отриманих з 64 точок вимірювання на карту пам'яті SD (рисунок 14.8).

Використовується для архівації даних лічильників тепла, даних про хід різного роду технологічних процесів у харчовій, хімічній, газовій, пакувальній галузях, при виробництві будівельних матеріалів, деревообробки, у ЖКГ та інших галузях промислової автоматизації.

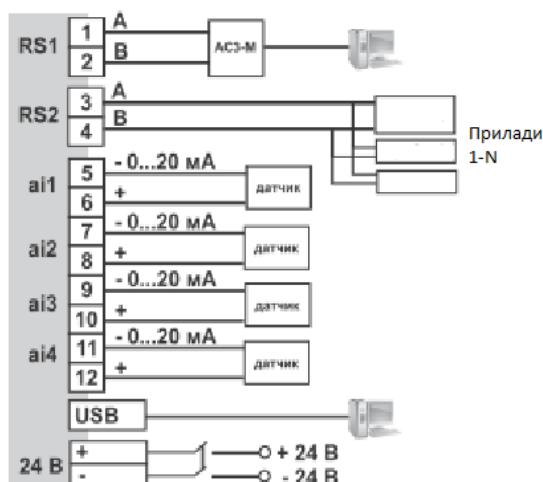


Рисунок 14.8 – Схема підключення архіватора

Основні функції та особливості:

- збір даних від приладів, які мають інтерфейс RS-485;
- архівування даних з 64 точок вимірювання;
- формування архіву на карті пам'яті SD (до 32 Гб);
- підтримка протоколів OВЕН, Modbus RTU, Modbus ASCII;
- конфігурування та зчитування даних по RS-485 або USB;
- реалізація цифрового підпису;
- можливість автоматичного склеювання архіву за кілька діб;
- експрес-аналіз архівів (вивід екстремумів);
- перезапис вмісту карти пам'яті при заповненні;
- окремі аналогові входи;
- можливість передачі архіву по GSM-каналі;
- програма для роботи з архівами надається безкоштовно;

Умови роботи:

- температура оточуючого повітря: $-10...+55$ °С;
- атмосферний тиск: 84...106,7 кПа;
- відносна вологість повітря (при до $+25$ °С) – до 80 %.

14.4. Хмарні технології

OwenCloud – один з варіантів хмарного сервісу, який дозволяє віддалено працювати з лінійкою продукції: контроль, моніторинг, налаштування, збір та передача даних, повідомлення про аварії та ін (рисунок 14.9). Сервіс надається безоплатно.

Базові функції:

- збір та зберігання даних з приладів;
- відображення на графіках і таблицях;
- контроль аварійних ситуацій;

- аварійні повідомлення;
- відображення на мапах.

Функції, що заплановані:

- віддалене керування;
- віддалене конфігурування;
- віддалена заміна вбудованого програмного забезпечення;
- передача даних через OPC-сервер;
- мобільний клієнт для Android та iOS.

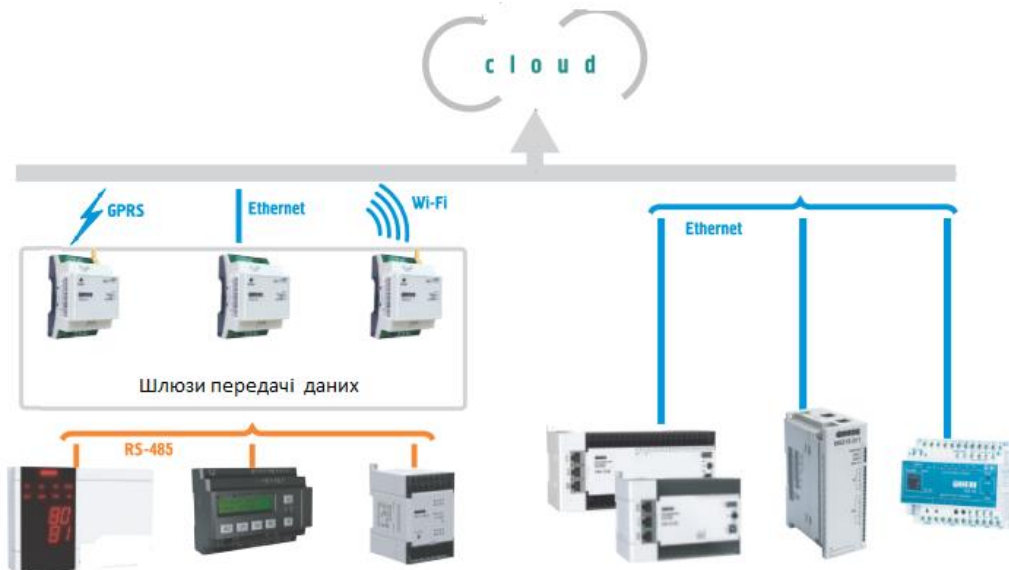


Рисунок 14.9 – Схема використання ТЗА від компанії ОВЕН для використання хмарних технологій

Контрольні запитання

1. Призначення та характеристика перетворювача інтерфейсів «струмова петля».
2. Умови експлуатації перетворювача інтерфейсів «струмова петля».
3. Як працює автоматичний перетворювач сигналів інтерфейсів?
4. Умови експлуатації перетворювача автоматичного перетворювача сигналів інтерфейсів.
5. Призначення та принцип дії повторювачів сигналів інтерфейсів.
6. Умови експлуатації повторювачів сигналів інтерфейсів
7. Призначення та принцип дії модему.
8. Умови експлуатації модему.
9. Призначення та принцип дії архіватора.
10. Призначення та основні функції сервісу «хмарні технології».

15. БЛОКИ ЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

15.1. Блоки живлення

Блоки живлення (БЖ) використовуються для живлення стабілізованою напругою датчиків, контролерів, панелей оператора і інших приладів, а також виконавчих механізмів. Функціонал приладів дозволяє перетворити широкий діапазон змінної або постійної напруги в стабілізовану постійну напругу, а також забезпечити захист від перенапружень і імпульсних перешкод на вході, короткого замикання і перегрівання.

За кількістю каналів можна виділити одноканальні та багатоканальні блоки живлення потужністю від 2 до 120 Вт.

За сферою застосування:

- для промислової автоматики;
- для датчиків;
- для ПЛК;
- для важких умов експлуатації;
- джерела безперебійного живлення.

Особливості і переваги: • високий ступінь точності вихідної напруги при скачках вхідної напруги;

- низький рівень пульсацій вихідної напруги (<0,5%) дозволяє працювати з чутливими до напруги навантаженнями;
- стабілізація вихідного струму (впевнений запуск навантаження з ємнісним входом - панелі, модеми, тощо);
- температурна стійкість: зберігають заявлену потужність у всьому діапазоні робочих температур;
- захист від коротких замикань і перевантажень;
- гальванічне розділення вхідних і вихідних ланцюгів гарантує відсутність небезпечної напруги на виході;
- завдяки високому ККД (не менше 85%) забезпечується низький струм споживання і слабкий нагрів. Блокам не потрібно довиконавчими охолодження;
- легкий і швидкий монтаж на DIN-рейку або монтажну панель.

Захист по перевантаженню типу «відсічення»

При виникненні короткого замикання блоки живлення входять в режим «відсічення» до відновлення.

При перегріві блоки живлення переходять в режим «відсічки» (рисунок 15.1).

Захист по перевантаженню типу «обмеження вихідного струму». При виникненні короткого замикання або перегріву, блоки живлення переходять в режим «відсічення» до відновлення (рисунки 15.2, 15.3).

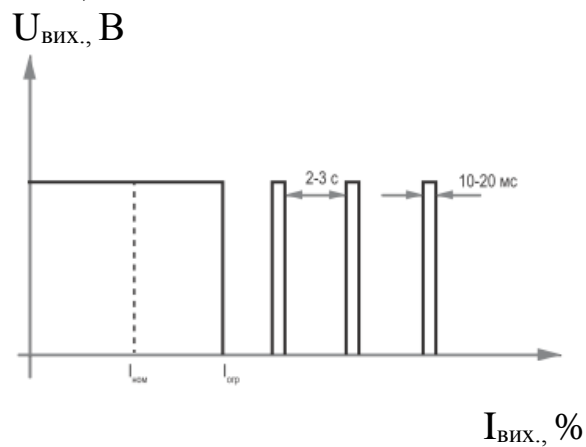


Рисунок 15.1 – Вольт-амперна характеристика БП

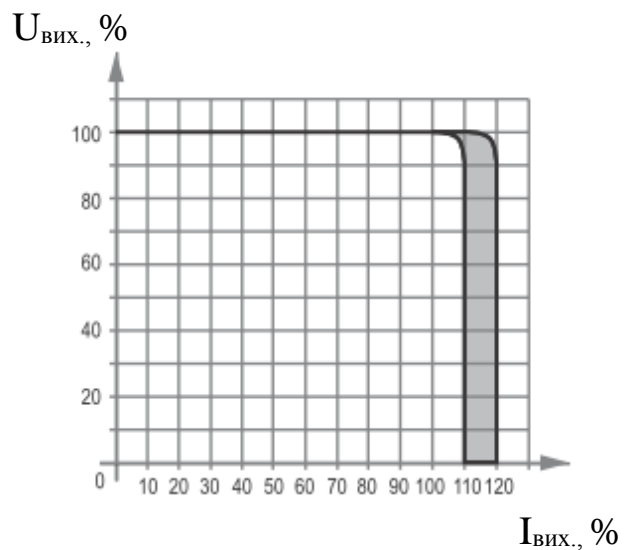


Рисунок 15.2 – Вольт-амперна характеристика БП. Тип захисту – обмеження вихідного струму

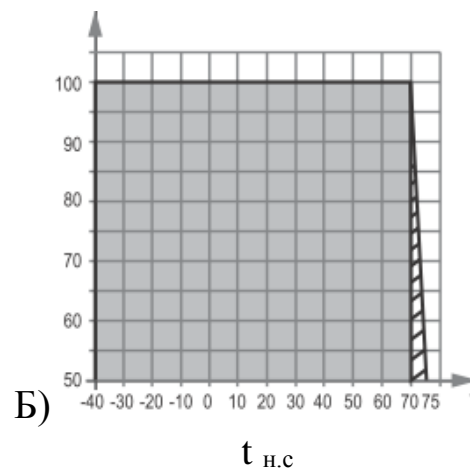
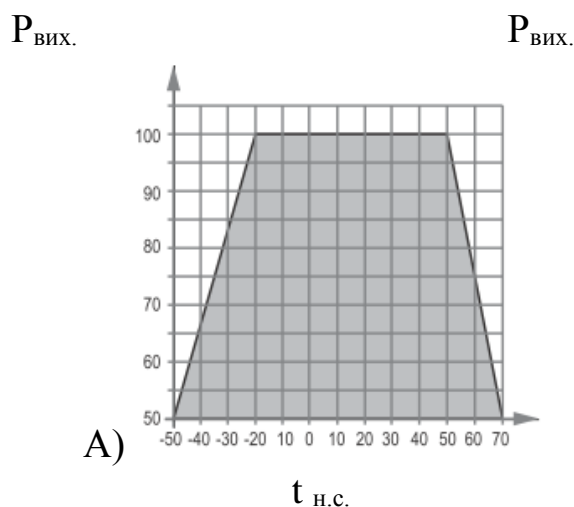


Рисунок 15.3-Залежність вихідної потужності від температури оточуючого середовища, а - звичані умови, б - важкі умови

15.2. Блоки живлення для промислової автоматики

Промислові блоки живлення призначені для живлення стабілізованою напругою постійного струму широкого спектру радіоелектронних пристроїв - релейної автоматики, контролерів і т. п.

Максимальна вихідна потужність: 15, 30 і 60 Вт. Кожен блок живлення має модифікації 8-ми номіналів вихідного напруги: 5, 9, 12, 15, 24, 36, 48 і 60 В.

Блоки живлення випускаються в пластикових корпусах з кріпленням на DIN-рейку. Застосовуються для побудови систем різної складності, в тому числі розподілених і виконують наступні функції:

- перетворення змінного (постійного) напруги в постійну стабілізовану напругу;
- стабільна робота в широкому діапазоні вхідних напруг без зниження характеристик вихідного напруги;
- впевнений запуск навантаження з великими вхідними ємностями (панелі оператора, модеми тощо);
- захист від перенапруги і імпульсних перешкод на вході;
- захист від перевантаження, короткого замикання і перегріву;
- регулювання вихідної напруги за допомогою внутрішнього підлаштування резистора в діапазоні $\pm 8\%$ від номінальної вихідної напруги зі збереженням потужності.

15.3. Блоки живлення для датчиків

Блоки живлення призначені для живлення датчиків стабілізованою напругою постійного струму.

Максимальна вихідна потужність: 2, 4, 7, 14 Вт. Кожен блок живлення має модифікації двох номіналів вихідної напруги: 24 і 36 В.

Блоки живлення випускаються в пластикових корпусах з кріпленням на DIN-рейку і мають наступні функції:

- перетворення змінної (постійного) напруги в постійну стабілізовану напругу;
- один або кілька гальванічно ізольованих каналів живлення датчиків;
- стабільна робота в широкому діапазоні вхідних напруг-ний без зниження характеристик вихідного напруги;
- захист від перенапруги і імпульсних перешкод на вході;
- захист від перевантаження, короткого замикання і перегріву;
- індикація про наявність напруги на виході.

15.4. Блоки живлення для важких умов експлуатації

Блоки живлення призначені для живлення стабілізованою напругою 24 В постійного струму приладів автоматики та інших радіоелектронних пристроїв та мають такі властивості:

- зберігають стабільну вихідну напругу і 100% вихідну потужність у широкому діапазоні температур: від -40 до +70 °С;
- витримують перевантаження по струму до 115%;
- мають низький рівень пульсацій вихідної напруги (<0,5% U_{вих}).
- забезпечують високий ККД (більше 85%);
- захищають від КЗ ланцюги 24 В постійного струму;
- не вимагають додаткового охолодження.

Конструктивно ця лінійка блоків живлення відрізняється виконанням основи. Вона відлита із силумінового сплаву і забезпечує максимально ефективно відведення тепла при роботі в умовах високих температур. При цьому зберігається зручне кріплення корпусу на DIN-рейку. Всі компоненти схемотехніки блоків живлення тестуються на стійку роботу в умовах низьких (до -40 °С) і високих (до +70 °С) температур.

Основні функції:

- перетворення змінного (постійного) напруги в постійну стабілізовану напругу;
- стабільна робота в широкому діапазоні вхідних напруг-ний без зниження характеристик вихідного напруги;
- успішний запуск навантаження з великими вхідними ємностями (панелі оператора, модеми і т.д.);
- захист від перенапруги і імпульсних перешкод на вході;
- захист від перевантаження, короткого замикання і перегріву;
- регулювання вихідної напруги за допомогою внутрішнього підлаштування резистора в діапазоні $\pm 8\%$ від номінального вихідного напруги зі збереженням потужності;
- індикація про наявність напруги на виході.

15.5. Джерела безперервного живлення

Функціональні можливості:

- резервувати харчування автоматики;
- фільтрація радіоперешкод при роботі від мережі 220 В;
- автоматична підзарядка акумуляторів;
- вбудований транзисторний ключ для аварійної сигналізації;
- захист від короткого замикання, невірної полярності підключення АКБ, глибокого розряду АКБ.

Схема підключення джерела безперервного живлення представлена на рисунку 15.4.

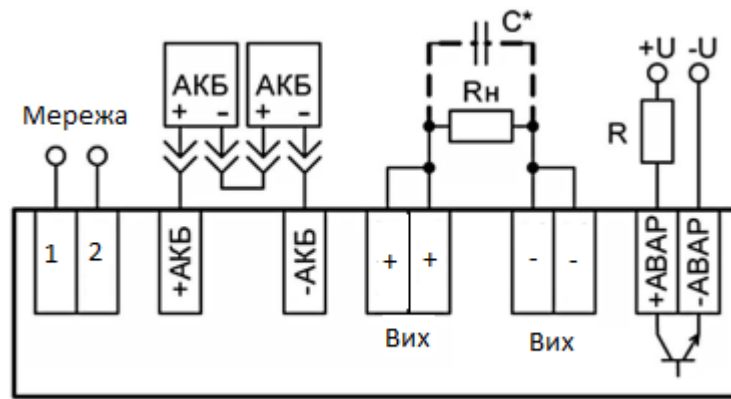


Рисунок 15.4 – Схема підключення джерела безперервного живлення

Призначені для використання в якості резервованого джерела вторинного живлення при роботі від мережі і від двох послідовно з'єднаних герметичних свинцево-кислотних акумуляторів.

Контрольні запитання

1. Призначення блоків живлення.
2. Класифікація блоків живлення автоматики.
3. Як залежить вихідна потужність блоку живлення від температури оточуючого середовища?
4. Захист блоків живлення від струмів перевантаження та короткого замикання.
5. Блоки живлення для промислової автоматики, призначення та режими роботи.
6. Вихідні параметри блоків живлення для промислової автоматики.
7. Блоки живлення для датчиків, призначення та режими роботи.
8. Вихідні параметри блоків живлення для датчиків.
9. Особливості блоків живлення для тяжких умов експлуатації.
10. Джерела безперервного живлення, призначення та функційні можливості.

16. ПРИВІДНА ТЕХНІКА

16.1. Перетворювачі частоти

Векторні перетворювачі частоти (ПЧ) призначені для керування частотою обертання трифазних асинхронних двигунів у складі приводів промислових установок, систем опалення, вентиляції й кондиціонування повітря, тощо. На основі ПЧ реалізується керований електропривод у промисловості й ЖКГ: верстати, змішувачі, виробничі лінії, системи водопостачання, вентиляція, димососи, підйомно-транспортне устаткування та ін.

Застосування перетворювачів частоти дозволяє суттєво розширити робочий діапазон керування, підвищити точність регулювання й швидкодію електроприводу. Зниження енергоспоживання при використанні ПЧ може досягати 35 %. ПЧ поєднують у собі надійність і простоту налаштування із широким набором функцій для вирішення базових завдань частотного керування.

Основні функції:

- плавний пуск і зупинка двигуна, у тому числі пуск під навантаженням по S-подібній характеристиці розгону;
- компенсація навантаження й ковзання;
- вольт-частотний або векторний алгоритми керування;
- автоматична адаптація двигуна без обертання;
- автоматична оптимізація енергоспоживання, що забезпечує найвищий рівень енергоефективності;
- повна функціональна, апаратна діагностика, захист ПЧ;
- вбудований RFI-дросель і дросель у колі постійного струму;
- вбудований ПІ-регулятор для керування у замкненому контурі (підтримка тиску, температури, рівня та ін.);
- вбудований ПЛК для вирішення складних завдань керування й позиціонування приводу (враховується кількість компараторів і логічних виразів, а також кількість функцій керування);
- можливість роботи із зовнішніми інкрементними енокодерами, у тому числі для підтримки малих частот обертання з великою точністю;
- зручна інтеграція в системах віддаленого керування й диспетчеризації (можливе одночасне керування по фізичних входах і по інтерфейсу RS-485);
- модифікації з підвищеним захистом корпусу (IP54) для використання поза шафами керування в умовах з підвищеною вологістю (на-

соси) або запиленістю (млини, елеватори, цементні заводи та ін.);

- релейні й аналогові виходи;
- модифікації з живленням 3×220 В для спеціальних умов (локальні системи живлення кораблів, підприємств та ін.);
- протипожежний режим для систем вентиляції;
- непряме обчислення витрати по сигналах з датчиків тиску;
- контроль обриву ременя (за струмом двигуна).

Основні функції ПЧ заключаються у тому, що du/dt -фільтри – знижують величину du/dt на клеммах лінійної напруги двигуна, що важливо для короткої лінії живлення двигунів. Лінійна напруга, як і раніше, зберігає прямокутну форму. Фільтр du/dt дозволяє знизити швидке зростання напруги (швидка зміна кінетичної енергії двигуна) і запобігти тим самим передчасному старінню й поверхневому пробою ізоляції. Фільтри du/dt знижують електромагнітний шум в моторному кабелі, який з'єднує ПЧ і двигун.

Автоматична адаптація двигуна (ААД) – алгоритм, який після завдання основних паспортних даних двигуна визначає електричні параметри підключеного двигуна, що перебуває в зупиненому стані. Під час цієї процедури ПЧ вимірює і запам'ятовує актуальні параметри двигуна, щоб потім використовувати їх в еквівалентній схемі заміщення (моделі) двигуна в алгоритмі керування. Процедура для ПЧ виконується без обертання валу двигуна (що дуже зручно, тому що не завжди є можливість пускати весь агрегат у такому режимі). Застосування даної функції зменшує час настроювання ПЧ та оптимізує роботу електродвигуна й дає додатково від 3 до 5% економії електроенергії.

Автоматична оптимізація енергоспоживання (АОЕ) – ця функція збільшує ККД двигуна, оптимізуючи його намагнічування (регулюється реактивна складова струму), і додатково заощаджує від 5 до 15 % споживаної електроенергії, залежно від режиму роботи. За допомогою даної функції привод споживає енергії рівно стільки, скільки це необхідно для навантаження в цей момент. АОЕ дозволяє забезпечувати мінімальне споживання реактивної складової струму двигуном, забезпечуючи при цьому необхідний момент (рисунок 16.1). Крім економії, значно знижується акустичний шум при роботі двигуна.

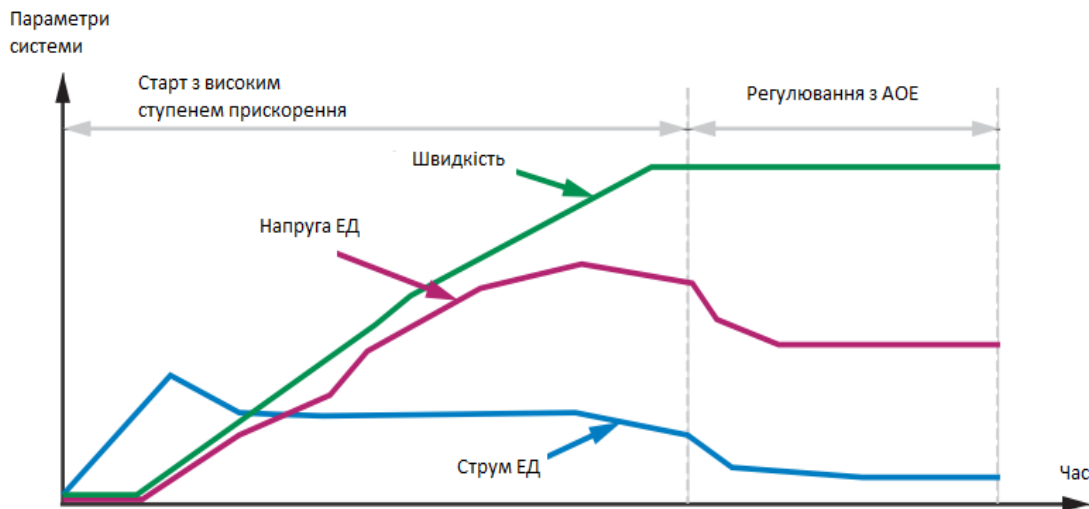


Рисунок 16.1 – Діаграма регулювання з АОЕ

Векторне керування (ВК) – метод керування синхронними й асинхронними двигунами, що не тільки формує гармонійні струми (напруги) фаз, але й забезпечує керування магнітним потоком ротора (моментом на валу двигуна). ВК застосовується у випадку, коли в процесі експлуатації навантаження може змінюватись на одній частоті, тобто немає чіткої залежності між моментом навантаження й швидкістю обертання, а також у випадках, коли необхідно одержати розширений діапазон регулювання частоти при номінальних моментах. Це дозволяє суттєво збільшити діапазон керування, точність регулювання, підвищити швидкодію електропривода. Цей метод забезпечує безпосереднє керування обертаючим моментом двигуна. Обертаючий момент визначається струмом статора, який створює магнітне поле збудження. При безпосередньому керуванні моментом, необхідно змінювати амплітуду і фазу статорного струму – вектор струму. Цим і обумовлений термін «векторне керування». ВК дозволяє здійснювати набагато більш якісне керування електродвигуном, ніж скалярний.

Вбудований ПЛК. Функції вбудованого контролера (таймери, лічильники, компаратори, булева логіка) дозволяють реалізувати локальне керування технологічним процесом та інтелектуальну обробку помилок. Користувач визначає послідовність дій і подій, які нумеруються й утворюють пари (усього може бути запрограмоване до 20 таких пар). Подія може приймати значення TRUE або FALSE. Подія настає, якщо воно ухвалює значення TRUE. Дія виконується, якщо настає подія з тим же номером.

Гармоніки – це синусоїдальні хвилі, що накладаються на фундаментальну (основну) частотою 50 Гц (тобто 1-а гармоніка = 50 Гц, 5-а гармоніка = 250 Гц). Будь-яка форма фактичної синусоїди може бути розкладена на складові частоти, таким чином, коли фактична синусоїда є сумою певного числа парних або непарних гармонік з меншими або більшими значеннями амплітуди. Гармоніки – є тривалі збурювання або викривлення в електричній мережі, що мають різні джерела прояву: імпульси, перекося фаз, кидки й провали напруги живлення.

Динамічне гальмування (електродинамічне гальмування) – вид гальмування асинхронними електродвигунами, при якому обмотка статора відключається від мережі змінного струму й включається на постійну напругу. Цей гальмовий режим використовується для точної зупинки двигунів. Під час гальмування обмотка статора створює постійне нерухоме магнітне поле. При обертанні ротора відносно цього магнітного поля змінюється напрямок ЕРС і струму ротора, що приведе до зміни напрямку електромагнітного моменту, тобто він стане гальмовим і під дією цього моменту відбувається гальмування. Кінетична енергія обертових частин переходить у теплоту, що виділяється у колі ротора за рахунок струмів, індукованих у ній нерухливим полем статора. Змінюючи величину підведеної до обмотки статора напруги, можна регулювати величину гальмового моменту. Основною перевагою цього гальмового режиму є точна зупинка. Постійну напругу можна підводити до обмотки статора тільки на час гальмування. Після зупинки, двигун потрібно відключити від мережі постійного струму.

Дроселі постійного струму. Вбудований мережний фільтр гармонік в ДС-контурі (після випрямляча) згладжує струм і напругу проміжного контуру, знижує емісію гармонік, обмежує навантаження на мережу й компоненти, збільшує термін служби двигуна, знижує теплові втрати у вхідному кабелі й трансформаторі.

Захист двигуна. Під час роботи двигун захищений від короткого замикання між фазами, від замикання на землю. ПЧ має вхід для прямого підключення термістора й функцію електронного теплового реле для теплового захисту двигуна.

Контроль обриву ременя базується на визначенні моменту на валу ротора (функціонує від 15 Гц). Якщо ремінь вентилятора обірваний, то мотор працює на високій швидкості, а момент двигуна маленький, тому що немає навантаження. Якщо момент двигуна нижче запрограмованої величини моменту холостого ходу, а вихідна частота ПЧ більше або рівна 15 Гц, то привод видає попередження про аварію й може бути зупиненим. Ця функція працює як зі зворотним зв'язком, так і без неї.

Локальна панель оператора (ЛПО) утворює повний інтерфейс для керування й програмування перетворювача частоти. Клавіатура панелі керування є з'ємною й може встановлюватися на відстані до 3 м від перетворювача частоти, тобто на передній панелі з використанням додаткового монтажного комплекту.

Паралельне з'єднання двигунів. Перетворювач частоти може управляти декількома двигунами, включеними паралельно. Загальний струм, споживаний двигунами, не повинен перевищувати номінальний вихідний струм перетворювача частоти. Якщо потужності двигунів значно різняться, то можуть виникати проблеми при пуску й на малих швидкостях обертання, оскільки відносно великий активний опір статора малопотужних двигунів вимагає більш високої напруги при пуску й на малих обертах.

Пожежний режим (протипожежний режим) призначений для використання в критичних ситуаціях, коли потрібно, щоб двигун працював незалежно від того, чи перебуває ПЧ в нормальних умовах або в умовах з підвищеною пожежонебезпекою. Наприклад, якщо ПЧ використовується для керування роботою вентиляторів у тунелях або сходових колодязях, де безперервна робота вентилятора сприяє безпечній евакуації персоналу у випадку пожежі. Деякі варіанти вибору функції протипожежного режиму ігнорують умови аварійної сигналізації й відключення, дозволяючи двигуну працювати без відключення. Протипожежний режим активізується тільки через клеми цифрових входів.

Пропуск резонансних частот (байпас). У кожному з наборів параметрів може бути запрограмоване по дві смуги частот, які привод буде пропускати, щоб виключити механічний резонанс (наприклад, у повітроводах, відцентрових сепараторах, насосах та ін.). Під час уведення системи в експлуатацію необхідно перевірити її на резонанс на всьому робочому діапазоні частот.

Початкове завдання – попереднє встановлене завдання, значення якого може перебувати в діапазоні від -100 до +100 % від максимального завдання.

Сплячий режим використовується з метою забезпечення програмної зупинки ПЧ у ситуаціях, в яких економічно недоцільна постійна робота привода, і система може деякі проміжки часу перебувати в очікуванні – простої. Сплячий режим дозволяє скоротити енергоспоживання й не допускає перевищення нормальних умов роботи системи (занадто високий тиск, переохолодження води в охолоджувальних колонах, проблеми герметизації будинку). Метою є утримання ПЧ у сплячому режимі як можна довше для того, щоб не допустити часте включення й вимикання двигуна й, у той же час підтримувати зміни в керованій системі в прийнятних межах.

Скалярне (модульне, частотне) керування. При цьому типі керування формуються гармонійні струми фаз двигуна, що означає підтримку постійного відношення максимального моменту двигуна до моменту опору на валу (перевантажувальної здатності двигуна). Тобто, при зміні частоти, амплітуда напруги змінюється таким чином, що відношення максимального моменту двигуна до поточного моменту навантаження залишається незмінним. При сталості перевантажувальної здатності номінальний коефіцієнт потужності й ККД двигуна на всьому діапазоні регулювання частоти обертання практично не змінюється. Скалярний метод дає можливість одночасного керування групою електродвигунів.

Старт на підхопленні – запуск двигуна, який обертається без живлення, після відновлення роботи джерела живлення.

Гальмовий резистор являє собою модуль, здатний розсіювати потужність гальмування, яка виділяється при рекуперативному гальмуванні. Регенерована потужність гальмування підвищує напруга проміжного кола, і гальмовий перемикач забезпечує передачу цієї потужності в гальмовий резистор (рисунки 16.2, 16.3.).

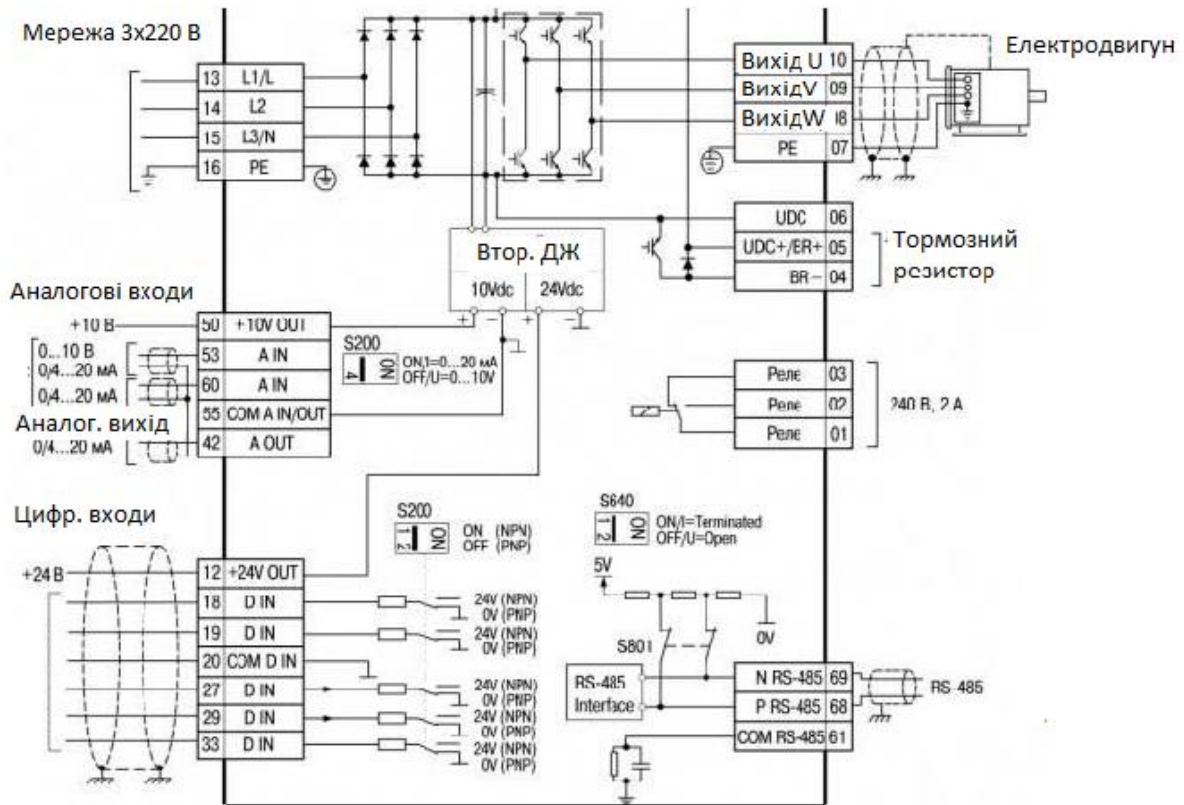


Рисунок 16.2 – Загальна структура перетворювача частоти

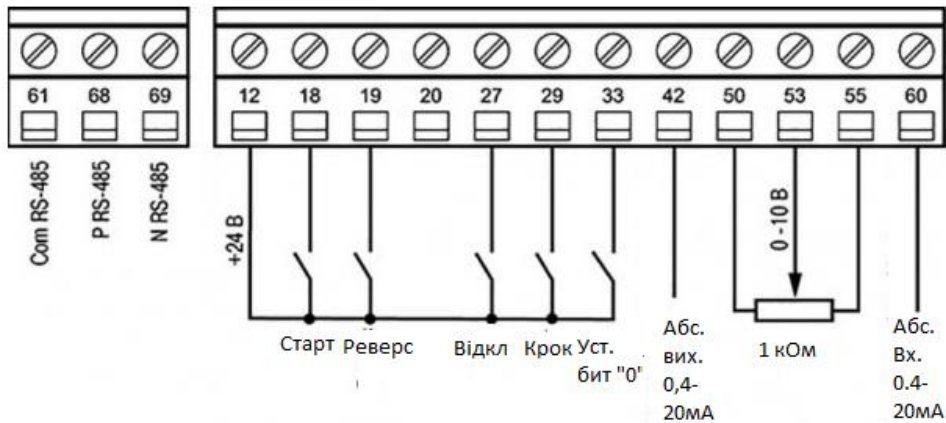


Рисунок 16.3 – Клеми керування у конфігураціях PNP та заводських налаштуваннях параметрів пристрою

16.2 Пристрої плавного пуску

Пристрої плавного пуску забезпечують м'який (бездарний) пуск та зупинку двигуна методом плавного нарощування/спаду напруги у заданий період (рисунок 16.4). Пристрої плавного пуску призначені для легкого и нормального режимів пуску та повинні використовуватись сумісно з пристроями захисту двигуна.

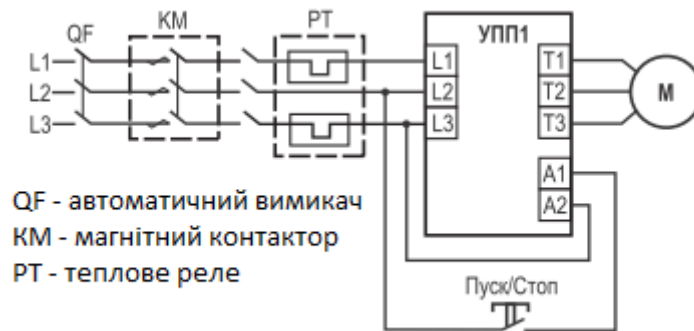


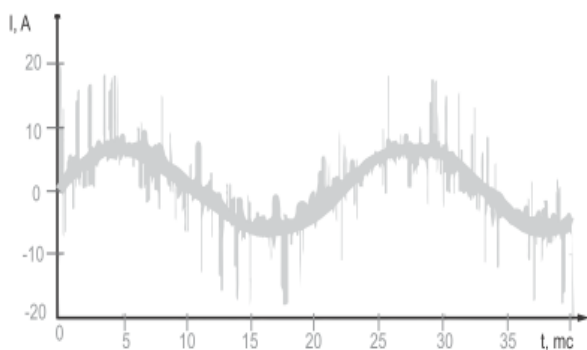
Рисунок 16.4 – Схема підключення пристрою повільного пуску

16.3 Моторні дроселі

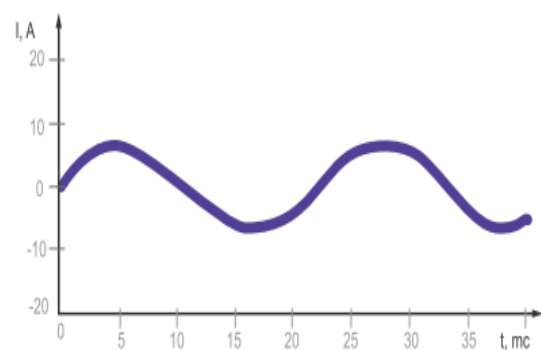
Моторні дроселі встановлюються після перетворювача частоти й призначені для підвищення якості вихідної напруги ПЧ і захисту його від імпульсів напруги й швидкоплинних коротких замикань на двигуни (рисунок 16.5).

Переваги використання:

- збільшення довжини моторного кабелю:
 - для екранованого кабелю з 15 до 100 м;
 - для неекранованого кабелю з 50 до 300 м.
- безаварійне підключення до ПЧ однофазного двигуна із струмосувним конденсатором;
- підвищення надійності й довговічності мотора;
- успішне зниження впливу електромагнітних перешкод;
- зменшення амплітуди перенапруг на клеммах двигуна;
- зниження рівня акустичного шуму двигуна.



Вихідний струм ПЧ без використання моторного дроселя

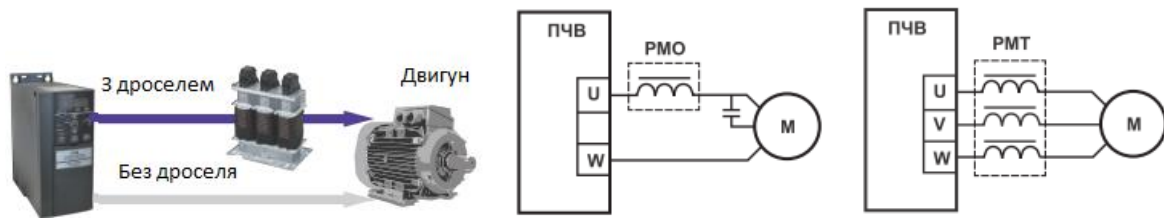


Вихідний струм ПЧ з використанням моторного дроселя

Рисунок 16.5 – Діаграми вихідного струму ПЧ

Моторні дроселі вибираються відповідно до номінальних вхідних і вихідних струмів відповідного ПЧ. Допускається підключення

однофазних двигунів з використанням однофазного моторного дроселю для з живленням 220 В (рисуюнок 16.6).



Рисуюнок 16.6 – Схема підключення моторних дроселів до ПЧ

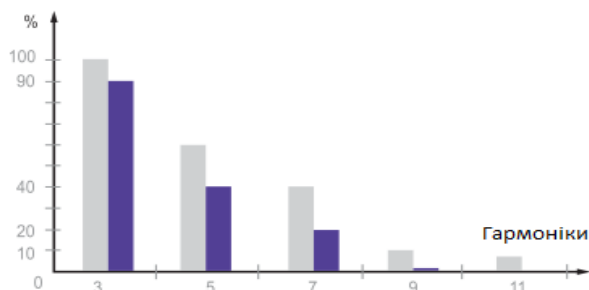
16.4 Мережні дроселі

Мережні дроселі (реактори) встановлюються в силових колах живлення перетворювачів частоти для зниження взаємного шкідливого впливу ПЧ і мережі.

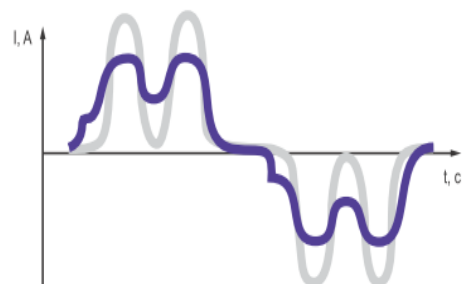
Переваги встановлення мережних дроселів:

- захист мережі від гармонік ПЧ;
- захист ПЧ від провалів і наведень із мережі;
- збільшення терміну служби ПЧ (захист конденсаторів у колах постійного струму);
- підвищення коефіцієнту потужності ПЧВ;
- зниження взаємного впливу кількох ПЧ при їхньому паралельнім живленні.

Мережні дроселі вибираються відповідно за номінальними вхідним і вихідним струмам відповідного ПЧ. Допускається підключення однофазних двигунів з використанням однофазного моторного дроселю для з живленням 220 В (рисунки 16.7-16.9).



Рисуюнок 16.7 – Зниження гармонік струму мережі при використанні мережного дроселю



Рисуюнок 16.8 – Використання мережного дроселю для захисту ПЧ від провалів у мережі

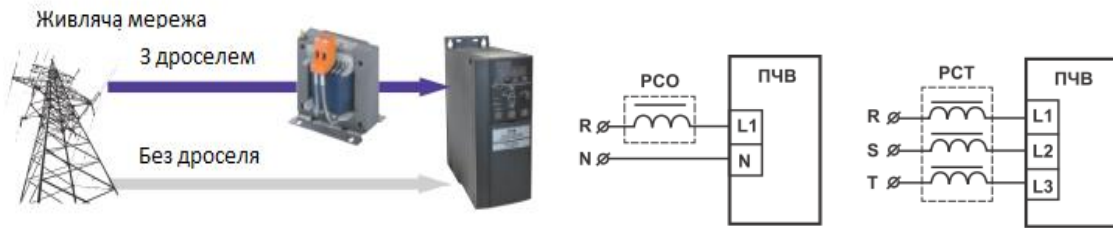


Рисунок 16.9-Схема підключення мережних дроселів до ПЧ

16.5. Гальмові (баластні) резистори

Перетворювачі частоти у діапазоні потужностей 1,5–22 кВт, мають вбудовані гальмові ключі для підключення гальмових резисторів, які є необхідною опцією ПЧ для роботи з підйомно-транспортними механізмами (крани, ліфти, похилі транспортери), високоінерційним устаткуванням (димососи, центрифуги, вентилятори, дробарки), а також деяким верстатним обладнанням (токарно-гвинторізни, свердлильні, шліфувальні верстати й ін.) (рисунок 16.10).

Переваги гальмових резисторів:

- компактний монтаж гальмового резистора в шафі керування, або поза ним;
- можливість роботи в тяжких умовах (збільшена потужність, яка виділяється при гальмуванні).

Дротові баластові резистори випускаються з керамічним корпусом і ступенем захисту IP00. Лінійка містить у собі два типи резисторів:

- 80 Ом, 1 кВт;
- 400 Ом, 200 Вт.

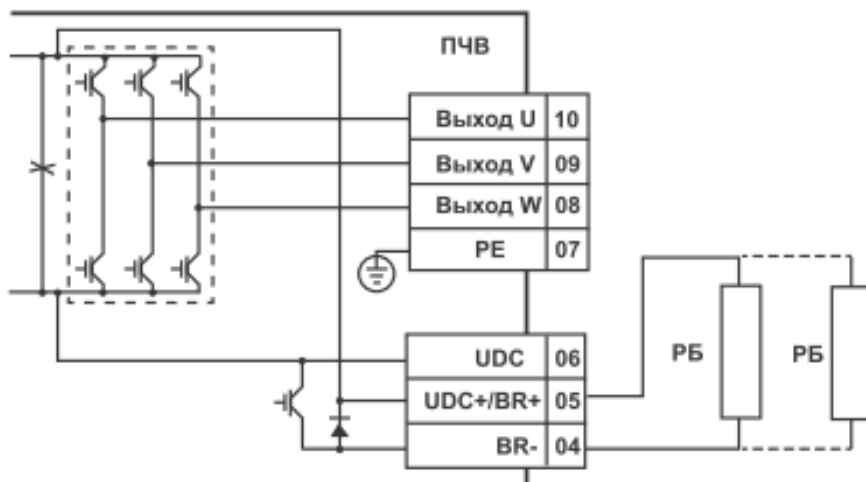


Рисунок 16.10 – Схема підключення гальмових резисторів до ПЧ

Для кожного номіналу потужності ПЧ може бути використано один резистор або група резисторів з паралельним включенням.

Промислові лінійки гальмових резисторів являють собою баластові резистори з алюмінієвим або керамічним корпусом і ступенем захисту IP54 або IP20. Лінійка містить у собі два типи резисторів на кожний номінал потужності ПЧ для тривалості включення (ПВ) 10 % і 40 %.

Контрольні запитання

1. Основні види привідної техніки.
2. Перетворювачі частоти, призначення та принципи дії.
3. Основні функції перетворювачів частоти.
4. Вбудовані промислові програмовані логічні контролери (ПЛК), призначення та функції.
5. Автоматична адаптація двигуна (ААД), призначення та функції.
6. Застосування режиму динамічного гальмування двигунів, призначення та реалізація.
7. Який принцип роботи системи контролю обриву привідного ременя вентилятора?
8. Призначення локальної панелі оператора (ЛПО).
9. Призначення та функції спецпристроїв автоматики (моторні дроселі, мережеві фільтри, гальмові резистори).
10. Пристрої плавного пуску електродвигунів, призначення і умови реалізації.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бовсуновський А. П. Стандартизація та сертифікація обладнання [Електронний ресурс]: конспект лекцій для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізації «Обладнання переробних і харчових виробництв» ден. та заоч. форм навч. – К.: НУХТ, 2017. – 110 с. - URL : <http://mssso.nuft.edu.ua/wp-content/uploads/2017.pdf>
2. Бородин И. Ф. Автоматизация технологических процессов / И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. - М.: Колос, 2004. - 344 с.
3. Воробйова О. М. Технічні засоби автоматизації : навч. посібник / О. М. Воробйова, Ю. В. Флейта. – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2018. – 208 с.
4. Діордієв В. Т. Автоматизація процесів виробництва комбікормів в умовах реформованих господарств АПК / В. Т. Діордієв. – Сімферополь: Доля, 2004. – 136 с.
5. Типовые элементы систем автоматического управления: Учебник для сред. проф. образования / В. Ю. Шишмарев. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 304 с.
6. Бородин И. Ф. Практикум по основам автоматики / И. Ф. Бородин, Н. И. Кирилин. - М.: Колос, 1974. – 255 с.
7. Мальгин Г. В. Электротехнические комплексы с дискретными элементами и методы их моделирования и исследования / Г. В. Малыгин // Вестник ЮГУ. - 2009. - №2 (13). – С. 50-63.
8. Мартиненко І. І. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК : підручник / І. І. Мартиненко [та ін.]. - К.: Навчальний посібник, 2008. – 303 с.
9. Баутина В. М. Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства : учебник / В. М. Баутина. - М.: Колос, 2000. – 536 с.
10. Автоматизовані системи керування технологічними процесами : підручник для вищих навч. закл. / І. О. Фурман [та ін.] ; заг. ред. І. О. Фурман. - Х. : Факт, 2006. - 317 с.: рис., табл.
11. Барало О. В. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: навчальний посібник / О. В. Барало [та ін.]. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
12. Дьяков В. И. Типовые расчеты по электрооборудованию / В. И. Дьяков. – М.: Высш. шк., 1991. – 160 с.
13. Фрайден Дж. Современные датчики: справочник / Дж. Фрайден. - М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
14. Елизаров И. А. Технические средства автоматизации. Программно-технические комплексы и контроллеры : учеб. пособие / И. А. Елизаров [и др.]. - М.: Машиностроение, 2004. – 180 с.

15. Шандров Б. В. Технические средства автоматизации: учебник для студ. высш.учеб. заведений / Б. В. Шандров, А. Д. Чудаков. - М.: Академия, 2007. – 368 с.
16. Бабин А. И. Автоматизация технологических процессов. Элементы и устройства пневмогидроавтоматики / А. И. Бабин, С. П. Санников. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. – 144 с.
17. Капустин Н. М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Н. М. Капустин, П. М. Кузнецов, А. Г. Схиртладзе, Н. П. Дьяконова. - М.: Высш. шк., 2004. – 415 с.
18. Валентас К. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов / К. Валентас, Э. Ротштейн, Р. П. Сингх. - СПб: Профессия, 2004. – 848 с.
19. Котюк А. Ф. Датчики в современных измерениях / А. Ф. Котюк. - М.: Радио и связь, 2006. – 96 с.
20. Виглеб Г. Датчики / Г. Виглеб. - М.: Мир, 1989. – 196 с.
21. Сучасні технології автоматизації [Електронний ресурс]. – URL : <http://www.cta.ru>
22. Обладнання для автоматизації [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.owen.ua>
23. Раут-Автоматика[Електронний ресурс]. – URL: www.raut-automatic.kiev.ua
24. СВ Альтера[Електронний ресурс]. – URL: www.svaltera.ua
25. ТОВ «Віром»[Електронний ресурс]. – URL: virom.com.ua
26. ТОВ «Мікрол»[Електронний ресурс]. – URL: www.microl.ua

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Control-level	19	Вимірювальні	
GSM/GPRS-модем	194	перетворювачі	32
HMI	19	Електромагніт	122
Input/Output	19	Електромагнітні муфти	130
MES	19	Зовнішні впливи	46
SCADA	19	Інформаційні електричні	
Агрегатування	13	машини	104
Архіватори	195	Керуючі елементи	
Баластний резистор	212	автоматики	159, 183
Бар'єр іскрового захисту	101	Крокові двигуни	145
Блоки живлення	198	Ознаки елементів	
Виконавчий елемент	113	автоматики	9
Гідравлічний	118	Сигнал	22
Пневматичний	119	Сигналів	79
Виконавчий пристрій	11	ТЗА	7
Вимірювальні перетворювачі	31	Крокові двигуни	142
Датчик	9	Біполярний	152
Активний	43	Гібридні	150
Пасивний	43	Змінний магнітний опір	146
Датчики	41	Лінійні	156
ERP	18	Обмотки	152
Електродвигун	11	Постійні магніти	149
Електромагніт	121	Уніполярний	153
Змінний струм	126	Лінія зв'язку	86
Поляризований	128	Двопровідна	88
Постійний струм	124	Трипровідна	87
Електромагнітна муфта		Чотирипровідна	86
Ковзання	131	Магнітний пускач	177
Феропорошкова	133	Мережний дросель	211
Фрикційна	136	Моторний дросель	210
Електромагнітне реле		Нормувальні перетворювачі	95
Змінний струм	169	Сигнали напруги	95
Поляризоване	173	Сигнали опору	97
Електромагнітні реле		Перетворювач інтерфейсів	189
Постійний струм	171	Перетворювач частоти	203
Інверсне включення	66	Підсилювач	10
Інтелектуальний датчик		Пристрій плавного пуску	209
Структура	70, 73,	Програмовані логічні	
75		контролери	158
Інтелектуальні датчики	69	Пряме включення	66
Керуючі елементи автоматики	158	Реле	10
Класифікація	16	Реле електромагнітне	165
Асинхронних двигунів	139	Реле напівпровідникові	181
Виконавчий елемент	117	Реле трансформаторне	187

Реле часу	179	Характеристика	
Розподільник	10	Вихідний імпеданс	55
Сельсин	106	Відтворюваність	54
Індикаторний режим	107	Гістерезис	52
Трансформаторний режим	110	Динамічна	40, 56
Сертифікація	23	Діапазон вимірювання	48
Сигнал	79	Діапазон вихідних значень	49
Аналоговий	80	Зона нечутливості	55
Дискретний	80	Калібрування	51
Квантований	81	Лінія зв'язку	89
Параметри	84	Надійність	63
Подія	83	Насичення	54
уніфікований	33	Нелінійність	53
Уніфікований	21	Оточуюче середовище	61
Цифровий	82	Передатна функція	46
Стабілізатор	10	Помилка калібрування	51
Сумісність	21	Роздільна здатність	55
Експлуатаційна	17	Сигнал збудження	56
Інформаційна	17	Спеціальні	55
Конструктивна	17	Статична	36
Метрологічна	17	Точність	49
Тахогенератор	104	Характеристики	
Типізація	13	датчиків	45
Уніфікація	13		

Навчальне видання

Діордієв Володимир Трифонович
Кашкар'єв Антон Олександрович
Дубініна Світлана Вікторівна
Новіков Геннадій Володимирович

ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Навчальний посібник

Підписано до друку 22.05.2020 р. Формат 60x86/16 Папір офсетний.
Друк цифровий. Гарнітура Times New Roman/
Умов. Друк. Арк. 12,79. Тираж 300 примірників. Замовлення № 3150.

Надруковано ФОП Однорог Т.В.
72313 м. Мелітополь, вул. Героїв Сталінграда, 3а, тел. 098) 293-96-51
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
Державного реєстру видавництв, виробників і розповсюджувачів видавничої
Продукції від 29.01.2013 р.серія ДК № 4477