

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

А.М.Ніколаєнко

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Рекомендовано

*Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»*

Запоріжжя
2013

УДК 658.52.011.56(075)
ББК 32.965я7
Н 634

А.М. Ніколаєнко , кандидат технічних наук, професор

*Рекомендовано до друку:
рішенням вченої ради Запорізької державної інженерної академії (протокол
№ 3 від 14.03. 2013р.)*

Рецензенти:

В.В. Ткачов, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерних систем Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет». (м. Дніпропетровськ);

В.І. Головки, доктор технічних наук, професор кафедри автоматизації виробничих процесів Національної металургійної академії України (м. Дніпропетровськ);

О.М. Рева, доктор технічних наук, професор кафедри автоматизації виробничих процесів Кіровоградського національного технічного університету.

Ніколаєнко А.М.

Н-634 Технічні засоби автоматизації: навчальний посібник/ Ніколаєнко А.М.; Запоріз. держ. інж. акад.- Запоріжжя: ЗДІА, 2013 – 322с.
ISBN 978-8462-92-4

У навчальному посібнику наведено загальні відомості про технічні засоби автоматизації, розглянуто основні види електричних перетворювачів інформації та приклади їх використання, релейні елементи й електричні апарати і схеми керування. Зроблено аналіз виконавчих пристроїв, наведено методики розрахунків та вибору регульовальних органів і виконавчих механізмів, а також з'єднання їх між собою. Розкрито принципи формування алгоритмів керування промисловими аналоговими та цифровими регуляторами, надано відомості про їх конструкцію, можливості й особливості роботи, а також інформацію про засоби оперативного керування та допоміжні пристрої. Наведено рекомендації, щодо вибору технічних засобів автоматизації, і на прикладах принципів електричних схем показано варіанти їх використання в локальних системах автоматизації.

Навчальний посібник призначений для студентів, які навчаються за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», а також може бути корисний інженерно-технічним працівникам і розробникам АСУ ТП.

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Гриф № 1/11-13166 від 19.08. 2013р.

ISBN 978-8462-92-4

УДК 658.52.011.56(075)
ББК 32.965я7
Н 634
Ніколаєнко А.М., 2013

Зміст

ПЕРЕДМОВА	6
1 Загальні відомості про технічні засоби автоматизації	9
1.1 Основні етапи упорядкування засобів контролю та управління	9
1.2 Уніфіковані сигнали	12
1.3 Функціонально-ієрархічна структура технічних засобів автоматизації.....	14
1.4 Основні поняття та визначення	16
<i>Контрольні запитання до розділу 1</i>	19
2 Електричні перетворювачі інформації	20
2.1 Резистивні перетворювачі.....	20
2.1.1 Приклади використання резистивних перетворювачів в технічних засобах автоматизації.....	26
2.2 П'єзоелектричні перетворювачі.....	28
2.2.1 Приклади використання п'єзоелектричних перетворювачів в технічних засобах автоматизації.....	31
2.3 Електростатичні перетворювачі.....	33
2.3.1 Приклади використання електростатичних перетворювачів в технічних засобах автоматизації.....	37
2.4 Електромагнітні перетворювачі.....	41
2.4.1 Приклади використання електромагнітних перетворювачів в технічних засобах автоматизації.....	45
2.5 Електрохімічні перетворювачі.....	48
2.5.1 Приклади використання електрохімічних перетворювачів в технічних засобах автоматизації.....	54
2.6 Структурна організація перетворювачів інформації.....	57
<i>Контрольні запитання до розділу 2</i>	61
3 Реле та перемикальні пристрої в системах автоматизації	63
3.1 Релейні елементи систем автоматизації.....	63
3.1.1 Електромеханічні реле.....	65
3.1.1.1 Електромагнітні реле постійного струму.....	65
3.1.1.2 Електромагнітні реле змінного струму.....	71
3.1.1.3 Реле часу.....	75
3.1.1.4 Будова та дії контактної системи.....	77
3.1.2 Електронні твердотілі реле.....	80
3.2 Електричні апарати керування.....	82
3.2.1 Апарати керування приймачами електроенергії.....	82
3.2.2 Апарати розподілу енергії.....	89
3.2.3 Релейно-контактні схеми систем промислової автоматизації.....	92
3.2.3.1 Загальні принципи побудови релейних схем.....	95
<i>Контрольні запитання до розділу 3</i>	99
4 Виконавчі пристрої	102
4.1 Дросельні регулювальні органи.....	102

4.1.1	Типи регулювальних органів.....	105
4.1.2	Вибір форми пропускнуої характеристики.....	121
4.1.3	Розрахунок та вибір регулювальних органів.....	124
4.2	Виконавчі механізми.....	133
4.2.1	Електричні виконавчі механізми.....	133
4.2.1.1	Електричні виконавчі механізми сталої швидкості.....	135
4.2.1.2	Динамічні властивості виконавчих механізмів сталої швидкості.....	140
4.2.1.3	Позиційні виконавчі механізми	142
4.2.2	Пневматичні виконавчі механізми.....	146
4.2.2.1	Електропневматичні перетворювачі	151
4.2.3	Зчленування виконавчих механізмів і регулювальних органів.....	153
4.2.3.1	Розрахунок з'єднання виконавчого механізму з регулювальним органом.....	154
4.3	Пускальні пристрої.....	159
4.3.1	Підсилювачі тиристорні трипозиційні серії ФЦ.....	162
4.3.2	Реверсивні пристрої плавного пуску, гальмування і захисту серії БиСТАРТ-Р.....	164
	<i>Контрольні запитання до розділу 4.....</i>	168
5	Засоби автоматичного регулювання.....	171
5.1.	Типові закони регулювання.....	172
5.2	Принципи формування алгоритмів керування промисловими аналоговими регуляторами.....	177
5.2.1	Пропорційні регулятори.....	178
5.2.2	Пропорційно-інтегральні регулятори.....	179
5.2.3	Пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори.....	182
5.2.4	Імпульсні регулятори з виконавчими механізмами сталої швидкості.....	184
5.2.5	Позиційні регулятори.....	190
5.3	Промислові регулятори комплексу технічних засобів «Каскад2».....	193
5.4	Цифрові регулятори.....	202
5.4.1	Особливості роботи мікропроцесорних ПД-регуляторів.....	203
5.4.1.1	Похибка диференціювання і шум.....	203
5.4.1.2	Обмеження і насичення.....	205
5.4.1.3	Безударне перемикання режимів регулювання.....	207
5.4.1.4	Дискретна форма регулятора.....	207
5.4.2	Будова мікропроцесорного ПД-регулятора.....	211
5.4.2.1	Пристрій вводу інформації.....	212
5.4.2.2	Пристрій керування	215
5.4.2.3	Пристрій формування вихідних сигналів.....	222
5.4.2.4	Пристрій індикації і клавіатури та інтерфейс сполучення.....	224
5.4.3	Промислові цифрові регулятори.....	226

5.4.3.1 Мікропроцесорний регулятор МТР-8.....	226
5.4.3.2 Вимірювач-регулятор ИРТ 5501/М1.....	232
5.4.3.3 Вимірювач-регулятор ТРМ251.....	237
5.4.3.4 Регулятор температури РТ1-03.....	244
5.4.3.5 Регулятори-вимірювачі МЕТАКОН – 514/524/534.....	249
5.4.3.6 Приладовий регулятор Диск 250М.....	253
5.4.3.7 Методи настроювання ПДД –регуляторів.....	257
<i>Контрольні запитання до розділу 5.....</i>	<i>259</i>
6 Засоби оперативного керування та допоміжні пристрої	262
6.1 Задавальні пристрої	262
6.2 Дистанційні показчики.....	265
6.3 Блоки ручного керування.....	267
6.4 Блоки мережних фільтрів.....	274
6.5 Блоки живлення.....	277
6.6 Нормувальні перетворювачі	281
6.7 Пристрої технологічної сигналізації.....	285
6.8 Симисторні блоки комутації.....	290
<i>Контрольні запитання до розділу 6.....</i>	<i>292</i>
7 Використання технічних засобів в системах автоматичного регулювання.....	294
7.1 Рекомендації, щодо вибору технічних засобів автоматизації.....	294
7.2 ПДД-регулювання з електропривідною арматурою.....	296
7.3 ПДД-регулювання з електропривідною арматурою.....	298
7.4 ПДД-регулювання з електронагрівачем.....	301
7.5 ПДД-регулювання з електропневмопривідною арматурою.....	303
7.6 Надійність засобів автоматизації.....	305
<i>Контрольні запитання до розділу 7.....</i>	<i>308</i>
Додатки.....	309
1. Лабораторний практикум.....	309
2. Практичні заняття.....	310
3. Курсовий проект.....	310
Бібліографічний список.....	311
Словник термінів і скорочень.....	316

ПЕРЕДМОВА

Постійний розвиток науки і техніки та інтенсивне впровадження науково-технічних досягнень у виробництво забезпечують безперервне поповнення арсеналу технічних засобів автоматизації, та витіснення застарілих елементів новими, сучаснішими пристроями. За останні роки ринок технічних засобів автоматизації (ТЗА) суттєво змінився, пропонуються передові розробки світових лідерів, вітчизняними підприємствами «Мікрол», «Констар», «Мікротерм» «ТЕРА» та ін. випускається багато засобів, на базі яких можна створювати автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП) будь-якої складності або використовувати їх разом з приладами закордонного виробництва у нових проектах. Це дозволяє спеціалістам сконцентрувати зусилля не на пошуку потрібних засобів автоматизації, а на розробці більш ефективних алгоритмів керування, які забезпечують підвищену надійність та потрібну якість в роботі систем автоматизації. Нажаль існуюча інформація про сучасні засоби автоматизації вітчизняних і закордонних фірм має розрізнений характер і в основному надана в спеціалізованих журналах, глобальній мережі Internet, на сайтах фірм-виробників та на спеціалізованих інформаційних порталах. У зв'язку з цим виникла необхідність оновлення навчальної літератури з технічних засобів автоматизації і створення посібника, який би враховував сучасний стан ТЗА.

В навчальному плані, за яким здійснюється підготовка інженерів зі спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами» в Запорізькій державній інженерній академії, є декілька дисциплін, вміст яких спрямований на вивчення студентами технічних та програмних засобів автоматизації і отримання практичних навичок у роботі з ними. Це «Метрологія. Теплотехнічні вимірювання і прилади», «Технічні засоби автоматизації», «Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації», «Програмування систем реального часу», «Програмно-технічні комплекси систем автоматизації».

Автором цієї роботи вже опубліковано два навчальних посібника на підтримку дисциплін «Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації» і «Програмування систем реального часу», в яких розглядаються тенденції розвитку програмованих логічних контролерів (ПЛК), будова і організація їх роботи, можливості та основні технічні характеристики, на підставі яких здійснюється вибір контролерів, в адаптованій формі надається технічна інформація про найбільш поширені ПЛК всесвітньовідомих і вітчизняних виробників, викладаються мови програмування та методики створення програмних додатків користувача за допомогою інструментальних пакетів програмування [1,2]. Наразі пропонується навчальний посібник «Технічні засоби автоматизації», в якому систематизовано та адаптовано до рівня навчальної літератури матеріал, який охоплює найбільш різноманітну групу пристроїв, що забезпечують функціонування систем регулювання та управління локального рівня.

У навчальному посібнику наведено загальні відомості про технічні засоби автоматизації, розглянуто принцип дії та будову найбільш поширених електричних перетворювачів інформації, елементів релейно-контактного керування, комутаційних пристроїв і схем релейної автоматики, регулювальних органів, виконавчих механізмів і пускальних пристроїв. Наведено методики розрахунків та вибору регулювальних органів і зчленування їх з виконавчими механізмами. Розкрито теоретичні основи побудови промислових аналогових і цифрових регуляторів, надано відомості про їх конструкцію, можливості й особливості роботи, а також інформацію про засоби оперативного керування та допоміжні пристрої систем автоматизації. Приведено рекомендації, щодо вибору технічних засобів, на принципових електричних схемах показано варіанти створення систем автоматичного регулювання.

Для перевірки знань наприкінці кожного розділу надаються контрольні запитання.

В навчальному посібнику надруковано перелік лабораторних робіт, що виконуються протягом лабораторного практикуму, перелік тем, що опрацьовуються на практичних заняттях і зміст курсового проекту.

Навчальний посібник складається з 7 розділів, має 322 сторінок і 236 рисунків.

«Технічні засоби автоматизації» – є нормативною дисципліною навчального плану спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами», яка має 8 кредитів ECTS загальним обсягом навантаження 288 годин і викладається на третьому курсі у двох напівсеместрах. При вивченні ТЗА використовуються знання, що отримані студентами протягом засвоєння матеріалу дисциплін «Електротехніка і електромеханіка», «Електроніка та мікропроцесорна техніка», «Метрологія. Теплотехнічні вимірювання та прилади», «Теорія автоматичного регулювання».

Мета дисципліни – навчити студентів орієнтуватися у технічних засобах автоматизації, що пропонуються виробниками; усвідомлено вибирати і приєднувати їх при створенні систем автоматичного регулювання та управління; здійснювати розрахунки та вибір регулювальних органів і виконавчих механізмів, правильно з'єднувати їх між собою; налаштовувати аналогові та цифрові регулятори і досліджувати їх характеристики; створювати принципові електричні схеми, працювати з системами автоматичного регулювання і налагоджувати їх роботу.

Завдання дисципліни – ознайомити студентів з етапами розвитку, упорядкування та уніфікації технічних засобів автоматизації; будовою, схемами та особливостями роботи найбільш поширених електричних перетворювачів інформації, релейних елементів та електричних апаратів керування, регулювальних органів, виконавчих механізмів і пускачів, аналогових та цифрових регуляторів, пристроїв оперативного керування і допоміжних засобів автоматизації; дати методики розрахунків та вибору регулювальних органів і виконавчих механізмів, з'єднання їх між собою, а також методику налаштування і роботи з аналоговими та цифровими

регуляторами; навести рекомендації, щодо вибору технічних засобів автоматизації, та показати варіанти принципів електричних схем різних систем автоматичного регулювання.

Після вивчення дисципліни студенти мають:

– **знати** будову, схеми та особливостями роботи найбільш поширених електричних перетворювачів інформації, релейних елементів та електричних апаратів керування, регулювальних органів і виконавчих механізмів, аналогових та цифрових регуляторів, пристроїв оперативного керування і допоміжних засобів автоматизації; методики розрахунків та вибору регулювальних органів і виконавчих механізмів, з'єднання їх між собою, налаштування і роботи з аналоговими та цифровими регуляторами; варіанти використання технічних засобів автоматизації та створення систем автоматичного регулювання

– **вміти** орієнтуватися на ринку технічних засобів автоматизації; вибрати необхідні прилади та пристрої і приєднувати їх при створенні систем автоматичного регулювання й управління, розробляти їх принципові електричні схеми; виконувати розрахунки та вибір регулювальних органів і виконавчих механізмів, а також з'єднання їх між собою; налаштувати і працювати з аналоговими та цифровими регуляторами, системами автоматичного регулювання, розуміти схеми промислової електроавтоматики.

Знання та навички, що отримані студентами протягом вивчення «Технічних засобів автоматизації» використовуються при викладанні дисциплін «Проектування систем автоматизації», «Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації», «Монтаж, налагодження і надійність систем автоматизації», «Автоматизація технологічних процесів», «Програмно-технічні комплекси систем автоматизації» та ін., а також при підготовці дипломних проектів і у подальшій професійній роботі.

Автор вдячний рецензентам за корисні поради та пропозиції, що були надані для покращення вмісту посібника.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Основні етапи упорядкування засобів контролю та управління

Широкий розвиток багатогалузевого господарства та необхідність автоматичного контролю й управління технологічними процесами обумовили в середині ХХ-століття розробку і випуск великої кількості технічних засобів автоматизації. У зв'язку з цим наприкінці 50-х років у країні розпочалися роботи з упорядкування та уніфікації засобів контролю й управління, які стали методологічною основою розробки Державної системи промислових приладів і засобів автоматизації (ДСП).

В основу створення ДСП були покладені системотехнічні принципи створення універсальних технічних засобів автоматизації, такі як:

- поділ приладів і засобів автоматизації за функціональним принципом на основні типи;
- мінімізація номенклатури з урахуванням повного задоволення потреб промисловості шляхом створення параметричних рядів, уніфікованих систем і агрегованих комплексів приладів та засобів автоматизації;
- агрегована побудова складних пристроїв на базі типових уніфікованих елементів, блоків і модулів;
- сумісність приладів і засобів автоматизації ДСП у роботі автоматичних систем контролю та управління.

Розробка методологічних основ Державної системи промислових приладів і засобів автоматизації у 50-х роках була першим етапом її створення. Початок реалізації ДСП збігся з розвитком і практичним використанням агрегатної уніфікованої системи (АУС), побудованої з блоків та модулів пневмоавтоматики. Подальше вдосконалення пневмоавтоматики пов'язане з розробкою малогабаритної агрегатної уніфікованої системи (МАУС), яка набула широкого застосування під час автоматизації хімічної, нафтохімічної та харчової промисловостей.

На початку 60-х років створюється універсальна система елементів промислової пневмоавтоматики (УСЕППА), яка забезпечила будівництво практично усіх видів засобів автоматизації з обмеженої кількості малогабаритних універсальних пневмоелементів модульного типу зі стандартним пневматичним сигналом $20 \div 100$ кПа.

Блоково-модульний принцип було використано також при створенні електричної агрегатної уніфікованої системи (ЕАУС), яка стала комплексом уніфікованих регулювальних і функціональних засобів зі стандартним електричним сигналом $0 \div 5$ мА.

Були створені перші ряди уніфікованих первинних перетворювачів із силовою компенсацією і стандартними пневматичними та електричними сигналами, які дозволили розпочати серійний випуск засобів автоматизації і на їхній базі перейти до розв'язання завдань комплексної автоматизації основних

галузей господарства країни. Цей період розвитку і впровадження систем автоматизації пов'язаний з другим етапом розвитку ДСП.

Третій етап розвитку ДСП відноситься до початку 70-х років і збігається з широким розвитком автоматизованих систем управління технологічними процесами, впровадження яких було обумовлене появою нових завдань і підходів до автоматизації виробництва. Прискореними темпами розвивалося виробництво керуючих обчислювальних машин і комплексів пристроїв зв'язку з об'єктами та засобів централізованої обробки вимірювальної інформації.

Одночасно зі створенням нових комплексів технічних засобів були розроблені державні та галузеві стандарти, які закріплювали принципи уніфікації і умови поєднання засобів, що розроблялися і виготовлялися, а також гарантували і визначали функціональну, інформаційну, конструктивну, енергетичну і метрологічну сумісність засобів ДСП в системах автоматизації.

З появою мікропроцесорів наприкінці 70-х – початку 80-х років відбулися революційні зміни у галузі комп'ютерної техніки та технологіях розвитку засобів промислової автоматизації. З'явилися інтелектуальні датчики, цифрові регулятори, програмовані логічні контролери (ПЛК), засоби відображення інформації, операторські панелі та ін. Мікропроцесорні системи автоматизації прийшли на зміну автоматизованим системам управління технологічними процесами, які будувалися на базі потужних (для тих часів) промислових ЕОМ. Це сприяло бурхливому розвитку багатопроцесорних і багатомашинних керуючих комплексів, які базувалися на нових принципах розподіленого керування. Згідно з цією технологією задачі оперативного управління, збору даних і безпосереднього цифрового управління поділяються між декількома контролерами і регуляторами, що суттєво підвищує роботоздатність та надійність систем автоматизації[3].

На ринку технічних засобів автоматизації з'явилась велика кількість мікропроцесорних приладів і пристроїв вітчизняних та закордонних виробників. Це спонукало до узгодження вимог, що пред'являла Державна система промислових приладів і засобів автоматизації, з вимогами міжнародних стандартів на сучасну техніку.

На теперішній час технічні засоби автоматизації — це сукупність уніфікованих та нормалізованих блоків, приладів і засобів для одержання, опрацювання та використання інформації, які відповідають міжнародним технічним і метрологічним вимогам і мають уніфіковані параметри вхідних і вихідних сигналів, нормалізовані габарити, приєднуючі розміри, а також економічно обґрунтовану точність, надійність, довговічність та естетичність.

Зазвичай усі промислові прилади та засоби автоматизації групуються за п'ятьма ознаками – за виконуваними функціями, за видом енергоносія сигналу, за метрологічними властивостями, за стійкістю до механічних впливів і за ступенем захищеності від зовнішнього середовища. Проте найважливіше значення для розуміння всієї сукупності засобів автоматизації мають дві перші групи.

За виконуваними функціями виробу автоматизації поділяються на чотири основні групи. До першої групи відносяться датчики, вимірювальні прилади та виробу, які разом з нормувальними перетворювачами, утворюють групу засобів для одержання інформації. Засоби цієї групи призначені для перетворення вимірюваної величини (параметра) на зручний для сприйняття, передачі й опрацювання сигнал вимірювальної інформації. За принципом дії виробу цієї групи можуть бути різними. Характерною особливістю їх є те, що вони встановлюються безпосередньо на об'єкті і взаємодіють з контрольованим середовищем.

До другої групи відносяться різні перетворювачі сигналів і кодів, комутатори сигналів, шифратори і дешифратори, системи дистанційної передачі сигналів вимірювальної інформації та ін.

До третьої групи належать технічні засоби для опрацювання та відображення вимірювальної інформації і формування керувальних діянь, рішень, порад – аналізатори сигналів, логічні пристрої, операційні перетворювачі, засоби вимірювання, обчислювальні машини, запам'ятовуючі пристрої та ін. У функціональному відношенні ці засоби найскладніші, оскільки вони реалізують алгоритми автоматичного регулювання та управління від найпростіших задач стабілізації окремих параметрів до автоматизації підприємств.

Четверту групу становлять виробу електричних пневматичних та гідравлічних виконавчих механізмів, підсилювачі потужності тощо. Виробу цієї групи взаємодіють з об'єктом через регульовальні органи.

За видом енергоносія сигналу виробу автоматизації класифікуються як електричні, пневматичні, гідравлічні, комбіновані та пристрої, що працюють без використання зовнішньої енергії.

Електричні — це прилади і засоби автоматизації, в яких для живлення використовується зовнішня електрична енергія, а енергетичним носієм інформації є електричний сигнал. Електричні виробу поділяються на аналогові та дискретні з відповідними стандартними уніфікованими сигналами. Найширшого використання набули електричні засоби автоматизації зі струмовими сигналами $0 \div 5$ мА та $4 \div 20$ мА, а за напругою $0 \div 10$ В.

Пневматичні — це прилади і засоби автоматизації, в яких для живлення використовується стиснуте повітря 140 кПа, а енергетичним носієм інформації є стандартний пневматичний сигнал $20 \div 100$ кПа.

Засоби пневмоавтоматики і вторинні прилади широко використовуються у хімічній, нафтопереробній, газовій, харчовій та інших галузях промисловості.

Гідравлічні — це прилади і засоби автоматизації, у яких джерелом зовнішньої енергії є стиснута рідина, а носієм інформації — гідравлічні сигнали. Робоча рідина (турбінне і трансформаторне мастило та вода), що є енергоносієм, перебуває під тиском від 0,16 до 6,4 МПа. Гідравлічні засоби забезпечують точні переміщення виконавчих механізмів при великих зусиллях. Ця гілка засобів менше поширена у промисловості.

Комбіновані — це прилади і засоби автоматизації попередніх гілок, які об'єднані за допомогою перетворювачів. На їх базі розроблені системи автоматизації з урахуванням конкретних умов роботи та виробництва – висока вологість, вибухо- та пожежонебезпечність, інерційність та ін. Найчастіше використовуються пневматичні датчики з електричними приборами, які працюють за допомогою пневмоелектричних та електропневматичних перетворювачів.

Гілка приладів і засобів автоматизації, які працюють без стороннього джерела енергії, об'єднує пристрої, що використовують для своєї роботи енергію середовища, параметри якого вимірюються та регулюються. В першу чергу до неї відносяться регулятори прямої дії, які встановлюються безпосередньо на об'єктах автоматизації для підтримки на заданому рівні значення температури, тиску, рівня та ін.

1.2 Уніфіковані сигнали

Обмін інформацією між різними технічними засобами автоматизації забезпечують сигнали сполучення та інтерфейси. Сигнали сполучення здійснюють дистанційну передачу вимірювальної та командної інформації від джерела інформації до її одержувача. Інтерфейс забезпечує передавання інформації в обох напрямках і використовується для сполучення технічних засобів, що створені на базі мікропроцесорів і працюють з кодованим сигналом.

Сигнали-носії інформації у технічних засобах автоматизації можуть розрізнятися поміж собою, як за фізичною природою та параметрами, так і за формою зображення інформації. При виробництві технічних засобів використовуються такі типи сигналів-носіїв інформації:

- електричний сигнал (напруга, сила або частота електричного струму);
- пневматичний сигнал (тиск повітря);
- гідравлічний сигнал (тиск або перепад тиску рідини).

Найбільш розповсюдженою гілкою технічних засобів автоматизації є електрична. Це обумовлюється тим, що для живлення електричних систем на кожному підприємстві є джерела електричної енергії, підключення до яких не викликає труднощів, передача електричних сигналів не регламентується відстанню, вартість електричних ТЗА менша за вартість пневматичних та гідравлічних. Використання електричних засобів в системах управління дозволяє значно підвищити якість управління, збільшити швидкість і точність протікання процесів і підвищити техніко-економічні показники використання апаратури.

За формою зображення інформації електричний сигнал може бути аналоговим, імпульсним та кодованим.

Аналоговий сигнал характеризується поточною зміною певного фізичного параметра-носія, наприклад напруги, струму, частоти та ін. Такий сигнал існує у кожний момент і може приймати будь-яке значення у межах заданого діапазону параметра, що змінюється за часом.

Сигнал постійного струму використовується частіше. При цьому струмовий сигнал використовується для передавання інформації у відносно довгих лініях зв'язку.

Сигнали змінного струму рідко використовуються для перетворення та передавання інформації у зовнішніх колах сполучення. Пов'язане це з тим, що при додаванні або відніманні сигналів змінного струму необхідно дотримуватися їх синфазності та забезпечити заглушення нелінійних спотворень гармонік струму. У той же час при використанні цього сигналу легше реалізувати гальванічне розділення електричних кіл.

Електричний частотний сигнал є найбільш перешкодостійким. Проте одержання та здійснення лінійних перетворювань цього сигналу має певні труднощі. Тому частотний сигнал також не отримав широкого розповсюдження.

Імпульсний сигнал надає інформацію тільки у дискретні моменти часу, тобто характеризується квантуванням. При цьому інформація зображається у вигляді змін фізичного параметра-носія або тривалістю імпульсу, паузи чи періоду повторення імпульсів при незмінних значеннях параметра-носія.

Кодований сигнал – це складна послідовність імпульсів, що використовуються для передачі цифрової інформації, при цьому сигнал є дискретним за часом і рівнем.

Усі параметри і характеристики сигналів інформації – уніфіковані, рис.1.1.

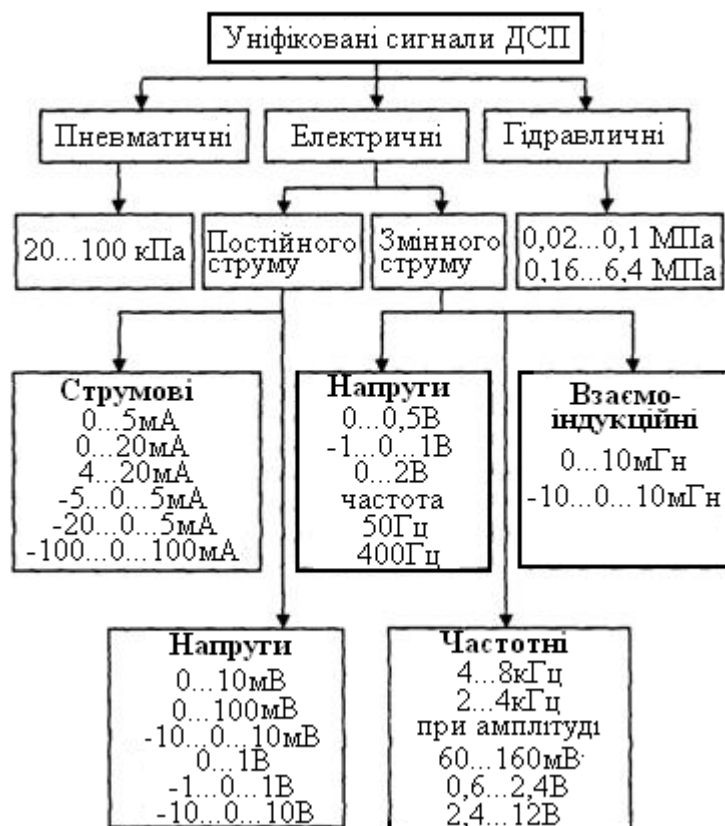


Рисунок 1.1– Класифікація уніфікованих інформаційних сигналів ДСП

Уніфікація сигналів вимірювальної інформації забезпечує гарантований зв'язок між засобами контролю та керування, передачу і обмін інформацією, а також дистанційний зв'язок між пристроями автоматики.

Серед носіїв інформації найбільшого поширення набули електричні уніфіковані сигнали постійного струму ($0 \div 5$ мА; $4 \div 20$ мА) і напруги ($0 \div 10$ мВ; $0 \div 100$ мВ; $0 \div 10$ В) та пневматичний ($20 \div 100$ кПа) сигнал. Вони використовуються як для передачі інформації від первинних перетворювачів до засобів контролю і керування, а від них до виконавчих механізмів, так і для обміну інформацією між окремими функціонально пов'язаними пристроями систем керування.

Меншою мірою використовуються уніфіковані інформаційні сигнали змінної напруги та частотні. Частотні сигнали в основному застосовуються у телемеханічних системах та спеціалізованих технічних комплексах[3,5].

1.3 Функціонально-ієрархічна структура технічних засобів автоматизації

Для розробників та обслуговуючого персоналу розподілених автоматизованих систем управління технологічними процесами більш зручною є структурна схема технічних засобів автоматизації ієрархічного типу, яка побудована за функціонально-цільовим призначенням, рис.1.2.

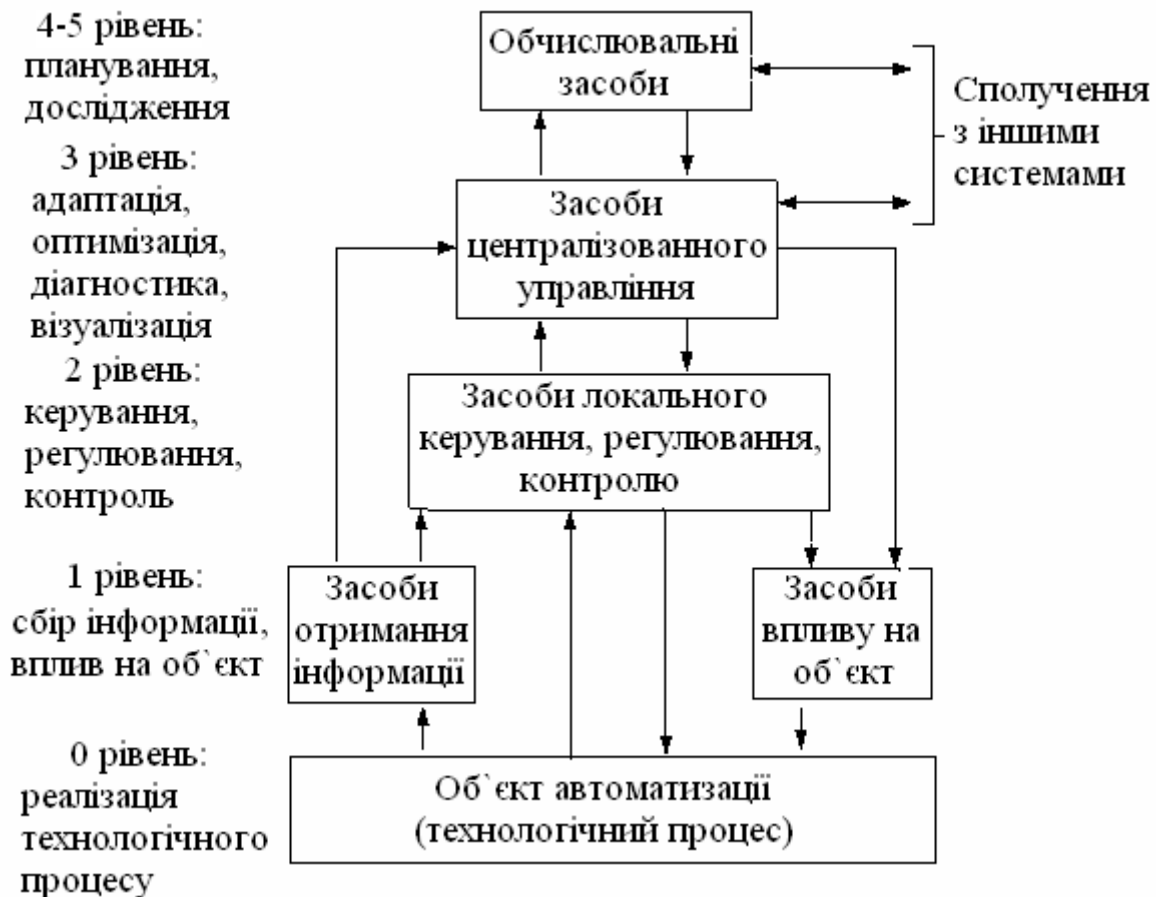


Рисунок 1.2 – Ієрархія технічних засобів автоматизації

Відповідно до наведеної схеми технічні засоби автоматизації, що забезпечують функціонування першого рівня безпосередньо пов'язані з об'єктом автоматизації і здійснюють перетворення контрольованих параметрів в інформаційний сигнал (датчики) або вплив керувального сигналу на хід технологічного процесу.

На другому рівні розташовані засоби контролю та керування, які застосовуються у локальних системах. До цієї групи відносяться вторинні прилади та регулятори, які здійснюють показ, реєстрацію та просте регулювання, а також технічні засоби автоматизації, що утворюють складні системи локального типу. Вони відрізняються збільшенням каналів вимірювання та регулювання, а також якісними змінами функціональних завдань. Ці засоби забезпечують складні динамічні закони регулювання, програмну зміну уставок за часом, дистанційну зміну уставок за командами оператора з центрального диспетчерського пункту або за командами керувальної ЕОМ.

Технічні засоби автоматизації третього рівня призначені для здійснення централізованого контролю, регулювання та керування, а також побудови ієрархічних АСУТП. Основна відміна засобів цього рівня – телемеханічне передавання та цифрова обробка інформації на основі мікропроцесорних та програмних засобів автоматизації. ТЗА цього рівня забезпечують автоматичну реєстрацію ходу технологічного процесу, швидкий пошук і контроль стану низових підсистем АСУТП з показом місця та відхилення параметрів технологічного процесу, визначення необхідних значень регульованих параметрів і керування уставками регуляторів.

Для оптимального управління складними виробництвами (4-5 рівень), широко використовуються засоби обчислювальної техніки – офісні персональні комп'ютери і робочі станції, які розташовуються в службах головних фахівців підприємства. Для цих засобів характерні відсутність безпосереднього інформаційного зв'язку з датчиками та виконавчими пристроями, велика продуктивність ЕОМ і наявність сполучення із зовнішніми системами.

У світовій практиці фахівці з комплексної автоматизації виробництва показують також п'ять рівнів управління сучасним підприємством, рис.1.3.

На рівні ERP – Enterprise Resource Planning (планування ресурсів підприємства) здійснюється розрахунок і аналіз фінансово-економічних показників, розв'язуються поточні та стратегічні адміністративні задачі.

На рівні MES – Manufacturing Execution Systems (системи керування виробництвом) – розв'язуються задачі управління якістю продукції, планування і контролю за послідовністю операцій технологічного процесу, управління виробничими і людськими ресурсами у межах технологічного процесу, технічного обслуговування виробничого устаткування.

Ці два рівні відносяться до завдань автоматизованих систем управління підприємством (АСУП). На наступних трьох рівнях розв'язуються завдання, які відносяться до класу АСУ ТП.

SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition (система збору даних і супервізорного (диспетчерського) управління) – це рівень тактичного оперативного управління, на якому розв’язуються задачі оптимізації, діагностики, адаптації і т. ін.

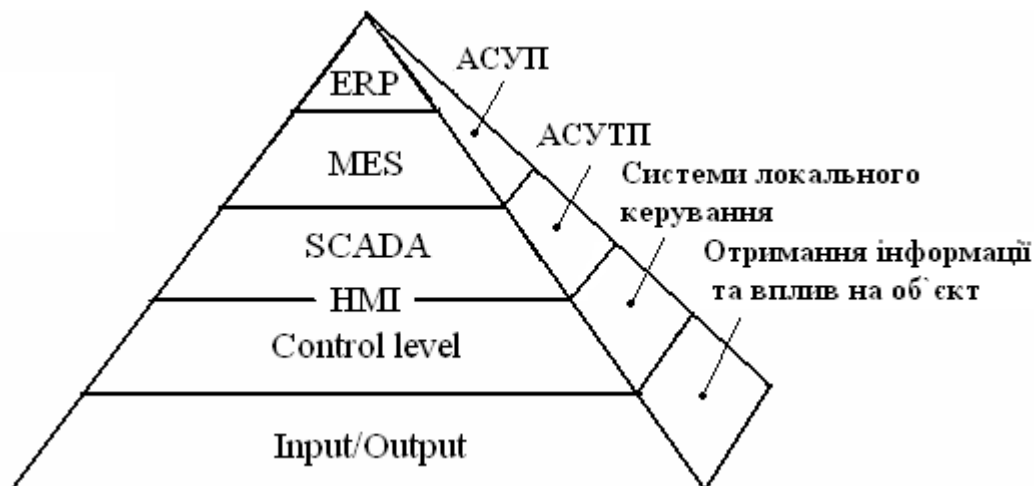


Рисунок 1.3 – Піраміда управління сучасним виробництвом

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

Control-level - рівень безпосереднього (локального) контролю та управління ходом технологічного процесу.

Input/Output – рівень отримання інформації про стан технологічних параметрів і впливу на хід виробничого процесу[3,4].

Не даремно структура системи управління виробництвом зображається у вигляді піраміди. Базою створення будь-якої SCADA, MES, ERP або іншої складної системи автоматизації залишаються перший та другий рівень наведеної ієрархії. Тільки наявність інформації про хід технологічного процесу та системи автоматичного регулювання й управління, що працюють на локальному рівні і впливають на стан об'єкта автоматизації, надають можливість для створення і функціонування систем верхніх рівнів наведеної піраміди. Тому засобам автоматизації цих рівнів завжди приділялась особлива увага.

1.4 Основні поняття та визначення

Будь-який технологічний процес або агрегат характеризуються певними фізичними величинами, які можуть бути вхідними або вихідними і мають загальну назву - параметри. При цьому вихідними величинами є ті параметри, якими необхідно управляти до досягнення ними певного значення, а вхідними - ті параметри, які призводять до змінювання вихідних величин.

Вихідні величини називаються керованими або регульованими величинами, а вхідні, які змінюють певним чином, щоб досягнути необхідного значення керованої величини, називаються керувальними або регульовальними діями.

Технологічний процес або агрегат представлений взаємними зв'язками вхідних і вихідних величин характеризується як об'єкт керування.

В окремому випадку, коли завданням керування є підтримка вихідної величини на заданому рівні технологічний процес або агрегат називається об'єктом регулювання.

Значення регульованої величини, яке оператор прагне отримати в сталому режимі технологічного процесу називається заданим значенням.

Вхідні величини об'єкта, зміни яких обумовлені режимом технологічного процесу або агрегату називаються збуренням. Збурення завжди порушують необхідний функціональний зв'язок між заданим значенням і регульованою величиною.

Сукупність об'єкта автоматизації і автоматичного керувального пристрою, що взаємодіють між собою з метою реалізації закону (алгоритму) управління створюють систему автоматичного управління (САУ). Системи управління функціонують по команді обслуговуючого персоналу за заданою програмою або автоматично в залежності від значення яких-небудь параметрів, що визначають бажаний хід технологічного процесу.

Автоматична система, в якій керувальний вплив на об'єкт відбувається за результатами порівняння поточного значення керованого параметру із заданим його значенням називається системою автоматичного регулювання (САР).

САУ і САР можуть бути складовими частинами АСУТП, а можуть працювати і окремо, створюючи локальну систему автоматизації.

В загальному випадку локальна система автоматизації складається з окремих конструктивно закінчених пристроїв, які реалізують певні функції перетворення сигналу (інформації).

Пристрої автоматизації, які входять до складу локальної системи управління відрізняються за функціональними ознаками, конструкцією, принципом дії і т. ін. Серед них датчики, нормувальні перетворювачі, задатчики, регулятори, підсилювачі, виконавчі пристрої, реле, допоміжні елементи і т.ін.

Датчики сприймають інформацію про контрольовану величину об'єкта управління і перетворюють її у форму, зручну для подальшого використання в пристроях автоматичного керування.

Часто застосовуються датчики з подвійним перетворенням сигналу, наприклад, вхідний неелектричний сигнал спочатку перетворюється у переміщення, а потім переміщення перетворюється у вихідний електричний сигнал.

Нормувальні перетворювачі призначені для перетворення природного сигналу, що виробляється датчиком, в стандартний уніфікований зручний для сприйняття іншими пристроями системи автоматичного керування. Серед нормувальних перетворювачів існують пристрої, які перетворюють в уніфікований сигнал зміни термоопору, термо-е.р.с., індуктивності, частоти.

Задатчики - це засоби автоматизації, за допомогою яких в системах автоматичного регулювання встановлюються значення регульованого

параметра, відносно якого регулятор формує керувальне діяння при невідповідності поточного значення заданому. Якщо задане значення регульованого параметра незмінне у часі, то САР забезпечує стабілізацію регульованого параметра, якщо сигнал завдання змінюється у часі за визначеним технологією законом, то САР реалізує регулювання за програмою.

Пристрої, що впливають на роботу об'єкта і забезпечують автоматичну підтримку заданого значення регульованого параметра або автоматичну зміну його за певним законом, називають автоматичним регулятором.

У більш складних випадках як регулятор може використовуватися мікропроцесор. Такі завдання автоматичного керування, як оптимізація, створення адаптивних (що пристосовуються) САУ, використання алгоритмів управління, заснованих на імовірнісних і статистичних методах обробки сигналів, неможливо здійснити без застосування ЕОМ.

Підсилювачі - це пристрої систем автоматизації, які здійснюють підсилення за потужністю вихідного сигналу регулятора з метою керування роботою виконавчого механізму. В деяких випадках одночасно з кількісним перетворюванням підсилювачі здійснюють ще і якісне перетворювання. Наприклад, при керуванні електричними виконавчими механізмами в підсилювачах відбувається перетворювання імпульсного сигналу регулятора в напругу змінного струму, а при управлінні пневматичними або гідравлічними виконавчими механізмами здійснюється перетворювання вихідного струмового сигналу регулятора в зміну тиску.

Виконавчі пристрої відносяться до елементів автоматики, що створюють діяння на об'єкт управління. Вони складаються із виконавчих механізмів і регульовальних органів. За сигналом регулятора виконавчий механізм починає працювати в той чи інший бік, змінюючи положення регульовального органа так, щоб регульований параметр повернувся до заданого значення.

Реле - це елементи автоматики, у яких зміна вихідного сигналу відбувається дискретно (тобто стрибкоподібно) при досягненні вхідним сигналом певного значення. Потужність вхідного сигналу, що призводить до спрацьовування реле, значно менше потужності, якою реле може управляти. Тому реле використовується як підсилювальний і як виконавчий елемент.

Реле часто використовуються і як автоматично керовані комутатори сигналів в багатоканальних системах збору і передачі даних, в яких обробляється інформація від десятків, сотень і навіть тисяч датчиків. Вони застосовуються також в системах контролю, сигналізації, блокування і захисту.

Допоміжні елементи використовуються для розширення функціональних можливостей систем автоматичного керування і створення додаткових зручностей оператору-наладнику і технологу. Так, використання блоків ручного керування дає можливість не лише здійснювати перехід з автоматичного режиму роботи на ручний і назад, виконувати оперативне управління об'єктом автоматизації, а і в деяких пристроях дозволяє стежити за положенням регульовального органа, встановлювати завдання і контролювати поточне значення регульованого параметра.

Пристрої блокування і захисту запобігають від неправильного порядку роботи засобів автоматичного керування або технологічного процесу і забезпечують вимикання відповідного устаткування при ненормальних режимах роботи.

Пристрої сигналізації призначені для попередження робітників шляхом вмикання ламп, дзвінків, сирен і т. ін. про певні події в роботі об'єкта автоматизації.

Контрольні запитання до розділу 1

1. Як поділяються технічні засоби автоматизації за виконуваними функціями?
2. Як класифікуються вироби автоматизації за видом енергоносія сигналу?
3. Чому електрична гилка технічних засобів автоматизації є найбільш розповсюдженою?
4. Який пневматичний сигнал є енергетичним носієм інформації?
5. Які засоби автоматизації належать до групи комбінованих?
6. Які бувають електричні сигнали?
7. Який електричний сигнал є найбільш розповсюдженим?
8. В якому діапазоні змінюються стандартні струмові сигнали?
9. Що таке кодовий сигнал?
10. Який сигнал характеризується квантуванням?
11. Який вигляд має функціонально-ієрархічна структура технічних засобів автоматизації?
12. Які засоби автоматизації належать до другої групи структурної схеми технічних засобів автоматизації ієрархічного типу?
13. Для чого призначені технічні засоби автоматизації третього рівня ієрархічної структури?
14. На які рівні у світовій практиці поділяється управління сучасним підприємством?
15. Які рівні піраміди управління сучасним виробництвом розв'язують завдання, що відносяться до класу АСУ ТП?
16. На якому рівні здійснюється розрахунок і аналіз фінансово-економічних показників, розв'язуються поточні та стратегічні адміністративні задачі.
17. Що таке система автоматичного регулювання і чим вона відрізняється від системи автоматичного управління?
18. Яке призначення мають нормувальні перетворювачі?
19. Що таке датчики з подвійним перетворенням сигналу?
20. Чим задатчик відрізняється від датчика?
21. В яких датчиках зміна вихідного сигналу відбувається дискретно при досягненні вхідним сигналом певного значення?
22. Яке призначення в системах автоматичного регулювання мають підсилювальні пристрої?
23. Як називаються пристрої, що впливають на роботу об'єкта і забезпечують автоматичну підтримку заданого значення регульованого параметра?

2 ЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Серед пристроїв першого рівня ієрархії технічних засобів автоматизації пристрої отримання інформації про стан технологічного об'єкта створюють найбільшу групу. Головним елементом їх конструкції є вимірювальні перетворювачі, робота яких базується на тих чи інших явищах і законах фізики. Опановування роботи первинних вимірювальних перетворювачів, а також розробка нових їх видів суттєво полегшується, коли датчики розглядаються, як сукупність найпростіших ланок, кожна з яких зображає собою самостійний перетворювач однієї величини в іншу. При цьому датчик може складатися з однієї такої ланки (тензорезистор, ємнісний рівномір) або з декількох сполучених між собою за певною схемою. Тому знання особливостей будови та принципу роботи окремих перетворювачів допомагають зрозуміти роботу будь-якого датчика або іншого пристрою, де вони використовуються, а також сприяють в пошуках рішень при створенні нових засобів автоматизації.

2.1 Резистивні перетворювачі

Резистивні перетворювачі – це перетворювачі, в яких вихідною величиною є змінний активний опір. Вони поділяються на контактні, реостатні та тензорезистори.

Контактні перетворювачі - це перетворювачі, у яких вимірюване механічне переміщення перетворюється на замкнене або розімкнене становище контактів, які керують електричним колом. Таким чином, природною вхідною величиною контактних перетворювачів є просторове переміщення.

Простий контактний одногранничний перетворювач, рис. 2.1, має одну пару контактів 4 і 5, замикання яких відбувається за функцією вимірюваного переміщення, наприклад, зміна розміру виробу 1.

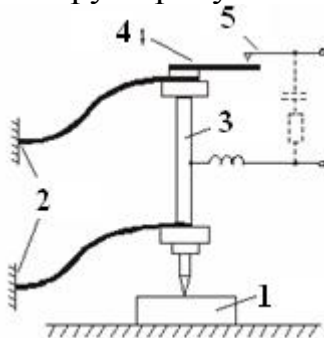


Рисунок 2.1 – Контактний перетворювач

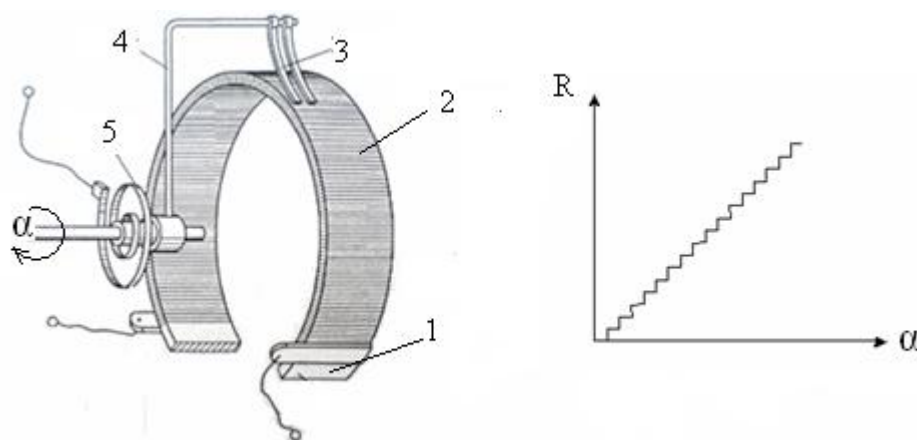
При збільшенні розміру виробу переміщується шток 3 і укріплений на ньому контактний елемент 4 замикає контакт 5. При цьому активний опір між контактами 4 і 5 змінюється від нескінченності до малої величини, яка визначається значенням контактного опору.

Конструктивно вимірювальний шток закріплюється на плескатих пружинах 2 або розташовується в циліндричних напрямних. Похибка спрацьовування контактних перетворювачів знаходиться у межах 1-2 мкм. Щоб

не створювалась електрична дуга, потужність у колі, що розривається контактами, не повинна перевищувати 50-100 мВт. Якщо ж елементи споживають більшу потужність, тоді їх вмикають із використанням підсилювачів[6,7].

Реостатним перетворювачем називають реостат, повзун якого переміщується відповідно до значення вимірюваної неелектричної величини. Таким чином, природною входною величиною реостатних перетворювачів є переміщення повзуна, яке може бути або кутовим, або лінійним, а вихідною величиною – активний опір, що розподіляється лінійно або за якимось іншим законом відносно положення повзуна.

Конструктивно перетворювач являє собою, рис. 2.2, каркас 1 із ізоляційного матеріалу, на якому намотано дріт 2 з рівномірним кроком. Ізоляція дроту на верхній грані каркаса зачищена, а по металу ковзає щітка 3.



1- каркас; 2- ізольований дріт; 3- повзун (щітка); 4- електропровідне держальце; 5- електропровідна пружинка.

Рисунок 2.2 – Реостатний перетворювач і його статична характеристика

Найчастіше застосовують дроти з манганіну, константану або фехралю. Іноді в дуже відповідальних випадках, коли вимоги до зносостійкості контактної поверхні надто підвищені або коли контактний тиск дуже малий, застосовують дроти зі сплаву платини та іридію (90% Pt + 10% Ir).

Дріт реостата має бути заізольованим, щоб сусідні витки не мали електричного контакту між собою.

Повзун (щітка) виготовляється або з двох-трьох дротів, переважно зі сплаву платини та іридію чи платини та берилію, або у вигляді пластинчастих щіток із срібла чи фосфористої бронзи. Ширина контактної поверхні повзуна дорівнює двом-трьом діаметрам дроту, який намотано на каркас.

При роботі реостатного перетворювача в умовах вібрації застосовують щітки з дротів різної довжини (від точки кріплення до точки контактів) або з пластин, які мають два-три надрізи. Цим забезпечується різна власна частота вібрації окремих частин щітки.

Каркас реостатного перетворювача зазвичай виготовляють з текстоліту або пластмаси, застосовуються також каркаси з алюмінію, які ізолювано лаком.

Форми каркасів можуть бути у вигляді плескатої або циліндричної пластини, плескатого чи циліндричного кільця, плескатого сегменту та ін.

Індуктивний та ємнісний опори реостатних перетворювачів дуже малі, тому ними можна зневажати до частот кількох десятків тисяч герців.

Реостатні перетворювачі є ступінчастими (дискретними) перетворювачами (за винятком перетворювачів реохордного типу), оскільки безперервній зміні вимірювальної неелектричної величини відповідає ступінчаста зміна опору дроту. Ця обставина викликає похибку квантування, яка зменшується зі збільшенням кількості витків перетворювача. Звичайно кількість витків перетворювачів не менше за 100-200.

У ряді випадків використовуються функціональні реостатні перетворювачі з нелінійним розподілом опору вздовж каркаса. Досягається це, наприклад, зміною висоти каркаса, намоткою окремих ділянок дротами різного діаметра або дротами з різними питомими опором.

Якщо реостатний перетворювач увімкнено за схемою дільника напруги, рис.2.3, то його можна використовувати як потенціометричний перетворювач, який є одним з варіантів резистивного перетворювача. Вхідною величиною одноконтрактного потенціометричного перетворювача є переміщення повзуна \mathbf{l} , а вихідною – $U_{вих}$ на опорі навантаження R_n .

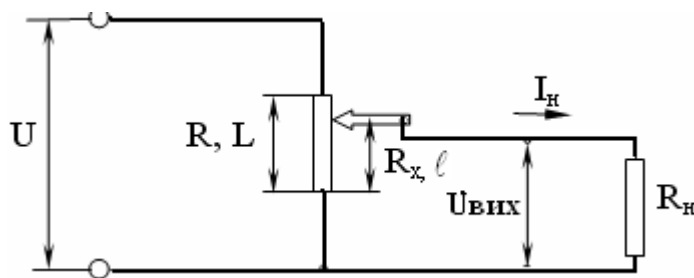


Рисунок 2.3 – Потенціометричний перетворювач

При холостому ході, коли $R_n = \infty$, а $I_n = 0$, напруга $U_{вих}$ дорівнює падінню напруги на введених частині перетворювача з опором R_x :

$$U_{вих} = I \cdot R_x = \frac{U}{R} \cdot R_x = \frac{U}{R} \cdot R \cdot \frac{\mathbf{l}}{L} = U \cdot \frac{\mathbf{l}}{L} .$$

При холостому ході та повільній зміні опору вихідна напруга $U_{вих}$ є лінійною функцією вхідного переміщення \mathbf{l} . Проте у багатовиткових чутливих потенціометричних перетворювачах необхідно враховувати ступінчасті зміни напруги при переміщенні повзуна з витка на виток. Тому реальна залежність $U_{вих} = f(\mathbf{l})$ для цих перетворювачів являє собою ступінчасту характеристику.

Для отримання аналітичного виразу статичної характеристики $U_{вих} = f(\mathbf{l})$ при увімкненні навантаження R_n використовується метод еквівалентного генератора. Сутність метода у тому, що у відношенні до окремої частини ($U_{вих}$) з опором R_n решта складного кола, що містить джерело е.р.с., може бути замінена одним еквівалентним генератором з е.р.с. і внутрішнім опором R_i .

$$\text{Тоді } I_n = \frac{U_x}{R_n + R_i},$$

де U_x – напруга на виході потенціометричного перетворювача при даному положенні повзуна в режимі холостого ходу;

$$R_i = \frac{R_x(R - R_x)}{R_x + (R - R_x)} = \frac{1}{L} \cdot R \cdot \left(1 - \frac{1}{L}\right) - \text{внутрішній опір еквівалентного}$$

генератора – опір між вихідними виводами перетворювача при замкнених вхідних.

Враховуючи те, що $U_x = U \cdot 1/L$, струм навантаження буде:

$$I_n = \frac{U \cdot \frac{1}{L}}{R_n + \frac{1 \cdot R}{L} \cdot \left(1 - \frac{1}{L}\right)}.$$

Отже,

$$U_{\text{вих}} = I_n \cdot R_n = \frac{U \cdot \frac{1}{L} \cdot R_n}{\left(R_n + \frac{1}{L} \cdot R \cdot \left(1 - \frac{1}{L}\right)\right)}. \text{ Враховуючі те, що } R_n / R = a :$$

$$U_{\text{вих}} = I_n \cdot R_n = \frac{U \cdot \frac{1}{L} \cdot a}{a + \frac{1}{L} - \left(\frac{1}{L}\right)^2}.$$

Звідси видно, що увімкнення навантаження спричиняє появі нелінійності у статичних характеристик $U = f(1)$. Для зменшення нелінійності потенціометричного перетворювача, R_n повинно мати набагато більший опір (зазвичай $a = R_n / R > 10 \div 100$) [6,7,8,9].

В основі роботи тензорезисторів лежить явище тензоефекту, відповідно до якого активний опір провідників змінюється при їх механічній деформації. Характеристикою тензоефекту матеріалу є коефіцієнт відносної тензочутливості K , який визначається як відношення зміни опору до зміни довжини провідника: $K = e_R / e_1$, де $e_R = \Delta R / R$ – відносна зміна опору провідника; $e_1 = \Delta l / l$ – відносна зміна довжини провідника.

Для рідких матеріалів, які практично не змінюють свого об'єму в процесі деформування – ртуті, електролітів – коефіцієнт тензочутливості $K=2$. Це стає зрозумілим після наступних висновків.

Опір провідника при його постійному об'ємі дорівнює:

$$R = r \frac{l}{S} = r \frac{l^2}{V},$$

де S – площа поперечного перетину провідника; V – об'єм провідника; r – питомий опір матеріалу провідника.

Тоді $\Delta R = r \frac{l^2}{V} - r \frac{(l - \Delta l)^2}{V} = \frac{r}{V} 2l \cdot \Delta l$, оскільки $\Delta l^2 \approx 0$.

У цьому випадку:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{2 \cdot \Delta l}{l} \quad \text{і} \quad K = \frac{e_R}{e_l} = 2.$$

При деформуванні твердих тіл зміна їх довжини пов'язана зі зміною об'єму, при чому величина зміни об'єму у зоні пружних деформацій для кожного матеріалу постійна і характеризується коефіцієнтом Пуасона:

$$m = -\frac{e_b}{e_l},$$

де $e_b = \Delta b/b$ – відносна величина поперечного деформування; b – поперечний розмір провідника квадратного перетину (або радіус для круглого).

При деформуванні дроту змінюється його довжина, перетин, питомий опір і підсумкова відносна зміна його активного опору дорівнює:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta r}{r} - \frac{\Delta S}{S}$$

Оскільки перетин дроту є коло, тоді:

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{pb^2/2 - p(b - \Delta b)^2/2}{pb^2/2} = \frac{2\Delta b}{b} = -2m \frac{\Delta l}{l} \quad \text{і} \quad \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta r}{r} + 2m \frac{\Delta l}{l}$$

Якщо поділити це рівняння на $\Delta l/l$, одержимо рівняння, що визначає коефіцієнт деформації (тензочутливість) прямого дроту:

$$K = 1 + 2\mu + m$$

Тут величина $(1 + 2\mu)$ характеризує зміну опору залежно від зміни геометричних розмірів (довжина та перетин) провідника, а $m = (\Delta r \cdot l) / (\Delta l \cdot r)$ – зміна питомого опору матеріалу, яка пов'язана зі зміною його фізичних властивостей. Для металів значення m складає невелику частину від величини $(1 + 2\mu)$. Для напівпровідникових матеріалів, навпаки, $m \gg (1 + 2\mu)$ і можна вважати, що $K \approx m$.

При використанні дроту з константану вплив зміни об'єму та провідності підсумовується і коефіцієнт K стає рівним 2. Цей сплав найкращим чином підходить для виготовлення тензорезисторів. Температурний коефіцієнт опору малий, а температурний коефіцієнт подовження добре співпадає з саме таким коефіцієнтом досліджувальних матеріалів.

У техніці вимірювання неелектричних величин тензорезистори використовуються за двома напрямками.

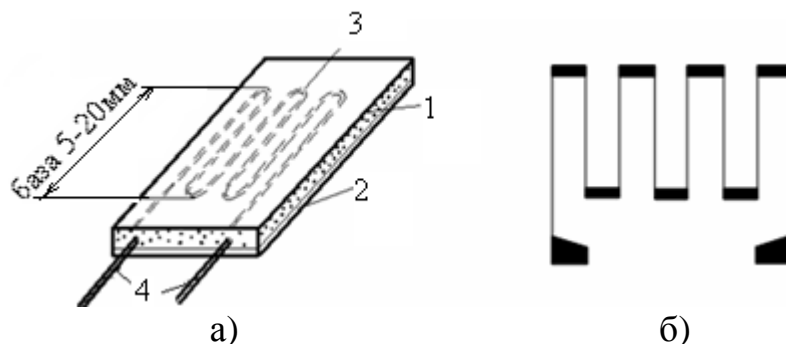
Перший напрямок – використання тензоефекту провідника, який знаходиться у стані об'ємного стиснення, коли природною вхідною величиною перетворювача є тиск газу або рідини навколо нього. За цим принципом будуються манометри для вимірювання великих значень тиску. Такі

перетворювачі являють собою котушку дроту або напівпровідниковий елемент, які розміщуються в області вимірюваного тиску (рідини або газу). Вихідною величиною перетворювача є зміна його активного опору.

Другий напрямок – використання тензоефекту розтягнутого або стиснутого тензочутливого матеріалу. При цьому тензорезистори застосовуються у вигляді “вільних” перетворювачів та у вигляді таких, що наклеюються.

“Вільні” тензоперетворювачі виготовляють у вигляді однієї або декількох дротів, закріплених по кінцях між рухомою та нерухомою деталями, які виконують одночасно роль пружного елемента. Вхідною величиною таких перетворювачів є мале переміщення рухливої деталі.

Найбільш поширеною будовою дротового тензорезистора, рис. 2.4а, є смуга з тонкого паперу або лакова плівка 2, на яку наклеюється так звана сітка із зигзагоподібного тонкого дроту 3 діаметром від 0,02 до 0,05 мм. До кінців дроту припаяні мідні виводи 4. Зверху перетворювач покривають шаром лаку 1. Такий перетворювач наклеюється на деталь, яка випробовується і сприймає деформацію її поверхневого шару. Від цього пропорційно змінюється опір дроту.



1- шар лаку; 2- лакова плівка; 3- зигзагоподібний дріт; 4- мідні виводи.

Рисунок 2.4 – Дротовий (а) і фольговий тензорезистор (б)

Вимірювальною базою перетворювача є довжина деталі, яку займає дріт. Найбільш часто використовуються перетворювачі з базами 5-20 мм, які мають опір 30-500 Ом.

Коли потрібно отримати від електричного кола з тензорезистором великий струм, використовують “потужні” дротові перетворювачі. Вони складаються з великої кількості (30-50) паралельно з’єднаних дротів, довжина вимірювальної бази яких досягає 150-200 мм.

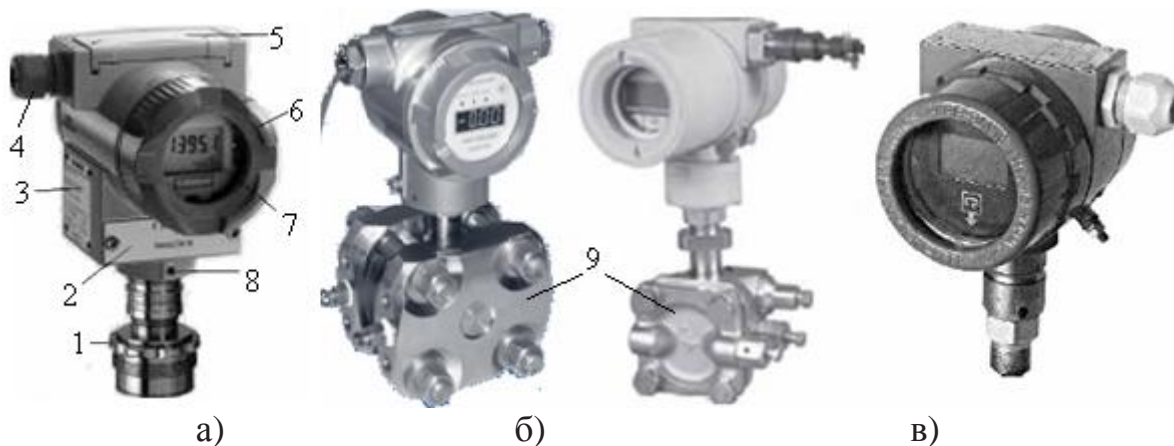
Крім дротових, існують фольгові перетворювачі. Вони являють собою тонку стрічку з фольги, товщиною 4-12 мкм, на якій частина металу видалена шляхом протравлення таким чином, що решта його частини створює спеціальну сітку з виводами, рис. 2.4 б.

Існує також технологія масового виготовлення тензорезисторів, відповідно до якої тензочутливий матеріал у вакуумі переходить з твердого у газоподібний стан, а потім конденсується на плівку. Такі тензоперетворювачі виготовляються з титаноалюмінієвого сплаву, кремнію, германію та ін.

Похибки тензоперетворювачів пов'язані з їх градуванням. Якщо немає можливості градувати безпосередньо робочий перетворювач, то похибка, що обумовлена неідентичністю та якістю приклеювання робочих і градуйованих тензорезисторів, може складати 1-5 %, а загальна похибка пристрою може досягнути 10-15 %. При градуванні безпосередньо робочого перетворювача похибка його вимірювання може бути всього 1-1,5 % [6,7,8,9].

2.1.1 Приклади використання резистивних перетворювачів в технічних засобах автоматизації

Явище тензоефекта широко використовується для вимірювання надлишкового тиску, розрідження, абсолютного тиску, різниці тисків і гідростатичного тиску (рівня), рідких і газоподібних, у тому числі агресивних середовищ в приладах виробництва Елемер, Метран, Мікротерм, Siemens та ін., рис.2.5. Наприклад, чутливий елемент з монокристалічною структурою кремнію на сапфірі є основою усіх сенсорних блоків датчиків сімейства "Метран". При деформації чутливого елемента (мембрани) під впливом вхідної вимірюваної величини (тиску або різниці тисків) змінюється електричний опір кремнієвих п'єзорезисторів на поверхні цього чутливого елемента [10].



1–штуцер приєднання до об'єкта, 2–перетворювач сигналів, 3–табличка з параметрами, 4–кабельний ввід, 5–кришка для доступу до кнопок управління, 6–накручувана кришка з оглядовим вікном, 7–цифровий дисплей, 8–фіксувальний гвинт, 9–первинний перетворювач
Рисунок 2.5 – Датчики для виміру тиску SITRANS P DS III (Siemens)(а), АІР-20/М2 (Елемер) (б), Метран-100 (в), МТМ 700ДИ (Мікротерм)(в)

Німецька фірма Siemens для вимірювання тиску розробила декілька різновидів пристроїв SITRANS P. Усі вони, мають кремнієву вимірювальну комірку з тонкоплівковим тензорезистором, який розташований на керамічній мембрані, що сприймає вимірюваний тиск.

Електронні пристрої датчиків перетворюють електричний сигнал від тензоперетворювача, увімкненого в плече вимірювального моста, в стандартний аналоговий сигнал постійного струму 4-20мА і/або в цифровий сигнал, який подається на рідкокристалічний індикатор (РКІ). Для кращого огляду РКІ і для зручного доступу до електронного перетворювача останній в

конструкціях Метран може бути повернений відносно вимірювального блока на кут до 90° [11].

Ваговимірювальні комірки SIWAREX R, рис.2.6, виробництва Siemens, також оснащені тензовимірювальними перетворювачами. Вони використовуються для статичного і динамічного вимірювання ваги від 6 кг до 280 т. Завдяки наявності різних серій за допомогою цих комірок можна забезпечити роботу резервуарних, бункерних, платформних, автомобільних та інших вагів.

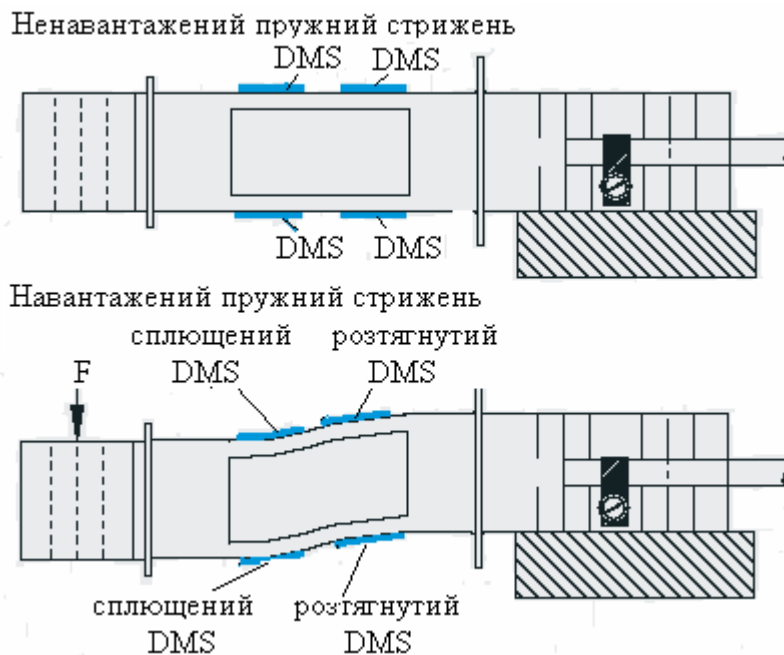


Рисунок 2.6 – Принципова схема ваговимірювальної комірки на базі пружного стержня

Ваговимірювальні комірки перетворюють механічну величину (вагу) в електричний сигнал. Основним елементом є спеціальне пружне тіло, на якому розташовані динамічно прив'язані вимірювальні смужки (DMS). DMS складаються з тонкого ізоляційного матеріалу, в який інтегрована резистивна плівка. Під дією ваги F пружне тіло і плівка деформується. Верхня ліва і нижня права DMS сплющуються, їх резистивна плівка скорочується, а омичний опір відповідно зменшується. Верхня права і нижня ліва DMS розтягуються, їх резистивна плівка розширюється, а омичний опір збільшується. У кожній вимірювальній комірці є мінімум чотири DMS, підключених таким чином, що разом вони складають повноцінний вимірювальний міст. Розтягнуті і сплюснуті DMS увімкнені так, що позитивні або негативні зміни опорів додаються до загального непогодження моста. На одну діагональ моста подається напруга живлення, а з іншої діагоналі знімається вимірювальна напруга. При постійній нарузі живлення вимірювальна напруга змінюється пропорційно поданому навантаженню[12].

Конвеєрні ваги Siemens Milltronics, рис.2.7, використовуються для безперервного виміру витрати і сумарної кількості різних матеріалів. Вони забезпечують високу точність і лінійність виміру незалежно від бічних зусиль.

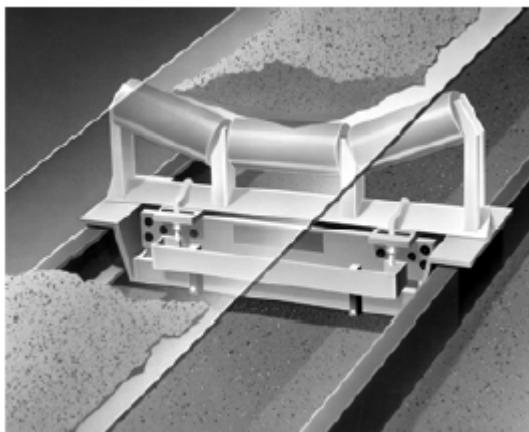


Рисунок 2.7 – Конвеєрні ваги Siemens Milltronics

Матеріал на транспортерній стрічці, проходячи через стрічкові ваги, здійснює зусилля на роликову опору і, відповідно, на ваговимірювальні комірки, яке пропорційне навантаженню. Результуюче зусилля (вага матеріалу і опори), що прикладене до кожній ваговимірювальній комірці, передається на тензорезистори. При подачі на тензорезистори напруги живлення, докладене зусилля перетворюється в електричний сигнал, який передається на вимірювальний перетворювач. Відхилення ваговимірювальних комірок у вертикальній площині обмежуються упором, вбудованим в стрічкові ваги або ваговимірювальну комірку [12].

2. 2 П'єзоелектричні перетворювачі

П'єзоелектричними називаються кристали та текстури, що електризуються під впливом механічних напружень (прямий п'єзоэффект) і деформуються в електричному полі (протилежний п'єзоэффект). Особливістю п'єзоэффекту є знакочутливість, тобто зміна знаку заряду при зміні напрямку поля. П'єзоэффект спостерігається у кристалів кварцу, турмаліну, титанату барію, сегнетової солі та ін.

Кристал кварцу являє собою шестигутову призму. У нього три осі – оптична (Z), що проходить через вершину, електрична (X), яка перпендикулярна оптичній і проходить крізь ребра (їх три зі зсувом у 120°) та механічна (Y) (або нейтральна), яка розташована нормально до граней кристала (їх теж три).

Якщо з кристала кварцу вирізати прямокутну пластину з гранями, рис. 2.8а, що перпендикулярні до осей і піддати її стисненню (або розтягненню) уздовж електричної осі, то на гранях перпендикулярних до цієї осі, з'являться електричні заряди, які рівні за значенням та протилежні за знаком.

Комірка кристалічної структури кварцу, рис. 2.8б, у цілому електрично нейтральна, проте у неї можна виділити три полярних напрямки, що проходять через центр і з'єднують два різнополярні іони. Ці полярні напрямки мають назву електричних осей, або осей X , за якими спрямовані вектори поляризації P_1, P_2, P_3 . Якщо до кристала кварцу уздовж вісі X прикладена сила F_x , яка

рівномірно розподілена по грані, перпендикулярної до осі X , то в результаті деформування електричної комірки її електрична нейтральність порушується.

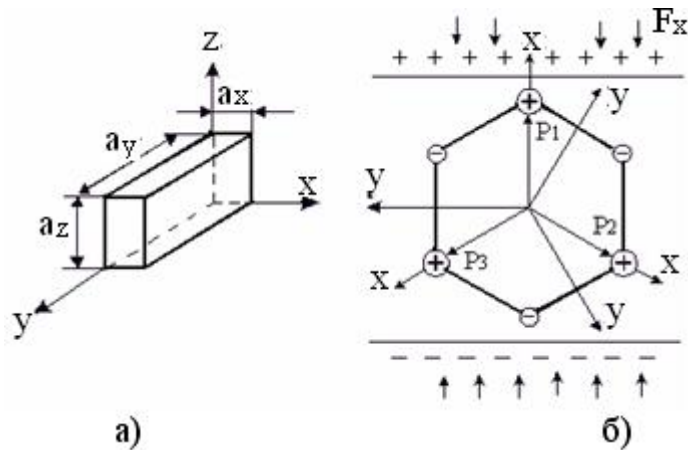


Рисунок 2.8 – Прямокутна пластина (а) і елементарна комірка (б) кварцу

При цьому у деформованому стані сума проєкцій векторів на вісь X стає меншою (при стисненні) або більшою (при розтягненні) вектора P_1 . У результаті з'являється рівнодіюча вектора поляризації, якій відповідають поляризаційні заряди на гранях, знаки їх при стисненні “+” зверху, а “-” знизу.

Не важко помітити, що деформування комірки не впливає на електричний сигнал уздовж вісі Y . Тут сума проєкцій векторів дорівнює нулю, оскільки $P_{2Y} = P_{3Y}$. Утворення поляризаційних зарядів на гранях, перпендикулярних до осі X , коли сили діють уздовж цієї осі, називається поздовжнім п'єзоелементом.

Значення Q_X заряду, який виникає внаслідок дії сили F_X уздовж електричної осі або тиску P_X , що діє на площу грані S_X , дорівнює:

$$Q_X = K \cdot F_X = K \cdot P_X \cdot S_X, \quad S_X = a_y \cdot a_z,$$

де $K = 2,1 \cdot 10^{-12}$ – п'єзоелектричний модуль, Кл/Н.

При механічних напруженнях, прикладених уздовж однієї з осей Y , геометрична сума проєкцій векторів P_2 і P_3 на вісь Y дорівнює нулю, і на гранях п'єзоелемента, перпендикулярних до осі Y , поляризаційні заряди не утворюються. Проте сума проєкцій векторів P_3 і P_2 на вісь X виявляється нерівною вектору P_1 . При стисненні п'єзоелемента $P_2 + P_3 > P_1$, як результат на нижній грані утворюються додатні заряди, а на верхній – від'ємні. Ефект утворення зарядів на гранях, перпендикулярних навантаженим граням, називається поперечним.

Значення заряду, який з'являється на гранях S_X внаслідок дії сили F_Y дорівнює:

$$Q_Y = -K \cdot \frac{a_y}{a_x} \cdot F_Y = -K \cdot \frac{a_y}{a_x} \cdot P_Y \cdot S_Y, \quad \text{де } S_Y = a_x \cdot a_z.$$

Величина Q_Y залежить від розмірів кристала. Умови міцності не дозволяють отримати великі розміри за рахунок збільшення a_y та зменшення a_x , тому на практиці використовується лише поздовжній ефект.

При рівномірному навантаженні з усіх сторін (наприклад, гідростатичне стиснення або теплові напруги та деформування) кристал кварцу залишається електрично нейтральним, так саме, як і при навантаженні уздовж осі Z, перпендикулярної осям X, Y, яка називається оптичною віссю кристала.

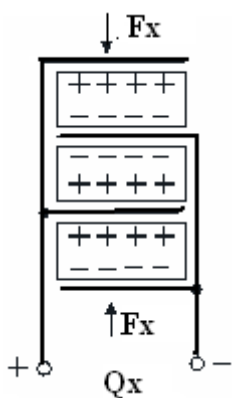
При температурі вище за 500°C п'єзоефект зникає. Температура 537°C, при якій структура кварцу переходить у структуру, яка не має п'єзоефекту, називається точкою Кюрі.

Наявність полярних напрямків з'ясовує важливість визначеної орієнтації граней п'єзоелемента відносно кристалофізичних осей кристала X, Y і Z.

Реальний п'єзоелемент може бути вирізаний таким чином, що його ребра не будуть збігатися з кристалофізичними осями. При незбіганні на 3° чутливість зменшиться на 1,2 %, а при зміні орієнтації на 30° чутливість зменшиться до нуля.

Галузь застосування п'єзоелектричних перетворювачів дуже широка. Перетворювачі, які використовують прямий п'єзоефект застосовуються, у приладах для вимірювання сили, тиску, прискорення. Перетворювачі, які використовують протилежний п'єзоефект, застосовують як випромінювачі ультразвукових коливань, як перетворювачі напруги у деформацію. Перетворювачі, які використовують одночасно прямий та протилежний п'єзоефекти, – п'єзорезонатори, застосовуються як фільтри які пропускають дуже вузьку смугу частот.

Для вимірювання електричних зарядів, які виникають на гранях кварцевої пластини, їх покривають металевим шаром, створюючи конденсатор.



Оскільки $Q = C \cdot U$, тоді $U = Q/C = K \cdot F_x / (C_o + C_s)$.

Тут C_o – ємність кварцу; C_s – неминуча ємність проводів та увімкнених пристроїв.

Оскільки $C_s > C_o$, корисний ефект різко зменшується. Тому C_o штучно збільшують за рахунок паралельного з'єднання кількох пластин.

Вихідна потужність п'єзоелектричних перетворювачів дуже мала, тому на виході перетворювача повинен бути підключений підсилювач з якомога великим вхідним опором. Але кожний вимірювач напруги має кінцеве значення вхідного опору R_i , тому заряд на гранях кристала і відповідно напруга зменшуються за експоненціальним законом:

$$U_t = U \cdot e^{-\frac{t}{R_i \cdot (C_o + C_s)}}, \quad \text{де } R_i \cdot (C_o + C_s) \text{ – стала часу.}$$

Коли час T мине, напруга U зменшиться в $1/e$ разів, тобто приблизно до 37 % початкового значення U . Ця обставина обмежує можливості використання п'єзокристалів тільки контролем короткочасних і швидкозмінюваних процесів.

Крім того, вихідна напруга п'єзоелектричного перетворювача залежить від ємності вхідного кола наступної ланки. Тому в характеристиках перетворювача,

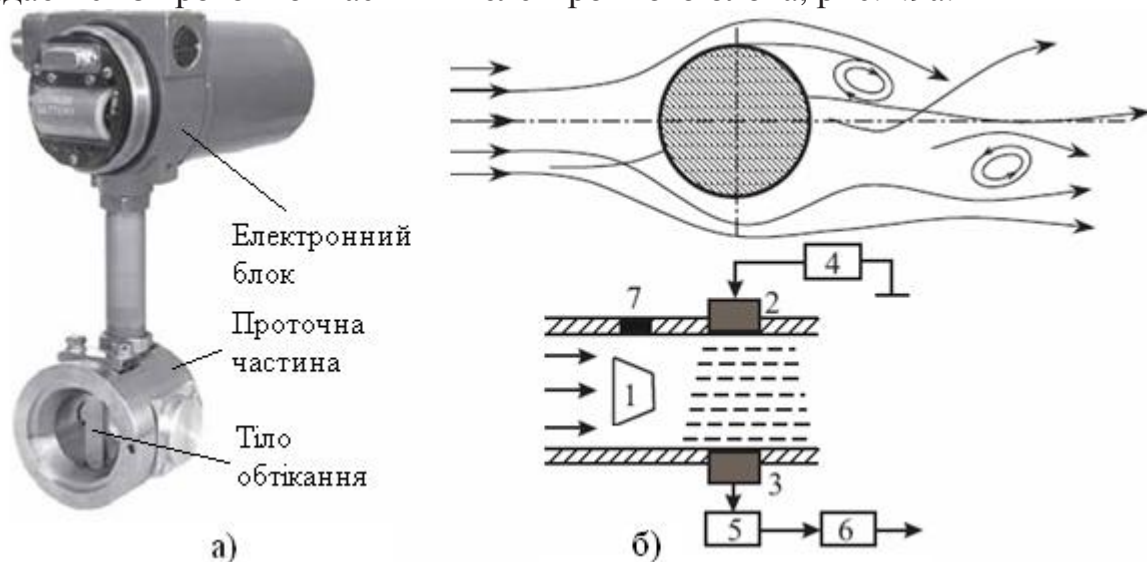
зазначається не тільки чутливість за напругою, але і ємність, яка відповідає цій чутливості.

Похибки п'єзоелектричних перетворювачів складаються з похибки від зміни параметрів вимірювального кола, температурної похибки, яка породжується зміною п'єзоелектричної сталої, похибки внаслідок неправильного установлення пластин, похибки через чутливість до сил, які діють перпендикулярно вимірювальній вісі перетворювача та частотної похибки.

Перевагою п'єзоелектричних перетворювачів є малі габарити, проста конструкція, надійність у роботі, можливість вимірювання швидкозмінних величин. Найбільшого поширення п'єзоелектричні перетворювачі отримали для вимірювання вібраційних прискорень[6,7,8,9].

2.2.1 Приклади використання п'єзоелектричних перетворювачів в технічних засобах автоматизації

Датчик витрати вихороакустичний Метран-320, у складі якого є п'єзоелектричний перетворювач, який має моноблочну конструкцією, що складається з проточної частини і електронного блока, рис.2.9а.



1- призма; 2- п'єзовипромінювач; 3- п'єзоприймач; 4- генератор; 5- фазовий детектор; 6- фільтр з блоком формування вихідних сигналів; 7- термодатчик.

Рисунок 2.9 – Метран- 320 (а), вихороутворення потоку і блок-схема ультразвукового детектора (б)

Вихоровий метод вимірювання витрати, що реалізований у перетворювачі, заснований на явищі Ван Кармана. Відповідно до цього явища, рис.2.9б, при обтіканні тіла потоком рідини за ним утворюється вихорова доріжка, частота руху вихорів в якій пропорційна об'ємній витраті.

У корпусі проточної частини розташовані тіло обтікання - призма трапецеїдальної форми (1), п'єзовипромінювач (2), п'єзоприймач (3) і термодатчик (7). Електронний блок містить генератор (4), фазовий детектор (5),

мікропроцесорний адаптивний фільтр з блоком формування вихідних сигналів (6). У корпусі електронного блока встановлено елемент живлення.

На п'єзовипромінювач 2 від генератора 4 подається змінна напруга, яка перетворюється в ультразвукові коливання. Взаємодіючи з вихорами ці коливання модулюються по фазі, а на п'єзоприймачі 3 перетворюються в електричні та подаються на фазовий детектор 5. Для вимірювання малих витрат, де характеристика перетворювача нелінійна і залежить від температури теплоносія, в проточну частину встановлено термодатчик 7. Показання термодатчика автоматично враховуються при обчисленні витрати в області малих значень. На фазовому детекторі визначається різниця фаз між сигналами з приймача і опорного генератора, а на вихід подається напруга, частота зміни якої дорівнює частоті утворення вихорів і пропорційна витраті.

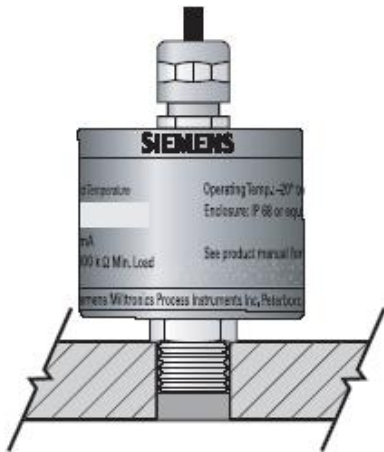
Для фільтрації випадкових перешкод сигнал з фазового детектора подається на мікропроцесорний адаптивний фільтр, а потім в блок формування вихідних сигналів[13].

Сигналізатори рівня Rosemount 2110 і 2120 призначені для контролю рівня більшості видів рідин, у тому числі суспензій, емульсій та інших розчинів на водній основі. На роботу сигналізаторів практично не впливають турбулентність процесу, бульбашки, піна, вібрація, зміст твердих речовин, властивості рідини і її склад. Пристрої мають функцію самоперевірки та тактовий світлодіод для моніторингу стану і візуального відображення інформації про їх стан.

Сигналізатори 2110 і 2120 розроблені з використанням принципу камертона. П'єзоелектричний кристал при подачі на нього напруги створює коливання чутливої вібраційної вилки з частотою ~1300 Гц. Зміни цієї частоти відстежуються електронікою в безперервному режимі. При зануренні вилки в рідину (стан "мокрый контакт") частота коливань вилки зменшується. Це призводить до перемикання контактів сигналізатора. Аналогічно при зниженні рівня рідини вилка переходить в стан "сухий контакт", частота коливань вилки збільшується і відбувається зворотне перемикання контактів. Сигнал про зміну стану контактів подається в систему управління або на виконавчі механізми (насоси, клапани і тому подібне).

Сигналізатори рівня рідин серії 2110 і 2120 складаються з корпусу, пристрою з'єднання з резервуаром і чутливого елемента - вібраційної вилки. З'єднання з резервуаром і вилка - це єдині частини, що контактують з технологічним середовищем. Робоча частота вилки ~1300 Гц вибрана для того, щоб уникнути можливих перешкод в роботі сигналізатора і помилкового перемикання при можливому виникненні вібрацій (резонансу частот) під впливом виробничого обладнання. Для підвищення жорсткості і надійності конструкції довжина вилки зроблена короткою - всього 50 мм[14].





Акустичний сенсор SITRANS AS 100 виробництва Siemens призначений для контролю потоку матеріалу. Реагуючи на звукові хвилі високої частоти (75-175 кГц), що породжуються рухомими установками і матеріалом, він реєструє зміни в потоці матеріалу, попереджаючи тим самим затори, відсутність матеріалу або відмову в роботі установки. До найбільш поширених матеріалів відноситься гранулят, порошок і практично будь-які сипкі речовини в трубах, ділянках падіння або віброжолобах, пневматичних установках транспортувань. Сенсор монтується на зовнішній стінці ділянок падіння за допомогою різьбового з'єднання, не має рухливих частин и не обслуговується. Він захищений від пилу і вологи корпусом з нержавіючої сталі.

Акустичні сенсори містять спеціальний п'єзокристал і схему фільтрації, яка ефективно реагує на високочастотний діапазон 75–175кГц. При збудженні кристала акустичною енергією він створює безперервний електричний сигнал постійного струму 0 - 10В або 4-20мА, який прямопропорційний зміні стану потоку і може бути використаний для програмованого реле тривоги або в системі управління.[12]

2.3 Електростатичні перетворювачі

Електростатичний перетворювач являє собою два або декілька тіл, між якими діє електричне поле. Простий перетворювач, рис. 2.10, містить два електроди площею S , розташованих на відстані δ у середовищі з абсолютною діелектричною проникністю ϵ_0 .

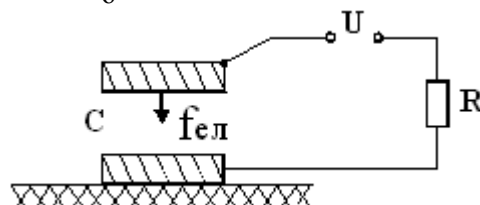


Рисунок 2.10 – Електростатичний перетворювач

З електричного боку електростатичний перетворювач характеризується напругою U_c між пластинами; зарядом $q = C \cdot U_c$, де C – ємність, яка для плоскопаралельних пластин дорівнює $C = \epsilon_0 \cdot S/d$ (без урахування крайового ефекту); струмом $i = dq/dt$ і енергією електричного поля $W_{el} = q \cdot U_c / 2 = C \cdot U_c^2 / 2$.

Якщо одна з пластин (або діелектрик між ними) має можливість переміщуватися, то з механічного боку перетворювач характеризується переміщенням X ; швидкістю $V = dX/dt$; електростатичною силою притягання $f_{el} = dW_{el}/dX$.

При постійній ємності $C = const$ електростатичний перетворювач працює як міра ємності або як елемент електричного кола з реактивною провідністю, яка пропорційна частоті. Якщо $U = U_m \cdot \sin(\omega t)$, то $i = dq/dt = d(CU)/dt = CU_m \omega \cdot \cos(\omega t)$.

При ємності, що змінюється примусово за відомим законом, наприклад, $C = C_o + \Delta C \cdot \sin(\Omega t)$, електростатичний перетворювач працює в ємнісних модуляторах і вимірювачах поверхневих зарядів, а також в електростатичних генераторах. Наприклад, електростатичний перетворювач ємнісного модулятора залежно від сталої часу RC -кола може працювати у режимі заданого заряду при $\Omega RC \gg 1$, рис.2.11а і заданої напруги при $\Omega RC \ll 1$, рис.2.11б.

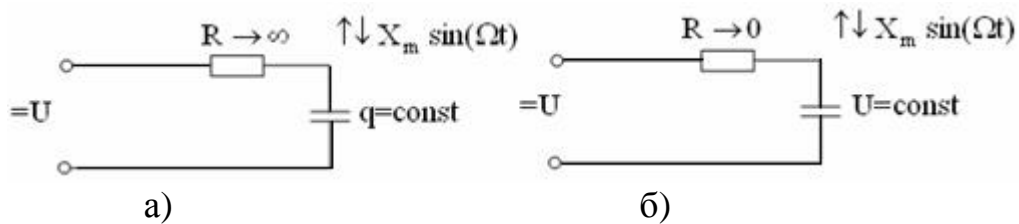


Рисунок 2.11 – Електростатичний перетворювач у режимі заданого заряду (а) і заданої напруги (б)

У першому випадку заряд на ємності дорівнює: $q = C_o U_x = const$, де C_o – початкове значення ємності; U_x – напруга між обкладками.

Оскільки $R \rightarrow \infty$ і падіння напруги відбувається більшою часткою на ньому, ємність не розряджається.

При зміні відстані між пластинами ємності, напруга між ними коливається відповідно до виразу:

$$U_c = \frac{q}{C} = \frac{C_o \cdot U_x}{C_o + \Delta C \cdot \sin(\Omega t)} = \frac{U_x}{1 + (\Delta C / C_o) \cdot \sin(\Omega t)},$$

тобто вихідною величиною є змінна складова напруги U_c або U_R .

В іншому випадку (б) $R \rightarrow 0$, тоді $U_c \approx U_x$, а $q = (C_o + \Delta C \cdot \sin(\Omega t)) \cdot U_x$, оскільки пластини переміщуються з амплітудою $(X_m \cdot \sin(\Omega t))$.

Тоді $i = \frac{dq}{dt} = U_x \cdot \Omega \cdot \Delta C \cdot \cos(\Omega t)$, тобто струм є вихідною величиною модулятора, яка пропорційна постійної напрузі U_x .

При ємності, що змінюється залежно від вимірюваної неелектричної величині, електростатичний перетворювач працює у різних датчиках прямого перетворення. Наприклад, якщо $d = d_o + x$, то $C = e \cdot S / (d_o + x)$, і при роботі на постійному струмі в режимі заданого заряду (за умов, що X змінюється з круговою частотою Ω , при якій $\Omega RC \gg 1$), напруга $U_c = q/C = q(d + x)/(e \cdot S)$ містить складову, яка пропорційна X .

При роботі в режимі заданої напруги $U = const$, заряд $q = eSU/(d_o + x)$. Коли $x \ll d_o$, то приблизно:

$$q = \frac{eSU}{d_o} \left(\frac{1}{1+(x/d_o)} \right) = \frac{eSU}{d_o} \left(1 - \frac{x}{d_o} \right), \text{ а } i = \frac{dq}{dt} = \frac{eSU}{d_o^2} \cdot \frac{dx}{dt},$$

тобто електростатичний перетворювач може служити для вимірювання швидкості $V = dx/dt$ відносного руху.

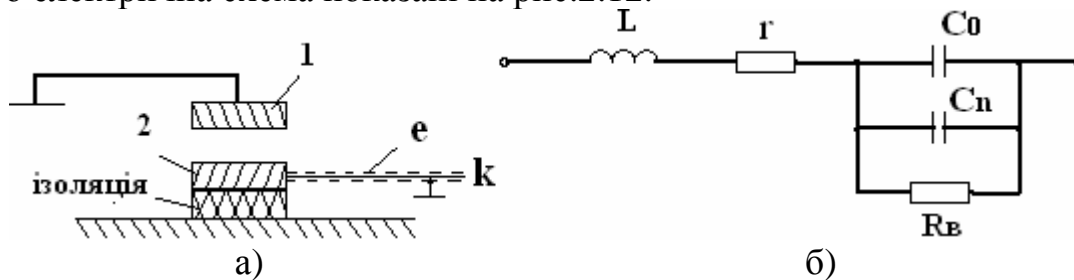
Величинами, які впливають на ємність, можуть бути механічне переміщення, яке змінює прозир δ або площину S , температура та речовина діелектрика, які впливають на ϵ_o та ін. При цьому перетворювач може працювати або на постійному струмі (в режимі заданого заряду або заданої напруги), або на змінному струмі (на частоті-носії).

Датчики на частоті-носії найбільш поширені. При роботі на частоті-носії електростатичний перетворювач живиться напругою $U = U_m \cdot \sin(\omega t)$, кругова частота ω якої повинна значно перевищувати найбільшу частоту Ω зміни ємності під впливом вимірюваної величини.

Наприклад, $C = C_o + \Delta C \cdot \sin(\Omega t)$, тоді: $i = d(CU)/dt = CdU/dt + UdC/dt = U_m \cdot (\omega \cdot C_o \cdot \cos(\omega t) + \omega \cdot \Delta C \cdot \cos(\omega t) \cdot \sin(\Omega t) + \Omega \cdot \Delta C \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\Omega t))$.

Перший доданок у дужках відображає несучі коливання постійної амплітуди, другий – складову струму, що змінюється пропорційно змінам ємності, проте третій порушує цю пропорційність. Для зменшення відносного розміру третього доданку, потрібно збільшити відношення ω/Ω .

Конструктивна схема електростатичного перетворювача на частоті-носії та його електрична схема показані на рис.2.12.



1,2- електроди; C_o - ємність між електродами перетворювача; C_n - паразитна ємність; R_v - опір витрати; r, L - опір та індуктивність кабелю; K - кабель; e - екран.

Рисунок 2.12– Конструктивна схема електростатичного перетворювача (а) та його еквівалентна електрична схема (б)

Електрична схема враховує не тільки ємність C_o між електродами перетворювача 1 і 2, але й кінцевий опір втрати R_v ізоляції між електродами, опір r та індуктивність L кабелю K , а також паразитну ємність C_n між заземленими електродами і деталями конструкції та між жилою кабелю K і заземленим екраном 1 . Вплив окремих елементів схеми враховується залежно від конкретних обставин роботи. Так, при роботі на низькій частоті опір конденсатора великий і вплив індуктивності та опору вводу не відбувається.

Нехтуючи ними, еквівалентну схему можна спростити, рис.2.13а. Для неї $R_{екв.} \approx R_g$ і $C_{екв.} \approx C_o + C_n$.

При роботі на високих частотах опір конденсатора падає і велику роль починає грати індуктивність та опір вводу, в той час як вплив шунтованого опору втрати перестає відбиватися. У цьому випадку еквівалентна схема перетворювача має інший вигляд, рис.2.13б. Для неї $r_{екв.} \approx r$ і $C_{екв.} \approx C_o + C_n$.

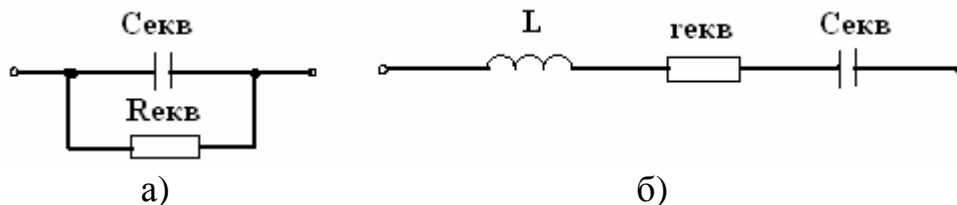


Рисунок 2.13– Еквівалентні схеми електростатичного перетворювача працюючого на низьких (а) та високих (б) частотах

Вплив опору втрати може бути врахований відповідним додатком в опорі $r_{екв.} = r + (1/(w^2 \cdot C_{екв.}^2 \cdot R_g))$

Вплив індуктивності струмопідводів починає відбиватися на частотах більших за 10 МГц.

В еквівалентних схемах електростатичного перетворювача з діелектриком повинні враховуватися втрати в останньому. Еквівалентні опори для цих схем виражають через так званий кут втрат, який залежить від напруги на конденсаторі, частоти, температури та вологості.

Ємнісні перетворювачі знаходять широке застосування і використовуються для вимірювання рівня рідини, товщини стрічки діелектриків, переміщень та вимірювання кута повороту вала. Перевагою ємнісних перетворювачів, що вимірюють кут повороту є можливість відповідним вибором форми рухомої та нерухомої пластин отримати задану функціональну залежність між зміною ємності та вхідним кутовим або лінійним переміщенням. Перетворювачі зі змінною площею застосовуються для вимірювання переміщень більше за 1 мм. Для вимірювання малих переміщень ($10^{-6} - 10^{-9}$)м застосовуються перетворювачі зі змінним прозором.

Вихідний опір електростатичного перетворювача при заданій ємності падає з ростом частоти, тому частоту напруги живлення не слід вибирати менше за (500–1000)Гц. Більшість вимірювальних кіл працює на частотах ($10^5 - 10^7$)Гц.

Ємності більшості перетворювачів складають (10–100)пф, тому навіть на високих частотах їх вихідний опір великий ($10^3 - 10^7$)Ом, а вихідна потужність настільки мала, що ємнісні перетворювачі працюють тільки з підсилювачем і, аби уникнути наводки, з'єднуються з ним екранованим проводом. Крім того, екрановані проводи мають відносно велику ємність між жилою та екраном (30–50) пф/м. Тому, якщо не передбачається спеціальних заходів, ємність

лінії зв'язку шунтує перетворювач і його чутливість та точність знижуються. Для зменшення шунтуючих дій проводів використовують кабель з подвійним екраном і спеціальну схему вмикання. Габаритні розміри ємнісних перетворювачів визначаються конструктивними міркуваннями. Проте слід прагнути до збільшення ємності перетворювача, оскільки це зменшує його вихідний опір і полегшує вимоги, що пред'являють до вимірювального кола та ізоляції перетворювача[6,7,8].

2.3.1 Приклади використання електростатичних перетворювачів в технічних засобах автоматизації

Існує значна кількість різноманітних ємнісних датчиків, які широко використовуються в системах регулювання і управління виробничими процесами майже в усіх галузях промисловості.

Прилад NivoCAP СТ - 200 російського виробництва, рис.2.14, це двопровідний рівнемір ємнісного типу, який застосовується для вимірювання рівня продукту, займаного ним об'єму або ваги як в електропровідних так і не електропровідних рідинах або легкоспіких твердих матеріалів.

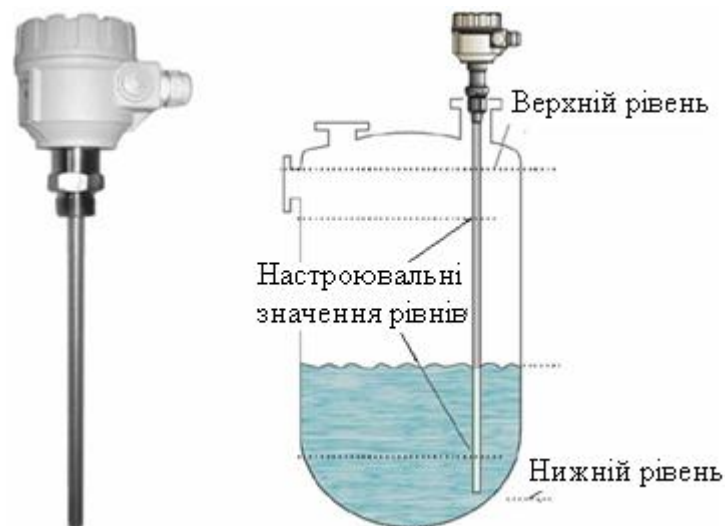


Рисунок 2.14 – Ємнісний рівнемір NivoCAP СТ - 200

Активний зонд приладу і стіна місткості (чи заземлений другий зонд, або спеціальна труба на зонді, якщо стіна місткості не електропровідна) створюють пластини конденсатора. Ізолятором в цьому конденсаторі є або повітря, або інший матеріал в бункері, які будуть діелектриками між пластинами простого конденсатора.

Коли місткість порожня, тоді початкова ємність конденсатора дорівнює C_0 , при цьому діелектричний коефіцієнт " ϵ_r " для повітря дорівнює 1. Коли повітря буде витиснене продуктом з діелектричною константою вище ніж у повітря, ємність конденсатора зміниться, тобто ємність мінятиметься із збільшенням вимірюваного продукту в місткості. Ця зміна ємності перетворюється приладом у вихідний сигнал пропорційно зміні рівня.

Застосування другого зонду потрібне при вимірюванні рівня в місткостях незвичайної форми, сферичних, бункерах з відсутніми строго вертикальними стінками, навіть якщо стінка виготовлена з електропровідного слабоелектропровідного або зовсім не електропровідного матеріалу. Відмінною особливістю ємнісного вимірювання рівня є те, що необхідно виміряти і зберігати в приладі значення ємності при двох різних відомих точках рівня продукту (режим навчання). Завдяки цьому в прилад запишуться реальні умови його застосування (форма місткості, міра виміру і так далі). Тобто прилад потрібно "навчити" працювати в середовищі його застосування у місткості з продуктом (наприклад, C_0 розрізняється в механічному цеху і на місці установки місткості). Для електропровідних матеріалів має бути використано ізольований зонд, для якого значення діелектричної константи продукту може бути будь-яким.

Причому задана точність досягається вимірами двох точок рівня якомога ближчими до верхньої та нижньої межі. Протягом навчання встановлюється вихідний сигнал 4-20 мА, який відповідає вихідному значенню рівня 0%-100%.

У багатьох випадках технологія на виробництві не дозволяє повністю спустошити або заповнити місткість, тоді настроювання приладу можна здійснити на проміжні значення (наприклад на 15% і 80 %). Проте, для підвищення точності вимірювання, калібрування приладу на мінімальний і максимальний рівень в місткості необхідно зробити як тільки це стане можливим[15].

Датчики тиску серії 3051, рис.2.15а, виробництва Метран, є результатом застосування сучасної технології і використання нової вимірювальної комірки.



1, 2 - суцільнозварний, герметичний корпус; 3 - ємнісна комірка; 4 - чутливі розділові мембрани; 5 - штепсельний рознім; 6, 7 - електронна плата.

Рисунок 2.15 – Датчики тиску серії 3051L (а) і будова SuperModule (б)

Корпус датчика - це герметичний вузол SuperModule, рис.2.15б, який є суцільнозварною конструкцією з нержавіючої сталі, усередині якої знаходяться сенсорний модуль і електронна плата. У датчиках серії 3051 використовуються два види сенсорних модулів - на базі ємнісної і п'єзорезистивної комірок. Для датчиків перепаду і надлишкового тисків моделей 3051CD, 3051CG, 3051L використовується сенсор на базі ємнісної комірки, а для датчиків абсолютного і надлишкового тисків моделей 3051CA, 3051TA, 3051TG - на базі п'єзорезистивної.

У датчиках, що створені, на базі ємнісного сенсора, рис.2.16, тиск процесу передається через розділові мембрани і заповнюючу рідину на вимірювальну (сенсорну) мембрану, що розташована між пластинами конденсатора.

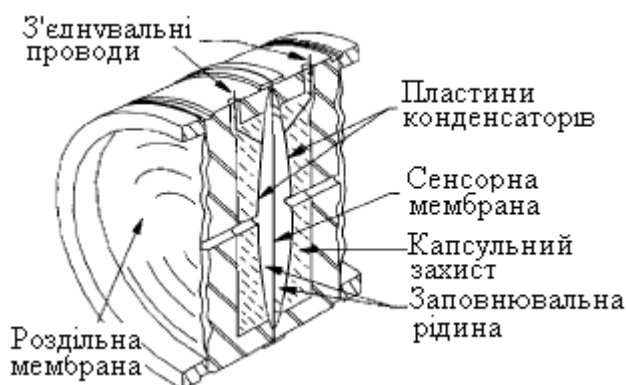


Рисунок 2.16 – Ємнісний сенсор

Під впливом тиску мембрана прогинається і в результаті змінюється електрична ємність комірок, утворених сенсорною мембраною і пластинами конденсатора. Генерований електричний сигнал перетворюється в цифровий і передається на мікроконтролер. Сенсорний модуль датчиків 3051L має вбудований термометр для корекції і обліку температурних ефектів.

У датчиках з п'єзорезистивним сенсором вимірюваний тиск через розділову мембрану і заповнюючу рідину передається на вимірювальну мембрану, вигин якої викликає зміну опору в колі вимірювального моста. Вихідний блок електронного модуля перетворює вимірювальну інформацію у вихідний сигнал 4-20 мА. Додатковий рідкокристалічний індикатор легко вставляється в електронну плату і показує цифрові значення сигналу у фізичних одиницях або відсотках від аналогової шкали. Нова конструкція датчика забезпечує максимальний захист від проникнення всередину вологи і пилу, поліпшення робочих характеристик, дозволяє розширити діагностичні можливості, підвищити стабільність, якість установки на місці експлуатації і полегшити обслуговування[10].

Ємнісні датчики застосовуються також, як кінцеві вимикачі на автоматизованих лініях, конвеєрах, роботах, оброблювальних центрах, верстатах, в системах сигналізації, для позиціонування різних механізмів, рис.2.17, і т. ін.

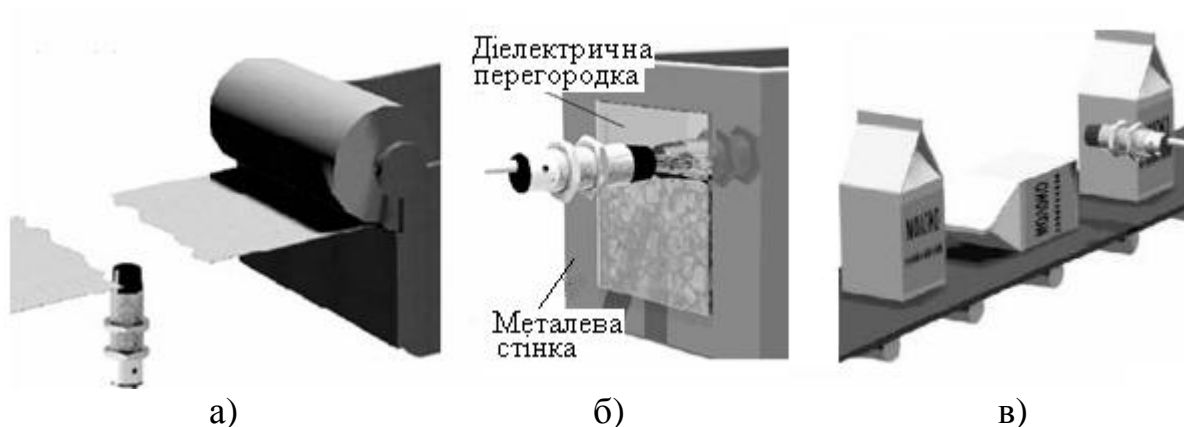


Рисунок 2.17 – Контроль розриву стрічки (а), позиціонування об'єкта (б) вмісту упаковки і лічення тари (в) ємнісними датчиками

Конструкція такого ємнісного датчика наведено на рис.2.18.

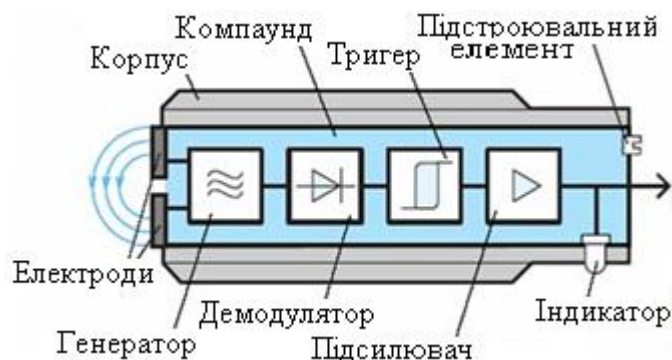


Рисунок 2.18 – Конструкція ємнісного датчика

Генератор в конструкції датчика забезпечує електричне поле взаємодії з об'єктом. Демодулятор перетворює зміну амплітуди високочастотних коливань генератора в зміну постійної напруги. Тригер забезпечує необхідну крутизну фронту сигналу перемикавання і значення гістерезису. Підсилювач збільшує вихідний сигнал до необхідного значення. Світлодіодний індикатор показує стан датчика. Компаунд забезпечує необхідну міру захисту від проникнення твердих часток і води. Корпус захищає від механічних дій і забезпечує монтаж датчика.

Активна поверхня ємнісного безконтактного датчика утворена двома металевими електродами, які можна представити як обкладки "повернутого" конденсатора. Електроди ввімкнені в коло зворотного зв'язку високочастотного автогенератора, настроєного таким чином, що за відсутності об'єкта поблизу активної поверхні він не генерує. При наближенні до активної поверхні ємнісного безконтактного датчика, об'єкт потрапляє в електричне поле і змінює ємність зворотного зв'язку. Генератор починає виробляти коливання, амплітуда яких зростає з наближенням об'єкта і перетворюється наступною схемою у вихідний сигнал[16].

2.4 Електромагнітні перетворювачі

Термін "електромагнітні перетворювачі" об'єднує чотири типи перетворювачів – індуктивні, трансформаторні, магнітопружні та індукційні. Для усіх цих перетворювачів характерне використання залежності характеристик магнітного кола (магнітного опору, магнітній проникності, магнітного потоку та ін.) від величини механічного впливу на його елементи.

На рис. 2.19 зображено магнітне коло електромагнітного перетворювача з двома обмотками W_1 і W_2 .

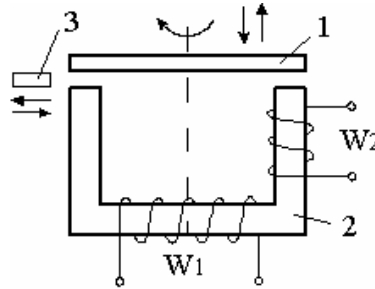


Рисунок 2.19 – Електромагнітний перетворювач

Повний опір обмотки W_1 , нехтуючи розсіюванням магнітного потоку, можна записати як:

$$Z = R_o + j \cdot w \frac{W_1^2}{Z_M} = R_o + j \cdot w \frac{W_1^2}{Z_{MFe} + R_d} = R_o + j \cdot w \frac{W_1^2}{(R_M + R_d) + j \cdot X_M}$$

Тут Z_M – повний магнітний опір всього магнітопроводу; Z_{MFe} – магнітний опір феромагнітної частини магнітного кола.

При роботі перетворювача на змінному струмі магнітний опір феромагнітної частини магнітного кола слід вважати комплексним:

$$Z_{MFe} = R_M + j \cdot X_M.$$

Тут R_M характеризує магнітний опір магнітопроводу, а X_M – враховує втрати в сталі на гістерезис і вихровий струм; R_d – магнітний опір повітряного прозору δ .

Після множення чисельника та знаменника виразу для Z на спряжений вираз $(R_M + R_d) - j \cdot X_M$ отримаємо:

$$Z = R_o + \frac{w \cdot W_1^2 \cdot X_M}{(R_M + R_d)^2 + X_M^2} + j \cdot w \frac{W_1^2 \cdot (R_M + R_d)}{(R_M + R_d)^2 + X_M^2} = R_{екв.} + jwL,$$

Якщо втрати в сталі малі ($X_M \ll R_M$), то індуктивність L дорівнює $L = W_1^2 / (R_M + R_d)$, а взаємна індуктивність M між обмотками визначається як $M = W_1 \cdot W_2 / (R_M + R_d)$.

Якщо змінити R_d , наприклад, наближаючи рухомий якір 1 до нерухомого осердя 2 (зменшення δ), або зменшити площину прозору, повертаючи осердя відносно нерухомої частини магнітного кола, то при цьому буде змінюватися значення індуктивності L та взаємної індуктивності M .

Значення L і M можна змінювати і при нерухомих якорі 1 та осерді 2 шляхом введення у повітряний прозір пластини 3 з феромагнітного матеріалу (зменшення δ) або пластини з електропровідного неферомагнітного матеріалу. В останньому випадку зміна L і M обумовлена розмагнічувальними діями струму, індукованому у пластині основним магнітним потоком, який проходить по магнітному колу.

Електромагнітні перетворювачі поділяються на індуктивні, взаємоіндуктивні, індукційні та магнітопружні.

Перетворювачі, що перетворюють природну величину у вигляді переміщення на зміну індуктивності називають індуктивними.

Деякі конструкції індуктивних перетворювачів показані на рис. 2.20.

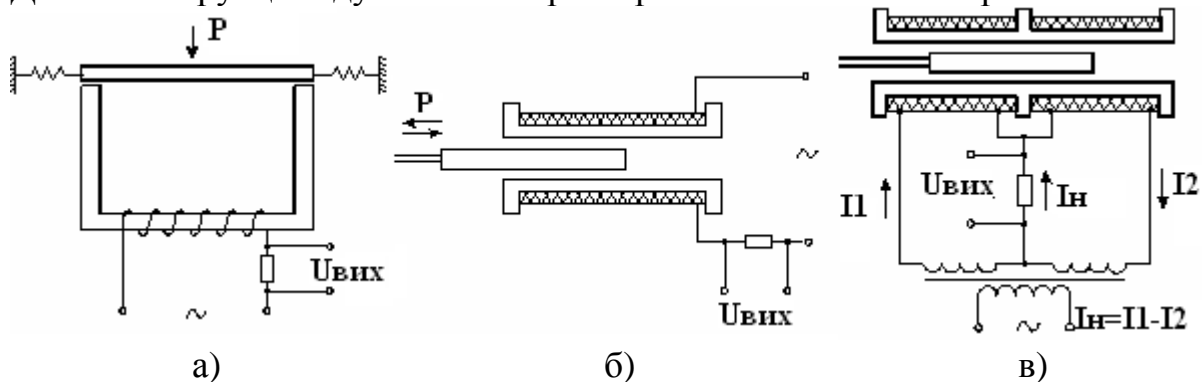


Рисунок 2.20 – Індуктивні перетворювачі

У випадку (а) робоче переміщення складає (0,01–10)мм, у випадку (б) – (10–100) мм. Диференційний перетворювач (в) дозволяє зменшити похибку та збільшити лінійну частину характеристики. Тому на практиці індуктивні перетворювачі майже завжди виготовляють диференційними.

Перевагою індуктивних перетворювачів є можливість здобуття сигналу великої потужності, що дозволяє його використовувати безпосередньо на вторинних приладах.

Перетворювачі, що перетворюють переміщення у зміну взаємної індуктивності, називають трансформаторними або взаємоіндуктивними.

У трансформаторних перетворювачах зміну взаємної індуктивності M можна отримати не тільки при зміні магнітного опору, але й при переміщенні однієї з обмоток.

Приклади трансформаторних перетворювачів приведені на рис.2.21.

Якщо магніторушійну силу F (а), тобто струм I_1 підтримувати сталою, то потік Φ та індукована у вторинній обмотці е.р.с. E_2 будуть функціями довжини повітряного прозору який залежить від сили P :

$$E_2 = wW_2\Phi = wW_2F/Z_M = f(P).$$

У випадку (б) при переміщенні обмотки W_2 змінюється взаємна індуктивність між обмотками W_1 і W_2 і при цьому змінюється величина е.р.с., що індукована в обмотці W_2 .

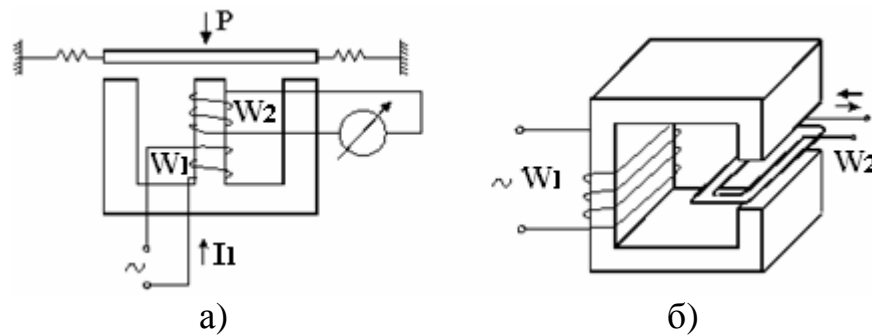


Рисунок 2.21 – Трансформаторні (взаємоіндуктивні) перетворювачі

Індукційні перетворювачі, рис. 2.22, у якості природної вхідної величини мають швидкість механічного переміщення. Вони поділяються на дві групи. У перетворювачах першої групи магнітний опір на шляху постійного магнітного потоку залишається незмінним, а індукована е.р.с. з'являється в обмотці завдяки лінійним (а) або кутовим (б) коливанням обмотки у прозорі магніту.

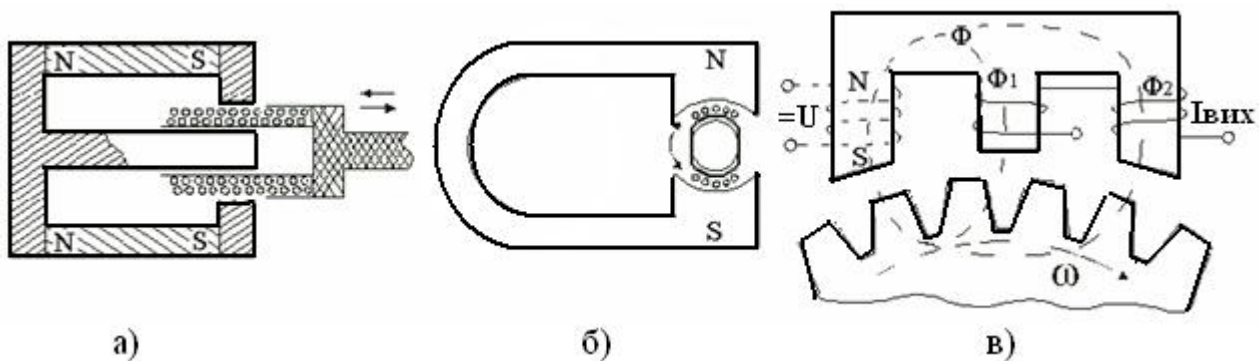


Рисунок 2.22 – Індукційні перетворювачі

У перетворювачів другої групи постійний магніт і обмотка нерухомі, а індукована е.р.с. наводиться шляхом зміни магнітного потоку внаслідок коливань повного магнітного опору магнітного кола за рахунок зміни повітряного прозору.

При обертанні ротора магнітний потік постійного магніту розподіляється між обмотками з частотою, яка залежить від швидкості обертання і кількості зубів. Як наслідок цього, в обмотках з'являється індукована е.р.с.

Індукційні перетворювачі використовуються в приладах, які вимірюють швидкість обертання валів, а також у приладах для вимірювання лінійних та кутових вібрацій.

Принцип дії магнітопружних перетворювачів базується на зміні магнітної проникності феромагнітних тіл при зміні механічних напружень (магнітопружний ефект), що виникають в них під впливом механічних зусиль (розтягальних, стискальних, згинальних, скручувальних). Це в свою чергу, призводить до зміни індуктивності в обмотці, що розташована на осерді, або взаємній індуктивності між двома обмотками.

Існує і протилежне явище (магнітострикція), коли зовнішнє магнітне поле спричиняє механічне деформування феромагнітного тіла. Магнітострикція – це відносна зміна $\Delta l/l = \lambda$ довжини l стержня, під впливом зовнішнього

магнітного поля. Деякі феромагнітні тіла мають позитивну магнітострикцію, тобто збільшують свої розміри у магнітному полі, у деяких вона негативна, тобто ці тіла зменшують свої розміри. Крім того, магнітострикція та її знак залежать від матеріалу магнітного кола, його термообробки, температури та напруженості магнітного поля.

Типи магнітопружних перетворювачів можна поділити на дві основні групи. До першої відносяться перетворювачі, у яких використовується зміна магнітної проникності чутливого елемента в одному напрямку. До другої групи відносять перетворювачі, в яких використовується зміна магнітної проникності одночасно у двох взаємоперпендикулярних напрямках, інакше кажучи, магнітна анізотропія матеріалу чутливого елемента. Перетворювачі обох груп можуть працювати як індуктивні опори, які визначаються прикладеним до осердя механічним зусиллям, і як трансформаторні перетворювачі зі змінною взаємною індуктивністю між обмотками.

Як правило, магнітопружні перетворювачі призначаються для вимірювання великих зусиль (десятки тисяч ньютонів).

У ненавантаженому стані у магнітоанізотропного перетворювача, рис.2.23 силові лінії первинної обмотки розташовуються симетрично і не зчіплюються з вторинною обмоткою. Е.р.с. вторинної обмотки дорівнює нулю.

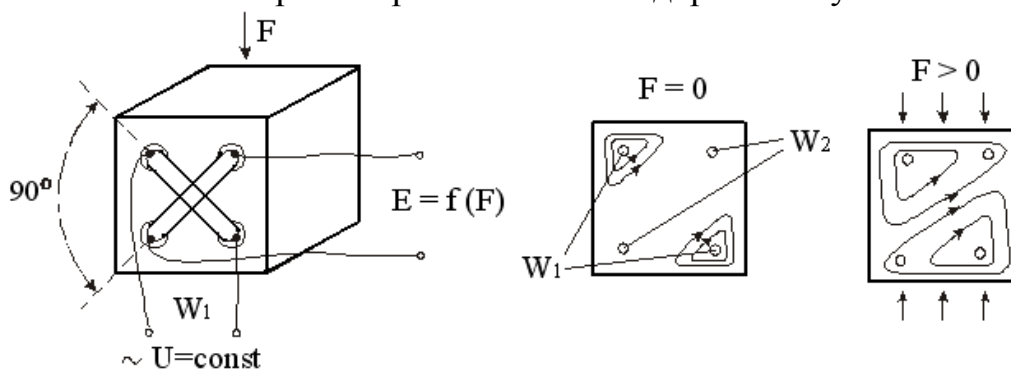


Рисунок 2.23– Магнітоанізотропний перетворювач

Після того, як сила F прикладена, змінюється магнітна проникність матеріалу, магнітне поле витягується у напрямку більшої проникності, стискується у напрямку меншої проникності і, зчіплюючись з вторинною обмоткою, індукуює в ній е.р.с., яка пропорційна прикладеному зусиллю F . При зміні знаку навантаження змінюється і фаза вихідного сигналу.

Магнітопружна похибка свідчить про невідтворюваність магнітного становища осердя перетворювача при його навантаженні та розвантаженні. При статичних навантаженнях перетворювачів вона більше, ніж при динамічних. Для зменшення магнітопружної похибки, осердя слід виготовляти з феромагнітного матеріалу з вузькою петлею магнітного гістерезисного циклу та високою мережею пружності.

Коливання температури перетворювача змінює опір обмотки в постійному струмі, початкову магнітну проникність. Усі ці зміни створюють температурну похибку перетворювача, яка може досягати 2 – 3% [6,7,8].

2.4.1 Приклади використання електромагнітних перетворювачів в технічних засобах автоматизації

Витратоміри сипких речовин Siemens Milltronics, рис.2.24, забезпечують точний вимір і облік продукції розмірами від порошкоподібних речовин до грануляту з діаметром гранул більш ніж 25 мм і густиною матеріалу від пшениці до залізняку. Діапазон виміру витратомірів від 200 кг/ч до 2000 т/ч.

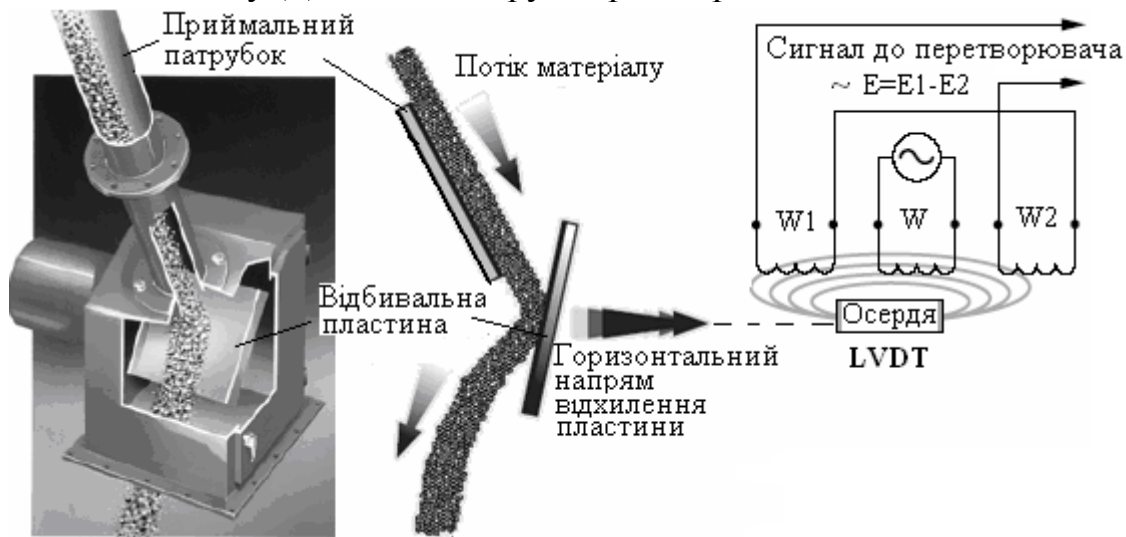


Рисунок 2.24 – Витратомір сипких речовин з чутливою пластиною і диференціальним трансформатором LVDT

Вимірювана речовина через приймальний патрубок потрапляє на чутливу пластину, відхиляє її і рухається безперешкодно далі. Горизонтальна складова цього відхилення перетворюється в електричний сигнал диференціальним трансформатором (коміркою типу LVDT). Сигнал з комірки передається на електронний вимірювальний перетворювач, на дисплеї якого безперервно відображуються значення витрати і сумарної кількості речовини. Оскільки вимірюється тільки горизонтальна складова сили, будь-які вертикальні зусилля, що виникають із-за налипань матеріалу на пластині поза областю падіння, не впливають на вимір[12].

Витратомір коріолісовий Метран-360R, рис.2.25, призначений для виміру масової і обчислення об'ємної витрати рідких і газоподібних середовищ.

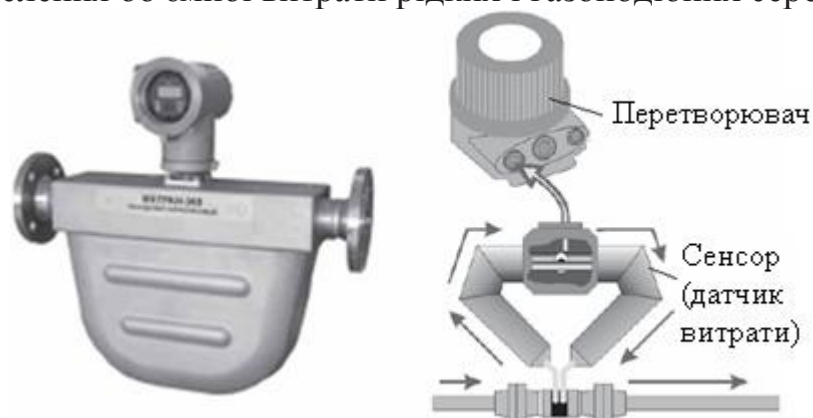


Рисунок 2.25 – Витратомір коріолісовий Метран-360R

Метран-360R складається з датчика витрати (сенсора), перетворювача і фланців для приєднання до магістралі. Основними елементами сенсора є дві витратомірні трубки, на яких монтується з'єднувальна коробка з силовою електромагнітною (задавальною) котушкою збудження і магнітом, два тензодатчики з магнітами й електромагнітними котушками та терморезистор.

Сенсор безпосередньо вимірює витрату, густину і температуру, а перетворювач конвертує отриману з сенсора інформацію в стандартні вихідні сигнали.

Вимірюване середовище, що поступає в сенсор, розділяється на рівні половини, що протікають через кожну з сенсорних трубок, рис.2.26.

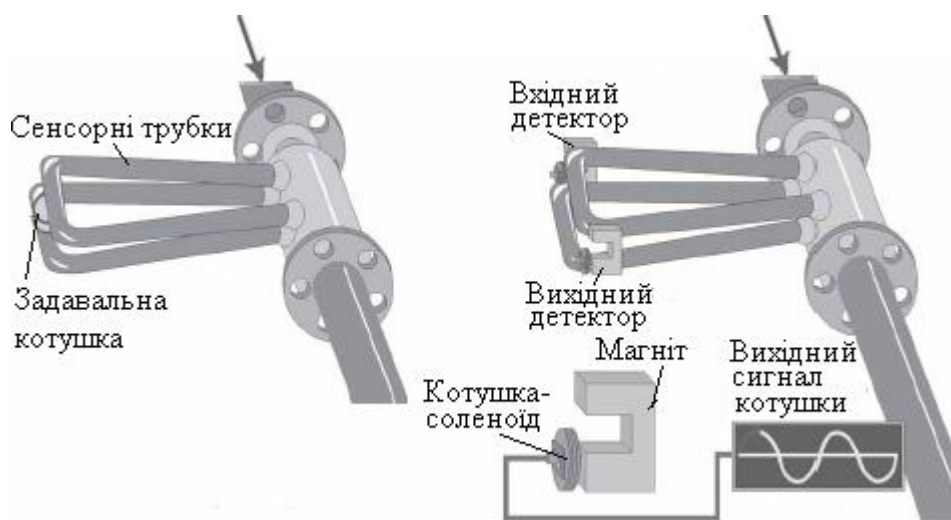


Рисунок 2.26 – Сенсор коріолісового витратоміру Метран- 360R

Рух задавальної катушки призводить до того, що трубки коливаються вгору-вниз в протилежному напрямі одна до однієї. Детектори у складі магнітів і котушок-соленоїдів встановлені на сенсорних трубках. Катушки змонтовані на одній трубці, магніти на іншій. Кожна катушка рухається крізь однорідне магнітне поле постійного магніту. Згенерована напруга від кожної катушки детектора має форму синусоїдальної хвилі. Коли витрата відсутня, синусоїдальні сигнали, що поступають з детекторів, знаходяться в одній фазі.

Коли вимірюване середовище протікає через сенсор виникає фізичне явище, відоме як ефект Коріоліса. Поступальний рух середовища в коливальному русі сенсорної трубки призводить до виникнення коріолісового прискорення, яке, у свою чергу, призводить до появи коріолісової сили. Ця сила спрямована проти руху трубки, наданого їй задавальною катушкою, тобто коли трубка рухається вгору під час половини її власного циклу, то для рідини, що поступає всередину, сила Коріоліса спрямована вниз. Як тільки рідина проходить вигин трубки, напрям сили міняється на протилежний. Таким чином, у вхідній половині трубки сила, що діє з боку рідини, перешкоджає зміщенню трубки, а у вихідній сприяє. Це призводить до вигину трубки. Коли в другій фазі вібраційного циклу трубка рухається униз, напрям вигину міняється на протилежний.

Сила Коріоліса і, отже, величина вигину сенсорної трубки прямо пропорційні масовій витраті рідини. Детектори вимірюють фазовий зсув при русі протилежних сторін сенсорної трубки. Як результат вигину сенсорних трубок, генеровані детекторами сигнали не співпадають по фазі. Пояснюється це тим, що сигнал, який поступає від вхідної сторони запізнюється по відношенню до сигналу з вихідного боку. Різниця в часі між сигналами ΔT вимірюється в мікросекундах і прямопропорційна масовій витраті. Чим більше ΔT , тим більше масова витрата. Коли витрата відсутня, синусоїдальні сигнали, що поступають з детекторів, знаходяться в одній фазі.

Співвідношення між масою і власною частотою коливань сенсорної трубки - це основний закон виміру гущини в коріолісових витратомірах. У робочому режимі задавальна котушка живиться від перетворювача, при цьому сенсорні трубки коливаються з їх власною частотою. Як тільки маса вимірюваного середовища збільшується, власна частота коливань трубок зменшується, відповідно, при зменшенні маси вимірюваного середовища, власна частота коливань трубок збільшується. Оскільки маса вимірюваного середовища в трубках дорівнює добутку гущини середовища на внутрішній об'єм, а об'єм трубок є також постійним для конкретного типорозміру, то частота коливань трубок може бути прив'язана до гущини середовища і визначена перетворювачем шляхом виміру періоду коливань[13].

Електромагнітні витратоміри SITRANS FM MAGFLO, рис.2.27, виробництва Siemens Instrumentation призначені для вимірювання потоку електропровідних рідин, а також суспензій, розчинів і паст. Температура, тиск, в'язкість і густина не впливають на результат вимірювання. Тверді частки, що потрапляють з середовищем виміру, також не спотворюють результат вимірювання.

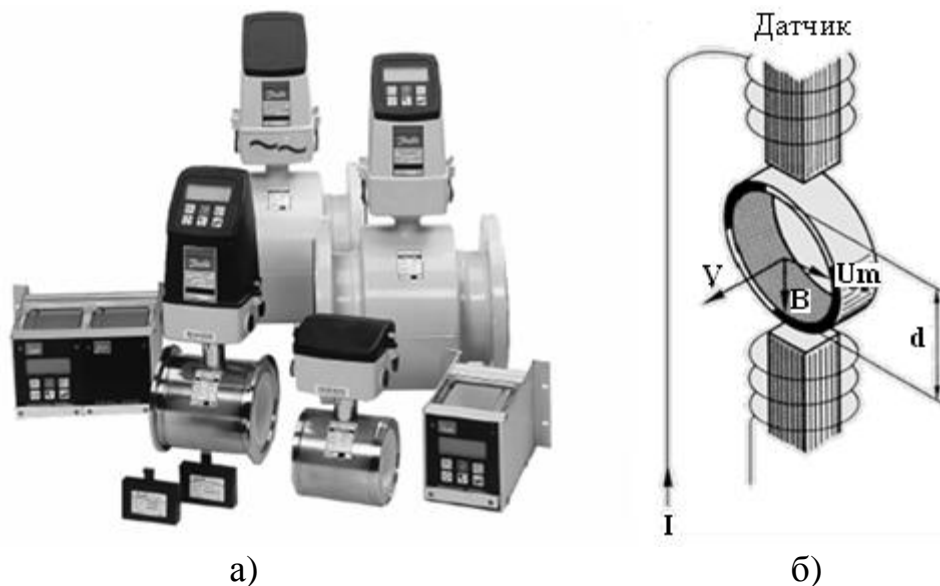


Рисунок 2.27 – Електромагнітні витратоміри SITRANS F M MAGFLO (а) і принципова схема датчика (б)

Принцип вимірювання витрати заснований на законі електромагнітної індукції Фарадея, за яким:

$$U_m = B \cdot v \cdot d,$$

де U_m - напруга, що виникає в електропровідному середовищі, яке рухається перпендикулярно магнітному полю; B - магнітна індукція; v - швидкість потоку речовини; d - внутрішній діаметр вимірювальної трубки.

Витратомір складається з датчика типу SITRANS F M MAG 1100 або 3100 і перетворювача сигналів типу SITRANS F M MAG 5000 або 6000. Датчик має трубу з нержавіючої сталі, дві котушки, два електроди, що врізані в трубу діаметрально протилежно і перпендикулярно напрямку потоку та ізольовані від труби за допомогою прокладок, а також корпус і з'єднувальні фланці. При подачі напруги на обмотку датчика в ній з'являється електричний струм і виникає електромагнітне поле, що пронизує вимірюване середовище. В результаті в речовині, що протікає, як рухливому провіднику, наводиться електрична напруга, що пропорційна витраті. За допомогою електродів ця напруга подається в перетворювач, де обробляється і видається у вигляді уніфікованого електричного сигналу. Вхідний опір перетворювача дуже високий, що дозволяє проводити виміри в рідинах з провідністю нижче 1 мС/см. Похибка вимірювання, що обумовлена ємністю кабелю, усувається шляхом його екранування[17].

Індуктивні датчики переміщення і положення для промислової автоматизації виробництва SICK визначають металеві об'єкти і розрізняють їх за формою і розміром. Конструкція об'єднує LC -генератор, схему обробки сигналу і комутуючий підсилювач. Котушка генератора створює високочастотне електромагнітне поле на чутливій поверхні датчика. При наближенні до неї металевого об'єкта утворюється вихоровий струм, напруга падає і зменшує частоту коливань генератора. Схема обробки сигналу перетворює цю інформацію в електричний сигнал[18].

2.5 Електрохімічні перетворювачі

У загальному випадку електрохімічний перетворювач являє собою електролітичну комірку з розчином, в якому містяться два або кілька електродів підключених до вимірювального кола. Як елемент електричного кола, комірка може характеризуватися е.р.с., яку вона розвиває, падінням напруги від струму, що проходить, опором, ємністю та індуктивністю.

Враховуючі залежність одного з цих електричних параметрів від вимірюваної неелектричної величини, можна створювати електрохімічні перетворювачі для вимірювання складу та концентрації рідких і газових середовищ, тиску, переміщення, швидкості, прискорення та інших неелектричних величин.

Електричні параметри комірки залежать від природи та складу розчину й електродів, хімічних перетворень у комірці, температури, швидкості переміщення розчину та інших величин. Зв'язки між електричними

параметрами електрохімічних перетворювачів і неелектричними величинами визначаються законами електрохімії.

При розчинюванні відбувається дисоціація – розщеплення молекул на додатні іони (катіони) та від’ємні іони (аніони). Речовини, що розщеплюються при розчинюванні на іони та утворюють електропровідні розчини, називаються електролітами. Під впливом електричного поля катіони рухаються до від’ємного електроду (катода), а аніони – до додатного електроду (аноду) та переносять електричні заряди. Електрична провідність чистої дистильованої води близька до нуля і збільшується при підвищенні концентрації розчинених в ній речовин.

Рухомість іонів значно залежить від температури розчинів, тому зі збільшенням температури провідність зростає.

Серед електрохімічних перетворювачів найбільш поширеними є електролітичні та гальванічні перетворювачі.

Принцип дії електролітичних резистивних перетворювачів базується на залежності опору електролітичної комірки від складу та концентрації електроліту, а також від геометричних розмірів комірки.

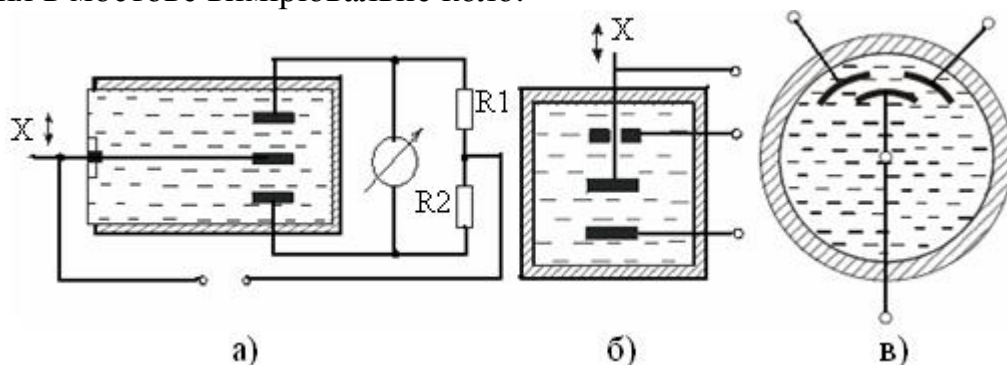
Опір стовпа рідини електролітичного перетворювача, визначається як:

$$R = \frac{r \cdot h}{S} = \frac{1}{g} \cdot K,$$

де $g = \frac{1}{r}$ – питома провідність електроліту; K – стала перетворювача, яка залежить від співвідношення його геометричних розмірів; h – висота стовпа рідини.

При постійній концентрації електроліту опір перетворювача може змінюватися від зміни відстані між електродами або від зміни перетину електроліту. На цьому базується дія електролітичних перетворювачів для вимірювання переміщень та деформації. Для зменшення температурної похибки електролітичні перетворювачі переміщення звичайно виготовляють диференційними.

На рис. 2.33 показані електролітичні перетворювачі переміщення та схема їх вмикання в мостове вимірювальне коло.



a – диференційний; б – лінійних переміщень; в – кутових переміщень

Рисунок 2.33 – Електролітичні перетворювачі переміщення

Два плеча мосту, рис.2.33а, створюються опорами диференціального електролітичного перетворювача, який має один рухомий електрод (середній) і два нерухомих. На рис.2.33б наведено електролітичний перетворювач лінійних, а на рис. 2.33в – кутових переміщень.

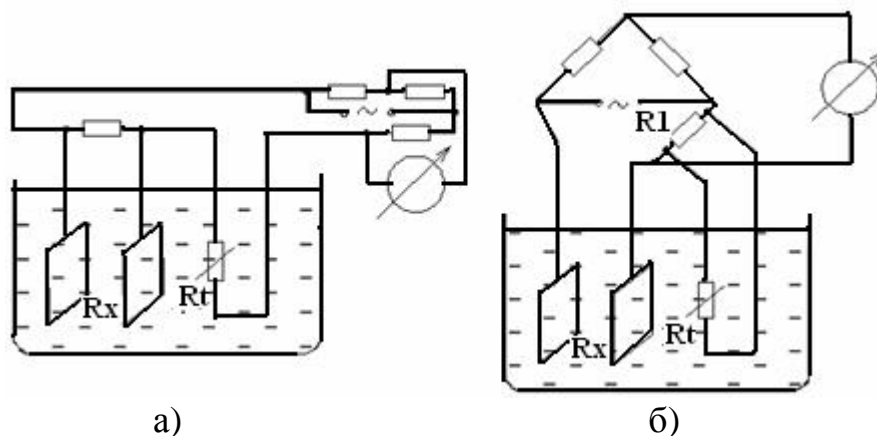
Електролітичні резистивні перетворювачі для вимірювання концентрації електролітів поділяються на контактні, електроди яких безпосередньо розміщуються в розчині, що контролюється, та безконтактні. Корпус контактного перетворювача звичайно виробляється із хімічно стійкого скла, а пластинчасті електроди вмикаються у вимірювальну схему.

Конструкція основи перетворювача забезпечує можливість вимірювання у проточній рідині при занурюванні у досліджувальний розчин і шляхом відбору проб. Мінімально необхідна кількість рідини для вимірювання концентрації – 6 – 7 мл.

У перетворювачах корекція залежності провідності електроліту від температури здійснюється двома шляхами – термостатуванням розчину та вимірювального перетворювача або автоматичною корекцією температурної похибки з використанням мідних, нікелевих, напівпровідникових та електролітичних терморезисторів, які поміщені у розчин, що контролюється, разом з вимірювальним перетворювачем.

Перший спосіб застосовується тільки в лабораторних умовах і в деяких перетворювачах, що використовуються для вимірювання концентрації солей у живильній воді та конденсованому парі парових котлів, а також у деяких типах газоаналізаторів, заснованих на вимірюванні провідності електролітів.

На рис. 2.34 показані схеми температурної корекції із застосуванням мідного (а) та напівпровідникового (б) терморезисторів.



а – із застосуванням мідного, б – напівпровідникового терморезисторів

Рисунок 2.34 – Схеми контактних перетворювачів з температурною корекцією

Мідний терморезистор звичайно з'єднують послідовно з вимірювальним перетворювачем. При використанні напівпровідникових та електролітичних терморезисторів, які мають від'ємний температурний коефіцієнт опору (за знаком такий, як і у електролітів), часто застосовуються мостові вимірювальні схеми, у суміжні плечі яких вмикається вимірювальний перетворювач R_x і

терморезистор R , (б). Для вирівнювання температурного коефіцієнту опору терморезистора у розчині паралельно елементу кола з великим температурним коефіцієнтом опору вмикається резистор з манганіну R_1 .

Градування приладів для вимірювання концентрації можна здійснювати за допомогою зразкових розчинів з відомою концентрацією або за допомогою магазину опорів.

Безконтактні електролітичні перетворювачі не мають контакту металевих електродів з електролітом, який спричиняє поляризацію та інші небажані взаємодії електрода та розчину. Вони поділяються на низькочастотні та високочастотні.

На рис. 2.35 показано схему низькочастотного перетворювача з рідинним витком, який пов'язує живильний 1 та диференціальний 2 трансформатори.

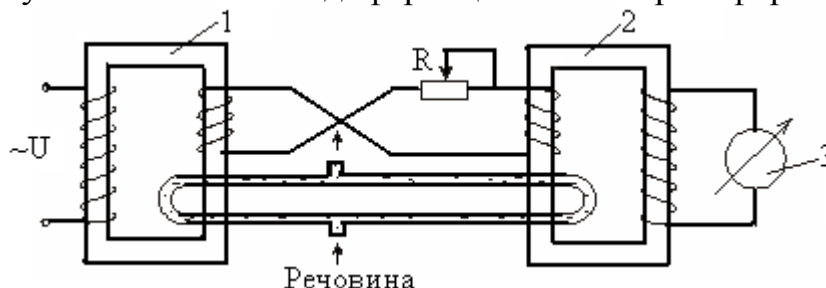


Рисунок 2.35 – Безконтактний електролітичний перетворювач

При початковій провідності розчину показчик за допомогою регульовального опору R встановлюється на нуль. При збільшенні провідності показання контролюючого приладу 3 відповідають вимірюваній концентрації розчину. Такі перетворювачі дозволяють вимірювати концентрації розчинів при температурі близько 100°C , питома провідність яких $10^{-4} - 100 \text{ См/м}$.

Високочастотні безконтактні перетворювачі, рис.2.36, поділяються на ємнісні та індуктивні.

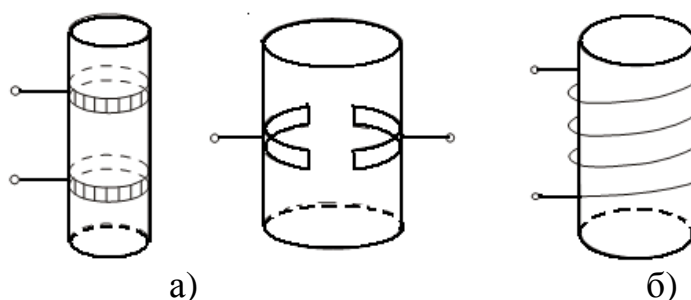


Рисунок 2.36 – Ємнісні (а) та індуктивні (б) високочастотні перетворювачі

Ємнісні перетворювачі, рис.2.36а, застосовуються для вимірювання концентрації розчинів з малою провідністю $10^{-6} - 1 \text{ См/м}$, а індуктивні, рис.2.36б, для розчинів з електропровідністю $10^{-3} - 100 \text{ См/м}$. Обкладки конденсатора або обмотка індуктивності розташовуються зверху тонкостінної заізолюваної труби з розчином, що контролюється. У занурюваних перетворювачах обкладки або обмотка розташовуються у середині закритої

трубки, яка поміщується в розчин. Перетворювач зазвичай вмикається у резонансний контур, що живиться від генератора з частотою в декілька десятків мегагерц. Вимірювання концентрації при цьому зводиться до вимірювання добротності контуру.

Найбільш поширеним різновидом гальванічних вимірювальних перетворювачів є перетворювачі рН-метрів, що застосовуються для вимірювання активності водневих іонів, за якою можна визначити склад і властивості розчинів.

Принцип дії гальванічних перетворювачів рН-метрів базується на залежності е.р.с. гальванічного кола від концентрації іонів в електроліті та окислювально-відновних процесів, що відбуваються на електродах.

Молекула води частково дисоціює на іони водню H^+ та іони гідроксиду OH^- , чим обумовлена електропровідність води. Дисоціація води відбувається за схемою $H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$. При цьому залишається сталою так звана

константа дисоціації: $K = \frac{a_{H^+} \cdot a_{OH^-}}{a_{H_2O}}$, де a_{H^+} , a_{OH^-} , a_{H_2O} – відповідно активності іонів H^+ , OH^- і води.

У розведених розчинах величину активності води a_{H_2O} можна вважати сталою, тоді добуток $K \cdot a_{H_2O}$ стає новою сталою, яка називається іонним добутком води: $K_{H_2O} = a_{H^+} \cdot a_{OH^-}$.

При 22°C іонний добуток води $K_{H_2O} = 10^{-14}$. У чистій воді або у нейтральному розчині активності H^+ і OH^- дорівнюють:

$$a_{H^+} = a_{OH^-} = \sqrt{K_{H_2O}} = 10^{-7} \text{ г-іон/л.}$$

Величина іонного добутку води $K_{H_2O} = a_{H^+} \cdot a_{OH^-}$ при даній температурі залишається сталою величиною не тільки для води, але і для будь-якого розчину, включаючи розчини кислот з надлишком іонів H^+ або луг з надлишком іонів OH^- . При цьому $a_{H^+} \neq a_{OH^-}$, тобто активності іонів H^+ і OH^- вже неоднакові.

Якщо у воді розчинити кислоту, то іонів H^+ стане більше, а іонів OH^- – менше (за рахунок возз'єднання частини утворених іонів H^+ з іонами OH^-), але добуток $a_{H^+} \cdot a_{OH^-}$ – залишиться рівним іонному добутку води. У кислих розчинах $a_{H^+} > a_{OH^-}$, а у лужних розчинах $a_{OH^-} > a_{H^+}$.

Таким чином, для характеристики розчину достатньо знати активність іонів водню, яку для зручності запису та обчислень характеризують від'ємним логарифмом активності іонів водню – показником рН.

$$pH = -\lg(a_{H^+}).$$

Прилади для вимірювання цього показника отримали назву – рН-метрів, а діапазон зміни рН-водних розчинів будь-яких речовин створює 0 – 14 одиниць.

Найбільш точним та універсальним методом вимірювання рН є електрометричний метод, тобто визначення електродних потенціалів різних електродів, які знаходяться у розчині, що містить іони водню.

Оскільки виміряти потенціал одного електрода неможливо, то гальванічний перетворювач завжди складається з двох напівелементів – вимірювального електрода, що поміщується у досліджувальний розчин, і допоміжного напівелемента, електродний потенціал якого повинен залишатися сталим. У гальванічних перетворювачах використовуються каломельний, бромсрібляний, хлорсрібляний та інші допоміжні електроди.

Як вимірювальні електроди, крім електрода водню, застосовуються хінглідний електрод, сурм'яний і найбільш поширений скляний електрод.

Скляний електрод являє собою кульову тонкостінну колбочку (мембрану), що знаходиться на кінці трубки зі спеціальних сортів скла. Колбочка заповнюється контрольним розчином якої-небудь солі або кислоти і занурюється у досліджувальний розчин, концентрацію якого потрібно виміряти.

Принцип дії скляного електрода ґрунтується на процесі іонного обміну. Коли скляний електрод поміщують у розчин, лужні іони скла (*Li* або *Na*) переходять у розчин, а з розчину їх місце займають більш рухомі іони водню. У результаті цього поверхневий шар скла стає насиченим водневими іонами і електрод набуває властивості водяного електрода.

Гальванічний перетворювач, рис. 2.37, зі скляним електродом звичайно складається зі скляного електрода 1 та двох допоміжних напівелементів 2 і 3, які використовуються для зняття потенціалу з внутрішньої та зовнішньої поверхні скляного електрода. У допоміжному напівелементі 2 для зняття потенціалу з внутрішньої поверхні найчастіше використовується хлорсрібляний мікроелектрод, який розташовано у середині скляного електрода.

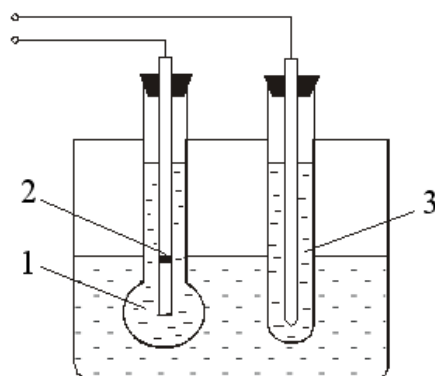


Рисунок 2.37– Гальванічний перетворювач

Скляний електрод 1 і каломельний напівелемент 3 поміщують у досліджувальний розчин. В середину скляного електрода, заповненого зразковим розчином з відомим значенням рН, наприклад, розчином HCl ,

вставлено допоміжний хлорсрібляний електрод 2. На виводах перетворювача виникає е.р.с., яка дорівнює алгебраїчній сумі потенціалів хлорсрібляного напівелемента, внутрішньої та зовнішньої поверхні скляного електрода та каломельного напівелемента. При зміні рН досліджуваного розчину змінюється тільки потенціал зовнішньої поверхні електрода, який залежить від активності іонів водню в розчині.

Характерною особливістю гальванічних перетворювачів зі скляними електродами є їх великий внутрішній опір, оскільки в нього входить опір скляної мембрани. Залежно від хімічного складу та товщини скляного електрода його опір дорівнює 0,5 – 1000 МОм. Опір скляного електрода значно залежить від температури. При зменшенні температури опір скляних електродів різко збільшується, що перешкоджає їх використанню при температурі нижче за 0°C.

Сталі часу скляних електродів знаходяться у межах 1–10 с. Час установа потенціалу збільшується при пониженні температури, зі зменшенням швидкості протікання розчину і при забрудненні електродів. Існують скляні електроди, які можуть використовуватися при температурі до 150°C. Основний вплив на точність вимірювання рН виявляють температурні похибки. Для їх зменшення використовують електричні кола температурної корекції[6,7,8].

2.5.1 Приклади використання електрохімічних перетворювачів в технічних засобах автоматизації

Аналізатор рідини кондуктометричний АЖК-3101М призначений для вимірювання і контролю питомої електричної провідності (ПЕП) розчинів солей, лугів і кислот. На основі відомих залежностей між ПЕП і концентрацією аналізованого компонента аналізатори можуть використовуватися як солеміри і концентратоміри.

АЖК-3101М, рис.2.38, це одноканальний засіб вимірювання, який складається з первинного перетворювача (ПП) і вимірювального приладу (ИП). Корпус ПП з вікном індикації має вибухонепроникну оболонку.

Первинний перетворювач і вимірювальний прилад аналізатора сполучені між собою трипровідною лінією зв'язку. Вимірювальний прилад забезпечує ПП живленням, гальванічною ізоляцією вхідного і вихідного сигналів, а також індикацію вимірянних значень ПЕП, температури і сигналізацію про вихід ПЕП за межі заданих уставок.

Первинний перетворювач складається з корпусу, в якому розміщено електронний блок, і контактного кондуктометричного датчика для вимірювання ПЕП аналізованої рідини.

Датчик має корпус 1 циліндричної форми, в якому встановлено хвостовик 11 з потенційним електродом 2, що затягнутий накидною гайкою 12. Аналізована рідина поступає в нижній вхідний штуцер 7 і витікає з бічного вихідного штуцера 7. До штуцерів накидними гайками 9 кріпляться ніпелі 8, які приварюються до трубопроводу з аналізованою рідиною. В процесі

вимірювання внутрішня поверхня корпусу датчика 1 є другим електродом. Датчик температури встановлений у хвостовику 11.



1-корпус датчика; 2-електрод; 3-електронний блок; 4-корпус; 5-стойка; 6-кришка; 7-штуцер; 8-ніпель; 9-гайка накидна; 10-датчик температури; 11-хвостовик; 12-гайка накидна; 13-кабельний ввід; 14,15-втулка гумова; 16-гайка; 17-прокладка

Рисунок 2.38 – Аналізатор рідини кондуктометричний АЖК-3101М

Електронний блок 3 у вигляді друкованої плати, встановлено в корпус 4. Корпус 4 з двох боків закривається кришками 6 з гумовими прокладками. Проводи лінії зв'язку підключаються до аналізатора через герметичний кабельний ввід 13.

Датчик і корпус електронного блока сполучені між собою стійкою 5, яка прикріплена до хвостовика 11 за допомогою гвинтової різі, а до корпусу електронного блока гайкою 16 через прокладку 17.

Принцип дії аналізатора заснований на вимірюванні електричної провідності рідини, яка знаходиться між електродами контактного датчика.

Напруга прямокутної форми і стабільної частоти з нульовим середнім значенням подається на електроди датчика. Активна складова електричної провідності аналізованої рідини перетворюється в постійну напругу, яка подається на вхід аналого-цифрового перетворювача. Вихідним сигналом АЦП являється імпульс струму, тривалість якого пропорційна вхідному сигналу, а значить концентрації досліджуваної рідини.

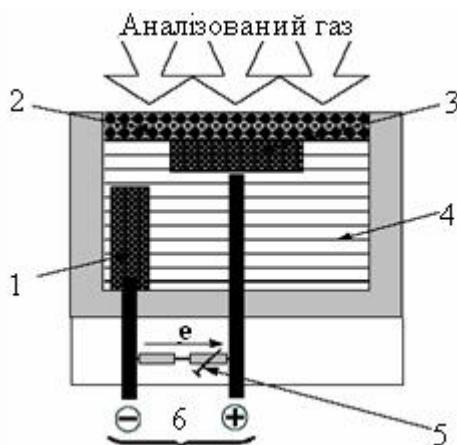
У зв'язку з тим, що рухливість іонів в рідинах істотно залежить від стану довкілля в аналізаторі передбачено датчик температури, електричний сигнал з якого коригує коефіцієнт перетворення АЦП. При цьому забезпечується приведення значення вихідного сигналу ПП до значення його вихідного сигналу при температурі аналізованої рідини[20].

Газоаналізатор ULTRAMAT-23 призначений для одночасного вимірювання максимум трьох інфрачервоночутливих компонентів газу і кисню. Для визначення концентрації використовуються два незалежних, вибірних принципи вимірювання - інфрачервоний та електролітичний.

Інфрачервоне вимірювання засноване на здатності газів, що містять у своєму складі два і більше різнорідних атомів, таких як CO, CO₂, NO, SO₂ або CH₄, поглинати промені інфрачервоного випромінювання. При цьому послаблення випромінювання залежить від довжини хвилі і відповідає концентрації газу.

Вміст кисню в газі вимірюється за допомогою електролітичного принципу, рис.2.39.

Вимірювальна комірка це ємність з електролітом (оцтова кислота), в якій знаходяться свинцевий анод і золотий катод. Кисень через кисневопропускну мембрану подається в електролітичну комірку, де на межі катод-електроліт відбувається його перетворення. В результаті струм, який протікає в електроліті і через опір навантаження, що увімкнено між електродами, змінюється, а падіння напруги на ньому характеризує концентрацію кисню в газі. Для автоматичної компенсації похибки, що обумовлена коливанням температури аналізованого газу, послідовно з опором навантаження підключено термоопір[21].



1 - свинцевий анод; 2 - кисневопропускну мембрана; 3 - золотий катод; 4 - електроліт (оцтова кислота); 5 - опір для термокомпенсації та навантажувальний опір; 6 - вихідний сигнал

Рисунок 2.39 – Вимірювальна комірка для кисню

Розробники японської компанії Nemoto створили нове покоління датчиків на чадний газ CO, які задовольняють всім сучасним вимогам безпеки. Електрохімічний датчик чадного газу NAP-505 має повністю відмінний від напівпровідникових компонентів принцип виявлення витоку. Нові датчики відрізняються високою ефективністю, надійністю і невеликою вартістю.

Електрохімічні датчики детектують гази шляхом вимірювання електричних параметрів, що створюються хімічною реакцією (окислення). У випадку з чадним газом утворюється така хімічна реакція:



Як видно з рис.2.40, монооксид вуглецю CO_{in} , проходячи скрізь газопропускну мембрану окислюється на вологому (H_2O) детекторному електроді, в результаті чого виникають іони водню $2H^+$.

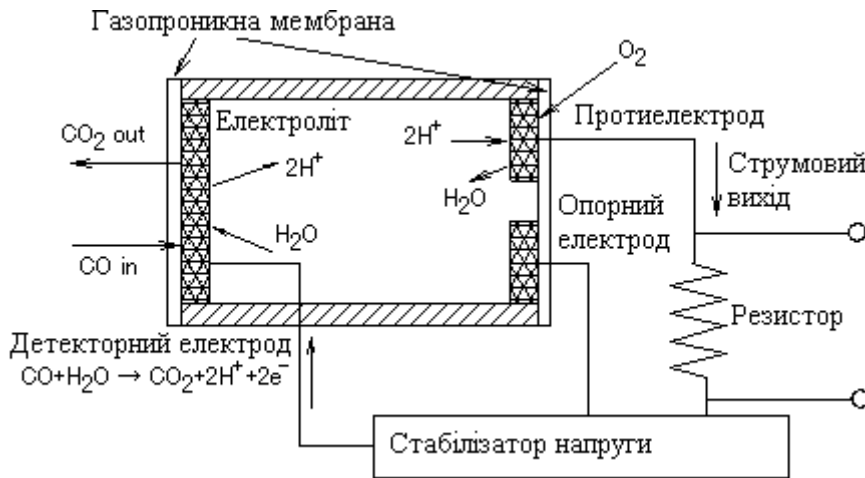


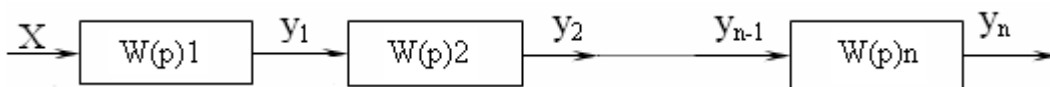
Рисунок 2.40 – Електрохімічний датчик чадного газу NAP-505

На протилежному електроді іони водню (на двох електродах утворюється рівна кількість іонів) вступають в реакцію з киснем, що поступає з навколишнього середовища скрізь іншу газопропускну мембрану, і утворюють воду. В результаті такої ланцюгової реакції виникає електричний заряд, величина якого відносно опорного електрода пропорційна концентрації газу. Струмовий вихід датчика на резисторі перетворюється у напругу, яка замірюється приладом з шкалою відградуваною у відсотках CO [22].

2.6 Структурна організація перетворювачів інформації

З точки зору структурної організації перетворювачі можуть бути побудовані у вигляді каскадного або послідовного, диференціального, логометричного та компенсаційного з'єднання.

Каскадне або послідовне з'єднання має вигляд:

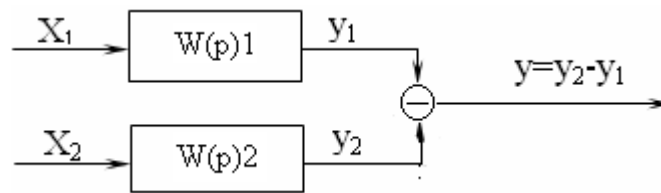


де $W(p)_1, \dots, W(p)_n$ – передавальні функції ланок вимірювального перетворювача.

Характерним є те, що вихідна величина кожної ланки є вхідною величиною наступної. Тоді $y_n = W(p)_1 \cdot W(p)_2 \cdot \dots \cdot W(p)_n \cdot x$. Якщо характеристики ланок лінійні, то і загальна характеристика перетворювача лінійна. Коли характеристики, наприклад двох ланок нелінійні, але функціональні залежності їх протилежні за своїм характером $y_1=f(x)$ і $y_2=f(y_1)$, тоді загальна характеристика перетворювача лінійна. Ця обставина використовується для лінеаризації характеристик датчиків.

Прикладом каскадного з'єднання ланок може бути манометричний термометр, який складається з балона, капіляра та манометричної пружини.

При диференціальному з'єднанні вихідні сигнали двох перетворювальних ланок віднімаються:



На входи ланок можуть бути подані різні величини сигналів X_1 і X_2 :

1) величина X_1 що контролюється, подається на вхід X_1 , а вхід X_2 залишається вільним;

2) так само, але на вхід X_2 подається постійна величина X_0 , яка забезпечує зсув нульової точки на X_0 ;

3) на входи X_1 і X_2 подається величина, що контролюється, але з різними знаками (використовується коли датчик має ланки з непарною характеристикою $f(-X) = -f(X)$);

4) на входи X_1 і X_2 подається контрольована величина з різними знаками і постійна величина X_0 , тобто $X_0 + X$ і $X_0 - X$ (використовується при ланках з парною характеристикою $f(-X) = f(X)$).

Основними перевагами диференціальної системи є те що:

- для всіх наведених варіантів вплив зовнішніх факторів (зміна напруги живлення, температури і та ін.) на точність перетворення однаковий для обох ланок, але компенсується він тільки в одній точці вихідної характеристики датчика – при $X_1 = X_2$ (компенсація 1^{го} роду). У решті точок вплив зовнішніх факторів пропорційний різниці $X_1 - X_2$;

- для варіанта (2) досягається зміщення нульової точки характеристики на X_0 , рис.2.41 б;

- для варіантів (3) і (4) досягається збільшення чутливості у 2 рази, рис.2.41а, б;

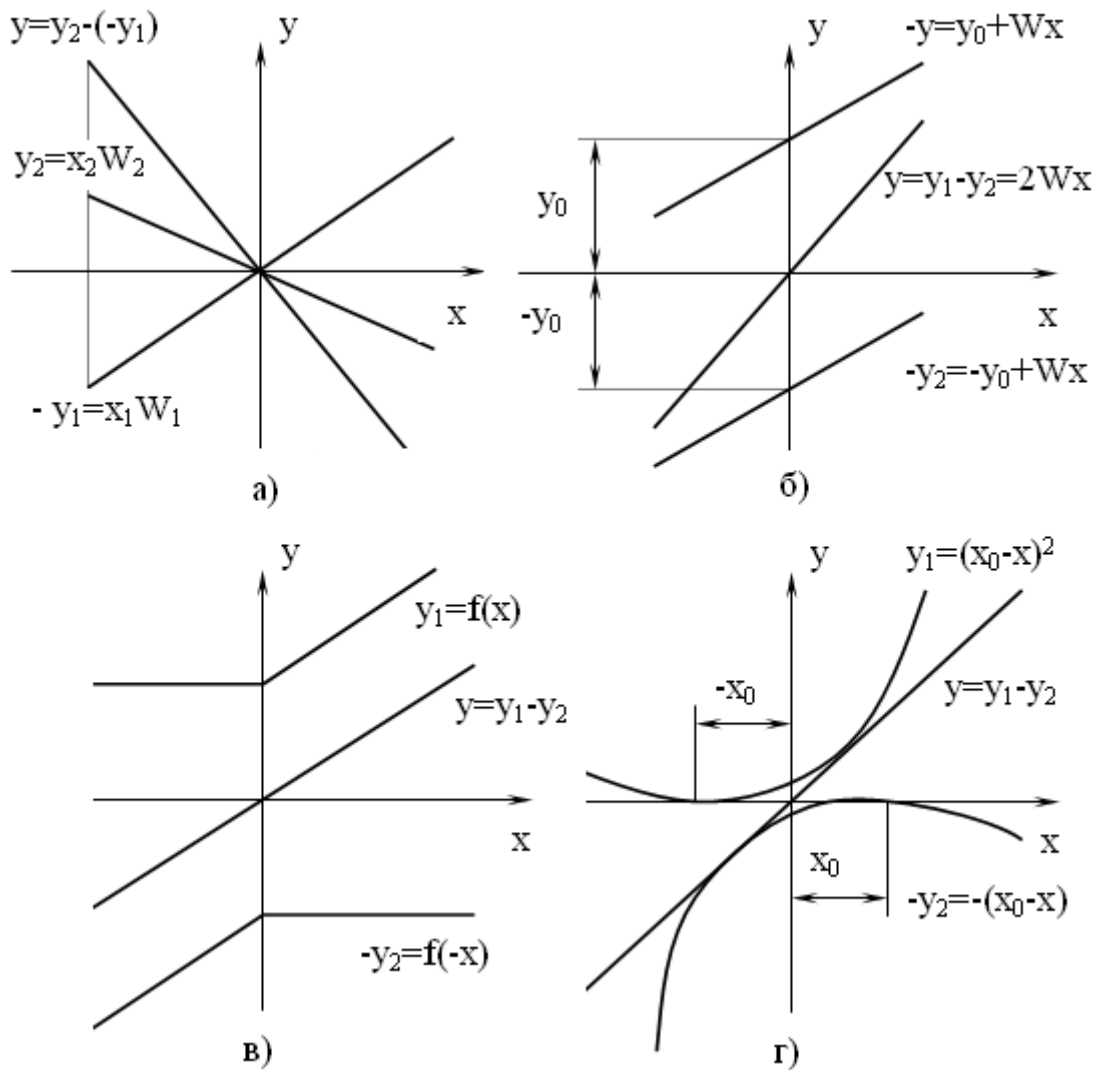
- можна отримати непарну характеристику (яка проходить через нульову точку) при двох ланках з однаковими несиметричними характеристиками та усунути сталу складову y_0 у вихідному сигналі, рис.2.41 б, в;

- для варіантів (3) і (4) можна здійснити лінеаризацію характеристики, якщо характеристики ланок нелінійні, але не мають перегинів на робочому відрізку;

- при наявності двох квадратичних характеристик, варіант (4), забезпечується повна лінеаризація вихідної характеристики перетворювача, оскільки:

$$y = y_1 - y_2 = (x_0 + x)^2 - (x_0 - x)^2 = 4 \cdot x_0 \cdot x.$$

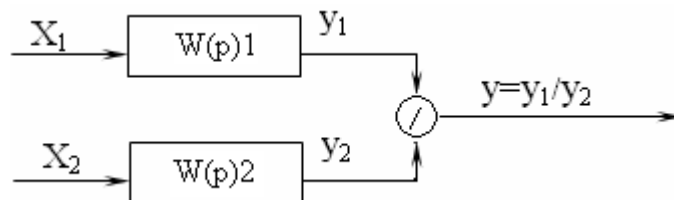
Прикладом диференційного датчика є диференційно-трансформаторний перетворювач.



а, б – з двома лінійними; в – з несиметричними; г – з квадратичними;

Рисунок 2.41 – Характеристики диференційних датчиків з ланками різних типів

При логометричному з'єднанні ланок вихідна величина пропорційна відношенню двох величин, одна з яких (або обидві) є функцією вхідної величини. За структурною схемою логометричний перетворювач відрізняється від диференційного тим, що ланка віднімання двох величин замінена ланкою ділення:



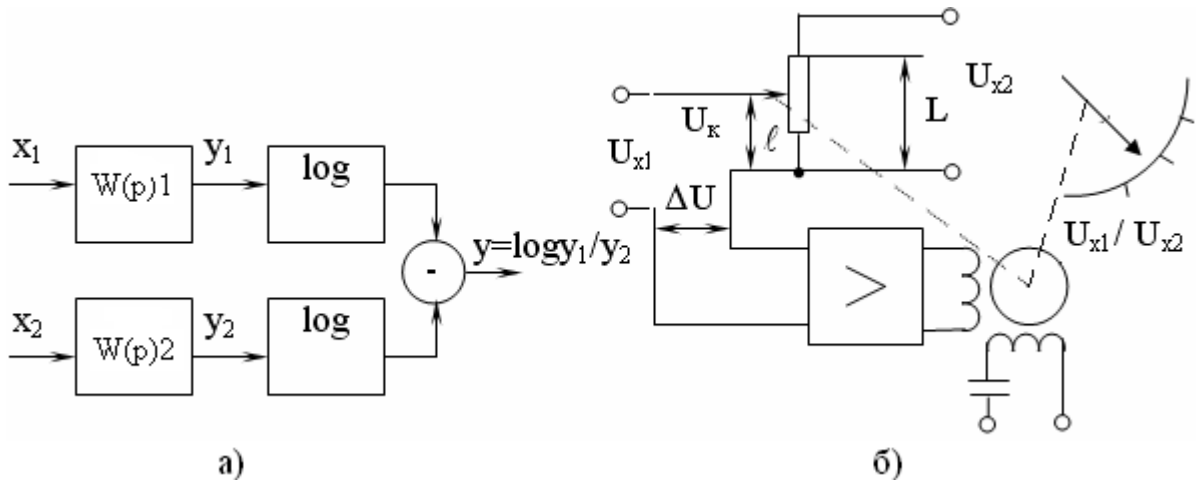
Основна перевага логометричної схеми полягає у тому, що більшість додаткових факторів, які однаково впливають на точність обох перетворювачів, може бути скомпенсована в усьому діапазоні змінювання вхідної величини.

$$\text{Якщо } y_1 = W(p)_1 \cdot y \cdot x_1; \quad y_2 = W(p)_2 \cdot y \cdot x_2,$$

$$\text{тоді } y = y_1 / y_2 = W(p)_1 \cdot x_1 / W(p)_2 \cdot x_2,$$

де ψ – множник, що відображає вплив зовнішніх факторів.

Найбільш відповідальною та важкореалізованою частиною логометричних датчиків є ланка ділення. На рис. 2.42 наведені два варіанти дільника.



а) за допомогою логарифмуючих ланок; б) з використанням електронного компенсатора.

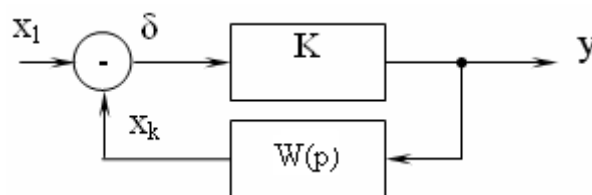
Рисунок 2.42 – Варіанти дільників

У варіанті (а) введені логарифмічні ланки, а замість ділення виконується віднімання, як у диференціальній схемі. При цьому вихідна величина дорівнює:
 $y = \log y_1 - \log y_2 = \log y_1 / y_2$.

Згідно з варіантом (б) ділення виконується за допомогою електронного компенсатора, на реохорд якого подається напруга U_{x2} .

Зворотний зв'язок (підсилювач та електродвигун) підтримує рівність $U_{x2} \approx U_k = U_{x2} \cdot \mathbf{1}/L$, де $\mathbf{1}/L$ - відносне зміщення повзуна реохорду. При цьому $\mathbf{1}/L \approx U_{x1}/U_{x2}$.

У компенсаторних перетворювачах вхідна величина X_1 (безпосередньо або після попереднього перетворення) компенсується іншою величиною X_k того ж роду:



Для здійснення безперервної компенсації перетворювач містить негативний зворотний зв'язок. Сигнал непогодження $\delta = x_1 - x_k$ підсилюється і подається на вхід ланки $W(p)$, яка здійснює компенсацію вхідного сигналу.

Відповідно до наведеної схеми $d = x_1 - x_k$; $y = K \cdot d$; $x_k = W(p)y$.

$$\text{Звідки } y = \frac{K}{1 + K \cdot W(p)} \cdot x_1 = \frac{x_1}{\frac{1}{K} + W(p)}, \text{ при } K \gg 1 \quad y = \frac{x_1}{W(p)}.$$

Характерними особливостями компенсаційного перетворювача є те що:

- за рахунок зворотного зв'язку обмінюється вхід і вихід ланки, тобто якщо не доводиться вибрати достатньо стабільний перетворювач величини M в N , то можна отримати ті ж самі результати, якщо взяти перетворювач N у величину M і увімкнути його як ланку $W(p)$ в компенсаційну схему;

- потужність вихідного сигналу визначається тільки потужністю підсилювача. Ланка у зворотному зв'язку може бути у будь-якому режимі роботи не залежно від потрібної вихідної потужності;

- при $\frac{1}{K} \ll W(p)$ точність компенсаційного перетворювача визначається тільки точністю ланки W . Нестабільність підсилювача K та інших ланок, увімкнених послідовно, мало впливає на точність перетворення;

- споживання енергії на вході компенсаційного перетворювача мінімальне, завдяки чому можна перетворювати зусилля майже без переміщення, переміщення – без витрати зусилля, напругу – без витрати струму і та ін.

Компенсаційний перетворювач, в якому ланка $W(p)$ і вхідна ланка K однотипні, тобто $K=W(p)$, має таку властивість, при якій вихідна величина дорівнює вхідній, але відрізняється більшою потужністю. Такого роду перетворювачі можуть бути названі як повторювачі[7].

Контрольні запитання до розділу 2

1. Що таке резистивні перетворювачі і на які види вони поділяються?
2. В яких резистивних перетворювачах вимірюване механічне переміщення перетворюється на замкнене або розімкнене становище контактів?
3. Що є вхідною величиною реостатних перетворювачів?
4. Чому ширина контактної поверхні повзуна реостатних перетворювачів дорівнює двом-трьом діаметрам дроту, який намотано на каркас?
5. Яку конструкцію має реостатний перетворювач?
6. Чим потенціометричний перетворювач відрізняється від реостатного?
7. В яких випадках потенціометричний перетворювач має лінійну статичну характеристику?
8. Як вихідне навантаження потенціометричного перетворювача впливає на форму статичної характеристики?
9. Яке явище лежить в основі роботи тензоперетворювача?
10. Для яких матеріалів коефіцієнт тензочутливості $K=2$?
11. Як визначається коефіцієнт тензочутливості?
12. Яке з наведених рівнянь визначає коефіцієнт деформації (тензочутливість) прямого дроту?

$$1) R = r \frac{l}{S} = r \frac{l^2}{V}; \quad 2) m = -\frac{e_b}{e_1}; \quad 3) K = 1 + 2\mu + m.$$

13. У чому різниця у виготовленні фольгових та плівкових тензорезисторів?

14. Приведіть приклад використання тензометричних перетворювачів для статичного і динамічного вимірювання ваги.
15. Які матеріали називаються п'єзоелектричними?
16. Яка вісь кристалу кварцу перпендикулярна оптичній і проходить крізь ребра?
17. Чому порушується електрична нейтральність кристала кварцу, коли уздовж осі X прикладається сила?
18. Чому, коли механічні напруження прикладені уздовж осі Y, на гранях п'єзоелемента, що перпендикулярні до неї, не утворюються поляризаційні заряди?
19. У чому суть прямого та протилежного п'єзоефекту?
20. Яку конструкцію має і, як працює вихороакустичний датчик витрати Метран-320, у складі якого є п'єзоелектричний перетворювач?
21. Що собою являє електростатичний перетворювач?
22. Яка різниця у роботі електростатичного перетворювача коли він працює у режимі заданого заряду або заданої напруги?
23. При яких частотах індуктивність та опір вводу суттєво впливають на роботу електростатичного перетворювача?
24. Як працює двопровідний рівнемір ємнісного типу NivoCAP CT – 200?
25. Яку будову має ємнісний сенсор у датчиках тиску серії 3051 виробництва Метран?
26. До якої групи перетворювачів відносяться індуктивні, взаємоіндуктивні, індукційні та магнітопружні перетворювачі?
27. Які перетворювачі називаються трансформаторними?
28. У чому різниця між індуктивними та індукційними перетворювачами?
29. У чому схожість тензорезисторів та магнітопружних перетворювачів?
30. Що таке магнітострикція?
31. Чому магнітопружний перетворювач реагує на зовнішній тиск?
32. На які групи можна поділити магнітопружні перетворювачі?
33. Як працює витратоміри сипких речовин Siemens Milltronics?
34. Які перетворювачі є у складі витратоміра коріолісового Метран-360R?
35. Що собою являють електрохімічні перетворювачі?
36. Чим відрізняються електролітичні та гальванічні перетворювачі?
37. Як здійснюється корекція залежності провідності електроліту від температури в електрохімічних перетворювачах?
38. За рахунок чого безконтактні електролітичні перетворювачі відчувають зміну концентрації контрольованого розчину?
39. У чому сутність електрометричного методу вимірювання рН?
40. Яка будова та принцип роботи аналізатора рідини АЖК-3101М?
41. У чому переваги диференціального з'єднання вихідних сигналів двох перетворювальних ланок?
42. У чому основна перевага логометричного з'єднання вихідних сигналів двох перетворювальних ланок?

3 РЕЛЕ ТА ПЕРЕМИКАЛЬНІ ПРИСТРОЇ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Релейні елементи систем автоматизації

До релейних елементів систем автоматизації (реле) належать пристрої, що перетворюють повільну зміну вхідної величини на ступінчасту зміну вихідної. Реле застосовують у системах автоматизації як елементи управління та захисту, дискретні датчики і підсилювачі, розмножувачі сигналів і логічні елементи, в електричних устаткуваннях, при автоматичному керуванні та регулюванні різних технологічних процесів.

Реле класифікують за видом фізичних величин, що надходять на вхід реле, – електричні та неелектричні; за призначенням - реле керування, захисту сигналізації і т. ін.; за принципом впливу на вихідне коло – контактні та безконтактні; за родом величини, на яку реагує реле, – реле струму, напруги, потужності, частоти, опору і т. ін.; за конструкцією – відкриті, із захисним чохлам, пилоблизкозахищені та герметичні.

Із електричних реле в сучасних дискретних системах автоматизації використовують електромеханічні реле, які є контактними пристроями та магнітні, електронні і напівпровідникові, які безконтактні.

У контактних реле ступінчаста зміна вихідної величини досягається замиканням або розмиканням вихідного кола; у безконтактних реле – шляхом різкої зміни параметрів вихідного кола (R, L, C).

Основною характеристикою реле є статична, що встановлює залежність вихідної величини y від вхідної x . Для статичних характеристик більшості реле характерним є наявність гістерезисної релейної петлі, яка пояснюється неоднозначністю характеристик при збільшенні та зменшенні вхідного сигналу.

Основні види статичних характеристик наведено на рис. 3.1, звідки видно, що при досягненні вхідною величиною x певного значення ступінчасто змінюється вихідна величина y .

На рис.3.1а,б наведені характеристики двопозиційних нейтральних реле, що не реагують на знак вхідного сигналу. При зміні вхідного сигналу від 0 до x_2 , рис.3.1а, реле не змінює свого стану. Коли вхідний сигнал досягає значення x_2 (параметр спрацьовування), вихідний сигнал y ступінчасто змінюється від y_{min} до y_{max} . Подальше збільшення вхідного сигналу не змінює величину вихідного сигналу, тобто $y=y_{max}$, а коли вхідний сигнал зменшується і досягає значення x_1 (параметр відпускання), вихідний сигнал ступінчасто змінюється від y_{max} до y_{min} .

Відмінністю пристроїв, що мають характеристики, як на рис.3.1б, є інвертування сигналу. Коли вхідний сигнал відсутній ($x < x_2$) – вихідний сигнал дорівнює y_{max} , а при $x > x_2$ він має мінімальне значення ($y=y_{min}$).

Характеристика двопозиційних релейних пристроїв, що мають два стійкі стана, наведено на рис.3.1в. При знятті вхідного сигналу ($x=0$) реле залишається у стані, який мало до цього. Відмінністю цієї залежності є її

реверсивний характер. Коли змінюється знак сигналу на вході, змінюється знак сигналу на виході.

На рис.3.1г,д наведені характеристики трипозиційних релейних елементів із зоною нечутливості, а на рис.3.1г, ще і з неоднозначною залежністю сигналу на виході від вхідного сигналу.

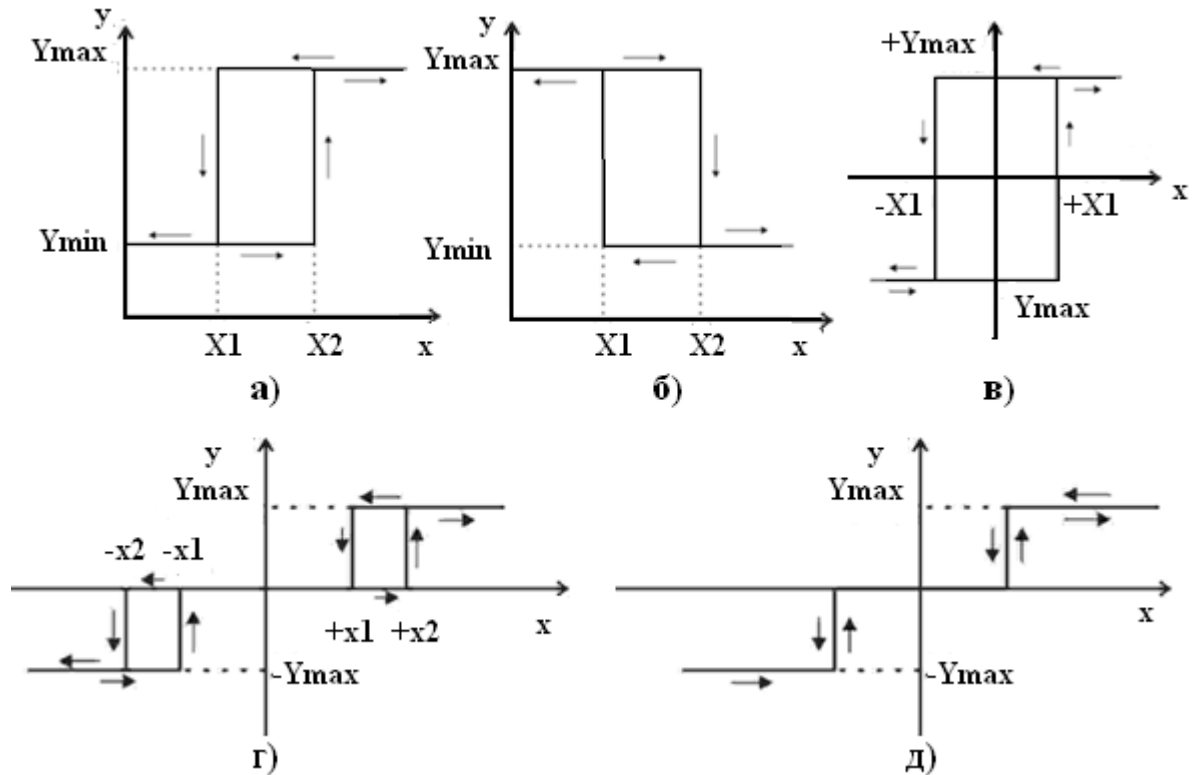


Рисунок 3.1 – Види статичних характеристик релейних елементів

До основних характеристик реле також відносяться:

- потужність спрацьовування – це мінімальна потужність, яку споживає обмотка реле при спрацьовуванні;

- вихідна потужність – це добуток максимального струму, що вимикається, на напругу джерела живлення вихідного кола;

- час спрацьовування – це час від моменту подачі на вхід реле керувального сигналу до появи (зникнення) сигналу на виході (замикання або розмикання вихідних контактів);

- час відпускання – це час від моменту зняття вхідного сигналу до розмикання (замикання) вихідних кіл, він дорівнює часу зрушування та часу прямування якоря;

- коефіцієнт повернення реле – це відношення параметра відпускання реле до параметра спрацьовування. Коефіцієнт повернення характеризує відносну ширину релейної петлі статичної характеристики;

- коефіцієнт управління (підсилення) – відношення максимального значення вихідного сигналу до вхідного при спрацьовуванні.

При виборі реле беруть до уваги всі характеристики та параметри, надаючи перевагу тим, що в найбільшому ступені задовольняють вимогам пристрою, який розробляється і умовам його експлуатації[7,19].

3.1.1 Електромеханічні реле

Електромеханічні реле – найбільш поширені пристрої. Особливістю їх конструкції є наявність рухомої системи, яка спричиняє замикання або розмикання вихідних контактів при впливі вхідного сигналу. Електромеханічні реле за принципом дії поділяють на електромагнітні, магнітоелектричні, індукційні та теплові. Найбільшого застосування в системах автоматики знаходять електромагнітні реле, які залежно від джерела живлення бувають постійного та змінного струму.

Реле постійного струму поділяють на нейтральні та поляризовані. Нейтральні реле не реагують на знак вхідного сигналу, в той час як поляризовані реле, які мають реверсивну статичну характеристику, реагують на полярність сигналу, що надходить на вхід цього реле.

3.1.1.1 Електромагнітні реле постійного струму

Принцип дії електромагнітних нейтральних реле засновано на взаємодії магнітного потоку, що створюється струмом у обмотці реле з рухливим якорем.

Електромагнітні реле виготовляють з поворотальним якорем клапанного типу, рис.3.2а, втяжним якорем соленоїдного типу, рис.4.3б, і з магнітокерованими контактами, рис. 3.2в.

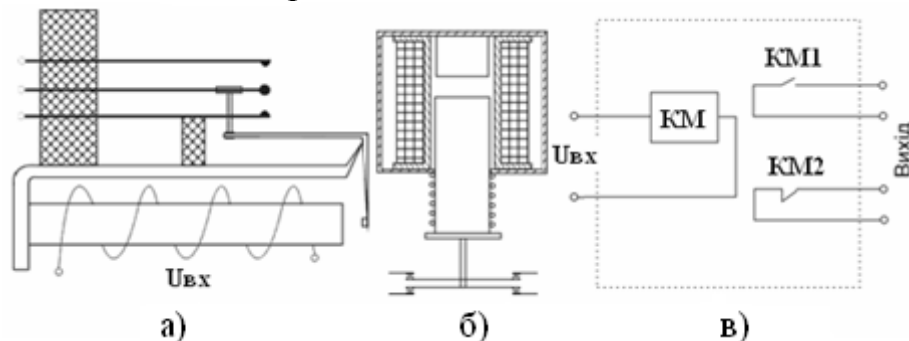


Рисунок 3.2 – Електромагнітні реле клапанного (а) та соленоїдного (б) типів і з магнітокерованими контактами (в)

У конструкціях електромагнітних реле різних типів загальним є наявність електромагніту, який складається із сталевого магнітопроводу (осердя з якорем) і обмоток, а також контактних груп і пружин. У реле з магнітокерованими контактами якір відсутній.

В електромагнітних реле з рухомим якорем струм, що виникає у обмотці реле за наявності $U_{вх}$, створює у магнітопроводі магнітне поле, яке намагнічує рухливий якір. Електромагнітні сили, що при цьому виникають, долають натяг пружин і забезпечують повертання або втягування якорю та перемикавання контактів. При переміщенні якоря реле електромагнітною

(тяговою) силою Fe здійснюється робота за рахунок енергії магнітного поля

$$\text{магніту } Fe = \frac{B^2 S}{2\mu_0},$$

де B – індукція у магнітному повітряному прозорі;

S – переріз повітряного прозору;

μ_0 – магнітна проникність повітря.

Оскільки $B = \Phi/S$; $\Phi = \mu_0 i W S / \delta$, тоді

$$Fe = \frac{(iW)^2}{2} \cdot \frac{\mu_0 S}{S^2},$$

тут i – струм; W – кількість витків у обмотці реле; S – довжина робочого повітряного прозору.

На рис. 3.3 приведені статичні тягові характеристики електромагнітних реле.

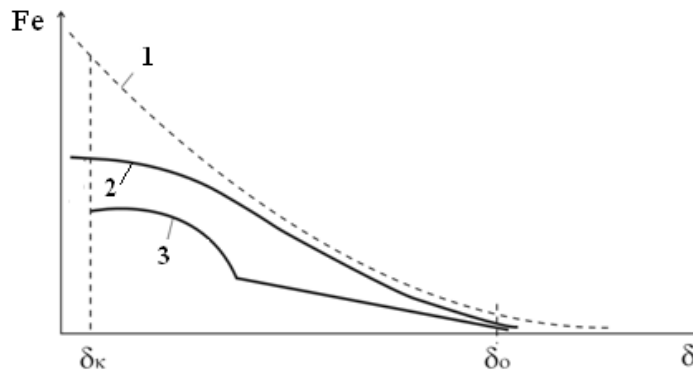


Рисунок 3.3 – Характеристики електромагнітних реле

Теоретичну характеристику 1 побудовано згідно з виразом для сили Fe . Реальна тягова характеристика 2 реле у робочій частині (відрізок $\delta_0 - \delta_k$) близька до теоретичної і відрізняється від неї при великих та малих прозорах. Це пояснюється тим, що вираз для Fe не враховує на потоки розсіювання та магнітний опір сталевого магнітопроводу реле. Статична тягова характеристика $Fe = f(\delta)$ повинна бути такою, щоб при усіх прозорах тягова сила Fe мала значення більше, ніж сумарні механічні сили спротиву $F_{мех}$ повертальних і контактних пружин, що визначаються механічною характеристикою $F_{мех} = f(\delta)$ (крива 3).

При вимиканні обмотки реле $F_{мех} > Fe$, механічні сили пружин вертають якір у вихідний стан ($\delta = \delta_0$). Щоб притягнений якір не приставав під впливом залишкового магнетизму на якорі установлюють немагнітні прокладки або штифти. Тому, при втягнутому якорі прозор $\delta_k \neq 0$. Завдяки немагнітним прокладкам і штифтам збільшується магнітний опір магнітопроводу реле та зменшується магнітний потік. Це знижує зусилля, що утримує якір, і повертає його у вихідний стан.

При появі на вході реле керувального сигналу, а також при його зникненні в обмотці збудження виникають складні перехідні процеси, які відбиваються на його роботі. Для їх аналізу та отримання результатів для практичних розрахунків не враховують вихрові струми та гістерезис. При цьому вважають, що крива намагнічування має лінійний характер.

Процес спрацьовування реле складається з двох станів – зрушування та прямування якорю, тому час спрацьовування реле t_{cnp} складається з двох складових – часу зрушування та часу прямування $t_{cnp}=t_{зр}+t_{пр}$. Протягом першого етапу після підведення напруги U струм у обмотці і магнітний потік Φ , а також електромагнітна сила Fe збільшуються до величин, при яких Fe досягає значення протидієвої механічної сили. На цьому етапі якір нерухомий, а перехідний процес визначається процесом в обмотці реле при постійній індуктивності L .

Рівняння електричної рівноваги реле при нерухомому якорі і $L=const$ буде таким:

$$U = iR + L \frac{di}{dt}.$$

Розв'язання цього рівняння визначає закон зміни струму протягом часу:

$$i(t) = \frac{U}{R} \left(1 - \exp^{-\frac{t}{T_1}} \right) = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}} \right),$$

де R – активний опір обмотки реле; $T_1=L_1/R$ і L_1 – відповідно стала часу та індуктивність обмотки реле при початковому прозорі δ_o .

Залежність $i(t)$ на першому етапі (зрушування) зображено на рис.3.4 частиною *oa*.

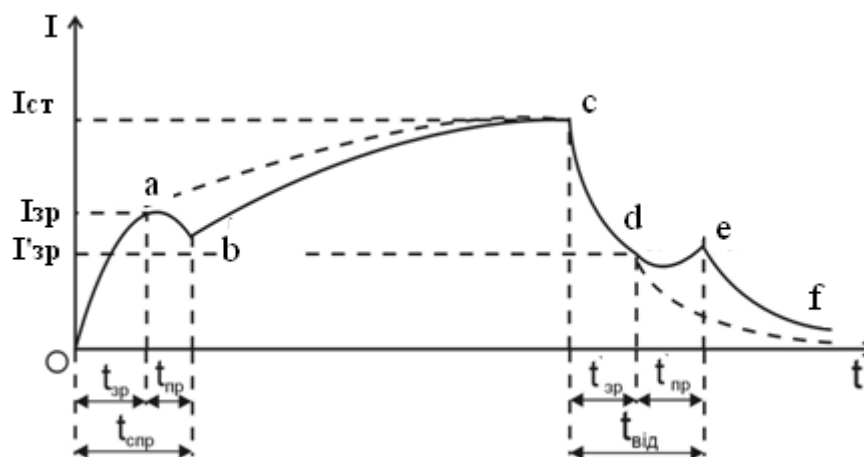


Рисунок 3.4 – Зміна струму у обмотці при увімкненні та вимкненні реле

Оскільки цей етап закінчується при $i=i_{зр}$, то з виразу для $i(t)$ можна знайти час зрушування при спрацьовуванні реле:

$$\ln i = \ln \frac{U}{R} - \ln \left(\frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} \right) = \ln \frac{U}{R} - \ln \frac{U}{R} + \frac{t}{T_1} \text{ або}$$

$$T_1 \left(\ln i - \ln \frac{U}{R} + \ln \frac{U}{R} \right) = t, \text{ тоді}$$

$$t_{зр} = T_1 \ln \frac{U/R}{U/R - i_{зр}} = T_1 \ln \frac{1}{1 - i_{зр}/i_{см}},$$

де $i_{см} = U/R$ – струм в обмотці реле при сталому режимі.

Приблизне значення струму зрушування $i_{зр}$ при спрацьовуванні реле згідно з виразом для Fe , коли $Fe = F_{мех}$, буде таким:

$$i_{зр} \approx \frac{\delta_o}{W} \sqrt{\frac{2F_{мех}}{\mu_o S}}.$$

В електромагнітних реле параметр спрацьовування $i_{зр}$ регулюється зміною $F_{мех}, \delta_o, W$.

Другий етап процесу спрацьовування реле (етап прямування) характеризується зменшенням прозору між осердям і рухомим якорем. Це призводить до збільшення індуктивності обмотки реле.

Рівняння електричної рівноваги реле при прямуванні якоря та $L = var$ має вид:

$$U = iR + L(\delta) \frac{di}{dt} + i \left(\frac{dl}{dt} \right) \left(\frac{d\delta}{dt} \right).$$

Відповідно до цього рівняння прямування якоря і в наслідок цього зміна L зводять до зменшення струму (частина ab , рис.3.4) та електромагнітній сили Fe . Тільки якір притягнеться до осердя, індуктивність перестане змінюватися і струм починає зростати (частина bc , рис.3.4) при іншому значенні сталої часу $T_2 = L_2/R$, де L_2 – індуктивність обмотки реле при втягнутому якорі ($\delta = 0$).

На підставі рівняння прямування якоря реле $Fe - F_{мех} = m \frac{d^2 x}{dt^2}$ можна визначити час його руху при спрацьовуванні реле, враховуючи те, що при нульових початкових значеннях $Fe - F_{мех} = const$.

Тоді

$$t_{np} = \sqrt{\frac{2mx}{Fe - F_{мех}}},$$

де m – маса якоря; x – переміщення якоря; $Fe, F_{мех}$ – відповідно, електромагнітна тягова та механічна протидієва сили.

При вимиканні реле та замиканні обмотки накоротко струм в неї спадає за експонентою $i(t) = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{T_2}}$.

Зменшення струму при втягнутому якорі відповідає частині cd , рис.3.4. Струм в реле швидко спадає від сталого значення i_{cm} до значення струму зрушування при відпущенні i'_{zp} . В наслідок зменшення електромагнітної тягової сили при $Fe < F_{max}$ якір починає рухатися. Збільшується прозор δ між якорем і осердям та зменшується індуктивність обмотки L , що призводить до зростання струму (частина de , рис.3.4). Після повного відпускання якоря (точка e) струм реле буде зменшуватися за експонентою зі сталою часу $T = L / (R + R_i)$, де R_i – опір іскрового проміжку між контактами, що розривають коло обмотки.

Час відпускання також, як і час спрацьовування реле, складається з часу зрушування при відпусканні та часу прямування:

$$t_{від} = t'_{zp} + t'_{np}$$

Час зрушування при відпусканні можна визначити з формули для $i(t)$ після її логарифмування:

$$\ln i(t) = \ln \frac{U}{R} - \frac{t}{T_2}, \quad \text{звідки} \quad t'_{zp} = T_2 \ln \frac{i_{cm}}{i'_{zp}}.$$

Час прямування якоря при відпусканні реле можна приблизно визначити з рівняння для t_{np} при спрацьовуванні реле, якщо прийняти $Fe = 0$ [7,19].

Без'якірні електромагнітні реле з магнітокерованими контактами часто застосовують в системах релейної автоматики поряд з електромагнітними реле, що мають рухливий якір. Магнітокеровані контакти (МК), які також мають назву геркони (герметизовані контакти), рис.3.5а,б,в, являють собою скляну ампулу, заповнену інертним газом (вакуумні геркони).

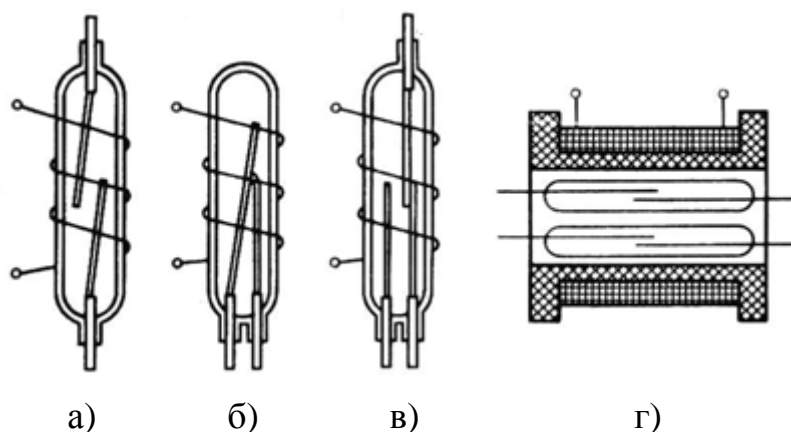


Рисунок 3.5 – Реле з магнітокерованими замикальними (а), розмикальними (б), перемикальними (в) контактами та усередені котушки

В ампулу впаяні тонкі пружні феромагнітні пластини, які виконують одночасно роль контактів пружних елементів і частини магнітопроводу. При поданні сигналу на вхід реле струм у обмотці створює магнітний потік, що замикається усередині обмотки з феромагнітними пластинами. Пластини намагнічуються і набувають протилежної полярності. Внаслідок у прозорі між феромагнітними пластинами виникають сили притягання, які, долаючи протидію пружних сил, забезпечують замикання пластин – контактів і появу сигналу на виході,

рис.3.5а. При знятті вхідного сигналу струм і магнітний потік зменшуються до нуля, а пластини - контакти вертаються у вихідне положення. Для зменшення перехідного опору контактів на кінці пластин-контактів наноситься шар срібла, золота, родію. Цей шар виконує також роль немагнітної прокладки, яка не допускає приставання контактів.

Герметизація контактів, заповнення ампул інертним газом(азотом, аргон) або створення в них вакууму, а також застосування благородних металів забезпечують високу надійність реле з магнітокерованими контактами. Геркони мають великий термін служби. Кількість спрацьовувань досягає $10^6 - 10^9$. Завдяки малій відстані між контактами та малій інерційності пластин - контактів реле з МК - досить швидкодієві елементи ($t_{сп} = 0,5 - 2,0$ мс).

Промисловість випускає різноманітні магнітокеровані контакти-геркони із замикаючими, розмикаючими і перемикальними контактами, рис.3.5а-в, а також реле з магнітокерованими контактами у середині котушки, де можуть знаходитися один або декілька герконів, рис.3.5г. Керуються геркони магнітним полем, яке створюється котушкою зі струмом або постійним магнітом.

Реле на МК призначені для використання в схемах автоматизації як проміжні реле, реле захисту та запам'ятовувальні елементи[7,19].

Поляризовані електромагнітні реле – це різновид електромагнітних реле постійного струму, що реагують на величину і знак вхідного сигналу. У магнітному колі цих реле поряд з робочим потоком Φ_p діє спеціальний магнітний потік Φ_n , що підмагнічує (поляризує).

Поляризовані реле розрізняють залежно від конструкції магнітопроводу, кількості обмоток і джерела поляризувального потоку.

На рис.3.6а показано будову поляризованого реле з диференційною магнітною системою. У магнітопроводі 3 реле є робочий магнітний потік Φ_{po} , зчеплений з обома обмотками і магнітний потік Φ_n , що поляризує, постійного магніту 2, який розгалужується на Φ_{n1} і Φ_{n2} .

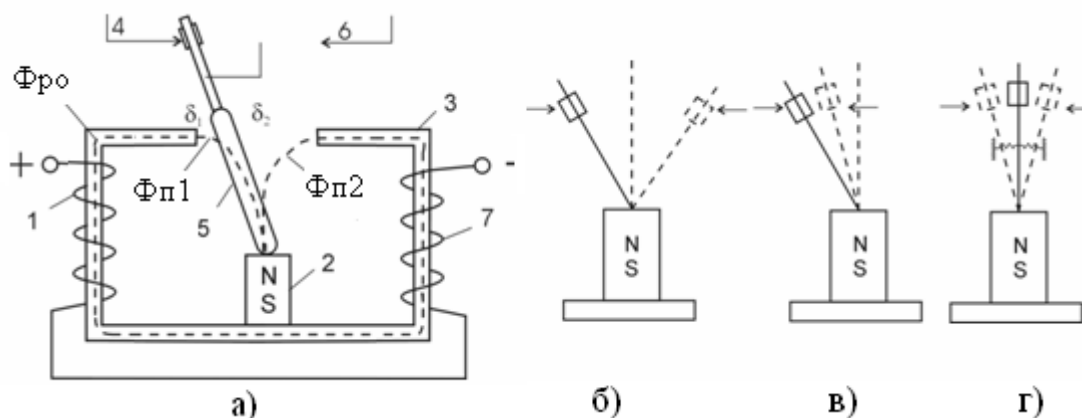


Рисунок 3.6 – Поляризоване реле з будь-яким положенням якоря (а,б), з перевагою одного з положень якоря (в) і з трипозиційним положенням (г)

У вихідному стані, коли вхідного сигналу немає ($U_{ex} = 0$), якір реле 5 повернутий ліворуч або праворуч до замикання вихідних контактів 4 і 6,

оскільки ці положення стійки. Якщо якір повернутий ліворуч, то магнітні потоки у прозорах δ_1 і δ_2 відповідно дорівнюють $\Phi_1 = \Phi_{n1}$, а $\Phi_2 = \Phi_{n2}$. Оскільки повітряний прозір $\delta_1 < \delta_2$, то $\Phi_1 > \Phi_2$ і підсумкова магніторушійна сила (м.р.с.) утримує якір у лівому положенні. При поданні на вхід реле сигналу, магнітні потоки змінюються у зв'язку з появою м.р.с. робочих обмоток. Залежно від знака вхідного сигналу змінюється напрямок м.р.с. робочих обмоток, а також потоків у прозорах δ_1 і δ_2 . Коли на вхід реле подано сигнал позитивної полярності, то робочий потік Φ_{po} буде мати напрямок, показаний на рис.3.6а. Підсумковий магнітний потік у лівому прозорі Φ_1 дорівнює різниці, а у правому прозорі Φ_2 – сумі робочого і поляризувального потоків, тобто $\Phi_2 > \Phi_1$.

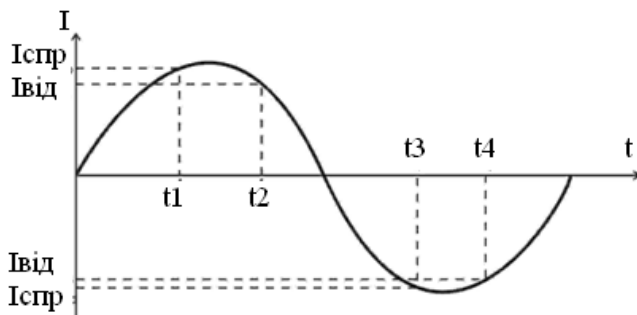
При вхідному сигналі, достатньому для спрацьовування, якір реле переміститься праворуч. Це призведе до перемикання контактів 4 і 6. При знятті вхідного сигналу якір під впливом сил, обумовлених Φ_n , залишиться у правому положенні (реле "запам'ятовує" попередній стан). Для повернення якоря у вихідний стан необхідно подати на вхід реле сигнал протилежного знаку (негативної полярності). Шляхом налагодження здійснюють різні режими роботи поляризованих реле. Прикладом двопозиційного настроювання з будь-яким положенням якоря є робота поляризованого реле, що розглянута на рис.3.6а,б. Якір реле займає одне з двох стійких положень. При двопозиційному настроюванні з перевагою одного з положень якоря, наприклад, лівого, рис.3.6в, один з контактів, висунутий уперед таким чином, щоб при спрацьовуванні якір не переміщувався за нейтраль реле. При відсутності вхідного сигналу якір знаходиться в одному положенні, оскільки магнітний потік $\Phi_{n1} > \Phi_{n2}$ ($\delta_1 < \delta_2$). Реле спрацьовує при одному і тому ж напрямку вхідного сигналу.

При трипозиційному настроюванні, рис.3.6г, якір при відсутності вхідного сигналу утримується у середньому положенні за допомогою пружин. При поданні на вхід сигналу він повертається праворуч або ліворуч залежно від полярності вхідного сигналу. Зняття сигналу заперечує його повернення у середнє (нейтральне) положення.

Поляризовані реле випускають різної напруги та струму. Завдяки високій чутливості ($P_{cnp} = 10^{-5} - 10^{-12}$ Вт), швидкодії ($t_{cnp} = 1-3$ мкс), реверсивним статичним характеристикам їх широко застосовують у пристроях і схемах автоматики[7,19].

3.1.1.2 Електромагнітні реле змінного струму

Вмикання обмотки нейтрального електромагнітного механізму в коло змінної синусоїдної напруги призведе до того, що тягове зусилля (при відсутності насичення) буде також змінюватися за синусоїдним законом. Якір притягнеться тільки тоді, коли струм досягне значення I_{cnp} . Тому, якщо вмикання відбулося в момент переходу струму через нуль, то тільки в момент tI , якір почне прямувати. Потім, коли струм зменшиться до величини $I_{від}$, сила, що затримує якір виявиться недостатньою, і він відпуститься.

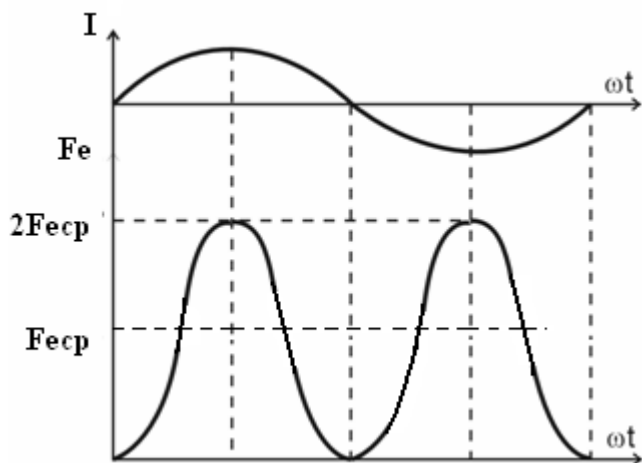


Нове притягання відбудеться у момент, коли струм наростає (вже в іншому напрямку) до $I_{спр}$ і так далі. Таким чином, у кожний напівперіод є проміжок t_3-t_2 , протягом якого сила притягання менше за силу, що відриває якір. Це веде до повного відпадання якоря, або (при достатній інерції) до вібрації. Слід відзначити, що напрямок сили притягання не залежить від фази струму.

При синусоїдному характері напруги живлення реле магнітний потік також синусоїдальний ($\Phi = \Phi_m \cdot \sin \omega t$). Тоді тягова електромагнітна сила буде:

$$F_e = \frac{(\Phi_m \cdot \sin \omega t)^2}{2\mu_0 S} = \frac{\Phi_m^2}{4\mu_0 S} (1 - \cos 2\omega t), \text{ оскільки } \sin^2 \omega t = \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}.$$

Якщо порівняти формули F_e для постійного і змінного струму, то видно, що при рівних значеннях максимальної індукції та однакових конструктивних розмірах механізмів тягове зусилля у електромагніта змінного струму вдвічі менше, ніж у електромагніта постійного струму, і змінюється за частотою, що вдвічі перевищує частоту напруги живлення. Ця зміна відбувається у межах від нуля до подвійного середнього значення, рис.3.7.



при $\varphi = \omega t = 0^\circ$

$$F_e^{cp} = \frac{\Phi_m^2}{4\mu_0 S} (1 - 1) = 0;$$

при $\varphi = \omega t = 90^\circ$

$$F_e^{cp} = \frac{\Phi_m^2}{4\mu_0 S} (1 + 1) = \frac{\Phi_m^2}{2\mu_0 S} = 2F_e^{cp};$$

при $\varphi = \omega t = 180^\circ$

$$F_e^{cp} = \frac{\Phi_m^2}{4\mu_0 S} (1 - 1) = 0, \text{ і т.д.}$$

Рисунок 3.7 – Характер зміни тягової сили реле змінного струму

Для більшості пристроїв вібрація якоря – шкідливе явище, оскільки внаслідок цього обгорають контакти, переривається коло і т.ін., тому вживають заходи для усунення або послаблення вібрації.

При збільшенні маси рухливих частин електромагніта вібрація зменшується, оскільки якір має більшу інерцією і не встигає відпадати. Цей метод простий, але не отримав поширення у зв'язку з неминучим зменшенням чутливості і конструктивними недоліками важкої системи.

Більш дієвим є застосування двофазного механізму. Двофазний механізм складається з двох нейтральних систем, що мають спільний якір і струми живлення, які зсунуті за фазою на кут φ . Миттєві значення струмів будуть:

$$i_1 = I_{1m} \cdot \sin \omega t \text{ та } i_2 = I_{2m} \cdot \sin(\omega t + \varphi).$$

На якір діє сила $F=F_1+F_2$, де F – спільне зусилля; F_1 і F_2 – відповідно сила тяги першої та другої системи. Сили F_1 і F_2 можуть бути знайденими з виразу для F_e . Оскільки $I_{1m}=I_{2m}$, отримаємо:

$$F_1 = \frac{\Phi_m^2}{4\mu_o S} (1 - \cos 2\omega t); \quad F_2 = \frac{\Phi_m^2}{4\mu_o S} [1 - \cos 2(\omega t + \varphi)],$$

де $\frac{\Phi_m^2}{4\mu_o S} = F_{cp}$ - середнє зусилля однієї системи.

Найбільш ефективним є зсув фаз на кут $\varphi = 90^\circ$, оскільки при цьому нульове зусилля однієї системи відповідає максимальному в іншій. Тоді

$$F_2 = \frac{\Phi_m^2}{4\mu_o S} \left[1 - \cos 2\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \right] = \frac{\Phi_m^2}{4\mu_o S} (1 + \cos 2\omega t),$$

$$\text{оскільки } \cos 2\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \cos(2\omega t + \pi) = -\cos 2\omega t.$$

$$\text{Звідси } F = F_1 + F_2 = 2F_e^{cp}.$$

Таким чином, в розглянутому випадку тягове зусилля є сталим.

Проте метод має суттєві недоліки – значно дорожчає апаратура і немає промислових джерел струму, у яких фази зсунуті на кут $\varphi = 90^\circ$.

Внаслідок цього двофазні реле також не отримали широкого поширення. Значно більш перспективними є трифазні реле.

На практиці для усунення вібрації якоря використовується роздвоєння кінця осердя, що повернутий до якоря, рис.3.8.

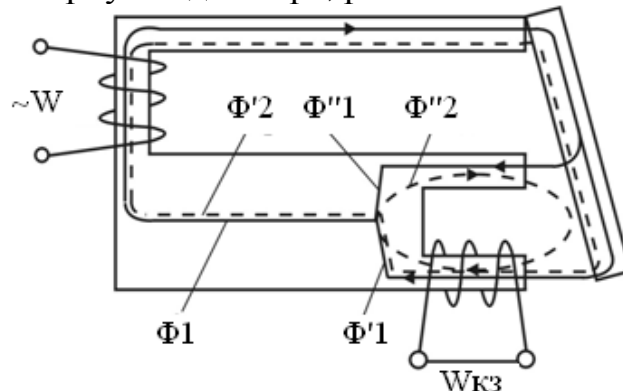


Рисунок 3.8 – Усунення вібрації роздвоєним осердям

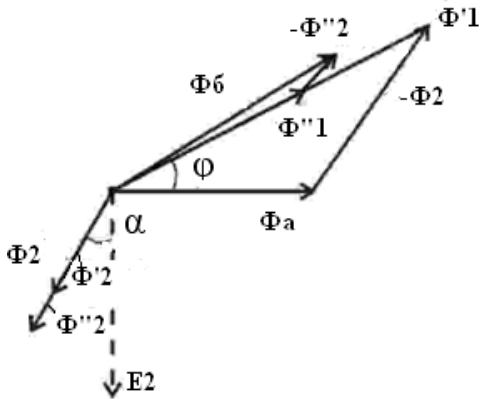
На одну з частин роздвоєного осердя надягнуто короткозамкнену обмотку (частіше за все один або кілька масивних витків). Для зменшення витрат, магнітопровід виготовляють шихтованим.

Змінний магнітний потік основної обмотки Φ_1 в розділеній частині осердя поділяється на два. Потік Φ'_1 у той частині осердя, що охоплена короткозамкненим витком, індукє в ньому е.р.с. і створює струм, який обумовлює виникнення магнітного потоку Φ_2 , що замикається частково через

увесь магнітопровід (Φ_2) і частково між розділеними частинами осердя (Φ''_2). У кожній з частин осердя потоки складаються. Враховуючи наявність зсуву фаз, підсумовування повинно бути геометричним. Тоді

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= \Phi'_1 + \Phi''_1; & \Phi_2 &= \Phi'_2 + \Phi''_2; \\ \bar{\Phi}_a &= \bar{\Phi}'_1 + \bar{\Phi}_2; & \bar{\Phi}_\phi &= \bar{\Phi}'_1 - \bar{\Phi}_2'', \end{aligned}$$

де $\bar{\Phi}_a$ і $\bar{\Phi}_\phi$ - підсумкові потоки в охопленій та неохопленій короткозамкненим витком частинах осердя.

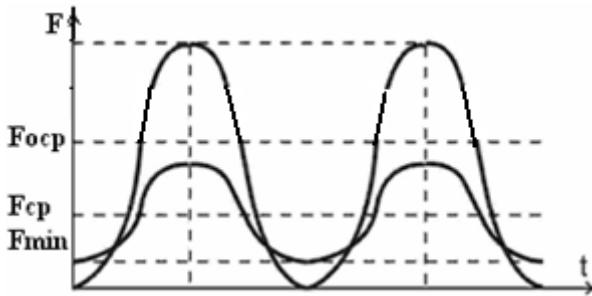


На основі наведеного і враховуючи, що е.р.с., яка індукується в короткозамкненій обмотці, створюється підсумковим потоком $\bar{\Phi}_a$, будемо векторну діаграму. Позитивний напрямок потоків умовно прийнятий зліва направо, за стрілкою годинника.

Відкладемо від горизонтального вектора $\bar{\Phi}_a$ підсумкового потоку у перетині, що охоплений короткозамкненою обмоткою W_2 е.р.с. E_2 , яке відстає від нього на 90° . Магнітний потік $\bar{\Phi}_2$, створюваний обмоткою W_2 , відстає від E_2 на деякий кут α , менший за 90° (внаслідок наявності активних втрат у короткозамкненій обмотці). Виходячи з останнього співвідношення, віднімемо з вектора $\bar{\Phi}_a$ вектор $\bar{\Phi}_2$. Тоді замикаючий вектор зображує потік $\bar{\Phi}'_1$. Відкладемо у тому ж напрямку співпадаючий з ним за фазою потік $\bar{\Phi}''_1$ і, зважаючи на останній вираз, віднімемо з нього потік $\bar{\Phi}_2''$. Внаслідок цього отримаємо вектор потоку $\bar{\Phi}_\phi$ в неохопленій короткозамкненим витком частині осердя.

Як видно з векторної діаграми, потоки $\bar{\Phi}_a$ та $\bar{\Phi}_\phi$ зсунуті на кут j , менший за 90° , причому в загальному випадку $\bar{\Phi}_a \neq \bar{\Phi}_\phi$. Внаслідок цього у, так званому, "двофазному" механізмі буде спостерігатися коливання величини тягового зусилля, але в менших межах, ніж у електромагніта, що не має короткозамкненої обмотки і роздвоєного осердя.

Приблизний характер змін тягового зусилля для розглядуваного пристрою має вигляд:



тут F_{ocp} - середнє тягове зусилля механізму без короткозамкненої обмотки;

F_{cp} - середнє тягове зусилля механізму з роздвоєним осердям і короткозамкненою обмоткою.

Для надійної роботи пристроїв важливо, щоб мінімальне зусилля F_{min} було можливо більшим, оскільки саме це зусилля визначає допускання навантаження електромагніта без вібрації. Величина F_{min} залежить від низки факторів, у тому числі від ступеня охоплення осердя

короткозамкненою обмоткою. При оптимальному охопленні величина середнього тягового зусилля F_{cp} складає $0,566 F_{оср}$. Таким чином, при наявності короткозамкненого витка середнє тягове зусилля F_{cp} менше за силу притягання такого ж електромагніта постійного струму приблизно в 3,5 рази[7,19].

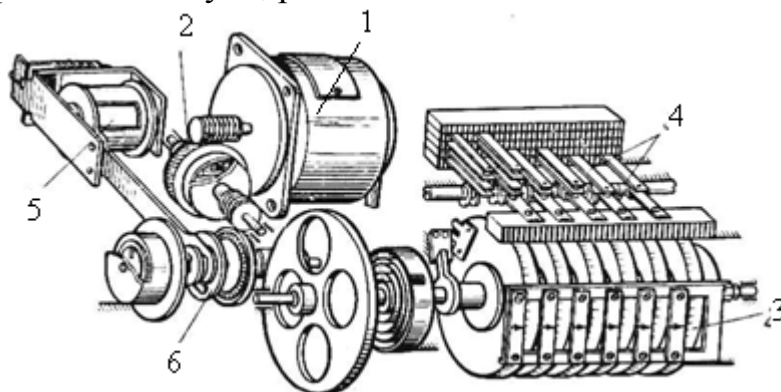
3.1.1.3 Реле часу

Реле часу служить для створення витримки часу в колах автоматичного регулювання, керування і сигналізації. Інтервал часу від моменту подання напруги на обмотку реле до моменту зміни положення його контактів зветься витримкою часу.

Реле часу за конструкцією поділяються на електромеханічні, моторні (програмні), електронні, теплові.

В електромеханічному реле часу при подачі напруги на обмотку якір практично миттєво втягується і вмикає годинниковий механізм пристрою витримки часу. Витримка часу встановлюється за переміщенням нерухомого контакту відносно шкали. При цьому рухомий контакт на шкалі переміщується годинниковим механізмом до нерухомого. Коли час витримки минає, рухомий та нерухомий контакти замикаються.

Моторне (програмне) реле являє собою електромеханічний пристрій з приводом від синхронного двигуна, рис.3.9.



1 – двигун; 2 –редуктор; 3 – диски часу; 4 – контакти керування; 5 – котушка; 6 – механізм реле.

Рисунок 3.9 – Моторне реле часу

Обертання двигуна передається кінематичному вузлу, який обертає диски зі шкалою. Через установлені інтервали часу підпори на дисках зі шкалою перемикають електричні контакти реле, які керують якимось процесом. Програмні реле мають від 3 до 6 дисків витримки часу і таку ж кількість контактних груп.

Установлення часу спрацьовування контактних груп (1-20хв.) здійснюється за переміщенням дисків витримки часу. Коли напруга з електродвигуна вимикається, диски повертаються у вихідне положення.

Електронні (напівпровідникові) реле часу (ЕРВ), зазвичай у своїх схемах використовують різні напівпровідникові елементи (найчастіше транзисторні) і конденсатори, час розряду або заряду яких і визначає витримку часу, рис.3.10.

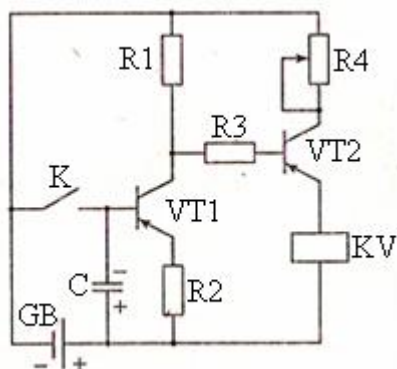


Рисунок 3.10 – Схема електронного реле часу

У вихідному стані зовнішній керувальний контакт K замкнений і на базу транзистора $VT1$ подається негативний потенціал джерела живлення GB . Транзистор відкритий, при цьому потенціал бази транзистора $VT2$ буде позитивним по відношенню до його емітера і він буде закритий. В результаті реле KV буде відключено. У початковому стані конденсатор C заряджений з показаною на рисунку полярністю своїх обкладок.

Команда на початок відліку часу подається при розмиканні зовнішнього керувального контакту K . Після цього починається розряд конденсатора C через резистор $R2$ і перехід емітер-база транзистора $VT1$. У кінці розряду транзистор $VT1$ закриється, що приведе до появи на базі транзистора $VT2$ негативного потенціалу. Транзистор відкриється і по обмотці реле KV почне протікати струм, реле спрацює і перемкне свої контакти. Відлік часу закінчиться.

Витримка часу такого реле визначається часом розряду конденсатора C , який залежить від величини його місткості і опору резистора $R2$. Регулюючи ці величини, можна встановлювати необхідні витримки часу у діапазоні від 0,1 з до 10 хв.

Електронний таймер ЭТ-99, виробництва «Елемер» призначений для установлення інтервалів часу, сигналізації про завершення відліку та управління технологічними процесами. До складу таймера входять джерело живлення, пристрій установлення заданого часу, кварцевий годинник і виконавчий механізм (реле).

За допомогою кнопки таймер переводиться в режим програмування і клавішами «більше/менше» встановлюється завданий час в хвилинах або секундах. Після повторного натискання кнопки "режим" починається відлік часу від заданого значення до нуля. Після завершення роботи таймера спрацьовує реле, формуючі вихідний сигнал.

У теплових реле вимірювальним органом є біметалевий елемент, який при нагріванні згинається і переводить контактну систему у вимкнений стан. Біметалевий елемент являє собою двошарову пластину з металів, що мають різні температурні коефіцієнти теплового розширення. У якості термоактивного компоненту з високим температурним коефіцієнтом лінійного розширення використовуються різні сталі, латунь, константан або сплав нікелю зі сталлю, який називається інваром[7,19,23].

3.1.1.4 Будова та дії контактної системи

Робота контактної системи часто визначає надійність і термін роботи реле. За характером роботи контакти поділяють на:

а) замикаючі; при відсутності струму у обмотці електромагнітного механізму вони розімкнені, а при притяганні якоря замикаються; такий вид контактних замикань відповідає режиму повторювача;

б) розмикаючі; вони, навпаки, замкнені, коли реле не увімкнено, і розмикаються при подачі на реле напруги живлення; такий вид контактних замикань відповідає режиму інвертора;

в) перемикальні; у деяких будовах реле, головним чином, в малопотужних, замикальні та розмикальні контакти об'єднані в один загальний перемикальний контакт, що іноді називається трійником.

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

Найбільший інтерес для вивчення являють важкі режими, при яких контакт піддається найбільшому зношуванню. Це замкнений стан, коли через контакт тече струм навантаження, і процес розмикання, коли на контакті виникають дугові явища.

Контакт у замкненому стані. Перехідний опір контактів при проходженні через них струму призводить до виділення на ньому тепла θ , що за кількістю відповідає потужності P , яка позбувається у контактному переході:

$$\Theta \approx P = r_k \cdot I_1^2,$$

де r_k – опір контакта; I – струм у колі.

Це тепло підвищує температуру контакта до тих пір, доки кількість тепла θ_2 , що віддається в одиницю часу в навколишнє середовище не порівнюється з θ_1 . Величина θ_2 залежить від умов теплопередачі, матеріалу контактних тіл, величини їх поверхні та різниці температур середовища і контакта. За вимогами пожежної безпеки і, головним чином, за технічними розуміннями температура контактів не повинна перевищувати 342-373°K. Цими умовами обмежується потужність P , яка у свою чергу, залежить від конструктивних особливостей перехідного опору контакта r_k . Останнє визначає допускний струм I для кожної контактної системи.

На перший погляд величина перехідного опору визначається розміром контактів, проте тіла, що контактують, як би ретельно вони не були відполіровані, торкаються один одного не всією поверхнею, а лише в одній, або в декількох точках, що виступають.

Якщо контакти притискаються один до одного з силою Q_k , то увесь цей тиск концентрується на елементарній площинці ΔS , створеній точками, що торкаються. Питомий тиск, що при цьому виникає $Q_{num} = Q_k / \Delta S$ завдяки малому ΔS набагато перевищує опір матеріалу зминанню S , в наслідок чого виступи, що контактують зімнуться, розмір площинки ΔS збільшиться і здійсниться подальше зближення контактів. При цьому виникають нові точки торкання і нові площинки ΔS , які також, як і перша, будуть збільшуватися

завдяки змінанню матеріалу, що продовжується. Цей процес триває до тих пір, доки Q_{num} і σ не зрівняються між собою:

$$Q_{num} = Q_k / \sum \Delta S = \sigma,$$

де $\sum \Delta S$ - сума елементарних площин.

Оскільки σ визначається родом контактного матеріалу і для кожного з них є сталою величиною, то площа дійсного торкання контактів $\sum \Delta S$, що визначає величину перехідного опору r_k , залежить в основному від роду матеріалу і величини контактної тиску Q_k . Крім того, суттєвий вплив на величину перехідного опору контакту впливають такі хіміко-технологічні фактори, як чистота поверхонь, що контактують, наявність оксидних плівок, заповнюваність, наявність домішок у матеріалі контактуючих тіл і т.ін.

Конструктивні розміри та форма контактів значно не впливають на величину перехідного опору.

Кількість тепла, яку віддає контакту навколишнє середовище, залежить від його розмірів та форми, тому будова контактів чинить суттєвий вплив на величину допустимого струму навантаження. Металева маса контактів сприяючи відводу тепла від місця торкання, дозволяє збільшити струм навантаження. Тому потужним контактам надають великі розміри.

Режим розмикання кола контактами. У перший момент між контактами, що розмикаються, створюється велика питома різниця потенціалів, частинки повітря іонізуються під впливом електричного поля, і виникає газовий розряд у формі дуги. По мірі розходження контактів питома різниця потенціалів різко зменшується. Оскільки дуга, що виникла, потребує вже відносно невеликих напруг для підтримки горіння, гасне вона тільки у тому випадку, якщо кількість іонів, що заново створюються, стає менше кількості рекомбінованих. Проте дуга не виникає при струмах через контакт меншої, так званої, межі можливого горіння дуги.

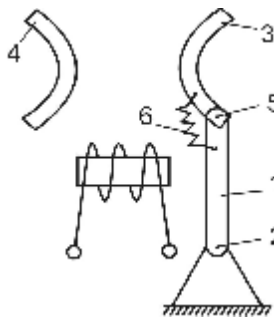
Якщо розривні струми та напруга перевищують деякі “критичні значення” I_o та U_o , то при розмиканні контактів виникає дуга. Значення I_o та U_o залежать від матеріалу контактуючих тіл.

Спрацьовування контактів, обумовлюється механічним, хімічним та електричним факторами.

Механічне спрацьовування спричиняється ударами контактів між собою при замиканні, а також стиранням контактуючих поверхонь. Механічне спрацьовування не можна повністю усунути, але можна суттєво послабити, застосувавши пружне скріплення контактів, вставляючи пружини в їх будову.

Хімічне зношення (корозія) контактів пояснюється тим, що більшість металів вступає в хімічні реакції з киснем, що міститься у повітрі, та з сіркою, яка у вигляді сіркового газу складає звичайну домішку до повітря. Внаслідок цих реакцій контактні поверхні багатьох матеріалів покриваються оксидними та сульфідними плівками, які зовсім не проводять струм. Тільки оксидні плівки, що створюються на сріблі, вольфрамі та молібдені мають добру, хоча і меншу за чистий метал, провідність і завдяки цьому не порушують контакту. При

використанні інших матеріалів, наприклад, міді, необхідно тільки зробити таку конструкцію, яка б забезпечила в процесі роботи самовідділення плівок, що створилися. Це досягається притиранням контактних поверхонь при замиканні. Широке застосування в силових реле (контакторах) отримала така будова контактів:



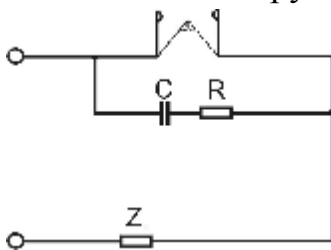
Притягнення якоря 1, що закріплений на вісі 2, призводить до того, що зв'язаний з ним рухомий сухар 3 спочатку торкається з нерухомим сухарем 4, а потім, внаслідок притягання, що продовжується, повертається навколо вісі 5. В наслідок цього пружина 6 розтягується і сухар ковзає по поверхні нерухомого контакта 4, стираючи шар, що не проводить струм.

Електричне зношення (ерозія) - це перенесення, розтоплення, випарювання та розпорошення частинок металу з поверхні контактів під дією поля та високої температури дуги, що виникають при замиканні контактів. Характер руйнувань при цьому залежить від таких факторів: величини струмів та напруг, що комутуються, роду струму (постійний струм гірше), характеру навантаження, швидкості розмикання і виду іскро- та дугогасників, форми і матеріалу контактів т. ін. Боротьба з ерозією здійснюється шляхом використання різних засобів, що пришвидчують гасіння дуги.

Дуго- та іскрогасіння. Дуга створюється під дією великих напруг магнітного поля у початковий момент розмикання. Появі та підтримці дуги сприяє е.р.с. самоіндукції, яка виникає при розмиканні кіл, що містять індуктивність. Ця е.р.с., яка за величиною може в десятки разів перевищувати робочу напругу, часто буває причиною пробою ізоляції. Тому від неї потрібно захищати пристрої, вмикаючи ємності або активні опори паралельно індуктивному навантаженню.

Одним із засобів гасіння дуги є вмикання паралельно контактам RC - контуру.

При замкненому контакті конденсатор розряджений. У процесі розмикання на дуговому проміжку швидко зростає напруга і конденсатор заряджається, віднімаючи енергію від дуги. Величина зарядного струму, як відомо, визначається формулою $i_c = C \frac{du}{dt}$. Таким чином, чим більше ємність, тим більший струм буде проходити через нього, зменшуючи струм дуги.



У момент замикання повторно-короткочасно працюючого контакту, заряджений конденсатор розряджається. Розрядний струм, обмежений тільки перехідним опором контакту, досягає великих значень і сприяє на контакт руйнівною дією. Для захисту від виникаючого при цьому зношення послідовно з ємністю вмикають опір, який обмежує розрядний струм небезпечним значенням.

Подібні пристрої доцільні при порівняно невеликих потужностях і придатні для роботи тільки на постійному струмі.

Для середніх потужностей (від сотень ват до десятків кіловат) застосовують магнітне дуття та деіонні решітки.

Гасіння дуги дуттям базується на тому, що із збільшенням довжини дуги зростає напруга на дузі. Дуга являє собою "провідник" із струмом, який складається з іонізованих частинок повітря. Якщо помістити такий "провідник" у магнітне поле, спрямоване перпендикулярно площині провідника, то останній, взаємодіючи з полем, буде намагатися рухатися перпендикулярно полю. Підбираючи відповідним чином напрямок струму та поля, можна примусити дугу згинатися і зміщуватися уверх. Уверх вона прямує ще й тому, що в зоні горіння дуги частинки повітря, нагріваючись до високої температури, стають менш компактними. Для гасіння дуги контакти мають форму, що розходиться, тому з переміщенням дуги уверх вона видовжується і гасне. Магнітне поле створюється спеціальною обмоткою, увімкненою послідовно з контактами. Для розриву великих потужностей контакти поміщують у масло, яке охолоджує їх і гасить дугу. Застосовують також потужне повітряне дуття, що розганяє іонізовані частинки, при цьому використовують повітря під тиском у декілька атмосфер.

Іноді для дугогасіння використовують деіонні решітки. Дуга, що виникає при розмиканні контактів, піднімається з нагрітим повітрям і зустрічає на своєму шляху заізовані один від одного металеві пластини. Ці пластини створюють деіонні решітки і переривають іонізований струмінь, до того ж частинки повітря, омиваючи холодні пластини, що виготовлені з металу, швидко охолоджуються - це також прискорює гасіння дуги.

Матеріали і будова контактів. Малопотужні контакти, що застосовуються у пристроях телемеханіки, зв'язку та сигналізації, являють собою плескати пружини з фосфористої бронзи, які забезпечені контактними наклепами із срібла та вольфраму, а в окремих випадках із золота, паладію, платини та її сплавів. Золото та платина стійки проти корозії, але дуже схильні до ерозії. Для середніх струмів (0,5-5 А) більш підходять тверді та тугоплавкі метали та їх сплави такі, як вольфрам, платина - іридій, вольфрам - молібден, золото - паладій, вольфрам - платина - іридій.

Для великих струмів застосовують контакти з міді (при забезпеченні необхідного притирання) або з так званих композицій - механічних сумішей, виготовлених спіканням порошків[7,19].

3.1.2 Електронні твердотілі реле

Електромеханічні реле тривалий час мали і мають досі поширене використання в системах електроавтоматики, проте їх недоліки, такі як великий час спрацьовування, підгоряння та брязкіт контактів, іскріння, знижують їх надійність та викликають перешкоди в роботі апаратури. Тому з кінця минулого сторіччя електромеханічні реле усеактивніше витісняються принципово новим електронним приладом - твердотілим реле.

Електронні твердотілі реле, рис.3.11, – це новий клас модульних напівпровідникових пристроїв, виготовлених за гібридною технологією. Вони мають надійну герметизовану з допомогою епоксидної смоли конструкцію і містять кола керування великими навантажувальними струмами, що побудовані на транзисторних, симисторних або тиристорних схемах. Принцип роботи таких реле полягає в подачі керувального сигналу на світлодіод, який, забезпечує гальванічну розв'язку входних і комутованих кіл і передає сигнал на фотодіодну матрицю. Створюваний нею сигнал керує силовим ключем, який змінює напругу, що подається на навантаження.

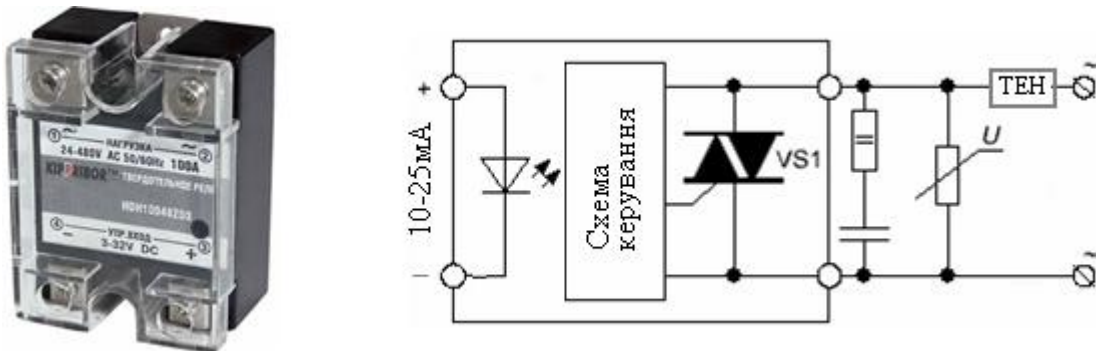


Рисунок 3.11– Твердотіле реле та його будова

Твердотілі реле класифікують за:

- типом навантаження. Одно- і трифазні, з діапазоном регульованої напруги від 40 до 440 вольт;
- способом керування. Комутація постійної напруги (від 3 до 32 вольт), змінної напруги (від 90 до 250 вольт) і ручне керування змінним резистором;
- методом комутації, який буває:

а) з контролем переходу через нуль. Використовуються для комутації ємнісних (згладжуючі перешкодозахісні конденсаторні фільтри), резистивних (лампи розжарювання, електричні нагрівачі) і слабоіндуктивних (катушки клапанів, соленоїдів) навантажень.

б) випадкового (миттєвого) вмикання. Використовуються для комутації індуктивних (трансформатори, малопотужні двигуни) і резистивних (лампи розжарювання, електричні нагрівачі) навантажень при виникненні потреби у миттєвому спрацьовуванні.

в) з фазовим керуванням. Вони змінюють вихідну напругу на навантаженні і регулюють нагрівальні елементи (управління потужністю), лампи розжарювання (управління рівнем освітленості).

Переваги твердотілих реле перед електромагнітними аналогами полягають в наступному:

- вмикання кіл без електромагнітних перешкод;
- висока швидкодія;
- відсутність шуму і брязкоту контактів;
- тривалий період роботи (понад мільярд спрацьовувань);

- можливість роботи у вибухонебезпечному середовищі, оскільки немає дугового розряду;
- низьке електроспоживання (на 95% менше, ніж у звичайних реле);
- надійна ізоляція між вхідними і комутуваними колами;
- компактна герметична конструкція, стійка до вібрації і ударних навантажень.

При виборі твердотілого реле слід знати, що воно нагрівається при комутації із-за втрат електроенергії на силових керувальних елементах. При цьому, зростання температури корпусу реле обмежує величину регульованого струму (чим більше нагрівся корпус, тим менший струм можна комутувати). При температурі 40 градусів параметри реле в нормі. При підвищенні температури більше 60 градусів можлива для регулювання величина струму помітно знижується. Реле може вимикати навантаження не повністю, перейти в некерований режим і «згоріти».

Тому при роботі подібних реле в умовах комутації струмів, що перевищують 5 ампер, необхідно використовувати охолоджуючі радіатори і запас по номінальному струму в 2-4 рази. При регулюванні асинхронних двигунів запас по струму потрібно збільшити до 6-10 разів. Необхідно взяти до уваги і той факт, що здатність твердотілого реле витримувати перевантаження по струму визначається рівнем «ударного струму». Реле постійного струму витримують збільшення максимального струму до 3 разів, тиристори – до 10 разів.

Основними сферами використання твердотілих реле є системи температурного контролю, промислового нагріву, управління трансформаторами і електродвигунами, безперебійного електроживлення, освітлення промислових і суспільних об'єктів[24].

3.2 Електричні апарати керування

Умовна назва "електричні апарати керування" об'єднує два різновиди апаратів струмом більш 5А і напругою до 1000 В:

- апарати керування приймачами електроенергії (контактори, пускачі, командоапарати);
- апарати розподілу енергії (рубильники, автомати, пакетні вимикачі), які можна інакше назвати апаратами керування режимом розподільних електричних мереж напругою до 1000 В.

3.2.1 Апарати керування приймачами електроенергії

Контактори та пускачі - це оперативні апарати, що комутують електричні навантаження в нормальних режимах роботи електрообладнання.

Контактор являє собою двопозиційний апарат з самоповерненням. Він призначений для комутування струмів, які не перевищують струми перевантаження. Контактор має два комутаційні положення, які відповідають увімкненому та вимкненому стану. У контакторах поширено застосування електромагнітних приводів. Повернення контактора у вимкнений стан

(самоповернення) відбувається під впливом повертальної пружини, маси рухомої системи або при спільній дії цих факторів. Контактори не захищають електричні кола, в яких вони установлені, від порушення режиму роботи (перевантаження, коротких замикань і т. ін.)

На рис.3.12а наведено конструктивну схему контактора з поворотним рухом якоря, який вимикає коло двигуна після зникнення керувальної напруги на обмотці 12. При цьому рухома система під впливом пружини 10, що створює силу F_k , повертається у нормальний стан, а дуга D , що виникає при розходженні головних контактів, гаситься у дугогасній камері 5.

Швидке переміщення дуги з контактів у камеру забезпечується системою магнітного дуття. До кола головного струму увімкнена послідовно обмотка 1, яка розміщена на осерді 2. Стальні пластини - полюси 3, що розташовані по боках осердя 2, підводять магнітне поле, створюване обмоткою 1, до зони горіння дуги у камері. Взаємодія цього поля із струмом дуги приводить до появи сил, що переміщують дугу у камеру. Якщо подати напругу U в обмотку 12 рушійного електромагніта, контактор увімкне коло зі струмом I_0 . Потік Φ , що створюється струмом у обмотці електромагніта розів'є тягову силу і притягне якор 9 електромагніта до осердя, здолавши сили F_e протидії зворотньої пружини 10 і F_k контактної пружини 8.

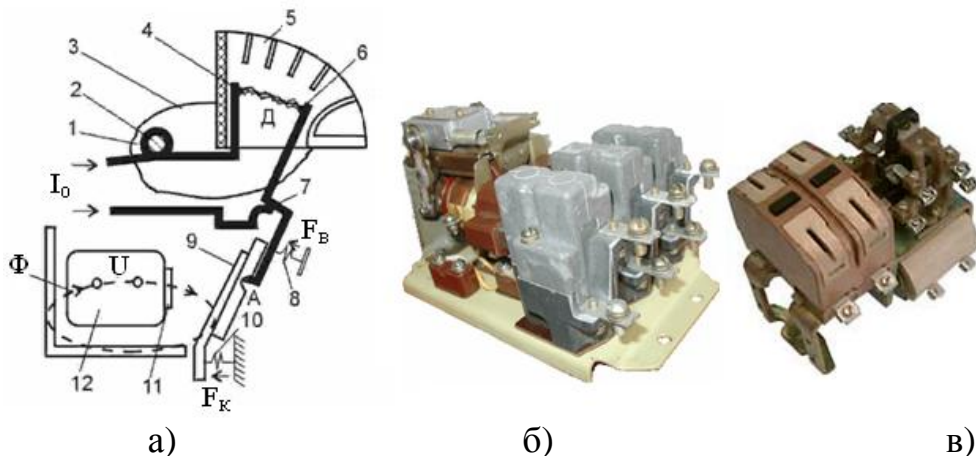


Рисунок 3.12 – Будова (а) та зовнішній вигляд контакторів серії КМ 2000 (б) і МК (в)

Осердя електромагніта має полюсний наконечник 11, поперечний переріз якого більше поперечного перерізу осердя. Наявність полюсного наконечника забезпечує деяке збільшення сили, що створюється електромагнітом, а також зміну виду його тягової характеристики.

Торкання контактів 4 і 6 один одного і замикання кола при вмиканні контактора відбудеться раніше, ніж якор електромагніта повністю притягнеться до полюса. По мірі руху якоря рухомий контакт 6 буде начебто "провалюватися", упираючись своєю верхньою частиною у нерухомий контакт 4. Він повернеться на деякий кут коло точки А і спричинить додаткове стискання контактної пружини 8. Відбудеться провал контактів, тобто

зміщення рухомого контакту на рівні точки його торкання з нерухомим контактом у випадку, якщо нерухомий буде віддаленим.

Провал контактів забезпечує надійне замикання електричного кола, коли товщина контактів зменшиться внаслідок вигорання їх матеріалу під впливом електричної дуги. Величина провалу визначає запас матеріалу контактів на зношування у процесі роботи контактора.

Після торкання контактів відбувається перекочування рухомого контакту по нерухомому. Контактна пружина створює певне натиснення в контактах, тому при перекочуванні відбувається руйнування оксидних плівок та інших хімічних сполук, які з'являються на поверхні контактів. Точки торкання контактів при перекочуванні переходять на нові місця контактної поверхні, які не піддавалися впливу дуги і тому більш чисті. Все це зменшує перехідний опір контактів і покращує умови їх роботи. У той же час перекочування підвищує механічне спрацьовування контактів.

У момент торкання рухомий контакт 6 одразу ж здійснює тиснення на нерухомий контакт 4, що обумовлене попереднім натягом контактної пружини 8. Внаслідок цього перехідний опір контактів в момент їх торкання буде невеликим і контактна площинка при вмиканні не розігріється до значної температури. Крім того, попереднє контактне натиснення пружиною 8, дозволяє знизити вібрацію рухомого контакту при ударі його о нерухомий контакт. Все це оберігає контакти від приварювання при вмиканні електричного кола.

Контактори серії КМ2000 і МК, що призначені для комутування електричних кіл постійного струму до 320В та змінного струму до 380В показані на рис.3.12б,в. Контактори мають дугогасильні камери, головні та допоміжні контакти, а також рухомі та електромагнітні системи [25].

Пускач електромагнітний – це комутувальний електричний апарат, що призначений для пуску, зупинення та захисту трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором. Пускач безпосередньо приєднує обмотки статора до мережі і розриває струм в них без попереднього вводу в електричне коло додаткових опорів.

Пускачі здійснюють захист електродвигунів від струмів перевантаження. Поширеним елементом такого захисту є вмонтоване у пускач теплове реле.

Електромагнітний привід контакторів та пускачів при відповідному виборі параметрів може здійснювати функції захисту електрообладнання від зниження напруги. Якщо електромагнітна сила, що розвивається приводом, при зниженні напруги в мережі буде недостатньою для утримання апарата в увімкненому стані, то він самочинно вимкнеться і забезпечить, таким чином, захист від зниження напруги. Як відомо, зниження напруги в мережі живлення спричиняє появу струмів перевантаження в обмотках електродвигунів, якщо механічне навантаження на них буде залишатися незмінним.

Електрична та механічна зносостійкості контакторів і пускачів можуть досягати кількох мільйонів спрацьовувань. Протягом цього терміну роботи зношені контакти можуть декілька разів замінитися новими.

Зовнішній вигляд електромагнітних пускачів серій ПМЛо та ПМА-1, що здійснюють прямий пуск, зупинення та реверсування двигунів напругою до 690В змінного струму приведені на рис.3.13а,б. За наявності теплових реле вони забезпечують захист двигунів від перевантаження струмами недопустимої тривалості та від струмів, що виникають при обриві однієї з фаз[25].

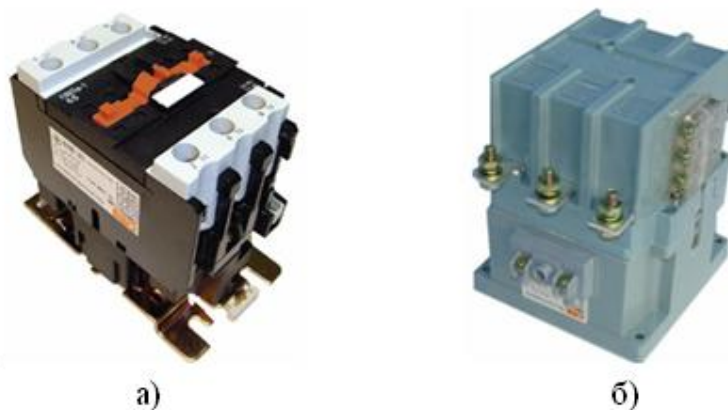


Рисунок 3.13 – Електромагнітні пускачі серії ПМЛо (а) та ПМА-1 (б)

Командоапарати призначені для автоматичного управління електричними приводами постійного та змінного струму напругою до 500В шляхом перемикання вторинних кіл контакторів, пускачів, різноманітних схем автоматизації. До командоапаратів відносяться командоконтролери, шляхові та кінцеві вимикачі, універсальні перемикачі, кнопки керування, пари контактів яких комутуються у певній послідовності під впливом механічних зусиль.

Командоконтролер – це багатопозиційний апарат, що керує обмотками контакторів, головні контакти яких увімкнені в силові кола електричних машин, трансформаторів і резисторів. Численні пари контактів цих пристроїв комутуються у певній послідовності при поверненні рукоятки з одного положення в інше. Командоконтролер, рис.3.14а, має металевий корпус та розташовані в ньому кулачковий барабан і комутаційні елементи. Кулачковий барабан складається з певної кількості пластмасових фасонних шайб, які насаджені на сталевому валу, що повертається на шарикопідшипниках за допомогою рукоятки. У якості комутувальних елементів контролерів використовуються нерухомі контакти, важелі з рухомими контактами та пружини, які закріплені на двох пластмасових рейках. Зовні на рейках розташовані затискачі для приєднання проводів електричних кіл. Стан контактів (замкнений або розімкнений) визначається положенням фасонних шайб, яке залежить від кута повороту рукоятки. Розріз командоконтролера наведено на рис.3.14б. При поверненні вала контакти 2 і 3 замикаються, завдяки чому відбувається управління відповідними силовими контакторами, які у свою чергу здійснюють комутування силових кіл двигуна. При вимкненні командоконтролера містковий контакт 2 по черзі розмикається з контактами 3, що сприяє гасінню дуги. Положення вала фіксується за допомогою важельного

фіксатора 4 и пружини 1. Моменти замикання та розмикання контактів визначаються профілем кулачка 5.



пружина; 2- містковий контакт; 3- нерухомі контакти; 4- важіль; 5- кулачок.
Рисунок 3.14 – Командоконтролер змінного струму серії ККТ-60А та будова його котактної групи

Кількість контрольованих електричних кіл може змінюватися від 4 до 12, що дозволяє управляти досить складними схемами автоматизації електродвигунів. Керування командоконтролером може здійснюватися дистанційно. У такому випадку зміна положення вала відбувається під впливом вбудованого електродвигуна[26].

Шляхові вимикачі призначені для замикання та розмикання слабкострумових сигнальних кіл залежно від просторового положення (позиції) робочого органа керованого електропривода. Ці перемикальні пристрої координують роботу кількох механізмів, пускаючи їх у хід, зупиняючи або змінюючи їх швидкість залежно від шляху, що пройшли.

Шляхові вимикачі з роликівим важелем серії ВП15, рис.3.15, призначені для комутування електричних кіл управління під впливом упорів, що розташовані на шляху контрольованого об'єкта.

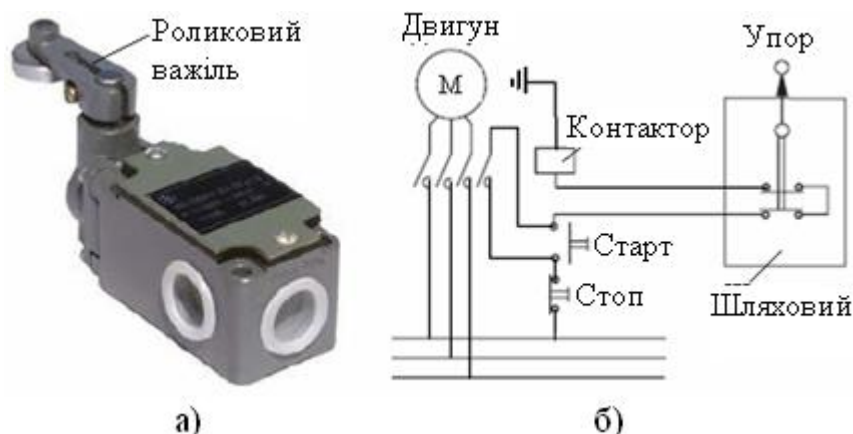
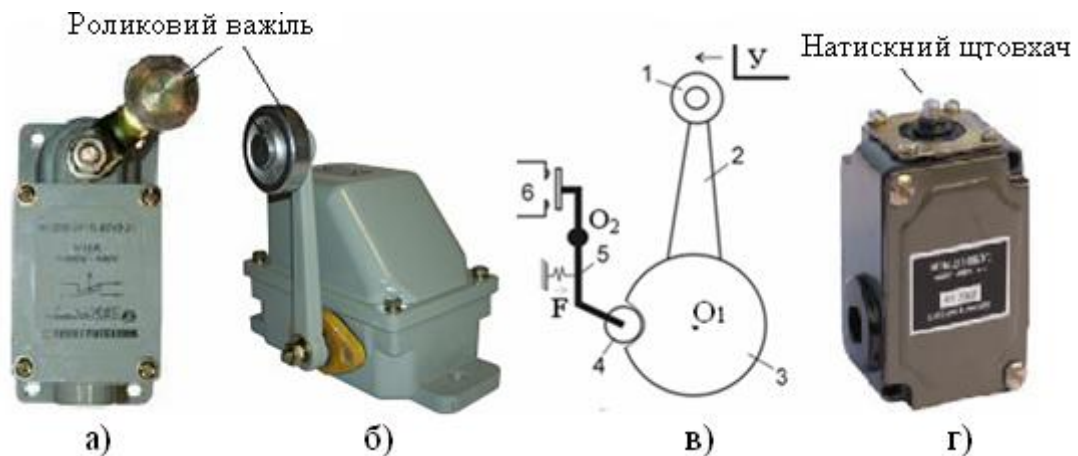


Рисунок 3.15 –Шляховий вимикач з роликівим важелем серії ВП 15 (а) і схема його приєднання (б)

Шляхові перемикальні пристрої, що діють тільки у кінці шляху, тобто обмежують пересування механізму за рахунок замикання або розмикання схем керування електроприводом, називають кінцевими вимикачами.

Кінцеві вимикачі бувають кнопковими та важельними. У кнопкових вимикачах контрольований робочий орган діє на шток кнопкового елемента, а у важельного – на ролик, що закріплений на кінці важеля. Кінцеві вимикачі з роликівим важелем серії ВК 200, КУ701 і кнопкові з натискним штовхачем ВПК2000Б показані на рис.3.16.



1- ролик, 2-важіль, 3- кулачок, 4 -ролик, 5- деталь, 6-контактний міст

Рисунок 3.16 – Зовнішній вигляд і будова кінцевих вимикачів з роликівим важелем серії ВК 200 (а), КУ 701 (б) та з натискним штовхачем ВПК-2000Б (в)

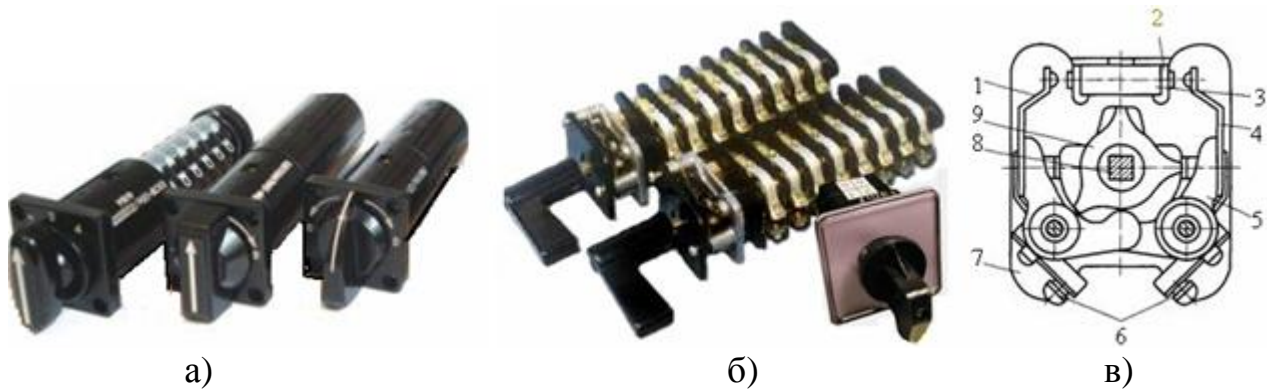
При досягненні упором $У$ механізму ролика 1, закріпленого на важелі 2, повертається важіль і зв'язаний з ним фасонний кулачок 3. Виступ кулачка набігає на ролик 4 і повертає деталь 5 навколо вісі O_2 за стрілкою годинника. Зв'язаний з важелем контактний міст 6 відходить від нерухомих контактів праворуч, і нормально замкнені контакти апарата розмикаються. Коли упор механізму буде переведено у вихідне положення, елементи кінцевого вимикача під впливом пружини F повернуться у початковий стан[27,28].

Універсальні перемикачі використовуються при дистанційному керуванні комутаційними апаратами (реле, електромагнітними пускачами та контакторами), а також в електричних колах сигналізації, вимірювання та автоматизації при напрузі змінного та постійного струму до 220В. Вони встановлюються на панелях або щитах і забезпечують можливість здійснення одночасних перемикачів у кількох не залежних електричних колах керування.

Існують універсальні перемикачі з повертальними рухомими контактами (серії МК, ПМО), рис.3.17а, і кулачкові (серій УП і ПКУ), рис.3.17б. Ці перемикачі виготовляють у вигляді набору контактних пристроїв, в яких рухомі контакти закріплені на важелях керованих кулачковими шайбами.

Будова секції універсального перемикача серій УП показана на рис.3.17в. Кожна секція має два контактних з'єднання (розриви). Коли використовується один розрив електричного кола, проводи приєднують до нерухомого контакту 2 і до затискача б рухомого контакту 4. При обертанні вала 8 повертається

кулачок 9, який штовхає важіль 5 рухомого контакта 4 і той замикається з контактом 2.



1,4 — рухомі контакти; 2 — нерухомий контакт; 3 — стійка; 5 — важіль; 6 — затискачі; 7 — основа; 8 — вал; 9 — кулачок

Рисунок 3.17 – Зовнішній вигляд універсальних перемикачів серій МК (а) та УП (б) і будова секції (в)

При відповідних значеннях струму, що вимикається, і джерела живлення використовують два розриви, а при тяжких умовах роботи контакти двох сусідніх секцій приєднуються послідовно. Завдяки цьому при повороті рукоятки УП відбувається чотири послідовних розриви електричного кола.

Зміна положення перемикача відповідає повороту рукоятки на 45° , 90° , 135° і 180° . УП розраховані на керування струмом до 20 А при навантаженні до 500 В.

В одному УП може бути до 16 секцій з відповідною кількістю перемикальних кіл керування.

Існують універсальні перемикачі, у яких вал керування в окремих позиціях має фіксоване або нефіксоване положення. У нефіксованих позиціях вал автоматично повертається у вихідний стан після того, як діяння оператора на нього припиняється. Зазвичай такі перемикачі мають два фіксованих положення рукоятки керування – горизонтальне та вертикальне, і два нефіксованих – 45° за стрілкою годинника від вертикального і 45° проти стрілки годинника від горизонтального положення рукоятки УП[29].

Кнопки керування – є найпростішими командоапаратами. При натисканні вони передають електричні сигнали різним пристроям, завдяки замиканню-розмиканню двох або більше контактів. У процесі роботи кнопки займають два положення – «натиснуто» та «віджато». Кнопка, яка повертається у вихідний стан після зняття прикладеного зусилля, називається нефіксованою (з самоповерненням). А та, що змінює свій стан на протилежний під впливом зовнішніх зусиль і зберігає його після зняття їх, називається фіксованою (без самоповернення).

Будова кнопки, фіксовані та нефіксовані кнопкові вимикачі серії КЕ, подвійні кнопки керування (старт/стоп) серії ХВ2-ВЛ та кнопки з підсвічуванням серії ХВ2-ВW показані на рис.3.18[30,31].



1 – рухомий контакт; 2-гвинтові затиски; 3 - нерухомі контакти; 4-корпус; 5-кріпильні гайки; 6-штовхач; 7-пружина.

Рисунок 3.18 – Будова кнопки (а), фіксовані та нефіксовані кнопкові вимикачі серії KE (б), подвійна кнопка (старт/стоп) серії XB2-BL (в) і кнопка керування з підсвічуванням серії XB2-BW (г)

Контакти кнопки, за своїм станом у положенні «віджато» поділяються на нормально-замкнені або нормально-розімкнені. Нормально-замкнені контакти з'єднані, коли кнопка знаходиться у положенні «віджато», а нормально-розімкнені – роз'єднані.

Якщо кнопка має перемикаючий контакт між нормально-замкненим і нормально-розімкненим, то вона називається перемикачем.

Окрім контактної групи кожна кнопка має керуючий пристрій (привід) і спеціальні деталі, що забезпечують кріплення її на панелі. Деякі модифікації кнопок мають вбудовану сигнальну лампу, яка свідчить про увімкнення об'єкта управління, інші кнопки мають подвійну конструкцію – для здійснення пуску в роботу механізму і його зупинення.

3.2.2 Апарати розподілу енергії

Найбільш простішими апаратами розподілу енергії шляхом комутування електричних кіл є рубильники.

Рубильники - це комутаційні апарати, які призначаються для неавтоматичного нечастого замикання і розмикання силових електричних кіл постійного і змінного струму напругою до 500 В і струмом до 5000 А, і мають 1 - 3 полюси.

Рубильники складаються з рухливих ножів і нерухомих контактів. Рухливі контактні ножі в нижній своїй частині прикріплені шарнірно до контактних стійок, а в середній - скріплені загальною траверсой з ізолюючого матеріалу. Верхні кінці контактних ножів входять в нерухомі контакти, що виконані у вигляді двох пружинячих губок. При розмиканні контактів виникає електрична дуга, для швидкого гасіння якої апарати мають дугогасійні контакти і камери.

Триполюсні рубильники відкритої конструкції з ручним приводом серій РПС і РВ показані на рис.3.19. Вони призначені для неавтоматичних комутувань, кількістю не більше 6 разів на годину, електричних кіл змінного струму напругою 380В [32].

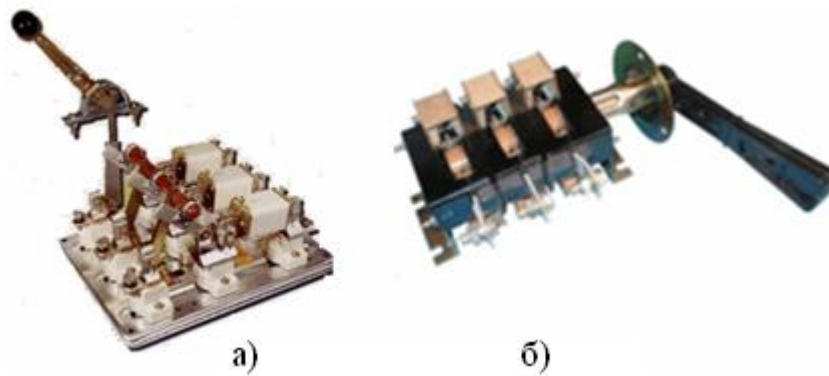


Рисунок 3.19 – Рубильники відкритої конструкції серій РПС (а) і РВ (б)

Автоматичні вимикачі – це контактні комутаційні апарати, які вмикають, проводять і вимикають струми при нормальному стані електричного кола. Одночасно автоматичний вимикач забезпечує захист кабелів, проводів та кінцевих споживачів електроенергії від перевантаження та короткого замикання.

Якщо контактор призначений лише для вимикання струмів перевантаження, які досягають кількох тисяч ампер, то автомат повинен вимикати струми короткого замикання, що досягають багатьох десятків і навіть сотень кілоампер. Крім того, автомат рідко вимикає електричне коло, в той час як контактор призначений для частих оперативних комутувань номінальних струмів навантаження.

На рис.3.20а приведена умовна конструктивна схема універсального (для змінного та постійного струмів) автомата.

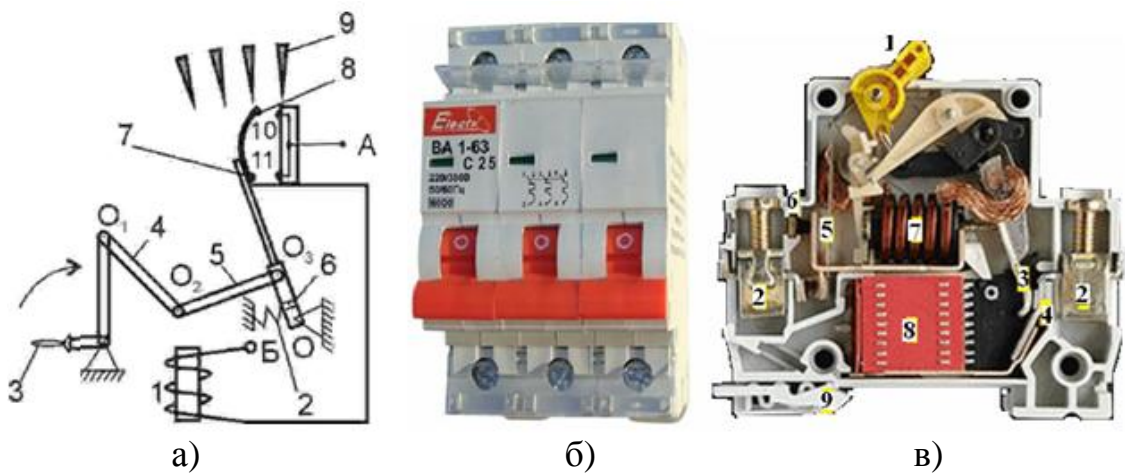


Рисунок 3.20 – Умовна схема автомата (а), зовнішній вигляд (б) і будова (в) модульного триполюсного автоматичного вимикача серії ВА 1-63

Автоматичний вимикач комутує електричне коло, що приєднане до виводів А і Б. У показаному положенні автомат вимкнений і силове електричне коло розімкнене. Щоб увімкнути автомат, треба повернути за стрілкою годинника рукоятку 3. Створюється зусилля, яке за допомогою важелів 4 і 5 повертає основну деталь 6 автомата навколо нерухомої вісі О за стрілкою

годинника. Замикаються і вмикають коло струму спочатку дугогасильні 8 і 10, а потім головні 7 і 11 контакти автомата. Після цього вся система залишається у крайньому правому положенні, яке фіксується спеціальним пристроєм. Пружина 2, що вимикає, зводиться при вмиканні автомата. При поданні команди на вимикання вона вимикає автомат. Коли в обмотці електромагнітного роз'єднувача 1 тече струм короткого замикання, на його якорі створюється електромагнітна сила, що переводить важелі 4 і 5 уверх за мертву точку. Внаслідок цього автомат пружиною 2 вимикається автоматично. Контакти роз'єднуються і дуга, що виникає на них, видувається у дугогасійну камеру 9 і гасне там.

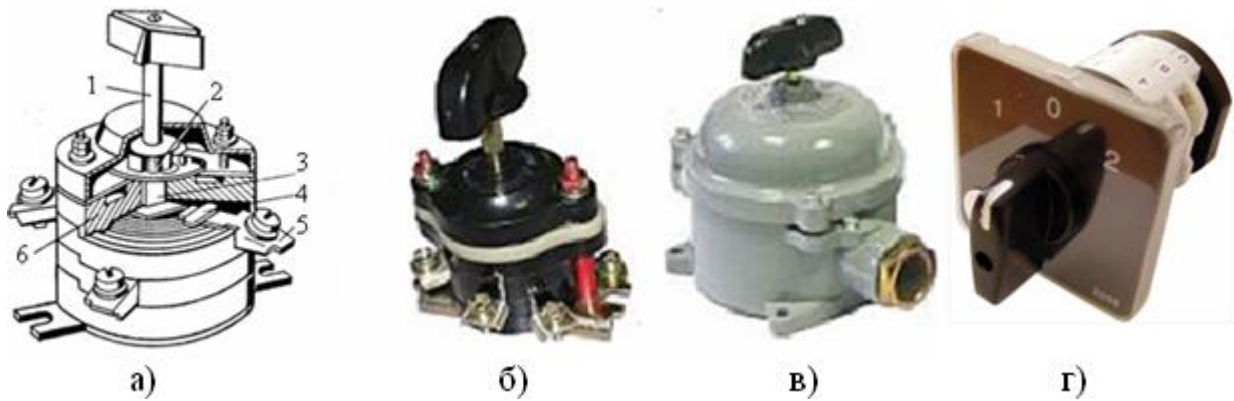
При вимиканні автомата першими роз'єднуються головні контакти 7 та 11 і увесь струм перейде в паралельне коло дугогасійних контактів 8 та 10 з накладками з дугогасійного матеріалу. На головних контактах дуга не повинна виникати, щоб ці контакти не обгорали. Дугогасійні контакти роз'єднуються, коли головні контакти розходяться на значну відстань. На них виникає електрична дуга, яка зміщується уверх і гаситься у дугогасійній камері 9.

При вмиканні автомата першими замикаються дугогасильні контакти, а потім головні. Електрична дуга, що може виникнути через вібрацію контактів, гаситься лише на дугогасильних контактах.

На рис.3.20б приведено зовнішній вигляд модульного триполюсного автоматичного вимикача серії ВА 1-63 professional, а на рис.3.20в– його будова.

Автоматичний вимикач має діелектричний корпус. Вмикання-вимикання здійснюється за допомогою важільця 1, а проводи електричних кіл приєднуються до гвинтових клем 2. Защипка 9 фіксує корпус автомата-вимикача на DIN-рейці. Комутування електричних кіл здійснюють рухомий 3 та нерухомий 4 контакти. Рухомий контакт підпружаний, пружина забезпечує зусилля для швидкого розчеплення контактів, яке відбувається під впливом теплового або магнітного розчіплювача. Тепловий розчіплювач являє собою біметалеву пластину 5, яка при перевищенні струмом, що протікає по ній, встановленого порога (1,45 номінального значення струму), згинається і спричиняє розчеплення контактів. Струм спрацьовування настроюється регулювальним гвинтом 6 при виготовленні автоматичного вимикача. Час спрацьовування залежить від сили струму і може змінюватися від декількох секунд до однієї години. Магнітний розчіплювач 7 на відміну від теплового працює миттєво, але при значно більшому перевищенні струмом (у 2-10 разів) його номінального значення. Щоб не виникала дуга при роз'єднанні контактів, вони мають особливу форму і знаходяться у дугогасильній камері 8[33].

Пакетні вимикачі та перемикачі призначені для з'єднання та роз'єднання електричних кіл постійного та змінного струму до 100А при напрузі 220В і до 60А при напрузі 380В. Це апарати закритого типу, збираються з нерухомих кілець (пакетів), виготовлених з ізолюваного матеріалу і значно компактніші за рубильник і автоматичний вимикач. Пакетний вимикач, рис.3.21, складається з пакетів ізоляційних дисків 6, змонтованих на ізолюваному від токоведучих частин вала 3.



1 – поворотний вал; 2 – пружина; 3 – струмоведуча частина вала; 4 – рухливі пружні контакти; 5 – нерухомі контакти; 6 – пакет ізоляційних дисків.

Рисунок 3.21 – Будова (а) та зовнішній вигляд пакетних вимикачів серії ПВ (б), ГПВ (в) і ПКП Е9 (г)

На дисках укріплені рухомі пружні контакти 4 з гартованої латуні, які обтискають нерухомі контакти 5, що встановлені в корпусі пакетного вимикача. Вимикач вмикається і вимикається при повороті рукою його вала 1. При цьому разом з валом обертаються рухливі контакти, що електрично з'єднуються з нерухомими контактами або роз'єднуються з ними. Досить висока швидкість переміщення рухливих контактів забезпечується пружинами 2. Для точної фіксації потрібного положення рухливих контактів служить фіксатор положень "Увімкнене" або "Вимкнене". Контактна система кожного полюса (секції) створює два розриви. Дуга гасне в закритій камері, що утворена між пакетами.

Повертаючи рукоятку пакетного вимикача на 90°, можна увімкнути або вимкнути приймач напруги. З чотирьох положень рукоятки два забезпечують вмикання, а два вимикання.

В наслідок того, що при розмиканні контактів дуга виникає в обмеженому об'ємі пакетів, тиск у цьому об'ємі підвищується, опір дуги і напруга на неї зростають. Це призводить до підсилення інтенсивності теплообміну між частками газу, покращенню умов теплопередачі від дуги, зменшенню довжини вільного пробігу електронів у газі і в решті гасінню дуги[34,35].

3.2.3 Релейно-контактні схеми систем промислової автоматизації

Основними елементами релейно-контактних схем автоматизації є реле, пускачі, різні апарати (кнопки керування, командоконтролери, універсальні перемикачі), технологічні датчики, кінцеві та шляхові перемикачі т. ін.

При розробці релейно-контактних систем автоматизації виконуються принципові суміщені або розгорнені електричні схеми. На рис.3.22а наведено суміщену схему керування виконавчим двигуном за допомогою контактора.

Кожний апарат (контактор КМ, кнопки керування SB і т. ін.) на суміщених схемах зображаються комплектно зі своїми елементами. На рис.3.22б наведено варіант схеми, що на рис.3.22а, тільки у розгорненому виконанні.

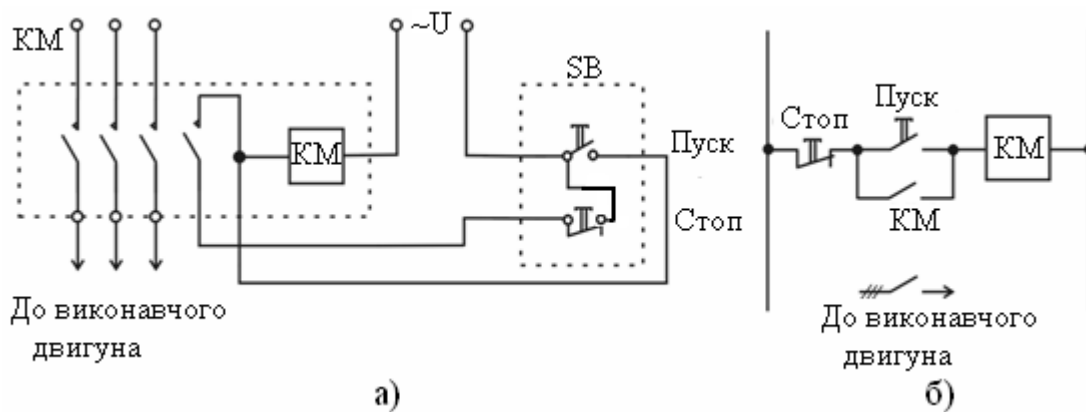








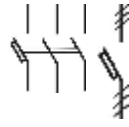

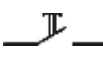
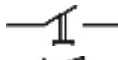




Рисунок 3.22 – Схема керування виконавчим двигуном: а) суміщена; б) розгорнена

У розгорнутих схемах елементи одного й того ж апарата зображають у тих колах, де вони увімкнені. Тоді читання їх значно зручніше. Елементи одного й того ж апарата мають однакове позначення, не дивлячись на те, що розташовуються у різних місцях схеми. Контакти апаратів зображують у положенні, при якому на вхід апаратів не подаються керувальні (командні) дії. Тому на схемах замикальні контакти показують у розімкненому, а розмикальні – у замкненому стані. Розгорнені схеми простіше за суміщених[19].

При створенні електричних схем використовуються умовні графічні позначення елементів електроавтоматики приведені нижче[36]. Серед яких:

- | | |
|--|--|
| 1. Обмотка реле контактора..... | |
| 2. Контакт комутаційного пристрою: | |
| а) замикальний..... | |
| б) розмикальний..... | |
| 3. Контакт замикальний із сповільнювачем, що діє: | |
| а) при спрацьовуванні..... | |
| б) при відновленні..... | |
| в) при спрацьовуванні та відновленні..... | |
| 4. Контакт розмикальний із сповільнювачем, що діє: | |
| а)при спрацьовуванні..... | |
| б)при відновленні..... | |
| в) при спрацьовуванні та відновленні..... | |
| 5. Контакт без самоповернення | |

а) замикальний.....	
б) розмикальний.....	
6. Контакт з самовідновленням	
а) замикальний.....	
б) розмикальний.....	
7. Контакт з автоматичним відновленням при перевантаженні.....	
	
8. Контакт електротеплового реле.....	
	
9. Вимикач	
	
а) однополюсний	
	
б) багатополісний	
10. Вимикач триполюсний з автоматичним відновленням.....	
	
11. Вимикач кнопковий натискний	
а) із замикальним контактом.....	
б) з розмикальним контактом.....	
12. Вимикач кнопковий витяжний	
а) із замикальним контактом.....	
б) з розмикальним контактом.....	
13. Вимикач шляховий розмикальний.....	
	

Кожному графічному позначенню елементів електроавтоматики присвоюються відповідні літери[36]. Наприклад:

- | | |
|---|-------------------------------|
| F - запобіжник, захисні пристрої; | QF - вимикач автоматичний; |
| Q - вимикачі та роз'єднувачі; | K - реле, контактор, пускач; |
| KM - контактор, пускач; | KT - реле часу; |
| KK - реле теплове; | KV - реле напруги; |
| SB - вимикач кнопковий; | SH - універсальний перемикач; |
| S - пристрої, що комутують у колах керування та сигналізації; | |

3.2.3.1 Загальні принципи побудови релейних схем

Релейно-контактні схеми розробляють, враховуючи найбільшу уніфікацію схем управління, контролю, сигналізації та застосування типових вузлів. Щоб зрозуміти загальні принципи побудови релейних схем розглянемо приклади схем блокування і кнопкового керування виконавчими електродвигунами та різними установками.

Схеми блокування широко застосовують в системах промислової автоматизації для запобігання порушень нормальної експлуатації різних об'єктів. При блокуванні внаслідок взаємного зв'язку окремих елементів забезпечується визначена послідовність вмикання окремих пристроїв або виконання технологічних операцій, а також нормальна робота автоматичних пристроїв, при цьому зростає надійність схем автоматизації.

У схемах з кнопковим керуванням реле, магнітними пускачами та контакторами апарати вмикаються за допомогою кнопок керування "Пуск" із замикальними контактами. При натисканні на кнопки керування вони замикають (розмикають) свої контакти, а при відпусканні під дією пружин повертаються у вихідне положення.

Для нормального функціонування релейної схеми з кнопковим керуванням застосовують самоблокування реле, контактора і магнітного пускача. При самоблокуванні паралельно контактам кнопки "Пуск" вмикається замикальний контакт реле K або контактора KM , рис.3.23. За допомогою цих контактів зберігається коло живлення обмотки реле незалежно від положення кнопки "Пуск".

При необхідності керування реле, контакторами або магнітними пускачами з різних точок (місцеве та дистанційне керування) або при здійсненні автоматичного режиму, кнопки "Пуск" і контакти керувальних реле $PKKP$, що замикають, приєднуються паралельно, а кнопки "Стоп" і контакти керувальних реле $ЗККР$, що використовуються для вимикання, приєднуються послідовно.

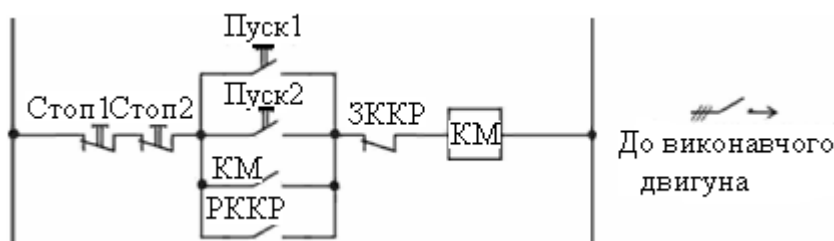


Рисунок 3.23 – Розгорнута принципова схема керування виконавчим електродвигуном

Схему взаємного блокування, яка здійснює одночасне вмикання двох реле, що керують виконавчими або іншими пристроями, наведено на рис.3.24.

При вмиканні реле $K1$ розмикається контакт реле $K1$ в колі обмотки реле $K2$, що унеможливорює вмикання реле $K2$.

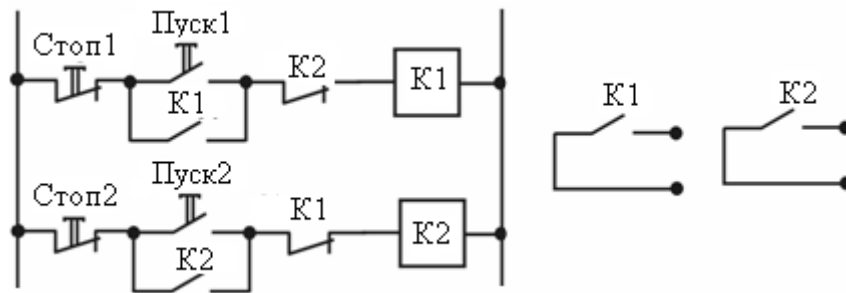


Рисунок 3.24 – Розгорнута схема взаємного блокування реле

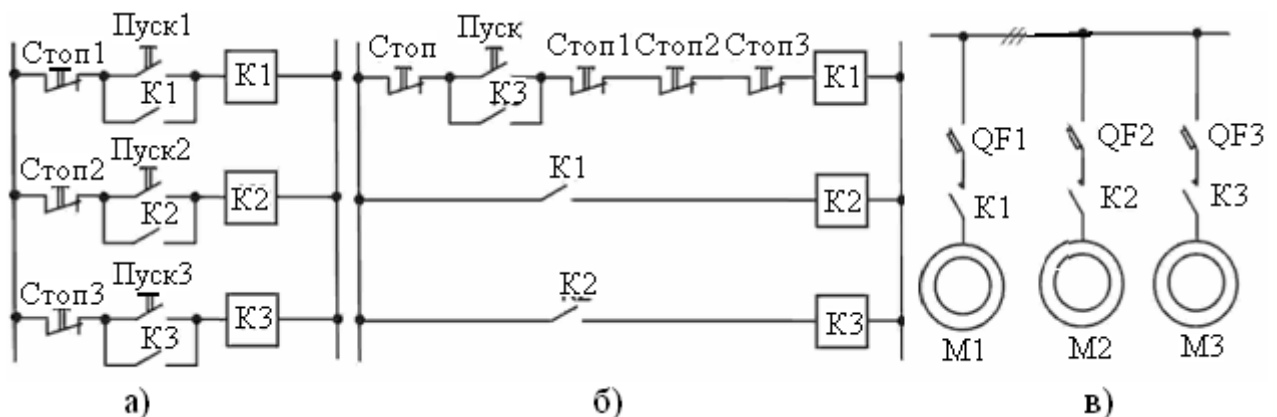
Розглянуті електричні, а також механічні блокування контакторів застосовують в схемах автоматичного керування реверсивними виконавчими електродвигунами.

За допомогою блокування забезпечується визначена послідовність технологічних операцій, вмикання та вимкання виконавчих механізмів та інших пристроїв. На рис.3.25 наведені схеми з послідовним вмиканням трьох виконавчих електродвигунів $M1$, $M2$, $M3$.

Схема блокування, рис.3.25а, забезпечує незалежне вмикання $M1$, а також $M2$ і $M3$ після вмикання відповідно $M1$ і $M2$.

У випадку вимкнення $M1$ автоматично вимикаються $M2$ і $M3$, а при вимкненні $M2$ вимикається $M3$.

На рис.3.25б наведено схему послідовного вмикання виконавчих двигунів з центрального пульта кнопкою керування "Пуск". Зупинення здійснюється або з центрального пункту кнопкою "Стоп" або в аварійних випадках - кнопками "Стоп1-"Стоп3". Напруга до кожного двигуна, рис.3.25в, підводиться через автоматичний вимикач QF з електромагнітним або тепловим роз'єднувачем, який забезпечує вимкання QF при коротких замиканнях і перевантаженнях через головні контакти контакторів K .



а) - послідовного пуску виконавчих двигунів; б) - послідовного централізованого пуску виконавчих двигунів; в) - однолінійна схема силових кіл двигунів $M1$, $M2$, $M3$.

Рисунок 3.25 – Схема блокування в релейно-контактних системах автоматики

У схемах автоматичного керування технологічними устаткуваннями блокування забезпечують правильне вмикання окремих виконавчих механізмів

залежно від положення того або іншого пристрою, закриття апарата т. ін. Такі блокування здійснюються вмиканням у схемі різних шляхових і кінцевих перемикальних пристроїв.

При необхідності вмикання резервного агрегату використовують різні схеми автоматичного вмикання резерву (АВР).

Просту схему АВР наведено на рис.3.26.

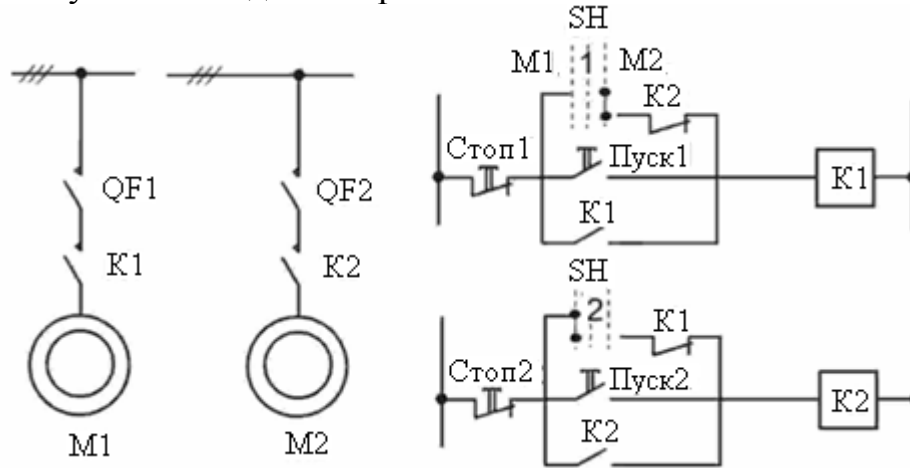


Рисунок 3.26 – Схема автоматичного вмикання резервного агрегату

Двигуни $M1$ і $M2$ разом з відповідними колами керування приєднують через автомати $QF1$ і $QF2$ до різних джерел живлення. Для забезпечення вмикання електродвигуна резервного агрегату при вимиканні робочого у колі його керування спрацьовує розмикальний контакт контактора робочого електродвигуна. Якщо агрегат з двигуном $M1$ знаходиться у роботі, а $M2$ - у резерві, то універсальний перемикач SH повинен бути встановлений у ліве положення (M_{1p}), а його контакт 1 – замкнений. При цьому контакт $K1$ у колі обмотки реле $K2$ – розімкнений.

При вимиканні $M1$ струм в обмотці реле $K1$ зникне і спрацює розмикальний контакт $K1$, що забезпечить замикання кола обмотки реле $K2$ і вмикання резервного агрегату. При початковому запуску агрегату перемикач SH знаходиться у середньому положенні.

Якщо агрегат з двигуном $M1$ знаходиться у резерві, а з $M2$ - в роботі, то АВР здійснюється аналогічно, тільки SH перемикається в праве положення (M_{2p}).

Схеми релейно-контактної автоматики використовують при регулюванні різних технологічних параметрів. На рис.3.27 наведено схему керування компресором КОМ з автоматичним регулюванням тиску в системі.

Датчиком тиску є електроконтактний манометр BP . Компресор вмикається кнопкою "Пуск" при ручному керуванні (перемикач SH встановлений у ліве положення) або замиканням контакту реле $K1$ у колі обмотки магнітного пускача KM при автоматичному керуванні (перемикач SH повернутий праворуч). Якщо тиск у системі падає до встановленого на BP мінімального значення, то подається сигнал на вмикання компресора.

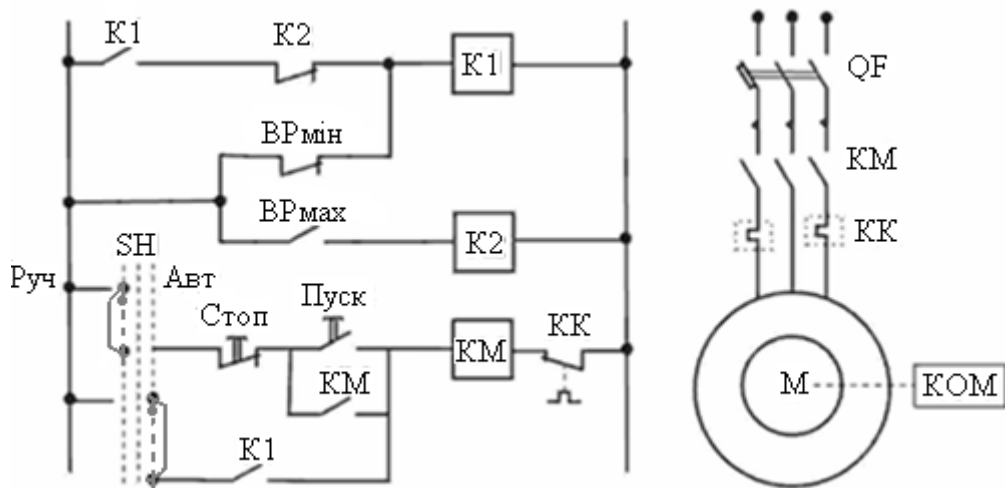
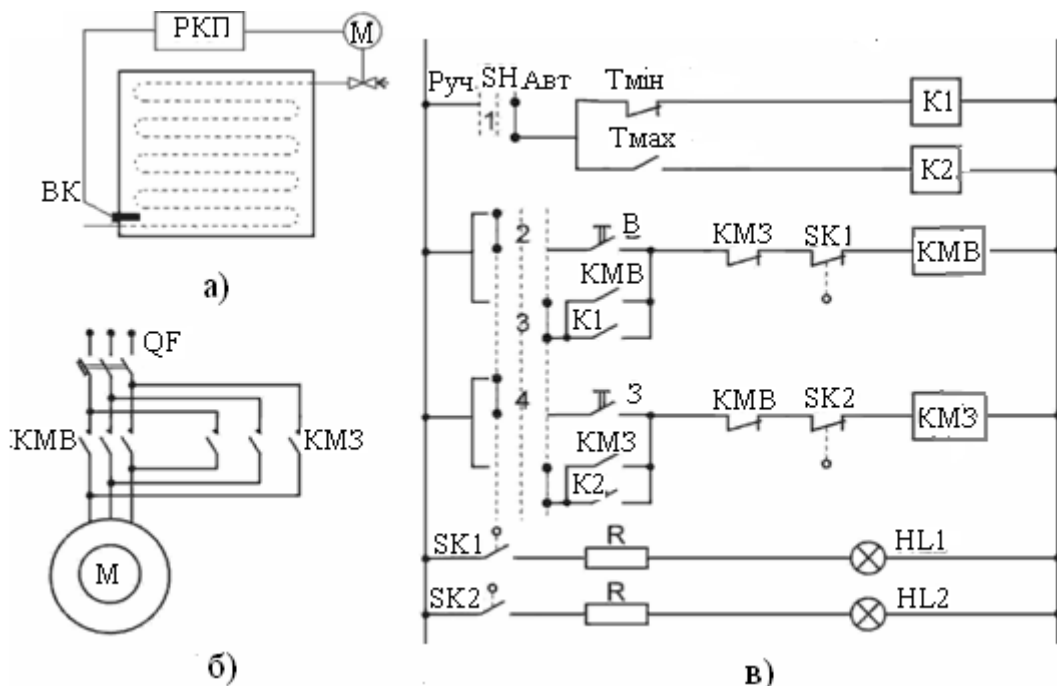


Рисунок 3.27 – Схема автоматичного керування компресором.

При роботі компресора тиск у системі буде підвищуватися, що призведе до розмикання контактів BP_{min} . Проте завдяки самоблокуванню реле $K1$ не вимкнеться і компресор буде продовжувати працювати. Якщо тиск у системі перевищує встановлений на BP_{max} , то компресор вимкнеться. Внаслідок його періодичного вмикання та вимикання забезпечується двопозиційне регулювання тиску у межах від мінімального до максимального заданого завдання. Теплове реле KK і роз'єднувачі автоматів QF призначені для вимикання електродвигуна при перевантаженні та коротких замиканнях.

На рис.3.28 наведено релейно-контактну схему автоматичного регулювання температури рідини у технологічному апараті.



а) - функціональна; б) – силових кіл виконавчого двигуна М; в) – розгорнута автоматичного керування двигуном.

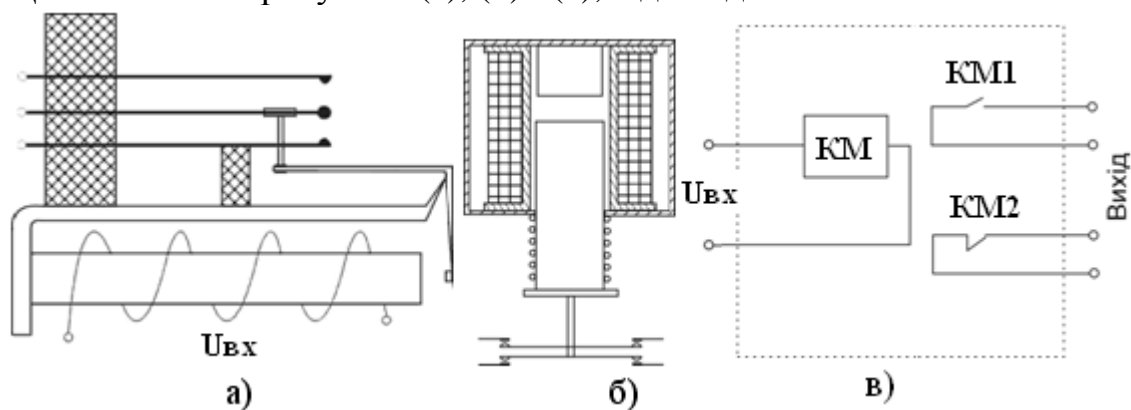
Рисунок 3.28 – Схема автоматичного регулювання температури

Нагрівання відбувається паром або гарячою водою. Датчиком температури BK є електроконтактний манометричний термометр (ЕКТ), виконавчим механізмом - засувка з електроприводом. Керування приводом здійснюється релейно-контактним пристроєм РКП. Контакти T_{min} і T_{max} ЕКТ малопотужні, тому в схемі передбачено проміжні реле $K1$ і $K2$, що використовуються як підсилювальні елементи. Універсальний перемикач SH перемикає кола керування з ручного режиму на автоматичний. Кінцеві вимикачі $SK1$ і $SK2$ вимикають відповідно до кола керування $KM3$ (закрито) і $KM2$ (відкрито) при повному закритті або відкритті засувки. Їх замикальні контакти використовують для сигналізації положення засувки. У схемі передбачено електричне блокування, яке виключає одночасне вмикання контакторів $KM2$ і $KM3$ (у коло обмотки $KM2$ увімкнено робочий контакт $KM3$, а у коло обмотки $KM3$ - робочий контакт $KM2$).

В автоматичному режимі перемикач SH знаходиться у положенні "Авт." Якщо температура рідини в апараті дорівнює або менше за нижню межу, то контакти ЕКТ замкнені. При вмиканні схеми спрацьовує реле $K1$, яке через контакти 3 перемикача SH , розмикальний контакт $KM3$ і кінцевий вимикач $SK1$ подає сигнал на вмикання $KM2$. Виконавчий двигун M при спрацьовуванні $KM2$ починає обертатися у бік відкриття засувки, забезпечуючи приплив теплоносія в апарат. При повному відкритті засувки кінцевий вимикач $SK1$ вимкне виконавчий двигун M . При нагріванні рідини спочатку розімкнеться контакт T_{min} , а потім при досягненні температурою верхньої встановленої межі замкнеться контакт T_{max} , який подає керувальний сигнал на закриття засувки. Таким чином, двопозиційна релейна система здійснює регулювання температури на двох рівнях – максимальному та мінімальному[19].

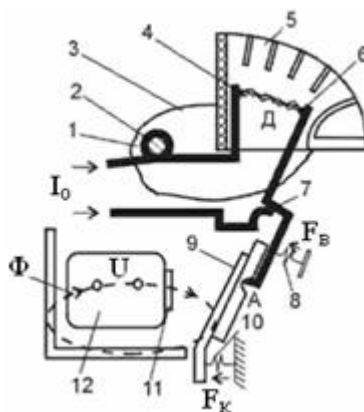
Контрольні запитання до розділу 3

1. Які пристрої належать до релейних елементів автоматики?
2. Які існують види статичних характеристик релейних елементів?
3. Що таке час спрацьовування та час відпускання реле?
4. Що таке коефіцієнт повернення реле та, що він характеризує?
5. На чому засновано принцип дії електромагнітних нейтральних реле?
6. Що показане на рисунках (а), (б) і (в), відповідно?



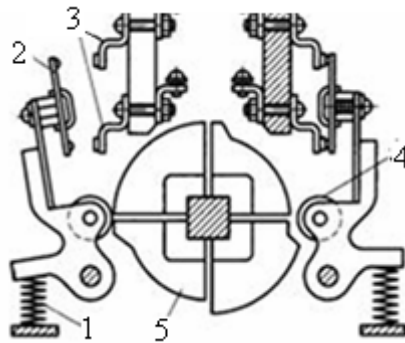
7. З яких етапів складається час спрацьовування реле?

8. За якою траєкторією відбувається зміна струму в обмотці реле при його роботі?
9. Який вигляд мають герконові реле та, за яким принципом вони працюють?
10. У чому особливість поляризованого електромагнітного реле?
11. Яку будову має поляризоване електромагнітне реле і, як воно працює?
12. На що реагує поляризованого електромагнітного реле?
13. Як здійснюється прискорення та сповільнення роботи електромагнітних реле постійного струму?
14. Як працюють електромагнітні реле змінного струму?
15. Який характер зміни тягової сили у реле змінного струму?
16. За рахунок чого усувається вібрація якоря реле при роздвоєному осерді?
17. Чому застосування двофазного механізму не використовується для усунення вібрації якоря?
18. Який вигляд має схема електронного транзисторного реле часу і, як воно працює?
19. Які стани контактів бувають при роботі реле?
20. В яких станах контакт реле піддається найбільшому зношуванню і чому?
21. Якими факторами обумовлюється спрацьовування контактів реле?
22. Що означають словосполучення «нормально-замкнені та нормально-розімкнені» контакти реле?
23. Які існують засоби гасіння дуги, що виникає у початковий момент розмикання контактів реле?
24. Яку будову мають твердотілі реле і в чому їх переваги над електромеханічними?
25. Які пристрої відносяться до групи апаратів керування приймачами електроенергії?
26. До якої групи пристроїв відносяться рубильники, автомати, пакетні вимикачі?
27. Чи захищають контактори електричні кола, в яких вони установлені, від перевантаження та коротких замикань?
28. Як працює контактор, будова якого наведена на рисунку?

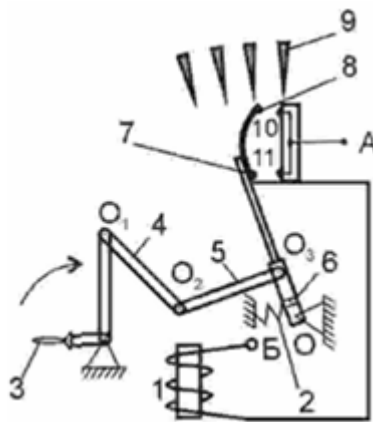


29. Яке призначення має пускач електромагнітний?

30. Яке функціональне призначення має командоконтролер?
 31. Як працює командоконтролер, розріз якого наведено на рисунку?



32. Яке призначення шляхових вимикачів?
 33. Чим відрізняються кнопкові та важельні кінцеві вимикачі?
 34. В яких випадках використовуються універсальні перемикачі?
 35. Як працює універсальний перемикач серій УП?
 36. Чим відрізняються фіксовані та нефіксовані кнопкові вимикачі?
 37. До якої групи апаратів відносяться рубильники?
 38. Чи забезпечує автоматичний вимикач захист кабелів, проводів та кінцевих споживачів електроенергії від перевантаження та короткого замикання?
 39. Як працює автомат, умовну схему якого наведено на рисунку?



40. Чим відрізняються пакетні від універсальних перемикачів?
 41. Які схеми більш поширені при розробці релейно-контактних систем автоматизації – суміщені чи розгорнені?
 42. Контакти апаратів зображують у положенні, при якому на вхід апаратів не подаються керувальні (командні) дії.
 43. В якому положенні зображуються контакти апаратів на принципових електричних схемах?
 44. Як працює схема автоматичного вмикання резервного агрегату?
 45. Які літери присвоюються графічному позначенню універсального перемикача?

4 ВИКОНАВЧІ ПРИСТРОЇ

Виконавчі пристрої – це пристрої систем автоматизації, які призначені для безпосереднього впливу на об'єкт керування. У загальному випадку виконавчій пристрій містить регулювальний орган (РО), виконавчий механізм (ВМ) та пускальний пристрій (ПП). Виконавчі пристрої залежно від енергії, що використовується, поділяються на:

- пневматичні з пневматичним ВМ;
- гідравлічні з гідравлічним ВМ;
- електричні з електричним ВМ та електричним ПП;
- електропневматичні з пневматичним ВМ та електропневматичним перетворювачем;
- електрогідравлічні з гідравлічним ВМ та електрогідравлічним перетворювачем;
- пневмогідравлічні з гідравлічним ВМ та пневмогідравлічним перетворювачем.

Виконавчі механізми – це рушійна частина виконавчих пристроїв, яка перетворює енергію, що отримала, у переставне зусилля. ВМ керують регулювальними органами відповідно до регулювальних діянь.

Використовуються виконавчі механізми таких видів:

- електричні (електромагнітні та електродвигунові);
- пневматичні (мембранні, поршневі та лопатеві);
- гідравлічні (прямохідні та кривошипні);

Пускові пристрої забезпечують необхідне підсилювання потужності керувальних сигналів, які подаються від регулятора при автоматичному або від оператора при ручному керуванні. Пускові пристрої працюють в парі з електричними ВМ.

Регулювальний орган – це ланка виконавчого пристрою, яка призначена для зміни витрати речовини або енергії в об'єкт регулювання. Розрізняють дозуючі та дросельні РО. Дозуючі – змінюють витрату речовини за рахунок зміни виробності агрегатів (дозатори, живителі, насоси, компресори та ін.). Дросельні РО належать до групи пристроїв, які кваліфікуються як трубопровідна арматура, оскільки вони встановлюються на трубопроводах і під впливом керуючих сигналів відкривають, закривають або регулюють витрату рідкого та газоподібного середовища за рахунок зміни свого прохідного перетину[3,36].

4.1 Дросельні регулювальні органи

Регулювальні органи за характером виконуваних функцій можуть бути запірними, регулювальними або запірно-регулювальними.

Запірна арматура призначена для перекриття трубопроводів, регулювальна – для регулювання, а запірно-регулювальна – для перекриття трубопроводів та регулювання параметрів середовища зміною його витрати.

Дросельні РО, у яких напрями руху потоку на його вході та виході співпадають називаються прохідними. Арматура, у якої цього співпадіння немає називається кутовою. Прохідні регулювальні органи зазвичай встановлюються на прямих відрізках трубопроводу, а кутові – у місцях його повороту.

За способом керування трубопровідна арматура поділяється на арматуру з ручним приводом, арматуру привідну та арматуру під дистанційне керування.

Арматура з ручним приводом керується за допомогою штурвала або рукоятки. Арматура привідна обладнана приводом, який встановлений безпосередньо на неї. Арматура під дистанційне керування керується приводом, який знаходиться біля неї і сполучається з регулювальним органом за допомогою з'єднувальних важелів.

Регулювальні органи характеризуються багатьма параметрами, основними з яких є пропускна та умовно пропускна здатність, умовний і робочий тиск, перепад тиску на РО та умовний прохід.

Пропускна здатність K_V – це витрата рідини з густиною 1000кг/м^3 , що пропускається РО при перепаді тиску на ньому 100КПа . Пропускна здатність вимірюється в кубічних метрах за годину ($\text{м}^3/\text{год}$).

Умовна пропускна здатність K_{VY} – це номінальне значення пропускної здатності РО при максимальному (умовному) ході затвора, $\text{м}^3/\text{год}$. Умовна пропускна здатність залежить від типу РО та розміру його умовного проходу D_Y .

Умовний тиск P_Y – це найбільший допустимий тиск середовища на РО при номінальній температурі. Міцність металів з підвищенням температури знижується. Тому для арматури та з'єднувальних частин передбачається також максимальний робочий тиск.

Максимальний робочий тиск – це найбільший установлений тиск середовища на РО при фактичній температурі. Робочий тиск залежить від властивостей металу деталей РО та температури середовища. Дозволяється перевищення фактичного робочого тиску до 5% понад установленого для заданої температури.

Перепад тиску на РО визначається зусиллями, на які розраховують ВМ, а також зношуванням дросельних поверхонь. Для багатьох видів виконавчих механізмів, у яких затвор не розвантажений від статичного та динамічного впливів середовища, гранично допустимий перепад тиску ставиться залежно від потужності ВМ.

Умовним проходом D_Y у РО називається номінальний діаметр проходу в приєднувальних патрубках. Стандартні розміри умовних проходів не поширюються на розміри проходу в середині корпусу.

Пропускна характеристика (внутрішня або ідеальна) встановлює залежність пропускної здатності відносно переміщення затвора S при постійному перепаді тиску: $K_V=f(S)$.

Конструктивна характеристика встановлює залежність зміни відносного прохідного перетину РО від ступеня його відкриття, тобто $F_S/F_{MAX}=f(S)$, де F_S –

площа прохідного перетину при переміщенні S РО; F_{MAX} – прохідний перетин РО при повному відкритті. При відповідному профілюванні дросельні пристрої регулювальних клапанів можуть мати будь-які конструктивні характеристики, що пристосовані до конкретних умов роботи автоматичних систем керування. Дросельні пристрої серійно випущених регулювальних органів профілюються звичайно з лінійною або рівновідсотковою пропускною характеристикою.

При лінійній пропускній характеристиці прирощення пропускної здатності пропорційно переміщенню затвора:

$$dK_v = C dS,$$

де C – стала величина.

При рівновідсотковій пропускній характеристиці прирощення пропускної здатності при переміщенні затвора пропорційно поточному значенню пропускної здатності:

$$\frac{dK_v}{dS} = CK_v$$

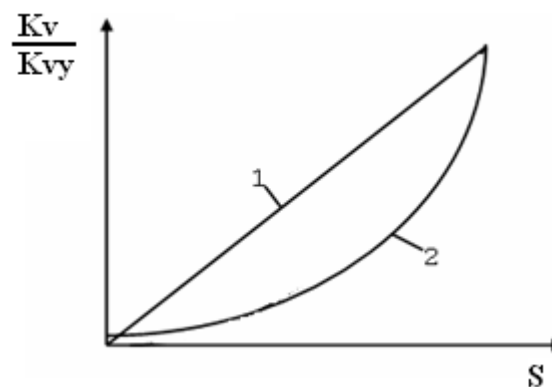
На рис.4.1 показані залежності відносної пропускної здатності K_v/K_{vy} від ступеня відкриття регулювального органа S для лінійної та рівновідсоткової пропускних характеристик РО.

В робочих умовах вигляд пропускної характеристики змінюється залежно від зміни перепаду тиску на клапані. При цьому РО характеризується витрачальною характеристикою, яка являє собою залежність відносної витрати середовища від ступеня відкриття РО $m=f(S)$,

де $m=Q/Q_{MAX}$ – відносна витрата середовища;

Q – витрата середовища при ступені відкриття РО m ,

Q_{MAX} – витрата середовища при повністю відкритому РО.



1 – лінійна; 2 – рівновідсоткова

Рисунок 4.1– Пропускні характеристики дросельних РО

Мінімальною пропускною здатністю K_{Vmin} називається найменше значення пропускної здатності, при якому зберігається пропускна характеристика в межах встановленого допуску. У багатьох випадках автоматизації виробничих процесів РО повинні мати широкий діапазон зміни

пропускної здатності, яким називається відношення умовної пропускної здатності K_{vy} до мінімальної пропускної здатності.

Негерметичність затвора, тобто пропускання середовища при повністю закритому проході також є характеристикою РО. Для надійного і якісного регулювання негерметичність затвора повинна бути мінімальною.

Загальні вимоги до РО залежать від фізико-хімічних властивостей регулювального середовища. Матеріал РО, що контактує з середовищем, повинен бути стійким до хімічного впливу середовища.

Регулювальний орган повинен надійно працювати при регулюванні середовища з високою або низькою температурою. У РО для середовищ з високою температурою необхідно передбачати, щоб температура защільникової набивки, яка ущільнює шток, не піднімалася вище за допустиму температуру для мастила, доданого до набивки.

При регулюванні середовища з від'ємною температурою необхідно передбачати захист від обмерзання частини штока РО, виступаючого із защільникової камери, або застосування РО спеціальної конструкції.

При необхідності РО повинен задовольняти умовам пожежо- та вибухобезпеки, тобто необхідно виключити проникнення регульованого середовища назовні.

Дросельні РО отримали найбільше поширення в системах автоматичного керування, не дивлячись на те, що іноді з економічного боку доцільно застосовувати дозуючі РО[36].

4.1.1 Типи регулювальних органів

Регулювання потоків рідин і газів, а також регулювання взаємних співвідношень різних компонентів у процесі виробництва є складовою частиною будь-якого технологічного процесу. Серед дросельних РО, що застосовуються для реалізації цих задач, найбільше поширення отримали клапани, засувки та крани.

Клапани – це арматура із запірним або регулювальним органом, що рухається зворотно-поступально уздовж центральної вісі ущільнювальної поверхні корпусу або повертається навколо вісі, яка перпендикулярна напрямку потоку середовища.

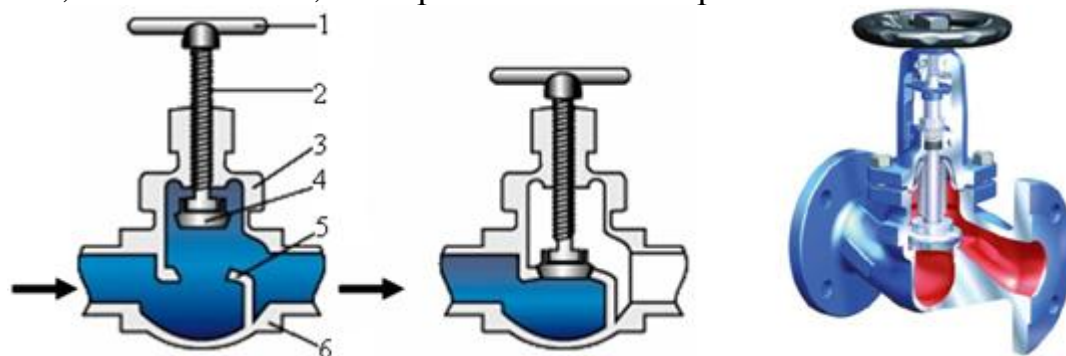
Залежно від принципу роботи клапани поділяють на два великих класи – клапани з лінійним і поворотним рухом затвора. В пристроях першого типу при відкритті клапана затвор підіймається і відкриває сідло, а в клапанах другого типу затвор повертається навколо вісі, відкриваючи або закриваючи прохід.

Регулювальний клапан з лінійним рухом затвора складається з трьох основних блоків – корпусу, дросельного вузла та приводу клапана. Типова конструкція прохідного запірно-регульовального клапана без установленого приводу показана на рис.4.2.

Всередині корпусу клапана 6 встановлюється дросельний вузол, що складається із сідла 5 і затвора 4, сполученого зі штоком 2. Сідло може

вкручуватися у корпус клапана, притискуватися до корпусу спеціальною втулкою або виготовлятися разом з корпусом.

Поміж корпусом 6 та кришкою 3 встановлена ущільнювальна прокладка. Шток 2 виводиться назовні через сальниковий вузол, який складається з підпружинених кілець з фторопласту або його модифікацій. На кришці 3 встановлюється привід, який з'єднується зі штоком клапана. Привід може бути ручним 1, пневматичним, електричним або електромагнітним.



1 – штурвал; 2 – шток; 3 – кришка коробки сальника; 4 – плунжер(затвор);
5 – сідло; 6 – корпус

Рисунок 4.2 – Регулювальний клапан з лінійним рухом затвора

Внутрішні частини клапана можуть бути зроблені з тих самих матеріалів, що і корпус, проте не рідко використовуються пластмаси, гума та зміцнювальні покриття. У якості ущільнювальних матеріалів, які герметизують сідло, шток і затвор, зазвичай використовують бавовну, тефлон, гуму або графіт. Ущільнювальні матеріали мають забезпечувати хорошу герметизацію і, в той же час, низьке тертя для забезпечення вільного переміщення штока.

Робоче середовище поступає в середину клапана з одного боку корпусу, а витікає з іншого. При цьому потік може зберігати напрям руху або повертатися на 90 градусів. У процесі роботи клапана шток переміщує затвор, відкриваючи чи закриваючи отвір сідла, відбувається змінення прохідного перетину клапана і, як наслідок, змінення його витрачальної характеристики.

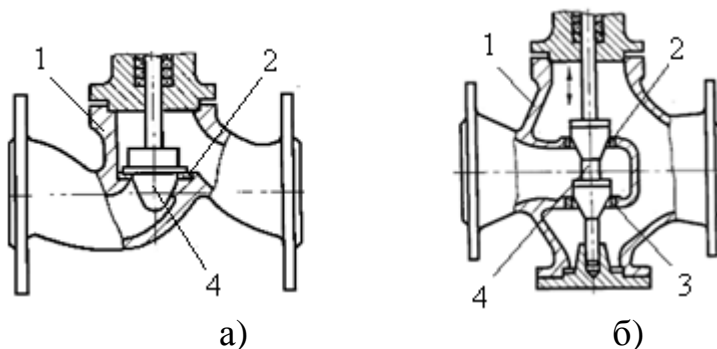
У більшості випадків вагоме значення для роботи клапана має правильний напрям подавання робочого середовища, тому він маркується стрілкою на зовнішній поверхні корпусів. Якщо середовище подається через лівий канал у корпусі, то такий напрям подавання називається «під затвор» (середовище підходить до плунжера знизу), якщо – через правий канал, то такий напрям подавання називається «на затвор» (середовище притискує плунжер до сідла в закритому стані).

З'єднання клапанів з трубопроводом можуть бути різьбовими, фланцевими або звареними.

Регулювальні клапани є найбільш поширеним видом дросельних РО. Їх застосовують для регулювання витрати рідини, пари та газів при будь-яких параметрах середовища (тиск – до 70МПа, температура від -255°С до 800°С).

Регулювальні клапани відрізняються за видом та кількістю опорних поверхонь, за конструкцією плунжерів і корпусів. На рис.4.3 приведені односідельний та двосідельний регулювальні клапани.

У двосідельних РО корпус 1 має два сидла 2 і 3, а плунжер (затвор) 4, який проходить крізь сидла, має два стовщення з дроселюючими та запірними поверхнями. Переміщення затвора відносно сидел змінює площу проходу. Двосідельні регулювальні клапани виготовляють нормально закритими і нормально відкритими у вихідному стані.



1 – корпус; 2,3 – сидло; 4 – плунжер

Рисунок 4.3 – Односідельний (а) і двосідельний (б) клапани

За конструкцією затвори двосідельних регулювальних клапанів поділяють на тарілчасті, пробкові та поршневі. У тарілчастих затворах, рис.4.4а, замикальна та дроселююча поверхні мають плоску, рис.4.4б, або конічну, рис.4.4в, форму.

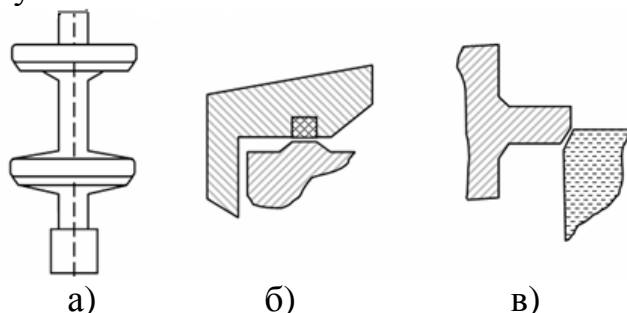


Рисунок – 4.4 Тарілчастий затвор (а), плоска (б) і конічна (в) форма замикальної та дроселюючої поверхонь

Тарілчасті клапани з плоскою опорною поверхнею як РО застосовують рідко. Це пояснюється тим, що при малому відкритті клапана внаслідок великих швидкостей середовища в щіліні ребра тарілки швидко зношуються і характеристика клапана сильно погіршується. Частіше їх застосовують як замикальні органи або при двопозиційному регулюванні. Тарілчасті затвори з конічною опорною поверхнею застосовують при регулюванні великих витрат, проте вони мають ті ж недоліки, що і клапани з плоскою опорною поверхнею, і тому широкого поширення не отримали. Конструктивні характеристики тарілчастих клапанів незалежно від форми опорних поверхонь з достатньою для практики точністю можна вважати лінійними.

У пробкових затворах дроселююча поверхня являє собою поверхню обертання параболи – параболоїд. Замикаюча поверхня виконана у вигляді конічних кромки. Пробкові затвори застосовуються для важких умов експлуатації при регулюванні витрат в'язких рідин та середовища, що виділяє кристали. Конструктивні характеристики клапанів з пробковим затвором можуть бути будь-якими залежно від профілю дроселюючої поверхні. Підняття пробкових затворів звичайно дорівнює 0,5-0,6 діаметра проходу в сідлі.

До недоліків пробкових затворів слід віднести швидке зношування дроселюючих поверхонь у стані, близькому до закритого. Проте, завдяки можливому наплавленню дроселюючих поверхонь твердими сплавами та надійній роботі у забруднених середовищах, пробкові затвори у двосідельних регулювальних органах випускаються як базові.

У поршневих затворах дроселюючі поверхні можуть бути у вигляді шліців, рис.4.5а, або нарізних отворів, рис.4.5б. У шліцевих затворах шліци звичайно виготовляють різної висоти так, щоб вони послідовно ставали до роботи. Така конструкція затвора дозволяє уникнути швидкого зношування дроселюючих поверхонь у стані, близькому до закритого. Поршневі затвори зі шліцевою дроселюючою поверхнею застосовують для регулювання нев'язких і некрystalізуючих рідин.

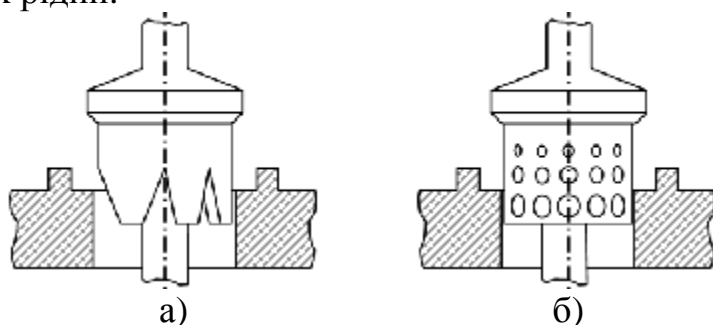


Рисунок 4.5 – Шліцевий поршневий затвор (а) та нарізний (б)

Регулювальні клапани з поршневим затвором можуть мати будь-які конструктивні та пропускні характеристики, крім того, ці характеристики можуть легко змінюватися шляхом зміни профілю шліців. Клапани з поршневим затвором працюють краще, ніж клапани з пробковим затвором в умовах кавітації.

Основною перевагою двосідельного регулювального клапана є те, що його затвор у значній мірі розвантажений від однобічної дії сили, яка створюється статичним тиском середовища. Зусилля, що розвиває робоче середовище одночасно діє у протилежних напрямках на обидва жорстко скріплені між собою плунжера. Завдяки цьому двосідельні регулювальні клапани при одному і тому ж приводі можна застосовувати при більш високих перепадах тиску, порівняно з іншими типами клапанів. Крім того, у двосідельних регулювальних клапанах є можливість виготовлення

дроселюючих поверхонь різної конфігурації для отримання потрібної конструктивної і, відповідно, пропускної характеристик.

Недоліком двосідельного регулювального клапана є відносно велике значення допустимої негерметичності затвора, яке пояснюється температурною деформацією деталей внаслідок різних коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів затвора і корпусу, а також нерівномірним зносом обох сідел і складністю точного одночасного притирання плунжерів до сідел. Крім того, при великих перепадах тиску і звичайних конфігураціях дроселюючих поверхонь рух середовища створює великий тиск на клапан через динамічну незрівноваженість затворів.

Зусилля, що потрібне для двосідельного клапана, складається з сили незрівноваженості статичного тиску середовища на затвор, сили тиску на шток і сили тертя штока об защільників набивку. Сила статичної незрівноваженості затвора P_3 визначається як добуток різниці площин верхнього та нижнього сідел корпусу DF_C на максимальний перепад тиску DP_{PO} до та після клапана:

$$P_3 = DP_{MAX} \cdot DF_C$$

Сила тиску середовища на шток визначається як добуток площі перерізу штока в місці, де він проходить крізь защільник, на максимальний вихідний тиск за клапаном P_{KL} :

$$P_{Ш} = 0,785 \cdot d_{Ш}^2 \cdot P_{KL}, \quad \text{де } d_{Ш} - \text{діаметр штока}$$

Крім того, на затвор діє сила, створювана динамічним впливом середовища, яка може досягати великого значення. Оскільки силу тертя штока в защільнику та силу, створювану динамічним впливом середовища важко обчислити то значення зусилля, яке визначається сумою сил статичної незрівноваженості та тиску на шток, вибирають з деяким запасом.

Односідельні регулювальні органи, як і двосідельні, за конструкцією можуть бути з тарілчастим, пробковим та поршневым затворами. Крім того, до односідельних РО відносяться клапани з канавчастими та ступінчастими затворами. Регулювальні органи з канавчастим затвором застосовують при регулюванні невеликих витрат, а зі ступінчастим – при регулюванні витрат вологого газу. Ступінчасті затвори зменшують небажане зниження температури газу при дроселюванні.

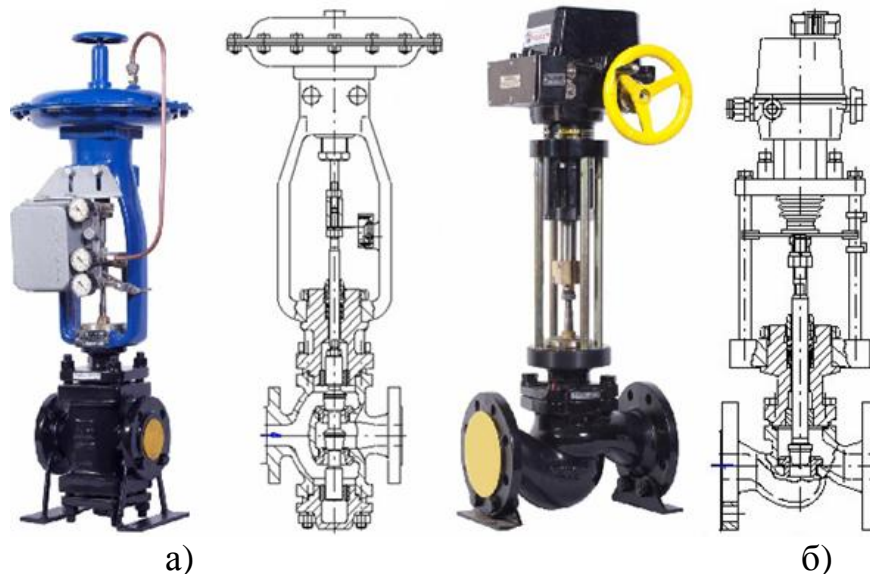
Односідельні РО можуть бути прохідними та кутовими. Односідельні застосовують в тих випадках, коли неможливе застосування розвантажених двосідельних РО. Важливою перевагою односідельних РО є те, що вони можуть забезпечити герметичність закриття проходу. Крім того, односідельні клапани застосовують при малих розмірах проходів (до 15,0 мм), коли виготовлення двосідельних клапанів пов'язано з великими труднощами, а також при великих проходах (до 500 мм), якщо середовище має велику в'язкість або містить тверді крихти.

Переставне зусилля, що необхідне для переміщення затвора в односідельному РО, складається з сил тиску середовища на шток, тертя штока об защільничкову набивку і сили, що створюється статичною

нерозвантаженістю затвора. Для односідельних РО, в яких середовище притискує затвор до сідла, виконавчий механізм повинен вибиратися з достатнім запасом зусилля, щоб при роботі у вузькій щілині затвор не затягнувся в прохід сідла, тобто $P_{BM} > \Delta P_{PO} \cdot F_C + 0,785 \cdot d_{Ш}^2 \cdot P_{КЛ}$,

$$\text{де } F_C = pD_C^2/4; D_C = (0,4 - 0,5)D_V.$$

Залежно від призначення і умов експлуатації в регулювальних клапанах застосовуються різні види керування дросельною арматурою, частіше за все використовуються електричні та пневматичні приводи, рис.4.6. Багато різновидів клапанів додатково оснащені штурвалами ручного керування.



а) – двосідельний з пневмоприводом; б) односідельний з електроприводом
Рисунок 4.6 – Регулювальні клапани 25ч37нж (а) і 25ч945нж (б)

Клапани з поворотним рухом затвора, які також мають назву – заслінки, можуть застосовуватися на трубопроводах як круглого, так і прямокутного перетину.

Заслінки мають вигляд циліндричного барабана або прямокутного корпусу з тонкої листової сталі, рис.4.7, який приєднується до трубопроводу за допомогою торцевих фланців. Всередині корпусу закріплена заслінка, яка повертається на вісі, розташованій перпендикулярно напрямку потоку, за допомогою рукоятки або електропривода. Заслінки використовуються в системах вентиляції, кондиціонування повітря, повітряного опалювання та інших санітарно-технічних системах з температурою до 80°C і робочим тиском до 1000 Па.

У деяких випадках заслінки використовують для регулювання витрачання рідини та пари. Заслінка має товщину значно меншу за її площу. Корпус клапана з поворотним затвором відносно короткий, а прохідний отвір має ущільнення з м'якого матеріалу. Шток клапана проходить через заслінку. Коли клапан закритий, заслінка розташовується перпендикулярно потоку, щільно прилягаючи до м'якої прокладки у корпусі. При обертанні штока у

підшипниках заслінка повертається. Коли клапан повністю відкритий, заслінка розташовується паралельно потоку.



Рисунок 4.7 – Заслінки серії КРА з рукояткою і електроприводом (а) та КР з електроприводом (б)

Повертальні заслінки можуть бути з одним затвором (однолопатні) або декількома (багатолопатні), безупорними та упорними. У безупорних заслінках, рис.4.8а, затвор має форму кола і при закритому проході знаходиться у вертикальному положенні, причому діаметр кола затвора трохи менше за діаметр проходу в корпусі, тому прохід повністю не закривається.

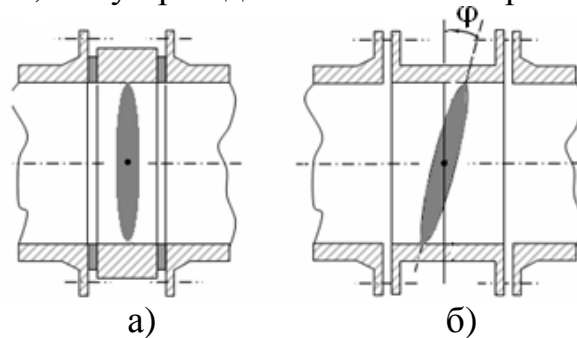


Рисунок 4.8 – Безупорна (а) та упорна (б) повертальна заслінка

Безупорні заслінки є тільки регульовальними. Проте за допомогою додаткових пристроїв (затвор з різними ущільнювальними кільцями, сідло з гумовим покриттям) у безупорних заслінках досягається герметичність, при якій вони можуть бути використані як запірно-регульовальні.

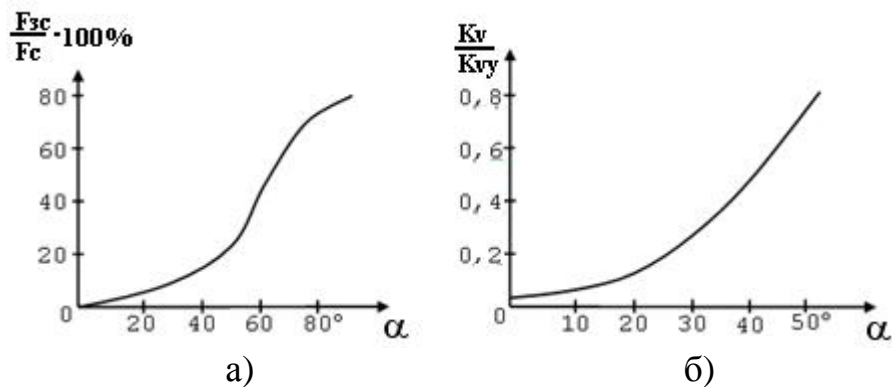
В упорних заслінках затвор має еліпсову форму і закриває прохід з меншими прозорами. У закритому стані в упорній заслінці, рис.4.8б, затвор знаходиться під кутом $j = 10, 15^\circ$ до вертикалі. Упорні заслінки можуть використовуватися як запірно-регульовальні, але їх не можна застосовувати для роботи на забруднених газах і рідких розчинах, з яких можуть виділятися тверді крихти. Негерметичність упорних заслінок у 3-4 рази менше ніж у безупорних.

Регульовальні заслінки відносяться до непрофільованих РО и мають пропускні характеристики близькі до рівновідсоткових. Конструктивна та пропускна характеристики повертальних заслінок показані на рис.4.9.

Конструктивні характеристики повертальних заслінок для прямокутних і круглих трубопроводів визначаються рівнянням:

$$F_{з.с.} = F_c \cos \alpha,$$

де $F_{з.с.}$ – площа проходу між затвором і сідлом; F_C – площа проходу в сідлі приблизно дорівнює площі умовного проходу трубопроводу; α - кут повороту затвора від стану, при якому прохід закрито.



а) – конструктивна; б) – пропускна
Рисунок 4.9 – Характеристики поворотальних заслінок

У стані проміжного відкриття диск заслінки поділяє потік на дві нерівні частини. У результаті цього витрата середовища та швидкості потоків крізь верхню та нижню щілини будуть неоднакові. При цьому в наслідок різного статичного тиску середовища перед диском (зверху та знизу) на нього діє реактивний обертальний момент, який намагається повернути його таким чином, щоб закрити прохід.

Момент, який повинен створювати виконавчий механізм для обертання заслінки, визначається реактивним обертальним моментом M_p і моментом сил тертя M_m у підшипниках, Нм:

$$M=K(M_p+M_m),$$

де $K=2-3$ – коефіцієнт, який враховує затягнення защільників та завантаженість трубопроводу.

Реактивний момент, зумовлений прагненням потоку закрити заслінку, Нм:

$$M_p=0,07 DP_{зас} D_y^3,$$

де $DP_{зас}$ - перепад тиску на заслінці, Па; рекомендується брати рівним надлишковому тиску перед заслінкою.

Момент сил тертя в опорах, Нм:

$$M_m=0,785 D_y^2 \cdot DP_{зас} r_{ш} I,$$

де $r_{ш}$ - радіус шийки вала заслінки, м;

$I=0,15$ - коефіцієнт тертя в опорах;

D_y - умовний діаметр, м.

При відкритті проходу ці моменти підсумовуються, а при закритті віднімаються. Коли розрахунок моменту сил тертя здійснити важко, значення моменту, який переставляє РО, вибирають у 2 рази більше за реактивний поворотальний момент.

Повертальні заслінки мають деякі переваги відносно інших типів РО. Так, їх затвор у значній мірі розвантажений, оскільки сили, що створюються

тиском середовища на обидві його половини, частково зрівноважуються. Тому для повороту затвора потрібен виконавчий механізм відносно невеликої потужності. Крім того, повертальні заслінки відрізняються простотою конструкції, невеликими габаритами та масою.

Багатолопатні заслінки (жалюзі) при однакових розмірах з однолопатними мають суттєво менший реактивний обертальний момент. Проте у зв'язку з більш складною конструкцією і дуже великим пропусканням у стані "Закрито" багатолопатні заслінки застосовують відносно рідко.

У звичайних повертальних заслінках, коли діаметр затвора та сідла приблизно дорівнюють діаметру умовного проходу, 100%-ва пропускна здатність досягається при повороті затвора на 60°. У тих випадках, коли необхідно, щоб при тому ж діаметрі умовного проходу корпуса пропускна здатність заслінки при повороті затвора на 60° була меншою, у корпус вставляють кільцеву вставку (створюється звуження проходу) і затвор вибирають меншого діаметра. Таким чином, повертальні заслінки при одному й тому ж проході можуть мати повну умовну пропускну здатність і зменшену.

Для запобігання зворотної течії речовини у трубопроводі застосовуються зворотні клапани. Запірний орган у зворотних клапанах відкривається прямим потоком речовини, а закривається – зворотним потоком.

Існують два основних типи зворотних клапанів – відкидні та підйомні, рис.4.10. Відкидні мають шарнірний затвор, який кріпиться за сідлом. Під впливом потоку з боку отвору затвор відкривається і речовина проходить через клапан. Якщо потік змінює напрям, затвор опускається і закриває прохідний отвір, а речовина щільно притискує його до сідла.

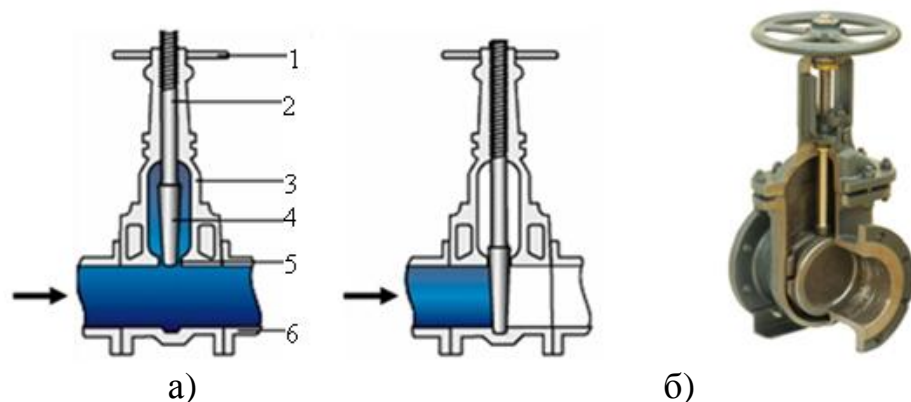


Рисунок 4.10 – Відкидний (а) та підйомний (б) зворотний клапан
1- шарнір, 2- затвор, 3- корпус, 4- золотник, 5- пружина

Клапан з підйомним золотником працює за тим самим принципом, тільки золотник переміщується у вертикальному напрямному циліндрі. Коли напрям потоку змінюється золотник опускається і щільно притискується пружиною до сідла.

Засувка – це така конструкція арматури, яка має запірний орган, що переміщується уздовж ущільнювальних поверхонь корпусу РО перпендикулярно вісі потоку речовини. Засувки використовуються практично на будь-яких технологічних і транспортних трубопроводах діаметрами від 15мм до 2000мм при робочому тиску до 35 МПа і температурах до 565°C.

Засувки не призначені для регулювання витрати середовища, а тому використовуються переважно в якості запірної арматури, що встановлена на технологічних і магістральних трубопроводах. Запірний елемент (затвор) у засувках переміщується зворотно-поступально і має два крайніх робочих положення – «відкрито» та «закрито», рис.4.11.



а) відкрито; б) закрито; 1 – штурвал; 2 – шток; 3 – кришка коробки сальника; 4 – затвор; 5 – сідло; 6 – корпус

Рисунок 4.11 – Засувка

За формою запірного органа засувки поділяються на клинові, паралельні, шиберні та шлангові.

У клинових засувках затвор має вид плоского клина. А сідла та їх ущільнювальні поверхні на корпусі паралельні ущільнювальним поверхням затвора і розташовані під кутом до напрямку його переміщення. Клин може бути суцільним (жорстким чи пружним) або складеним у вигляді двох дисків, що розташовані під кутом один до одного. Для засувок з суцільним клином характерним є підвищений знос ущільнювальних поверхонь; потреба в індивідуальній пригонці сідел і клина для забезпечення герметичності; можливе заїдання клина у закритому положенні в наслідок зносу, корозії або під впливом температури.

Конструкція затвора засувок з пружним клином забезпечує ущільнення проходу в закритому стані без індивідуальної технологічної пригонки. Пов'язане це з тим, що затвор зроблений у вигляді розрізаного (або полурозрізаного) клина, поміж частин якого знаходиться пружний елемент, що забезпечує щільне прилягання обох поверхонь клина до сідел.

Паралельні засувки мають запірний або регулювальний орган, у якого ущільнювальні поверхні розташовані паралельно одна однієї. Затвор у цих засувках може бути однодисковим або дводисковим з розпірним клином або пружиною між дисками.

Шиберна засувка є різновидом однодискової паралельної засувки, у якій затвор називається однобічним шибером. Такі засувки застосовуються, коли потік речовини має один напрям і не потрібна висока герметичність запірного органа. Шиберні засувки використовуються як запірні пристрої на трубопроводах, що транспортують шлами, пульпи, відхідні гази та інші

середовища, що забруднені механічними домішками при невеликих статичних тисках (до 10кПа).

У шиберах затвор, виконаний у вигляді полотна, що переміщується перпендикулярно напрямку потоку Q , рис.4.12.

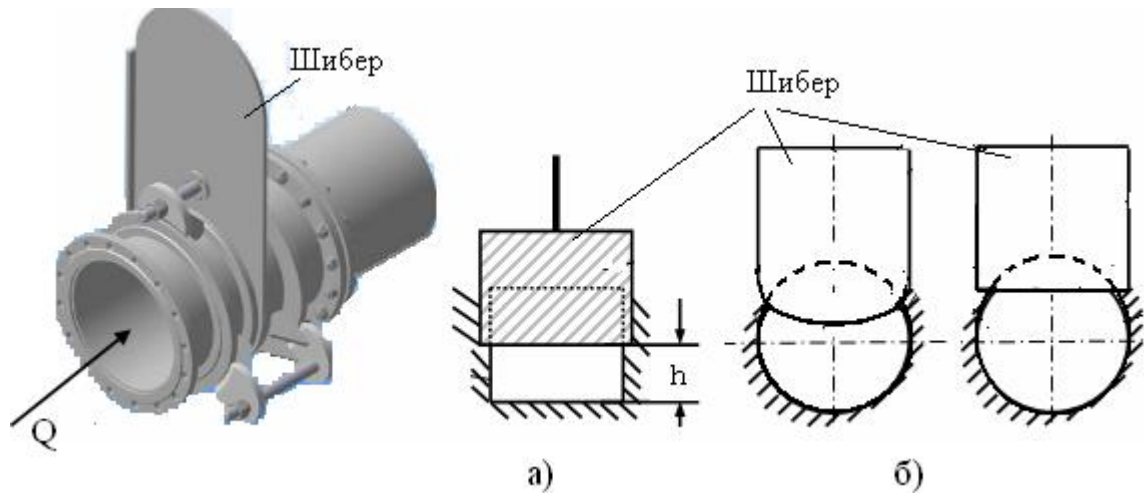


Рисунок 4.12 – Шибері на каналах прямокутного (а) та круглого перетину (б)

Шибері встановлюють на трубопроводах, коробах та каналах будь-якої форми перетину, але частіше за все їх застосовують на трубопроводах і каналах прямокутного і круглого перетину.

Шибері в прямокутних каналах зазвичай мають лінійну конструктивну характеристику 1, рис.4.13. Проте шляхом зміни профілю перетину каналу або шибера можна отримати конструктивну характеристику будь-якої форми. Шибері, що на трубопроводах круглого перетину, мають нелінійні конструктивні характеристики 2 і 3.

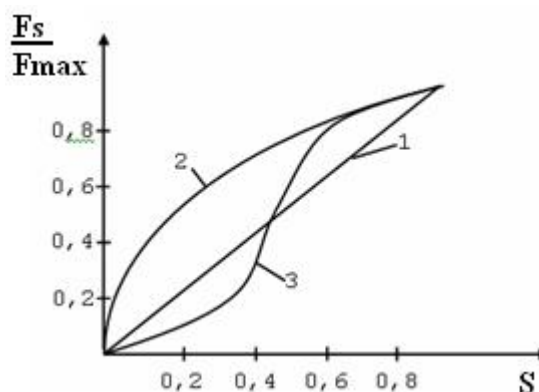


Рисунок 4.13 – Конструктивні характеристики шиберів на трубопроводах прямокутного (1) та круглого (2,3) перетинів

Конструктивні характеристики круглих шиберів, як і прямокутних, за допомогою вставок у каналі та вирізів полотна можуть бути будь-якої форми.

Найбільше застосування мають шиберні прямокутні та круглі перетини без вставок з простішою формою робочого полотна. Шиберні виготовляють з різних матеріалів залежно від умов роботи. Для роботи на інертних газах з температурою до 300°C шиберні виготовляють з листової сталі, а з температурою вище 300°C – з чавуну. Для регулювання агресивних газів застосовують шиберні з легированих сталей або зі спеціальним покриттям.

При розрахунку шиберів, окрім перепускнув характеристики, визначають також зусилля P , що необхідно для переміщення дросельного органу. Найбільше зусилля для переміщення шиберу потрібне в стані мінімального відкриття:

$$P = KDPF + G,$$

де DP – перепад тиску на шибері; F – площа рухомої частини шиберу, на яку діє перепад тиску; G – маса рухомої частини; K – коефіцієнт тертя.

Потужність виконавчого механізму вибирають з більшим запасом, оскільки коефіцієнт тертя значно збільшується через забруднення опорної поверхні в процесі експлуатації.

Засувки зазвичай виготовляють повнопрохідними, тобто діаметр проходу засувок практично дорівнює діаметру трубопроводу. Засувки можуть бути з висувним або невисувним (обертаним) шпинделем. У висувних – при відкриванні та закриванні засувки шпиндель здійснює поступовий рух, а ходова різьба шпинделя і гайки знаходяться поза порожнини засувки.

У невисувних – при відкриванні та закриванні засувки шпиндель здійснює тільки обертальний рух, а ходова різьба знаходиться в середині порожнини засувки у контакті з робочою речовиною. Для керування засувками використовується ручний або електричний привід. На засувках великих діаметрів з ручним керуванням використовується редуктор. Іноді затвор виготовляється ножовим, щоб забезпечити зруйнування частинок у забрудненому робочому середовищі. Тоді засувки називаються шиберними ножовими, рис.4.14.

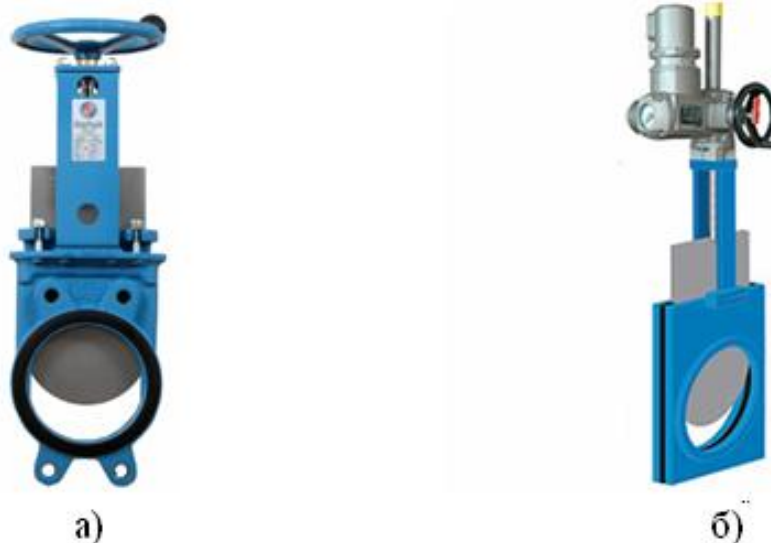


Рисунок 4.14– Ножова шиберна засувка з ручним (а) та електричним (б) приводами

Дводискові паралельні засувки у закритому положенні забезпечують достатньо хороше ущільнення в затворі. Тому їх використовують, коли потрібна надійна герметизація.

Перевагою засувок є відносна простота конструкції, малий гідравлічний спротив і можливість подачі речовини у будь-якому напрямі. До недоліків можна зарахувати великий час відкривання і закривання, значну будівельну висоту порівняно з іншими видами РО і неможливість використання в якості регулювальної арматури.

Різновидом трубопровідної запірної арматури є затвор поворотний дисковий, який має кільцевий корпус з розташованим у ньому запірним поворотним диском. Поворотний диск обертається всередині гумової манжети, яка забезпечує герметичність. Затвори не є повнопрохідними. Затвори призначені для закривання, відкривання або ручного регулювання потоків води, повітря, пари, а також інших неагресивних рідин.

Зазвичай корпус виготовляється з чавуну і має епоксидне покриття, як зовні, так і усередині. Робоча речовина з корпусом не контактує. Сідлове ущільнення виготовляється з матеріалу, який забезпечує роботу затвора при заданих температурах середовища. Диск зроблений з нержавіючої сталі або чавуну з захисним покриттям. Повертається рукою з фіксатором у проміжних положеннях з кроком 10 градусів. Деякі конструкції затворів виготовляють з замінним багатопаровим ущільненням метал по металу.

Дискові поворотні затвори типу «Батерфляй» є представником нового покоління запірної арматури, яка прийшла на зміну традиційним засувкам. Вони розроблені для використання у різних галузях промисловості. Відсутність сальників усуває можливість непередбачених витоків, а також - знижує витрати на контроль і обслуговування арматури. Конструкція поворотного затвора приведена на рис.4.15.



Рисунок 4.15– Конструкція і зовнішній вигляд поворотного затвора типу «Батерфляй»

У порівнянні із засувкою, поворотний затвор типу "Батерфляй" має просту конструкцію, невелику будівельну довжину, малу вагу, низьку вартість установки і обслуговування, а також високу герметичність і надійність. Протягом експлуатації поворотний затвор не потребує обслуговування ущільнення штока, мащення тертьових деталей і ремонту проточної частини.

У теперішній час дискові поворотні затвори є найбільш розповсюдженим компонентом трубопроводів у світі. Ці затвори забезпечують повну двобічну герметичність, використовуються як регулювальна, запірно-регулювальна та відсічна арматура у системах з підвищеними вимогами.

У багатьох випадках до РО пред'являють додаткові вимоги, які пов'язані з особливими властивостями регулювального середовища та умовами перебігу технологічного процесу. У деяких галузях промисловості нерідко мають справи з агресивними рідинами, які містять тверді складові і схильні до відкладання осадів.

Регулювання витрат агресивних рідин і газів може здійснюватися тільки спеціальними РО, виконаними з хімічно стійких матеріалів. За наявності агресивного середовища не можуть застосовуватися регулювальні клапани, що виконані зі звичайних матеріалів і мають звичайні ущільнення. Для регулювання агресивних середовищ розроблені конструкції безущільникових регулювальних клапанів, в яких як ущільник і рухомий дроселюючий елемент використовується гнучка мембрана, а внутрішня поверхня клапана футерована спеціальними матеріалами. За допомогою штока мембрана переміщується, регулюючи прохідний переріз клапана або повністю перекриваючи його. У цій конструкції деталі клапана, що рухаються, ізольовані від потоку рідини, і тому такий клапан не потребує заміни ущільнень або затвора. Клапани цього типу призначені для роботи з агресивними рідинами або рідинами, що містять суспензію твердих часток, а така арматура дістала назву діафрагмовою, рис.4.16.



Рисунок 4.16– Конструкція і зовнішній вигляд діафрагмового (мембранного) регулювального органа

Для регулювання середовища, що містить тверді та абразивні крихти, застосовують шлангові РО, рис.4.17. Зміна прохідного перетину шлангового каналу здійснюється шляхом перетискання вставленого в корпус пружного шлангу. Шланг виготовляють з якісної гуми з тканинним армуванням, яка забезпечує роботу засувок при тиску до 1,6 МПа и температурах до 110 °С.

Затвор являє собою пристрій, де два вали, між якими розташовано шланг, зближуються або розходяться у площині, перпендикулярній осі проходу. Шлангові клапани застосовують як замикальні і регулювальні РО.



Рисунок 4.17 – Загальна конструкція і зовнішній вигляд шлангової засувки Flowrox

Замикальні шлангові клапани іноді називають засувками. Відбувається це тому, що шпindel при керуванні цією арматурою зміщується перпендикулярно вісі проходу речовини, тобто працює за принципом засувки.

Основна перевага шлангових засувок – повна герметизація робочого середовища від зовнішнього, головний недолік – невеликий строк служби еластичного патрубку.

Особливістю шлангових і діафрагмових РО є те, що їх пропускна здатність змінюється майже лінійно тільки у межах 25%-вого переміщення. Тому при регулюванні рух затвора звичайно відбувається в межах четвертої частини умовного діаметра регулювального органа.

Крани називаються конструкції арматури із запірним або регулювальним органом у формі тіла, яке повертається навколо вісі, що перпендикулярна напрямку руху речовини.

Крани поділяються на прохідні та пробно-спускні. Пробно-спускні крани мають один приєднувальний патрубок і прямий або зігнений спуск.

За конструкцією затвора крани можуть бути конусними, кульовими і циліндричними. Запірний або регулювальний орган конусного крана має форму конуса, кульового — сферичну поверхню, а циліндричного — циліндричну форму.

Конусні крани виготовляються сальниковими та натяжними. У сальникових натягнення запірною чи регулювальною частиною здійснюється сальником у верхній частині корпусу, а у натяжних – гайкою в нижній його частині.

Коли конусний кран відкритий, рідина проходить скрізь отвір, що просвердлений у тілі пробки. Коли пробку повернути на 90 градусів, вона своєю суцільною частиною перекриває потік, рис.4.18.

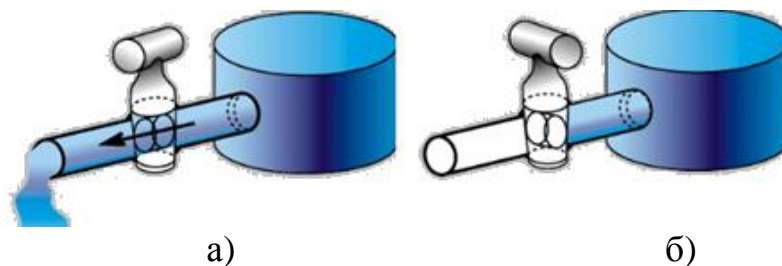


Рисунок 4.18 – Відкритий пробковий кран (а) і закритий (б)

Крани застосовують для регулювання витрат рідин і газів у трубопроводах невеликого перетину. Найбільш поширеною є конструкція крана, в якій затвор має вигляд конусоподібної пробки, притертої до корпуса з прохідним отвором. Крани виготовляють для встановлення в круглих і прямокутних трубопроводах. Отвори в затворі та корпусі можуть бути круглої, прямокутної, овальної, трикутної та інших форм. Відповідно до цього і конструктивні характеристики можуть мати будь-яку форму.

Для безперервного регулювання крани застосовуються відносно рідко, проте при двопозиційному регулюванні вони мають переваги порівняно до інших типів РО – невелику масу та габаритні розміри, просту конструкцію, при повністю відкритому проході відносно малий гідравлічний опір.

Конічні крани не забезпечують достатньої герметичності закриття проходу, оскільки навіть при невеликій відмінності в конусності затворів і сідел замикаючі поверхні будуть торкатися тільки по вузькій смужці, що лежить у площині, перпендикулярній до осі обертання. Крім того, у конічних кранах часто виникає заклинювання затвору.

У кульовому крані регулювальний елемент має вигляд кулі з отвором наскрізь. Куля розташована між двох співвісних сідел. Коли шток крана повертається на 90 градусів, отвір в кулі співпадає з отворами сідел і рідина протікає без перешкод. У закритому стані отвір в кулі займає перпендикулярне положення відносно отворам в сідлах, які щільно перекриваються поверхньою кулі, рис.4.19.



Рисунок 4.19 – Кульовий кран

Кульові крани мають суттєві переваги порівняно до конічних. В них виключається можливість заклинювання пробки, оскільки при незбіганні

радіусів сфер затвора та сідла ущільнювальний контакт створюється по колу навколо проходу. Проте, маючи переваги, кульові крани з циліндричним проходом в затворі не застосовують для регулювання витрат середовища в широкому діапазоні, оскільки не забезпечують необхідну пропускну характеристику.

У цих випадках для регулювання частіше застосовують крани з циліндричним затвором. У цьому крані затвор являє собою порожнистий циліндр, на бокових стінках якого прорізани вікна. Циліндричний затвор обертається в стакані, запресованому в корпусі. Вікна, що прорізани в циліндричному затворі та стакані, утворюють дроселюючі поверхні. У циліндричних кранах проміжок між затвором і сідлом малий (0,1-0,2 мм), тому такі РО чутливі до забруднення[36-40].

4.1.2 Вибір форми пропускну характеристики

Необхідною умовою надійної роботи системи автоматичного керування є правильний вибір форми пропускну характеристики РО. У загальному випадку витрачальна характеристика відрізняється від пропускну тому, що параметри середовища (тиск, перепад тиску), як правило, залежать від значення витрат. Тому задача вибору форми переважної пропускну характеристики РО розділяється на два етапи:

- вибір форми витрачальної характеристики, яка забезпечує сталість коефіцієнта передачі РО в усьому діапазоні навантажень;
- вибір форми пропускну характеристики, яка забезпечує при даних параметрах середовища бажану форму витрачальної характеристики.

Для розв'язання поставленого завдання розглянемо вплив внутрішніх збурень, які йдуть по каналу регулювальних діянь, і зовнішніх збурень на зміну коефіцієнта передачі РО для лінійної та рівновідсоткової витрачальної характеристик.

На рис.4.20 показані лінійні 1 і 2 та рівновідсоткові 3 і 4 витрачальні характеристики РО при нормальному тиску (1 і 3) і при падінні тиску (2 і 4) у мережі.

При незмінному навантаженні об'єкта затвор РО з лінійною витрачальною характеристикою для компенсування внутрішніх збурень переміститься з точки a у точку a' , при цьому, як видно з графіка, коефіцієнт передачі $dm/dS = tga$ РО суттєво зміниться, тобто $tga \neq tga'$. Для рівновідсоткової характеристики затвор переміститься з точки δ у точку δ' . При цьому коефіцієнт передачі фактично не змінюється, оскільки дотичні в точках δ і δ' , що характеризують коефіцієнт передачі, мають однаковий нахил, тобто $tgb = tgb'$.

При зовнішньому збуренні регулювальні органи з лінійною витрачальною характеристикою будуть мати однаковий коефіцієнт передачі в усьому діапазоні навантажень. Будь-яке нове положення затвора і відповідна до нього зміна витрачання, що необхідна для компенсації збурення, пов'язані

однією й тією ж витрачальною характеристикою. При рівновідсотковій витрачальній характеристиці на відміну від лінійної зміна витрачення призведе до зміни коефіцієнта передачі регулювального органа.

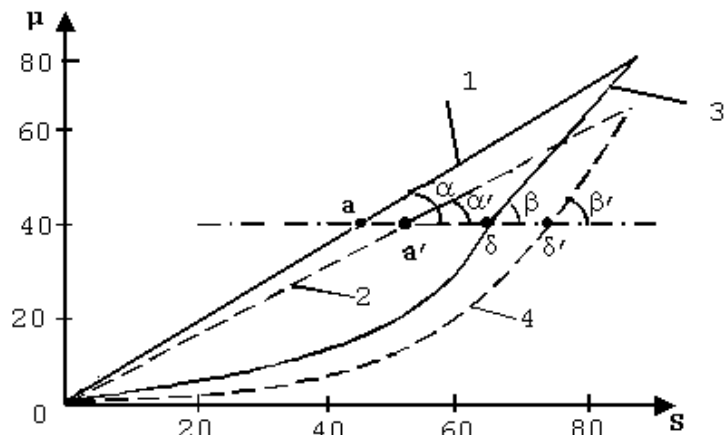


Рисунок 4.20 – Лінійні та рівновідсоткові витрачальні характеристики РО

Таким чином, якщо основними збуреннями в об'єкті є збурення у регулювальному каналі, то в цьому випадку переважною є рівновідсоткова витрачальна характеристика. Якщо основними збуреннями є зовнішні збурення (зміна навантаження об'єкта та ін.), то бажано мати лінійну витрачальну характеристику.

Після того, як вибрано бажану форму витрачальної характеристики, слід визначити форму пропускнув характеристики, яка забезпечила б при деяких параметрах середовища витрачальну характеристику саме такої форми.

Форма витрачальної характеристики аналогічна формі пропускнув характеристики тільки у випадках, якщо на трубопроводі (в мережі) немає інших гідравлічних опорів, крім РО, та при значній потужності джерела живлення. Проте практично в усіх реальних мережах послідовно з РО є інші гідравлічні опори: місцеві опори, замикальна арматура, опір прямих відрізків трубопроводів та ін.

Загальний перепад в мережі $\Delta P_{мер}$ є сума перепадів в лінії ΔP_l на РО ΔP_{po} та гідравлічного тиску ΔP_z :

$$\Delta P_{мер} = \Delta P_l + \Delta P_{po} \pm \Delta P_z.$$

Величина ΔP_z при верхньому положенні джерела тиску рідини додатна, при нижньому – від'ємна. Для газу та пари величиною ΔP_z можна знехтувати.

При змінюванні витрат відбувається перерозподіл перепадів тиску, тому перепад на РО не є сталим. Зміна співвідношення перепадів на РО та в лінії призводить до спотворення форми витрачальної характеристики, при чому для стислих рідин ступінь спотворення залежить не тільки від співвідношення перепадів, але й від режиму витікання через РО.

На рис.4.21 показані витрачальні характеристики РО з лінійною та рівновідсотковою пропускнув характеристиками, а також витрачальна характеристика заслінки та ступінь їх спотворення залежно від $n = \Delta P_l / \Delta P_{po}$.

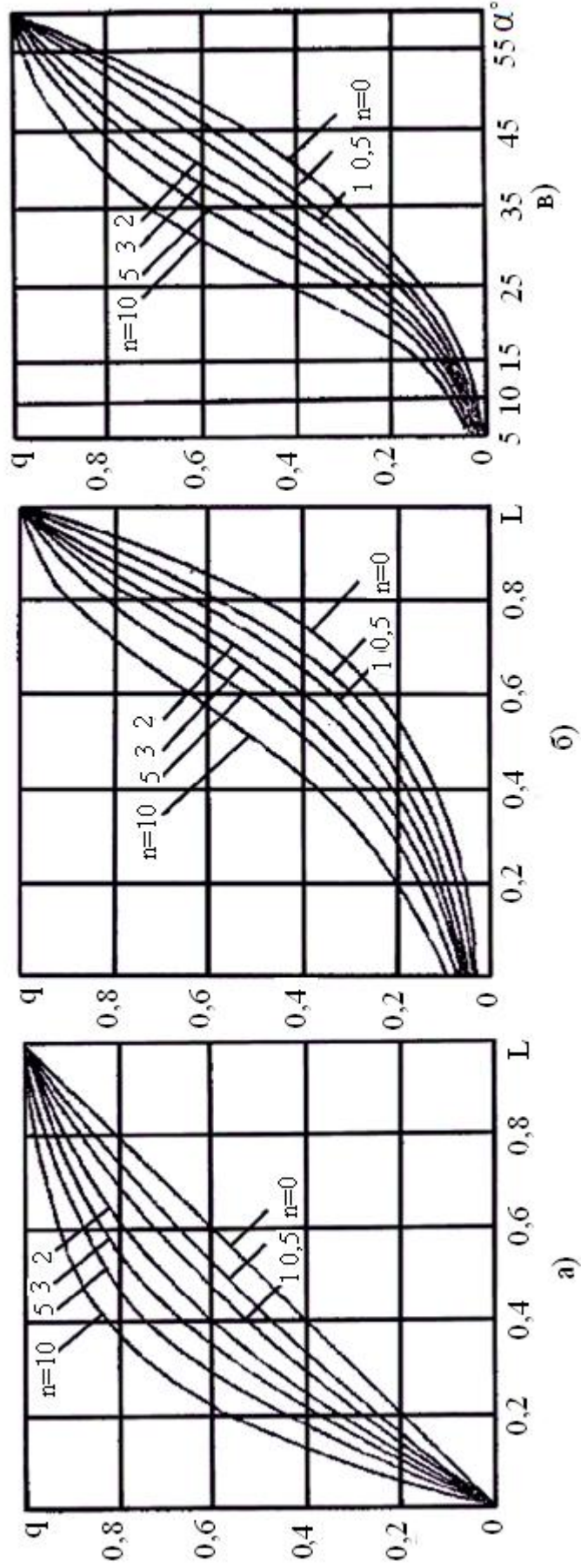


Рисунок 4.21 – Витрачальні характеристики регулювальних органів: а) – з лінійною; б) – з рівно відсотковою пропускнуою здатністю; в – заслінкового.

Припустимо, що при певних збуреннях в мережі для регулювання переважною є рівновідсоткова витрачальна характеристика. У цьому випадку критерієм придатності витрачальної характеристики будь-якої форми є постійність коефіцієнта рівновідсотковості $(1/m)(dm/dS)$, тобто збереження рівновідсоткової форми.

Дослідження показали, що рівновідсотковість витрачальної характеристики при використанні рівновідсоткової пропускної характеристики зберігається для всього діапазону навантажень лише при $n = 0$. При $n > 0$ коефіцієнт рівновідсотковості зменшується при збільшенні навантаження. Проте порівняно з цим коефіцієнт рівновідсотковості для лінійної характеристики падає більш різко зі збільшенням навантаження.

Розглянемо випадок, коли за умовами праці системи регулювання бажано мати РО з лінійною характеристикою. Критерієм придатності витрачальної характеристики є постійність коефіцієнта передачі в діапазоні навантажень, що розглядаються.

Дослідження показали, що лінійність витрачальної характеристики погіршується при збільшенні n . При цьому різко зростає коефіцієнт передачі при малих навантаженнях, внаслідок чого звужується діапазон стійкості роботи системи керування. В той же час, при збільшенні n , лінійність витрачальної характеристики суттєво зменшується. Отже, якщо аналіз збурень в об'єкті показав, що для цього процесу бажана лінійна витрачальна характеристика, то потрібно зробити вибір між лінійною та рівновідсотковою пропускними характеристиками РО, виходячи з того, що при $n < 1,5$ переважна лінійна пропускна характеристика, при $n > 3,0$ – рівновідсоткова. Для проміжних значень $1,5 < n < 3,0$ може бути вибрана будь-яка з двох форм пропускної характеристики. Якщо при визначених збуреннях в мережі для регулювання переважною є рівновідсоткова витрачальна характеристика, то потрібно вибрати рівновідсоткову пропускну характеристику[36].

4.1.3 Розрахунок та вибір регулювальних органів

Вибір регулювальних органів може здійснюватися для системи автоматизації, що проектується, або для тієї, що існує. У першому випадку відсутні дані про мережу трубопроводів і початковий тиск середовища. Вони визначаються при проектуванні мережі та виборі РО. В іншому випадку ці дані відомі. Коли задані розміри мережі, напір і первинний тиск середовища, вибирають тільки РО. При цьому відбувається це так, щоб при мінімальній витраті через РО втрата тиску в ньому відповідала надлишковому тиску середовища, що розвивається джерелом, а форма витрачальної характеристики була близька до заданої.

Оскільки системи автоматизації частіше створюють на існуючих об'єктах, де напір, початковий тиск середовища і геометричні розміри мережі задані, далі розглядається другий варіант розрахунку дросельних регулювальних органів[36].

Вихідні дані:

– максимальна витрата середовища в нормальних умовах (об'ємна Q_{max} або масова G_{max}), [м³/год];

$$Q_{min}(G_{min})=(1/4 \div 1/3)Q_{max}(G_{max});$$

– абсолютний тиск на початку $P_{поч}$ та в кінці $P_{кін}$ частини трубопроводу, [МПа];

– абсолютна температура середовища T (незмінна для всієї частини трубопроводу), [К];

– характеристика мережі;

– статична характеристика об'єкта.

Послідовність розрахунку

1. Визначення втрат тиску на заданому відрізку трубопроводу.

Загальні втрати тиску на заданому відрізку трубопроводу складаються із втрат на відрізку трубопроводу до DP_1 та після DP_2 регулювального органа, а також на самому РО – $DP_{ро}$. При розрахунку спочатку визначається DP_1 , а потім DP_2 за однією і тією ж схемою та за одними й тими ж формулами, але для різних умов і властивостей середовища до і після РО.

Втрати на РО знаходяться, як різниця загального перепаду тиску у мережі $DP_{мер}$ та сумарних втрат тиску в лінії до DP_1 та після DP_2 РО.

1.1. Розрахункова максимальна витрата газів і пари до Q_{max1} та після Q_{max2} регулювального органа, м³/год, для існуючих умов, тобто при $P_{поч}$ і P_2 , визначається з рівняння:

$$Q_{max1(2)} = Q_{max} \frac{P_n \cdot T}{P_{поч}(P_2) \cdot T_n},$$

де P_n , T_n - абсолютний тиск та абсолютна температура при нормальних умовах, $P_n=0,1$ МПа, $T_n=293$ К;

P_2 - абсолютний тиск середовища після РО, МПа;

$$P_2=P_1-(0,3 - 0,4)(P_{поч}-P_{кін});$$

P_1 - абсолютний тиск середовища до РО, МПа, $P_1=P_{поч}- DP_{л1}$;

Оскільки рідина майже не піддається тиску, то для неї $Q_{1(2)} \approx Q_{max}$.

Масова витрата G_{max} не залежить від тиску та температури ні для рідин, ні для газів, ні для пари, а тому незмінна на всьому розрахунковому відрізку трубопроводу.

1.2. Густина газів і пари до r_1 та після r_2 РО, кг/м³, при $P_{поч}$ і P_2 , відповідно, визначається як $r_{1(2)} = r_n \frac{P_{поч}(P_2) \cdot T_n}{P_n \cdot T}$,

а рідини при робочій температурі – $r_t = r_n [1 - b(t - t_{20})]$,

де r_n - густина середовища при нормальних умовах, кг/м³;

b - середній коефіцієнт об'ємного розширення рідини в інтервалі температур від t_{20} до t , К⁻¹.

1.3. Динамічна $m_{1(2)}$, Нс/м², або кінетична $h_{1(2)}$, м²/с, в'язкість середовища при $P_{поч}(P_2)$ і T , вибирається з таблиць відповідного довідника.

1.4. Розрахункова швидкість середовища в трубопроводі до V_1 та після V_2 РО, м/с:

$$\text{для газів} \quad V_{1(2)} = \frac{354 Q_{\max 1(2)}}{D_{cm}^2} = \frac{354 G_{\max 1(2)}}{D_{cm}^2 \cdot r_{1(2)}};$$

$$\text{для рідин і пари} \quad V_{1(2)} = \frac{354 G_{\max 1(2)}}{D_{cm}^2 \cdot r_{1(2)}},$$

де $D = 18,85 \sqrt{Q_{\max 1(2)} / V}$ - діаметр трубопроводу, мм,

V - допускна швидкість середовища, м/с.

Знайдену величину D округляють до близького стандартного D_{cm} значення: 50, 70, 80, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 800, 1000.

1.5. Число Рейнольдса для середовищ до Re_1 та після Re_2 РО:

$$\text{для газів} - \quad Re_{1(2)} = 0,354 \frac{Q_{\max 1(2)}}{D_{cm} \cdot n_{1(2)}} = 0,354 \frac{Q_{\max 1(2)} \cdot r_{1(2)}}{D_{cm} \cdot m_{1(2)}},$$

для рідин і пари –

$$Re_{1(2)} = 0,354 \frac{G_{\max 1(2)}}{D_{cm} \cdot n_{1(2)} \cdot r_{1(2)}} = 0,354 \frac{G_{\max 1(2)}}{D_{cm} \cdot m_{1(2)}},$$

1.6. Коефіцієнт тертя для частини трубопроводу до I_1 та після I_2 РО.

Для круглих сталевих труб при ламінарному режимі ($Re < 2300$)

$$I_{1(2)} = \frac{64}{Re_{1(2)}},$$

а при турбулентному режимі ($Re > 2300$)

$$I_{1(2)} = \frac{1}{(2 \cdot \lg 19,5 \cdot D_{cm})^2}$$

1.7. Втрати тиску в лінії до $DP_{л1}$ та після $DP_{л2}$ РО при розрахункових максимальних витратах Q_{max1} та Q_{max2} :

$$DP_{л1(2)} = P_{np1(2)} + P_{m1(2)} \pm P_{h1(2)},$$

де

$$\Delta P_{np1(2)} = \sum_{i=1}^n I_{1(2)} \frac{r_{1(2)} \cdot L_{1(2)}^i \cdot V_{1(2)}^2}{2D_{cm}},$$

$$\Delta P_{m1(2)} = \sum_{i=1}^n x_{1(2)} \frac{r_{1(2)} \cdot V_{1(2)}^2}{2},$$

для рідин: $DP_{h1(2)} = 9.81 r_{1(2)} h_{1(2)},$

тут $DP_{np1(2)}$ - втрата тиску на прямих відрізках трубопроводу при максимальній витраті до та після РО, Па;

$DP_{m1(2)}$ - втрати тиску в місцевих опорах при максимальній витраті до та після РО, Па;

$I_{1(2)}$ - коефіцієнти гідравлічного опору тертя, які залежать від режиму руху потоку до та після РО;

$x_{1(2)}$ - коефіцієнти місцевих гідравлічних опорів (входу та виходу, трійників, поворотів, замикальних органів, діафрагми та ін.) до та після РО;

$L_{1(2)}$ - довжина прямих частин трубопроводу до та після РО, м;

D_{cm} - діаметр прямих частин трубопроводу до та після РО, м;

$V_{1(2)}$ - середні за перерізом швидкості потоку в трубопроводі до та після РО, м/с;

$r_{1(2)}$ - густина середовища, кг/м³;

$h_{1(2)}$ - перевищення в трубопроводі на відрізках до та після РО, м.

1.8. Втрата тиску в регулювальному органі при максимальній розрахунковій витраті, МПа:

$$DP_{po} = DP_{мер} - (DP_{л1} + DP_{л2}),$$

де $DP_{мер} = P_{поч} - P_{кін}$ - загальний перепад тиску в мережі, МПа.

2. Розрахунок пропускної здатності, вибір регулювального органа та його пропускної характеристики.

2.1. За допомогою одного з рівнянь (4.1) - (4.8) розрахувати необхідне значення пропускної здатності K_{vmax} залежно від $Q_{max}(G_{max})$ і DP_{po} , м³/год.

Рівняння для потоку рідини:

$$K_{vmax} = \frac{Q_{max} \sqrt{r}}{100 \sqrt{\Delta P_{po}}} \quad (4.1)$$

або

$$K_{v\max} = \frac{G_{\max}}{100\sqrt{r\Delta P_{po}}} \quad (4.2)$$

Рівняння для потоку газу. Для докритичного режиму течії газу (швидкість менша за критичну), коли $DP_{po} < DP_{кр}$, максимальна розрахункова пропускна здатність розраховується як:

$$K_{v\max} = \frac{Q_{\max}}{5350} \sqrt{\frac{r_{газ} T_1 K'}{\Delta P_{po} P_2}} \quad (4.3)$$

або

$$K_{v\max} = \frac{G_{\max}}{5350} \sqrt{\frac{T_1 K'}{r_{газ} \Delta P_{po} P_2}} \quad (4.4)$$

де Q_{\max} - максимальна об'ємна витрата газу в нормальних умовах, м³/год;

$r_{газ}$ - густина газу в нормальних умовах, кг/м³;

T_1 - температура газу перед РО, К;

K' - коефіцієнт, який враховує відхилення даного газу від законів ідеального газу (коефіцієнт стисливості);

P_2 - абсолютний тиск середовища після РО, МПа;

G_{\max} - максимальна масова витрата, кг/год;

$DP_{кр}$ - критичний перепад тиску, який дорівнює $P_1/2$, якщо невідома більш точна залежність для визначення цього значення, МПа;

P_1 - абсолютний тиск середовища перед РО, МПа;

Для газів низького тиску ($P_{надмірне} \leq 0,1$ МПа) коефіцієнт стисливості $K=1$.

Для критичного режиму течії газу, коли $DP_{po} \geq P_1/2$, максимальна розрахункова пропускна здатність дорівнює:

$$K_{v\max} = \frac{Q_{\max} \sqrt{r_{газ} T_1 K'}}{2680 P_1} \quad (4.5)$$

або

$$K_{v\max} = \frac{G_{\max}}{2680 P_1} \sqrt{\frac{T_1 K'}{r_{газ}}} \quad (4.6)$$

Рівняння для потоку водяної пари. Для докритичного режиму течії пари, коли ($DP_{po} < P_1/2$) максимальна розрахункова пропускна здатність дорівнює:

$$K_{v\max} = \frac{G_{\max}}{104,4\sqrt{r_{нар2} \Delta P_{po}}} \quad (4.7)$$

де G_{\max} - максимальна масова витрата пари, кг/год;

$r_{нар2}$ - густина пари при температурі T_2 та тиску P_2 , кг/м³

T_2 - температура пари після РО, °С;

P_2 - тиск пари після РО, МПа.
 Для критичного режиму течії при ($DP_{po} > P_1/2$):

$$K_{v\max} = \frac{G_{\max}}{74\sqrt{\rho_{\text{пар1}} P_1}} \quad (4.8)$$

де $\rho_{\text{пар1}}$ - густина пари при температурі T_1 та тиску P_1 , кг/м³.

T_1 - температура пари перед РО, °С; P_1 - тиск пари перед РО, МПа.

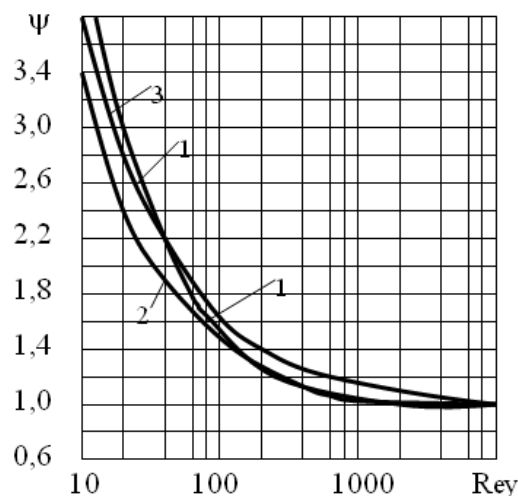
2.2. Стосовно переліку типорозмірів дросельних РО, вибрати РО з умовною пропускною здатністю K_{vy} , яка більше за розрахункове значення :

$$K_{v\max} \text{ на } 20\%: \quad K_{vy} \geq 1,2 K_{v\max}$$

При визначенні K_{vy} для потоку рідини необхідно зробити перевірку впливу її густини на пропускну здатність РО. Поправковий коефіцієнт на вплив густини залежить від виду РО та числа Рейнольдса потоку, що протікає.

Якщо $Re > 2300$, то вибирають РО з пропускною здатністю K_{vy} , яку визначили раніше, з наступною перевіркою на можливість виникнення кавітації.

Якщо $Re < 2300$, тоді визначають поправковий коефіцієнт Y на вплив в'язкості рідини з графіку на рис. 4.22.



1- двосідельні клапани ; 2- односідельні клапани; 3- заслінки з $a = 60$.

Рисунок 4.22 – Поправковий коефіцієнт Y для умов повного відкриття РО

Значення пропускної здатності K_{vy} , враховуючи вплив в'язкості рідини, визначають за формулою: $K'_{vy} \geq 1,2 Y K_{v\max}$

При $K'_{vy} < K_{vy}$ вибір РО є закінченим. При $K'_{vy} > K_{vy}$ знову вибирають РО відповідного типу з величиною K_{vy} трохи більшої за K'_{vy} і знову визначають Re, Y, K'_{vy} і за K'_{vy} перевіряють вплив в'язкості рідини на пропускну здатність вибраного РО.

Для перевірки РО на можливість виникнення кавітації визначають:

а) коефіцієнт місцевого опору вибраного РО:

$$x_y = \frac{25,4 F_y^2}{K_{vy}^2},$$

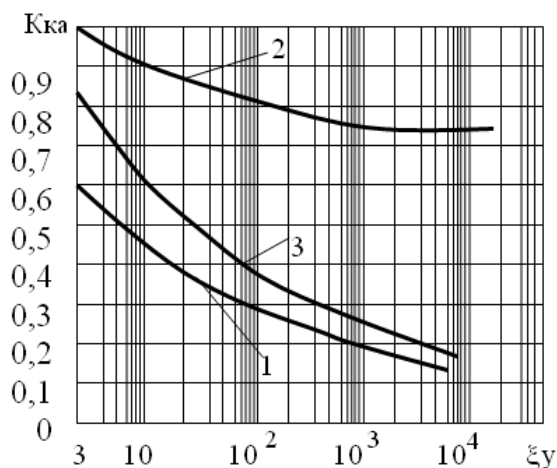
де $F_y = \frac{\rho D_y^2}{4}$ – площа перерізу вхідного патрубку РО, см²;

б) коефіцієнт кавітації $K_{кав}$ з рис.4.23;

в) перепад тиску, при якому виникає кавітація:

$D P_{кав} = K_{кав}(P_1 - P_{нч})$, де P_1 – абсолютний тиск перед РО, Па; $P_{нч}$ – абсолютний тиск насичених парів рідини при температурі перед РО, Па.

Якщо перепад тиску в РО $\Delta P_{po} \leq \Delta P_{кав}$, то вибирають РО з раніше знайденою умовною пропускною здатністю K_{vy} .



- 1- $K_{кав}$ для односідельних і двосідельних РО при подаванні середовища на затвор;
- 2- $K_{кав}$ і $K_{кав.max}$ для односідельних РО при подаванні середовища під затвор;
- 3- $K_{кав.max}$ для односідельних і двосідельних РО при подаванні середовища на затвор

Рисунок 4.23 – Залежність коефіцієнта кавітації від коефіцієнта місцевого опору РО

Якщо $DP_{po} > DP_{кав}$, то визначають максимальний перепад тиску $DP_{кав.max}$, при якому припиняється приріст витрати в умовах кавітації або випарювання рідини при дроселюванні.

$$DP_{кав.max} = K_{кав.max}(P_1 - P_{нч})$$

де $K_{кав.max}$ – коефіцієнт кавітації, що відповідає граничному витраченню.

За знайденим значенням $P_{кав.max}$ визначається пропускна здатність РО $K_{v.кав}$ за формулами (4.1) або (4.2).

При $K_{v.кав} > K_{vy}$ вибирається інший РО з ще більшим K_{vy} і знову перевіряється на можливість виникнення кавітації.

2.3. Визначити відношення n перепаду тиску в лінії до перепаду тиску на РО при максимальних витратах.

2.4. Якщо середовищем в трубопроводі є рідина, то значення n уточнюють за формулою:

$$n' = n(K_{v,y} / Y K_{v,max})^2$$

Уточнюють також перепад на РО:

$$DP'_{po} = DP_{мер} / (n'+1)$$

2.5. За величиною DP'_{po} або уточненим значенням перепаду на РО та прийнятими значеннями $K_{v,y}$ визначити уточнене значення максимальної витрати через РО Q'_{max} (G'_{max}), використовуючи необхідні з формул (4.1)-(4.8).

2.6. Знайти відносне значення витрат q_{max} та q_{min} діленням Q_{max} (G_{max}) на Q'_{max} (G'_{max}).

2.7. Вибрати пропускну характеристику регулювального органа:

а) для забезпечення лінійної витрачальної характеристики клапанів визначають діапазон переміщення РО:

при $n < 1,5$ – за витрачальною характеристикою РО з лінійною пропускнуою характеристикою, рис. 4.24а;

при $n > 3$ – за витрачальною характеристикою РО з рівновідсотковою пропускнуою характеристикою, рис. 4.24б.

При проміжних значеннях $1,5 < n < 3$ пропускну характеристику РО вибирають відповідно до наступних рекомендацій.

При відомих n , q_{max} і q_{min} знаходять значення l_{max} та l_{min} (діапазон навантаження) для РО з лінійною пропускнуою характеристикою з рис.4.24а, а для РО з рівновідсотковою характеристикою з рис.4.24б. Далі з графіків, що на рис.4.24, визначають максимальне та мінімальне значення коефіцієнта передачі РО для прийнятого діапазону навантаження та знаходять відношення $K_{p,min}/K_{p,max}$ для рівновідсоткової та лінійної пропускнух характеристик і вибирають характеристику з більшим значенням цього відношення.

б) для забезпечення рівновідсоткової витрачальної характеристики клапанів, визначають діапазон переміщення РО за витрачальною характеристикою регулювального органа з рівновідсотковою пропускнуою характеристикою, рис.4.24а. При цьому коефіцієнт передачі K_{po} знаходять за графіком, що на рис.4.24б, для l_{max} і l_{min} .

в) для забезпечення витрачальної характеристики заслінкового регулювального органа за знайденим q_{max} та q_{min} визначають діапазон переміщення РО за графіком, що на рис.4.24в, а коефіцієнт передачі K_{po} з рис.4.25.

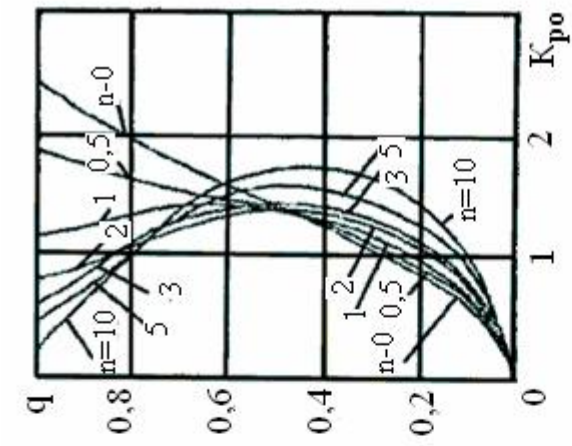
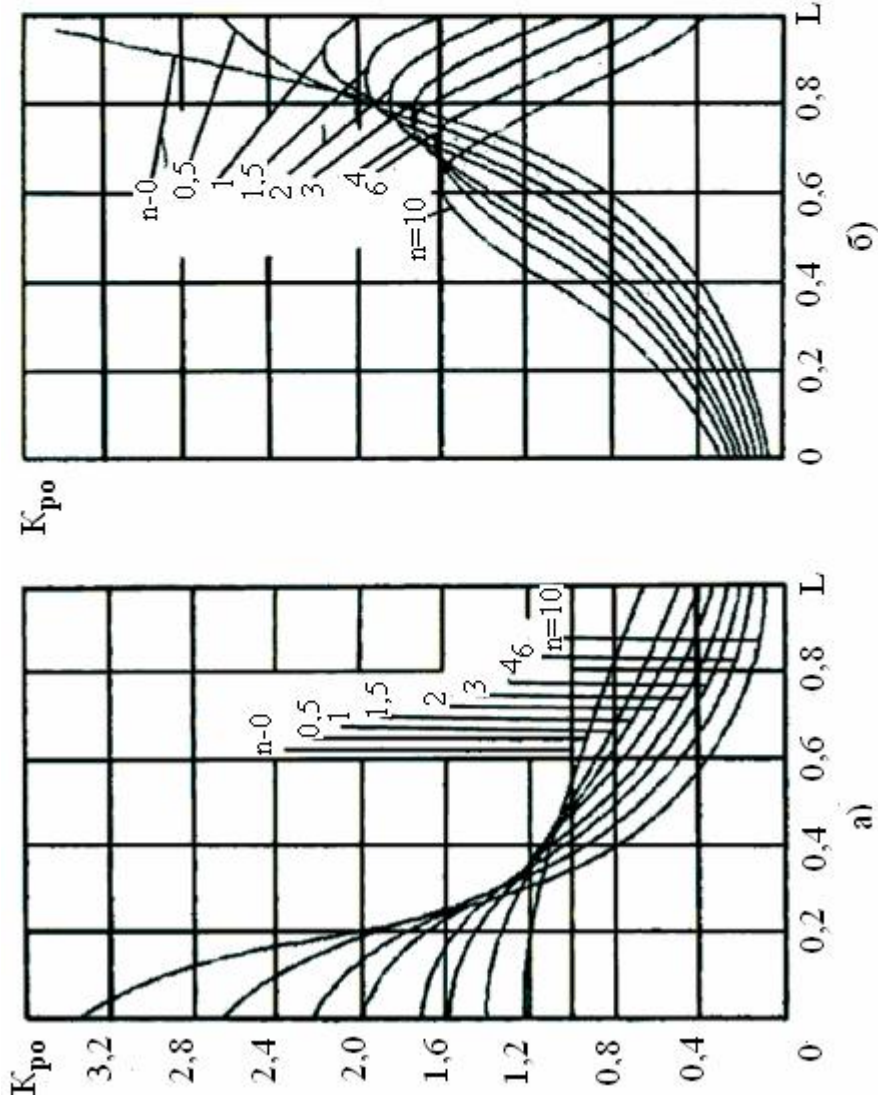


Рисунок 4.25 – Залежність відносної витрати при різних значеннях n від коефіцієнта передачі для заслінкових регулювальних органів



а – з лінійною; б – з рівновідсотковою пропускною здатністю.
Рисунок 4.24 – Коефіцієнти передачі регулювальних органів

4.2 Виконавчі механізми

Виконавчий механізм (ВМ) це функціональний блок, який є складовою частиною більшості систем автоматичного регулювання. Відповідно до керувального сигналу виконавчі механізми здійснюють переміщення затвора регулювального органа, в якості якого можуть бути різного роду дросельні заслінки, клапани, засувки, шибери, що розташовані на трубопроводах і здатні змінювати кількість енергії або робочої речовини, яка подається в об'єкт автоматизації. Як правило, потужності керувального сигналу недостатньо для безпосереднього переміщення затвора РО, тому виконавчий механізм можна розглядати як підсилювач потужності, за допомогою якого слабкий вхідний сигнал, підсилюється і за рахунок енергії джерела живлення, передається на регулювальний орган.

Виконавчий механізм, що працює в системі автоматичного регулювання, має не лише переміщувати регулювальний орган, а і забезпечувати це переміщення з можливо меншим спотворенням законів регулювання, що формуються регуляторами. Від властивостей виконавчого механізму залежить якість перехідного процесу.

Залежно від роду енергії, яку споживають виконавчі механізми, вони поділяються на електричні, пневматичні та гідравлічні. Існують виконавчі механізми, у яких використовується одночасно два види енергії – електропневматичні, електрогідравлічні та пневмогідравлічні. У таких ВМ вид енергії керувального сигналу, відрізняється від виду енергії, що створює переставне зусилля.

В електричних ВМ переставне зусилля створюється за рахунок перетворення електричного сигналу в механічне переміщення вихідного органа. При цьому переміщення робочих органів може бути як поступальним, так і обертальним в межах одного або декількох обертів. Напруга живлення електричних виконавчих механізмів, зазвичай дорівнює 220В або 380В.

У пневматичних ВМ переставне зусилля створюється за рахунок тиснення стиснутого повітря на мембрану, поршень або сильфон. Тиск стиснутого повітря в пневматичних ВМ не перевищує 1000 кПа.

В гідравлічних ВМ переставне зусилля створюється за рахунок тиснення рідини на мембрану, поршень або лопать. Тиск рідини в них, як правило, знаходиться в межах $(2,5-20) \cdot 10^3$ кПа.

Найбільш широке розповсюдження в промисловості отримали електричні та пневматичні виконавчі механізми, конструкція та принцип дії яких залежать від характеру роботи, яку вони мають виконувати, і від роду використовуваної енергії[3,8,9,41].

4.2.1 Електричні виконавчі механізми

Принцип роботи електричних виконавчих механізмів полягає в перетворенні електричного сигналу, що поступає від регулювального пристрою в переміщення вихідного елемента, який передає переставне зусилля або момент регулювальному органу.

Електричні виконавчі механізми (електроприводи) випускаються як загальнопромислового, так і вибухозахищеного виконання.

На об'єктах автоматизації вони встановлюються поблизу або на регулювальних органах і зв'язуються з ними за допомогою тяги, важелів, шпинделів, штоків або інших силових конструкційних елементів.

Електричні ВМ за принципом дії поділяються на електродвигунові та електромагнітні; за характером роботи – на позиційні, сталої швидкості руху робочого органа та змінної швидкості руху робочого органа; за характером переміщення вихідного елемента – на прямохідні з поступовим рухом вихідного елемента, поворотні з обертовим рухом до 360° (однооборотні) і з обертовим рухом більше 360° (багатооборотні).

Виконавчі механізми сталої швидкості однооборотні призначені для управління клапанами, заслінками, кульовими кранами і поворотними дисковими затворами, багатооборотні – для управління запірними регулювальними органами, прямохідні – для управління клапанами будь-яких типів.

Якість роботи виконавчих механізмів з електродвигунами характеризують такими показниками, як номінальний момент, час повного ходу, вибіг, люфт, гістерезис, режим роботи.

Номінальний момент ВМ розвивають при всіх допустимих умовах експлуатації, при зниженні напруги живлення до $0,85U$. Пусковий момент при номінальній напрузі живлення повинен не менш ніж у 1,7 рази перевищувати номінальний.

Час повного ходу T_{em} вибирають, виходячи з допустимого часу T_{po} перестановки затвору РО від початку до кінця. Цей час дорівнює $T_{em} = b \cdot T_{po}$, де b – відношення діапазону робочого переміщення вихідного органа до величини повного руху.

Вибіг – це переміщення вихідного органа ВМ після вимикання механізму, що працює в сталому режимі. Вибіг бажано мати таким, щоб після вмикання двигуна зміна сигналу зворотного зв'язку за регульованим параметром була в межах установленної зони нечутливості регулятора. Величина вибігу не повинна бути більше 1% для виконавчого механізму з часом повного ходу 10с, 0,5% - для механізмів з часом 25с та 0,25 - для механізмів з часом 63с і більше.

Люфт і гістерезис характеризують нелінійності статичної характеристики ВМ. Люфт утворюється вільним ходом вихідного органа при нерухомому валі електродвигуна через проміжок в зачепленні кінематичних вузлів редуктора, зносу контактуючих поверхонь. Люфт вихідного органа не повинен перевищувати 1° для однооборотних виконавчих механізмів з номінальним навантаженням $40\text{Н}\cdot\text{м}$ та бути не менше за $0,75^\circ$ - для однооборотних ВМ з навантаженням більше $40\text{Н}\cdot\text{м}$, і 3° - для багатооборотних ВМ, 0,2мм - для прямохідних ВМ з навантаженням до 1000Н та 0,5мм - при навантаженні більше 1000Н . Гістерезис між положенням вихідного органа і сигналом

датчика положення складається з люфту механічної передачі та варіацій показів датчика. За стандартом гістерезис не повинен бути більше 1,5% від повної шкали показань датчика при нелінійності статичної характеристики менше 2,5%.

Режим роботи виконавчих механізмів – повторно-короткочасний реверсивний, з частотою до 320 вмикань на годину і тривалістю до 25% при навантаженні на вихідному органі в межах від номінального до половини номінального значення. В той же час ставляться вимоги до підвищеної частоти вмикань – 600 і більше разів на годину з інтервалом часу між вимиканням і вмиканням на протилежний хід не менш 50мс[3,8,9,41].

4.2.1.1 Електричні виконавчі механізми сталої швидкості

Електричні виконавчі механізми сталої швидкості є найбільш поширеними ВМ, що працюють з дросельними регулювальними органами. Залежно від способу з'єднання з РО електричні виконавчі механізми сталої швидкості поділяються на дві групи. Перша група ВМ – це група механізмів. До неї належать виносні виконавчі механізми типу МЕО, рис.4.26, які встановлюються на спеціальних площадках біля регулювальних органів і з'єднуються з ними за допомогою системи тяг і важелів.



Рисунок 4.26 – Виносні виконавчі механізми типу МЕО

Другу групу створюють вбудовані виконавчі механізми типу МЕОФ, МЕР, МЕРК, рис.4.27, які встановлюються безпосередньо на регулювальному органі і з'єднуються з ним за допомогою спеціальних монтажних частин, зокрема фланців. Ці ВМ кваліфікуються як приводи.

Виконавчі механізми сталої швидкості випускаються з:

- номінальним крутним моментом на вихідному валу $M_{KP} = 6.3, 16, 40, 63, 100, 160, 250, 320, 400, 630, 950, 1600, 2500, 4000, 10000$ Н·м;
- номінальним часом повного ходу вихідного вала $T_{BM} = 10, 25, 63, 160$ с;
- номінальним повним ходом вихідного вала, протягом якого положення затвора регулювального органа змінюється від повністю відкритого до повністю закритого, $\mu_{BM} = 0,25; 0,63$ одного оберту.

Ці параметри вказуються біля його модифікації, наприклад МЕО–4/10-0,25 або МЕОФ-1000/63-0,63, і означають, що номінальний крутний момент у цих виконавчих механізмах складає, відповідно, 4Нм і 1000Нм, номінальний

час повного ходу вихідного вала – 10с і 63с , а номінальне значення повного ходу складає 0,25 і 0,63 від одного оберту.

У виконавчих механізмах з крутним моментом до 250Нм використовуються синхронні низькооборотні двигуни з максимальною частотою вмикання 1200 разів на годину. У виконавчих механізмах з крутним моментом більше 250Нм використовуються асинхронні з максимальною частотою вмикання 630 разів на годину[42].



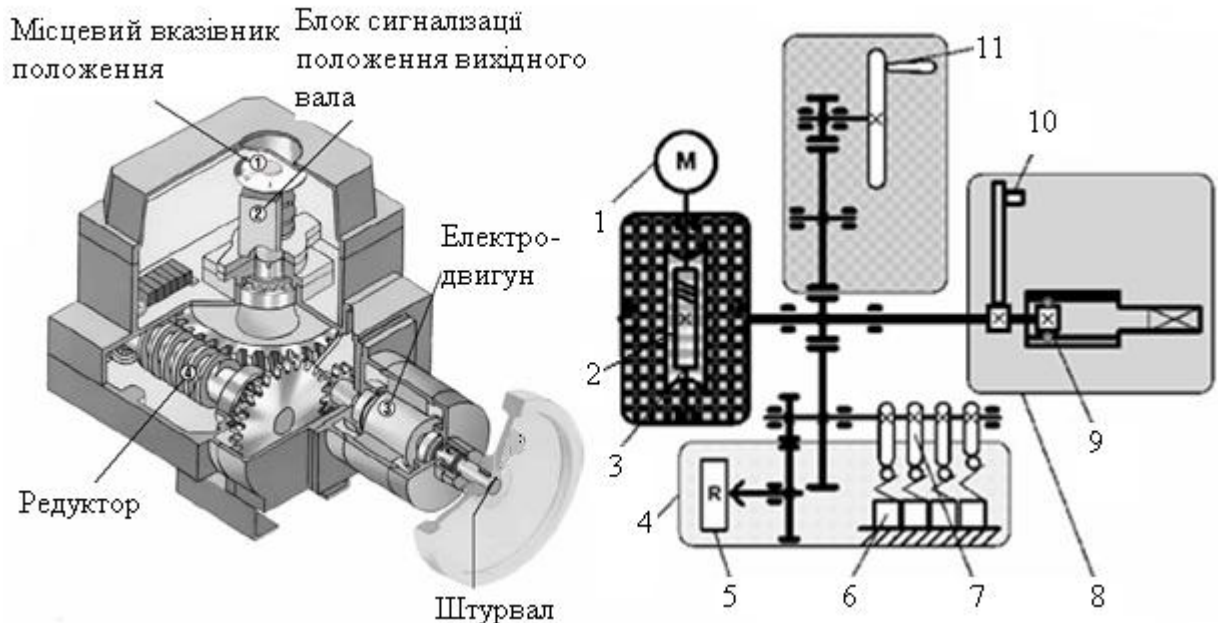
Рисунок 4.27 – Вбудовані виконавчі механізми типу МЕРФ, МЕР, МЕРК

Структурно електричні виконавчі механізми сталої швидкості складаються з одно- чи трифазного двигуна, черв'ячного, гвинтового або циліндрично-конічно-планетарного редуктора з самогальмуванням або без нього, ручного приводу, блока датчиків положення, вихідного органа, електромагнітного гальма. Зовнішній вигляд і спрощена кінематична схема електропривода показані на рис.4.28. При подачі напруги живлення на електродвигун 1 ротор виконавчого механізму починає обертатися.

Через силовий редуктор 2 з головною знижувальною передачею, наприклад черв'ячною 3, обертання від електродвигуна передається на вихідний вал механізму. При цьому завдяки великому передавальному відношенню, частота обертання вихідного вала механізму знижується, а момент на ньому зростає. Закріплені на вихідному валу важіль 10 або механізм перетворення обертального руху в поступальний 9, розпочинають рух і, при з'єднанні їх зі штоком, наприклад, клапана, переміщують його затвор. При знятті напруги з електродвигуна, ротор електродвигуна з деяким вибігом, зупиняється і рух вихідного вала механізму припиняється. При реверсі електродвигуна, кінематично пов'язаний з ротором електродвигуна вихідний

вал обертається у зворотному напрямі, а при зупинці електродвигуна, так само зупиняється і вихідний вал механізму.

Оскільки силова передача і черв'ячний редуктор мають велике передавальне відношення, у виконавчому механізмі, створюється можливість самогальмування. Тоді моменти або зусилля, що прикладаються з боку регулювального органа, не приводять до розкручування вихідного вала і він зберігає своє положення за відсутності сигналів управління і знеструмленому електродвигуні.



1 – електродвигун; 2 – силовий редуктор з черв'ячною парою 3; 4 - блок сигналізації положення вихідного вала; 5 – реостатний датчик положення; 6 – кінцеві вимикачі; 7 – кулачки кінцевих вимикачів; 8 – вузол перетворення обертання вихідного вала, представлений кульковинтовою парою 9 для прямохідних механізмів або важелем чи коромислом 10 для поворотних механізмів; 11 – ручний привід зі своєю передачею і механізмами блокування/деблокування.

Рисунок 4.28 – Конструкція і спрощена кінематична схема електричного виконавчого механізму сталої швидкості

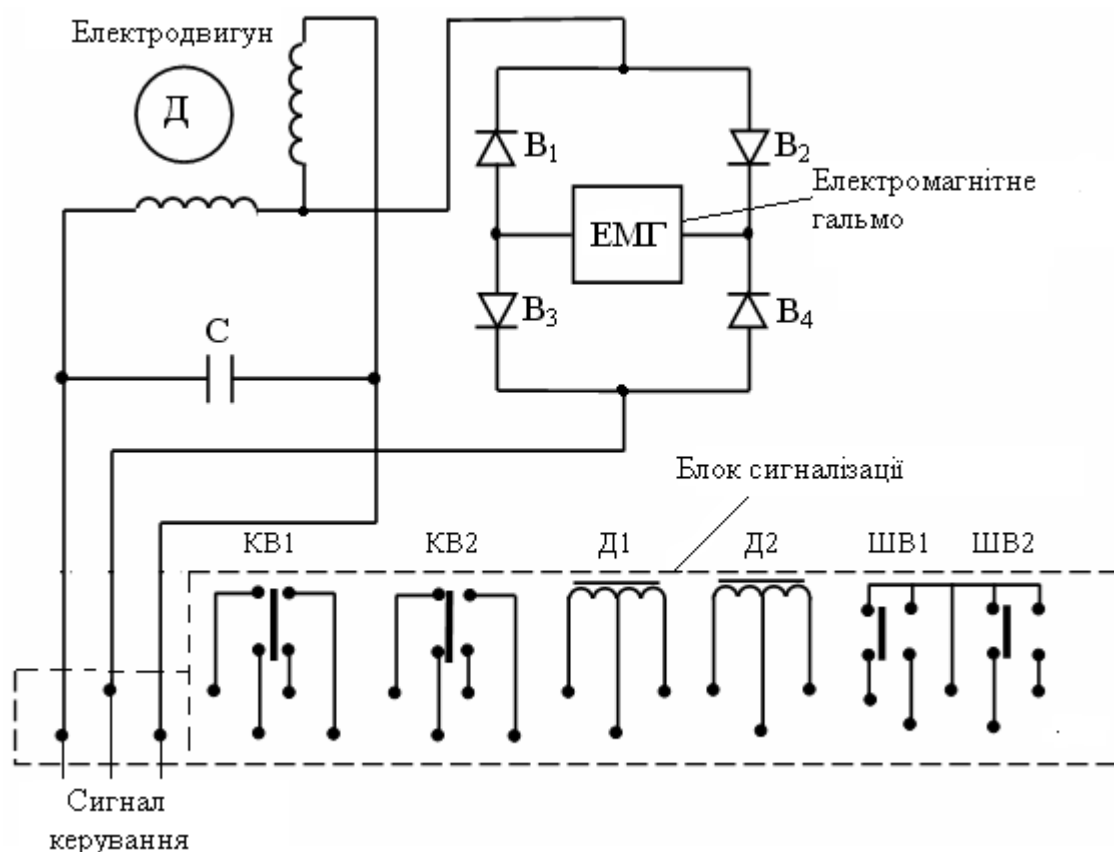
Якщо головна знижувальна передача створена на базі циліндричного редуктора, який не забезпечує самогальмування, виконавчі механізми обладнані гальмами. В цьому випадку сигнал управління поступає одночасно до двигуна і гальма, механізм розгальмовується і двигун приводить в рух вихідний орган. При зникненні сигналу двигун вимикається, а гальмо зупиняє механізм. Конструктивно гальмо – це звичайний електромагніт. Пружинний механізм, що притискує фрикціон до вала ВМ, зв'язаний з осердям електромагніту. Коли напруга на виконавчий механізм подається, спрацьовує електромагніт, його осердя втягується разом з пружиною і вал звільняється від тиску гальма.

Для контролю положення вихідного вала виконавчі механізми оснащуються блоками сигналізації 4, які можуть містити датчики положення 5 і кінцеві мікрОВимикачі 6, які так само кінематично пов'язані з головною

силовою передачею механізму. Завдяки цьому забезпечується достовірна інформація про положення вихідного вала, а значить і зв'язаного з ним затвора регульовального органа. Для переміщення вихідного вала ВМ без подачі напруги на електродвигун, що буває необхідним при монтажі, пусконаладжувальних роботах і при аварійних ситуаціях, електроприводи оснащуються ручними штурвалами 11, які можуть бути або постійно приєднани до головної передачі механізму, або приєднани через відповідні механізми блокування/деблокування ручного приводу.

Виконавчі механізми сталої швидкості розраховані на безконтактне керування за допомогою магнітних підсилювачів або реверсивних тиристорних (симисторних) пускачів, можливе і контактне управління.

Електрична схема виконавчого механізму типу МЕО приведена на рис.4.29. Одна з обмоток однофазного двигуна Д живиться від мережі зі змінним струмом через конденсатор С, а друга (керувальна) – безпосередньо від пускача. Напрямок обертання вала двигуна залежить від фази напруги на керувальній обмотці, яка визначається сигналом неузгодження у схемі регулювання.



С – фазозсувний конденсатор; B1, B2, B3, B4 – випрямні діоди; KB1, KB2 – кінцеві вимикачі; ШВ1, ШВ2 – шляхові вимикачі; Д1, Д2 – датчики положення вала

Рисунок 4.29 – Електрична схема виконавчого механізму МЕО

В деяких модифікаціях МЕО застосовуються однофазні конденсаторні двигуни типа ДАУ, які є малоінерційними, високонадійними і здатні тривало

працювати на упор. Це дозволяє виключити зі схеми керування ВМ захисні кінцеві вимикачі *KB1*, *KB2*, а обмеження руху вала здійснювати за допомогою механічних підпорів, положення яких можна змінювати.

У складі блока сигналізації є два кінцевих вимикача *KB*, два шляхових вимикача *ШВ* і два датчики положення вала ВМ. Залежно від модифікації датчики положення можуть бути реостатні БСПР, індуктивні БСПИ і струмові БСПТ.

БСПИ має два індуктивні датчики D_1 , D_2 , які забезпечують перетворення положення вихідного вала на електричну напругу. Осердя датчиків переміщуються в обмотках профільним кулачком, який з'єднується муфтою з вихідним валом. Сигнал з датчиків використовується для формування сигналу зворотного зв'язку при реалізації П-регулювання, або для дистанційного передавання положення вала ВМ на відповідні покажчики.

Шляхові вимикачі *ШВ1*, *ШВ2* використовуються в системах для сигналізації, блокування або керування роботою інших механізмів.

Прямохідні виконавчі механізми додатково оснащені прямохідною приставкою, рис.4.30. У прямохідних ВМ типу МЕР прямохідна приставка реалізована за принципом гвинтової пари. Коли шток затвора досягає крайнього положення регулювального органа, спрацьовує обмежувач зусилля, який вбудований в редуктор ВМ. Завдяки цьому виключається можливість пошкодження РО від надлишкового зусилля.



Рисунок 4.30 – Прямохідний виконавчий механізм з регулювальним органом

У прямохідних ВМ типу МЕРК перетворення обертального руху вала у зворотно-поступальне переміщення штока прямохідної приставки здійснюється за допомогою кривошипно-шатунного механізму. Така

конструкція виключає можливість пошкодження затвора РО, оскільки кривошип має мертву точку, далі якої переміщення затвора не відбувається[43,44].

На спрощеній кінематичній схемі показані не всі можливі функціональні вузли сучасних електричних виконавчих механізмів. Залежно від конструкції приводу виконавчі механізми можуть містити обмежувачі моментів і зусиль, так звані, моментні муфти, компенсатори лінійних розширень, антиконденсаційні або антиморозні обігрівачі, гальма для обмеження величини вибігу вихідного вала і запобігання його переміщенню під впливом регулювального органа за відсутності напруги на електродвигуні і т.ін.

Сучасні, так звані, «інтелектуальні електроприводи», рис.4.31, додатково можуть містити електронні блоки для управління і діагностування працездатності механізмів, сполучення їх з системами контролю і управління більш високого рівня, локальні регулятори, сигналізатори, кнопки і ключі для місцевого дистанційного і автоматичного керування.

Слід так само відзначити, що вітчизняна і зарубіжна промисловість випускають набори функціональних вузлів виконавчих механізмів – редуктори, електродвигуни, блоки кінцевих вимикачів, ручні приводи, блоки індикації, вбудовуванні мікроконтролери, функціональну електроніку, які можуть залежно від існуючих вимог мати комплектацію від найпростішої до найскладнішої[44].

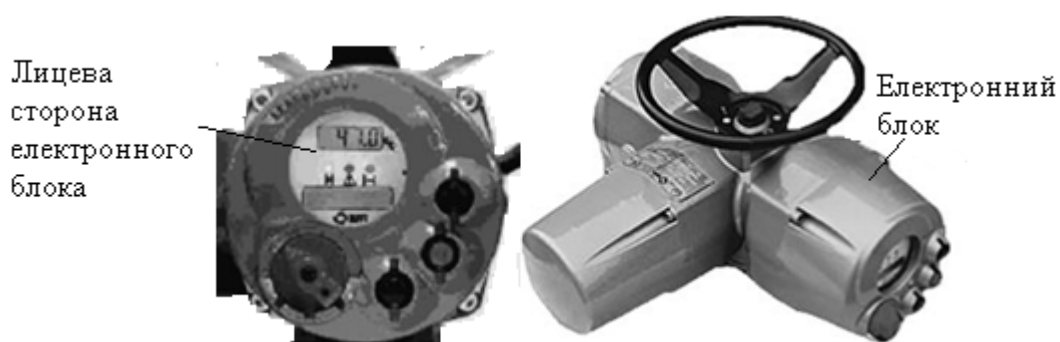


Рисунок 4.31 – Інтелектуальний електропривод ICON 2000 (Італія)

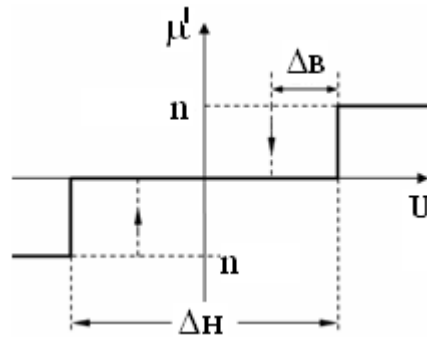
4.2.1.2 Динамічні властивості виконавчих механізмів сталої швидкості

Частота обертання вихідного органа в електричних виконавчих механізмах сталої швидкості типів МЕО, МЕОФ (однооборотні), МЕМ (багатооборотні), МЕР (прямохідні) стала і не залежить від амплітуди керувального сигналу. За допомогою таких електроприводів регулювальні органи встановлюються в будь-яке проміжне положення.

Виконавчі механізми сталої швидкості можуть знаходитися тільки у трьох усталених станах: обертання ротора зі швидкістю n , нерухомість та обертання ротора з тією ж швидкістю у протилежний бік. Спрощено динамічну

характеристику такого ВМ можна подати такою логічною системою рівнянь і графіком:

$$\begin{aligned} \text{при } |U| > \frac{\Delta_H}{2}, \quad |m'| &= n, \\ \text{при } |U| < \frac{\Delta_H}{2}, \quad |m'| &= 0, \text{ або} \end{aligned}$$



Тут Δ_H – зона нечутливості; Δ_B – зона повернення; μ – кут повороту вихідного вала ВМ; m' – швидкість обертання вихідного вала ВМ; U – керувальна напруга.

Проте гістерезисні явища у магнітних колах електродвигуна сприяють появі зони повернення (пунктир) і ВМ вимикається при менших значеннях вхідного сигналу ($U = \frac{\Delta_H}{2} - \Delta_B$), ніж вмикається.

Характеристика ВМ сталої швидкості є суттєво нелінійною. Але при роботі з імпульсними вхідними сигналами, той же ВМ може мати характеристики близькі до лінійних.

Нехай на вхід ВМ сталої швидкості надходить імпульсна напруга U , причому амплітуда напруги приймає тільки два значення (0, А), а носієм інформації є обернена величина шпаруватості імпульсів $g = \frac{\Delta t_i}{T}$, що надходять з періодом $T = Dt_i + Dt_n$.

Тут Dt_i – тривалість імпульсів, протягом яких відбувається рух ротора ВМ; Dt_n – тривалість паузи в роботі ВМ.

Тоді графік зміни кута повороту вала електропривода буде мати ступінчастий вигляд, рис.4.32.

Швидкість руху вала виконавчого механізму визначається рівнянням:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{m_1}{\Delta t_i} = n.$$

А середня швидкість руху вала \bar{m}' пов'язана зі шпаруватістю лінійним співвідношенням, виходячи зі співвідношень:

$$\bar{m}' = \frac{d\bar{m}}{dt} = \text{tg } b = \frac{m_1}{T} = \frac{\Delta t_i \cdot n}{T} = g \cdot n.$$

Після перетворення за Лапласом $p \cdot \bar{m}(p) = g(p) \cdot n$, передавальна функція виконавчого механізму отримає вигляд: $W_{BM}(p) = \frac{n}{p}$.

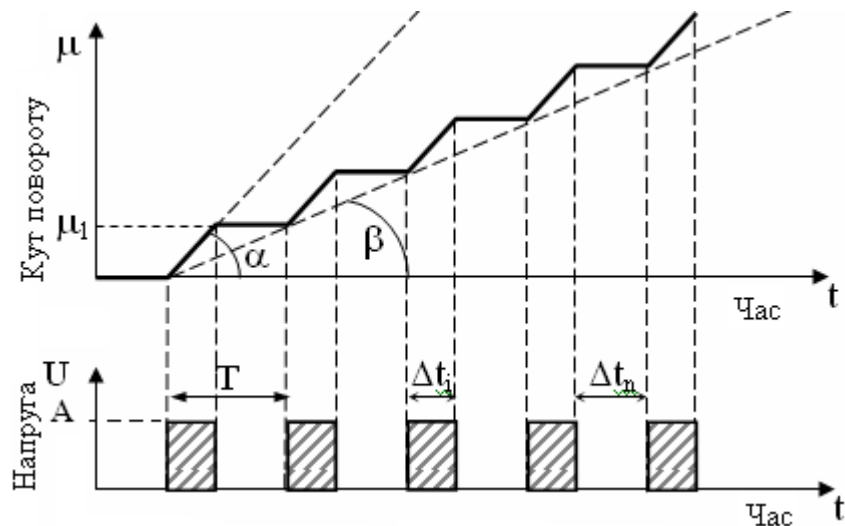


Рисунок 4.32 – Графік зміни кута повороту вала електроприводу

Отже, якщо в якості вхідного сигналу виконавчого механізму прийняти шпаруватість імпульсів, а не напругу живлення, а за вихідну – кут повороту вала, а не його швидкість, то електропривід набуває властивість інтегрувальної ланки, а його статична характеристика $\bar{m}'(p) = f(g)$ лінійна.

В практиці автоматизації найбільше поширення отримали виконавчі механізми сталої швидкості, керування роботою яких відбувається під управлінням імпульсів різної тривалості. В наслідок цього в регуляторах здійснюється широтно-імпульсна модуляція сигналів керування, а виконавчий механізм ці імпульси інтегрує і запам'ятовує у вигляді нового положення вихідного вала.

Мінімальна тривалість імпульсів – 0,1с. Між командами на переміщення (цей час складає більше 90% терміна праці) вихідний вал зберігає своє положення при наявності активного механічного навантаження в умовах вібрації. Виконавчі механізми сталої швидкості розраховані на безконтактне керування за допомогою магнітних підсилювачів або реверсивних тиристорних пускачів, але можливе і контактне управління[3,42].

4.2.1.3 Позиційні виконавчі механізми

Позиційні електричні виконавчі механізми призначені для того, щоб перевести затвор регульовального органа у визначені фіксовані положення. Частіше за все таких положень буває два – “відкрито” і “закрито”. За принципом дії позиційні виконавчі механізми поділяються на електромагнітні та електродвигунові.

До електромагнітних ВМ відносяться соленоїдні електроприводи, які застосовуються для управління різного роду запірними клапанами, вентилями, засувками. Характерна особливість електричних виконавчих механізмів цієї групи полягає в тому, що необхідне зусилля для переставлення робочого органа створюється за рахунок електромагніта, який є невід'ємною часткою виконавчого механізму.

Електромагнітним приводом є магнітопровід з котушкою. Частка магнітопроводу виконується рухомою відносно котушки і нерухомої частки магнітопроводу. Між рухомою і нерухомою частками магнітопроводу є повітряний зазор, де і відбувається перетворення електричної енергії, що подається на котушку, в механічну енергію переміщення рухомої частки магнітопроводу і механічно скріпленого з ним запірного органа. Електромагнітні приводи через своє конструктивне виконання і принцип дії мають тільки два крайніх положення – «відкрито», коли на котушку подана напруга (якір втягнутий, повітряний зазор мінімальний) і «закрито», коли з котушки знята напруга (якір відкинутий поворотними пружинами, повітряний зазор максимальний).

Така двопозиційна характеристика електромагнітних приводів дозволяє їх успішно застосовувати для запірних, відсічних і запобіжних клапанів.

Запірні клапани з електромагнітним приводом призначені для перекриття трубопроводів з рідкою та газоподібною речовиною, у тому числі вибухопожежонебезпечною. Клапани спрацьовують за 1 сек. Конструктивно, залежно від призначення, клапани можуть бути «перепадними» (що працюють тільки за наявності перепаду між тиском на вході і на виході величиною не менше 0,3 кгс/см²) і «безперепадними» (що працюють навіть за відсутності перепаду між тиском на вході і виході). На рис.4.33 зображено безперепадний клапан з електромагнітним приводом.

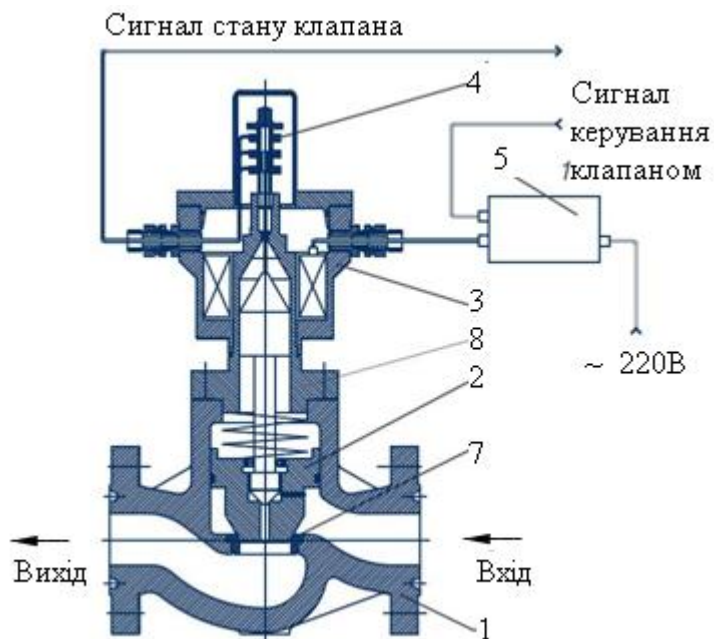


Рисунок 4.33 – Запірний клапан з електромагнітним приводом

За принципом дії соленоїдного приводу електромагнітні виконавчі механізми поділяються на 2 групи.

1. З приводом, розрахованим на тривале обтікання його котушки струмом. Недоліком їх є постійне споживання електроенергії, а в разі

аварійного раптового зникнення енергії – спрацьовування регулювального органа.

2. З приводом, не розрахованим на тривале обтікання його котушок струмом. Такий привід має дві котушки – головний електромагніт – для відкриття вентиля, і електромагніт, що керує спеціальною защіпкою для його закриття.

На рис.4.34а наведено загальний вигляд фланцевого сальникового вентиля *СВ* з електромагнітом *ЕГ* (електромагніт головний) і електромагнітною защіпкою *ЕЗ*, а на рис.4.34б - схема вмикання обмоток головного електромагніту і електромагніту защіпки.

При подачі від регулятора імпульсу на відкриття вентиля *СВ* замикається контакт «Більше» вмикається обмотка *ЕГ*, якір втягується в котушку соленоїда і повністю відкриває вентиль. Одночасно спеціальна защіпка фіксує якір в цьому положенні, блокувальний контакт *КГ* розмикається і обмотка головного електромагніту знеструмується.

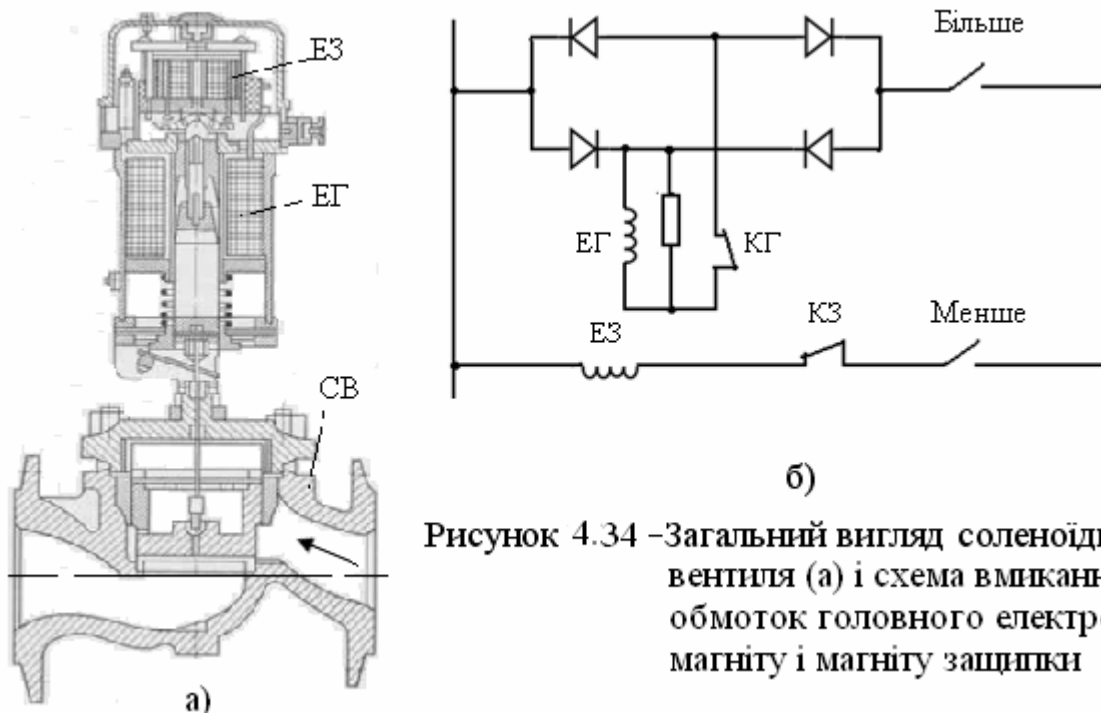


Рисунок 4.34 – Загальний вигляд соленоїдного вентиля (а) і схема вмикання обмоток головного електромагніту і магніту защіпки

Коли регулятор дає команду на закриття вентиля замикається контакт «Менше», по обмотці електромагніту *ЕЗ* тече струм. Електромагніт звільняє защіпку, і тарільчастий плунжер вентиля під дією власної маси або зворотної пружини закривається, розриває блокувальний контакт *КЗ* і замикає блокувальний контакт *КГ*. На випадок відсутності електроенергії вентиль забезпечений пристроєм ручного управління.

Завдяки високій швидкодії електромагнітні виконавчі механізми часто застосовуються в автоматичних системах блокування. Недоліком їх є можливість виникнення гідравлічних ударів в трубопроводах з рідинами, на яких встановлені регулювальні органи з такими виконавчими механізмами[36,45].

Електродвигунові – це багатооборотні виконавчі пристрої, які призначені для зміни кута повороту вихідного вала у широкому діапазоні, щоб забезпечити надійне позиційне керування будь-яким видом запірної арматури.

Електрична схема виконавчих механізмів типу ДР-М, ДР-1М, які призначені для управління регулювальними органами з малим переставним зусиллям, рис.4.35, містить однофазний конденсаторний двигун 1 з редуктором Ред, пристрій старт-контактів з блокувальною шиною 2 і ковзним контактом 3, який рухається разом з робочим органом. Робочий орган виконавчого механізму має два фіксованих положення, які відповідають розташуванню ковзного контакту на лівому чи правому старт-контакті. Якщо ковзний контакт 3 знаходиться на лівому старт-контакті, ВМ працює тільки при вмиканні керувальної кнопки K_1 .

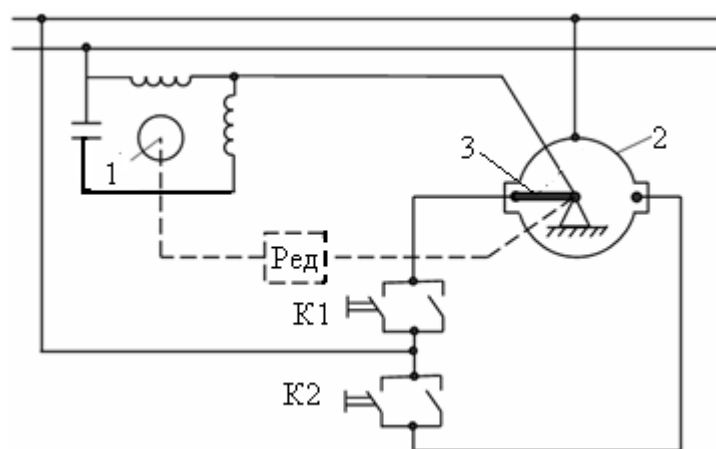


Рисунок 4.35 – Схема виконавчого механізму типу ДР

Після початку роботи двигуна ковзний контакт переміщується на блокувальну шину і двигун працює, минаючи блок керування контактами, до тих пір, доки ковзний контакт не перейде на правий старт-контакт. У цьому випадку електричне коло керування двигуном розривається і його робота зупиняється. Затвор регулювального органа займає позицію «відкрито». Для закриття регулювального органа, потрібно здійснити повторне вмикання двигуна, на цей раз керувальною кнопкою K_2 . Після початку роботи двигуна ковзний контакт 3 перейде на нижню частину блокувальної шини 2, підтримуючи, тим самим, його електроживлення. Коли затвор регулювального органа закриється, ковзний контакт опиниться на лівому старт-контакті і двигун вимкнеться від мережі живлення. Електродвигун завжди обертається в одному напрямі, а зміна положення регулювального органа досягається відповідним з'єднанням його важелів з вихідним валом виконавчого механізму[3].

У теперішній час більше поширення при позиційному керуванні отримали сучасні багатооборотні виконавчі механізми, серед яких пристрої українського, російського та іншого закордонного виробництва, рис.4.36, [46].



Рисунок 4.36 – Багатооборотні виконавчі механізми

4.2.2 Пневматичні виконавчі механізми

Пневматичні системи автоматизованого управління в епоху мікропроцесорів і широкого вживання цифрової електроніки, виглядають досить архаїчно. Вони громіздкі, вимагають створення мереж підготовки і розподілу стислого повітря, щоб забезпечити функціонування пневматичних пристроїв автоматизації.

У той же час, простота конструкції пневмоприводів, досить висока надійність і їх ремонтпригодність, дозволяють успішно використовувати такі приводи і в сучасних системах автоматизованого управління технологічними процесами. У той же час на деяких об'єктах автоматизації використання електричних виконавчих механізмів є дуже небезпечним.

Пневматичні виконавчі механізми призначені для перетворення зміни тиску повітря на виході регулятора в переміщення регульовального органа. За типом приводу пневматичні виконавчі механізми діляться на мембранні, поршневі та сильфонні, які можуть бути пружинними або безпружинними.

У пружинних ВМ переставне зусилля в одному напрямі створюється силою стиснутого повітря, а у зворотному – силою стиснутої пружини. Тобто значна частина зусилля, що створюється перед поршнем, витрачається на стиснення пружини.

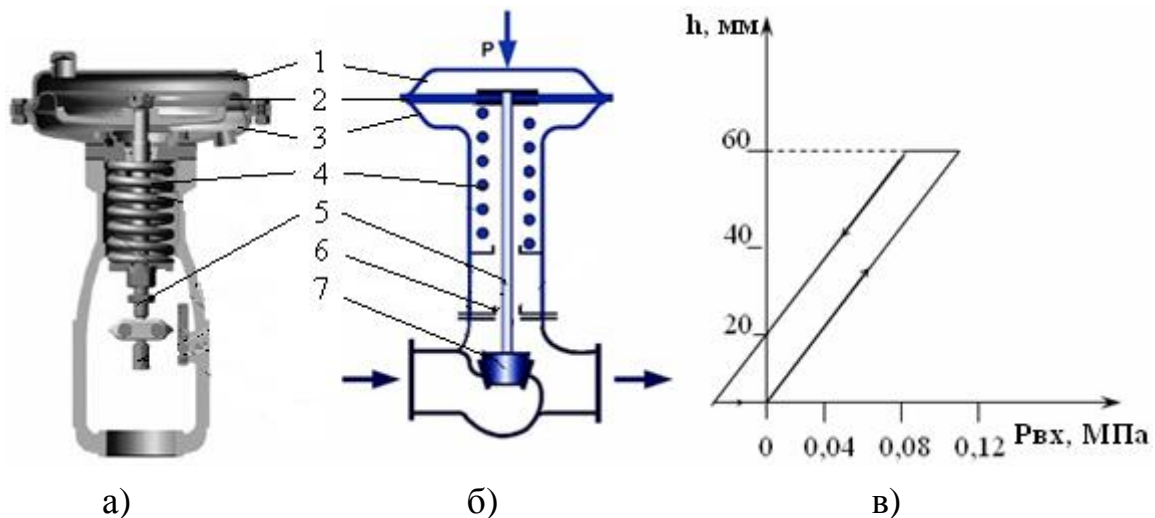
Від цього недоліку вільні безпружинні ВМ, в яких переставне зусилля у протилежних напрямках створюється тиском повітря, що прикладається з обох боків мембрани або поршня. Тиск з одного боку зростає, а з іншого – зменшується або навпаки.

Прямолінійні мембранні та поршневі пружинні і безпружинні механізми, що доповнені механічною передачею, забезпечують повертальне переміщення вихідного органа, рис.4.37.



Рисунок 4.37 – Повертальний поршковий механізм з рєчнозубчатою передачею

Мембранний виконавчий механізм типу МИМ і схема пневматичного приводу показані на рис.4.38. Сигнал тиску повітря P поступає в герметичну «головку», де знаходиться мембрана 2 з прогумованої тканини і жорстким центром. Керувальний тиск повітря, впливає на мембрану і створює зусилля, яке врівноважується пружиною 4. Коли рівновага між цими зусиллями порушується із-за зміни сигналу управління, шток 5 зміщує плунжер в ту чи іншу сторону доки знову не встановиться рівновага. Тобто, хід штока пневматичного приводу пропорційний величині керувального сигналу. Жорсткість і попереднє стискування пружини визначає діапазон зусиль приводу і номінальний хід.



1 - верхня кришка; 2- мембрана; 3- нижня кришка; 4 - пружина; 5 - шток; 6 - сальник; 7 - плунжер

Рисунок 4.38 – Мембранний виконавчий механізм (МИМ) (а), схема пневматичного приводу (б) і його статична характеристика (в)

Мембранні виконавчі механізми класифікують, за розмірами мембранних «головок». Зазвичай вони поставляються разом з регулювальними органами — клапанами. Оскільки при знятті тиску P мембрана завжди переміщується у гору, то залежно від конструкції регулювального органа розрізняють нормально відкриті НВ і нормально закриті НЗ клапани. Якщо за відсутності пневматичного керувального сигналу пружина висуває шток приводу в крайнє нижнє положення, такий привід називається нормально-закритим. Якщо за відсутності пневматичного сигналу пружина втягує шток приводу в крайнє верхнє положення, такий привід називається нормально-відкритим.

Статичні характеристики більшості пневматичних приводів близькі до лінійних, проте вони мають гістерезис, який становить 2—15% від найбільшого значення P . Величина гістерезису залежить від сили тертя в сальнику б, від перепаду тиску на регулювальному органі, від характеристик пружини і ефективної площі мембрани. Слід зазначити, що для мембранних ВМ з великою площею мембрани вплив тертя в защілнику і перепаду тиску на величину гістерезису незначний (зона гістерезису складає 1÷3% і практично не впливає на якість перехідних процесів системи регулювання). Проте через великий

об'єм мембранної камери динамічні характеристики таких ВМ наближаються до характеристик аперіодичної ланки, що значно знижує якість регулювання.

Для зменшення зони гістерезису і поліпшення динамічних характеристик, на виконавчий механізм встановлюють додаткові підсилювачі потужності, так звані позиціонери. Позиціонер є регулятором положення рухливої системи регулювального клапана, і, як кожен регулятор, він має об'єкт регулювання, параметр, завдання, сигнал неузгодження і вихідний сигнал управління. Об'єкт управління – це виконавчий механізм регулювального клапана, параметр – положення штока клапана, завдання - керувальний сигнал від системи управління або регулятора, сигнал неузгодження – різниця між керувальним сигналом і дійсним положенням штока, а вихід – тиск стислого повітря, що поступає в робочу порожнину виконавчого механізму або зусилля тарованої пружини. Змінюючи вихідний тиск або зусилля пружини, позиціонер забезпечує відповідність положення штока клапана керувальному сигналу, компенсуючи зусилля, що діють на рухливу систему клапана (тертя в рухливих з'єднаннях, статична і динамічна дія регульованої середи).

Розрізняють позиціонери, що працюють за схемою компенсації переміщень, і за схемою компенсації сил. В обох типах вони охоплюються негативним зворотним зв'язком за положенням штока. Це виключає вплив на статичні характеристики сил тертя в сальнику, перепаду тиску на регулювальному органі і тому подібне.

Позиціонер, що працює за схемою компенсації переміщень, рис.4.39, має сильфонний чутливий елемент 1, на який надходить командний сигнал з виходу пневматичного регулювального пристрою. Зміна цього сигналу призводить до переміщення дна сильфона і золотника 2. Останній сполучає порожнину над мембраною ВМ з атмосферою (при зміщенні униз), або з лінією живлення (при зміщенні уверх).

Зростання або зменшення тиску над мембраною продовжується до тих пір, доки під його впливом шток 3 не зміститься настільки, що за допомогою важеля 4 знову поставить золотник 2 у нейтральне положення. Нове положення штока буде при цьому визначатися характеристиками сильфона і важільної системи позиціонера, тобто не буде залежати від тертя у рухомій системі механізму.

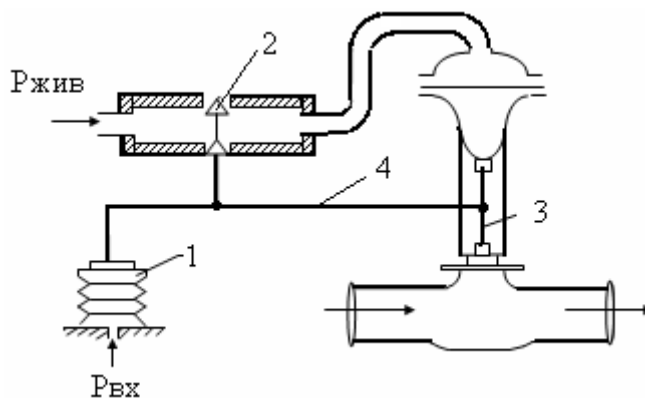


Рисунок 4.39 – Позиціонер, що працює за схемою компенсації переміщень

Позиціонер, що побудований за схемою компенсації сил, наведено на рис.4.40.

Вхідний пневматичний сигнал $P_{вх}$, надходить від регулювального пристрою до камери A , розвиває на мембранному блоці 4 зусилля, яке спрямоване униз до регулювального органа.

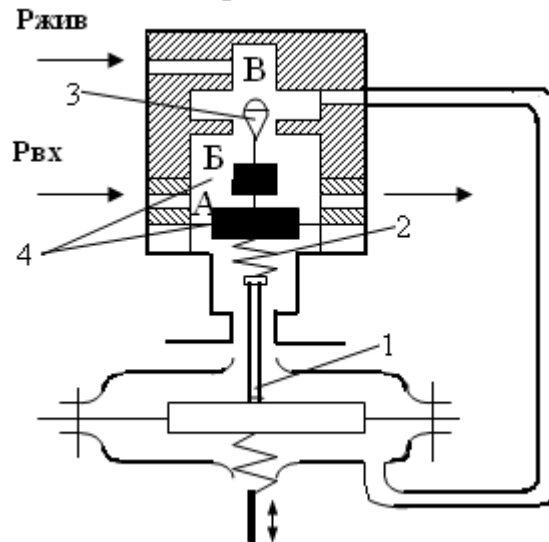


Рисунок 4.40 – Позиціонер, що побудований за схемою компенсації сил

На шток того ж мембранного блока передається зусилля стисненої пружини 2, що спрямовано вверх.

Порушення рівноваги зусиль, що діють на блок, призведе до його переміщення, а отож і до зміни ступеня відкриття клапанів скиду та живлення золотником 3 у камері B . Це в свою чергу, спричиняє зміну тиску в лінії, що йде під мембрану BM і яка буде продовжуватися до тих пір, доки переміщення штока через важіль 1 зворотного зв'язку і пружину 2 не відновить рівновагу сил на елементі порівняння. Таким чином нове положення штока визначається лише кінематичною системою зворотного зв'язку і характеристикою пружини 2 і не залежить від тертя у рухомій системі. Похибка у відпрацюванні положення штока BM при переміщенні позиціонера ПР-10 не перевищує в статистиці 1%.

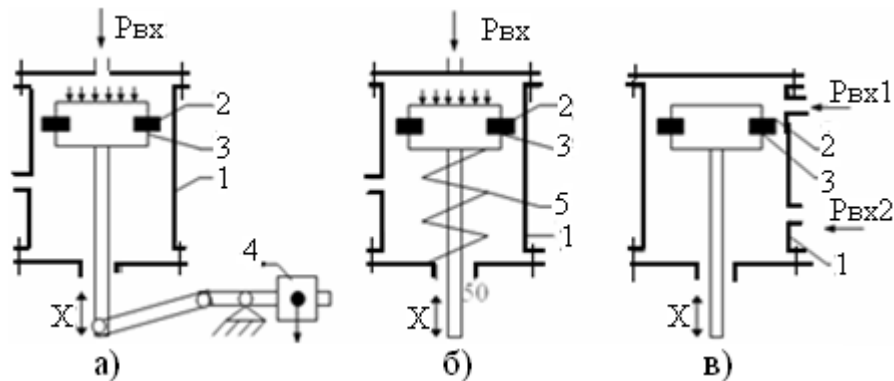
Позиціонери доцільно застосовувати при значному віддаленні BM від пневматичного регулятора. Позиціонери, що працюють за схемою компенсації переміщень, застосовуються в основному для мембранних BM , які мають великий хід штока (25–100мм). Позиціонери, що побудовані за схемою компенсації зусиль – для мембранних механізмів, хід штока яких складає 7–25 мм.

Мембранні виконавчі механізми можуть бути укомплектовані ручними дублерами (бічними або верхніми), призначеними для управління клапаном за відсутності тиску в мережі керувального повітря. Ручний бічний дублер кріпиться на бічній поверхні кронштейна приводу, а верхній ручний дублер - на кришці приводу. Зазвичай на приводах встановлюються бічні дублери, при цьому з протилежного від дублера боку кронштейна приводу може бути

встановлений блок кінцевих вимикачів або позиціонер. Якщо за умовами роботи клапана потрібна наявність обох цих приладів, то використовується верхній ручний дублер. Верхні дублери для нормально-відкритих і нормально-закритих пневматичних приводів різні, оскільки зворотний хід штока в них здійснюється за рахунок пружини приводу (у цьому відмінність верхнього ручного дублера від бічного, який може управляти приводом і без пружини).

Поршневі виконавчі механізми на відміну від мембранних дозволяють отримати велике переміщення штока, що в деяких випадках визначає доцільність їх застосування.

Основними елементами поршневих ВМ є поршень 3 і циліндр 1, герметичність між якими забезпечує защільник 2, рис.4.41.



а) – із зрівноважувальним вантажем; б) – із зрівноважувальною пружиною;
в) – із подаванням різниці тисків

Рисунок 4.41 – Схеми поршневих виконавчих механізмів

Під впливом вхідного тиску на поршні розвивається зусилля, яке поступово переміщує регульований орган. Конструктивно поршневі ВМ можуть бути виконаними різними способами. В одних, рис.4.41а,б, повітря підводиться до поршня з одного боку, а сила, що розвивається при цьому поршнем, врівноважується або протидією вантажу 4, або силою пружини 5. В інших, рис.4.41в, переміщення поршня здійснюється під дією поступових тисків $P_{вх1}$ і $P_{вх2}$ в ту чи іншу порожнину циліндра. Для збільшення точності і зменшення інерційності поршневих ВМ їх, як і мембранні, доповнюють позиціонерами. Такі поршневі приводи називають відстежувальними, рис. 4.42.

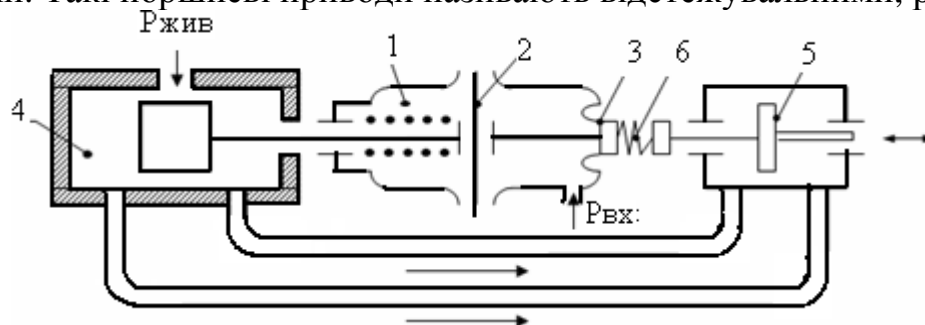


Рисунок 4.42 – Схема поршневого відстежувального приводу з мембранно – розподільниковим позиціонером

Поршневий відстежувальний привід складається з виконавчого механізму 1, який має велику 2 і малу 3 мембрани, розподільника 4 з трьома клапанами, поршневого механізму 5 з пружинним негативним зворотним зв'язком 6. При збільшенні $P_{вх}$ розподільник зміщується ліворуч і тиск живлення $P_{жив}$ надходить до лівої порожнини циліндра 5. Поршень зміщується праворуч, збільшуючи натяг пружини зворотного зв'язку до тих пір доки не встановиться нове положення рівноваги. Зона нечутливості в поршневому відстежувальному приводі дорівнює 0,5%, повний час переміщення 4с (за відсутності навантаження).

Сучасні інтелектуальні позиціонери, окрім свого головного завдання – регулювати положення штока клапана, дозволяють реалізувати велику кількість додаткових функцій – огляд параметрів стану клапана, автоматичне настроювання, діагностику, конфігурацію, моделювання, архівацію. Але існує багато систем, де ці чудові можливості не потрібні. Тоді можна вибирати між аналоговим позиціонером і електропневматичним перетворювачем.[3,45,47].

4.2.2.1 Електропневматичні перетворювачі

Для сполучення пневматичних виконавчих механізмів з електричними сигналами систем управління застосовують електропневматичні перетворювачі, які окрім поліпшення статичних характеристик мембранних виконавчих механізмів, забезпечують перетворення електричного сигналу в імпульс повітря, що подається на ВМ.

Електропневматичні перетворювачі ЕП-0000 призначені для перетворення стандартного струмового сигналу в пневматичний сигнал для управління пневматичним виконавчим механізмом. Перетворювачі перетворюють електричні сигнали 0-5, 0-20 або 4-20 мА в тиск повітря 20-100 кПа.

Принцип дії перетворювачів заснований на методі силової компенсації, при якому момент, що розвивається котушкою, розташованою в полі постійного магніту, пропорційний вхідному сигналу і компенсується моментом сили, що розвивається сильфоном зворотного зв'язку. Елементом, що встановлює рівновагу моментів, є пневматична система “сопло-заслінка”. Принципова схема перетворювача приведена на рис. 4.43.

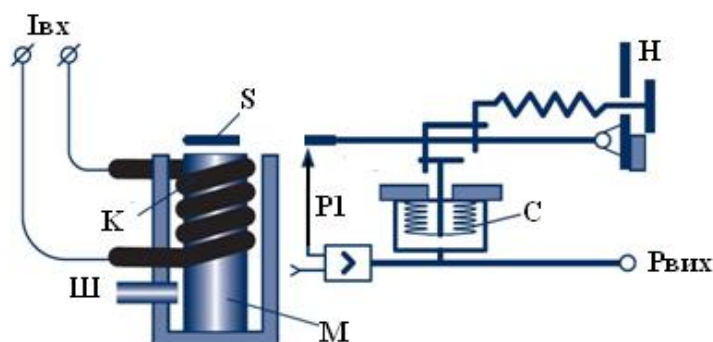
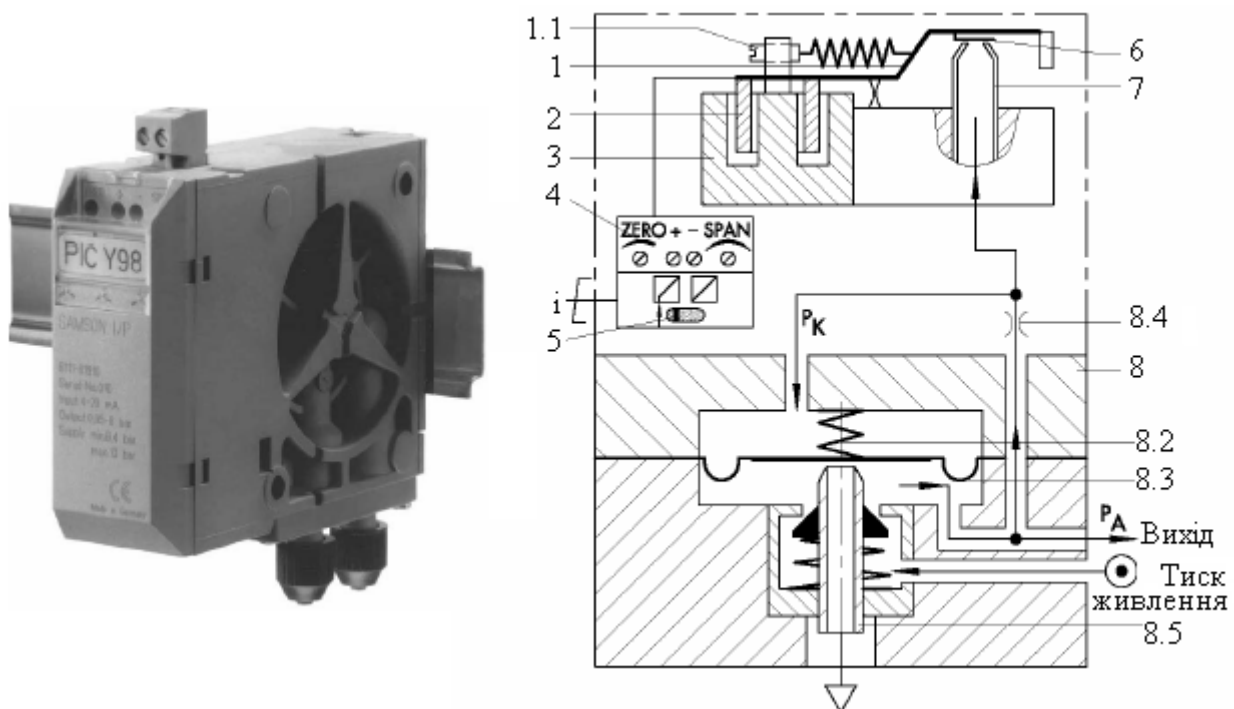


Рисунок – 4.43 Принципова схема електропневматичного перетворювача

Вхідний сигнал I_v подається на котушку K , в якій розташовано постійний магніт M . Магніт з силою, пропорційною I_v , притягує важіль S . Як наслідок відстань між соплом і заслінкою зменшується, тиск на виході P_1 і виході $P_{вих}$ підсилювача потужності збільшується.

Мембрана пневматичного виконавчого механізму під впливом цього тиску прогинається і зміщує затвор регулювального органа. Одночасно збільшується тиск над сильфоном C , який знаходиться у контурі негативного зворотного зв'язку. Сильфон стискується і через шток відновлює рівновагу сумарних сил на важелі S . Зворотний процес у роботі перетворювача відбувається при зменшенні вхідного сигналу і тиск на мембранний виконавчий механізм зменшується. Настроювання перетворювача здійснюється гвинтом H , що змінює відстань від вісі сильфона до вісі обертання важеля S , а точне настроювання діапазону здійснюється шунтом Ш магнітопроводу[45].

Електропневматичний регулювальний перетворювач типу 6111, рис.4.44, виробництва німецької фірми SAMSON, призначений для перетворення сигналу постійного струму 4(0) -20мА в пневматичний сигнал 20-100 або 04-200кПа і використовується як проміжна ланка між пристроями електровимірювання та пневматичного регулювання.



1 - коромисло, 1.1 - механічне установлення нульової точки (тільки у виконанні 0- 20мА), 2 - рухлива котушка, 3 - постійний магніт, 4 - установлення нульової точки і діапазону (відсутній у виконанні 0- 20 мА), 5 - ползунковий вимикач (відсутній у виконанні 0- 20мА), 6 - заслінка, 7 - сопло, 8 - пневматичний підсилювач 8.2 компенсаційна пружина, 8.3 мембрана, 8.4 вхідний дросель, 8.5 конічна втулка

Рисунок 4.44 – Електропневматичний регулювальний перетворювач 6111

Прилад має поліамідний корпус зміцнений скловолокном, усередині якого розташовано перетворювальний і/р-модуль і приєднаний до нього

пневматичний підсилювач. Постійний струм "i", що підводиться, протікає через рухливу котушку 2, яка розташована в полі постійного магніту 3. Зусилля від рухливої котушки, що діє на коромисло 1, пропорційне величині протікаючого струму. Воно зрівноважується силою, що створюється потоком повітря з сопла 7 на заслінку 6. Тиск живлення потрапляє в нижню камеру пневматичного підсилювача 8, а на вихід приладу проникає об'єм повітря, який залежить від положення мембрани 8.3 відносно конічної втулки 8.5. Тиск вихідного сигналу рА використовується також для живлення сопла 7, причому компенсаційна пружина 8.2 діє так, щоб навіть при вхідному струмі 0мА вихідний сигнал був не менше 100 мбар. Якщо вхідний електричний струм і пов'язана з ним сила дії рухливої котушки зростають, то заслінка 6 наближається до сопла 7.

Внаслідок цього збільшується динамічний натиск і каскадний тиск рК, що утворюється перед дроселем 8.4. Каскадний тиск ростиме до тих пір, поки не стане відповідати вхідному струму. З підвищенням каскадного тиску, на мембрану 8.3 і конічну втулку 8.5 діє спрямована вниз сила, так, що прикладений тиск живлення підвищує тиск вихідного сигналу рА до тих пір, поки в мембранній камері не встановиться новий стан рівноваги. При падінні каскадного тиску мембрана рухається вгору і звільняє конічну втулку. Тиск вихідного сигналу рА через конічну втулку створює нове положення рівноваги.

У конструкції приладу на 4-20 мА передбачено ползунковий вимикач, який через вимикаючу електроніку дозволяє скидати вхідний сигнал до 0мА, як тільки останній падає нижче за точку спрацьовування $4,08\text{мА} \pm$ гістерезис. Цим досягається скидання тиску пневматичного виходу до $\approx 1\text{кПа}$ для того, щоб, наприклад, забезпечити щільний затвор регулювального клапана.

Перетворювач кріпиться на рейці або на стіні за допомогою двох передбачених отворів. Він також може встановлюватися на розподільнику живильного тиску, що призначений для монтажу відразу декількох і/р - перетворювачів, при наявності відповідного додаткового оснащення[48].

4.2.3 Зчленування виконавчих механізмів і регулювальних органів

Виконавчі механізми в системах автоматичного регулювання повинні забезпечувати переміщення РО з можливо меншим спотворенням законів регулювання, що формуються регуляторами. Якість роботи ВМ в системі управління значною мірою залежить від того, яким чином здійснюється його з'єднання з РО. Способи з'єднання (зчленування) ВМ з РО визначаються у кожному конкретному випадку залежно від типу і конструкції РО та ВМ, їх взаємного розташування, необхідного характеру переміщення РО та інших місцевих умов. Зчленування вихідного елемента ВМ з вхідним елементом РО може бути безпосереднім або жорстким.

Безпосереднє з'єднання вихідного вала (штока) ВМ з валом або штоком РО є найбільш простим. Переміщення вихідного пристрою ВМ і рухливої частини РО при цьому способі зчленування однакові, а швидкості рівні. Подібні способи з'єднання широко застосовуються при використанні

електромагнітних ВМ, а також багатооборотних ВМ, що надають руху запірній арматурі.

Жорстке зчленування здійснюється за допомогою важелів або рейкових передач і може бути лінійним і нелінійним. При лінійному зчленуванні значення переміщення вихідного вала ВМ і рухливого елемента регулювального органа розрізняються тільки масштабом.

При нелінійному жорсткому зчленуванні можна створювати нерівні переміщення РО при відносно рівних переміщеннях вихідного вала ВМ.

Застосування нелінійних кінематичних зв'язків між ВМ і РО дозволяє при необхідності змінювати витрачальні характеристики РО. Так, якщо обмежити хід РО при повному переміщенні вихідного пристрою ВМ, то можна використовувати тільки сприятливу частину витрачальної характеристики. За рахунок відповідного підбору довжин сполучних важелів та механічних тяг можна отримати таке зчленування, при якому початковим положенням вихідного пристрою ВМ відповідає менший кут повороту РО, а кінцевим - більший.

Зчленування виконавчого механізму з РО вибирають так, щоб повний хід штока регулювального органа забезпечувався поворотом важеля вихідного вала виконавчого механізму на кут $\gamma=90^\circ$.

При налагодженні систем автоматичного регулювання часто виникає необхідність випрямлення витрачальних характеристик РО, наприклад у випадках, коли при виборі РО не вдається забезпечити бажаної форми витрачальної характеристики. При незначній кривизні характеристики РО випрямлення її може бути здійснене за рахунок відповідної конструкції пристрою, що з'єднує РО з ВМ.

4.2.3.1 Розрахунок з'єднання виконавчого механізму з регулювальним органом

Для якісної роботи системи автоматичного регулювання її коефіцієнт передачі повинен бути незмінним. Його величина визначається добутком $K=K_{об} K_p K_{вм} K_z K_{ро}$, де $K_{об}$ - коефіцієнт передачі об'єкта, K_p - коефіцієнт передачі регулятора, $K_{вм}$ - коефіцієнт передачі виконавчого механізму, K_z - коефіцієнт передачі з'єднання, $K_{ро}$ - коефіцієнт передачі регулювального органа.

При вибраних формах витрачальної та пропускної характеристик, які забезпечують сталість коефіцієнта передачі регулювального органа, незмінність K може бути отримана шляхом компенсації нелінійності статичної характеристики об'єкта (якщо вона є) нелінійністю з'єднання виконавчого механізму з регулювальним органом. Для цього необхідно зробити розрахунок з'єднання виконавчого механізму з регулювальним органом, структура якого наведена далі.

1. Будова безрозмірної статичної характеристики з'єднання виконавчого механізму з регулювальним органом.

1.1. Подати статичну характеристику об'єкта регулювання у безрозмірній формі:

$$X_{вих об} = \frac{X_{вих}^i}{X_{вих max}}; \quad X_{вих PO} = \frac{X_{вх}^i}{X_{вх max}};$$

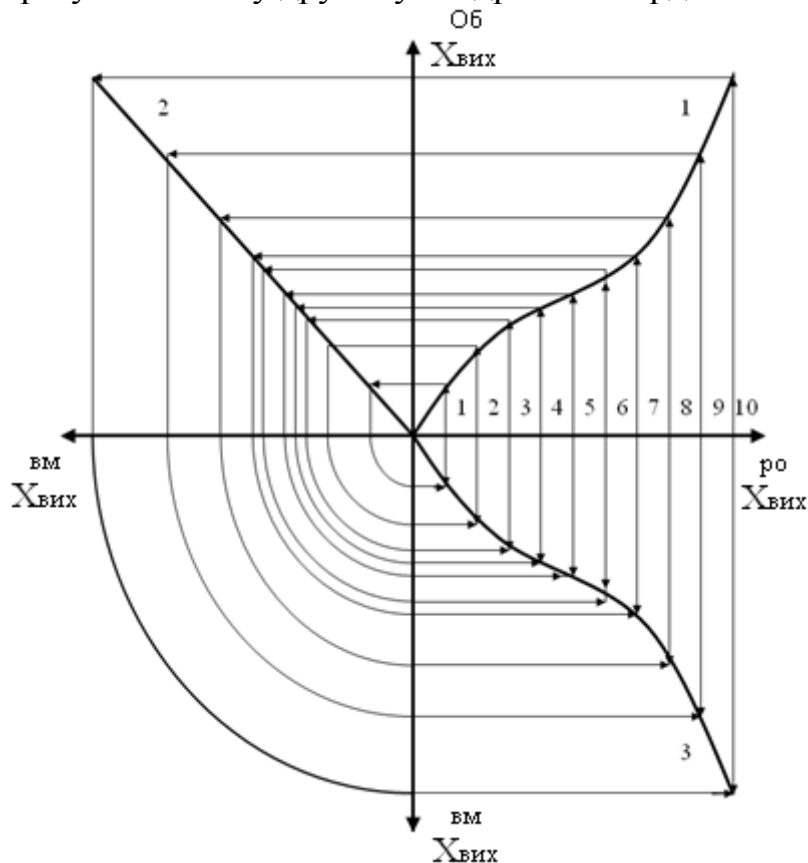
де $X_{вих об}$ і $X_{вх об}$ - безрозмірні значення вихідної та вхідної величини об'єкта регулювання;

$X_{вих}^i$ і $X_{вих max}$ - i -те та максимальне значення розмірної вихідної величини об'єкта регулювання;

$X_{вх}^i$ і $X_{вх max}$ - i -те та максимальне значення розмірної вхідної величини об'єкта регулювання.

1.2. Збудувати безрозмірну статичну характеристику об'єкта регулювання у першому квадранті координатної площини $X_{вих об} = f(X_{вих po})$, рис.4.45.

1.3. Збудувати безрозмірну лінійну характеристику "виконавчий механізм - об'єкт регулювання" у другому квадранті координатної площини.



1-безрозмірна статична характеристика об'єкта регулювання; 2-лінеаризована характеристика об'єкта з виконавчим механізмом; 3-статична характеристика з'єднання

Рисунок 4.45 – Побудова безрозмірної статичної характеристики з'єднання виконавчого механізму з регулювальним органом

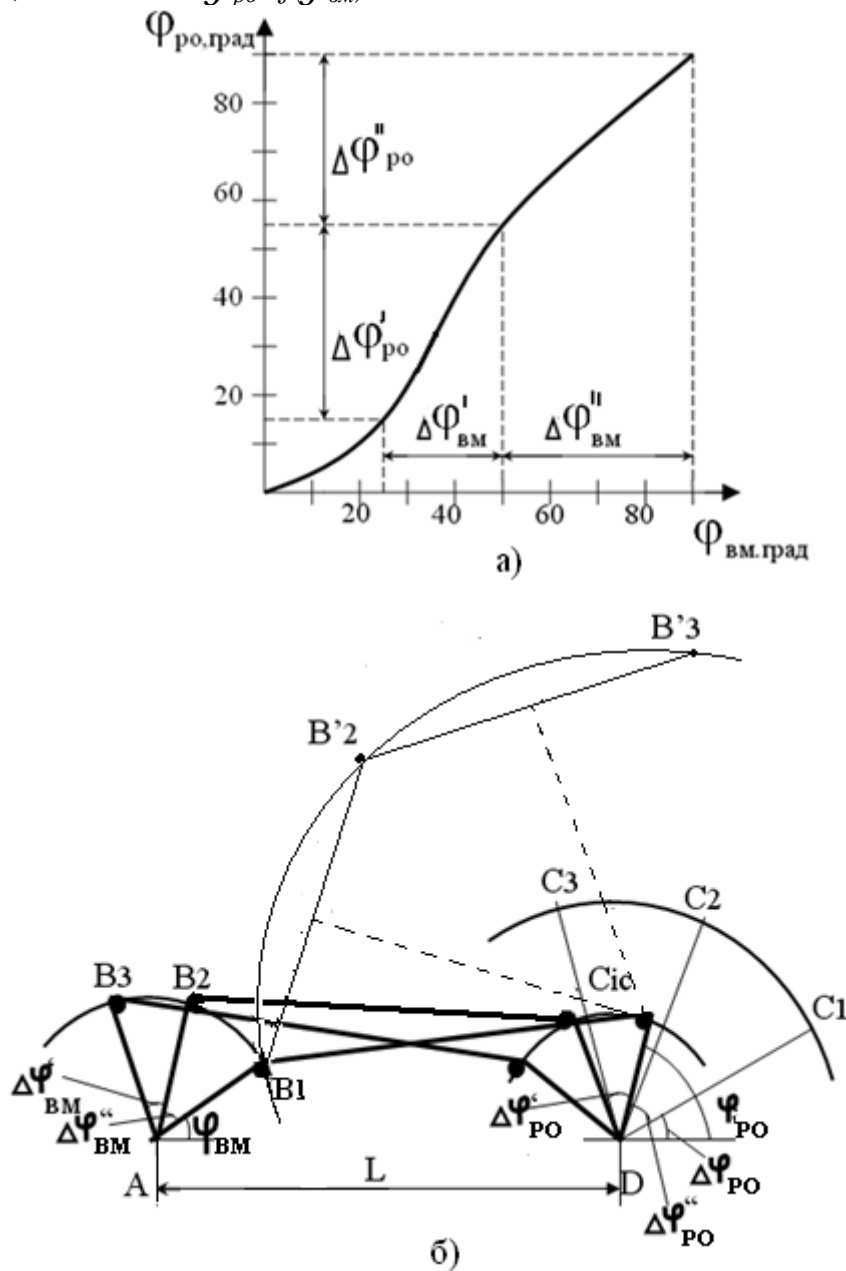
1.4. Праву піввісь координатної площини поділити на десять рівних інтервалів i , відповідно до схеми, що на рис.4.43, збудувати статичну

характеристику з'єднання виконавчого механізму з регулювальним органом у четвертому квадранті.

Отримана характеристика лінеаризує регульований об'єкт, оскільки вона є дзеркальним відображенням його статичної характеристики і забезпечує сталість коефіцієнта передачі САР.

2. Графічний метод розрахунку з'єднання регульовального органа з виконавчим механізмом.

Вхідною величиною з'єднання є кут повороту вала РО. Тому статичну характеристику з'єднання на рис.4.46 потрібно перевести з безрозмірної в розмірну, перерахувавши кожен точку в градуси кута повороту і отримати, таким чином, залежність $j_{po}=f(j_{vm})$.



a- заданий графік залежності $j_{po}=f(j_{vm})$; б- графічна побудова
 Рисунок 4.46 – Побудова з'єднання регульовального органа з виконавчим механізмом:

2.1. Вибрати на графіку $j_{po}=f(j_{\text{вм}})$, рис.4.46а, три точки, які найбільш вірогідно відображають його характер у бажаному діапазоні.

2.2. Визначити прирощення кутів повороту вихідного вала виконавчого механізму $Dj'_{\text{вм}}$ та $Dj''_{\text{вм}}$ і відповідні їм прирощення кутів повороту регулювального органа Dj'_{po} та Dj''_{po} .

2.3. Задаючи відстань AD поміж осями валів ВМ та РО, а також, знаючи довжину кривошипа виконавчого механізму АВ=200 мм, попередньо приймається розмір кривошипа РО DC₁.

2.4. Задаючи початкові кути положення кривошипів в межах 20-30°, у зручному масштабі збудувати їх взаєморозміщення, рис.4.46б.

2.5. Збудувати нові положення кривошипів ВМ та РО спочатку для прирощень кутів $Dj''_{\text{вм}}$ та Dj''_{po} , а потім для $Dj'_{\text{вм}}$ та Dj'_{po} .

2.6. Оскільки положення точок С₁, С₂, С₃ вибрано довільно, то не можна сподіватись, що відстані В₁С₁, В₂С₂ та В₃С₃ однакові. Для визначення дійсного розміру кривошипа DC_{іст} та кута $j_{po\text{ іст}}$ необхідно, використовуючи відрізки DB₂ і DB₃, як радіуси кіл із загальним центром у точці D, побудувати частини кіл В₂-В'₂ і В₃-В'₃, повертаючи за стрілкою годинника радіуси DB₂ і DB₃ відповідно на кути Dj''_{po} та $Dj''_{po} + Dj'_{po}$. Врешті-решт точки В₁, В'₂ і В'₃ лежать на одному колі, центр якого і визначає дійсне положення точки С, довжину кривошипа DC_{іст} та початковий кут його установаження $j_{po\text{ іс}}$.

2.7. Для знаходження положення точки С_{іс}:

- з'єднати прямими точки В₁ і В'₂, а також В'₂ і В'₃;
- із середини отриманих хорд уявленого кола збудувати перпендикуляри до взаємного їх перетинання. Точка перетину і є положенням точки С_{іс}. Довжина DC_{іс} визначає у масштабі дійсну довжину кривошипа РО, а кут між DC_{іс} і лінією AD дорівнює дійсному початковому куту його установаження $j_{po\text{ іс}}$.

Довжина тяги між кривошипами РО та ВМ дорівнює довжині відрізка В₁С_{іст}.

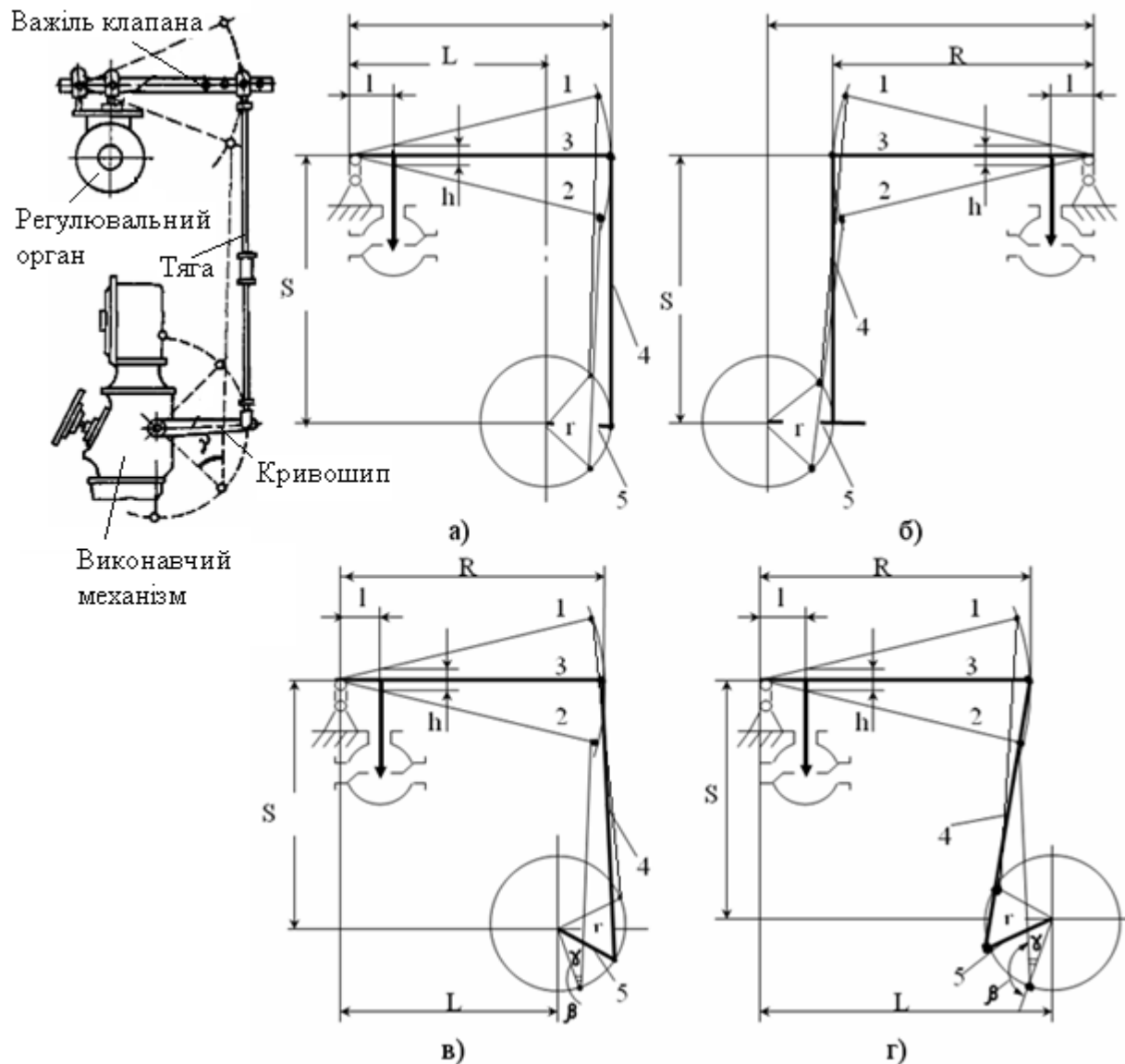
2.8. Маючи розміри ланок з'єднання і положення кривошипа ВМ у трьох точках, визначити будовою нове значення кутів розташування кривошипа РО $j_{po\text{ іс}}$.

2.9. Здобути новий графік $j_{po}^n=f(j_{\text{вм}})$, та оцінити ступінь його збігання з початковим.

Якщо кут між положенням кривошипа РО та лінією AD в одному з крайніх положень кривошипа ВМ буде менше 10°, то необхідно збільшити прийняту спочатку будовання величину $j_{\text{вм}}$ та будовання повторити.

При виконанні РО не з повертальним, а з поступовим рухом затворів, з'єднання виконавчого механізму з регулювальним органом має вигляд, наведений на рис.4.47. Для будови з'єднання необхідно попередньо визначити його вигляд, відстань S і довжину важеля. Довжина важеля R визначається за формулою $R=Al r/h$, де $r=200$ мм - довжина кривошипа виконавчого механізму; l - відстань між віссю обертання важеля клапана та

віссю з'єднання його зі штоком; $h=(0,6\div 0,8)D_c$ - хід клапана, де $D_c=(0,4\div 0,5)D_y$; A - коефіцієнт. Для характеристики з'єднання, близької до лінійної, $A=1,4$, а для криволінійної $A=1,2$.



а,б- лінійна характеристика з'єднання ; в, г- криволінійна ; 1- положення "відкрито"; 2- положення "закрито"; 3- середнє положення важеля клапана; 4 і 5 - відповідно положення тяги та кривошипа при середньому положенні важеля

Рисунок 4.47 – Кінематичні схеми з'єднання виконавчого механізму з клапаном

Для отримання лінійної характеристики з'єднання довжина тяги повинна бути $(3\div 5)r$. Для варіанту на рис.4.47а $L=R-r$, для варіанту на рис.4.47б $L=R+r$, для варіанту на рис.4.47в $L=R-0,6r$ і для варіанту на рис.4.47г $L=R+0,6r$.

Відстань між осями S повинна бути $(3\div 5)r$. Важіль клапана в положенні "закрито", повинен з'єднуватися з кривошипом за допомогою тяги так, щоб кут між нею та кривошипом створював $160-170^\circ$. При такому

з'єднанні хід клапана не буде пропорційним куту повертання кривошипа ВМ, тобто між ними має бути нелінійна залежність.

Ця нелінійність зростає зі зменшенням початкового кута з'єднання γ , рис. 4.47в,г. Щоб не було заклинювання з'єднання кут γ потрібно брати не менше, як $9-10^\circ$. Для прийнятої геометрії з'єднування необхідно графічним шляхом побудувати залежність $h=f(j_{\text{вм}})$ і порівняти її з необхідною характеристикою. У випадку їх невідповідності геометричні розміри уточнюються і графічна побудова характеристики повторюється[36,37,38].

4.3 Пускальні пристрої

Пускальні пристрої забезпечують необхідне підсилення потужності керувальних сигналів, що надходять від регулювального блока при автоматичному управлінні або при ручному керуванні від оператора.

Вхідні кола пускальних пристроїв (пускатчів) дозволяють використовувати два види керувальних сигналів– активний сигнал керування у вигляді постійного струму або пульсуючої напруги $=24\text{В}$ і пасивний сигнал керування у вигляді замикання відповідних вхідних затискачів з допомогою безконтактних або контактних ключів.

Активний сигнал використовується звичайно при управлінні пускальним пристроєм (ПП) від релейно-імпульсних регуляторів (РБ), рис.4.48а. Пасивний сигнал застосовується в основному при ручному дистанційному керуванні за допомогою відповідних кнопок та ключів блока управління (БУ), рис.4.48б.

Напруга, що потрібна для спрацьовування пускача в цьому випадку надходить від джерела, який знаходиться у самому пускальному пристрої.

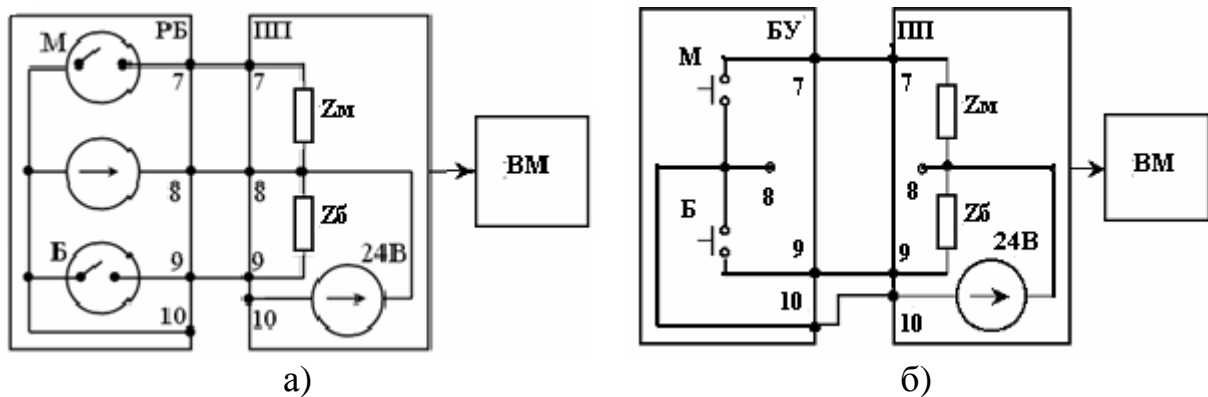


Рисунок 4.48 – Керування пускатчем активним (а) і пасивним (б) сигналами

Для кожного зі способів керування використовується трипровідна лінія зв'язку. Один з проводів є загальним. У випадку активного керувального сигналу цей провід вмикається до затискача 8 пускального пристрою, у випадку пасивного – до затискача 10.

Для подання керувального сигналу “менше” використовуються затискачі 7 і загальний (8 або 10), для подання сигналу “більше” – затискачі 9 і загальний (8 або 10)[3].

За принципом керування силовими колами пускальні пристрої поділяються на контактні та безконтактні. В контактних пусках безпосереднє увімкнення та вимкнення обмотки статора двигуна виконавчого механізму до мережі відбувається за допомогою релейного пристрою, а в безконтактних – з використанням тиристорних або симисторних керувальних схем.

Схема, яка моделює роботу безконтактного реверсивного пускача, що працює з виконавчим механізмом, оснащеним однофазним електродвигуном, наведена на рис.4.49.

Функцію безконтактних ключів, що здійснюють комутацію силових кіл електродвигуна, виконують симетричні тиристири (симистори) *TC1* і *TC2*.

Вмикання симисторів відбувається шляхом подання від'ємної напруги з випрямлячів *B1* і *B2*. Напруга на ці випрямлячі надходить відповідно з роздільних трансформаторів *TP2* і *TP3* при наявності командного сигналу у вигляді замикавання відповідної пари затискачів.

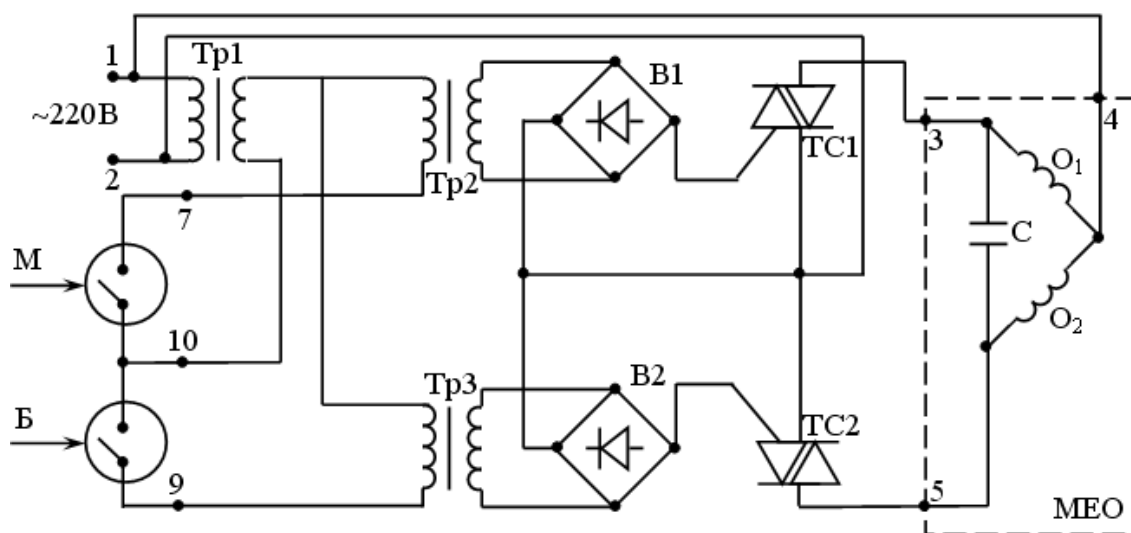


Рисунок 4.49 – Спрощена принципова електрична схема безконтактного реверсивного пускача

Замикання затискачів 7-10 спричиняє вмикання симистора *TC1* і відповідне спрацювання ВМ у напрямку “менше”, а замикання затискачів 9-10 – вмикання *TC2* і спрацювання виконавчого механізму в напрямку “більше”. Замикання вказаних затискачів може відбуватися вихідними ключами регульовальних блоків або кнопками ручного дистанційного керування. Трансформатор *TP1* розділяє керувальні та силові кола. Вимикання симисторів відбувається після зняття командного сигналу в момент переходу синусоїдного струму навантаження через нуль[3].

Спрощена принципова електрична схема контактної пускальної пристрою, що працює з трифазним двигуном виконавчого механізму наведена на рис.4.50. Реверс електродвигуна забезпечується зміною послідовності двох фаз, що комутуються за рахунок перемикавання контактів *K1.1*, *K1.2*, *K1.3* або *K2.1*, *K2.2*, *K2.3*. Вмикання відповідної групи контактів здійснюють реле

K1 або *K2*. У схемі передбачено гальмовий пристрій. Він являє собою електричний конденсатор, який вмикається через розмикальні контакти *K1.4* і *K2.4* до однієї з обмоток електродвигуна. При замиканні будь-якої групи силових контактів відповідний блок-контакт розімкнеться і конденсатор вимкнеться від електродвигуна. Після розмикання силових контактів і вимкнення силової напруги вихідний вал ВМ зупиняється не одразу, а протягом деякого часу продовжує рух за інерцією. При цьому обертовий ротор електродвигуна, взаємодіє із залишковим магнітним полем статора і наводить в його обмотках деяку генераторну е.р.с.

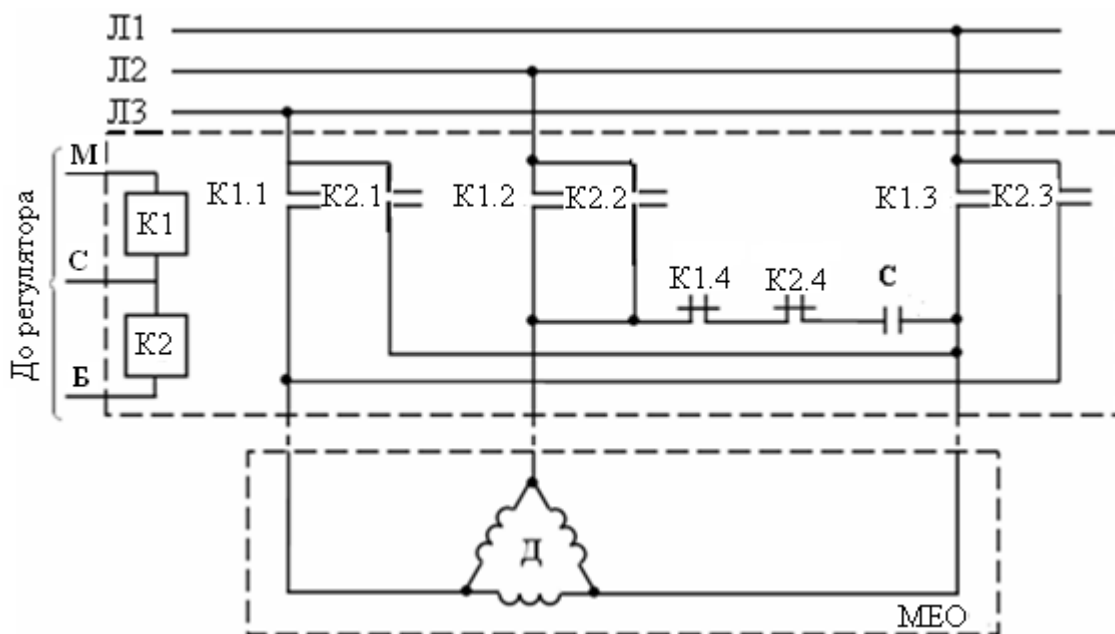


Рисунок 4.50 – Спрощена принципова електрична схема контактного пускального пристрою

Блок-контакти пускача вмикають до статорної обмотки електrolітичний конденсатор, в наслідок чого з'являється струм, який наводить в статорі особисте магнітне поле. Взаємодія цього поля з обертовим ротором створює протидієвий обертання гальмовий момент, що перешкоджає вибігу ВМ.

В схемі передбачено ефективне блокування від одночасного спрацьовування обох груп силових контактів.

Недоліком є наявність випадків залипання контактів пускача[3].

В сучасних локальних системах автоматичного регулювання частіше за все використовуються безконтактні реверсивні пускальні пристрої. Серед них ПБР-3М і ФЦ, що призначені для управління виконавчими механізмами з трифазними електродвигунами, ПБР-2М, який використовується для роботи з однофазними двигунами виконавчих механізмів, багатофункціональні реверсивні безконтактні пускачі серії Би СТАРТ-Р для управління трифазними й однофазними двигунами та ін.

4.3.1 Підсилювачі тиристорні трипозиційні серії ФЦ

Підсилювачі тиристорні трипозиційні ФЦ- 0610 (ФЦ- 0611), ФЦ- 0613, ФЦ-0620 (ФЦ-0621), ФЦ-0626, рис.4.51, призначені для безконтактного управління трифазними електродвигунами виконавчих механізмів відповідно до командних сигналів регулюючих і керувальних пристроїв.

Усі модифікації підсилювачів забезпечують пуск, зупинник і реверсування електродвигунів. Окрім того, ФЦ-0610/ФЦ-0611 і ФЦ-0613 мають додаткові функції:

- електричне гальмування електродвигуна;
- захист електродвигуна при перевантаженні і зникненні однієї з фаз мережі живлення;
- сигналізацію про відмови.

Як вхідний сигнал в підсилювачах, окрім ФЦ-0626, використовуються напруга 24В постійного струму або стан контактних/безконтактних ключів. Підсилювач ФЦ- 0626 керується тільки станом ключів (пасивним сигналом).

Основними складовими частинами підсилювачів ФЦ-0620/ФЦ-0621 є плата з елементами схем керування, корпус і кришка. На корпусі розташовано з'єднувач для підключення підсилювача до зовнішніх кіл і затискач заземлення. Підсилювач призначений для установлення в шафах управління на стелажах.

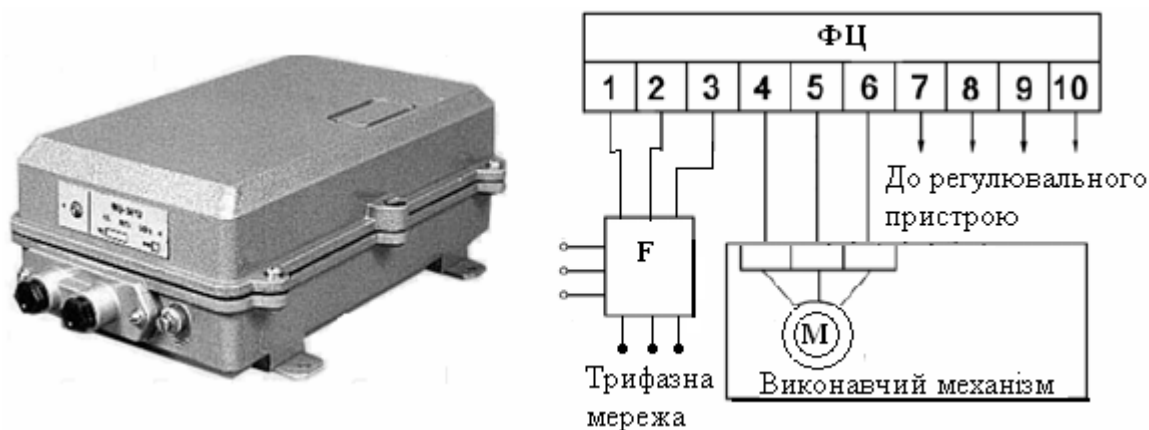


Рисунок 4.51 – Зовнішній вигляд і схема підключення підсилювачів серії ФЦ

Електричну принципову схему підсилювачів ФЦ-0620/ФЦ-0621 наведено на рис.4.52.

Резистори R1 і R2 визначають вхідний опір підсилювача при малому рівні сигналу. Резистор R3 обмежує кидок вхідного струму при подачі сигналу управління. Конденсатори C1 і C2 спільно з діодами V2 і V3 згладжують пульсацію сигналу управління.

Транзистор V8, резистори R4, R5 і випрямний міст V9 не допускають вмикання блоків-генераторів при подачі сигналу управління відразу на два входи. Конденсатор C3 створює затримку при реверсі. Стабілітрони V6 і V7 захищають транзистор V8 від пробоя при перевантаженні підсилювача по вхідному сигналу.

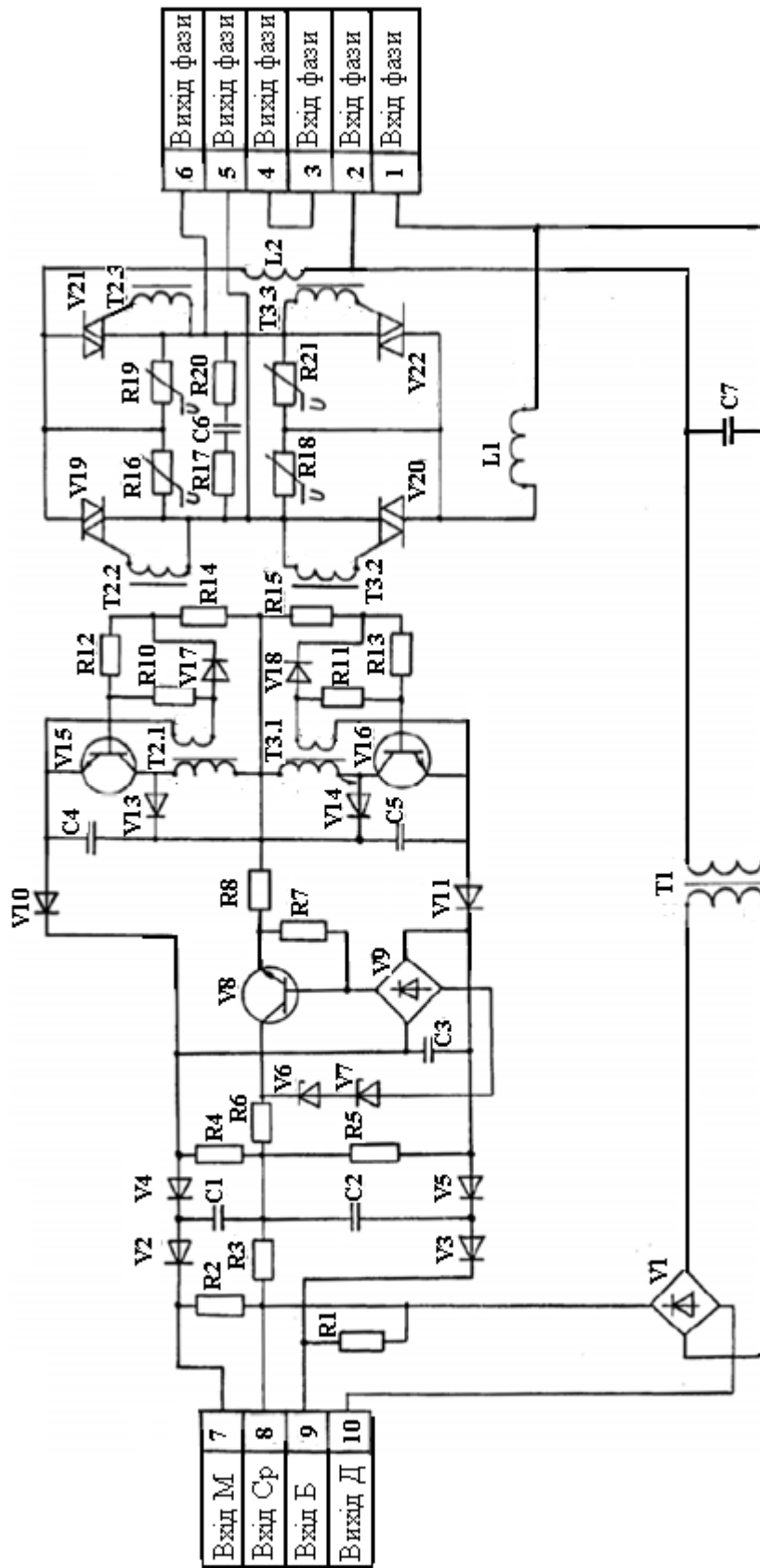


Рисунок 4.52 – Принципова електрична схема підсилювачів ФЦ-0620/ФЦ0621

Блокінг-генератори, що складаються з трансформаторів $T2$ і $T3$, транзисторів $V15$ і $V16$, діодів $V13$, $V14$, $V17$ і $V18$, конденсаторів $C4$, $C5$ і резисторів $R10...R15$ формують імпульси управління триаками (симісторами) $V19$, $V22$.

Силовa схема реалізована на базі триаків $V19$, $V22$, що комутують напругу живлення двигуна виконавчого механізму, конденсатора $C6$ і резисторів $R17$, $R20$, які покращують умови вмикання триаків при індуктивному навантаженні, дроселей $L1$, $L2$, що обмежують ударний струм при аварійних перевантаженнях триаків, а також варисторів $R16$, $R18$, $R19$, $R21$, які призначені для захисту триаків від перенапружень при перекомутації.

Вихід джерела живлення кола дистанційного керування, що складається з трансформатора $T1$ і випрямного моста $V1$ підключений до контактів 10 (-) "вихід Д" і 8 (+) "вхід Ср". При замиканні контактів 10 і 7 ("вхід М") або 10 і 9 ("вхід Б") вмикаються відповідні триаки $V19$, $V22$ або $V20$, $V21$.

Вхідний сигнал управління (постійна напруга 24В) залежно від напрямку переміщення вала виконавчого механізму подається на один з входів підсилювача. У початковому положенні підсилювача вхідний сигнал управління відсутній і триаки закриті. При подачі сигналу управління на контакти 7/9 відносно контакту 8 заряджаються конденсатори $C1/C2$ і $C3$.

Напруга конденсатора $C3$ поступає на вхід емітерного повторювача, реалізованого на транзисторі $V8$, через випрямний міст $V9$. Вихідна напруга емітерного повторювача подається на блокінг-генератор, який формує імпульси з частотою від 3 до 5кГц для управління триаками $V19$, $V22/V20$, $V21$. Мережна напруга живлення з контактів 1, 2 з'єднувача $X1$ подається на вихід підсилювача (контакти 5,6) через відкриті триаки $V19$, $V22/V20$, $V21$ [49].

4.3.2 Реверсивні пристрої плавного пуску, гальмування і захисту серії БиСТАРТ-Р

Реверсивні пристрої плавного пуску, гальмування і захисту БСТ-12Р/380-32, БСТ-12Р/380-33, БСТ-12РА/380-33 (для АЕС) серії БиСТАРТ-Р (Росія) - це багатофункціональні пускачі тиристорів з мікропроцесорним управлінням, що призначені для управління електричними виконавчими механізмами і приводами регульовальної, запірно-регульовальної і запірної арматури, які мають у своєму складі трифазні асинхронні або синхронні електродвигуни з напругою живлення $3 \times 380\text{В}$ або $3 \times 220\text{В}$, або однофазні конденсаторні електродвигуни з напругою живлення $1 \times 220\text{В}$. Діапазон потужностей електродвигунів, що підключаються, від 0.04 до 7.5 кВт. Пускачі БСТ-12Р/380-32 і БСТ-12Р/380-33



відрізняються один від одного кількістю дискретних виходів і функцією контролю датчика температури електродвигуна.

Основними функціями пускачів є:

- реверсивне управління по дискретних сигналах "Закричь", "Открычь";
- вбудоване джерело 24В 200 мА для живлення кіл управління і зовнішнього навантаження, яке ізольоване від дискретних входів;
- безударний або плавний пуск (для 3-фазних електродвигунів);
- безударне гальмування постійним струмом (для 3-фазних електродвигунів);
- інтелектуальний захист електродвигуна, механізму і самого пускача з сигналізацією і діагностикою несправностей;
- розширені функції керування за сигналами кінцевих і (чи) моментних вимикачів.

Пускач складається з радіатора, силової плати з тиристорами, плати процесора, плати входів-виходів, плати настроювання і індикації, а також кожуха з відкидною кришкою. На радіаторі закріплено 10 силових тиристорів, корпус датчика температури пускача і шпилька заземлення.

На силовій платі розташовуються тиристори, елементи вузла керування тиристорами з опторозв'язкою, елементи вузла вимірювання струму, елементи вузла синхронізації з мережею, елементи вузла вимірювання температури пускача і елементи вузла джерела живлення. Крім того, на силовій платі знаходяться клемні колодки для підключення зовнішніх кіл пускача і два мікроперемикачі для перемикання діапазону вимірювання струму.

На платі процесора розташовано мікроконтролер, який здійснює обмін сигналами з вузлами на силовій платі та на платі настроювання і індикації.

На платі входів-виходів розташовані елементи схеми опторозв'язки входів керування і вихідні оптореле.

На платі настроювання і індикації розташовані СD-індикатори, настроювальні резистори і два блоки мікроперемикачів, кнопка "СБРОС", а також рознім Х3.

На лицевій панелі пускача розташовані:

- СD-індикатори "ЗАКР", "ОТКР", "ГОТОВ" і "АВАРИЯ", що призначені для індикації режимів роботи пускача і для індикації значень параметрів у кодовому виді;

- ручки управління п'ятьох змінних резисторів і 16-ти мікроперемикачів, призначених для настроювання параметрів пускача при експлуатації. Органи настроювання закриваються поворотною кришкою.

- кнопка "СБРОС", призначена для скидання помилок і запису параметрів в ППЗУ, а також для вмикання додаткових режимів індикації;

- рознім Х3 призначений для підключення зовнішніх СD-індикаторів "ЗАКР", "ОТКР", "ГОТОВ" і "АВАРИЯ" і зовнішньої кнопки "СБРОС".

У нижній частині пускача розташовуються затискачі для підключення джерела живлення та кіл управління.

Функціональна схема пускача наведена на рис.4.53. Вбудоване джерело живлення =24В призначене для подачі напруги на дискретні входи пускача і для живлення зовнішніх кіл. Входи є двонаправленими, тому управління може здійснюватися подачею на входи позитивної (клема "+24") або негативної

(клемма "- 24") напруги. Джерело живлення =24В гальванічно ізольоване від мережної напруги і напруги внутрішніх кіл, а також стійке до короткого замикання в навантаженні.

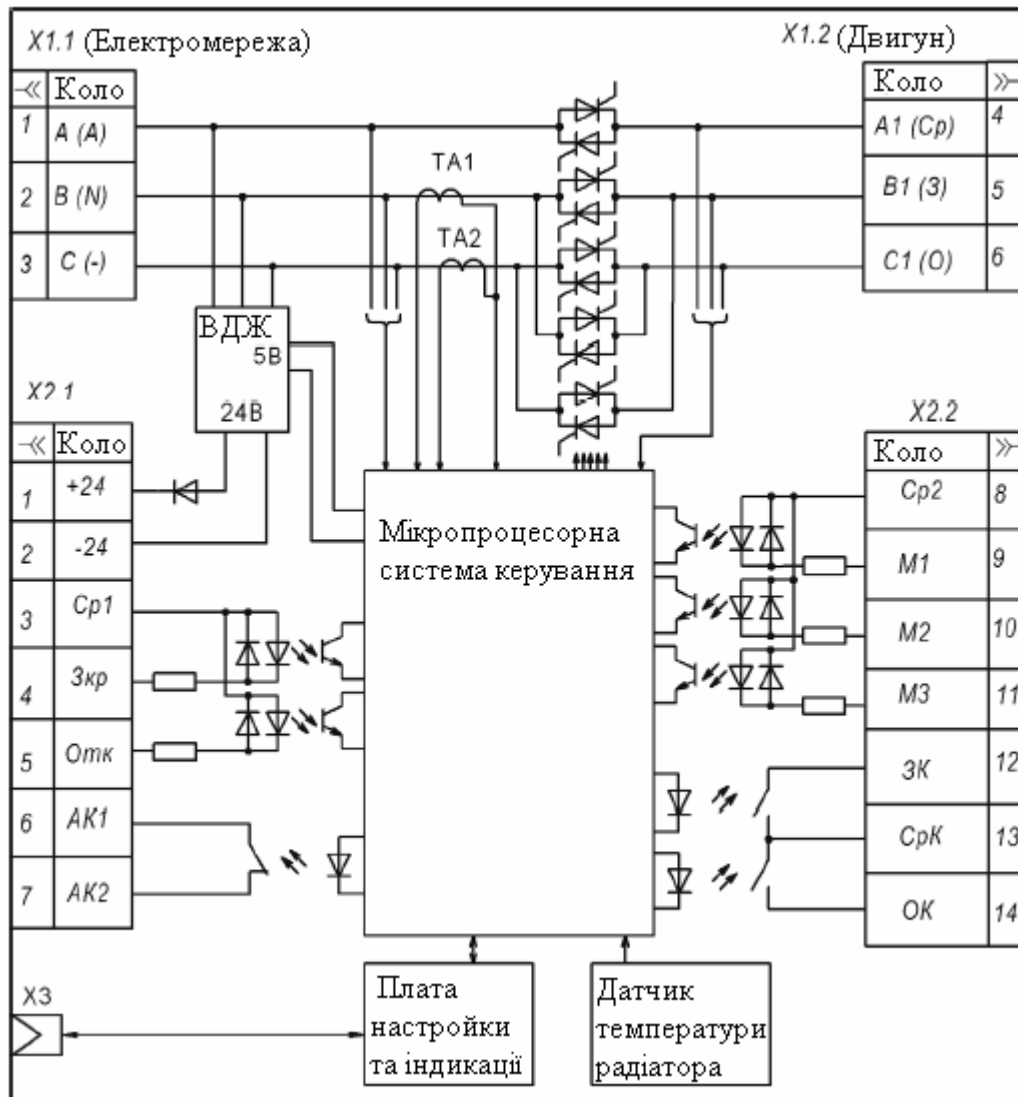


Рисунок 4.53 – Функціональна схема пускача БСТ-123/380-32

Пускач має 5 дискретних входів "Зкр", "Отк", "М1", "М2" і "М3", ізольованих від джерела живлення =24В. Керувальні входи "Зкр" і "Отк" призначені для подачі зовнішніх сигналів керування електродвигуном "Закриють" і "Откриють". Входи "Зкр" і "Отк" мають загальну точку "Ср 1".

При обертанні електродвигуна за напрямом "Закриють" або "Откриють" індикатори "ЗАКР" і "ОТКР" сигналізують про напрям обертання миганням з частотою 2Гц.

Додаткові багатофункціональні входи "М1", "М2" і "М3" із загальною точкою "Ср 2" за допомогою перемикачів можуть програмуватися на роботу пускача в одному з трьох режимів:

- режим управління без контролю КВ (кінцеві вимикачі);

- режим управління з контролем КВЗ (кінцевий вимикач на закриття);
- режим управління з контролем КВЗ і КВО (кінцеві вимикачі на закриття і відкриття).

У режимі управління з контролем КВЗ і КВО здійснюється управління виконавчим механізмом сигналами "Закричь" і "Открычь" з вимкненням електродвигуна в крайніх положеннях регулювального органа за сигналами "КВЗ" і "КВО" і індикацією положення.

Електрична схема приєднання регулювальних пристроїв до пускача БСТ-12Р/380-32 наведена на рис.4.54.

Пускачі сери БСТ мають переваги перед безконтактними пускачами ПБР, ФЦ і іншими аналогами. Вони більш надійніші і відмовостійкі за рахунок комутації усіх фаз електродвигуна (відсутність "чергової фази"), використанню якісних імпортних електронних компонентів, низького нагріву елементів (ефективний зовнішній радіатор, імпульсне джерело живлення з високим ККД), наявності самодіагностики – контроль температури пускача, контроль пробую тиристорів. Крім того, пускачі стійкі до мережних перешкод і електромагнітних впливів, мають менше навантаження на редуктор завдяки наявності функцій безударного плавного пуску і гальмування.

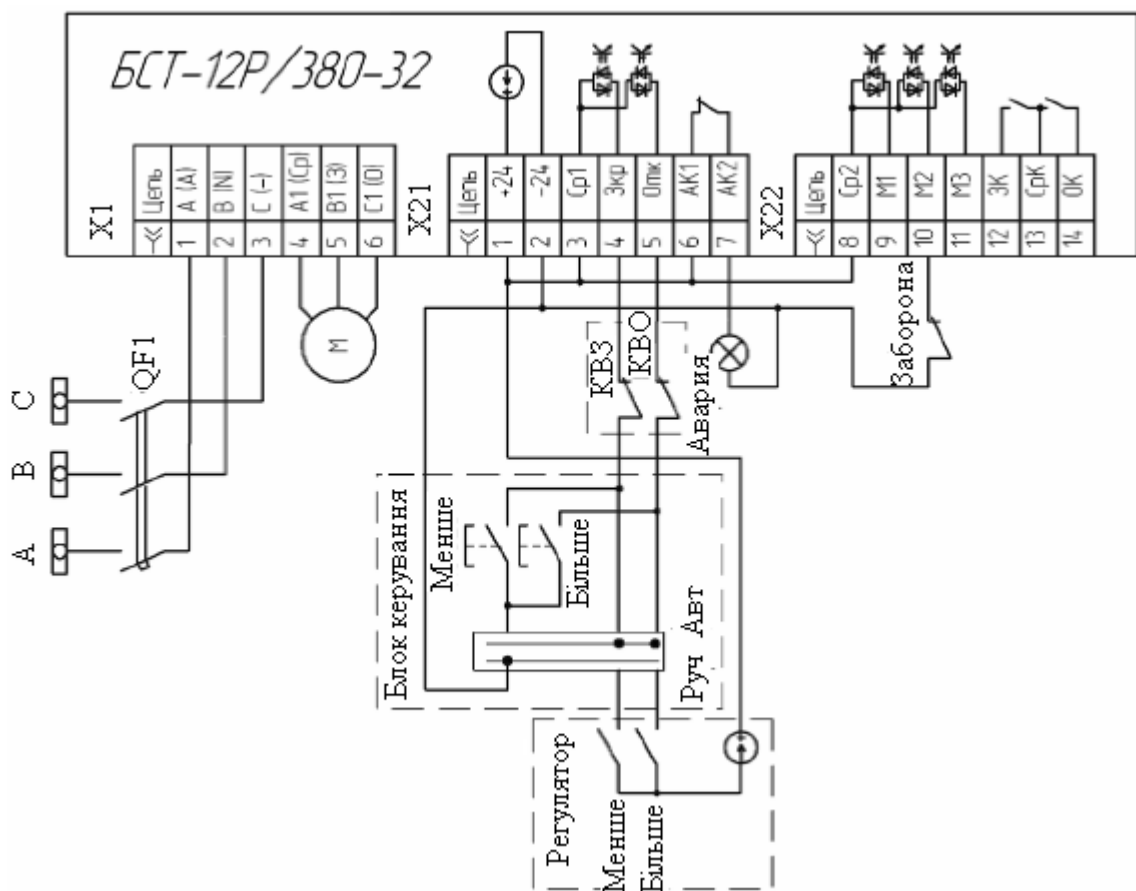


Рисунок 4.54 – Електрична схема приєднання регулювальних пристроїв до пускача БСТ-12Р/380-32

Пускачі забезпечують інтелектуальний захист електропривода і індикацію типу несправності, мають функції перегляду 8 останніх помилок з незалежної пам'яті і індикації струму навантаження електродвигуна.

До пускача можуть бути приєднані як трифазні, рис.4.55а, так і однофазні конденсаторні електродвигуни, рис.4.55б. Для настроювання типу електродвигуна використовується спеціальний мікроперемикач. Для однофазних двигунів не діють функції безударного і плавного пуску, а також функції електричного гальмування[50].

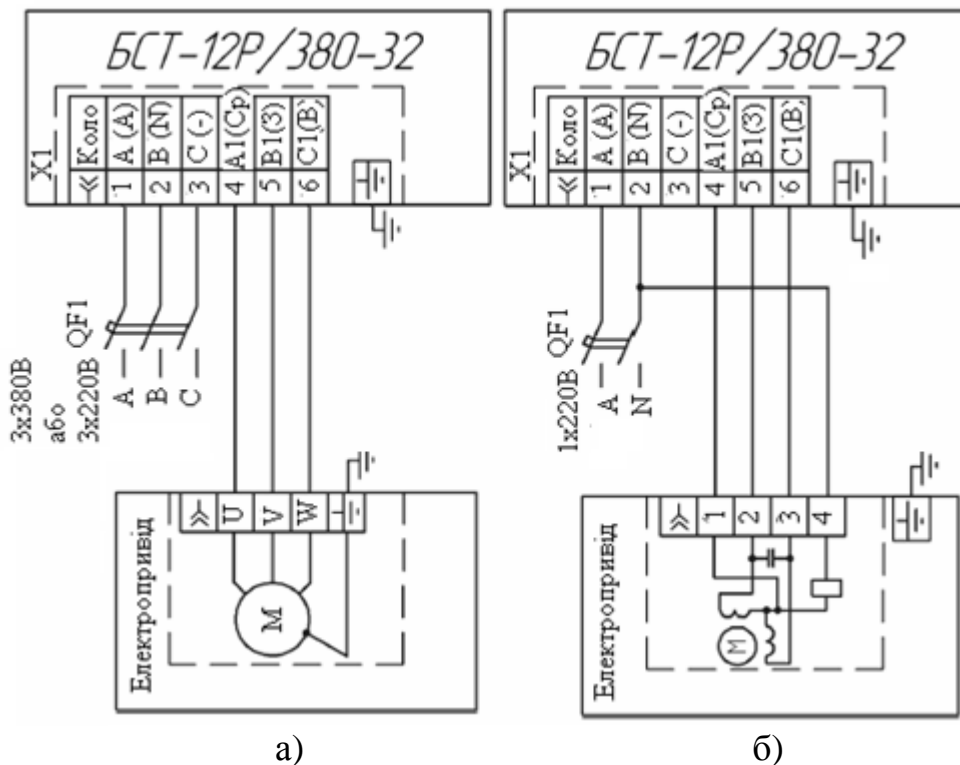


Рисунок 4.55– Приєднання пускача БСТ-12Р/380-32 до виконавчих механізмів з трифазним (а) і однофазним (б) електродвигуном

Контрольні запитання до розділу 4

1. Яке призначення мають виконавчі пристрої?
2. Яке відношення до виконавчих пристроїв мають виконавчий механізм і регулювальний орган?
3. Чим відрізняються дросельні регулювальні органи від дозуючих?
4. Як дросельні регулювальні органи поділяються за характером виконуваних функцій?
5. Що таке «трубопровідна арматура», для чого вона призначена та якою вона буває?
6. Якими параметрами характеризуються регулювальні органи?
7. Що таке «пропускна здатність»?
8. Чим рівновідсоткова пропускна характеристика відрізняється від лінійної?

9. Що у дросельному регулювальному органі визначається таким параметром, як «умовний прохід»?
10. Що таке клапани і як вони поділяються залежно від призначення та принципу роботи?
11. Який вигляд має типова конструкція прохідного запірно-регулювального клапана?
12. Які переваги і недоліки мають односідельний та двосідельний клапани?
13. Які бувають затвори у двосідельних клапанах і в чому особливість їх роботи?
14. Односідельний чи двосідельний клапан потребує більшого переставного зусилля для переміщення затвора і чому?
15. Для чого призначені зворотні клапани і, які вони бувають?
16. Яка будова мембранного клапана і, в яких випадках вони використовуються?
17. Яку назву і конструкцію мають клапани з поворотним рухом затвора?
18. В яких заслінках затвор має еліпсову форму?
19. Чим визначається момент, який повинен створювати виконавчий механізм при обертанні заслінки?
20. Які переваги мають повертальні заслінки відносно інших регулювальних органів?
21. Яку будову має засувка і, як вона працює?
22. Як засувки поділяються за формою запірного органа?
23. За рахунок чого засувка з пружним клином забезпечує ущільнення проходу в закритому стані?
24. Який вигляд має шиберна засувка і в чому особливість її роботи?
25. У чому різниця поміж висувною та невисувною засувками?
26. Які клапани використовуються для регулювання агресивних середовищ?
27. До якої групи регулювальних органів відносяться затвори типу «Батерфляй»?
28. Яку конструкцію мають крани і як вони поділяються?
29. Як здійснюється вибір форми пропускної характеристики регулювального органа?
30. Які основні етапи розрахунку регулювального органа?
31. Який принцип роботи електричних виконавчих механізмів?
32. Як електричні виконавчі механізми поділяються за принципом дії, за характером роботи та за характером переміщення вихідного елемента?
33. Які показники характеризують роботу виконавчих механізмів з електродвигунами?
34. На які групи за способом з'єднання з регулювальним органом поділяються електричні виконавчі механізми сталої швидкості?
35. Яка будова виконавчих механізмів сталої швидкості?
36. За рахунок чого у роботі виконавчого механізму сталої швидкості відбувається самогальмування?

37. Чим оснащуються виконавчі механізми, щоб надати можливість контролю за положенням вихідного вала?
38. Які відмінності мають «інтелектуальні виконавчі електроприводи»?
39. Які існують типи виконавчих механізмів сталої швидкості?
40. Чому виконавчі механізми сталої швидкості при роботі з імпульсними вхідними сигналами набувають властивості інтегральної ланки?
41. Який вигляд має електрична схема виконавчого механізму сталої швидкості?
42. Яке призначення блока сигналізації в конструкції виконавчого механізму сталої швидкості?
43. Який привід мають позиційні електричні виконавчі механізми?
44. На які групи поділяються електромагнітні виконавчі механізми за принципом дії соленоїдного приводу?
45. Як працюють пневматичні виконавчі механізми?
46. Чим мембранні пневматичні виконавчі механізми відрізняються від поршневих?
47. Яке призначення позиціонерів, що встановлюються на пневматичні виконавчі механізми?
48. У чому різниця між позиціонерами, що працюють за схемою компенсації переміщень, і за схемою компенсації сил?
49. Які елементи має будова поршневих виконавчих механізмів?
50. Як працюють електропневматичні перетворювачі?
51. Який принцип роботи електропневматичного регулювального перетворювача 6111?
52. З яких етапів складається розрахунок з'єднання виконавчого механізму з регулювальним органом?
53. Як будується безрозмірна статична характеристика з'єднання виконавчого механізму з регулювальним органом?
54. У чому суть графічного методу розрахунку з'єднання регулювального органа з виконавчим механізмом?
55. Як за допомогою зчленування виконавчого механізму та регулювального органа здійснюється покращення динамічних властивостей системи автоматичного регулювання?
56. Яке призначення пускальних підсилювачів?
57. Який вигляд має спрощена принципова електрична схема безконтактного реверсивного пускача?
58. У чому відмінність контактної пускальної пристрою від безконтактної?
59. Як працює конденсаторний гальмовий пристрій в контактних пускачах?
60. З якими електродвигунами виконавчих механізмів працюють тиристорні підсилювачі ФЦ- 0610?
61. Які функції мають реверсивні пристрої плавного пуску, гальмування і захисту БСТ-12Р/380-32?

5 ЗАСОБИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Засоби автоматичного регулювання або автоматичні регулятори одержують, підсилюють та перетворюють сигнал відхилення регульованої величини і цілеспрямовано впливають на об'єкт автоматизації, щоб забезпечити підтримку технологічного параметра на заданому рівні або зміну його величини за заданою програмою.

Автоматичні регулятори класифікуються залежно від призначення, принципу дії, конструктивних особливостей, виду використаної енергії тощо.

За видом регульованого параметру автоматичні регулятори поділяються на регулятори температури, тиску, витрати, рівня, складу речовин та ін.

За конструктивними ознаками автоматичні регулятори поділяються на апаратні, приладові, агрегатні та модульні (елементні).

Регулятори апаратного типу конструктивно являють собою технічний пристрій, що працює в комплекті з первинним вимірювальними перетворювачем.

Регулятори приладового типу працюють тільки в комплекті з вторинним вимірювальним приладом. Приладові регулятори не мають безпосереднього зв'язку з первинним вимірювальним перетворювачем. Сигнал про відхилення регульованої величини від заданого значення надходить на вхід приладового регулятора від вторинного вимірювального приладу. Для цього вимірювальний прилад має задавальний пристрій, на якому вручну встановлюється потрібне задане значення регульованої величини. Задане значення в приладі порівнюється з дійсним значенням регульованої величини, що визначається положенням рухливої вимірювальної системи приладу і їх різниця надходить на вхід регулятора. Таким чином, регулятори приладового типу вмикаються послідовно з вторинним вимірювальним приладом. Перевага цих регуляторів у тому, що не є потрібним ставлення додаткових первинних вимірювальних перетворювачів і прокладання ліній зв'язку від них до регуляторів.

Автоматичні регулятори, що побудовані за агрегатним (блоковим) принципом, складаються з окремих уніфікованих блоків, які виконують певні функції. Вхідні та вихідні сигнали цих блоків уніфіковані. Це дозволяє з блоків проектувати автоматичні регулятори різного функціонального призначення.

Автоматичні регулятори, що побудовані за модульним (елементним) принципом, складаються з окремих модулів (елементів), які виконують прості операції. Вхідні та вихідні сигнали модулів уніфіковані. Це дозволяє, як і у попередньому випадку, збирати автоматичні регулятори різного функціонального призначення.

Залежно від виду енергії, що використовується, регулятори непрямої дії поділяються на електричні, пневматичні, гідравлічні та комбіновані (електропневматичні, електрогідравлічні та ін.).

Електричні регулятори застосовуються для роботи на вибухонебезпечних об'єктах при великих відстанях від пункту керування до об'єкта регулювання. Вони є складною апаратурою і потребують високої кваліфікації персоналу.

Пневматичні регулятори застосовуються у вибухо-та пожежонебезпечних зонах при невеликих відстанях (до 400 м) від пункту керування до об'єкта регулювання. Вони прості в конструкції, обслуговуванні та налагоджуванні, вибухо- та пожежобезпечні.

Недоліки їх у тому, що потребують спеціальне джерело живлення, високі вимоги до очищення повітря від пилу, вологи, мастила та ін., велика інерційність елементів пневмоавтоматики та ліній зв'язку.

Гідравлічні регулятори застосовуються у вибухо- та пожежонебезпечних зонах, як правило, при безпосередньому розміщенні елементів регулятора в зоні об'єкта регулювання. Вони надійні в роботі, їх виконавчі механізми при невеликих розмірах розвивають великі переставні зусилля.

Недоліками є необхідність у спеціальному джерелі живлення регулятора робочою рідиною (мастилом), обмеженість радіуса дії, вимога повної герметизації всіх елементів, трудність реалізації складних законів регулювання.

Комбіновані регулятори застосовуються у випадках, коли необхідно використовувати окремі переваги електро-, пневмо- або гідрорегуляторів.

За характером зміни регульовального діяння регулятори поділяються на регулятори з лінійними та нелінійними законами регулювання. Лінійні автоматичні регулятори використовують пропорційний (П), інтегральний (І), пропорційно-інтегральний (ПІ), пропорційно-диференційний (ПД) та пропорційно-інтегрально-диференційний закони регулювання. Прикладом регуляторів з нелінійним законом регулювання є дво- та трипозиційні[36].

Після появи мікропроцесорів з'явився новий вид регуляторів, які працюють не з аналоговими сигналами (струмом, напругою), а з цифровими у двійковому коді. Вони отримали назву – цифрові регулятори. Завдяки мікропроцесорам можливості цих регуляторів суттєво розширилися і те, що неможливо було зробити за допомогою електронних схем в аналогових регуляторах, з'явилося в цифрових регуляторах за допомогою програмування. Цифрові регулятори почали витісняти аналогові і у теперішній час займають міцні позиції на ринку регульовальних пристроїв.

5.1 Типові закони регулювання

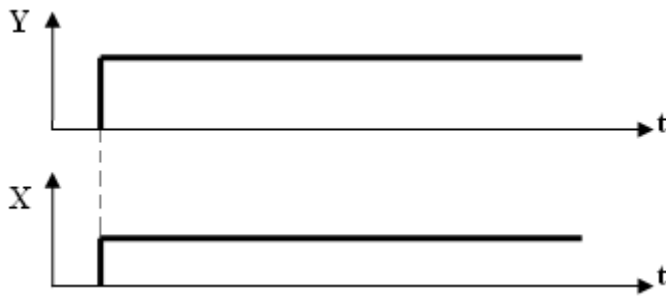
При проектуванні систем автоматичного регулювання найбільш часто використовують лінійні регулятори, які реалізують типові закони регулювання – пропорційний, інтегральний, пропорційно-інтегральний, пропорційно-диференційний та пропорційно-інтегрально-диференційний.

Пропорційний закон регулювання – це закон при якому вихідна величина регулятора у пропорційна вхідному сигналу x :

$$y = K_p x,$$

тут K_p – коефіцієнтом передачі, настройка П-регулятора.

Відповідно до наведеного рівняння, часова характеристика П-закону і його передавальна функція мають вигляд:



$$W(p) = K_p.$$

П-закон характеризується простою залежністю – чим більше розбаланс між поточним і заданим значенням регульованого параметра, тим більше регулювальний вплив. Проте у цьому законі є суттєвий недолік. Пропорційний регулятор не в змозі ліквідувати похибку регулювання. Для пояснення цього треба продиференціювати рівняння П-закону: $\frac{dy}{dt} = K_p \frac{dx}{dt}$

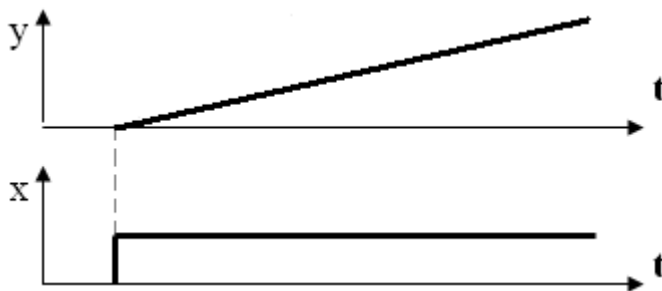
Звідси видно, що при заданому K_p , $\frac{dy}{dt} = 0$ (РО зупиниться) при $\frac{dx}{dt} = 0$. Тобто швидкість зміни керувального діяння дорівнює нулю, тільки тоді коли вхідний сигнал не змінюється. А це можливо не тільки при $X=0$, але й при $X=const$. Тобто при П-законі регулювання завжди є статична похибка.

Інтегральний закон регулювання – це закон, при якому вихідна величина регулятора пропорційна інтегралу відхилення регульованої величини:

$$y = \frac{1}{T_i} \int x dt.$$

Тут T_i – час інтегрування, настройка І-регулятора.

Часова характеристика і передавальна функція І-закону мають вигляд:



$$W(p) = \frac{1}{T_i p}$$

При реалізації інтегрального закону перехідний процес не має статичної похибки. Якщо

продиференціювати рівняння І-закону: $\frac{dy}{dt} = \frac{1}{T_i} X$, то можна зробити

висновок, що при певній настройці регулятора T_i , $\frac{dy}{dt} = 0$ (РО зупиниться) тільки тоді, коли $X=0$.

Таким чином, І-закон дозволяє підвищити точність роботи системи автоматичного регулювання (САР) в ustalених режимах, оскільки в цьому

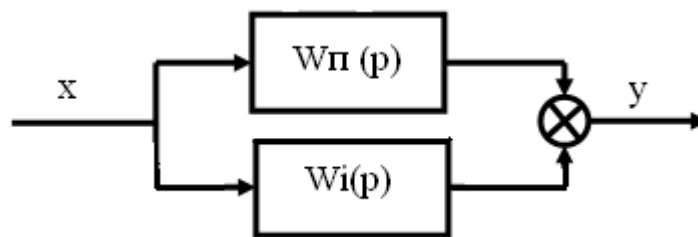
випадку відсутня статична похибка. Проте застосування САР з І-регулятором обмежено, оскільки динамічні властивості процесу регулювання гірші, ніж при П-законі. При П-законі регулятор негайно реагує на зміну вхідного сигналу, а при І-законі вихідна величина змінюється повільно, відповідно до рівняння:

$$y = \frac{1}{T_i} \int x dt = \frac{1}{T_i} \cdot x \cdot t$$

З цього рівняння видно, що в нульовий момент часу вихідна величина дорівнює нулю (при $t=0, y=0$) і, щоб регулювальний орган зробив переміщення для компенсації збурення, потрібен деякий час. Тобто, процес регулювання відстає від процесу появи та вимірювання похибки, що призводить до слабо загасаючих коливань регульованої величини.

Пропорційно-інтегральний закон регулювання характеризується тим, що при ньому вихідна величина регулятора пропорційна відхиленню вхідної та інтегралу відхилення регульованої вхідної величини.

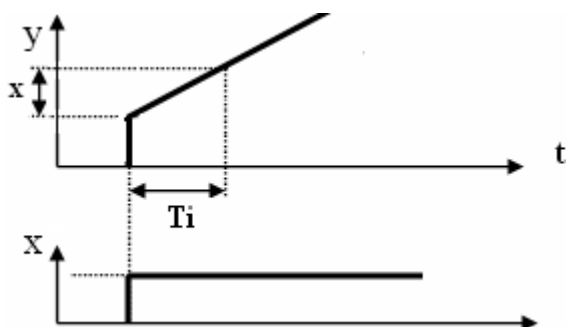
Структурна схема регулятора, що реалізує ПІ-закон, складається з двох паралельно сполучених ланок – пропорційної та інтегральної:



Відповідно до цієї схеми $y = K_p x + \frac{1}{T_i} \int x dt$.

Тут K_p і T_i – настройки регулятора.

На основі диференціального рівняння часова характеристика і передавальна функція ПІ-регулятора мають вигляд:



$$W(p) = K_p + \frac{1}{T_i p}$$

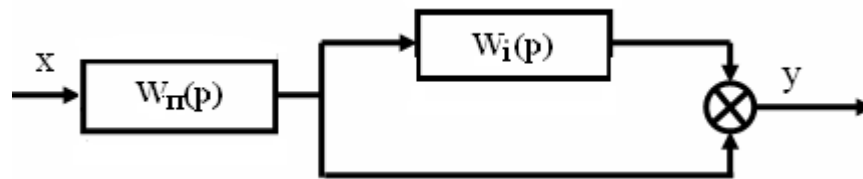
Розв'язуючі диференціальне рівняння ПІ-регулятора при $x=const$, отримаємо:

$$y = K_p x + \frac{1}{T_i} x t = [\text{коли } t = T_i] = K_p x + x$$

Звідси видно, що час інтегрування T_i – це час, за який вихідна величина регулятора під впливом інтегральної складової досягне значення рівного вхідної x . При зміні K_p швидкість зростання вихідної величини під впливом

інтегральної складової не змінюється, тому що настройки регулятора не залежать одна від однієї.

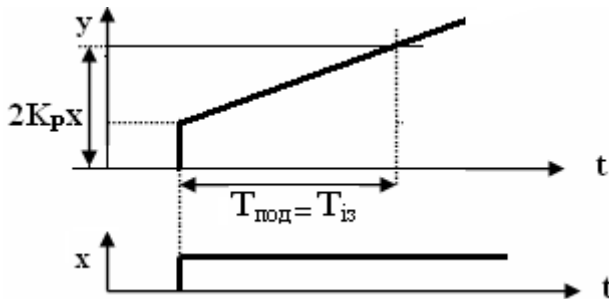
На практиці поширене застосування регуляторів зі структурною схемою ІІІ-закону у вигляді:



Диференціальне рівняння такого регулятора має вид:

$$y = K_p \left(x + \frac{1}{T_{iz}} \int x dt \right),$$

а часова характеристика і передавальна функція – відповідно:



$$W(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_{iz} p} \right),$$

тут T_{iz} – час ізодрома, настройка І-складової ІІІ-регулятора; $T_{под}$ – час подвоєння.

Після розв'язання рівняння ІІІ-регулятора, з урахуванням того, що $x = const$:

$$y = K_p x + \frac{K_p}{T_{iz}} x t = \left[\text{коли } t = T_{iz} \right] = 2K_p x$$

Тобто час ізодрома T_{iz} – це час, за який вихідний сигнал пропорційної частини ІІІ-регулятора, подвоюється під впливом інтегральної складової. У випадку зміни K_p на виході регулятора пропорційно змінюється швидкість зростання вихідного сигналу інтегральної складової, тому що настройка T_{iz} залежить від K_p .

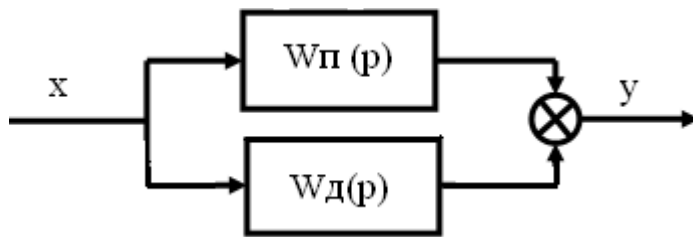
Пропорційно-диференціальний закон регулювання забезпечує зміну вихідного сигналу регулятора пропорційно відхиленню регульованої величини та швидкості її відхилення.

Тобто

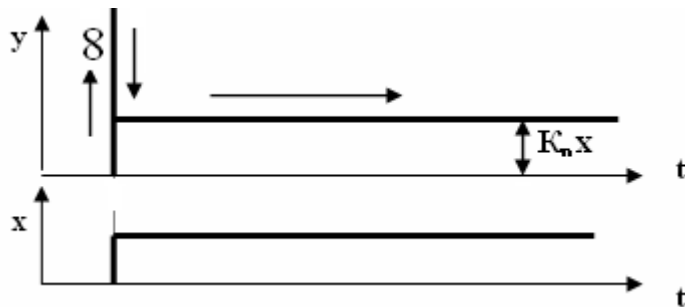
$$y = K_p x + T_d \frac{dx}{dt},$$

де T_d – час диференціювання, настройка Д-складової.

ПД-регулятор структурно являє собою паралельне з'єднання пропорційної та диференціальної ланок:



Його часова характеристика та передавальна функція мають вигляд:



$$W(p) = K_p + T_d p$$

Як видно з рівняння, настройки ПД-регулятора не залежать одна від одної. ПД-регулятори, як і ПІ-регулятори можуть мати структурну схему зі спільним K_p для обох ланок. У цьому

випадку диференціальне рівняння записується, як $y = K_p(x + T_{ен} \frac{dx}{dt})$, а передавальна функція – $W(p) = K_p(1 + T_{ен}p)$,

Тут $T_{ен}$ – час випередження, настройка Д-складової при залежних настройках регулятора.

Д-складова суттєво підвищує ефект дії регулятора. Справа в тому, що при надходженні збурення, відхилення регульованої величини від завдання зростає поступово, у зв'язку з інерційністю об'єкта. Тому при диференціюванні цього відхилення воно набуває значення і за абсолютною величиною і за тривалістю.

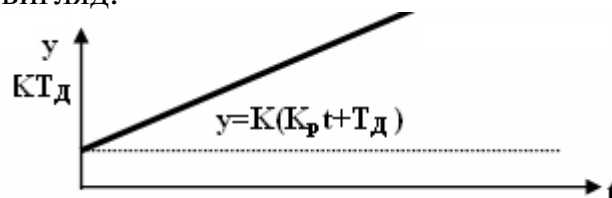
Якщо, наприклад, відхилення від завдання відбувається поступово $X = Kt$, то диференціальна складова ПД-закону одразу набирає значення:

$$Y = KT_d \text{ для регулятора, що працює за законом } y = K_p x + T_d \frac{dx}{dt},$$

$$\text{або } Y = KK_p T_{ен} \text{ для регулятора, що працює за законом } y = K_p(x + T_{ен} \frac{dx}{dt}).$$

А пропорційна складова наростає повільно за лінійним законом $Y = KK_p t$.

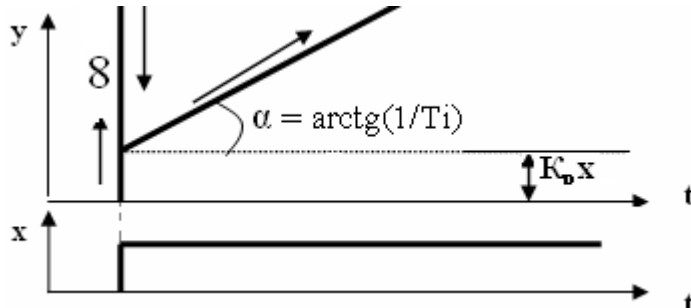
Тоді перехідний процес ПД-регулятора при надходженні на його вхід сигналу $X = K t$ отримає вигляд:



Регулятори, що працюють за пропорційно-інтегрально-диференціальним законом формують вихідний сигнал пропорційно відхиленню регульованої величини, інтегралу цього відхилення та швидкості зміни регульованої величини:

$$y = K_p x + \frac{1}{T_i} \int x dt + T_d \frac{dx}{dt}$$

ПД-регулятор – це три паралельно з'єднані ланки – П, І та Д. Його часова характеристика та передавальна функція мають вигляд:



$$W(p) = K_p + \frac{1}{T_i p} + T_d p.$$

Параметрами настройки є коефіцієнт передачі K_p , час інтегрування T_i і час диференціювання T_d .

ПД-закон регулювання зі спільним коефіцієнтом підсилювання описується наступними рівняннями:

$$y = K_p \left(x + \frac{1}{T_{iz}} \int x dt + T_{en} \frac{dx}{dt} \right), \quad W(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_{iz} p} + T_{en} p \right)$$

Параметрами настройки є коефіцієнт передачі K_p , час ізодрому T_{iz} і час випередження T_{en} , причому $T_{iz} = T_i / K_p$; $T_{en} = T_d \cdot K_p$.

Цей регулятор за можливостями настройки є більш універсальним порівняно з іншими регуляторами. За його допомогою можна здійснити будь-які закони регулювання[36,51].

5.2 Принципи формування алгоритмів керування промисловими аналоговими регуляторами

При створенні реальних автоматичних регуляторів не завжди точно вдається забезпечити той чи інший бажаний закон регулювання. Це пояснюється інерційністю виконавчого механізму, а при реалізації диференціального закону регулювання – неможливістю практичної реалізації ідеальної Д-ланки. У зв'язку з цим важливо визначити ступінь похибки у формуванні законів регулювання промисловими регуляторами.

Розглянемо загальний принцип будови бажаної структури автоматичних регуляторів. При охопленні будь-якої ділянки схеми з передавальною функцією $W_{dc}(p)$ негативним зворотним зв'язком $W_{зз}(p)$, передавальна функція такої структури має вид:

$$W(p) = \frac{W_{dc}(p)}{1 + W_{dc}(p) \cdot W_{зз}(p)} = \frac{1}{\frac{1}{W_{dc}(p)} + W_{зз}(p)}$$

Якщо в цьому рівнянні забезпечити нерівність $W_{зз}(p) \gg 1/W_{dc}(p)$, то вираз суттєво спроститься: $W(p) = 1/(W_{зз}(p))$.

Ця обставина дає важливий практичний результат – динамічні властивості схеми, або ділянки схеми, яка охоплена зворотним зв'язком, не

залежать від динамічних властивостей елементів прямої ділянки, а визначаються тільки динамічними властивостями умовної ланки з передавальною функцією, що дорівнює зворотній передавальній функції каналу зворотного зв'язку.

Ця ідея широко використовується на практиці при розробці структурних схем автоматичних регуляторів, а також для поліпшення динамічних властивостей систем автоматизації, ліквідації негативного впливу на динамічні властивості САР тих чи інших її ланок та елементів[36].

5.2.1 Пропорційні регулятори

Реальний аналоговий промисловий регулятор має підсилювальну ланку з передавальною функцією $W_n(p)=K_n$ і виконавчий пристрій, наприклад, електричний виконавчий механізм з передавальною функцією $W_{ем}(p)=1/T_{ем}p$. Електричний ВМ є інтегральною ланкою, тому для отримання П-закону, відповідно до загального принципу будови бажаної структури автоматичних регуляторів, його необхідно охопити негативним зворотним зв'язком. Для підвищення коефіцієнта передачі прямого каналу слід охопити цим же негативним зворотним зв'язком ще і підсилювальну ланку регулятора.

Оскільки бажаною структурою є автоматичний регулятор, що реалізує П-закон, то потрібну передавальну функцію каналу зворотного зв'язку, за умови, що $W_{зз}(p)=1/W_{\partial c}(p)$, де $W_{\partial c}(p)=W_n(p)W_{ем}(p)$, можна знайти, якщо разом розв'язувати рівняння $W(p)=1/W_{зз}(p)$ і передавальну функцію П-регулятора $W(p)=K_p$. Тоді

$$K_p=1/W_{зз}(p).$$

Звідси $W_{зз}(p)=1/K_p=K_{зз}$

Таким чином, канал зворотного зв'язку повинен мати підсилювальну ланку з коефіцієнтом передачі $K_{зз}=1/K_p$, тобто рівним оберненому значенню коефіцієнта передачі П-регулятора.

У зв'язку з цим структурна схема реального П-регулятора має вид, що наведено на рис.5.1а.

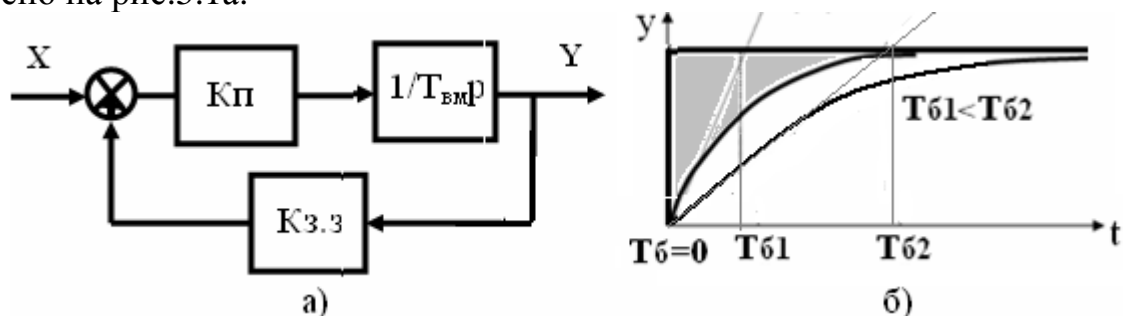


Рисунок 5.1 – Структурна схема П-регулятора (а) і його перехідна характеристика

А його передавальна функція дорівнює:

$$W_p(p) = \frac{K_n / (T_{ем} \cdot p)}{1 + K_n \cdot K_{зз} / (T_{ем} p)} = \frac{1}{K_{зз}} \cdot \frac{1}{(T_{ем} \cdot p / K_n \cdot K_{зз} + 1)} = W_n(p) \cdot W_{\delta}(p)$$

Таким чином, реальний П-регулятор з наведеною структурною схемою являє собою послідовне з'єднання П-регулятора з передавальною функцією $W_n(p) = K_p = 1/K_{з.з.}$ і деякої баластної ланки з передавальною функцією:

$$W_{\delta}(p) = 1/(T_{\delta}(p) + 1), \quad \text{де} \quad T_{\delta} = \frac{T_{\text{вм}}}{K_n \cdot K_{зз}}$$

Перехідну характеристику реального П-регулятора наведено на рис.5.1б. З графіка видно, чим менше T_{δ} тим більше властивості реального П-регулятора наближаються до ідеального.

Параметром настройки регулятора є коефіцієнт передачі $K_{зз}$ пристрою зворотного зв'язку. Чим менше (більше) $K_{зз}$, тим більше (менше) коефіцієнт K_p передачі регулятора.

Одночасно необхідно зважати на те, що чим більше K_p , тим більше стала часу баластної ланки і тим більше перекручується ідеальний закон П-регулювання.

Для зменшення впливу баластної ланки треба збільшувати коефіцієнт підсилення K_n до максимально можливого значення[36].

5.2.2 Пропорційно-інтегральні регулятори

Ідеальний ПІ-регулятор має передавальну функцію виду:

$$W_{PI}(p) = K_p + \frac{1}{T_i \cdot p} \quad \text{або} \quad W_{PI}(p) = \frac{K_p(T_{I3} \cdot p + 1)}{T_{I3} \cdot p}$$

При роботі регулятора разом з виконавчим механізмом, $W_{\text{вм}}(p) = 1/T_{\text{вм}}p$, структурна схема реального регулятора може розроблятися в декількох варіантах.

За структурною схемою, що наведена на рис.5.2.а, створення ПІ-регулятора здійснюється за допомогою підсилювачів, що реалізують ПІ-закон. Для зменшення впливу роботи виконавчого механізму на закон регулювання його, за аналогією з П-регулятором, охоплюють негативним зворотним зв'язком, у колі якого знаходиться ланка з передавальною функцією $W_{зз}(p) = K_{зз}$.

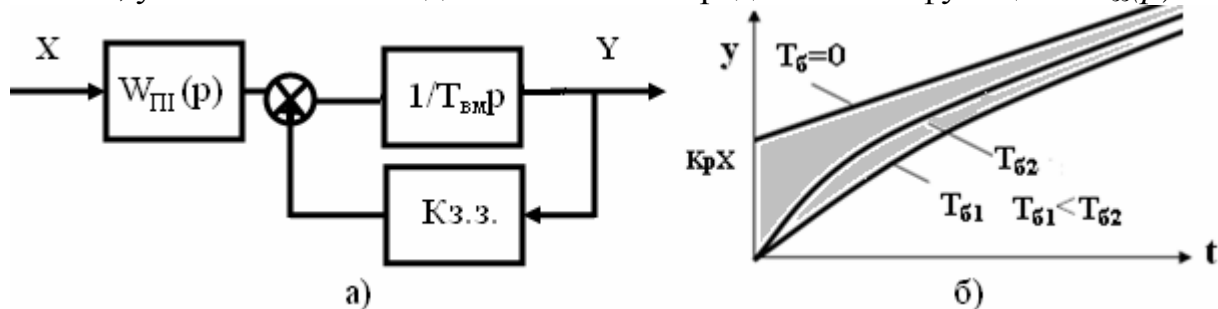


Рисунок 5.2 – Структурна схема ПІ-регулятора і його перехідна характеристика

Тоді передавальна функція реального ПІ-регулятора має вигляд:

$$W_P(p) = W_{PI}(p) \frac{1/(T_{\text{вм}} \cdot p)}{1 + K_{зз}/(T_{\text{вм}} \cdot p)} = W_{PI}(p) \frac{1}{T_{\text{вм}} \cdot p + K_{зз}}$$

або

$$W_P(p) = \frac{1}{K_{33}} W_{III}(p) \frac{1}{T_{\delta} \cdot p + 1} = \frac{K_p}{K_{33}} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3} \cdot p} \right) \frac{1}{T_{\delta} \cdot p + 1}.$$

Таким чином, реальний ІІІ-регулятор зі структурною схемою, що на рис.5.2а, реалізує ІІІ-закон з похибкою, яка визначається баластною аперіодичною ланкою.

Стала часу баластної ланки $T_{\delta} = T_{\delta M} / K_{33}$, тобто, чим більше K_{33} тим менше T_{δ} і тим менше похибка реалізації ІІІ-закону.

Проте необхідно мати на увазі, що зі збільшенням K_{33} зменшується коефіцієнт передачі ІІІ-регулятора, який дорівнює K_p / K_{33} . Для збереження потрібного значення коефіцієнта передачі регулятора одночасно зі збільшенням K_{33} необхідно пропорційно збільшувати K_p .

Як видно з перехідної характеристики ІІІ-регулятора, рис.5.2б, чим менше стала часу T_{δ} баластної ланки, тим менше похибка реалізації ІІІ-закону. При $T_{\delta} = 0$ похибка дорівнює нулю.

На рис.5.3 наведено структурну схему, відповідно до якої ІІІ-регулятор реалізується за рахунок динамічних властивостей каналів зворотного зв'язку, що охоплюють підсилювач регулятора та виконавчий механізм.

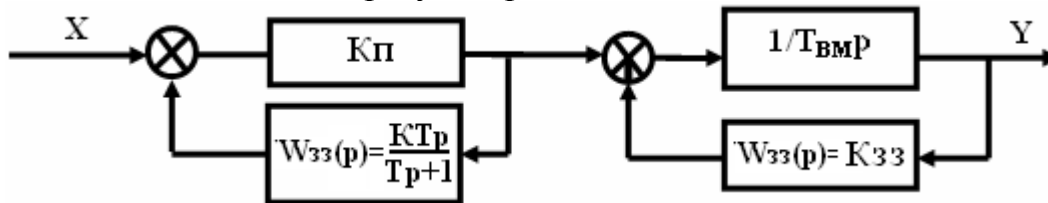


Рисунок 5.3 – Структурна схема регулятора, який реалізує ІІІ-закон за рахунок динамічних властивостей каналів зворотного зв'язку

При дотримуванні обома каналами зворотного зв'язку умови $W_{33}(p) \gg W_{\delta c}(p)$, за якою $W(p) \approx \frac{1}{W_{33}(p)}$, необхідна передавальна функція каналу зворотного

зв'язку може бути знайдена з виразу: $W_{III}(p) = \frac{1}{W_{33}(p)} \cdot \frac{1}{K_{33}}$.

Тут K_{33} , як і у попередніх структурних схемах забезпечує відповідному контуру пропорційні властивості. Тоді

$$W_{33}(p) = \frac{1}{W_{III}(p)} \cdot \frac{1}{K_{33}} = \frac{1}{K_{33}} \cdot \frac{T_{I3} \cdot p}{K_p (T_{I3} \cdot p + 1)} = \frac{K \cdot T \cdot p}{T \cdot p + 1},$$

де $K = 1 / K_p K_{33}$, $T = T_{I3}$.

Таким чином, для того, щоб структурна схема, що на рис.5.3 реалізувала ІІІ-регулятор необхідно в каналі зворотного зв'язку, що охоплює підсилювач регулятора, використати реальну диференціальну ланку.

На рис 5.4 показана структурна схема ІІІ-регулятора, який реалізується за

рахунок динамічних властивостей каналу зворотного зв'язку, що охоплює як підсилювальну, так і виконавчу частину регулятора.

Необхідна передавальна функція зворотного зв'язку в цьому випадку також, як і для схеми на рис.5.3., визначається виразом :

$$W_{33}(p) = \frac{K \cdot T \cdot p}{Tp + 1}, \quad \text{але при } K=1/K_p.$$

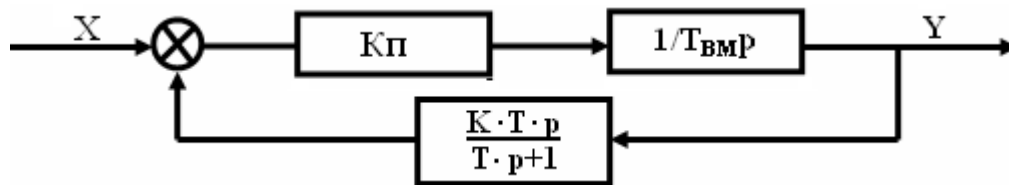


Рисунок 5.4 – Структурна схема ПІ-регулятора

На рис.5.5 наведено структурну схему регулятора, що має принципову відмінність від попередніх схем. Відповідно до цієї схеми динамічні властивості інтегрального виконавчого механізму використовуються для формування ПІ-закону.

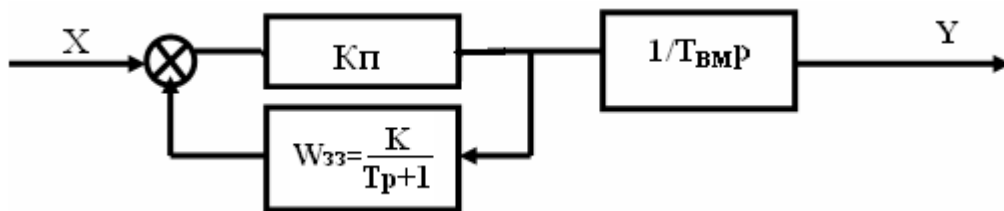


Рисунок 5.5 – Структурна схема регулятора, в якій властивості виконавчого механізму використовуються для формування ПІ-закону.

Користуючись загальним принципом будови бажаної структури автоматичних регуляторів, необхідну передавальну функцію каналу зворотного зв'язку, за умови $W_{33}(p) \gg 1/W_{\partial c}(p)$, можна знайти з виразу:

$$W_{III}(p) = \frac{1}{W_{33}(p)} \cdot \frac{1}{T_{\text{вм}} p}$$

Якщо передавальна функція регулятора $W_{III}(p) = \frac{K_p(T_{I3} \cdot p + 1)}{T_{I3} p}$, тоді

$$W_{33}(p) = \frac{1}{W_{III}(p)} \cdot \frac{1}{T_{\text{вм}} p} = \frac{T_{I3} \cdot p}{K_p(T_{I3} \cdot p + 1)} \cdot \frac{1}{T_{\text{вм}} \cdot p},$$

або
$$W_{33}(p) = \frac{K}{Tp + 1}, \quad \text{де } K = \frac{T_{I3}}{K_p \cdot T_{\text{вм}}}, \quad T = T_{I3}.$$

Таким чином, для забезпечення ПІ-закону регулювання в структурній схемі, що на рис.5.5, як зворотний зв'язок застосовують аперіодичну ланку.

Тоді передавальні функції реальних регуляторів за структурними схемами, що на рис.5.3–5.5, а отже і передавальні функції баластних ланок, які

є у ПІ-регуляторі, можуть бути визначені за аналогією зі структурною схемою, що на рис.5.2.

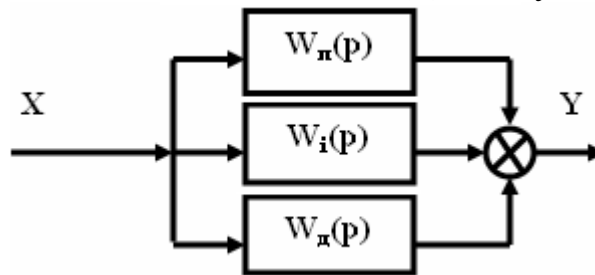
Оскільки виконавчі механізми регуляторів при монтажі САР розташовуються безпосередньо біля об'єкта регулювання, а апаратна частина регулятора розміщується, як правило, в пункті керування об'єктом, то при виборі структурної схеми регулятора при інших рівних умовах слід мати на увазі, що схема на рис.5.5 потребує менших витрат кабельно-провідникових матеріалів та труб.

Необхідно визначити, що баластна ланка у вигляді аперіодичної, як в ПІ-регуляторі, так і в П-регуляторі, часто позитивно впливає на процес регулювання. При короткочасних відхиленнях регульованої величини, завдяки демпфіруванню баластної ланки, виконавчий механізм автоматичної системи з таким регулятором не спрацьовує, що підвищує термін його роботи.

Враховуючи це, у сучасних регуляторах передбачаються спеціальні демпфірувальні пристрої вхідного сигналу[36].

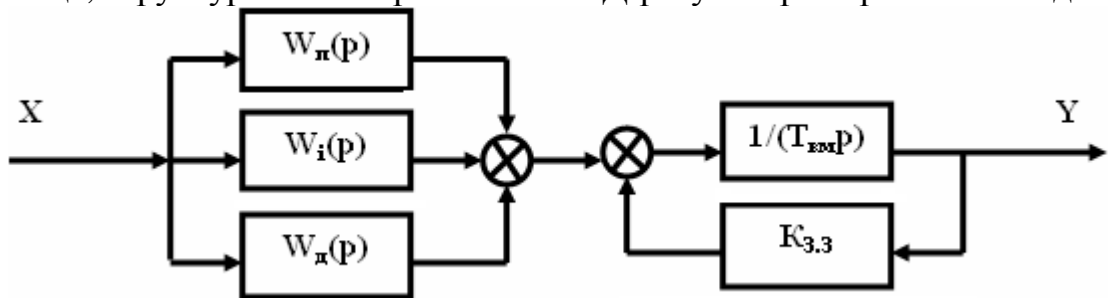
5.2.3 Пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори

Пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори можуть бути побудовані за структурною схемою ідеального ПІД-закону:



Оскільки фактична реалізація ідеальної диференціальної ланки у загальному випадку не можлива, то в практичних схемах використовується реальна диференціальна ланка з передавальною функцією $W_d(p) = \frac{K_d T_d \cdot p}{T_d p + 1}$.

Для зменшення впливу роботи виконавчого механізму на формування ПІД-закону, його, як і у випадку з ПІ-регулятором, необхідно охопити негативним зворотним зв'язком з передавальною функцією $W_{зз}(p) = K_{зз}$. Враховуючи це, структурна схема реального ПІД-регулятора отримає вигляд:



А його передавальна функція дорівнює:

$$W_p(p) = \frac{1}{K_{33}} \left(K_P + \frac{1}{T_i \cdot p} + \frac{K_\delta \cdot T_\delta \cdot p}{T_\delta p + 1} \right) \frac{1}{(T_{\text{вм}} / K_{33})p + 1}$$

або
$$W_p(p) = \left(K_P + \frac{1}{T_i \cdot p} + T_\delta \cdot p \cdot W_{\delta\delta}(p) \right) \cdot W_\delta(p),$$

де $W_{\delta\delta}(p) = \frac{K_\delta}{T_\delta \cdot p + 1}; W_\delta(p) = \frac{K_\delta}{T_\delta \cdot p + 1}; K_\delta = 1/K_{33}; T_\delta = T_{\text{вм}}/K_{33}.$

З передавальної функції видно, що регулятор реалізує ПІД-закон з похибкою, яка визначається передавальною функцією баластної ланки $W_\delta(p)$ і, крім того, Д-складова закону регулювання реалізується з додатковою похибкою, що визначається передавальною функцією $W_{\delta\delta}(p)$ іншої баластної

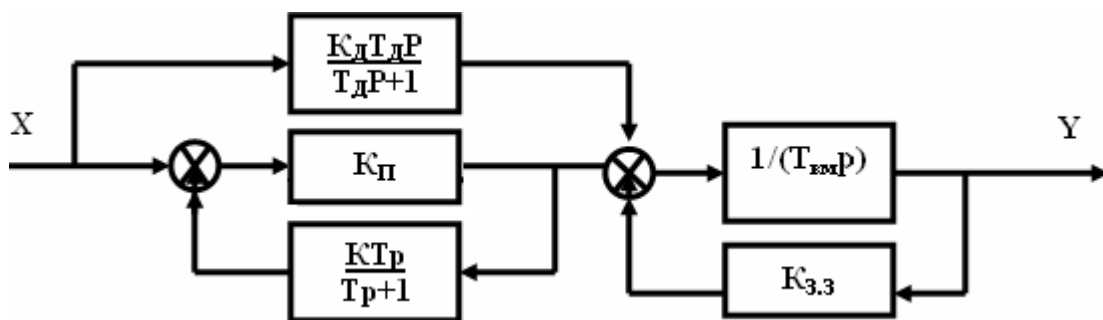
ланки. При дотримуванні умови $W_{33}(p) \gg \frac{1}{W_{\delta\delta}(p)}$ одержану передавальну

функцію можна записати у вигляді $W_p(p) = \left(K_P + \frac{1}{T_i \cdot p} + \frac{K_\delta \cdot T_\delta \cdot p}{T_\delta p + 1} \right).$

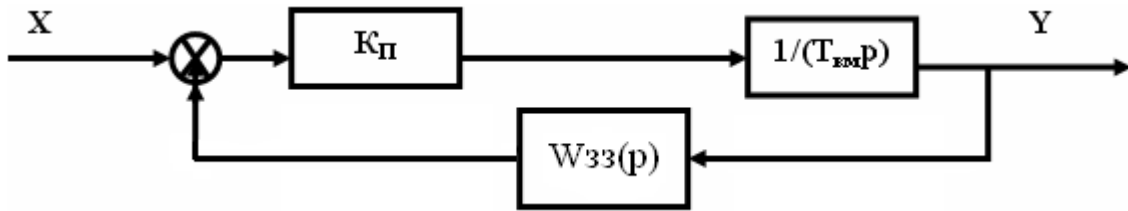
Параметрами настройки ПІД-регулятора є K_P, T_i, K_δ і $T_\delta.$

Якщо порівняти схему реального ПІД-регулятора зі структурною схемою ПІ-регулятора на рис.5.2,а, то можна побачити, що для отримання реального ПІД-регулятора, необхідно до схеми ПІ-регулятора паралельно підключити диференціальну ланку з передавальною функцією $W_\delta(p) = \frac{K_\delta T_\delta \cdot p}{T_\delta p + 1}.$

Прикладом такого підходу до створення ПІД-регулятора є також наступна структурна схема, якщо порівняти її зі структурною схемою ПІ-регулятора, що на рис.5.3:



Реальний ПІД-регулятор також може бути реалізований за рахунок динамічних властивостей каналу зворотного зв'язку, що охоплює як підсилювальну так, і виконавчу частину регулятора:



При дотримуванні умови $W_{33}(p) \gg \frac{1}{W_{dc}(p)}$ передавальна функція

регулятора буде $W_p(p) = \frac{1}{W_{33}(p)}$. Тоді для бажаної передавальної функції

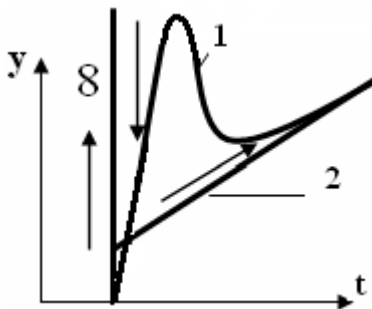
виду: $W_{пид}(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_{I3} \cdot p} + T_{ен} \cdot p \right)$, у зворотному зв'язку має бути ланка з передавальною функцією:

$$W_{33}(p) = \frac{T_{I3} \cdot p}{K_p (T_{I3} \cdot T_{ен} \cdot p^2 + T_{I3} \cdot p + 1)} = \frac{T_{I3} \cdot p}{K_p (T_1 \cdot p + 1)(T_2 \cdot p + 1)},$$

або $W_{33}(p) = \frac{1}{T_1 \cdot p + 1} \cdot \frac{K \cdot p}{T_2 \cdot p + 1}$, де $K = T_{I3}/K_p$.

Таким чином, для реалізації ПІД-регулятора за наведеною схемою, необхідно, щоб канал зворотного зв'язку містив послідовно увімкнені аперіодичну та реальну диференціальну ланки[36].

Оскільки умова $W_{33}(p) \gg \frac{1}{W_{dc}(p)}$ у структурній схемі реалізується приблизно, то виконавчий механізм внесе перекручення до закону ПІД-регулювання. Фактична реакція регулятора на ступінчастий вхідний сигнал має вигляд кривої 1, при ідеальній реакції ПІД-регулятора – 2.



Таким чином, реальні ПІД-регулятори реалізують ПІД-закони з похибкою, яка залежить від

ступені дотримування умови $W_{33}(p) \gg \frac{1}{W_{dc}(p)}$ і параметрів настройки диференціальної частини з передавальною функцією

$$W_d(p) = \frac{K_d \cdot T_d \cdot p}{T_d \cdot p + 1}.$$

5.2.4 Імпульсні регулятори з виконавчими механізмами сталої швидкості

Відомо (Розділ 4.2.1.1), що виконавчі механізми сталої швидкості широко застосовуються у системах автоматичного регулювання. При надходженні на вхід ВМ серії імпульсів, вони набувають властивості

інтегральної ланки і тим більше, чим більше тривалість імпульсу Dt_i і менше тривалість паузи Dt_n .

Якщо ВМ з пускальним пристроєм охопити зворотним зв'язком у колі якого підсилювальна ланка, рис.5.6., тоді при релейно-імпульсному регуляторі з ВМ сталої швидкості можна реалізувати П-закон регулювання.

При надходженні на вхід регулятора сигналу $X > \left| \frac{\Delta_{нч}}{2} \right|$, ВМ увімкнеться і буде переміщувати РО зі сталою швидкістю у бік ліквідації сигналу X . Переміщення Y РО через канал зворотного зв'язку передається у вигляді сигналу $X_{зз}$, і зменшує сигнал $D=X-X_{зз}$, що діє на релейний елемент.

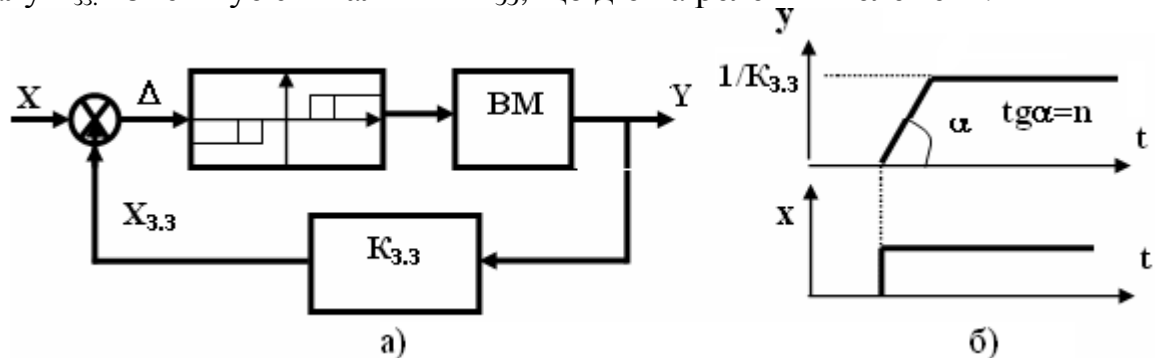


Рисунок 5.6 – Структурна схема П-регулятора з ВМ сталої швидкості (а) і його перехідна характеристика(б)

При $\Delta < \left| \frac{\Delta_{нч}}{2} - \Delta\epsilon \right|$ виконавчий механізм вимкнеться. Таким чином, при кожній зміні $\Delta > \left| \frac{\Delta_{нч}}{2} \right|$ ВМ буде переміщувати РО зі сталою швидкістю, ліквідуючи з точністю $|\Delta| < \frac{\Delta_{нч}}{2}$ відхилення X від заданого (нульового) значення. Оскільки сигнал зворотного зв'язку $X_{зз} = K_{зз} \cdot Y$, то в усталеному стані $\Delta = X - K_{зз} \cdot y < \frac{\Delta_{нч}}{2}$. Тому що зона нечутливості підсилювача $\Delta_{нч}$ має невелике значення, то останній вираз можна записати у вигляді $X = K_{зз} \cdot Y$.

Звідки

$$W_p(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{1}{K_{зз}}$$

Таким чином, імпульсний регулятор з ВМ сталої швидкості, приблизно реалізує П-закон регулювання з коефіцієнтом передачі $K_p = 1/K_{зз}$.

На рис.5.6б показано перехідну характеристику регулятора при надходженні на його вхід одиничного ступінчастого сигналу $X(t)=1$.

За допомогою імпульсного регулювання можна також реалізувати ПІ-закон, використовуючи структурну схему, що на рис.5.5.

Відповідно до цієї схеми релейний підсилювач, що вмикає в роботу ВМ охоплюється негативним зворотним зв'язком, у колі якого аперіодична ланка з

передавальною функцією $W_{33}(p) = \frac{K}{T \cdot p + 1}$.

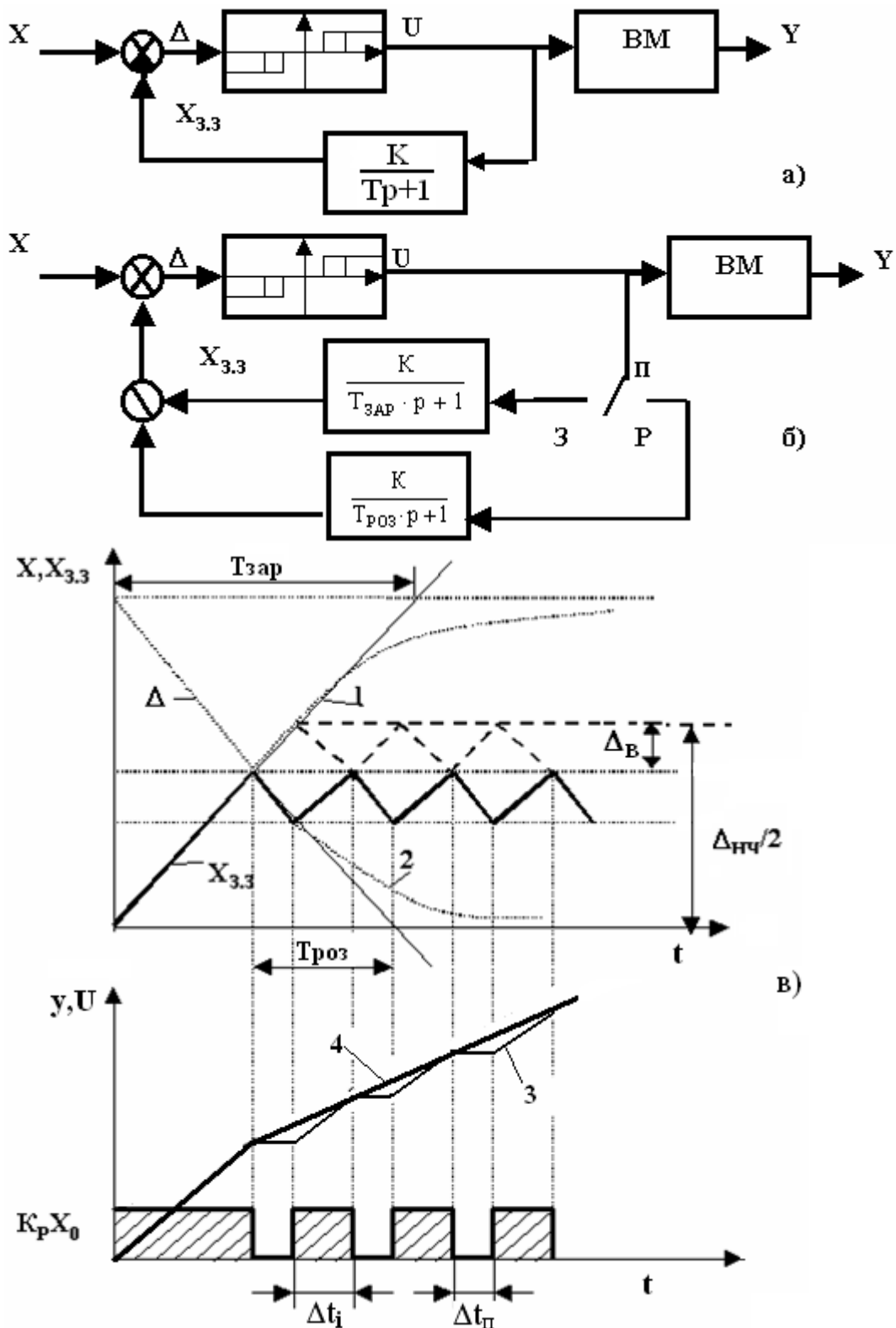


Рисунок 5.7 – Структурні схеми (а і б) імпульсного ПІ-регулятора з ВМ сталої швидкості та перехідні процеси в ньому при $X(t)=X_0$ (в).

При надходженні на вхід регулятора, наприклад, постійного сигналу $X > \left| \frac{\Delta_{нч}}{2} \right|$, релейний підсилювач спрацьовує і вмикає ВМ, вихідний вал якого починає обертатися зі сталою частотою і переміщувати РО у бік ліквідації відхилення регульованої величини від заданого значення.

Одночасно з подачею постійної напруги U на ВМ ця напруга (або її частина) подається на пристрій зворотного зв'язку, у якості якого в більшості регуляторів використовуються RC -кола. Оскільки пристрій зворотного зв'язку в схемі, що на рис.5.7а, при вмиканні ВМ є аперіодичною ланкою, то при надходженні на його вхід постійної напруги U на виході з'являється сигнал $X_{зз.}$, що зростає за експонентою 1, рис.5.7в. Ця напруга $X_{зз.}$ спрямована назустріч напрузі вхідного сигналу X . У зв'язку з цим непогодження $\Delta = X - X_{зз.}$, що надходить на вхід релейного підсилювача, почне зменшуватися. При зменшенні Δ до значення $\Delta = X - X_{зз.} < \Delta_{нч} / 2 - \Delta_г$ релейний елемент підсилювача вимкнеться, ВМ зупиниться і напруга на вході каналу зворотного зв'язку зникне.

Після цього конденсатор кола зворотного зв'язку почне розряджатися через резистор і вихідна напруга $X_{зз.}$ почне зменшуватися за експонентою 2, рис.5.7в, а сигнал розбалансу Δ почне зростати і при $\Delta > \Delta_{нч} / 2$ релейний підсилювач знову спрацює. ВМ увімкнеться, а на вході каналу зворотного зв'язку з'явиться постійна напруга U . Вихідний сигнал зворотного зв'язку $X_{зз.}$ знову почне збільшуватися за експонентою.

Далі процес періодичного вмикання та вимикання (автоколивний режим) релейного елемента підсилювача, а відповідно і ВМ буде повторюватися. Характер переміщення $y = f(t)$ має вигляд ламаної лінії 3, рис.5.7в. Ця ламана лінія може бути приблизно апроксимована прямою 4, причому чим більше тривалість одного вмикання Δt_i релейного елемента і менше тривалість паузи Δt_n , тим точніше співпадає характер зміни $y(t)$ з лінійною прямою 4.

Таким чином, не дивлячись на наявність в регуляторі за структурною схемою, що на рис.5.7а, декількох суттєво нелінійних елементів (релейного підсилювача, виконавчого механізму сталої швидкості), регулятор з достатньою практичною точністю реалізує лінійний закон ПІ-регулювання.

Пропорційна складова закону приблизно реалізується за рахунок початкового швидкого переміщення РО при змінюванні X , а інтегральна складова – за рахунок наступного автоколивного режиму роботи релейного підсилювача з негативним зворотним зв'язком і відповідно короткочасних переміщень ВМ.

Зазвичай в імпульсних регуляторах для забезпечення незалежної настройки Δt_i і Δt_n коло зворотного зв'язку забезпечує різні сталі часу заряду

$T_{зар}$ та розряду $T_{роз}$ конденсатора. При вмиканні ВМ перемикач П, рис.5.7б, за допомогою спеціального перемикального пристрою автоматично переставляється в положення З і вмикається коло заряду конденсатора. При цьому передавальна функція кола зворотного зв'язку має вигляд:

$$W_{зз}(p) = \frac{K}{T_{зар} \cdot p + 1}.$$

При вимиканні ВМ перемикач П переставляється в положення Р і вмикається коло розряду конденсатора. При цьому передавальна функція кола зворотного зв'язку має вигляд $W_{зз}(p) = \frac{K}{T_{роз} \cdot p + 1}$.

При надходженні на вхід регулятора сталого сигналу $X=X_0$ закон ПІ-регулювання $y = K_p \left(X + \frac{1}{T_{із}} \int X dt \right)$ запишеться у вигляді $\bar{y} = K_p X_0 \left(1 + \frac{t}{T_{із}} \right)$.

Це рівняння визначає перехідний процес в лінеаризованому ПІ-регуляторі при $X=X_0$ (пряма 4 на рис.5.7в).

Фактичний перехідний процес визначається ламаною лінією 3.

За допомогою імпульсного регулювання можна також реалізувати ПІД-закон регулювання. Структурна схема ПІД-регулятора та перехідні процеси в ньому приведені на рис.5.8.

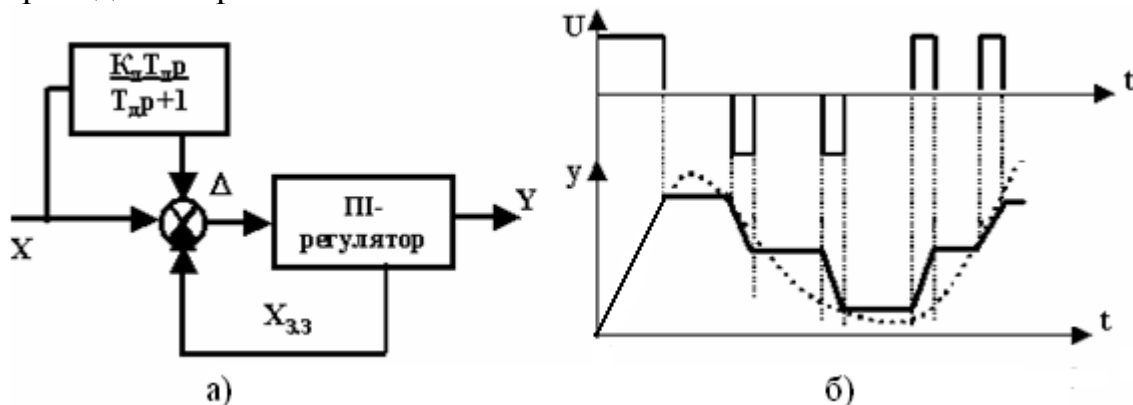


Рисунок 5.8 – Структурна схема ПІД-регулятора (а) та перехідні процеси в ньому (б) при $X(t) = X_0$

Різниця структурної схеми ПІД-регулятора на рис.5.8а. від структурної схеми ПІ-регулятора на рис.5.2а в тому, що на суматор надходить не тільки відхилення X регульованої величини від заданого значення, а і величина X_δ з виходу реальної диференціальної ланки з передавальною функцією:

$$W_\delta(p) = K_\delta \cdot T_\delta \cdot p / (T_\delta \cdot p + 1).$$

Сигнал на виході реальної Д-ланки змінюється за експонентою $X_\delta(t) = K_\delta \cdot X_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_\delta}}$. В початковий момент при $t=0$ значення $X_\delta(0) = K_\delta$, а при $t \rightarrow \infty$ значення $X_\delta(\infty) \rightarrow 0$.

Таким чином, сигнал на вході релейного елемента регулятора визначається залежністю $(X + X_{\delta}) = X_0 \left(1 + K_{\delta} e^{-\frac{t}{T_{\delta}}} \right)$.

При $t=0$ підсилювальний сигнал дорівнює $X_0(1 + K_{\delta})$, а при $t \rightarrow \infty$ він стає рівним X_0 .

При $X_0(1 + K_{\delta}) > \frac{\Delta_{нч}}{2}$ релейний елемент регулятора спрацює, вмикається ВМ і на вхід суматора надходить сигнал зворотного зв'язку $X_{зз}$, який зростає за експонентою, що визначається сталою часу заряду $T_{зар}$ конденсатора в колі зворотного зв'язку. На вході релейного елемента з'явиться сигнал $\Delta = (X + X_{\delta}) - X_{зз}$. Коли цей сигнал зменшиться до рівня $\Delta < \frac{\Delta_{нч}}{2} - \Delta_{\epsilon}$, релейний елемент вимкнеться, ВМ зупиниться і сигнал зворотного зв'язку $X_{зз}$ почне зменшуватися за експонентою, яка визначається сталою часу розряду $T_{роз}$ конденсатора в колі зворотного зв'язку.

Якщо параметри регулятора K_{δ} , T_{δ} і $T_{роз}$ такі, що сигнал $X + X_{\delta}$ після того, як він досягне значення $X + X_{\delta} = \frac{\Delta_{нч}}{2} - \Delta_{\epsilon}$, зменшується швидше ніж $X_{зз}$, то

через деякий час сигнал на вході релейного елемента буде $\Delta = -\frac{\Delta_{нч}}{2}$. Після цього релейний елемент спрацює, але у протилежний бік, ВМ змінить напрямок роботи і сигнал зворотного зв'язку почне швидко зменшуватися за експонентою. Через деякий час сигнал на вході релейного елемента стане

рівним $\Delta = \frac{\Delta_{нч}}{2} - \Delta_{\epsilon}$. Після цього релейний елемент вимкнеться, ВМ зупиниться і сигнал зворотного зв'язку $X_{зз}$ почне зменшуватися за експонентою і на певний час ВМ повторно увімкнеться в протилежний бік. При цьому сигнал зворотного зв'язку зменшується за експонентою. Через деякий час сигнал Δ зменшиться до значення $\frac{\Delta_{нч}}{2} - \Delta_{\epsilon}$, і ВМ вимкнеться. Кількість вмикань ВМ у протилежний бік визначається параметрами настройки регулятора.

Оскільки стала часу T_{δ} вибирається менше за сталу часу $T_{роз}$, то при деякому наступному вимиканні ВМ після його вмикання в протилежний бік швидкість зменшення $X_{зз}$ стає більше швидкості зменшення сигналу $X + X_{\delta}$.

Коли сигнал на вході релейного елемента досягне значення $\Delta = \frac{\Delta_{нч}}{2}$, релейний елемент спрацює в прямому напрямку, увімкне у цьому ж напрямку ВМ і сигнал зворотного зв'язку почне збільшуватися за експонентою. Потім релейний елемент вимкнеться і сигнал зворотного зв'язку буде зменшуватися.

Коли Δ стане більше $\frac{\Delta_{нч}}{2}$, релейний елемент знову увімкнеться в прямому напрямку і далі регулятор буде працювати аналогічно ПІ-регулятору.

На рис.5.8б показано характер зміни сигналу $U(t)$ на виході релейного елемента і сигнал $y(t)$ на виході ПІД-регулятора зі структурною схемою на рис.5.8а[36].

5.2.5 Позиційні регулятори

Позиційні регулятори працюють за принципом “увімкнено-вимкнено”. Їх реалізація здійснюється, наприклад, за допомогою контактних і безконтактних релейних елементів.

Позиційні регулятори бувають дво-, три- та багатопозиційними.

На рис.5.9 приведена структурна схема і статичні характеристики двопозиційних регуляторів.

Двопозиційні регулятори настроюються таким чином, щоб значення y і x відраховувалися у приращеннях від умовного рівновагового стану об’єкта регулювання, що відповідає розрахунковим значенням y_0 і x_0 прийнятим за початок відрахування. При цьому статична характеристика двопозиційного регулятора без зони неоднозначності приймає вигляд, зображений на рис.5.9б, а із зоною неоднозначності – на рис.5.9в.

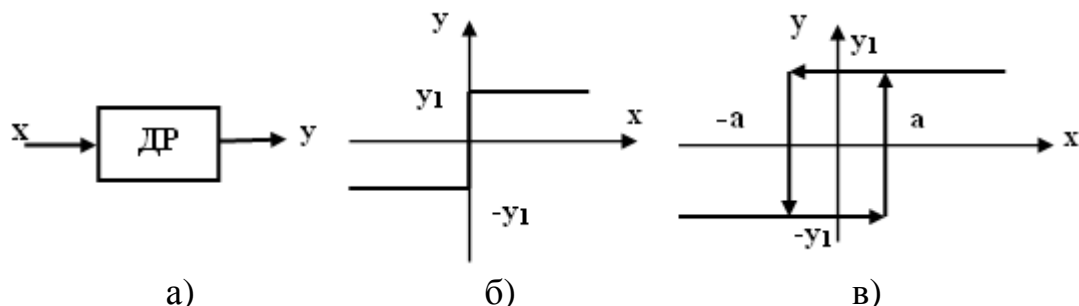


Рисунок 5.9 – Структурна схема двопозиційного регулятора ДР (а) і його статична характеристика без зони неоднозначності (б) та із зоною неоднозначності (в) .

Ширина зони неоднозначності (зони повернення) дорівнює: $\Delta v = 2a$.

Аналітично статична характеристика двопозиційного регулятора без зони неоднозначності запишеться у вигляді:

$$\begin{aligned} y &= y_1 \text{ коли } x > 0, \\ y &= -y_1 \text{ коли } x < 0, \end{aligned}$$

а із зоною неоднозначності, як:

$$\begin{aligned} y &= y_1 \text{ коли } x \geq a; \quad y = y_1 \text{ коли } -a < x < a \text{ і } dX/dt < 0, \\ y &= -y_1 \text{ коли } x \leq -a; \quad y = -y_1 \text{ коли } -a < x < a \text{ і } dX/dt > 0. \end{aligned}$$

З цих рівнянь, а також з графіка статичної характеристики видно, що двопозиційні регулятори постійно чинять на об’єкт регулювання діяння, які відрізняються від їх значень, необхідних для зрівноваженого стану системи (при $X=0$). У результаті цього автоматична система з двопозиційним

регулятором буде працювати в автоколивному режимі біля її зрівноваженого стану.

Статичну характеристику $y=f(x)$ трипозиційних регуляторів без зон неоднозначності та з ними наведено на рис.5.10.

Аналітично статична характеристика трипозиційного регулятора без зон неоднозначності має вигляд:

$$\begin{aligned} y &= 0 \text{ коли } |x| < \Delta_{нч}/2 \\ y &= y_1 \text{ коли } x \geq \Delta_{нч}/2, \\ y &= -y_1 \text{ коли } x \leq -\Delta_{нч}/2, \end{aligned}$$

а із зонами неоднозначності:

$$\begin{aligned} y &= 0 \text{ коли } |x| < \Delta_{нч}/2 - \Delta_{в}; \\ y &= 0 \text{ коли } \Delta_{нч}/2 - \Delta_{в} < x < \Delta_{нч}/2 \text{ і } dx/dt > 0; \\ y &= 0 \text{ коли } \Delta_{в} - \Delta_{нч}/2 > x > -\Delta_{нч}/2 \text{ і } dx/dt > 0; \\ y &= y_1 \text{ коли } x \geq \Delta_{нч}/2; \\ y &= y_1 \text{ коли } \Delta_{нч}/2 - \Delta_{в} < x < \Delta_{нч}/2 \text{ і } dx/dt < 0; \\ y &= -y_1 \text{ коли } x \leq -\Delta_{нч}/2; \\ y &= -y_1 \text{ коли } \Delta_{в} - \Delta_{нч}/2 > x > -\Delta_{нч}/2 \text{ і } dx/dt > 0; \end{aligned}$$

де $\Delta_{нч}$ - зона нечутливості регулятора.

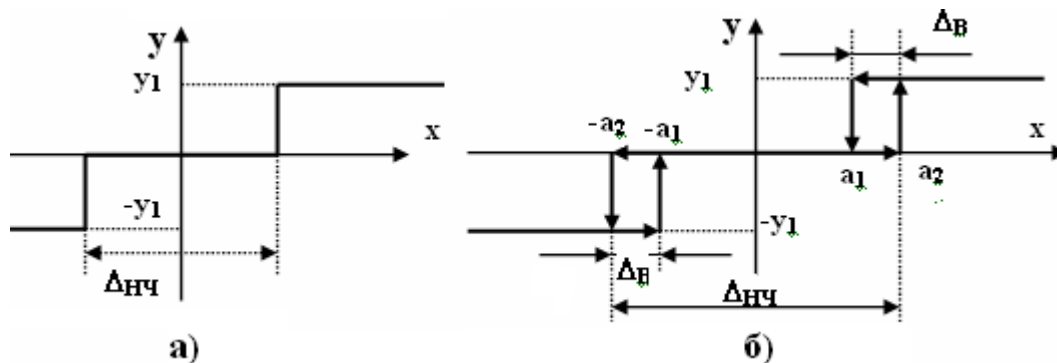


Рисунок 5.10 – Статичні характеристики трипозиційних регуляторів без зон неоднозначності (а) та із зоною неоднозначності (б)

З наведених рівнянь, а також зі статичних характеристик, що на рис.5.10, випливає – трипозиційні регулятори мають стійкий стан ($y=0$) біля зрівноваженого стану системи ($X=0$), що визначається зоною нечутливості та зоною повернення статичної характеристики.

У цьому й полягає принципова різниця трипозиційних регуляторів від двопозиційних. Якщо при черговому перемиканні регулятора у стан $y=0$ відхилення регульованої величини X не буде виходити за зону нечутливості регулятора, тобто буде зберігатися умова $|X| < \Delta_{нч}/2$, то в цьому стані автоматична система регулювання може залишатися нескінченно довго. У системі не буде ніяких автоколивних процесів.

На рис.5.11 наведено приклад структурної схеми багатопозиційного регулятора та його статичних характеристик.

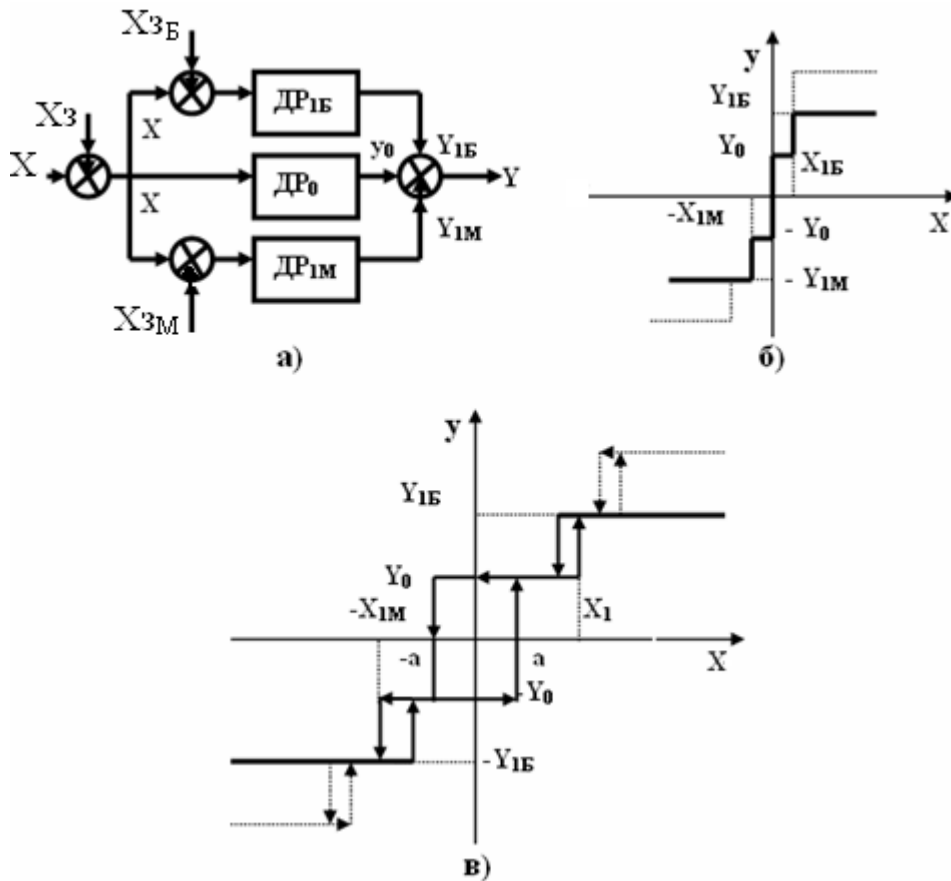


Рисунок 5.11 – Структурна схема багатопозиційного регулятора (а) та його статичні характеристики без зони неоднозначності (б) та із зоною неоднозначності (в)

Зі структурної схеми багатопозиційного регулятора випливає, що його можна зобразити як декілька двопозиційних регуляторів з'єднаних послідовно, і кожний з яких має різні уставки спрацьовування.

Відхилення регульованої величини від заданого значення X надходить до всіх двопозиційних регуляторів. Основний з них $ДР_0$ спрацьовує при зміні знака X . Наприклад, при $X > 0$ $ДР_0$ спрацьовує і на його виході з'являється регульовальний сигнал y_0 . Якщо цього регульовального діяння буде недостатньо і відхилення продовжує зростати, то при $X - X_{зБ} > 0$ спрацьовує регулятор $ДР_{1Б}$ і на виході багатопозиційного регулятора з'явиться додаткове регульовальне діяння $y_{1Б}$. Підсумкова дія на виході буде $y = y_0 + y_{1Б}$. У загальному випадку таких додаткових регуляторів може бути декілька і при зростанні X підсумкове

регульовальне діяння може дорівнювати
$$y = y_0 + \sum_{i=1}^n y_{iБ}$$
,

де n - кількість двопозиційних регуляторів $ДР_{iБ}$, що вмикаються при зростанні X .

Якщо при черговому вмиканні i -го двопозиційного регулятора відхилення X почне зменшуватися, то регулятори по черзі у зворотній

послідовності почнуть вимикатися. Аналогічно працює багатопозиційний регулятор при відхиленні X у протилежний бік, тобто при $X < 0$.

Підсумкове діяння регулятора при цьому дорівнює $-y = -y_0 - \sum_{i=1}^n y_{im}$,

де n - кількість двопозиційних регуляторів DP_{im} , що вмикаються при зменшенні X у бік $X < 0$

Статична характеристика багатопозиційного регулятора без зон неоднозначності двопозиційних регуляторів, що складають його, наведено на рис.5.11б, а за наявності зон неоднозначності – на рис.5.11в[36].

5.3 Промислові регулятори комплексу технічних засобів «Каскад-2»

Покоління технічних засобів автоматизації, що передувало сучасним, мікропроцесорним пристроям досі використовується на дрібних, середніх та деяких великих підприємствах. Вони розроблялися за агрегатно-блоковим принципом, відповідно до якого, окремі блоки утворювали агрегатний комплекс технічних засобів (КТЗ).

Прилади КТЗ «Каскад» (МЗТА, Росія) виконані на інтегрально-тиристорній базі з широким використанням операційних підсилювачів, що мають високу експлуатаційну надійність. Існують дві черги комплексу приладів з уніфікованим струмовим сигналом – «Каскад-1» і «Каскад-2».

У складі КТЗ «Каскад-2» більше 20 видів технічних засобів, що виконують функціональні перетворення (алгебраїчні та арифметичні дії, диференціювання, інтегрування, обмеження аналогового сигналу за максимумом і мінімумом), логічного вибору, лінійної апроксимації нелінійних статичних характеристик, визначення мінімальних та максимальних сигналів, вимірювання, формування будь-якого алгоритму регулювання та сигналів завдання, а також їх відпрацьовування виконавчими механізмами. Для автоматичного регулювання технологічними процесами розроблені два види автоматичних регуляторів – з аналоговим (Р17) та імпульсним (Р27) виходом. Особливістю цих регуляторів є те, що вони складаються з двох модулів – вимірювального та регулювального, які, при виході з ладу, можуть легко замінюватися на інші. При цьому вимірювальні модулі цих регуляторів однакові, а тому взаємозамінні.

Регулятор Р17 є аналоговим ПІД- регулятором з уніфікованим вихідним сигналом 0-5 мА. Блок складається з модуля регулювального РО17.1, джерела живлення ИПС-І і модуля вимірювального ІОО1.1.



Вимірювальний модуль реалізує підсумовування і масштабування вхідних сигналів. Регулювальний модуль виконує формування вихідного безперервного електричного сигналу у відповідності до законів П-, ПІ-, ПІІ- чи ПІД- регулювання, двобічне обмеження вихідного сигналу, демпфірування вхідного сигналу, а також (у

комплекті з зовнішніми блоками керування) ручне керування вихідним сигналом і безударне перемикання режимів роботи.

Конструктивно Р17 складається із збірного шасі, жорстко зв'язаного з передньою панеллю і зварного корпусу. Корпус розрахований на щитовий монтаж.

Органи настроювання регулювального блока розміщені на бокових панелях усередині корпусу, з правої сторони шасі. Щоб забезпечити доступ до органів настройки, його шасі висувається з корпусу.

На панелі регулювального модуля розміщені:

K_p – орган плавної зміни коефіцієнта передачі;

T_i – орган плавної зміни сталої часу інтегрування;

T_d – орган плавної зміни сталої часу диференціювання;

T_{df} – орган плавної зміни сталої часу демпфірування;

“Огр. Мин.” і “Огр. Макс.” – ручки зміни рівнів обмеження вихідного сигналу;

- комутаційні гнізда з перемичками для дискретної зміни множника коефіцієнта передачі / “x1”, “x10”/;

- комутаційні гнізда з перемичками для дискретної зміни множника сталої часу інтегрування T_i і вимикання інтегральної складової закону регулювання / “Выкл.”, “x1”, “x10”/.

На панелі вимірювального модуля розміщені:

“ α_2 ”, “ α_3 ”, “ α_n ” – органи плавної зміни масштабних коефіцієнтів передачі по входам;

“Корректор” – орган плавної зміни сигналу коректора;

“Уст. 0” – орган балансування вимірювальної схеми;

“+”, “-” – комутаційні гнізда з перемичкою для зміни полярності сигналу корекції;

$\alpha_{зд}$ – орган плавної зміни діапазону дії зовнішнього задатчика.

Функціональна схема Р17 приведена на рис.5.12.

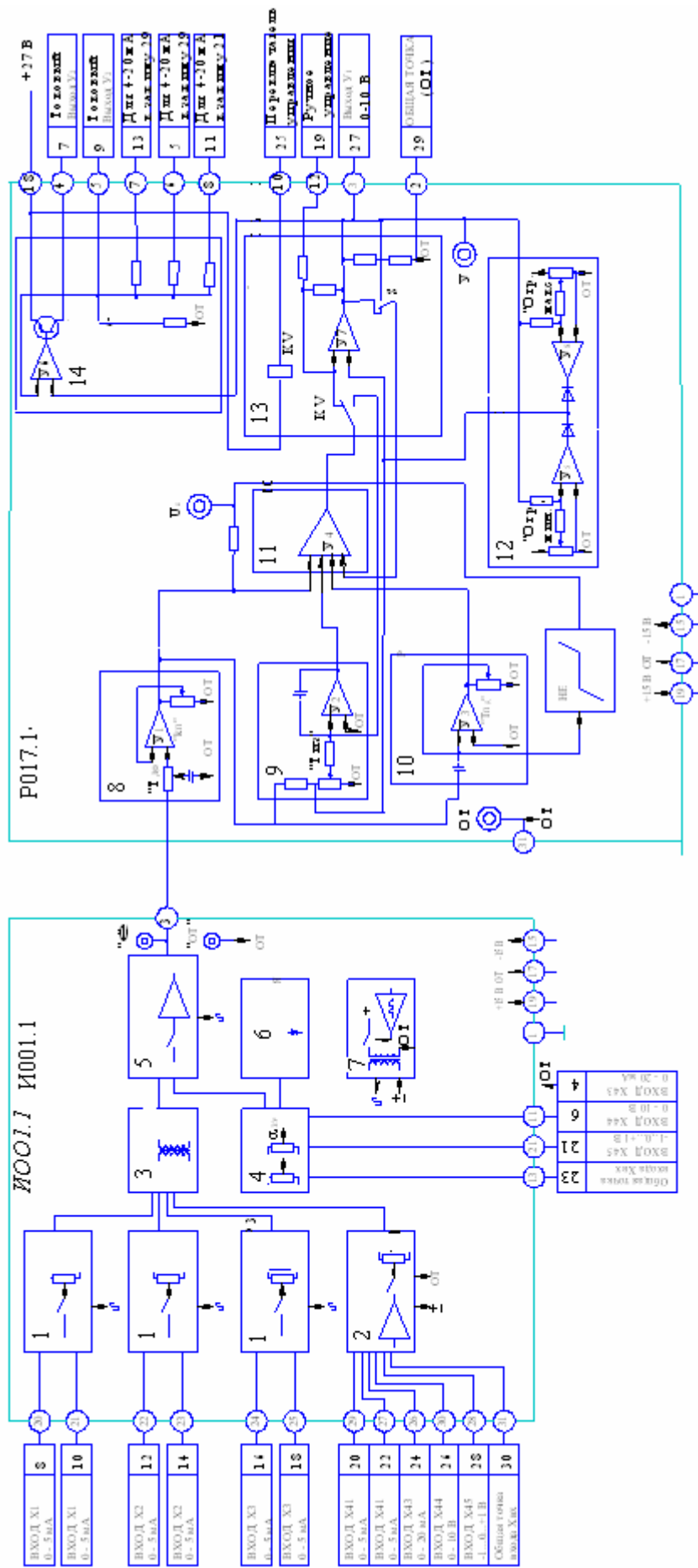
Вимірювальний модуль И001.1 реалізує підсумовування і масштабування вхідних сигналів, введення заданого значення регульованої величини, формування і підсилення сигналу відхилення регульованої величини від заданого значення і має наступні функціональні вузли:

- модулятори 1 – забезпечують перетворення уніфікованих вхідних сигналів постійного струму у сигнали напруги змінного струму. Причому у двох модуляторах вхідні сигнали додатково масштабуються коефіцієнтами a_2 і a_3 ;

- підсилювач – модулятор 2 призначений для підсумовування сигналів постійного струму, перетворення суми на сигнал змінного струму і множення на масштабний коефіцієнт a_4 ;

- суматор 3, який забезпечує гальванічне розділення всіх підсумованих вхідних сигналів один від одного і від вихідного сигналу;

- коректор 4 – для ручного коригування вихідного сигналу;



И001.1- вимірювальний модуль, P017.1- регулювальний модуль, 1- модулятор, 2- підсилювач-модулятор, 3- суматор, 4- коректор, 5- демодулятор-підсилювач, 6- джерело опорної напруги, 7- генератор, 8- вхідний підсилювач, 9- інтегратор, 10- диференціатор, 11- суматор, 12- обмежувач, 13- вихідний підсилювач, 14- перетворювач «напряга-струм»

Рисунок 5.12 – Функціональна схема P17

- демодулятор–підсилювач 5 – для перетворення вихідного сигналу суматора у напругу постійного струму і формування вихідного сигналу модуля (сигналу відхилення);

- генератор імпульсів прямокутної форми 7– для комутації ключів модулятора і демодулятора;

- джерело опорної напруги 6 – для живлення вузла коректора і зовнішнього потенціометричного задатчика, який вмикається до блока.

Статична характеристика вимірювального модуля описується рівнянням:

$$E = \pm X_1 \pm a_2 \cdot X_2 \pm a_3 \cdot X_3 \pm a_4 \sum_{i=1}^5 X_{4i} - X_5 \pm X_{кор},$$

де X_1, X_2, \dots, X_5 – вхідні сигнали модулятора, що отримані від первинних перетворювачів, у відносних величинах від діапазону зміни; a_1, a_2, a_3 – масштабні коефіцієнти.

Регульовальний модуль P017.1 складається з вхідного підсилювача, інтегратора, нелінійного елемента, суматора, вихідного підсилювача, перетворювача напруги у струм, обмежувача вихідного сигналу і вузла безударного перемикавання режимів роботи.

Вхідний підсилювач 8, створений на високоомній інтегральній мікросхемі $У_1$, на виході якої встановлена аперіодична ланка. Коефіцієнт передачі повільно регулюється потенціометром “ K_n ”, стала часу демпфірування – змінним резистором “ $T_{дф}$ ”.

Інтегратор 9 і диференціатор 10 збудовані на високоомних інтегральних підсилювачах $У_2$ і $У_3$. Сталі часу інтегрування T_i та випередження $T_{вп}$ регулюються повільно повзунами, відповідно, потенціометра “ T_i ” і потенціометра “ $T_{вп}$ ”, а дискретно за допомогою перемикачів.

Нелінійний елемент, має діоди, що увімкнені паралельно на зустріч, і охоплює суматор та диференціатор негативним зворотним зв'язком при великому вихідному сигналі диференціатора.

Суматор 11 виконано на підсилювачі $У_4$. Вихідні сигнали інтегратора і диференціатора, а також сигнал негативного зворотного зв'язку з виходу підсилювача подаються на інвертуючий вхід $У_4$. Вихідний сигнал вхідного підсилювача $У_1$ і сигнал місцевого негативного зворотного зв'язку подаються також на інвертуючий вхід підсилювача $У_4$.

Вихідний підсилювач 13 виконаний на інтегральній мікросхемі $У_7$ та транзисторі, що працює в режимі емітерного повторювача. Вихідний сигнал емітерного повторювача надходить на вхід блока $У_1$ і на вхід підсилювача $У_6$ перетворювача напруги у струм 14. Вихідний підсилювач і суматор охоплені негативним зворотним зв'язком. Ступінь цього зв'язку і, відповідно, коефіцієнт передачі блока K_n дискретно змінюються за допомогою перемикача.

Перетворювач напруги у струм 14 виконаний на підсилювачі $У_6$ і транзисторах, що охоплені глибоким негативним зворотним зв'язком при діапазоні вихідного сигналу 0-5мА. При діапазонах вихідного сигналу 0-20 мА,

4-20 мА паралельно опору у коло зворотного зв'язку вмикаються відповідні допоміжні резистори.

Обмежувач вихідного сигналу 12 має інтегральні мікросхеми $У_5$ і $У_8$, що працюють у режимі порогових елементів і джерело опорної напруги – 10В. Опорна напруга подається на потенціометр “Обм. мін.” і “Обм. макс.” за допомогою яких встановлюються відповідні рівні обмеження. Напруга з виходу порогових елементів через діоди подається на вхід вихідного підсилювача $У_7$ і на вхід підсилювача $У_2$ інтегратора.

Передавальна функція регулювального блока має вигляд:

$$W(p) = \frac{K_p}{T_{\text{дф}} \cdot p + 1} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{\text{із}} \cdot p} + T_{\text{е}} \cdot p \right),$$

де $K_p = f(K_n)$ – коефіцієнт передачі; $T_{\text{дф}}$ – стала часу демпфірування; $T_{\text{із}} = K_p \cdot T_i$ – стала часу ізодрома; $T_{\text{е}} = T_{\text{д}} / K_p$ – стала часу випередження.

Вузол безударного перемикання режимів роботи має реле КV з перемикаючим контактом.

У режимі ручного керування (при спрацьовуванні реле КV) на вхід вихідного підсилювача через резистор подається сигнал 0-10В постійного струму від зовнішнього блока керування. Сигнал, пропорційний вихідному сигналу вихідного підсилювача, надходить на суматор, а з його виходу через контакт реле КV – на вхід інтегратора, який відслідковує вихідний сигнал блока, що забезпечує безударність перемикання з ручного керування на автоматичне. При вимкнутій інтегральній складовій закону регулювання безударність перемикання з ручного керування на автоматичне не забезпечується.

Основними параметрами настройки блока є: коефіцієнт передачі K_n , стала часу інтегрування T_i і стала часу диференціювання $T_{\text{д}}$.

Залежно від рівня пульсування регульованих параметрів необхідне значення сталої часу демпфірування встановлюють органом настройки “ $T_{\text{дф}}$ ”.

Якщо за технологічних умов повний діапазон зміни вихідного сигналу неможливий, при настройці встановлюють потрібний діапазон ручками “Обм. мін.” і “Обм. макс.”.

Імпульсний регулятор P27 в комплекті з ВМ сталої швидкості реалізує



ПІ-закон регулювання. При використанні сигналу зворотного зв'язку за положенням вала виконавчого механізму реалізується ПІ-закон, а при вмиканні блока диференціювання – ПІД-закон регулювання.

Використовується у комплекті з первинними перетворювачами, які мають уніфіковані вихідні сигнали постійного струму 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, 0-10В, -1-0-+1В.

Блок виконує:

- підсумовування і масштабування вхідних сигналів;
- введення інформації про завдання значення регульованої величини, формування і підсилення сигналів відхилення регульованої величини від заданого значення;
- формування стандартних законів регулювання: П, Ш, ПД разом з виконавчим механізмом, а також дво - і трипозиційного.

Для керування виконавчим механізмом блок має два вихідних канали. Перший забезпечує формування імпульсів напруги постійного струму з середнім значенням 24В, а інший – формування імпульсів напруги постійного струму з амплітудою 10-15 В.

Регулювальний блок складається з вимірювального модулю ИОО1.1, регулювального модуля РО27.1 і джерела живлення.

Конструктивно блок складається з шасі, жорстко зв'язаного з передньою панеллю та зварного корпусу. Корпус блока розрахований на утоплений щитовий монтаж.

Органи настроювання і контролю блока розміщені на бокових панелях у середині корпусу з правого боку шасі. Доступ до цих панелей забезпечується при частково висунутому шасі з корпусу.

На панелі регулювального модуля розміщені:

“Δ”- орган плавної зміни зони нечутливості;

“ α_n ”- орган плавної зміни коефіцієнта передачі;

“ T_u ”- орган плавної зміни сталої часу інтегрування;

“Выкл.”, “x1”, “x10”- комутаційні гнізда з перемичкою для дискретної зміни множника сталої часу диференціювання та вимкнення диференціальної частини закону регулювання;

“ T_d ” – орган плавної зміни сталої часу диференціювання;

“ T_{df} ”- орган плавної зміни сталої часу демпфірування”

“ t_u ”- орган плавної зміни тривалості імпульсу.

На панелі вимірювального модуля ИОО1.1 розміщені органи настройки:

“ α_2 ”, “ α_3 ”, “ α_n ” – органи плавної зміни масштабних коефіцієнтів передачі по відповідним входам;

“Кор.” – орган плавної зміни сигналу коректора;

“уст.0” – орган балансу вимірювальної схеми;

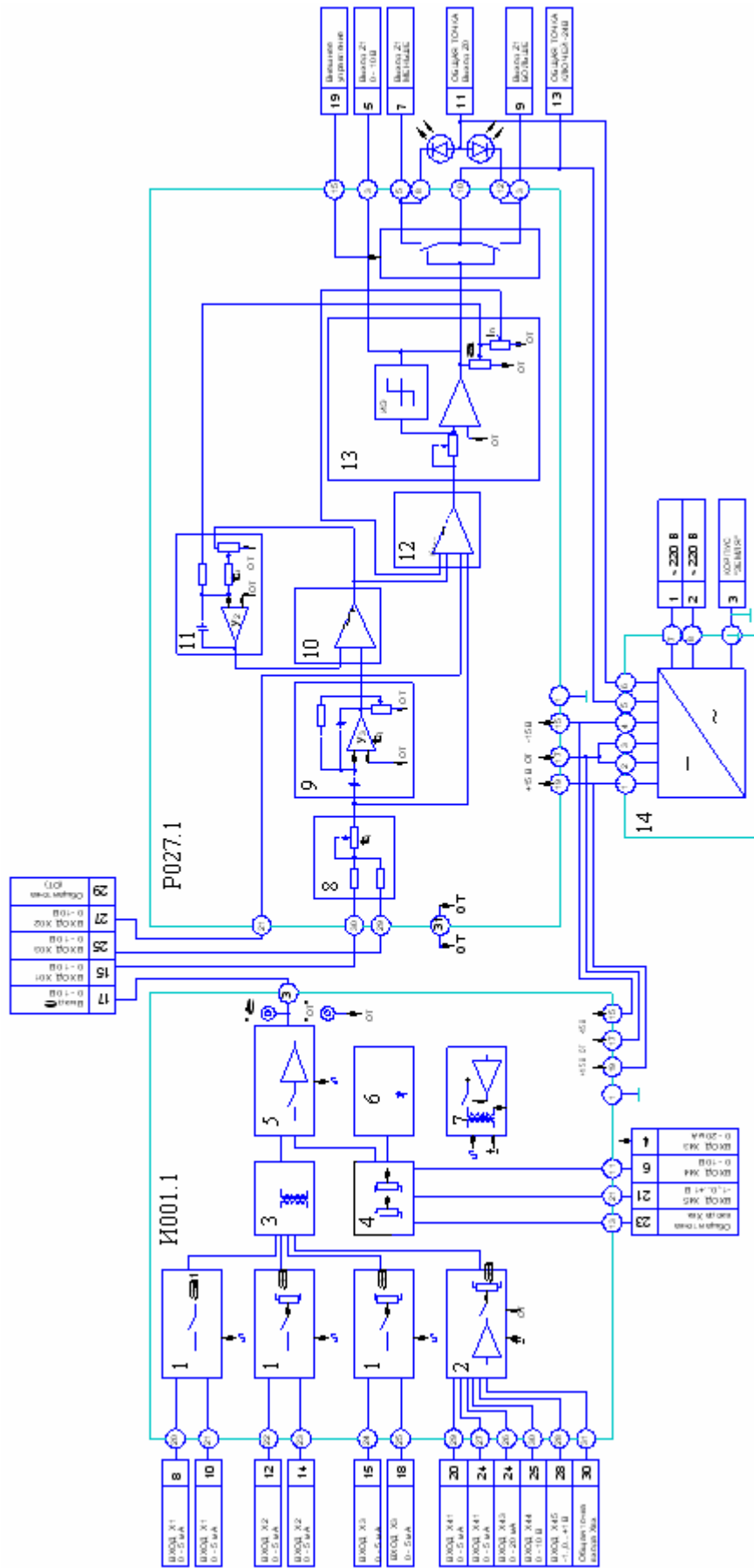
“+”, “-“, – комутаційні гнізда з перемичкою для зміни полярності сигналу коректора;

“ $\alpha_{зд}$ ” – орган плавної зміни діапазону дії зовнішнього задатчика;

“ε”, “от” – контрольні гнізда для виміру сигналу відхилення.

Функціональну схему Р27 наведено на рис.5.13.

Вимірювальний модуль регулятора такий самий, як і у Р17. Модуль виконує підсумовування та масштабування вхідних сигналів, введення заданого значення регулювальної величини, формування та підсилювання сигналу відхилення регульованої величини від заданого значення.



И001.1- вимірювальний модуль, P027.1- регулювальний модуль, 1- модулятор, 2- підсилювач-модулятор, 3- підсумовувач, 4- коректор, 5- демодулятор-підсилювач, 6- джерело опорної напруги, 7- генератор, 8- демффер, 9- диференціатор, 10- підсумовувач зворотного зв'язку, 11- інтегратор, 12- підсумовувач прямого каналу, 13- трипозиційний тригер, 14- блок живлення

Рисунок 5.13 – Функціональна схема P27

Регулювальний модуль виконує формування вихідних імпульсів електричних сигналів по каналах Z_1 і Z_2 відповідно до встановленого закону регулювання і має наступні функціональні вузли:

- демпфер – для фільтрації вхідних сигналів за аперіодичним законом зі сталою часу $T_{\text{дф}}$;
- суматор прямого каналу – для підсумовування вихідного сигналу вимірювального модуля і вихідного сигналу ланки зворотного зв'язку;
- диференціатор, який є реальною ланкою диференціювання зі сталою часу $T_{\text{д}}$;
- трипозиційний тригер для формування вихідних імпульсів;
- інтегратор, який є аперіодичною ланкою;
- суматор каналу зворотного зв'язку;
- підсилювач потужності для формування вихідного сигналу по каналу Z_1 .

Сума вхідних сигналів X_{01} і X_{03} модуля перетворюється демпфером за аперіодичним законом зі сталою часу $T_{\text{дф}}$ і надходить на вхід суматора прямого каналу, де підсумовується з вхідним сигналом модуля X_{02} . Вихідний сигнал суматора прямого каналу керує трипозиційним тригером з зоною нечутливості D . Суматор прямого каналу і трипозиційний тригер мають функціональний зворотний зв'язок через інтегратор, який є аперіодичною ланкою зі сталою часу T_i . Інтегратор охоплений жорстким негативним зворотним зв'язком через суматор каналів зворотного зв'язку.

За наявності сигналів на вході модуля у контурі з функціональним зворотним зв'язком з'являється режим періодичних вмикань. Це пояснюється компенсацією сигналом зворотного зв'язку – основного сигналу на вході суматора прямого каналу. При цьому трипозиційний тригер спрацьовує і на виході регулятора зникає сигнал. Зникає він і на вході ланки зворотного зв'язку. У зв'язку з розрядом конденсатора в RC – колі інтегратора вихідний сигнал аперіодичної ланки зворотного зв'язку зменшується, а загальний сигнал на вході підсилювача прямого каналу зростає. Коли він стане більшим за зону нечутливості, трипозиційний тригер відкривається і на виході регулятора з'являється сигнал. Цей сигнал надходить і у коло негативного зв'язку, сприяючи зростанню вихідного сигналу аперіодичної ланки. При цьому сумарний сигнал на вході підсилювача прямого каналу спадає, і коли стає меншим за зону нечутливості трипозиційний тригер закривається. Сигнал на вході регулятора і ланки зворотного зв'язку зникає і процес у схемі повторюється.

У результаті цього на виході трипозиційного тригера формується послідовність імпульсів, полярність і шпаруватість яких залежать від полярності та величини вхідних сигналів. Ці імпульси подаються на вихід Z_2 модуля безпосередньо, а на вихід Z_1 – через підсилювач потужності. Протягом інтегрування вихідних імпульсів за рахунок дії виконуючого механізму формується ПІ– закон регулювання. При цьому стала часу інтегрування T_i дорівнює часу розряду конденсатора у аперіодичній ланці зворотного зв'язку, а

коефіцієнт передачі визначається ступенем дії функціонального негативного зворотного зв'язку.

Тривалість імпульсів t_i додатково регулюється зміною жорсткості позитивного зворотного зв'язку, який охоплює трипозиційний тригер через суматор прямого каналу. Цей зв'язок змінює зону повернення релейного елемента, межі якої встановлюють тривалість паузи.

Відповідно до методу гармонічного балансу релейний елемент (тригер) приблизно може бути представлений підсилювальною ланкою з передавальною функцією:

$$W_{p.e.}(p) = K_{н.е.}$$

Коефіцієнт передачі є змінною величиною, яка залежить від величини вхідного сигналу. Але при $X_{вих} \gg X_{вх}$ завжди $K_{н.е.} \gg 1$, а при $X_{вх} = 0$ коефіцієнт $K_{н.е.} \rightarrow \infty$.

Передавальна функція регулювального пристрою, який має послідовно увімкнені демпфірувальну ланку, релейний елемент, охоплений негативним зворотним зв'язком і виконавчим механізмом, має вигляд:

$$\begin{aligned} W_{рег.}(p) &= W_{\partial\phi}(p) \cdot W_{в.м.}(p) \cdot \frac{W_{p.e.}(p)}{1 + W_{з.з.}(p) \cdot W_{p.e.}(p)} = \\ &= \frac{K_{н.е.} \cdot W_{\partial\phi}(p) \cdot W_{в.м.}(p)}{1 + K_{н.е.} \cdot W_{з.з.}(p)} = \frac{W_{\partial\phi}(p) \cdot W_{в.м.}(p)}{1/K_{н.е.} + W_{з.з.}(p)} = \frac{W_{\partial\phi}(p) \cdot W_{в.м.}(p)}{W_{з.з.}(p)}; \end{aligned}$$

$$\text{де } W_{\partial\phi}(p) = \frac{1}{1 + T_{\partial\phi} \cdot p}; \quad W_{з.з.}(p) = \frac{a}{1 + T_i \cdot p}; \quad W_{в.м.}(p) = \frac{1}{1 + T_{в.м.} \cdot p};$$

Після підставлення значень передавальних функцій отримаємо:

$$\begin{aligned} W_{рег.}(p) &= \frac{1}{1 + T_{\partial\phi} \cdot p} \cdot \frac{1}{T_{в.м.} \cdot p} \cdot \frac{1 + T_i \cdot p}{a} = \frac{1}{1 + T_{\partial\phi} \cdot p} \times \\ &\times \frac{1}{T_{в.м.} \cdot p \cdot a} + \frac{1}{1 + T_{\partial\phi} \cdot p} \cdot \frac{T_i \cdot p}{a \cdot T_{в.м.} \cdot p} = \\ &= \frac{1}{1 + T_{\partial\phi} \cdot p} \cdot \frac{T_i}{a \cdot T_{в.м.}} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p} \right) \approx W_{вх}(p) \cdot W_{III}(p). \end{aligned}$$

Цей вираз відповідає стандартному ПІ – закону регулювання з демпфірувальною ланкою на вході.

Для введення диференціальної складової в закон регулювання на вході ПІ – регулятора додатково увімкнено диференціатор, сигнал з якого подається на вхід суматора прямого каналу паралельно сигналу розбалансу вимірювального модуля.

Передавальна функція регулятора у цьому випадку має вигляд:

$$W_{\text{ПД}}(p) = [1 + W_{\delta}(p)] \cdot W_{\text{П}}(p) = (1 + T_{\delta} \cdot p) \cdot \frac{T_i}{a \cdot T_{\text{вм}}} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p}\right) =$$

$$= K_p \cdot \left[1 + \frac{1}{T_{\text{із}} \cdot p} + T_{\epsilon} \cdot p\right],$$

$$\text{де } K_p = \frac{T_i \cdot T_{\delta}}{a \cdot T_{\text{вм}}}; T_{\text{із}} = \frac{1}{T_i + T_{\delta}}; T_{\epsilon} = \frac{T_{\delta} \cdot T_i}{T_i + T_{\delta}};$$

K_p – коефіцієнт передачі регулятора, $T_{\text{із}}$ – стала часу ізодрома;

T_{ϵ} – стала часу випередження.

Отриманий вираз відповідає стандартному ПД-закону із взаємозалежними настройками.

При вимиканні Д-складової реалізується П-закон регулювання. У модулі також передбачається вимикання інтегральної складової. У цьому випадку реалізується три- і двопозиційний закони регулювання. При охопленні регулятора жорстким негативним зворотним зв'язком з виходу датчика положення вихідного органа виконавчого механізму реалізується П-закон регулювання.

Коло входних сигналів модуля гальванічно розділено з колом вихідного сигналу по каналу Z_1 і гальванічно пов'язаний з колом вихідного сигналу по каналу Z_2 .

Вихідні сигнали по каналам Z_1 і Z_2 модуля є вихідними сигналами блока у цілому[36].

5.4 Цифрові регулятори

Після винайдення ПД-регулятора у 1910 році та розроблення Зиглером і Никольсом у 1942р. методики його настроювання, з'явилося багато публікацій спрямованих на покращення конструкції, роботи та настроювання цих засобів автоматизації. Проте тривалий час найбільш перспективні та досконалі розробки ПД-регуляторів не можна було технічно реалізувати. І тільки після появи мікропроцесорів у 1980-х роках розвиток ПД-регуляторів розпочався наростаючими темпами. Якщо загальна кількість публікацій по ПД-регуляторах з 1973 по 1982 рік склала 14 шт., то з 1983 по 1992 рік – вже 111 шт., а за період з 1998 по 2002 рік, тобто всього за 4 роки - 225 шт. На одному тільки семінарі IFAC (International Federation of Automatic Control) у 2000 році біля 90 доповідей було присвячено ПД-регуляторам Кількість винаходів по цій темі, що налічувалася у патентній базі в січні 2006 року, склала 364 шт.

ПД-регулятор відноситься до найбільш поширеного типу регуляторів. Близько 90-95% регуляторів, що знаходяться на цей час в експлуатації, використовують ПД-алгоритм. Причинами такої високої популярності є простота побудови і промислового використання, ясність функціонування, придатність для розв'язання більшості практичних завдань і низька вартість. Серед ПД-регуляторів 64% працює в одноконтурних системах, а 36% - у

багатоконтурних Після появи дешевих мікропроцесорів і аналого-цифрових перетворювачів, в промислових ПІД-регуляторах, які все частіше називають ПІД-контролерами, використовується автоматичне настроювання параметрів, сигналізація, програмування, безударне перемикання режимів роботи, дистанційне керування, можливість працювати у промисловій мережі, застосовуються адаптивні алгоритми, нейронні мережі, генетичні алгоритми, методи нечіткої логіки. Ускладнилася структура регуляторів – з'явилися регулятори з двома ступенями свободи, із застосуванням принципів розімкненого управління у поєднанні зі зворотним зв'язком, з вбудованою моделлю процесу [52-55].

5.4.1 Особливості роботи мікропроцесорних ПІД-регуляторів

Розробники регулювальної техніки при впровадженні сучасних теоретичних напрацювань враховують особливості, що породжуються реальними умовами експлуатації і технічної реалізації мікропроцесорних ПІД-регуляторів. Серед них:

- обмежений в системах автоматичного регулювання динамічний діапазон зміни фізичних параметрів (наприклад, обмежена потужність нагрівача, обмежена пропускна спроможність клапана);
- не завжди існуюча можливість зміни знаку керувального впливу, наприклад, в системі підтримки температури часто відсутній холодильник, двигун може бути без реверсивного ходу;
- обмежена точність вимірювання, що вимагає спеціальних заходів для виконання операції диференціювання з прийнятною похибкою;
- наявність, практично в усіх системах, типових нелінійностей – насичення, обмеження швидкості наростання, гістерезис і люфт;
- технологічний розкид і випадкові варіації параметрів регулятора та об'єкта;
- дискретна реалізація регулятора;
- необхідність плавного (безударного) перемикання режимів регулювання.

Тому перед розглядом існуючих на ринку автоматизації ПІД-контролерів потрібно проаналізувати, як в сучасних засобах автоматичного регулювання розв'язуються проблеми, що викликані перерахованими особливостями[56].

5.4.1.1 Похибка диференціювання і шум

Промислові умови експлуатації ПІД-регуляторів характеризуються наявністю шумів – зі спектром в області низьких частот і високочастотних шумів. Перші з перелічених обумовлені зовнішніми збуреннями на об'єкт управління, а поява інших пов'язана з електромагнітними наведеннями, перешкодами в шинах живлення і землі, дискретизацією вимірюваного сигналу та іншими причинами.

Якщо на вхід диференціальної частини регулятора поступає синусоїдальний сигнал $A \cdot \sin(\omega t)$, то вихід його визначається виразом $A \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)$. А це означає, що диференціатор посилює не тільки

низькочастотні збурення амплітудою A , а і високочастотні перешкоди. Причому, амплітуда сигналу на виході диференціатора збільшується із зростанням частоти ω .

Перешкоди, які посилюються диференціатором, можна послабити за допомогою фільтра верхніх частот. Структурна реалізація диференціатора з фільтром показана на рис.5.14. Відповідно до наведеної структури, вихідна величина $y(p)$ визначається рівнянням:

$$y(p) = Nx \left(1 - \frac{1}{pT/N + 1} \right) = \left(\frac{pT}{pT/N + 1} \right) x(p).$$

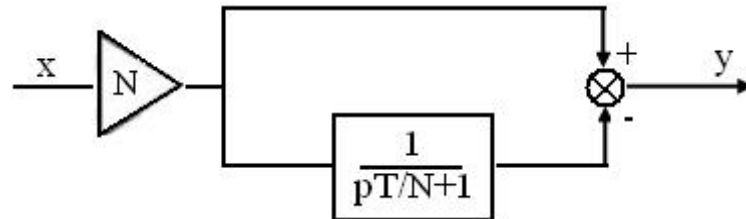


Рисунок 5.14 – Структурна реалізація диференціальної складової ПІД-регулятора з фільтром

Тоді передавальна функція приведенного диференціатора $W(p)$ може бути зображена у вигляді добутку передавальної функції ідеального диференціатора на передавальну функцію фільтра першого порядку:

$$W(p) = pT \left(\frac{1}{pT/N + 1} \right),$$

де коефіцієнт N задає граничну частоту фільтра і зазвичай вибирається в межах 2-20, T/N - постійна часу фільтра, p – оператор Лапласа.

Більше послаблення високочастотних шумів можна отримати за допомогою окремого фільтра, який вмикається послідовно з ПІД-регулятором. Зазвичай використовують фільтр другого порядку з передавальною функцією:

$$W(p) = \frac{1}{1 + pT_F + p^2T_F^2/2}$$

Постійну часу фільтра вибирають рівною $T_F = Ti/N$, де $N = 2-20$, де Ti - постійна інтегрування ПІД-регулятора. Граничну частоту фільтра бажано не вибрати нижче за частоту $1/Ti$, оскільки це ускладнює розрахунок параметрів регулятора і зменшує запас стійкості.

Окрім шумів диференціювання, на характеристики ПІД-регулятора впливають шуми вимірювань. Через коло зворотного зв'язку ці шуми поступають на вхід системи і потім проявляються як дисперсія керувального діяння y . Високочастотні шуми шкідливі тим, що викликають прискорений знос трубопроводної арматури і електродвигунів. Оскільки об'єкт управління зазвичай є низькочастотним фільтром, шуми вимірів рідко проникають по контуру регулювання на вихід системи. Проте вони збільшують похибку вимірювань і знижують точність регулювання, а тому на вході регуляторів завжди використовують фільтри результатів вимірювання[53,54].

5.4.1.2 Обмеження і насичення

У сталому режимі роботи і при малих збуреннях більшість систем з ПД-регуляторами є лінійними. Проте процес виходу на режим практично завжди вимагає, щоб враховувалися нелінійності типу "обмеження". Ця нелінійність пов'язана з природними обмеженнями на потужність, швидкість, частоту обертання, кут повороту, площу поперечного перерізу клапана, динамічний діапазон і тому подібне. Контур регулювання в системі, що знаходиться в насиченні (коли змінна досягає обмеження), виявляється розімкненим, оскільки при зміні сигналу на вході ланки з обмеженням її вихідна величина залишається без змін.

Найбільш типовим проявом режиму обмеження є так зване "інтегральне насичення", яке виникає в регуляторах з ненульовою постійною інтегрування $T_i \neq 0$. Суть проблеми інтегрального насичення полягає в тому, що якщо сигнал на вході об'єкта управління $y(t)$ увійшов до зони насичення (обмеження), а сигнал непогодження $x(t)$ не дорівнює нулю, інтегратор продовжує інтегрувати, тобто сигнал на його виході росте, але цей сигнал не бере участь в процесі регулювання і не впливає на об'єкт внаслідок ефекту насичення. Система управління в цьому випадку стає еквівалентною розімкненої системи, сигнал на вході якої дорівнює величині насичення сигналу $y(t)$ керувального діяння.

Для теплових систем обмеженням знизу зазвичай є нульова потужність нагріву, тоді як ПД-регулятор вимагає подачі на об'єкт "негативної потужності нагріву", тобто охолодження об'єкту. Ефект інтегрального насичення відомий давно. В аналогових регуляторах його усунення було досить складним, оскільки в них проблема не могла бути розв'язана алгоритмічно, а розв'язувалася тільки апаратними засобами. З появою мікропроцесорів проблему вдається розв'язати набагато ефективніше. Одним з методів усунення інтегрального насичення є обмеження швидкості наростання вхідного сигналу.

Оскільки максимальне значення керувального впливу на об'єкт управління $y(t)$ знижується зі зменшенням різниці сигналів між заданою уставкою і регульованим параметром, то для усунення ефекту обмеження можна просто понизити швидкість наростання сигналу уставки, наприклад за допомогою фільтра. Недоліком такого способу є зниження швидкодії системи, а також неможливість усунення інтегрального насичення, що викликане зовнішніми збуреннями, а не сигналом уставки.

Обмежити інтегральне насичення можна також шляхом алгоритмічної заборони інтегрування. Відповідно до цього методу регулятор стежить за величиною керувального впливу на об'єкт, і тільки він досягає насичення, регулятор вводить програмну заборону для роботи інтегральної складової.

Ефект інтегрального насичення можна ослабити, якщо відстежувати стан виконавчого пристрою, що входить у насичення, і компенсувати сигнал, який подається на вхід інтегратора. Структура системи з таким компенсатором показана на рис.5.15. Принцип її роботи полягає в наступному. У системі формується сигнал непогодження між входом і виходом виконавчого пристрою $\Delta_2 = u - v$. Сигнал на виході виконавчого пристрою або вимірюють, або обчислюють, використовуючі математичну модель.

Якщо $\Delta_2 = 0$ – це еквівалентно відсутності компенсатора і система працює, як звичайний ПІД-регулятор. Якщо ж виконавчий пристрій входить в насичення, то $v > u$ і $\Delta_2 < 0$. При цьому сигнал на вході інтегратора зменшується на величину помилки Δ_2 , що призводить до уповільнення зростання сигналу на виході інтегратора, зменшенню сигналу непогодження і величини викиду на перехідній характеристиці системи. Постійна часу T визначає степінь компенсації сигналу непогодження.

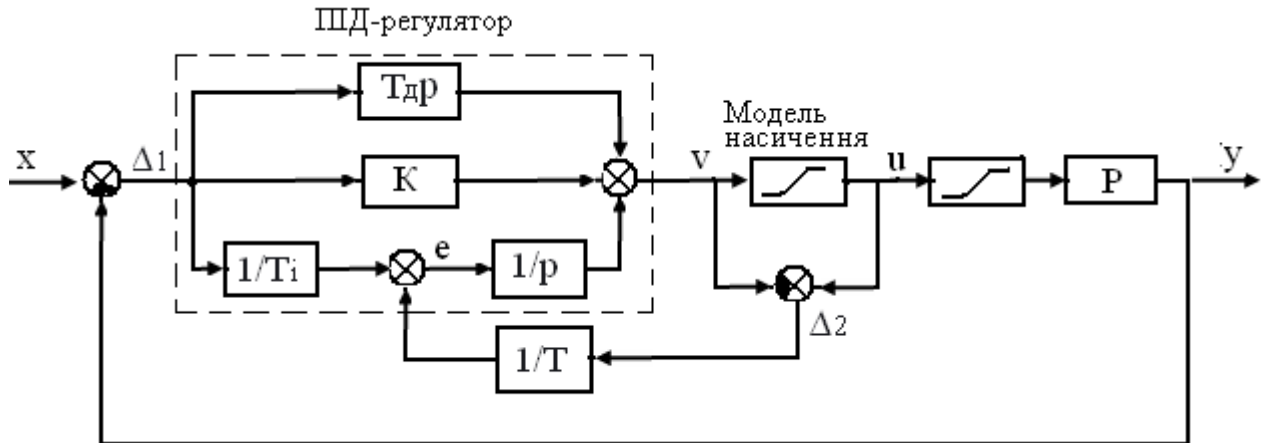


Рисунок 5.15 – Компенсація ефекту інтегрального насичення за допомогою додаткового зворотного сполучення для передачі сигнала помилки Δ_2 на вхід інтегратора

Спосіб умовного інтегрування – є узагальненням алгоритмічної заборони інтегрування. Після настання заборони інтегральна складова залишається постійною, на тому ж рівні, який вона мала у момент появи заборони інтегрування. Узагальнення полягає в тому, що заборона інтегрування настає не лише при досягненні насичення, але і при деяких інших умовах.

Такою умовою може бути, наприклад, досягнення сигналом непогодження або вихідною змінною деякого заданого значення. При вимиканні процесу інтегрування треба стежити, в якому стані на цей момент знаходиться інтегратор. Якщо він накопичує помилку і степінь насичення зростає, то інтегрування вимикають. Якщо ж у момент вимикання степінь насичення знижується, то інтегратор залишають увімкненим.

Якщо ПІ-регулятор реалізовувати за допомогою аперіодичної ланки в колі зворотного зв'язку, то доповнюючі цю схему обмежувачем, рис.5.16а,б,

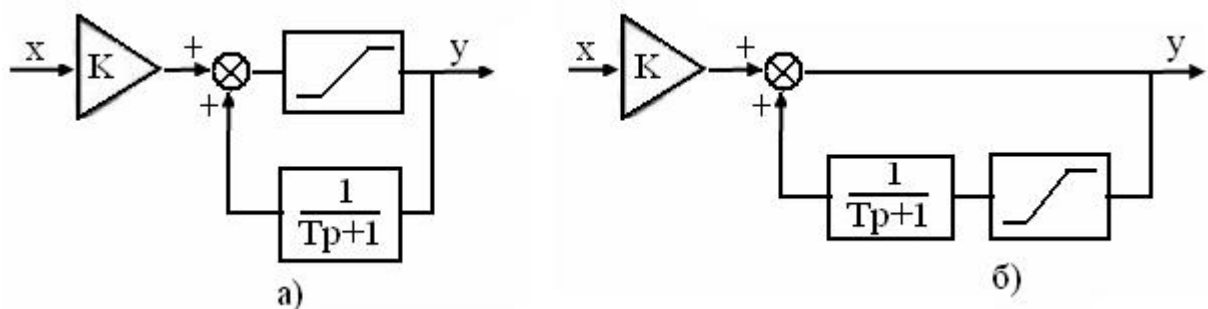


Рисунок 5.16 – Два варіанти використання обмеження в ПІ-регуляторі

можна отримати на виході сигнал y , який ніколи не вийде за межі, що встановлені порогоми обмежувача, а значить зменшиться викид на перехідній характеристиці системи[56].

5.4.1.3 Безударне перемикавання режимів регулювання

У ПІД-регуляторах можуть існувати режими, коли їх параметри змінюються стрибком. Наприклад, коли в працюючій системі вимагається змінити постійну інтегрування або коли після ручного управління системою необхідно перейти на автоматичний режим. В цих випадках можуть з'явитися небажані збільшення регульованої величини, якщо не прийняти спеціальних заходів. Тому виникає завдання плавного ("безударного") перемикавання режимів роботи або параметрів регулятора.

Основний метод розв'язання проблеми полягає в побудові такої структури регулятора, коли зміна параметра здійснюється до етапу інтегрування. Наприклад, при параметрі $T_i = T_i(t)$, що змінюється, інтегральну складову закону можна записати у двох формах:

$$y(t) = \frac{1}{T_i(t)} \int x(t) dt \quad \text{або} \quad y(t) = \int \frac{1}{T_i(t)} x(t) dt$$

У першому випадку при ступінчастій зміні $T_i(t)$ інтегральна складова змінюється стрибком, в іншому випадку плавно, оскільки $T_i(t)$ знаходиться під знаком інтеграла, значення якого не може змінюватися стрибком[56].

5.4.1.4 Дискретна форма регулятора

Неперервні змінні зручно використовувати для аналізу і синтезу ПІД-аналогових регуляторів. Проте, для мікропроцесорних регуляторів необхідно перейти до дискретної форми рівнянь, оскільки вони оперують зі змінними, що отримані з аналогових сигналів після їх квантування за часом і дискретизації за рівнем в аналогово-цифрових перетворювачах.

Внаслідок обмеженого часу обчислення керувального впливу в мікропроцесорі та затримки аналого-цифрового перетворення між моментом надходження аналогового сигналу на вхід регулятора і появою керувального діяння на його виході з'являється небажана затримка, яка збільшує загальну затримку в контурі регулювання і знижує запас стійкості. Основним ефектом, який з'являється при дискретизації і який часто "відкривають наново", є поява аліасних частот у спектрі квантованого сигналу у разі, коли частота квантування недостатньо велика. Реально аліасної перешкоди немає, вона з'являється тільки після дискретизації сигналу, тому її називають хибною. Частота аліасного сигналу дорівнює різниці між частотою перешкоди і частотою квантування. При цьому високочастотний сигнал перешкоди зміщується в низькочастотну область, де накладається на корисний сигнал і створює великі проблеми, оскільки відфільтрувати його на цій стадії неможливо.

Для усунення аліасного ефекту перед входом аналого-цифрового перетворювача необхідно встановити аналоговий фільтр, який би послабляв

перешкоду на частоті, яка дорівнює половині частоти квантування. Зазвичай використовують фільтр Баттерворта другого або вищого порядку. Іншим варіантом розв'язання проблеми є збільшення частоти квантування так, щоб вона, принаймні, в 2 рази (згідно з теоремою Котельникова) була вище за максимальну частоту спектра перешкоди. Це дозволяє застосовувати після квантування цифровий фільтр низких частот. При такій частоті дискретизації отриманий цифровий сигнал, з точки зору кількості інформації, повністю еквівалентний аналоговому, і усі властивості аналогового регулятора можна розповсюдити на цифровий.

Перехід до дискретних змінних в рівняннях аналогового регулятора виконується шляхом заміни похідних і інтегралів їх дискретними аналогами. Якщо рівняння записане в операторній формі, то спочатку виконують перехід з області зображень в область оригіналів. При цьому оператор диференціювання замінюють похідною, оператор інтегрування - інтегралом. Існує безліч способів апроксимації похідних і інтегралів їх дискретними аналогами, які викладені в курсах числових методів розв'язання диференціальних рівнянь. У ПД-регуляторах найбільш поширеними є прості види апроксимації похідної кінцевою різницею і інтеграла - кінцевою сумою.

Інтегральна складова ПД-регулятора описується рівнянням:

$$y(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t x(t) dt. \text{ Після диференціювання отримаємо: } \frac{dy}{dt} = \frac{1}{T_i} x(t).$$

Якщо замінити диференціал кінцевими різницями (лівими), то:

$$\frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta t} = \frac{1}{T_i} x_i.$$

В цьому рівнянні індекс i означає, що величина взята у момент часу t_i (індекс i в T_i це не номер часового кроку, а покажчик коефіцієнта інтегральної складової регулятора). З останнього рівняння випливає:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{\Delta t}{T_i} x_i$$

Таким чином, чергове значення інтеграла можна обчислити, знаючи попереднє і значення помилки x_i в попередній момент часу. Проте така формула має властивість накопичувати помилку обчислень з часом, якщо відношення $\Delta t/T_i$ недостатньо мало. Стійкіша інша формула інтегрування – з правими різницями, коли значення помилки береться в той самий момент часу, що і обчислюваний інтеграл:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{\Delta t}{T_i} x_{i+1}$$

Розглянемо диференціальну складову ПД-регулятора з фільтром:

$$y(p) = pT_d \left(\frac{1}{pT_d/N + 1} \right) x(p)$$

Після переходу від зображень до оригіналів, це рівняння має вигляд:

$$\frac{T_d dy}{Ndt} + y(t) = T_d \frac{dx}{dt}$$

Замінюючи диференціали кінцевими різницями, отримаємо вираз для обчислення наступного значення диференціала:

$$y_{i+1} = \left(1 - \frac{N\Delta t}{T_d}\right) y_i + N(x_{i+1} - x_i)$$

Для збіжності ітераційного процесу потрібне, щоб вираз в дужках був менше одиниці, тобто $\left[1 - \frac{N\Delta t}{T_d}\right] < 1$, тоді $\Delta t < 2 \frac{T_d}{N}$.

При $\Delta t > T_d/N$ ітераційний процес стає коливним, що неприпустимо для ПД-регулятора. Кращі характеристики має різницеве рівняння, що отримане при використанні правих різниць, :

$$y_{i+1} = \left(\frac{T_d}{T_d + N\Delta t}\right) y_i + \frac{NT_d}{T_d + N\Delta t} (x_{i+1} - x_i)$$

Тут умова збіжності виконується для усіх Δt , і ні при яких значеннях параметрів не виникає коливань. Крім того, остання формула дозволяє "вимкнути" диференціальну складову в ПД-регуляторі шляхом призначення $T_d=0$, чого не можна зробити у попередньому виразі, оскільки при цьому виникає ділення на нуль. Величина такту квантування Δt вибирається якомога меншою, це покращує якість регулювання. Для забезпечення хорошої якості регулювання такт не має бути більше ніж $1/15-1/6$ від часу досягнення перехідною характеристикою об'єкта рівня $0,95$ або $1/4-1/6$ від величини транспортного запізнювання. Проте при збільшенні частоти квантування більш ніж у 2 рази в порівнянні з верхньою частотою спектра обурюючих сигналів (за теоремою Котельникова) подальшого поліпшення якості регулювання не відбувається. Якщо на вході регулятора немає антиаліасного фільтра, то частоту квантування вибирають у 2 рази вище за верхню граничну частоту спектра перешкоди, щоб використовувати цифрову фільтрацію. Необхідно враховувати також, що виконавчий пристрій повинен встигнути відпрацювати за час Δt . Якщо регулятор використовується не лише для регулювання, а і для аварійної сигналізації, то такт квантування не може бути менше, ніж допустима затримка спрацьовування сигналу аварії. При малому такті квантування збільшується похибка обчислення похідної. Для її зниження можна використовувати згладжування отримуваних даних по декількох зібраних точках перед етапом диференціювання[56,57].

Використовуючи різницеві рівняння, що були приведені раніше, дискретну форму ПД-регулятора можна записати у вигляді:

$$y_{i+1} = Kx_i + y_i + \frac{\Delta t}{T_i} x_{i+1} + \left(\frac{T_d}{T_d + N\Delta t}\right) y_i + \frac{NT_d}{T_d + N\Delta t} (x_{i+1} - x_i)$$

де i - номер часового такту.

Для початку роботи алгоритму зазвичай вибирають $y_0 = 0, i_0 = 0, x_0 = 0$, проте можуть бути і інші початкові умови, залежно від конкретного завдання регулювання.

Алгоритм цифрового ПІД-регулятора можна отримати з класичного

рівнянні ПІД-закону:

$$y(t) = Kx(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t x dt + T_d \frac{dx}{dt} .$$

Для цього в ньому потрібно замінити оператори диференціювання і інтегрування кінцевими різницями і кінцевими сумами:

$$y_{i+1} = Kx_i + \frac{1}{T_i} \sum_{k=0}^i x_k \Delta t + T_d \frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta t} .$$

Проте, дана дискретна форма має погану стійкість і низьку точність при обчисленні вихідної величини. У той же час дослідження показали, що із зростанням частоти дискретизації відмінність між приведеними двома алгоритмами зникає. Тому останнє рівняння активно використовується при розрахунку вихідного сигналу в сучасних мікропроцесорних регуляторах, які здійснюють керування пропорційними виконавчими пристроями[56].

Досить часто при створенні цифрових ПІД-регуляторів використовують рівняння у вигляді прирощення керувального сигналу від помилки регулювання та її похідних, тобто без інтегральної складової закону (інкрементна форма). Таке зображення зручне, коли роль інтегратора виконує зовнішній пристрій, наприклад звичайний або кроковий двигун, кут повороту вала якого пропорційний значенню керувального сигналу і часу. Інкрементна форма ПІД-регулятора отримується шляхом диференціювання класичного рівняння ПІД-закону:

$$\Delta y(t) = K \frac{dx}{dt} + \frac{1}{T_i} x(t) + T_d \frac{d^2 x}{dt^2}$$

Для отримання ПІД-закону і нульової помилки регулювання на виході інкрементного регулятора повинен стояти інтегратор, рис.5.17:

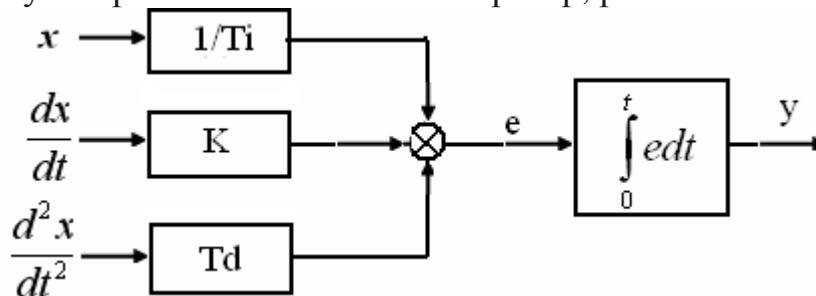


Рисунок 5.17 – Інкрементна форма ПІД-регулятора

Переходячи в попередньому виразі до кінцевих різниць, отримаємо дискретну форму інкрементного ПІД-регулятора :

$$\Delta y_{i+1} = \frac{1}{T_i} x_i + K \frac{\Delta x_i}{\Delta t} + T_d \frac{\Delta x_i^2}{\Delta t^2} ,$$

де $\Delta y_{i+1} = y_{i+1} - y_i$, $\Delta x_i = x_i - x_{i-1}$.

Інкрементна форма регулятора зручна для застосування в ПІД-контролерах, оскільки в ній основна частина обчислень виконується з прирощеннями, для представлення яких можна використовувати слово з малою кількістю двійкових розрядів. Для набуття значення керувального сигналу можна виконати накопичувальне підсумовування на фінальній стадії обчислень $y_{i+1} = y_i + \Delta y_{i+1}$.

Таким чином, якщо регулятор має здійснювати вплив на об'єкт, через виконавчий пристрій з інтегральними властивостями, наприклад виконавчий механізм сталої швидкості, то мікропроцесор обчислює вихідний сигнал за інкрементною формою ПІД-регулятора[56].

5.4.2 Будова мікропроцесорного ПІД-регулятора

Сучасний мікропроцесорний ПІД-регулятор, рис.5.18, конструктивно складається з:

- пристрою вводу інформації (аналого-цифровий перетворювач (АЦП) з комутатором);
- пристрою керування (мікропроцесор, постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП) з програмою, енергонезалежний оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП), в якому зберігаються параметри регулятора при вимкненому живленні);
- пристрою формування вихідних сигналів;
- пристрою з кнопками управління і конфігурування, а також індикаторами режимів роботи регулятора і стану вхідних-вихідних сигналів;
- вбудованого формувача сигналів інтерфейсу RS-232/485.

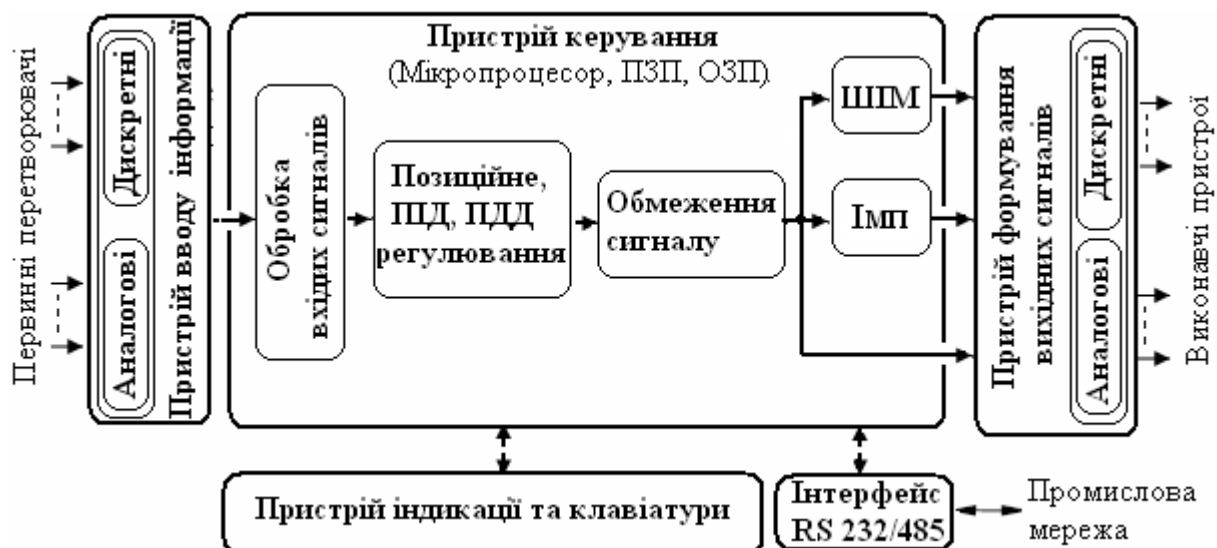


Рисунок 5.18 – Узагальнена схема цифрового регулятора

До складу каналу вимірювання і регулювання регулятора входять – пристрій вводу інформації, пристрій керування і пристрій формування вихідних сигналів. Пристрій вводу інформації – це пристрій, до якого приєднуються первинні прилади (термопары, термоперетворювачі опору, датчики з

уніфікованими вихідними сигналами), сигнали з яких перетворюються АЦП в цифровий код, що поступає у мікропроцесор пристрою керування.

У пристрої керування цифрове значення вимірюваної величини може бути піддане фільтрації (для зменшення впливу випадкових перешкод), корекції і масштабуванню. Мікропроцесор, працюючи за заданою програмою, формує керувальний сигнал, який при необхідності обмежується, і управляє станом вихідних пристроїв, обміном інформацією по інтерфейсу і так далі. Набуте значення відображається на вимірювальному індикаторі регулятора.

ПД-регулятор виконує порівняння виміряного значення параметра із заданою величиною (уставкою), обробляє сигнал непогодження між вимірним сигналом і уставкою і формує сигнал керування. Якщо використовується пропорційний виконавчий пристрій на вихід подається аналоговий сигнал, якщо здійснюється керування виконавчим механізмом з інтегральними властивостями аналоговий сигнал перетворюється на імпульсний і подається далі на ключовий пристрій формування дискретних вихідних сигналів. В якості ключа може використовуватися транзистор з відкритим колектором, транзисторна оптопара, симисторна оптопара або електромагнітне реле. Аналоговий вихідний пристрій, як правило, - це струмовий вихід або напруга.

Через вбудований інтерфейс RS-485 регулятор може спілкуватися з іншими приладами в АСУТП[58].

5.4.2.1 Пристрій вводу інформації

При створенні цифрових регуляторів розробники одразу визначають модифікації входів для підключення окремих груп датчиків, або створюють регулятори з універсальними входами, до яких можна підключити будь-які датчики. В обох випадках користувач визначає тип датчика при програмуванні прилада, виходячі з його можливостей.

Схеми приєднання датчиків до входу регуляторів, рис.5.19, залежать від особливостей їх роботи і необхідності отримання результатів вимірювання з якомога меншою похибкою.

Термоперетворювачі опору приєднуються за трипроводною схемою, яка забезпечує зменшення похибки вимірювання, коли змінюється опір проводів, що з'єднують термометр з регулятором, рис.5.19а. До одного з виводів терморезистора R_t приєднують два проводи, а третій підключається до іншого виводу R_t . При цьому необхідно забезпечити рівність опорів усіх трьох проводів.

Приєднання термодпар до приладу, рис.5.19б, відбувається за допомогою спеціальних компенсаційних проводів з урахуванням полярності. Щоб коливання температури навколишнього середовища не впливало на показання термодпари в модифікаціях входів, що призначені для роботи з термодпарами, передбачена схема автоматичної компенсації вільних кінців термодпари. В якості датчика температури «холодного спаю» використовується напівпровідниковий діод, що знаходиться поряд з приєднувальною клемником. Лінія сполучення датчика з регулятором повинна бути екранованою, щоб уникнути впливу перешкод на вимірювальну частину регулятора.

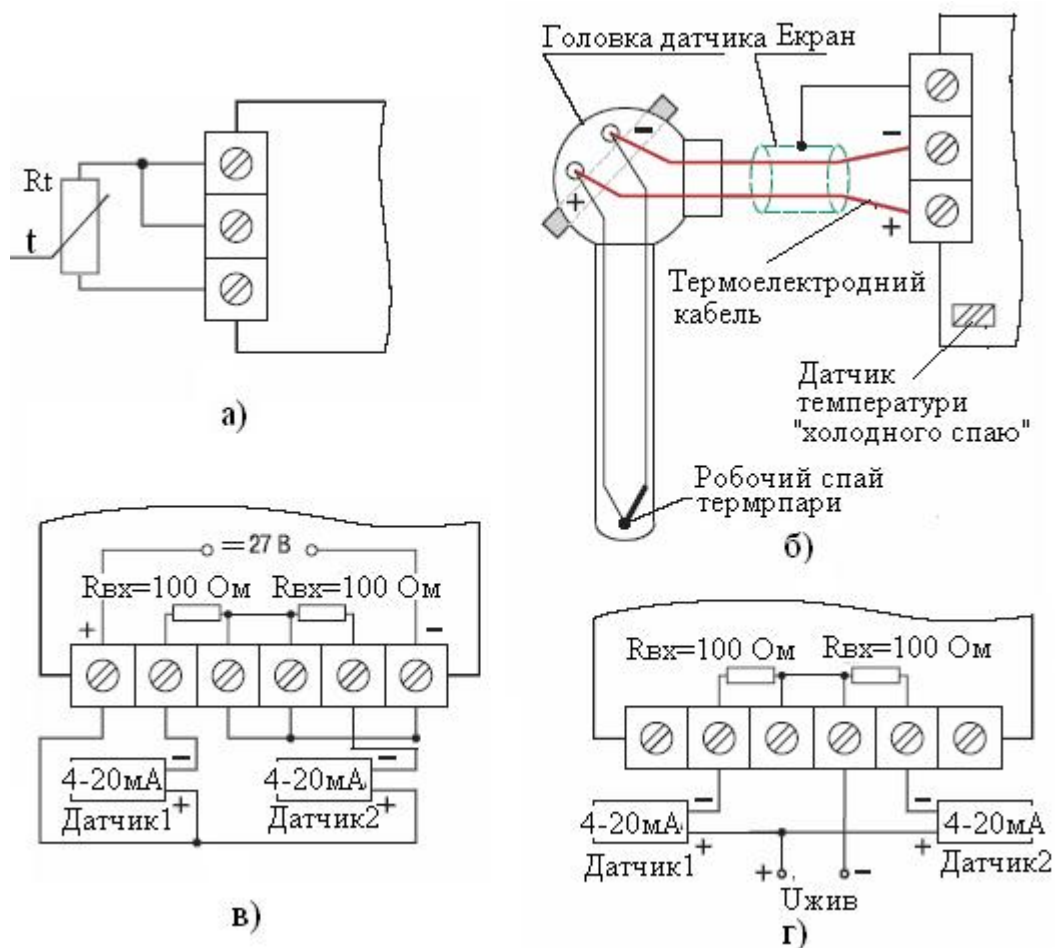


Рисунок 5.19 – Приєднання датчиків до регулятора

Багато сучасних датчиків різних фізичних величин мають нормувальні вимірювальні перетворювачі, які перетворюють сигнали з термопар, термометрів опору, манометрів, витратомірів та інших первинних приладів в уніфікований сигнал постійного струму або напруги з діапазонами 0-20мА, 4-20мА, 0-5мА або 0-1В. Схеми підключення датчиків з уніфікованим вихідним сигналом 4-20мА приведені на рис.5.19в (з вбудованим у регуляторі джерелом живлення) та на рис.5.19г (із зовнішнім живленням)[59].

На початку кожного циклу вимірювань вхідний сигнал регулятора подається на аналогово-цифровий перетворювач, який призначено для перетворення вхідних аналогових сигналів від різних типів датчиків в цифровий код і передачі його в мікропроцесорний блок управління. Існує декілька типів архітектури цих перетворювачів. Проте АЦП послідовного наближення, який також називається АЦП з порозрядним зрівноваженням, є найбільш поширеним варіантом в різноманітних вимірювальних приладах, системах збору даних і управління.

На рис.5.20а показана спрощена блок-схема АЦП з порозрядним зрівноваженням, в основі якої лежить спеціальний регістр послідовного наближення.

На початку циклу перетворення усі виходи цього регістра встановлюються в логічний 0, за винятком першого (старшого) розряду. Це

формує на виході внутрішнього цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) сигнал, значення якого дорівнює половині діапазону вхідного сигналу АЦП.

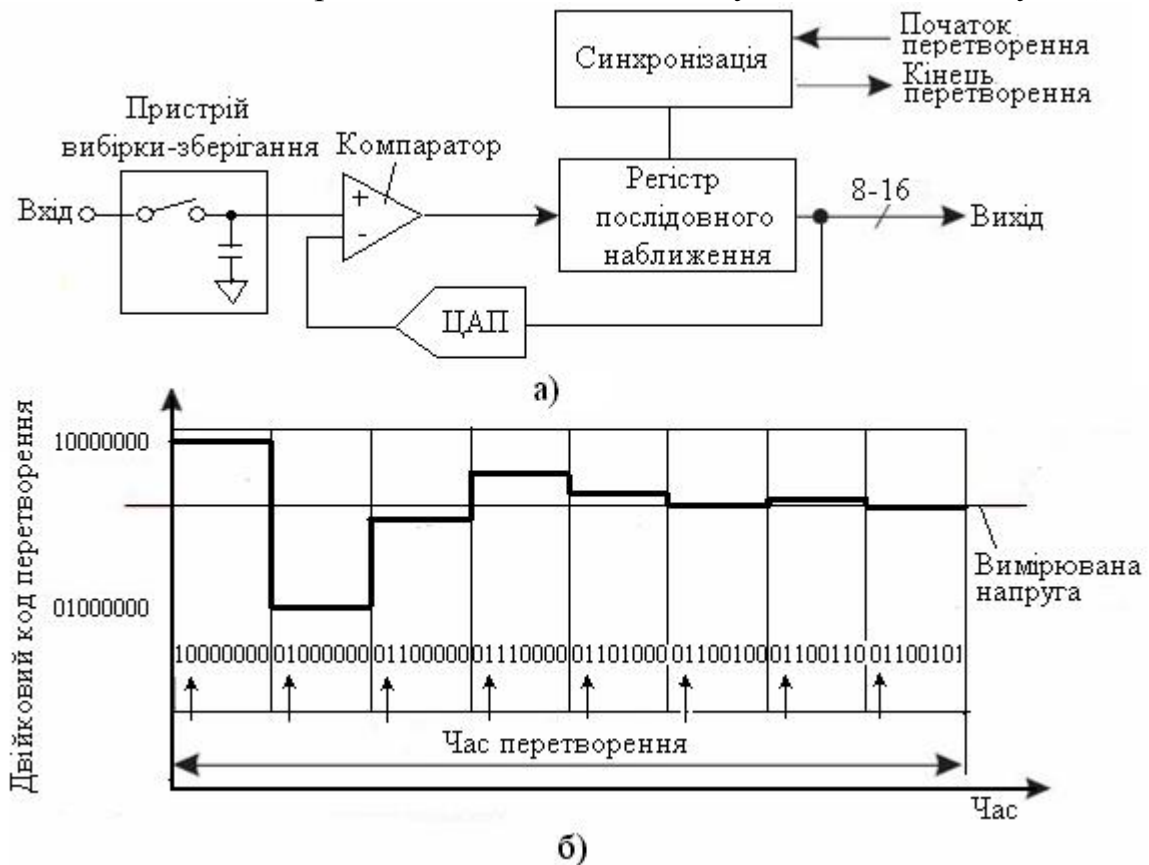


Рисунок 5.20 – Блок-схема (а) та перетворення (б) в АЦП послідовного наближення

Отримане на виході ЦАП значення порівнюється в компараторі з вхідним аналоговим сигналом і залежно від знаку отриманого результату на виході компаратора з'являється логічний нуль або одиниця. Наприклад, для 8-розрядного АЦП послідовного наближення, рис.5.20б, виходи регістра встановлюються в "10000000". Якщо вхідна напруга менше половини вхідного діапазону АЦП, тоді вихід компаратора набуває значення логічного 0. Це дає регістру команду послідовного наближення перемкнути свої виходи в стан "01000000", що, відповідно, призведе до зміни вихідної напруги з ЦАП. Якщо при цьому вихід компаратора як і раніше залишався б в "0", то виходи регістра перемкнулися б в стан "00100000". Але на цьому такті перетворення вихідна напруга ЦАП менша, ніж вхідна напруга, рис.5.20б, і компаратор перемикається в стан логічної 1. Це змушує регістр послідовного наближення зберегти "1" в другому розряді і подати "1" на третій розряд. Описаний алгоритм роботи потім знову повторюється до останнього розряду. Таким чином, для АЦП послідовного наближення потрібен один внутрішній такт перетворення для кожного розряду, або N тактів для N -розрядного перетворення.

АЦП послідовного наближення мають високу швидкість і хороше розрішення. Проте за відсутності пристрою вибірки-зберігання похибка

перетворення значно більше. Пов'язане це з тим, що після оцифрування найбільшого розряду сигнал може почати змінюватися. Крім того при роботі без пристрою вибірки-зберігання час перетворення, залежить від величини вхідного сигналу, тобто являється змінним. Тому для ефективного використання АЦП послідовного наближення, між його входом і джерелом перетворюваного сигналу слід встановити пристрій вибірки-зберігання[60].

5.4.2.2 Пристрій керування

Пристрій керування містить мікропроцесор, постійний запам'ятовуючий пристрій з програмним забезпеченням і енергонезалежний запам'ятовуючий пристрій, в якому зберігаються параметри регулятора коли напруги живлення немає. У процесі роботи він здійснює обробку цифрового коду у відповідне значення вимірюваної величини, виведення поточного значення вимірюваної величини або значень уставок на індикатори, реалізацію процесів позиційного/ПД/ПДД/ручного регулювання, а також опитування клавіатури, управління процесами взаємодії між пристроями регулятора та управління модулем інтерфейсів RS 232/485.

Протягом обробки цифрового коду, у загальному випадку, відбувається:

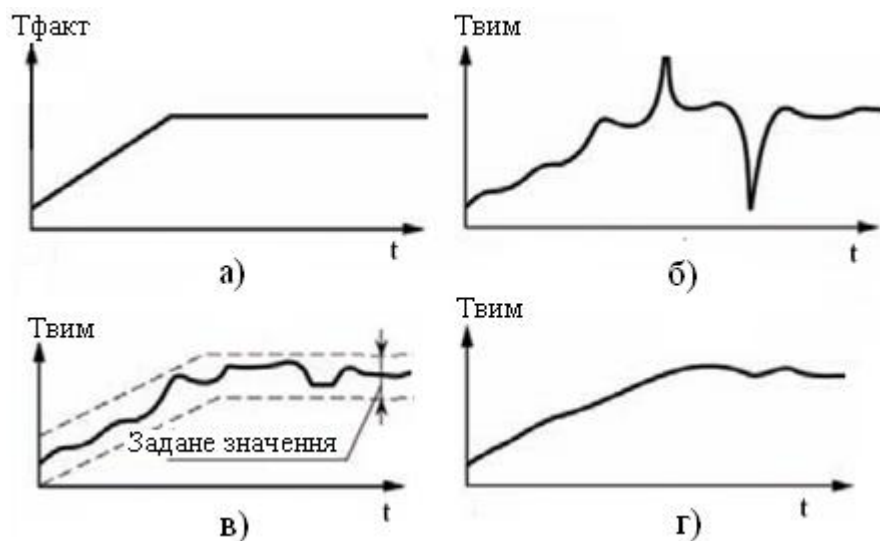
- перетворення цифрового коду відповідно до номінальної статичної характеристики первинного перетворювача; для вхідних уніфікованих сигналів – лінійне перетворення, перетворення за квадратичним законом або з добуванням квадратного кореня;
- поліноміальне або кусково-лінійне перетворення у разі застосування нестандартних первинних перетворювачів;
- цифрова фільтрація для заглушування коливань у показаннях приладу за наявності підвищеного рівня шумів на вході;
- корекція нуля і/або нахил характеристики для усунення початкової похибки перетворення вхідних сигналів.

За результатами обробки виміряні значення фізичних величин висвічуються на індикаторах.

У системах автоматичного регулювання сигнали від термометрів опору і термопар подаються на вхід регулятора, де вони після перетворення у цифровий код обробляються у пристрої керування відповідно до їх номінальної статичної характеристики в значення температури. При роботі з уніфікованими сигналами інших датчиків (напруга або струм) вихідний сигнал перетворюється в значення вимірюваного технологічного параметра.

Для послаблення впливу зовнішніх імпульсних перешкод на експлуатаційні характеристики регуляторів здійснюється цифрова фільтрація результатів вимірювання. Зазвичай фільтрація проводиться у два етапи, рис.5.21. На першому етапі з поточних результатів вимірювання вхідних параметрів фільтруються значення, що мають явно виражені "провали" або "викиди". Для цього обчислюється різниця між результатами вимірювання вхідної величини, зроблених у двох останніх циклах опитування, і

порівнюється із заданим значенням, так звану «смугою фільтра». Якщо отримана різниця перевищує задану межу, то здійснюється повторне вимірювання. У разі перешкоди цей факт підтвердиться повторним вимірюванням і помилковий результат анулюється. Такий алгоритм дозволяє захистити регулятор від дії одиничних імпульсних і комутаційних перешкод, що виникають на виробництві при роботі силового устаткування. Чим більше значення «смуги фільтра», тим краще перешкодозахищеність вимірювального каналу, але при цьому (із-за можливих повторних вимірювань) гірше реакція приладу на швидку фактичну зміну вхідного параметра. Тому при завданні «смуги фільтра» потрібно враховувати максимальну швидкість зміни контрольованої величини.



а) – контрольована температура, б) – фільтри вимкнені, в) – після 1-го етапу фільтрації, г) – після 2-го етапу фільтрації

Рисунок 5.21 – Часові діаграми роботи фільтрів

На другому етапі фільтрації здійснюється згладжування (демпфірування) сигналу з метою усунення шумових складових. Основною характеристикою згладжувального фільтра є постійна часу - інтервал, протягом якого сигнал досягає 0,63 від значення кожного вимірювання. Велике значення постійної часу фільтра призводить до уповільнення реакції приладу на зміну вхідної величини, але перешкоди при цьому значно заглушуються. Малі значення постійної часу фільтра дозволяють досить точно відстежувати зміни вхідної величини, але рівень перешкод практично не зменшується.

Для усунення початкової похибки перетворення вхідних сигналів і похибок, що вносяться сполучними проводами, виміряні і відфільтровані приладом значення можуть бути відкориговані. Зазвичай застосовуються два типи корекції, за допомогою яких можна здійснювати зсув і зміну нахилу вимірювальної характеристики.

Зсув характеристики здійснюється шляхом додавання до виміряної величини заданого значення.

Значення зсуву характеристики датчика задається в одиницях виміру фізичної величини і служить для усунення впливу початкової похибки

первинного перетворювача (наприклад, значення R_0 у термометрах опору), рис.5.22а.

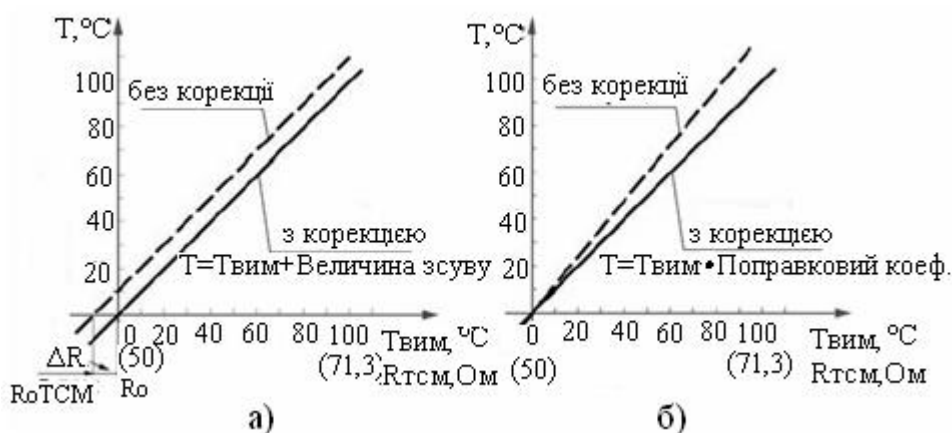


Рисунок 5.22 – Корекція «Зсув характеристики» (а) і «Нахил характеристики» (б)

Зміна нахилу характеристики здійснюється шляхом множення вимірної величини на поправковий коефіцієнт, рис.5.22б. Цей вид корекції може бути використаний для компенсації похибок самих датчиків (наприклад, при відхиленні у термометрів опору коефіцієнта температурного розширення від стандартного значення) або похибок, пов'язаних з розкидом опорів шунтуючих резисторів (при роботі з перетворювачами, вихідним сигналом яких є струм).

Визначити необхідність введення поправкового коефіцієнта можна, якщо виміряти максимальне або близьке до нього значення параметра, де відхилення нахилу вимірювальної характеристики найпомітніше.

Після перетворення, обробки і фільтрації вимірний сигнал відображається на вимірювальному індикаторі регулятора.

При реалізації двопозиційного регулювання пристрій керування порівнює значення вхідної величини з уставками і видає керувальний сигнал на вихідний пристрій відповідно до заданої логіки. Вихідний сигнал може мати тільки два значення – максимальне та мінімальне. Одне з них вмикає, а інше вимикає вихідний пристрій. Тому для роботи в режимі двопозиційного регулятора потрібен вихідний пристрій ключового типу (реле, транзисторна оптопара або оптосимистр). Тип логіки у двопозиційного регулятора може бути – прямий гістерезис(1), протилежний гістерезис(2), П-подібний(3) та U-подібний(4), рис.5.23.

Прямий гістерезис(1) застосовується у випадках використання приладу для керування роботою нагрівача (наприклад, ТЕНу) або сигналізації про те, що значення поточного параметра T менше уставки $T_{\text{уст}}$. При цьому вихідний пристрій, що приєднаний до пристрою керування, спочатку вмикається при значеннях $T < T_{\text{уст}} - \Delta$, вимикається при $T > T_{\text{уст}} + \Delta$ і знову вмикається при $T < T_{\text{уст}} - \Delta$, забезпечуючи двопозиційне регулювання температури об'єкта по уставці $T_{\text{уст}}$ з гістерезисом $\pm \Delta$.

Протилежний гістерезис(2) застосовується у випадках використання приладу для керування роботою «холодильника» (наприклад, вентилятора) або

сигналізації про перевищення значення уставки. При цьому вихідний пристрій спочатку вмикається при значеннях $T > T_{уст} + \Delta$, вимикається при $T < T_{уст} - \Delta$ і знову вмикається при $T > T_{уст} + \Delta$, також здійснюючі двопозиційне регулювання.

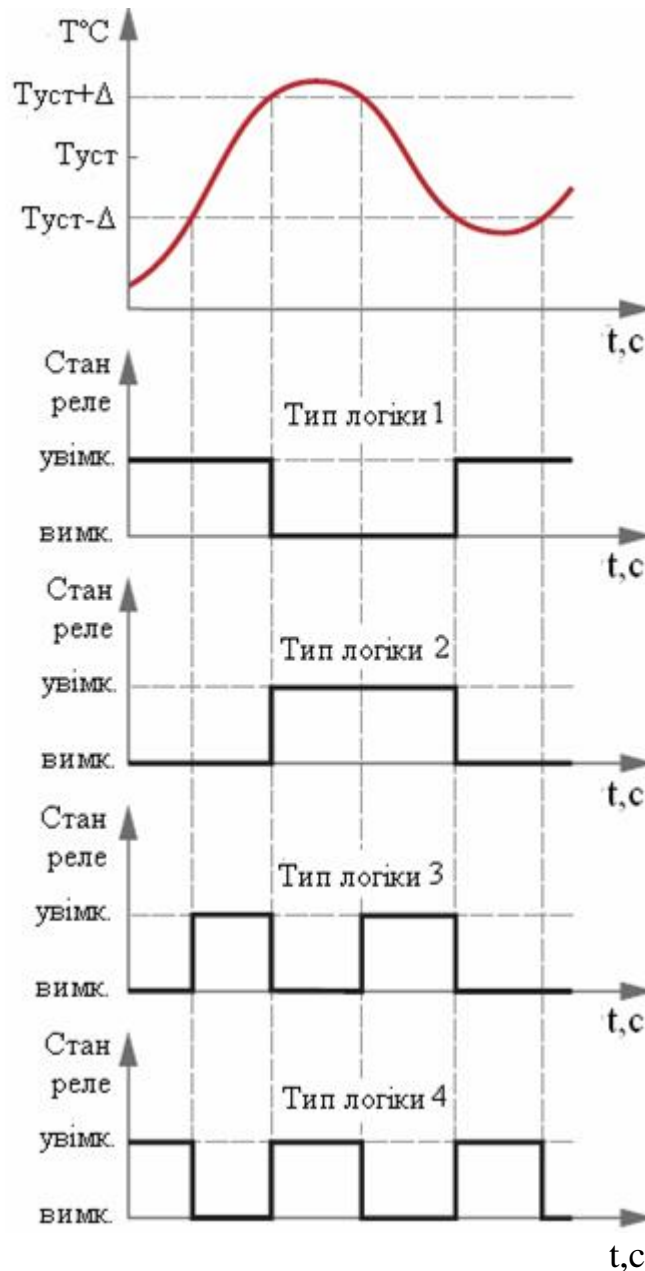


Рисунок – 5.23 Типи логіки у двопозиційного регулятора

П-подібний тип логіки(3) застосовується при використанні приладу для сигналізації про вхід контрольованої величини в задані межі. При цьому вихідний пристрій вмикається при $T_{уст} - \Delta < T < T_{уст} + \Delta$.

U-подібний тип логіки(4) застосовується при використанні приладу для сигналізації про вихід контрольованої величини за задані межі. При цьому вихідний пристрій вмикається при $T < T_{уст} - \Delta$ і $T > T_{уст} + \Delta$.

При реалізації позиційного закону регулювання, наприклад температури, на нагрівач подається повна потужність поки температура не досягне заданого значення, після чого подача потужності припиняється. Незважаючи на це,

розігрітий нагрівач продовжує віддавати тепло і температура об'єкта продовжує наростати, що призводить до перегрівання, іноді значного. При наступному охолодженні об'єкта, після досягнення заданого значення температури, на нагрівач знову подається повна потужність. Нагрівач спочатку розігріває себе, потім навколишнє середовище, і, таким чином, охолодження триватиме до тих пір, поки хвиля тепла не досягне датчика температури. Отже, реальна температура може виявитися значно нижче заданого значення. Таким чином, при позиційному законі регулювання спостерігаються значні коливання температури біля заданого значення[59].

Пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор – найбільш ефективний та розповсюджений вид регулятора, який забезпечує достатньо високу точність при керуванні різними процесами. ПІД-регулятор формує вихідний сигнал, який розраховується за наступною формулою:

$$Y_i = K_p \cdot \left[E_i + \frac{1}{T_{iz}} \sum_{i=0}^n E_i \cdot \Delta t_{вим} + T_{ен} \cdot \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{вим}} \right] \cdot 100\% ,$$

де K_p - коефіцієнт пропорційності, E_i - відхилення (непогодження), T_{iz} - стала часу ізодрома, $\Delta t_{вим}$ -- час поміж двох сусідніх вимірів t_i та t_{i-1} , $T_{ен}$ - стала часу випередження, ΔE_i - різниця між двома сусідніми вимірами E_i та E_{i-1} ;

$\sum_{i=0}^n E_i$ – накопичена (інтегральна) сума непогоджень в i -тий момент часу.

Відповідно до формули, сигнал керування є сумою трьох складових – пропорційної (1-й доданок), інтегральної (2-й доданок), диференціальної (3-й доданок).

Пропорційна складова залежить від непогодження E_i і миттєво реагує на помилку регулювання.

Інтегральна складова містить в собі накопичену помилку регулювання, яка є додатковим джерелом потужності і дозволяє добитися максимальної швидкості досягнення уставки при відсутності перерегулювання.

Диференціальна складова залежить від швидкості зміни параметра $\Delta E_i / \Delta t_{вим}$, яка спричиняє реакцію регулятора на різку зміну вимірюваного параметра, наприклад, під впливом зовнішнього збурення.

Залежно від виконавчого пристрою, з яким працює ПІД-регулятор, у пристрої керування вихідний сигнал формується по різному. Якщо регулятор працює з пропорційним виконавчим пристроєм (позиціонером), його вихідний сигнал має бути аналоговим. У режимі аналогового регулятора пристрій керування визначає відхилення поточного значення контрольованої величини від заданої уставки (тобто непогодження) і розраховує сигнал керування відповідно до наведеного вище рівняння. За допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), керувальний цифровий код перетворюється у пропорційний йому аналоговий сигнал. Цей сигнал у вигляді струму або напруги подається на аналоговий вихід регулятора і далі на пропорційний виконавчий пристрій, який впливає на об'єкт автоматизації у бік зменшення непогодження на вході регулятора.

Якщо регулятор працює з нагрівачем або з холодильником, це означає, що керувальний вплив на виконавчий пристрій має відбуватися тільки в один бік. У цьому випадку реалізується ПІД-ШІМ-закон, тому розрахований керувальний сигнал за допомогою широтно-імпульсної модуляції перетворюється у послідовність імпульсів з тривалістю $T_{имп}$, яка при постійному періоді їх прямування пропорційна значенню сигналу керування у момент початку широтно-імпульсної модуляції.

$$T_{имп} = Y \cdot \frac{T}{100\%},$$

де $T_{имп}$ – тривалість імпульсу, с; T – період прямування імпульсів, с; Y – вихідний аналоговий сигнал регулятора.

При зміні шпаруватості (відношення тривалості періоду до тривалості імпульсу) під впливом величини вихідного аналогового сигналу плавно змінюється середня напруга на виході регулятора.

При використанні ПІД-регулятора з вихідним пристроєм ключового типу (електромагнітне реле, транзисторна або симисторна оптопара) необхідно правильно вибрати період керувальних імпульсів. Чим менше період імпульсів тим швидше реакція регулятора на зовнішнє обурення. В ідеалі частота імпульсів управління повинна співпадати з частотою опитування датчика. Проте занадто часте спрацювання може привести до швидкого зносу силових контактів.

В процесі роботи регулятора реалізується один з методів керування об'єктом – прямий або зворотний. При прямому керуванні значення вихідного сигналу $Y(t)$ збільшується, коли значення вимірюваної величини зростає (холодильник). При зворотному керуванні значення вихідного сигналу збільшується при зменшенні значення вимірюваної величини (нагрівач).

При ПІД-ШІМ-регулюванні, яке використовується при роботі регулятора з нагрівачем і холодильником одночасно, виміряне значення порівнюється з уставкою регулятора. Коли є непогодження цих сигналів обчислюється величина керувального діяння на об'єкт автоматизації. Сигнал керування перетворюється відповідним ШІМ-модулятором в послідовність імпульсів певної тривалості і подається на один з двох дискретних виходів, які керують нагрівачем або холодильником. Широтно-імпульсна модуляція може бути реалізована на усіх типах виходів – реле, транзисторном і симисторном.

При роботі приладу в режимі ПІ-регулятора, рис.5.24а, величина вихідного сигналу Y_i залежить від величини непогодження E та від суми попередніх непогоджень:

$$Y_i = K_p \cdot \left[E_i + \frac{1}{T_{ІІ}} \sum_{i=0}^n E_i \cdot \Delta t_{ШІМ} \right] \cdot 100\%,$$

Спочатку, коли немає відхилення ($E_i=0$) немає і вихідного сигналу ($Y_i=0$). З появою відхилення E_i з'являються імпульси, тривалість яких з часом збільшується. Імпульси складаються з дії пропорційної складової, яка залежить від величини E (не заштрихована частка імпульсів) та з дії інтегральної складової (заштрихована частка). Збільшення тривалості імпульсів відбувається

за рахунок росту дії інтегральної складової, яка залежить від непогодження E_i і коефіцієнта $T_{із}$.

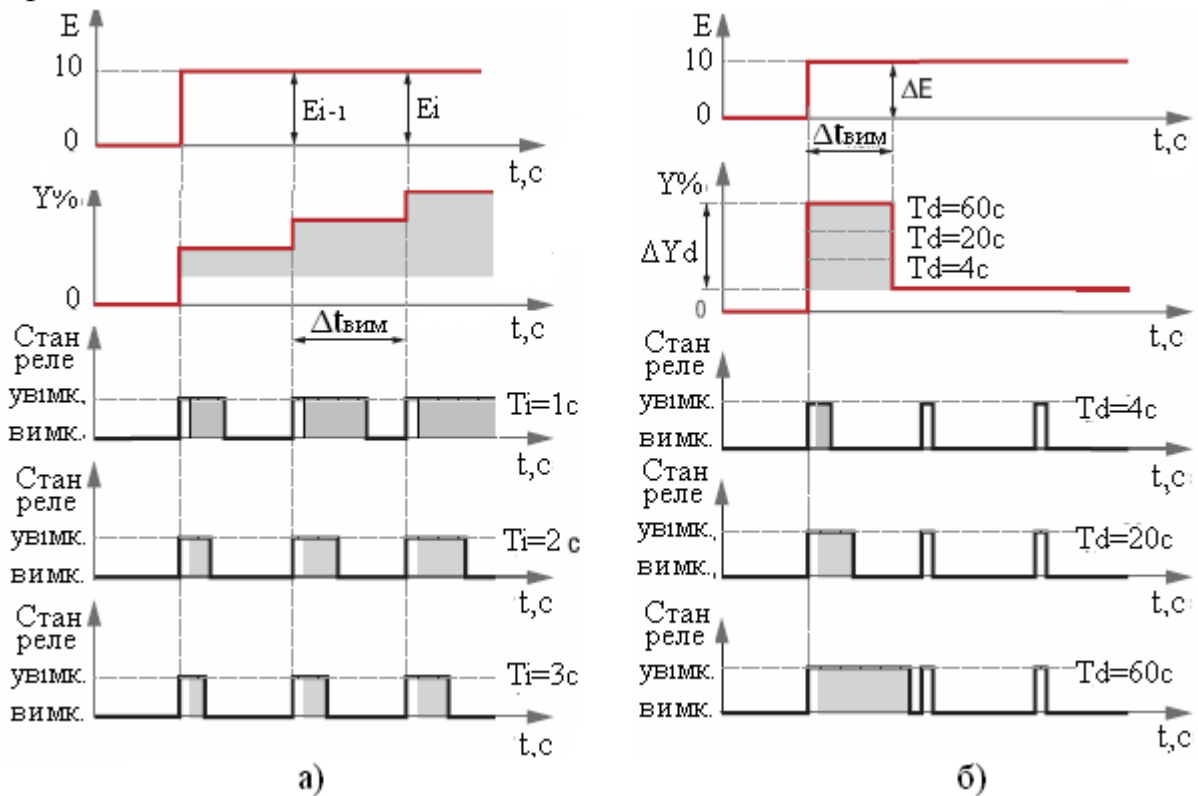


Рисунок 5.24– Вихідний сигнал ПІ- (а) та ПД-регулятора (б) і тривалість керувальних імпульсів при різних значеннях $T_{із}$ та $E=10$

При роботі приладу в режимі ПД-регулятора, рис.5.24б, величина вихідного сигналу Y_i залежить не тільки від величини відхилення E_i , а і від швидкості її зміни:

$$Y_i = K_p \cdot \left[E_i + T_{ен} \cdot \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{вим}} \right] \cdot 100\% ,$$

В перший період після ступінчастої зміни E_i регулятор видає керувальний імпульс, в якому, окрім пропорційної складової, яка діє під впливом непогодження E_i , додається диференціальна (заштрихована часка) ΔY_d , яка залежить від величини ΔE_i і коефіцієнта $T_{ен}$. В наступних імпульсах присутня тільки пропорційна складова, оскільки не змінюється E_i .

Якщо регулятор впливає на об'єкт автоматизації за допомогою виконавчого механізму сталої швидкості, який має інтегральні властивості, керувальний пристрій розраховує вихідний сигнал за дискретною формою інкрементного ПІД-регулятора, реалізуючі ПІДД-закон:

$$Y_i = \frac{1}{T_i} E_i + K \frac{\Delta E_i}{\Delta t} + T_d \frac{\Delta E_i^2}{\Delta t^2} .$$

Після цього алгоритм ШІМ-модуляції перетворює сигнал управління в послідовність імпульсів із заданим періодом $T_{шім}$.

Алгоритми ШІМ-модуляції при ПДД- і ПДД-регулюванні співпадають. ШІМ-послідовність керуючих імпульсів формується однаково і поступає на один з дискретних виходів приладу, призначеному для впливу на об'єкт регулювання у бік "збільшення" (наприклад, відкриття клапана/заслінки, або увімкнення ТЕНу). При негативному значенні керувального сигналу, ШІМ-послідовність імпульсів формується так само, як і у разі позитивного за знаком керувального сигналу, але подається на інший з дискретних виходів, який призначений для впливу на об'єкт регулювання у бік "зменшення" (наприклад, закриття клапана/заслінки або увімкнення холодильника)[59].

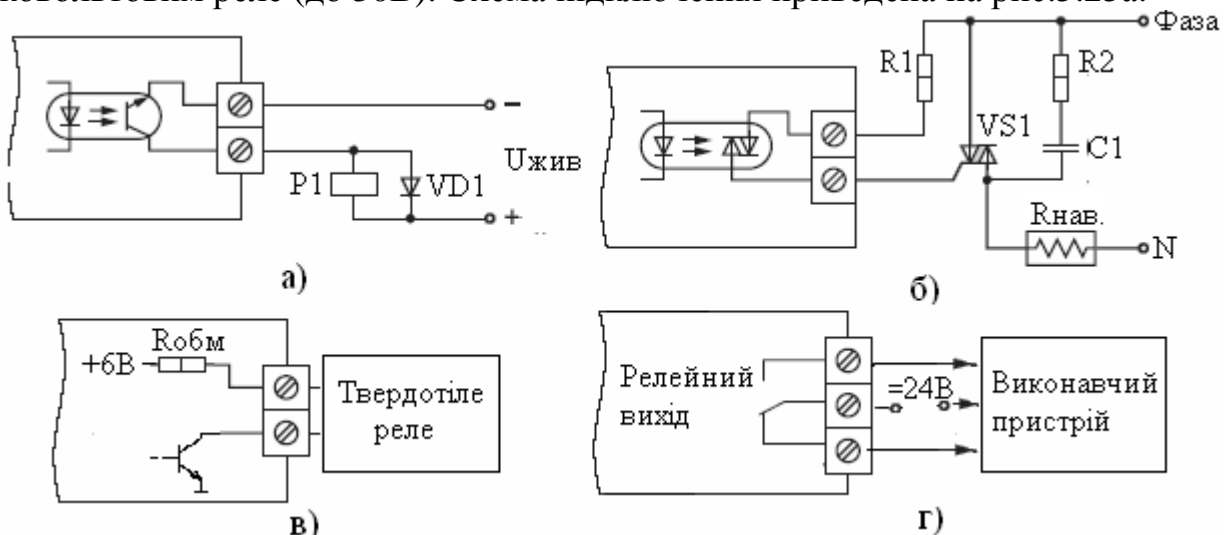
5.4.2.3 Пристрій формування вихідних сигналів

Пристрої формування вихідних сигналів призначені для передачі керувального сигналу на виконавчі механізми або для передачі даних на реєструючі пристрої. Існують вихідні пристрої ключового і аналогового типів.

Вихідний пристрій ключового типу використовується для управління (вмикання/вимикання) навантаженням безпосередньо, або через потужні керувальні елементи, такі як пускачі і твердотіле реле. До вихідних пристроїв ключового типу відносяться:

- транзисторна оптопара;
- симисторна оптопара;
- транзистор з відкритим колектором;
- електромагнітне реле.

Транзисторна оптопара використовується, як правило, для управління низковольтним реле (до 30В). Схема підключення приведена на рис.5.25а.



а-транзисторна оптопара; б-симисторна оптопара; в-транзистор з відкритим колектором; г-електромагнітне реле

Рисунок 5.25 – Схеми підключення вихідних пристроїв ключового типу

Щоб великий струм самоіндукції не пошкодив транзистор, паралельно обмотці реле P1 підключено діод VD1, що розрахований на напругу 100В і струм 1А.

Оптосимистр вмикається в коло управління потужним симистором через обмежувальний резистор R_1 за схемою, що наведена на рис.5.25б. Величина опору резистора визначає величину струму, що управляє симистором.

Оптосимистр також може управляти двома увімкненими паралельно на зустріч тиристорами VS_1 і VS_2 . Щоб уникнути пробоя тиристорів від високовольтних стрибків напруги в мережі, до їх виводів підключено фільтрувальне RC -коло (R_2-C_1).

Транзисторна оптопара і оптосимистр мають гальванічну розв'язку зі схемою приладу.

Транзистор з відкритим колектором, що керує твердотільним реле, рис.5.24в, не має внутрішньої гальванічної ізоляції. Гальванічну розв'язку приладу і підключеного до нього виконавчого механізму забезпечує само твердотільне реле. В середині вихідного елемента встановлено обмежувальний резистор $R_{обм}$ номіналом 100 Ом.

Електромагнітне реле має на виході перемикальний контакт, який забезпечує пасивне керування виконавчим пристроєм. Якщо керування потрібно реалізувати активним сигналом, на виході регулятора послідовно з виконавчим пристроєм вмикають джерело живлення, рис.5.25г.

Вихідний пристрій аналогового типу – це, як правило, цифро-аналоговий перетворювач, який формує струмову петлю 4-20мА на активному навантаженні 0-1000Ом, рис.5.26. Такий пристрій завжди має гальванічну розв'язку від схеми приладу.

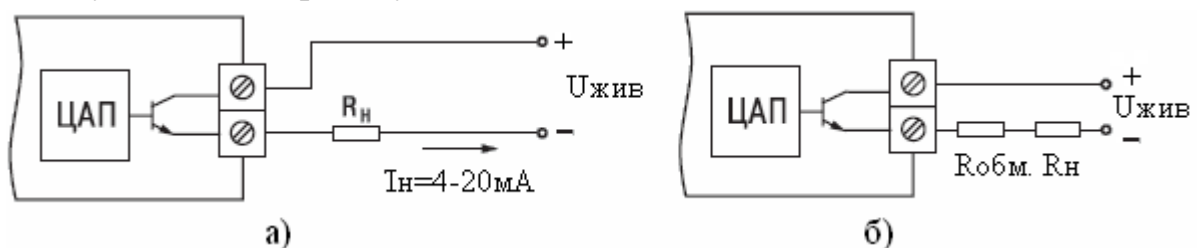


Рисунок 5.26– Схеми підключення навантаження до виходу аналогового типу

Для роботи аналогового виходу використовується зовнішнє джерело живлення постійного струму, рис.5.26а. Якщо напруга живлення цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) перевищує розраховане значення, то необхідно послідовно з навантаженням увімкнути обмежувальний резистор $R_{обм}$, рис.5.25б[59].

ЦАП - це пристрій для перетворення цифрового коду в аналоговий сигнал за величиною, пропорційною значенню коду. ЦАП застосовуються для зв'язку цифрових систем з пристроями, які управляються рівнем аналогового сигналу.

Цифро-аналоговий перетворювач можна реалізувати за допомогою підсумовування струмів, підсумовування напруги і ділення напруги. У зв'язку зі складністю практичної реалізації двох останніх способів, на практиці використовується ЦАП, робота якого базується на методі паралельного підсумовування струмів, рис.5.27а.

ЦАП складається з набору резисторів R і набору ключів K . Причому кількість ключів дорівнює кількості розрядів цифрового коду. Опорна напруга, що подається в схему, послідовно ділиться на резистивній матриці $R-2R$. В результаті струм в кожній наступній паралельній гілці менше ніж у попередній у два рази.

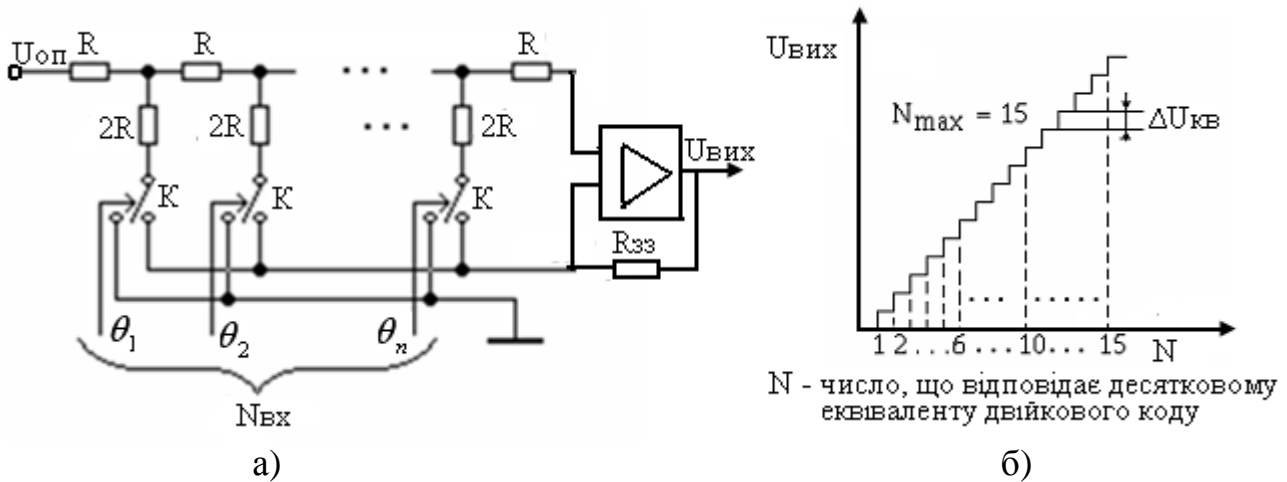


Рисунок 5.27 – Цифро-аналоговий перетворювач та діаграма вихідної напруги

Коли на ключі надходить цифровий код $N_{вх}$, вони замикаються залежно від значення розрядів θ на їх вході. При нульовому розряді вхідного коду, струми, що проходять через ключі, замикаються на землю, а при одиничному – на вихідний підсилювач, де вони підсумовуються. В результаті напруга на виході підсилювача пропорційна значенню вхідного коду $N_{вх}$.

Величина сигналу, що відповідає одній одиниці цифрової інформації, називається кроком квантування $\Delta U_{кв}$. При подачі на вхід ЦАП послідовної цифрової комбінації, що змінюється від 0 до N , на його виході з'явиться ступінчасто-наростаюча напруга, рис.5.27б Висота кожного уступу відповідає одному кроку квантування $U\Delta_{кв}$.

Якщо число вхідної кодової комбінації відповідає N , то вихідна напруга ЦАП дорівнює $U_{вих} = N \cdot \Delta U_{кв}$. Крок квантування $\Delta U_{кв}$ фактично є масштабним коефіцієнтом перетворювача. Зазвичай, значення $\Delta U_{кв}$ вибирають кратним десяти, що полегшує процес перерахунку відповідності перетвореного і початкового сигналів. Точність перетворення залежить від розрядності ЦАП. Теоретично, розрядність ЦАП можна підвищувати до безкінечності, але на практиці в переважній більшості випадків вистачає восьми розрядів[60].

5.4.2.4 Пристрій індикації і клавіатури та інтерфейс сполучення

Особливістю цифрових регуляторів є здатність працювати з будь-якими датчиками, виконавчими пристроями і реалізовувати системи автоматичного регулювання практично на будь-яких технологічних об'єктах. Досягається це за рахунок того, що завдяки наявності в ПЗП необхідних функцій і алгоритмів, регулятор можна програмно настроїти на будь-який уніфікований вхідний сигнал, вибрати необхідний алгоритм управління і настроїти прилад на

задану якість регулювання. Для цієї мети на лицевій панелі регуляторів розташовані дисплей, світлодіоди і клавіші, за допомогою яких виконується конфігурування приладу, контроль за регульованими і приладовими параметрами, управління технологічним процесом. Зазвичай регулятори мають робочий режим і режим програмування, а тому деякі клавіші і дисплеї мають подвійне призначення. Дисплеї відображають номер каналу регулювання, значення контрольованого параметра, заданої величини регулювання, вихідного сигналу регулятора або іншого вибраного параметра. Світлодіодні індикатори сигналізують про вихід параметрів за встановлені межі, роботу регулятора в ручному або автоматичному режимі, передачу даних по інтерфейсному каналу. За допомогою клавіш здійснюється виклик меню і переведення регулятора в необхідний режим роботи, вибирається номер контура регулювання, виконуються процедури конфігурування, запускається процес автонастроювання регулятора, виводиться на дисплей значення заданої уставки регулювання, змінюється її величина, здійснюється ручне керування та ін.

Окрім лицевої панелі цифрові регулятори мають інтерфейс сполучення, який забезпечує дистанційну роботу з ними у промисловій мережі, яка створюється за стандартом RS-485. У такій мережі можна використовувати EOM, до 32 приладів і вести передачу даних на відстань до 1200 м.

Усі регулятори в мережі з'єднуються в послідовну шину через відповідні порти, а персональний комп'ютер – за допомогою адаптера RS-485/RS232, рис.5.28.

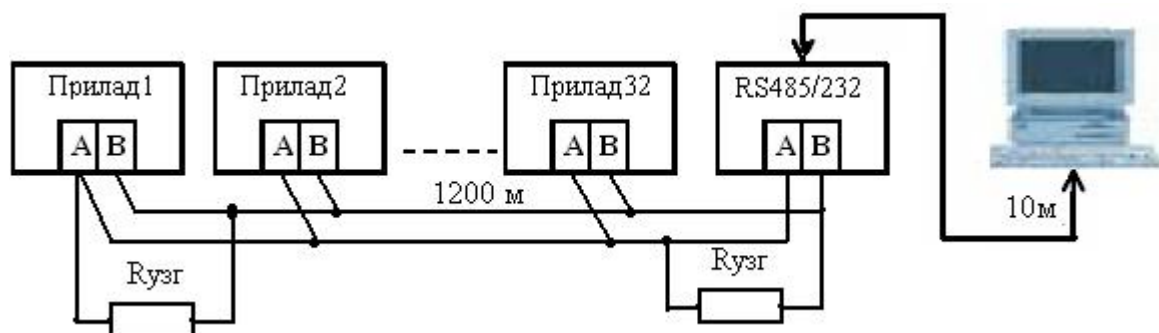


Рисунок 5.28 – Сполучення приладів за стандартом RS-485/RS232

Для якісної роботи приймачів і запобігання впливу перешкод, лінія зв'язку повинна мати на кінці два резистори узгодження $R_{узг}=120\text{Ом}$, які приєднуються безпосередньо до клем регуляторів.

В мережі RS-485 можна здійснювати:

- програмування регуляторів за допомогою спеціальної програми конфігуратора, що працює у середовищі Windows;
- дистанційне керування процесом регулювання та автонастроювання за допомогою програми конфігуратора;
- збір даних про контрольовані величини та хід процесів регулювання в автоматизованій системі управління технологічними процесами[59].

5.4.3 Промислові цифрові регулятори

5.4.3.1 Мікропроцесорний регулятор МТР-8

Мікропроцесорний регулятор МТР-8, рис.5.29, виробництва «Мікрол» м. Івано-Франківськ, призначений для використання в локальних системах автоматичного регулювання і в системах автоматизованого управління технологічними процесами (АСУТП).



Рисунок 5.29 – Регулятор МТР – 8 (а) і клемно-блокові з'єднувачі для приєднання до базової моделі аналогових входних/вихідних сигналів (б), інтерфейсу та дискретних навантажень (в)

МТР-8 це компактний прилад, який вільно конфігурується. За допомогою МТР-8 можна забезпечити:

- вимірювання восьми фізичних параметрів, обробку, перетворення і відображення їх поточних значень на вбудованому чотирирозрядному цифровому індикаторі;
- керування зовнішніми виконавчими механізмами за позиційним або ПД-законом регулювання;
- дворівневу сигналізацію технологічнонебезпечних зон (попереджувальна сигналізація), а також перевищення (зниження) сигналів регульованого або вимірюваного параметра.

МТР-8 може комплектуватися одним з семи модулів розширення (МР-51-xx), який залежно від модифікації, додає регулятору до 3 аналогових входів, 8-ми дискретних входів і 8-ми дискретних виходів. З урахуванням цих можливостей, в регуляторі шляхом конфігурування, яке здійснюється через передню панель або інтерфейс RS-485, можуть бути організовані:

- 8 каналів вимірювання;
- до 8-ми каналів дво-, три- позиційного, ПІД-імпульсного, ПІД-ШІМ регулювання;
- до 4-х каналів ПІД- аналогового регулювання;
- до 16-ти каналів сигналізації виходу параметрів за встановлені межі;
- до 16-ти каналів захисного вимикання;

Регулятори МТР-8 складаються з блока регулятора та клемно-блокових з'єднувачів (КБЗ).

Блок регулятора має пластмасовий корпус для монтажу на вертикальній площині. На лицевій панелі, рис.5.29а, знаходяться дисплеї КАНАЛ і ПАРАМЕТР, світлодіоди і клавіші, за допомогою яких відбувається конфігурування регулятора, контроль за технологічними і приладовими параметрами, керування процесом.

Позаду регулятора розташовані розніми для приєднання клемно-блокових з'єднувачів, що призначені для монтажу зовнішніх електричних кіл, рис.5.29б,в. Підключення вхідних і вихідних сигналів, джерела живлення та інтерфейсу здійснюється за допомогою двох або трьох (при використанні модуля розширення) клемно-блокових з'єднувачів. Тип КБЗ вибирається залежно від виду вихідного сигналу (транзисторний, релейний, симисторний) і вибраного модуля розширення.

Конфігурування МТР-8 здійснюється за певними рівнями. Робочий рівень служить для управління контурами регулювання. В процесі роботи можна за допомогою дисплеїв ПАРАМЕТР і КАНАЛ візуально відстежувати вимірювані величини (у циклічному або статичному режимі індикації), задану точку і значення дискретного керувального впливу, а також можна побачити номер каналу, значення виходу ПІД-регулятора у відсотках та ін. Крім того, на світлодіодних індикаторах можна відстежувати сигнали технологічної сигналізації, передачу даних по інтерфейсному каналу зв'язку, роботу регулятора у ручному режимі або редагування заданої точки.

На робочому рівні за допомогою клавиш можлива зміна режимів індикації (статична індикація, циклічна індикація), значення заданої точки регуляторів, значення дискретного керувального сигналу (у ручному режимі управління регулятором), значення виходу ПІД-регулятора у відсотках (у ручному режимі управління регулятором), вибір потрібного каналу, здійснення переходу з автоматичного режиму управління в ручний і назад.

На рівні конфігурування і настроювання за допомогою клавиш і дисплеїв вводять параметри регулятора, такі як параметри сигналізації відхилень, параметри завдання типу датчика, типу управління, параметри мережного обміну, параметри калібрування, режим запису параметрів і т. ін.

Регулятор оснащено аналого-цифровим перетворювачем з комутацією, восьмиканальним вузлом цифро-дискретного виводу, сторожовими схемами для контролю циклів роботи програми, незалежною пам'яттю для збереження призначених для користувача параметрів конфігурації і даних.

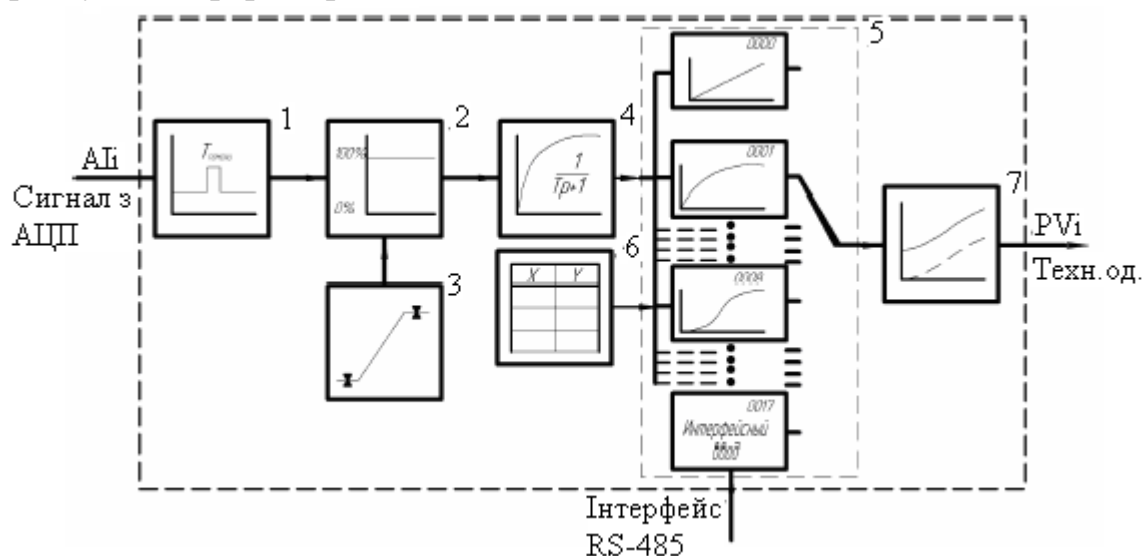
Програмна пам'ять регулятора МТР-8 містить необхідну кількість стандартних функцій призначених для управління технологічними процесами

більшості інженерних прикладних задач, наприклад, таких як порівняння результату перетворення з уставками мінімум та максимум і дворівневу сигналізацію відхилень, програмне калібрування каналів по зовнішньому зразковому джерелу аналогового сигналу, цифрова фільтрація, обчислення різниці і середнього значення між заданими параметрами, обчислення вогкості і т.п.

Внутрішня програма регулятора МТР-8 функціонує з постійним часовим циклом (0,2с). На початку кожного циклу зчитуються значення восьми аналогових входів, проводиться зчитування і обробка клавіатури, прийом команд і даних з послідовного інтерфейсу. Відповідно до запрограмованих функцій і призначених для користувача параметрів конфігурації, здійснюються розрахунки і проводиться виведення інформації на дискретні виходи, на індикаційні елементи, а також фіксація обчислених величин для режиму передачі послідовного інтерфейсу.

Схема вимірювання регулятора дозволяє приєднувати до МТР-8 датчики, які формують вихідний уніфікований сигнал 0-5мА, 0-20мА, 4-20мА, термопари, а також термоперетворювачі опору за трипровідною схемою підключення.

Вхідний сигнал від первинного перетворювача подається на вхід регулятора і перетворюється модулем АЦП у цифровий код. В мікропроцесорному модулі цей сигнал обробляється для отримання, заданої користувачем форми, рис.5.30.



1- фільтр для згладжування імпульсних перешкод ; 2- модуль нормалізації сигналу; 3-модуль параметрів калібрування; 4- експоненціальний фільтр; 5- модуль математичної обробки; 6- таблиця координат лінеаризації сигналу; 7- модуль корекції аналогового входу.

Рисунок 5.30 – Блок-схема обробки аналогового входу

Фільтр 1 використовується для заглушування імпульсних перешкод. Якщо у будь якому циклі вимірювання технологічного параметра виявлена його зміна, то передбачається можливість впливу перешкоди і вихідний сигнал, з урахуванням усереднювання вимірювальних значень, сформується тільки після закінчення встановленого часу тривалості перешкоди. Робота цього фільтра

вносить додаткове транспортне запізнювання до системи регулювання, яке дорівнює величині параметра "Максимальна тривалість імпульсної перешкоди". Тому завжди треба прагнути мінімізувати цей параметр.

Модуль 2 нормалізує вхідний аналоговий сигнал. Важливою функцією цього модуля є контроль достовірності даних. У разі виходу аналогового сигналу на 10% за діапазон, який встановлюється при калібруванні приладу, модуль посилає сигнал регулятору про недостовірність даних в каналі. При цьому, якщо сигнал нижче або вище за діапазон зміни, на цифровий дисплей виводиться відповідний символ і генерується подія "розрив лінії зв'язку з датчиком".

В модулі параметрів калібрування 3 визначають точність каналу, яка встановлюється вручну або автоматично при заміні датчика чи переході на інший його тип.

Експоненціальний фільтр 4 використовується для заглушування перешкод, а також для заглушування "брякотіння" індикації (частих змін показань індикатора із-за коливання вхідного сигналу).

Модуль математичної обробки сигналу 5 лінеаризує і масштабує вхідний сигнал відповідно до заданої користувачем номінальної статичної характеристики приєднаного датчика. Також в цьому модулі є можливість добування квадратного кореня з вхідного сигналу. Користувач може лінеаризувати сигнал за власною кривою лінеаризації.

Таблиця координат лінеаризації сигналу 6 визначає координати призначеної для користувача лінеаризації, параметри якої задаються на певному етапі конфігурації.

У модулі корекції аналогового входу 7 сигнал, перетворений в попередніх блоках, зміщується на задану користувачем величину. Значення корекції підсумовується з вхідним сигналом або віднімається від нього, залежно від знаку коефіцієнта корекції.

Після обробки вхідного сигналу A_i , формується значення вимірюваної величини PV_i в технічних одиницях, яке може відобразитися на дисплеї передньої панелі, подаватися на аналоговий вихід з прямим і зворотним напрямом, подаватися на компаратор, після чого на дискретний вихід, а також оброблятися одним з восьми функціональних блоків. Номер редагованого функціонального блока указують світлодіодні індикатори 1...8.

Внутрішня структура МТР- 8, рис.5.31, орієнтована на реалізацію п'яти законів регулювання – двопозиційного, трипозиційного, ПІД-ШІМ, ПІД-аналогового, ПІД-імпульсного.

В процесі роботи регулятора в кожен момент часу t на його виході формується керувальне діяння Y_i залежно від вхідного сигналу непогодження E_i між вхідним параметром і завданням регулятора. Розрахункова формула керувального сигналу за будь-яким ПІД-законом, що реалізує регулятор, має вигляд:

$$Y_i = K_p E_i + \frac{1}{T_i} \sum_{i=0}^n E_i \Delta t_{\text{сум}} + T_d \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{\text{сум}}},$$

де: K_p – коефіцієнт пропорційності, E_i – різниця між заданим і поточним значеннями вимірюваної величини, або непогодження, T_d – постійна часу диференціювання, ΔE_i – різниця між двома сусідніми вимірами E_i і E_{i-1} , $\Delta t_{вим}$ – час між двома сусідніми вимірами t_i і t_{i-1} , T_i – постійна часу інтегрування;

$\sum_{i=0}^n E_i$ – накопичена сума непогоджень.

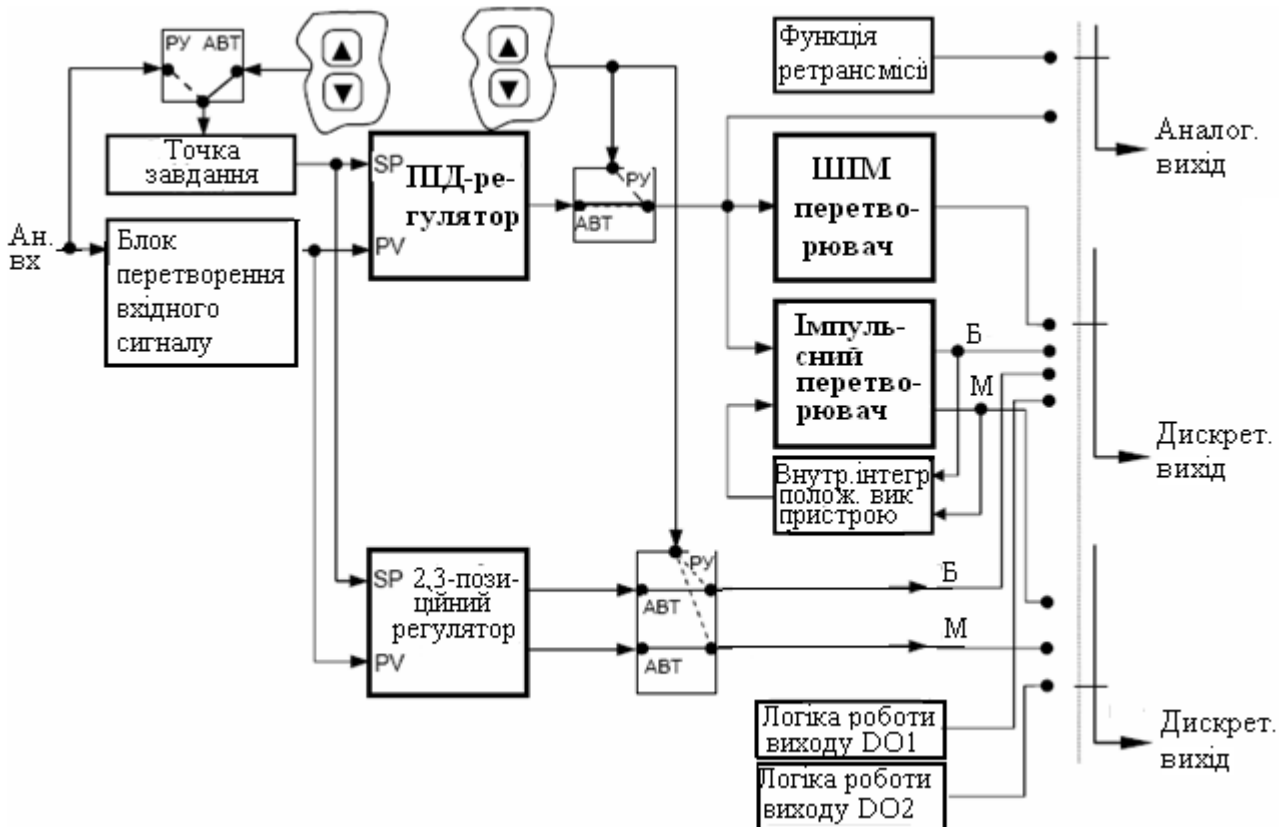


Рисунок 5.31 – Функціональна схема регулятора МТР-8 (одного каналу)

При реалізації ПІД-аналогового закону, керувальний сигнал подається на аналоговий вихід регулятора і далі на пропорційний виконавчий пристрій.

Коли регулятор працює разом з виконавчим механізмом сталої швидкості типу МЕО, який має інтегральні властивості, використовується ПІД-імпульсний закон регулювання. Керувальний сигнал $Y(t)$ після мікропроцесора поступає на імпульсний перетворювач, характер роботи якого налаштовується при конфігуруванні регулятора. Налаштовувальними параметрами є – час повного ходу виконавчого механізму (паспортні дані МЕО), мінімальна тривалість керувального імпульсу та час затримки між спрацюваннями виходів «Більше» та «Менше». Параметр «Час повного ходу» використовується для масштабування виходу ПІД-імпульсного регулятора. Мінімум тривалість імпульсу вибирається, виходячи з того, яку точність регулювання необхідно забезпечити. Мінімум тривалість імпульсу використовується для виключення можливості одночасного подання на вихід сигналів «Більше/Менше». Аби інтегральні властивості виконавчих механізмів типу МЕО не зіпсували ПІД-закон регулювання в регуляторі передбачається внутрішній інтегратор положення вала виконавчого механізму, який за

сигналами «Більше/Менше» формує розраховане значення положення вала виконавчого механізму і охоплює зворотним зв'язком імпульсний перетворювач. Завдяки такому технічному рішенню регулятор отримує сигнал по положенню вала виконавчого механізму без реального зворотного зв'язку. Це дозволяє при формуванні ПІД-імпульсного закону використовувати звичайний алгоритм ПІД-регулювання, який використовується при роботі регулятора з пропорційним ВМ.

При ПІД-ШІМ законі регулювання сигнал $Y(t)$ розраховується тільки в одному напрямі керування, перетворюється широтно-імпульсним модулятором у відповідну тривалість імпульсів і подається на один дискретний вихід. Зазвичай цей сигнал використовується для керування нагрівачем або холодильником.

Аналогові виходи МТР-8 можуть працювати в режимі виходу аналогового ПІД-регулятора і в режимі ретрансмісії (пряма передача вхідного сигналу на вихід з масштабуванням). При використанні аналогового виходу в режимі ретрансмісії, джерелом сигналу може бути будь-який аналоговий вхід або вихід будь-якого функціонального блока. При роботі виходу в режимі ретрансмісії важливими параметрами є – «Значення вхідного сигналу, яке відповідає 0% вихідного сигналу» і «Значення вхідного сигналу, яке відповідає 100% вихідного сигналу». Цими параметрами досягається масштабування вихідного сигналу щодо вхідного. Таким чином, можна реалізувати виведення аналогового сигналу, який повторює форму сигналу на вході блока аналогового виводу, але у певному його діапазоні, рис. 5.32.



Рисунок 5.32 – Робота блока аналогового виводу в режимі ретрансмісії

Дискретні виходи регулятора МТР-8 мають логіку роботи, яка вільно конфігурується, тобто користувач особисто визначає використання того чи іншого дискретного виходу. Якщо дискретний вихід задіяний у структурі регулятора в будь-якому контурі управління, то для даного дискретного виходу логіка управління не має значення.

Для дискретного виходу, який не використовується ПІД-регулятором, аналоговий сигнал надходить з джерела аналогового сигналу вибраного користувачем, обробляється за вибраною логікою (зворотного або прямого двопозиційного керування) і видає логічний нуль або одиницю на дискретний вихід, який формує сигнал «Вимк/Увімк». Тобто, створюється можливість побудови дво-, три- і багатопозиційного регулювання.

Мікропроцесорні регулятори МТР-8 можуть забезпечити комунікаційні функції через інтерфейс RS-485, який призначений для конфігурування і встановлення параметрів приладу з ЕОМ, використання регулятора у якості віддаленого пристрою при роботі у сучасних мережах керування та збору інформації. Протоколом сполучення використовується Modbus[61].

5.4.3.2 Вимірювач-регулятор ІРТ 5501/М1

Вимірювач-регулятор технологічний ІРТ 5501/М1, рис.5.33, виробництва «ЕЛЕМЕР» м. Москва, призначений для вимірювання, контролю і регулювання температури та інших неелектричних величин, перетворених в електричні сигнали.



Рисунок 5.33 – Вимірювач-регулятор технологічний ІРТ 5501/М1

ІРТ є мікропроцесорним приладом з індикацією поточних значень перетворюваних величин і призначений для функціонування як в автономному режимі, так і спільно з іншими приладами, об'єднаними в локальну комп'ютерну мережу. Перегляд і зміна параметрів конфігурації ІРТ здійснюється як за допомогою кнопкової клавіатури, так і програми «Tune5500.exe» при приєднанні приладу до комп'ютера за інтерфейсом RS 232 або RS 485.

ІРТ має три релейні канали управління електричними колами і здійснює:

- функцію регулювання з використанням пропорційно-інтегрально-диференціального закону (ПІД), пропорційно - диференціально-диференціального закону (ПДД) з можливістю виведення керувального сигналу на будь-яке реле або перетворювач цифрового коду мікропроцесорного блока управління в уніфікований струмовий вихідний сигнал (ПВІ).

- функцію сигналізації і обмеження керувального сигналу граничними значеннями.

ІРТ забезпечує автоматичне настроювання ПІД і ПДД-законів регулювання та можливість додаткової обробки значень вимірюваних величин за поліноміальною або кусково-лінійною математичною функцією.

Корпус ІРТ призначений для щитового монтажу.

На лицевій панелі приладу розміщені елементи індикації і три кнопки управління. На задній панелі розміщені клемні колодки з рознімами. Серед індикаторів — один шкальний, два чотирирозрядних семисегментних і шість одиничних.

Основним індикатором є чотирирозрядний семисегментний індикатор зеленого свічення, який призначений для індикації виміряного значення фізичної величини і назви параметра конфігурації.

Додатковим індикатором є чотирирозрядний семисегментний індикатор червоного свічення, який призначений для індикації значення уставки процесу регулювання і значення параметра конфігурації.

Одиничні індикатори показують стан 1-го, 2-го та 3-го реле керування, запуск процесу ПД-/ПДД- регулювання або автонастроювання, а також стан дискретного входу, за яким відбувається перемикавання з ПД-регулювання на ручне.

Шкальний індикатор червоного свічення призначений для індикації і візуальної оцінки поточного рівня вихідної потужності при двопозиційному ПД-регулюванні.

Функціональна схема приладу, рис.5.34, складається з модулів імпульсного блока живлення, індикації і клавіатури, АЦП, ПВІ та інтерфейсів RS 232/485, а також блоків реле, дискретних входів та мікропроцесорного блока керування.

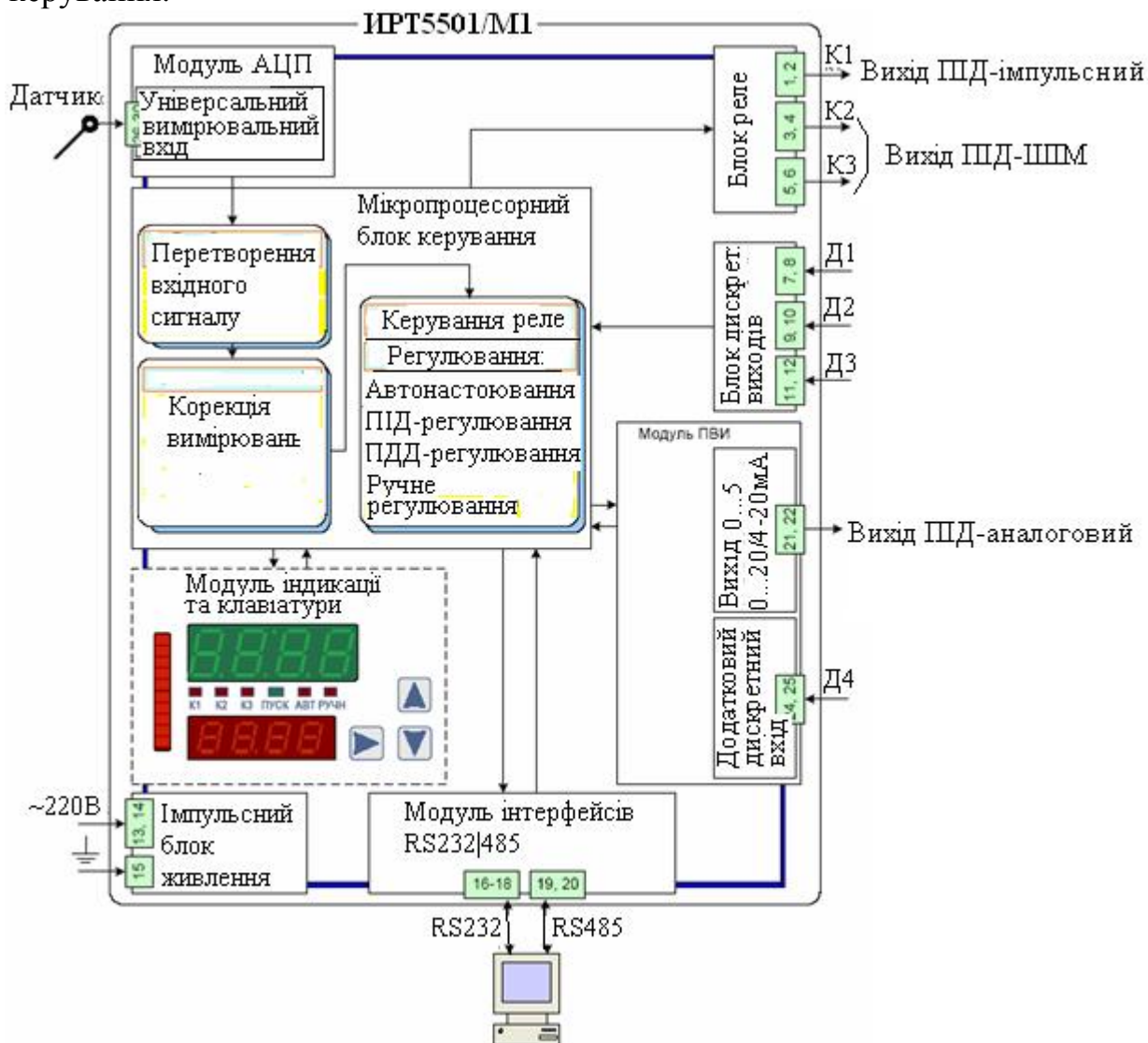


Рисунок 5.34 – Функціональна схема IRT 5501/M1

Модуль імпульсного блока живлення перетворює 220В змінного струму в постійну стабілізовану напругу для живлення модулів індикації і клавіатури, АЦП, ПВІ, інтерфейсів RS 232/485, блока реле і мікропроцесорного блока керування.

Модуль індикації і клавіатури призначений для керування роботою приладу за допомогою кнопок на лицевій панелі, візуалізації результатів вимірювання та параметрів конфігурації ИРТ, виведення цифрової і символічної інформації про поточний стан приладу.

Модуль АЦП з гальванічною розв'язкою призначений для перетворення вхідного аналогового сигналу від різних типів первинних перетворювачів у цифровий код і передавання його у мікропроцесорний блок керування.

Модуль ПВІ з гальванічною розв'язкою призначений для перетворення цифрового коду, що поступає з мікропроцесорного блока керування, в уніфікований сигнал постійного струму 0...5мА, 0...20 мА або 4...20 мА. До складу модуля ПВІ входить додатковий дискретний вхід (Д4), який може бути приєднаний до виходу типу «відкритий колектор» або «сухий контакт».

Модуль інтерфейсів RS 232/485 з гальванічною розв'язкою призначений для сполучення з комп'ютером і забезпечення двостороннього обміну даними із зовнішніми пристроями через стандартні інтерфейси RS 232 або RS 485.

Блок реле містить три виконавчі реле («К1», «К2», «К3») і призначений для управління зовнішніми виконавчими пристроями, що приєднані до приладу.

Блок дискретних входів з гальванічною розв'язкою містить три дискретні входи («~Д1», «~Д2», «~Д3»), які спрацьовують при підключенні до них напруги ~220В, і призначені для дистанційного керування приладом при реалізації процесів ПД/ПДД і ручного регулювання.

Мікропроцесорний блок керування містить мікроконтролер, ПЗП з програмним забезпеченням і незалежний запам'ятовуючий пристрій. Виконує перетворення цифрового коду у відповідне значення вимірюваної величини, аналіз результатів поточного вимірювання в режимі реального часу, керування процесами взаємодії між модулями ИРТ, станом реле за результатами вимірювання, виведення на індикатори поточного значення вимірюваної величини або значень уставок, опитування клавіатури, керування модулем інтерфейсів RS 232/485 і реалізує ПД/ПДД/ручне регулювання.

ИРТ може знаходитися в одному з наступних режимів роботи:

- режим індикації вимірів;
- режим введення паролів;
- режим меню;
- режим перегляду значень уставок і вихідної потужності.

У режим індикації вимірів прилад переходить після вмикання живлення. На основному індикаторі відображається поточне значення вимірюваної величини, на додатковому – встановлене значення уставки процесу регулювання. У даному режимі прилад може знаходитися не залежно від того, виконується чи ні будь який з процесів автонастроювання, ПД-/ПДД-/ручного регулювання.

Усі внутрішні налаштування приладу можуть бути виконані в режимі меню, доступ в який захищено трьома паролями.

Кожен з трьох паролів вводиться в режимі введення паролів і захищає доступ до певної групи параметрів:

У режимі меню здійснюються налаштування, що визначають роботу ИРТ. Усі зміни значень параметрів запам'ятовуються в незалежній пам'яті приладу і набувають чинності після закінчення їх редагування.

У режимі перегляду значень уставок і вихідної потужності користувач має можливість оперативно переглянути встановлені значення всіх трьох уставок і поточне значення вихідної потужності

Робота ИРТ відбувається в циклічному режимі з періодом 0,5с.

На початку кожного циклу вимірювання вхідний сигнал від первинного перетворювача поступає на універсальний вимірювальний вхід і перетворюється модулем АЦП в цифровий код, який поступає в мікропроцесорний блок керування для подальшої обробки, відповідно до конфігурації приладу.

Подальша обробка цифрового коду залежить від значень відповідних параметрів, встановлених користувачем, і може включати наступні етапи:

- перетворення цифрового коду відповідно до характеристики первинного перетворювача;
- корекція нуля і/або нахил характеристики для усунення початкової похибки перетворення вхідних сигналів;
- поліноміальне або кусково-лінійне перетворення в разі вживання нестандартних первинних перетворювачів;
- усереднювання для згладжування коливань у показаннях приладу за наявності підвищеного рівня шумів, що поступають на вимірювальний вхід.

Результатом всіх етапів обробки є виміряне значення фізичної величини, яке висвічується на основному індикаторі приладу.

За один цикл роботи ИРТ здійснює один вимір сигналів в аналоговому і чотирьох дискретних вхідних каналах. Отримані результати аналізуються мікропроцесорним блоком управління і залежно від внутрішніх налаштувань приладу і поточного режиму:

- результат вимірювання відображається на основному індикаторі приладу;
- для кожного з трьох реле може бути сформована команда на його вмикання/вимикання, яка виконується відразу, із затримкою на декілька циклів або відмінена;
- може бути сформована команда на запуск/зупинку процесу регулювання;
- при запусненому процесі регулювання формується керувальний сигнал, який поступає на один або два релейні виходи;
- на виході ПВІ формується сигнал, що відповідає поточному значенню виміряної величини (або вихідної потужності) в одному з діапазонів 0...5 мА, 0...20 мА або 4...20 мА.

ИРТ має три незалежних уставки, які можуть бути граничними параметрами при спрацьовуванні вихідних реле.

Користувачеві надається можливість здійснювати реєстрацію вимірних значень і/або управління виконавчими пристроями за допомогою виходу ПВІ, який може бути налаштований як на перетворення дійсних значень вимірної величини, так і на перетворення значень поточної вихідної потужності.

При ПД-/ПДД-регулюванні вимірне значення порівнюється з уставкою і обчислюється величина сигналу управління об'єктом автоматизації. Сигнал управління перетворюється алгоритмом ШІМ-модуляції в послідовність імпульсів певної тривалості, які подаються на один (ПД-/ручне регулювання) або два (ПДД-регулювання) з трьох релейних виходів «К1», «К2», «К3», для управління роботою виконавчого механізму.

Регулювання здійснюється за допомогою виконавчих пристроїв одного з трьох типів:

- нагрівач/холодильник (ПД-імпульсне/ручне регулювання);
- клапан/заслінка пропорційного типу з керованим уніфікованим струмовим сигналом (ПД-аналогове/ручне регулювання);
- клапан/заслінка інтегрального типу з керованим імпульсним сигналом (ПДД-регулювання).

В процесі ПД-регулювання пропорційними виконавчими механізмами на виході приладу формується сигнал Y_i , дія якого направлена на зменшення відхилення E_i поточного значення вимірюваної величини від заданого значення:

$$Y_i = K_p \left(E_i + \frac{1}{T_{iz}} \sum_{i=0}^n E_i \cdot \Delta t_{вим} + T_{en} \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{вим}} \right),$$

де K_p - коефіцієнт пропорційності;

E_i - відхилення (непогодження);

T_{iz} - стала часу ізодрома;

$\Delta t_{вим}$ -- час поміж двох сусідніх вимірів t_i та t_{i-1} ;

T_{en} - стала часу випередження;

ΔE_i - різниця між двома сусідніми вимірами E_i та E_{i-1} ;

$$\sum_{i=0}^n E_i$$

– накопичена (інтегральна) сума непогоджень в i -тий момент часу.

Коефіцієнти регулювання K_p , T_{en} , T_{iz} користувач може встановити самостійно або вони встановлюються автоматично в результаті запуску користувачем процесу ПД-регулювання з попереднім автонастроюванням.

При регулюванні користувач вибирає один з методів управління об'єктом: прямий або зворотний.

При прямому управлінні значення вихідного сигналу $y(t)$ збільшується із збільшенням значення вимірюваної величини (холодильник). При зворотному управлінні значення вихідного сигналу зменшується із збільшенням значення вимірюваної величини (нагрівач).

При ПДД-регулюванні з інтегральними виконавчими механізмами неузгодження E_i між поточним значенням вимірюваної величини і заданою уставкою обробляється і на виході приладу з'являється керувальний сигнал Y_i :

$$Y_i = \frac{1}{T_i} E_i + K \frac{\Delta E_i}{\Delta t} + T_d \frac{\Delta E_i^2}{\Delta t^2}.$$

На основі сигналу Y_i формується сигнал управління регулятора на виході виконавчого механізму з урахуванням його інтегральних властивостей.

Для більш якісного регулювання у приладі передбачена можливість обмеження керувального сигналу.

ШІМ-модуляція використовується при ПІД-/ПДД-/ручному регулюванні, а також в процесі автонастроювання для формування керувальних сигналів, відповідно до наведених формул. Алгоритм ШІМ-модуляції перетворює сигнал керування в послідовність імпульсів із заданим періодом $T_{шім}$, які поступають на один з релейних виходів. Тривалість імпульсів пропорційна значенню сигналу керування в момент початку періоду ШІМ.

З метою виключення короткочасних спрацьовувань виконавчого механізму передбачено обмеження мінімальної тривалості імпульсу.

Алгоритми ШІМ-модуляції при ПДД- і ПІД-регулюванні збігаються, якщо керувальний сигнал з позитивним знаком. ШІМ-послідовність імпульсів формується однаково і поступає на один з релейних виходів приладу, призначеному для діяння на об'єкт регулювання у бік «збільшення» (наприклад, відкриття клапана/заслінки або вмикання нагрівача).

Негативне значення керувального сигналу при ПІД-імпульсному регулюванні неможливе, оскільки керувальний вплив на нагрівач або охолоджувач здійснюється тільки з одного боку. При ПДД-регулюванні виконавчим механізмом сталої швидкості, ШІМ-послідовність імпульсів формується так само, як і в разі позитивного за знаком керувального сигналу, але ШІМ-послідовність імпульсів в цьому випадку поступає на інший з релейних виходів, який призначено для впливу на об'єкт регулювання у бік «зменшення» (наприклад, закриття клапана/заслінки)[62].

5.4.3.3 Вимірювач-регулятор ТРМ251

Вимірювач-регулятор програмний ТРМ251, виробництва «ОВЕН» м. Москва, призначений для автоматизації технологічних процесів в різних областях промисловості. Застосовується для керування багатоступінчастими температурними режимами в електропечах (камерних, елеваторних, шахтних, плавильних та ін.).

ТРМ251 є одноканальним регулятором, який може працювати в режимі ПІД або двопозиційного (ON/OFF) регулювання з виконавчим пристроєм типу «нагрівач» за програмою технолога.

Регулятор виконаний в пластмасовому корпусі, призначеному для установлення на щиті. Для приєднання первинних перетворювачів, джерела живлення і зовнішніх пристроїв на тильній стороні приладу є клемник з кріпленням «під гвинт».

На лицевій панелі ТРМ251, рис.5.35, розташовані елементи індикації і управління.



Рисунок 5.35 – Вимірювач-регулятор програмний ТРМ251

Цифровий індикатор відображає значення вимірюного параметра, уставки, часу виходу на уставку, часу витримки, програмованого параметра, груп параметрів і самих параметрів в режимі ПРОГРАМУВАННЯ та повідомлення.

Червоні світлодіоди безперервно світяться в режимах «Робота», «Автонастройка», при критичній аварії, при спрацьовуванні відповідного дискретного виходу, а також коли вказують номер задіяної програми технолога.

Зелені світлодіоди світяться при відображенні на цифровому індикаторі (ЦІ) вимірюного значення, значення уставки, часу виходу на уставку, часу витримки, а також при редагуванні уставки та виконанні відповідного кроку програми.

Кнопки на лицевій панелі приладу призначені для збільшення або зменшення значення програмованого параметра, переміщення по меню, входу в режим ПРОГРАМУВАННЯ і режим ЗАВДАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОГРАМИ ТЕХНОЛОГА, введення вказаного значення в пам'ять приладу, запуску/останову програми технолога і виходу з різних режимів роботи приладу, вибору програми технолога, кроку програми технолога в режимі ЗАВДАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОГРАМИ ТЕХНОЛОГА, початкового кроку в режимі СТОП, виклику значення уставки та миттєвої уставки в режимі РОБОТА, значення параметра «час виходу на уставку» в режимі ЗАВДАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОГРАМИ ТЕХНОЛОГА, поточного значення часу зростання на даному кроці в режимі РОБОТА, значення параметра «час витримки» в режимі ЗАВДАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОГРАМИ ТЕХНОЛОГА, поточного значення часу витримки на даному кроці в режимі РОБОТА.

Структурна схема ТРМ 251, рис.5.36, містить:

- два універсальні входи для приєднання первинних перетворювачів (датчиків) – основного і резервного;
- регулятор, призначений для підтримки заданого значення регульованої величини;
- модуль сигналізації, призначений для формування аварійного сигналу;
- реєстратор, призначений для реєстрації вимірюного значення;

- три вихідні елементи (ВЕ);
- програму технолога;
- комунікаційний інтерфейс RS-485.

Вимірювальні входи ТРМ 251 універсальні. До них можна приєднати:

- термометри опору;
- термопари (перетворювачі термоелектричні);
- перетворювачі з вихідним аналоговим сигналом у вигляді постійної напруги або струму.

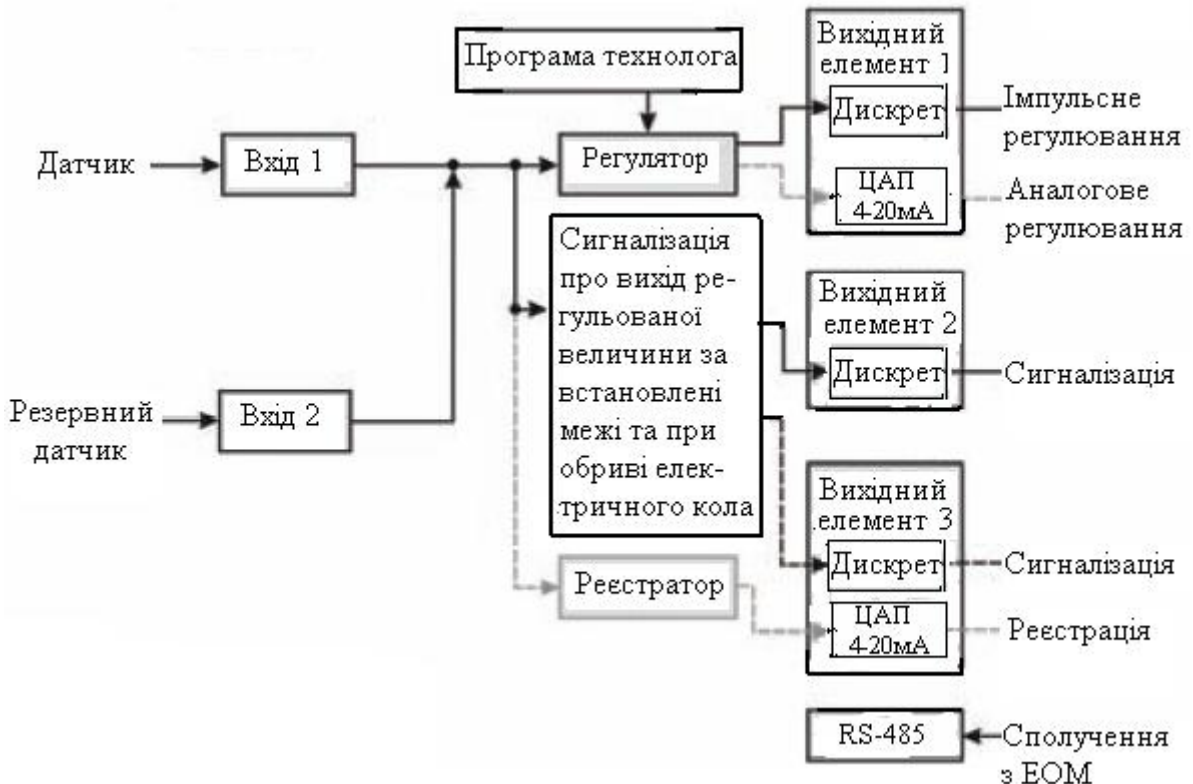


Рисунок 5.36 – Структурна схема ТРМ 251

Вхід 1 призначений для приєднання основного датчика, вхід 2 призначений для підключення резервного датчика. При несправності одного з датчиків вимірювання здійснюється справним. Сигнали, що одержані від датчиків, прилад перетворює в поточні цифрові значення.

Для усунення початкової похибки перетворення датчиків і похибок, що вносяться сполучними проводами, виміряне приладом значення може бути відкориговане. Існує два типи корекції, що дозволяють здійснювати зсув або зміну нахилу характеристики вимірювального перетворювача на задану величину.

Для зсуву характеристики до кожного виміряного значення параметра додається задане користувачем значення δ ("зсув характеристики"). Застосовується це для компенсації похибок, що вносяться опорами підвідних проводів при використанні двопровідної схеми приєднання термоперетворювачів опору.

Для зміни нахилу характеристики кожне виміряне значення параметра множиться на заданий користувачем поправковий коефіцієнт β ("нахил

характеристики"). Використовується це для компенсації похибок датчиків опору при відхиленні їх статичної характеристики від номінальної.

Цифрова фільтрація вхідного сигналу зменшує вплив випадкових імпульсних перешкод на результати вимірювання. Передбачена двоступінчаста фільтрація: "смугова", яка усуває значні одиничні перешкоди, і "згладжувальна", що знижує дію невеликих високочастотних перешкод.

Перша ступінь фільтрації визначається параметром "смуга фільтра", друга - параметром "глибина фільтра" або "постійна часу фільтра".

Смуга фільтра задається в одиницях вимірюваної величини. Якщо поточне показання відрізняється від попереднього вимірюваного значення більш ніж на значення цього параметра, то воно ігнорується, і прилад здійснює повторне вимірювання. На цифровому індикаторі залишається значення попереднього виміру. Мала ширина смуги фільтра призводить до уповільнення реакції приладу на швидку зміну вхідної величини. Тому при низькому рівні перешкод або при роботі з швидкозмінними процесами рекомендується збільшити значення параметра або відключити фільтр, задавши значення параметра рівним 0.

У разі роботи в умовах сильних перешкод для усунення їх впливу на роботу приладу необхідно зменшити значення параметра. При цьому можливе погіршення швидкодії приладу із-за повторних вимірів.

Параметр "глибина фільтра" дозволяє добитися "згладжування" змін показань приладу за рахунок їх усереднювання. Значення цього параметра задає кількість останніх вимірів, для яких прилад обчислює середнє арифметичне. Отримана величина використовується приладом в подальшій роботі. Зменшення значення глибини фільтра призводить до швидшої реакції приладу на стрибкоподібні зміни контрольованої величини, але знижує його заводо захищеність. Збільшення значення призводить до поліпшення заводо захищеності, але разом з цим підвищує інерційність приладу.

Регулятор в структурі ТРМ251– це програмний модуль, що відповідає за підтримку вимірюваної величини на рівні, заданому уставкою. Тому він порівнює виміряне значення з уставкою і формує вихідний аналоговий сигнал, направлений на зменшення їх непогодження:

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \left(E_i + T_{en} \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{вум}} + \frac{1}{T_{із}} \sum_{i=0}^n E_i \Delta t_{вум} \right),$$

де: X_p – смуга (коефіцієнт) пропорційності;

E_i – різниця між завданням і поточним значеннями вимірюваної величини, або непогодження;

T_{en} – постійна часу випередження;

ΔE_i – різниця між двома сусідніми вимірами E_i і E_{i-1} ;

$t_{вум}$ – час між двома сусідніми вимірами t_i і t_{i-1} ;

$T_{із}$ – постійна часу ізодрома;

$\sum_{i=0}^n E_i$ – накопичена сума непогоджень.

ПД-регулятор видає значення вихідної потужності, яке спрямоване на зменшення відхилення поточного значення регульованої величини від уставки. При управлінні виконавчим пристроєм типу "нагрівач" значення вихідної потужності знаходиться в діапазоні від "0" до "1" (0-100 %). При роботі з вихідним елементом (ВЕ) типу ЦАП вихідна потужність перетворюється у пропорційний їй струм.

При роботі з ВЕ дискретного типу вихідна потужність перетворюється у ШІМ-сигнал, для якого необхідно задати період прямивання імпульсів. Принцип формування ШІМ-сигналу для управління "нагрівачем" показано на рис.5.37.

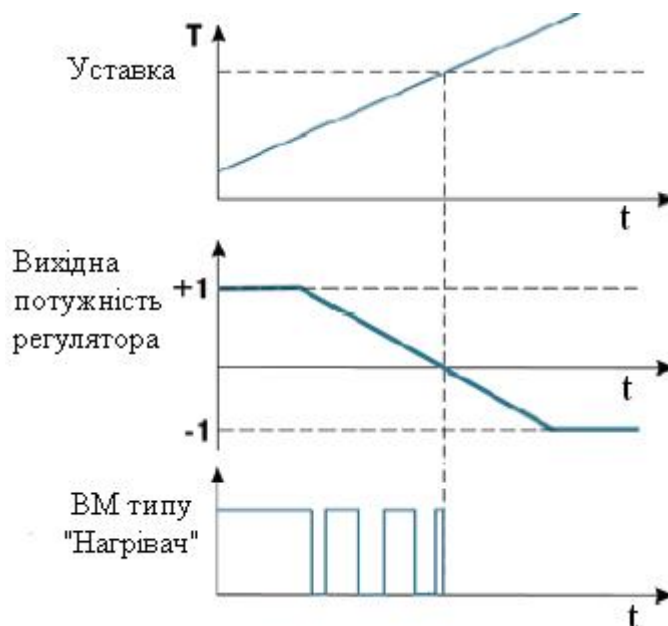


Рисунок 5.37 – Принцип формування ШІМ-сигналу для "нагрівача"

При двопозиційному регулюванні вихідна потужність має тільки два значення – мінімальне та максимальне. Коли вихідна потужність дорівнює 0% – нагрівач вимкнено, коли 100% – нагрівач увімкнено. Двопозиційний регулятор вмикає нагрівач коли значення регульованого параметра менше за встановлену уставку, а вимикає при значеннях, що перевищують уставку.

Щоб уникнути значного перерегулювання в автоматичній системі, регулятор має настройки, що обмежують значення накопиченої інтегральної складової. Наприклад, є нагрівальна піч і з досвіду відомо, що для підтримки певної уставки, на неї необхідно подавати потужність у межах (50 – 70) %. Тоді для обмеження дії інтегральної складової, певним параметрам регулятора необхідно встановити значення 50 і 70.

Для зменшення коливань при перехідних процесах можна також задати номінальну потужність регулятора. Номінальна потужність – це середня потужність, яку потрібно подавати в об'єкт регулювання для досягнення заданої уставки. У розглянутому прикладі номінальну потужність потрібно встановити на рівні 60%. Тоді в системі автоматизації, до значення вихідної потужності, що розрахував ПД-регулятор, буде додаватися номінальна потужність.

Слід зазначити, що коли задана номінальна потужність регулятора, параметри, що обмежують дію інтегральної складової, необхідно задавати з урахуванням цього. Так у попередньому прикладі, щоб забезпечити вплив інтегральної складової в межах (50–70)%, при встановленій номінальній потужності 60%, необхідно задати обмежувальні параметри на рівні –10% та +10%.

Пристрій сигналізації – логічний пристрій, призначений для управління зовнішнім сигнальним пристроєм (сиреною, лампою, блокувальним вимикачем, блоком примусового (аварійного) охолодження і т. п.) при аварійній ситуації. Пристрій сигналізації спрацьовує при несправності датчика, при розриві контуру регулювання (ЛВА-аварія) і при виході значення регульованого параметра за задані межі. При цьому процес регулювання уривається або продовжується, залежно від причини аварії.

Несправність датчика прилад визначає безпосередньо по відсутності сигналу на своєму вході. В цьому випадку прилад автоматично перемикається на прийом сигналів з резервного датчика.

Несправність контуру регулювання визначається за реакцією об'єкта регулювання на управляючі дії. Якщо регульовані параметри об'єкта не змінюються в установлених межах при регулюванні, тоді виконавчий механізм несправний. Такий аналіз називається контролем ЛВА-аварії (Loop Brake Alarm).

При виході регульованого параметра за задану межу можливі два варіанти логіки спрацьовування пристрою сигналізації:

- якщо регульована величина стає вище за поріг – пряма логіка;
- при виході регульованої величини за задані межі – U-образна логіка.

Для логіки першого типу необхідно задати «верхній поріг спрацьовування» в одиницях вимірювання цього параметра. Особливість цієї логіки спрацьовування у тому, що для кожної програми технолога поріг спрацьовування сигналізації всього один і не залежить від уставки.

Для логіки другого типу необхідно задати граничні відхилення від уставки («верхній поріг спрацьовування» і «нижній поріг спрацьовування», відповідно). Ці межі задаються в одиницях вимірювання регульованого параметра. Прилад обчислює верхній і нижній пороги спрацьовування, підсумовуючи верхній поріг із значенням уставки і, відповідно, віднімаючи нижній поріг із значення уставки.

Даний алгоритм розрахунку граничного відхилення від уставки використовується як для стадії «нагрів» так і для стадії «витримка».

Логіку спрацьовування пристрою сигналізації, а також верхній і нижній пороги спрацьовування, вибирають для кожної програми технолога.

TRM251 має три вбудованих вихідних елементи (BE):

- BE1 програмно прив'язаний до регулятора і використовується для управління виконавчим механізмом;
- BE2 спрацьовує при виході регульованої величини із заданого діапазону;

– ВЕЗ постійно працює, якщо приєднаний до реєстратора, або спрацьовує при несправності датчика (-ів) або розриві контуру регулювання.

Вихідний елемент 1 може бути:

– дискретним (електромагнітне реле, транзисторна або симисторна оптопара, вихід для управління твердотілим реле);

– аналоговим (цифро-аналоговий перетворювач «параметр–струм 4...20 мА»).

Вихідний елемент 2 – електромагнітне реле.

Вихідний елемент 3 – аналоговий (ЦАП «параметр – струм 4...20 мА») або дискретний.

Реєстратор перетворює значення вимірної або обчисленої величини в пропорційний йому струм 4...20 мА. Для роботи реєстратора задаються два порогові значення, які відповідають вихідному струму 4 і 20 мА. Порогові значення задаються в тих самих одиницях вимірювання, що і обчислена величина.

Програма технолога – це послідовність етапів технологічного процесу, а кожен етап – крок програми технолога, рис.5.38а.

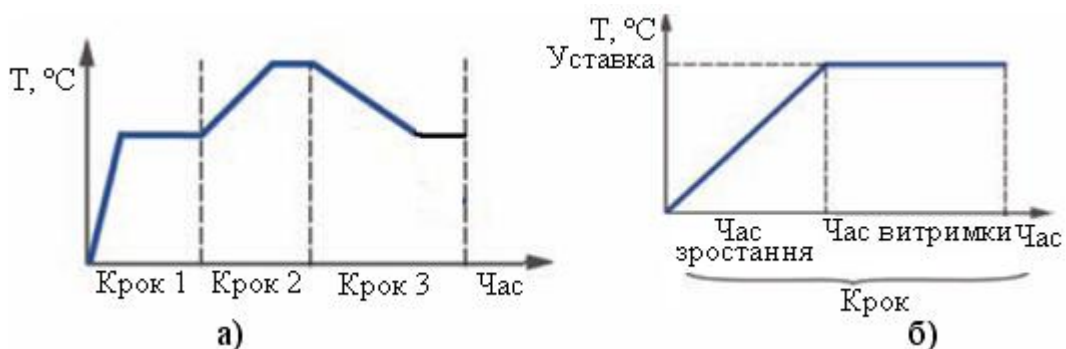


Рисунок 5.39 – Програма технолога (а) та параметри кроку програми (б)

Покрокове управління може складатися з нагріву до заданого значення температури та підтримки заданого значення (уставки) температури протягом заданого часу.

У ТРМ251 можна задати не більше трьох незалежних програм технолога по п'ять кроків кожна.

Параметри кроку програми технолога задає користувач, виходячи з необхідного технологічного процесу. Для кожного кроку програми технолога задаються наступні параметри, рис.5.38б:

- уставка для регульованої величини;

- час виходу на уставку;

- час, протягом якого регульований параметр підтримується на рівні уставки.

Крок програми технолога пропускається, якщо значення «Час зростання» і «Час витримки» встановити рівними 0.

Початок відліку часу витримки починається після досягнення фізичною величиною заданої уставки.

Перехід на наступний крок в ТРМ251 відбувається після закінчення заданого часу витримки, тобто часу, протягом якого регульований параметр підтримується на рівні уставки.

У програмах технолога можна встановити масштаб часу, вибрати одиниці, в яких задаватимуться тривалості в програмах: «години/хвилини» або «хвилини/секунди».

ТРМ251 має вбудований мережний інтерфейс RS-485, який надає можливості дистанційного запуску/зупиннику програми технолога; програмування приладу по мережі; реєстрації на ПК параметрів поточного стану.

Для роботи приладу в мережі RS-485 необхідно встановити його мережні настройки. У одній мережі можуть знаходитися декілька приладів, приєднаних до одного комп'ютера. Для забезпечення коректної роботи, в цьому випадку, мережні параметри всіх приладів однієї мережі повинні бути однакові (за винятком унікальної базової адреси).

Програмування приладу відбувається з комп'ютера, використовуючи програму «Конфігуратор ТРМ 251» або за допомогою меню – кнопками на лицевій панелі. Визначення настроєчних параметрів здійснюється за допомогою системи автоматичного настроювання ПІД-регулятора[63].

5.4.3.4 Регулятор температури РТ1-03

Універсальний регулятор температури РТ1-03, виробництва «ТЕРА» м. Чернігів, рис.5.39, призначений для реалізації автоматичного керування температурою печі за різними алгоритмами.



Рисунок 5.39 – Універсальний регулятор температури РТ1-03

Прилад дозволяє здійснювати:

- вимірювання температури середовища за допомогою датчика;
- цифрову фільтрацію результатів вимірювання;
- виконання п'яти алгоритмів керування об'єктом – дво- та трипозиційне регулювання, стандартне ПІД-регулювання, модифіковане ПІД-регулювання, покрокове регулювання за програмою;

- відображення на чотирирозрядних семисегментних індикаторах вимірюваної температури, заданої температури, алгоритму регулювання, номера поточної програми, номера поточного кроку і часу, що залишився до його завершення;

- перемикання з ручного в автоматичний режим керування за допомогою зовнішнього тумблера;

- збереження в пам'яті приладу 16 програм до 12 кроків кожна;

- екстрений перехід до наступного кроку програми за допомогою зовнішньої кнопки;

- програмну зміну кількості кроків кожної програми, заданої температури, часу розгону, часу утримання і зміну параметрів закону регулювання для кожного кроку кожної програми;

- світлову індикацію режимів роботи приладу;

- світлодіодну індикацію несправності датчика чи виходу температури за встановлені межі;

- обмін даними з ЕОМ за інтерфейсом RS-485.

Функціональні параметри вимірювання і регулювання задаються користувачем і зберігаються при вимиканні живлення в енергонезалежній пам'яті приладу.

Регулятор РТ1-03 «ТЕРА» виконаний у пластмасовому корпусі щитового застосування. На передній панелі регулятора розташовані два семисегментні чотирирозрядні індикатори, один семисегментний дворозрядний індикатор, сім одиничних світлодіодних індикаторів і клавіатура.

Клавіатура використовується для завдання режимів роботи регулятора, параметрів регулювання і т.ін.

Світлодіодні індикатори сигналізують про наявність несправності датчика, сигналів на першому та другому виходах приладу, відповідність вимірюваної температури встановленої зони допуску, автоматичне настроювання регулятора, ручний режим керування та зв'язок з ЕОМ.

На задній панелі приладу розміщені клемні гвинтові з'єднувачі для приєднання датчика, зовнішніх контактів СК Р/А (перемикання режимів керування) і СК N (перехід до наступного кроку програми), а також виконавчих пристроїв і джерела живлення.

Узагальнену функціональну схему приладу наведено на рис.5.40.

На вхід приладу подається сигнал з первинного вимірювального термоелектричного перетворювача. У вхідному пристрої здійснюється компенсація похибки датчиків та впливу приєднувальних проводів на їх показання. Користувач, при необхідності, може здійснити зсув характеристики або змінити її нахил, а програмна фільтрація перешкод дозволяє забезпечити стабільність показань. Аналоговий сигнал після підсилювання до необхідного рівня надходить на АЦП, де перетворюється у цифровий код і подається на мікропроцесор. Одночасно проводиться діагностування обриву кола первинного перетворювача. Мікропроцесор лінеаризує значення цифрового коду і перетворює його у відповідне значення температури.

Працювати з приладом можна за допомогою кнопок, світлодіодних і цифрових індикаторів на лицевій панелі або за допомогою автоматизованої системи контролю показань приладу.

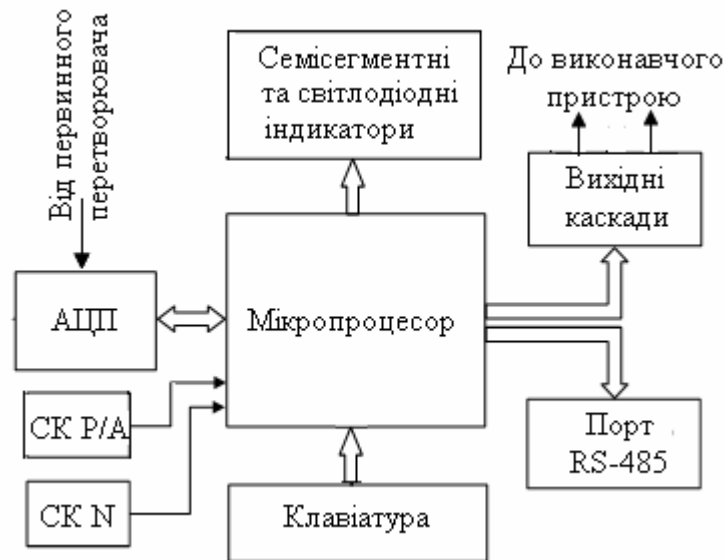


Рисунок 5.40– Узагальнена функціональна схема регулятора РТ1-03

Прилад працює в одному з трьох режимів:

- "Работа";
- "Установки";
- "Поверка".

У режимі «Работа» відбувається перегляд результатів вимірювання температури, перемикання алгоритму керування об'єктом, перегляд і зміна заданої температури при двопозиційному, трипозиційному і ПІД-регулюванні.

На верхньому індикаторі відображається вимірювана температура у градусах Цельсія, на середньому – задана температура, а на нижньому – умовна позначка алгоритму керування.

При покроковому регулюванні здійснюється перегляд часу, що залишився до закінчення виконання поточного кроку, перегляд поточного номера кроку при покроковому регулюванні за програмою.

В процесі виконання програми оператор може екстрено перейти до іншого кроку програми за допомогою зовнішньої кнопки СК N.

Зміна номера програми може відбуватися тільки коли прилад знаходиться в ручному режимі. Режим роботи приладу визначається станом зовнішньої кнопки СК Р/А.

У режимі "Установки" за певними паролями встановлюються параметри регулятора, такі як:

- коефіцієнт фільтрації для захисту від перешкод;
- тип датчика, нахил і зсув характеристики;
- зсув і нахил характеристики першого струмового виходу;
- зсув і нахил характеристики другого виходу;
- мінімальна і максимальна допустимі температури;
- параметри ПІД-регулятора та ін.

Режим "Поверка" необхідний для відключення компенсації холодного спаю термопар.

Вибір алгоритму керування (двопозиційний, трипозиційний, стандартний ПД, модифікований ПД, покрокове регулювання за програмою) здійснюється тільки у ручному режимі з лицевої панелі регулятора. Сигнал керування, відпрацьований відповідно до вибраного закону, подається на вихідні каскади і далі до виконавчого пристрою.

При реалізації двопозиційного закону прилад завжди знаходиться в режимі автоматичного регулювання. Коли значення вхідного сигналу $T_{вим} < T_{зад} - \Delta T$, рис.5.41, на перший струмовий вихід приладу подається токовий сигнал максимальної амплітуди ($I_1=5\text{mA}$), а при $T_{вим} > T_{зад} + \Delta T$ – токовий сигнал мінімальної амплітуди ($I_1=0\text{mA}$), здійснюючи тим самим регулювання з прямим гістерезисом ΔT .

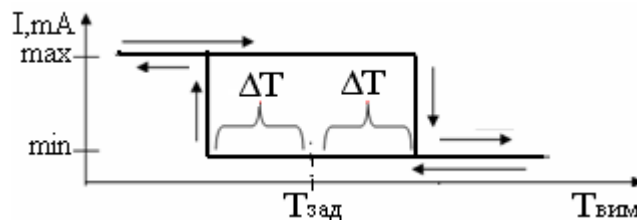


Рисунок 5.41 – Двопозиційне регулювання

Тут $T_{вим}$ – вимірювана температура, $T_{зад}$ – задана температура, ΔT – половина зони неоднозначності.

Другий струмовий вихід при цьому постійно вимкнений.

При трипозиційному алгоритмі регулювання користувачем задається номінальна мінімальна і максимальна вихідні потужності, зона нечутливості і зона повернення. При значенні $T_{вим} < T_{зад} - \Delta T$ вихідна потужність регулятора дорівнює максимальній, при значенні $T_{вим} < T_{зад} - \Delta T + Z_v$ вихідна потужність регулятора номінальна. При цьому регулювання здійснюється з прямим гістерезисом Z_v .

При значенні $T_{вим} < T_{зад} + \Delta T$ вихідна потужність регулятора дорівнює мінімальній, при значенні $T_{вим} < T_{зад} + \Delta T - Z_v$ вихідна потужність регулятора номінальна. При цьому регулювання здійснюється із зворотним гістерезисом Z_v , рис.5.42.

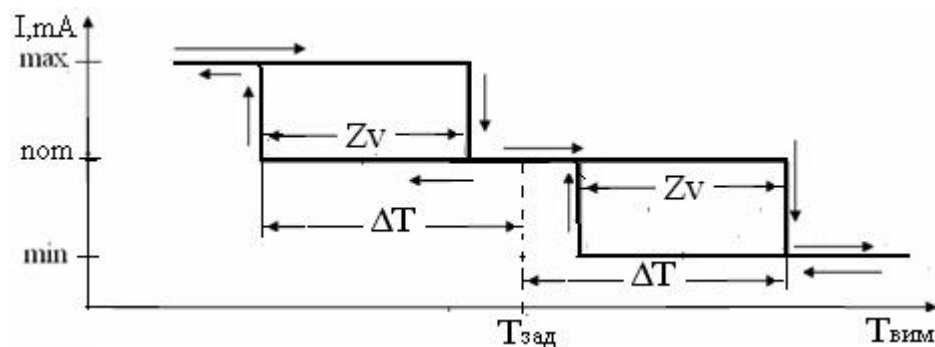


Рисунок 5.42 – Трипозиційне регулювання

Максимальна, мінімальна і номінальна вихідні потужності можуть бути встановлені як позитивними, так і негативними. При позитивній вихідній потужності працює перший вихід приладу, при негативній вихідній потужності працює другий вихід приладу.

При ПД-регулюванні поточна помилка регулювання E обчислюється за правилом:

- якщо $\frac{1}{2}T_{зад} - T_{вим} \frac{1}{2} < \Delta T$, $E = 0$;
- якщо $T_{зад} - T_{вим} > \Delta T$, $E = T_{зад} - T_{вим} - \Delta T$;
- якщо $T_{зад} - T_{вим} < -\Delta T$, $E = T_{зад} - T_{вим} + \Delta T$;

При стандартному ПД-регулюванні вихідний сигнал змінюється за формулою:

$$Y_i = K_p \left(E_i + T_{ен} \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{вим}} + \frac{1}{T_{із}} \sum_{i=0}^n E_i \Delta t_{вим} \right),$$

де K_p – коефіцієнт пропорційності;

E_i – різниця між завданням і поточним значеннями вимірюваної величини, або непогодження;

$T_{ен}$ – постійна часу випередження;

ΔE_i – різниця між двома сусідніми вимірами E_i і E_{i-1} ;

$t_{вим}$ – час між двома сусідніми вимірами t_i і t_{i-1} ;

$T_{із}$ – постійна часу ізодрома;

$\sum_{i=0}^n E_i$ – накопичена сума непогоджень.

Модифіковане ПД-регулювання відрізняється від стандартного рядом алгоритмічних рішень, направлених на зменшення помилки перерегулювання без істотного збільшення часу досягнення заданої температури.

При покроковому регулюванні за програмою поточна задана температура обчислюється автоматично, обчислення вихідної потужності відбувається за формулою стандартного ПД-регулятора.

Оператор може задати один з трьох варіантів переходу від однієї заданої температури до іншої (режими розгону):

- перехід із заданою швидкістю;
- перехід за заданий час;
- перехід за мінімальний час.

При переході від однієї заданої температури до іншої із заданою швидкістю прилад розраховує постійний приріст «поточної» заданої температури так, щоб перехід відбувся за заданий оператором час. Відлік часу утримання починається по закінченню часу розгону. Такий варіант забезпечує постійну швидкість зміни температури при переході від однієї заданої температури до іншої, проте може привести до перерегулювання за рахунок теплової інерції об'єкта.

При переході від однієї заданої температури до іншої за заданий час прилад розраховує приріст «поточної» заданої температури за експоненціальним законом так, щоб перехід відбувся за заданий оператором

час. Відлік часу утримання починається по закінченню часу розгону. Такий варіант забезпечує плавний вихід на задану температуру з мінімальним перерегулюванням, проте швидкість зміни температури не підтримується постійною.

При переході від однієї заданої температури до іншої за мінімальний час прилад подає постійний максимальний вихідний сигнал до тих пір, поки задана температура не буде досягнута, після цього регулювання здійснюється за параметрами регулятора, що задані оператором. Час розгону, введений оператором, ігнорується. Відлік часу утримання починається відразу після досягнення заданої температури. При такому режимі розгону перерегулювання максимальне.

При виході температури за встановлені межі або несправності датчика вмикається індикатор аварії.

Настроювання ПІД-регулятора здійснюється вручну або автоматично.

Якщо регулятор підключений до ЕОМ, то обмін даними між ними відбувається за інтерфейсом RS-485. Зв'язок з персональним комп'ютером здійснюється через перетворювач RS-485/RS-232 (адаптер БП-RS). На один адаптер можна підключити до 32 приладів, довжина лінії обмежена 500 метрами. Зв'язок між адаптером БП-RS і приладами, що підключаються, забезпечується екранованим кабелем з двома витими парами. Для узгодження лінії зв'язку необхідно на початку і наприкінці лінії установити терміновик R_m (резистори $R_m=120$ Ом)[64].

5.4.3.5 Регулятори-вимірювачі МЕТАКОН - 514/524/534

Регулятори – вимірювачі серії МЕТАКОН-514/524/534, рис.5.43, виробництва «КонтрАвт» м. Нижній Новгород, призначені для побудови систем автоматичного регулювання технологічних параметрів.



Рисунок 5.43 – Регулятор – вимірювач серії МЕТАКОН-514/524/534

Ці регулятори вимірюють сигнали первинних термоелектричних перетворювачів або уніфіковані входні сигнали струму і напруги, виконують пропорційно-інтегрально-диференціальне (ПІД) регулювання (разом з інтегральним виконавчим механізмом) з широтно-імпульсною модуляцією

вихідного сигналу. Регулятори мають функції автонастроювання параметрів, аварійної сигналізації на двох незалежних рівнях, передачу вимірюваних значень вхідних сигналів, а також значень параметрів, що характеризують роботу приладу, на зовнішні пристрої керування і/або збору даних за інтерфейсом RS-485 та ін.

Існують 1-, 2- і 3- канальні регулятори, відповідно, МЕТАКОН – 514, МЕТАКОН – 524 і МЕТАКОН – 534 п'яти модифікацій, залежно від виду вхідного сигналу –ТП (термопара), 0/5 мА, 0/20мА, 0/1В і 0/10В.

Виходячи з типу вихідного пристрою регулятори данної серії можуть бути з релейним виходом – МЕТАКОН-514/524/534–Р і з транзисторним – МЕТАКОН-514/524/534–Т.

Корпус регуляторів МЕТАКОН - 514/524/534 розрахований на щитовий утеплений монтаж на вертикальній площині. На передній панелі приладу розміщені органи індикації і керування, на задній розміщені клемники для підключення зовнішніх кіл.

Індикатори приладу призначені для відображення результатів вимірювання і спостереження за параметрами, режимами роботи і станами вихідних кіл, а також визначення режимів роботи приладу - автоматичний, ручний, обрив.

Робота з регулятором відбувається за допомогою кнопок, більшість з яких виконують подвійні функції – основні і додаткові. Основні функції виконуються в усіх режимах роботи регулятора при їх короткочасному натисканні, а додаткові проявляються при виконанні певних умов.

Регулятор містить:

- пристрій вводу інформації (аналого-цифровий перетворювач з комутатором каналів);
- керуючий пристрій (мікропроцесор, ПЗУ із програмою, енергонезалежний запам'ятовуючий пристрій, в якому зберігаються параметри регулятора при вимкненій напрузі живлення);
- пристрій формування вихідних сигналів;
- формувач сигналів інтерфейсу RS-485;
- блок живлення;
- панель керування з індикаторами режимів роботи регулятора і стану вихідних сигналів.

Узагальнена функціональна схема регуляторів серії Метакон-514/524/534 приведена на рис.5.44.

Вхідний сигнал регулятора фільтрується цифровим фільтром низьких частот для кожного каналу окремо. Цифрова фільтрація здійснюється для заглушення коливань показань приладу в умовах сильних електромагнітних перешкод, що надходять на входи. У модифікації ТП сигнал з термопари перетворюється відповідно до її номінальної статичної характеристики (НСХ) в значення температури. Температура “холодного” спаю вимірюється за допомогою датчика температури, що

знаходиться на клемнику приладу, і в результат вимірювання вноситься відповідна поправка.

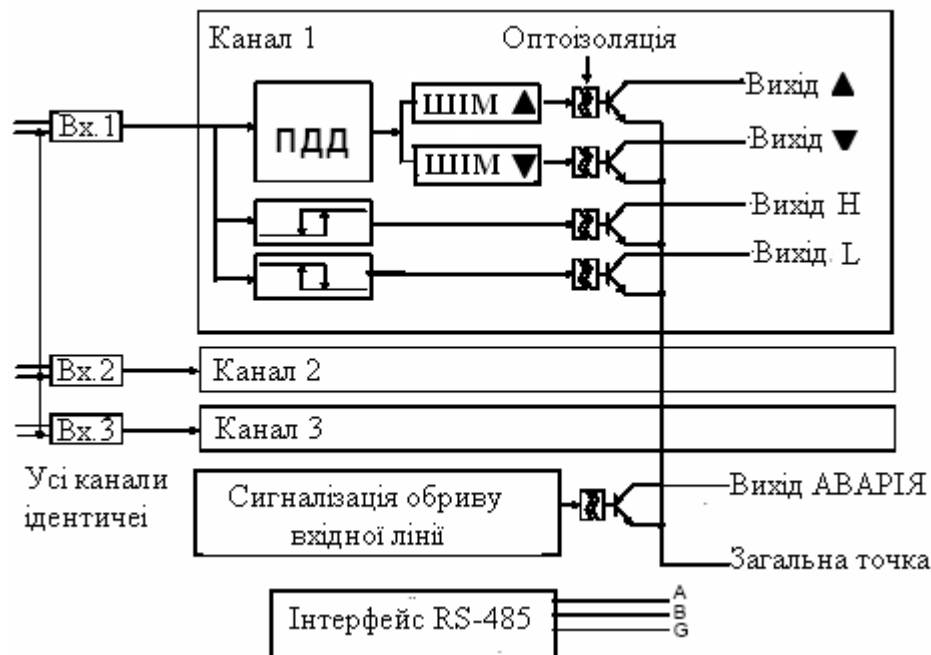


Рисунок 5.44 – Функціональна схема регуляторів серії Метакон–514/524/534

Вимірне значення обробляється також компараторами Н і L. Кожен компаратор порівнює вимірне значення зі встановленими порогоми і у відповідність із заданою йому функцією позиційно керує вихідними ключами. Параметри роботи і функції компараторів Н і L задаються незалежно.

ПДД-регулятор виконує порівняння вимірюваного значення вхідного сигналу із заданою величиною (уставкою), обробляє сигнал непогодження між ними і видає сигнал керування на широтно-імпульсний модулятор.

ПДД-регулятор призначений для керування виконавчим механізмом інтегрального типу. Разом з таким механізмом ПДД-регулятор реалізує алгоритм ПД-регулювання.

Регулятор обробляє сигнал непогодження x_i і формує напругу U_i за рівнянням:

$$U_i = \frac{1}{T_i} x_i + K \frac{\Delta x_i}{\Delta t} + T_d \frac{\Delta x_i^2}{\Delta t^2},$$

де K - коефіцієнт пропорційності (задається при конфігуруванні);

T_i – постійна часу інтегрування (задається при конфігуруванні);

T_d – постійна часу диференціювання (задається при конфігуруванні).

Напруга U після обмеження її певними настроювальними параметрами перетворюється у сигнал керування E , рис.5.45.

Параметри E_L і E_H задаються для обмеження впливу приладу на об'єкт регулювання в часі.

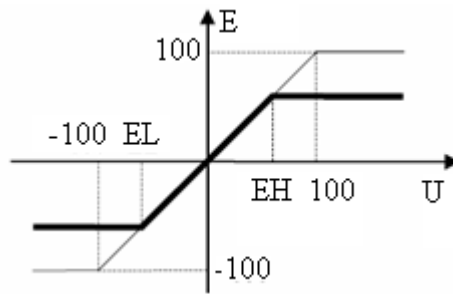


Рисунок 5.45 – Графік залежності сигналу керування E від U

Обмежений сигнал керування E надходить на широтно-імпульсні модулятори, де позитивне значення перетворюється модулятором ШІМ▲, а негативне - модулятором ШІМ▼ в послідовність імпульсів з періодом PP , рис.5.46. Тривалість імпульсів пропорційна величині сигналу керування.

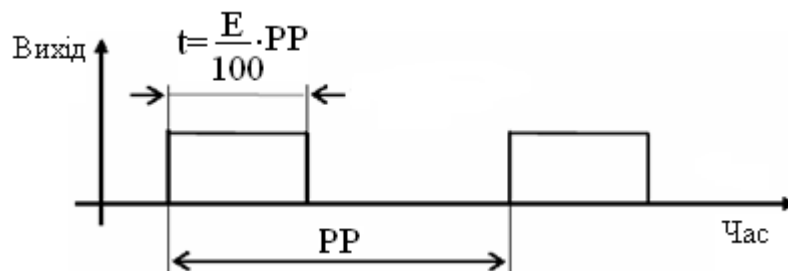


Рисунок 5.46 – Крива розгону широтно-імпульсного модулятора

Вихід▲ призначений для керування виконавчим механізмом у бік збільшення, а вихід ▼ – у бік зменшення регульованої величини. Одночасне вмикання виходів ▲ і ▼ неможливе.

Для виключення короткочасних спрацьовувань виконавчого механізму передбачено обмеження мінімальної тривалості імпульсу на рівні tP . При цьому, якщо в процесі регулювання виникає необхідність формування імпульсів з тривалістю менше tP , то відбувається внутрішнє накопичення імпульсів.

Внутрішнє накопичення імпульсів полягає в наступному:

- перший імпульс з тривалістю меншою tP не формується;
- тривалість імпульсу, що йде за ним, збільшується на тривалість попереднього, якщо сумарна тривалість виявляється меншою за tP , то не формується і цей імпульс;
- імпульси не формуються до тих пір, поки їх загальна тривалість не виявиться більше за мінімально допустиму.

За рахунок внутрішнього накопичення, мінімальна тривалість імпульсів фіксується на рівні tP , а необхідний середній рівень сигналу управління зберігається за рахунок проріджування послідовності імпульсів.

Період ШІМ-послідовності РР і мінімальна тривалість імпульсу tP задаються при підготовці приладу до роботи відповідно до характеристик вживаного виконавчого пристрою.

Уставка ПДД регулятора задається з передньої панелі приладу або через інтерфейс RS - 485.

Користувач керує роботою приладу шляхом встановлення певних параметрів, які поділяються на оперативні та конфігураційні.

Конфігураційні параметри задаються при проведенні пусконаладжувальних робіт у режимі КОНФІГУРУВАННЯ. Оперативні параметри задаються оператором у режимі РОБОТА.

Всі налаштовувальні параметри функціонально і логічно поділені на групи – меню. У кожному режимі роботи приладу є одне або декілька меню. У кожному меню присутні один або кілька параметрів, значення яких можна переглядати і встановлювати.

У режимі РОБОТА оператор контролює вимірюваний параметр (температуру, тиск, вологість) роботу компараторів, контролює значення сигналів керування, встановлює значення коефіцієнтів та уставок ПДД-регулятора і аварійних компараторів, має можливість тимчасово зняти і знову встановити захист від несанкціонованого доступу.

У режим КОНФІГУРУВАННЯ встановлюються параметри каналу, додаткові (загальні) параметри регулятора, параметри інтерфейсу.

У режим АВАРІЯ канал переходить при виникненні аварійної ситуації.

Після усунення причин аварійної ситуації канал продовжує перебувати в режимі АВАРІЯ. При необхідності оператор може перевести канал у режими «Автоматичне регулювання» або «Ручне керування».

В ПДД-регуляторах серії МЕТАКОН-514/524/534 реалізовано режим автоматичного налаштування параметрів. У цьому режимі прилад виконує двопозиційне регулювання і за коливанням вимірюваного сигналу розраховує параметри настройки та переходить у режим ПДД-регулювання. Тривалість налаштування – один період коливань у системі. Знайдені таким чином параметри зберігаються у енергонезалежній пам'яті.

Рекомендується здійснювати автонастроювання одночасно тільки на одному каналі, аби виключити взаємний вплив на результати настроювання об'єктів різних каналів.

Регулятор підтримує інтерфейс RS-485, гальванічно ізольований від інших частин приладу[65].

5.4.3.6 Приладовий регулятор Диск 250М

ДИСК 250М, виробництва “ТЕПЛОПРИБОР” м. Челябінськ – це представник приладових регуляторів, який побудований на мікропроцесорній елементній базі і призначений для вимірювання, реєстрації, сигналізації і регулювання параметрів технологічних процесів.

Прилад має заглиблений вертикальний монтаж і закривається дверцями з ліцевої сторони, рис.5.47.

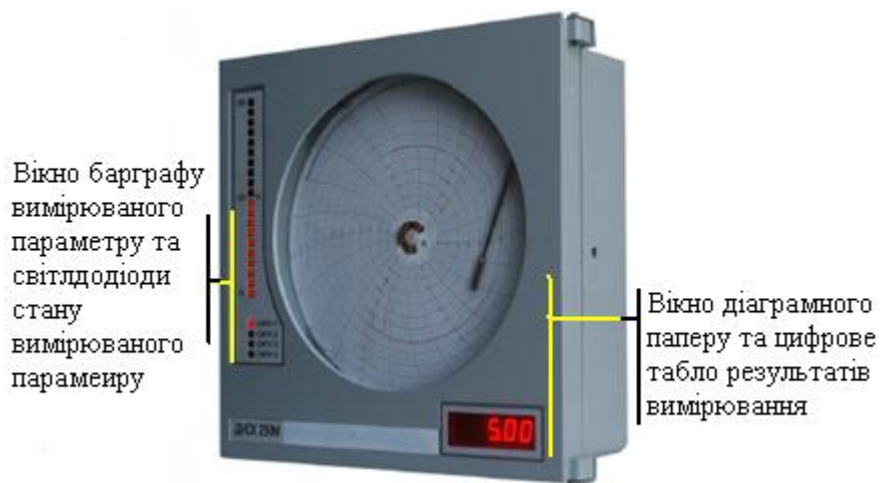


Рисунок – 5.47 Приладовий регулятор ДИСК 250М

На дверці приладу, розташовані:

- 1- кругле вікно для спостереження на діаграмному папері за вимірюваним параметром;
- 2- вікно п'ятизначного цифрового табло результатів вимірювання;
- 3- вікно барграфу, який представляє результат вимірювання в аналоговому виді;
- 4- чотири світлодіоди, що сигналізують вихід вимірюваного параметра за допустимі межі.

Прилад може здійснювати регулювання за одним із законів: ON/OFF (позиційний), ПІД-S (імпульсний), ПІД-C (аналоговий), ПІД-Н/С (широтно-імпульсний), а також може підтримувати обмін інформацією з ЕОМ за інтерфейсами RS-485 і RS-422 по протоколу Modbus. За допомогою інтерфейсу можна також здійснювати налаштування і програмування приладу.

Структурна схема приладу приведена на рис.5.48. АЦП перетворює аналогові сигнали від датчиків у двійковий код. Код передається у центральний процесор, де він обробляється і видається на:

- ЦАП для перетворення цифрового коду в сигнал 4-20 мА, який може нести інформацію, як про значення вимірюваного сигналу, так і про сигнал регулювання, якщо при конфігуруванні приладу було вибрано ПІД-C – закон регулювання;
- пристрій управління кроковим двигуном 2, який переміщає перо, відповідно до значення вхідного сигналу;
- табло 1, що відображає результат виміру в цифровому вигляді;
- барграф, висота світлового стовпа якого пропорційна вимірюваному значенню сигналу;
- реле, стан якого визначається співвідношенням між значеннями вхідного сигналу і уставки.

Конфігурування приладу здійснюється за допомогою табло 2 і клавіатури, що знаходяться під кришкою приладу. Обертання діаграмного диску під

керуванням центрального процесора (ЦП) здійснює кроковий двигун 1. ЦП формує в архіві масив повідомлень про результати вимірювання.

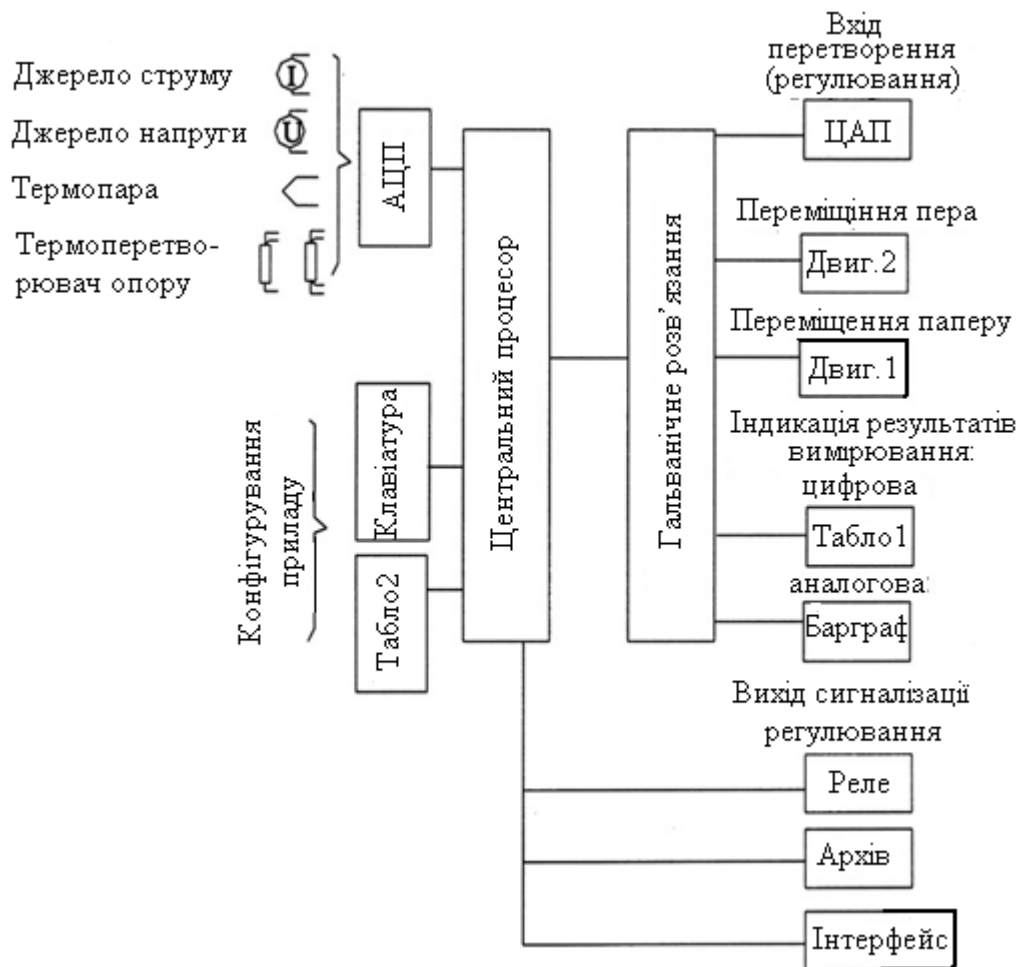


Рисунок 5.48 – Структурна схема приладу ДИСК 250М

Прилад працює за двома режимами – робочим і службовим.

Службовий режим призначений для перевірки, калібрування, юстирування і конфігурування приладу.

У робочому режимі здійснюється:

- вимір параметра вибраного при конфігуруванні і підключеного до входу приладу;
- реєстрацію виміряних значень на діаграмному диску;
- сигналізацію виходу параметра за допустимі межі;
- регулювання;
- архівування результатів вимірювання.

Результати вимірювання відображаються на табло і на барграфі. На світлодіодному табло висвічується результат вимірювання, а на барграфі, що складається з 20 світлодіодів, результат вимірювання в аналоговому виді.

Нижній світлодіод барграфу світиться, коли результат вимірювання дорівнює нижньому граничному значенню вибраного діапазону. Якщо результат дорівнює верхньому граничному значенню, тоді горить весь барграф.

При виході параметра за нижнє граничне значення діапазону на величину, яка дорівнює межі допустимої похибки, нижній світлодіод вимикається.

При виході результату вимірювання за верхню межу діапазону всі діоди барграфа починають блимати.

На світлодіодному табло при виході параметра за межі діапазону залишається значення, яке відповідає нижньому або верхньому граничному значенню.

При обриві датчика на світлодіодному табло запалюється напис «ОБР». Формування сигналу «ОБР» здійснюється протягом 10 хв.

Результати вимірювань реєструються на діаграмному диску фломастером у вигляді графіка в полярних координатах.

Прилад може бути використаний як регулятор. Для цього при конфігуруванні необхідно задати закон регулювання, вибрати настройочні параметри і завдання.

Завдання може бути постійним в часі або представленим кусково-лінійною функцією часу – програмою.

У пам'яті приладу може зберігатися одна програма, яка може складатися з 30 ділянок (кроків). Для кожного кроку задається кінцеве значення параметра і поточний час (у годинах і хвилинах).

Запуск програми відбувається у момент переходу в автоматичний режим регулювання.

Регулятор може працювати в ручному або автоматичному режимі. Перехід з одного режиму в інший і навпаки здійснюється за допомогою клавіші «Ввод». У ручному режимі зміна керуючого сигналу здійснюється за допомогою клавіш ▼ або ▲. В автоматичному режимі регулятор, відповідно до непогодження поточного і заданого сигналів, автоматично розраховує і видає на потрібний вихід сигнал керування.

При вимиканні/вмиканні напруги живлення, режим регулювання залишається той, який був до вимикання.

В процесі роботи регулятора існує можливість оперативної корекції значення завдання. Для входу в режим корекції необхідно одночасно натиснути клавіші «Ввод» і ▲, або ▼. У цьому режимі роботи процес регулювання припиняється, сигнал керування (стан контактів реле, значення вихідного струму) залишаються на рівні попереднього режиму регулювання.

Корекція значення завдання виконується за спільними правилами редагування.

При виборі ПД-С - закону сигнал управління (4-20) мА виводиться на вихідні клеми відповідного розніму, що на зворотній стороні приладу.

При виборі ПД- Н/С – закону сигналом керування є тривалість імпульсу.

Закон регулювання ПД-S вибирається для об'єктів управління з виконавчим механізмом, що має обмежений рух, наприклад МЕО при керуванні заслінками. Регулююче діяння при виборі цього закону, видається на два контакти реле, які працюють у протифазі.

Для ПД – законів сигнал керування розраховується за формулою:

$$Y_i = K_p E_i + \frac{1}{T_i} \sum_{i=0}^n E_i \Delta t_{\text{вим}} + T_d \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{\text{вим}}},$$

де: K_p – коефіцієнт пропорційності, E_i – різниця між заданим і поточним значеннями вимірюваної величини, або непогодження, T_d – постійна часу диференціювання, ΔE_i – різниця між двома сусідніми вимірами E_i і E_{i-1} , $\Delta t_{\text{вим}}$ – час між двома сусідніми вимірами t_i і t_{i-1} , T_i – постійна часу інтегрування;

При регулюванні у першому рядку ЖКІ виводиться:

- значення непогодження у відсотках від діапазону вимірювання;
- поточне значення завдання в одиницях вимірюваної величини.

У другому рядку ЖКІ:

- значення регулюючого впливу у відсотках (тільки для ПД-С і ручного режиму);
- поточне вимірне значення параметра;
- режим роботи регулятора.

Для прикладу, на ЖКІ виведено:

9.3% X=+300.0 °C 12.3 +100.0 °C A
--

«9,3%» – значення непогодження, у відсотках від діапазону вимірювання;

«X=+300.0 °C» – поточне значення завдання, в градусах Цельсія;

«12.3» – значення сигналу керування у відсотках від діапазону 4...20 мА (тільки для ПД-С);

«+100.0 °C» – поточне вимірне значення температури об'єкта;

«A» – автоматичний режим роботи регулятора. Може бути «P» – ручний режим роботи.

У разі коли прилад працює в режимі регулювання за програмою на ЖКІ виведено:

9.3% X=+300.0 °C Ш02 +100.0 °C П

«Ш02» – номер поточного кроку програми регулювання (крок №2);

«П» – режим роботи регулятора за програмою. Може бути «P» – ручний режим роботи регулятора.

Результати вимірювання періодично усереднюються і записуються в незалежну пам'ять – архів приладу. Ємність архіву складає 32703 байти, що відповідає 2973 записам. Архів організований за кільцевим принципом. Це означає, що в разі його заповнення новий (останній) запис буде розміщений на місці старого, починаючи з першого запису[66].

5.4.3.7 Методи настроювання ПД-регуляторів

У багатьох сучасних цифрових регуляторах передбачена можливість визначення ПД-коефіцієнтів в режимі автоматичного настроювання. Але в

деяких випадках ця процедура не призводить до успіху, наприклад, у разі дуже інерційних об'єктів автоматизації. Для цих випадків існують методи настроювання ПД коефіцієнтів "вручну".

Існує чимало рекомендацій по настроюванню ПД-регуляторів, серед яких найбільш відомі методики визначення коефіцієнтів регулювання за методом Зиглера-Николсона[67]. Серед них:

- метод спроб і помилок;
- тангенціальний метод;
- метод двопозиційного регулювання.

ПД-коефіцієнти при використанні методу спроб і помилок підбираються окремо, щоб зрозуміти вплив кожного з них. Цей процес є досить трудомістким, оскільки вимагає проведення наступних спеціальних процедур:

а) встановити значення регульовального параметру близьким до того значення, при якому працюватиме об'єкт автоматизації;

б) перейти у режим регулювання з довільним пропорційним коефіцієнтом K_p (наприклад, 20), вимкненим інтегральним коефіцієнтом $K_i =$ "вимкнено" і обнуленим диференціальним – $K_d = 0$. Якщо об'єкт не піддається динамічним зовнішнім збуренням, диференціальний коефіцієнт можна залишити рівним 0, або підібрати його в останню чергу;

в) почекати, коли регульований параметр досягне сталого значення або сталих коливань. Час встановлення залежить від об'єкта автоматизації і його властивостей;

г) якщо у сталому режимі відсутні коливання параметру, зменшувати K_p до тих пір, поки не почнуться помітні коливання, обов'язково з перевищенням значення уставки;

д) якщо в сталому режимі вже спостерігаються коливання параметру, збільшувати K_p до тих пір, поки коливання не припиняться;

е) записати критичне значення пропорційного коефіцієнта $K_{p_{кр}}$, при якому з'являються (пункт з) або припиняються (пункт д) коливання регульовального параметру;

ж) виміряти і записати період коливань τ після їх появи (пункт з) або перед їх припиненням (пункт д);

з) розрахувати значення коефіцієнтів K , T_i , T_d відповідно до наведених формул:

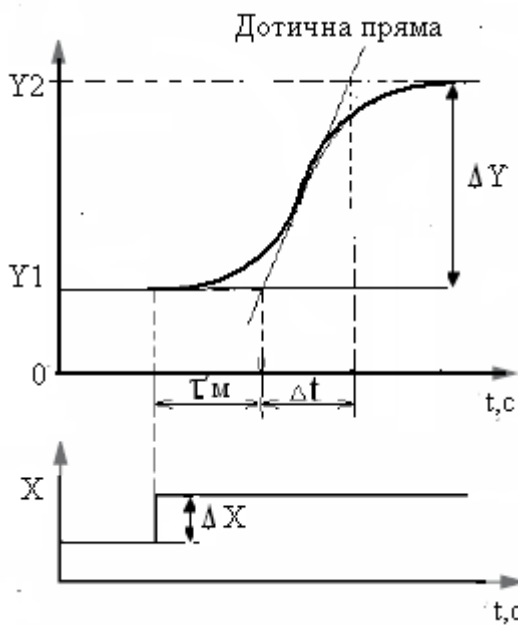
для П-регулятора $K = 2 \cdot K_{p_{кр}}$

для ПД-регулятора $K = 2 \cdot K_{p_{кр}}$, $T_d = 0.05 \cdot \tau$

для ПІ-регулятора $K = 2,2 \cdot K_{p_{кр}}$, $T_i = 0.8 \cdot \tau$

для ПІД-регулятора $K = 1,7 \cdot K_{p_{кр}}$, $T_i = 0.5 \cdot \tau$, $T_d = 0.12 \cdot \tau$.

У тангенціальному методі для знаходження ПД коефіцієнтів використовується крива розгону об'єкта. Для її побудови треба у ручного режимі задатися сигналом керування, при якому значення регульованого параметра не перевищує допустимої величини. Дочекатися усталеного значення параметра Y_1 і стрибком змінити керувальний вплив, наприклад на 5%. Записати процес зміни технологічного параметра (на комп'ютері, на самописці або по точках, вручну) до встановлення нового усталеного значення Y_2 .



Провести дотичну до отриманої кривої в точці, де нахил дотичної буде максимальний. Визначити емпіричне запізнювання, як проміжок часу, що пройшов з моменту зміни керувального впливу до моменту часу, визначеного точкою перетину дотичної з лінією першого усталеного значення параметра $Y1$. Визначити величину відносного нахилу дотичної за формулою:

$$K = \frac{\Delta Y / \Delta t}{\Delta X}$$

де ΔY - зміна регульованого параметра в одиницях виміру; Δt - відповідна зміна часу в секундах; ΔX - зміна керувального сигналу в %.

Розрахувати значення коефіцієнтів K , T_i , T_d відповідно до наведених формул:

для П-регулятора $K = 0,01 \cdot \tau_m \cdot K$;

для ПИ-регулятора $K = 0,009 \cdot \tau_m \cdot K$, $T_i = 3,3 \cdot \tau_m$

для ПИД-регулятора $K = 0,012 \cdot \tau_m \cdot K$, $T_i = 2 \cdot \tau_m$, $T_d = 0,25 \cdot \tau_m$.

Для знаходження ПИД-коефіцієнтів за процесом двопозиційного регулювання необхідно:

- задати уставку $T_{ус}$, що дорівнює заданому значенню регульованого параметра (або $0,7T_{ус}$, якщо перевищення протягом настроювання не бажане);
- увімкнути позиційний режим регулювання;

- в усталеному режимі виміряти період коливань технологічного параметра (час між сусідніми максимальними або мінімальними значеннями параметра) і повний розмах коливань регульованого параметра $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ (різницю максимального та мінімального значень).

Значення коефіцієнтів K , T_i , T_d розрахувати за приведеними формулами:

для П-регулятора $K = 0.45 / \Delta T$

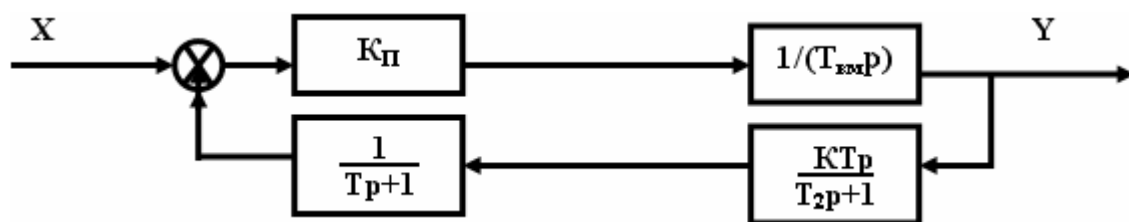
для ПИ-регулятора $K = 0.4 / \Delta T$, $T_i = 0.8 \cdot \tau$

для ПИД-регулятора $K = 0.55 / \Delta T$, $T_i = 0.5 \cdot \tau$, $T_d = 0.12 \cdot \tau$.

Контрольні запитання до розділу 5

1. Для чого призначені автоматичні регулятори?
2. У чому різниця між регуляторами апаратними, приладовими, агрегатними та модульними?
3. У чому різниця між пропорціональним та інтегральним законами регулювання?

4. В яких випадках у диференціальному рівнянні ПІ-закону коефіцієнт інтегральної складової характеризується як «Час інтегрування», а в яких як «Час ізодрома»?
5. Що таке «Час подвоєння»?
6. Як пов'язані між собою коефіцієнт диференціювання і коефіцієнт випередження?
7. Яку перехідну характеристику мають реальні ПІ-регулятори і чому?
8. Як при формуванні ПІ-закону реальними регуляторами враховуються інтегральні властивості виконавчих механізмів, з якими вони працюють?
9. Як в імпульсних регуляторах, що працюють разом з виконавчими механізмами сталої швидкості, формується ПІ-закон?
10. Який закон регулювання реалізує наведена структурна схема?



- 11.
12. В чому перевага трипозиційного регулятора відносно двопозиційного?
13. Як в регуляторі Р17 формується ПІД-закон регулювання?
14. За рахунок чого в регуляторі Р17 відбувається безударне перемикавання при переході з ручного режиму роботи на автоматичний?
15. Яке призначення має вимірювальний модуль в регуляторі Р27 і чим він відрізняється від вимірювального модуля регулятора Р17?
16. Як в регуляторі Р27 формується імпульсний вихідний сигнал?
17. В чому особливість роботи цифрових регуляторів?
18. Як в цифрових регуляторах послабляються шуми диференціювання та шуми вимірювань?
19. Як і для чого намагаються усунути в цифрових регуляторах інтегральне насичення?
20. Чому для аналізу і синтезу цифрових ПІД-регуляторів необхідно використовувати дискретні форми математичних рівнянь?
21. Як отримати алгоритм цифрового регулятора з класичного рівняння ПІД-закону?
22. Який вигляд має інкрементна форма рівняння ПІД-регулятора і, як її отримати?
23. За якими рівняннями цифровий регулятор розраховує вихідний сигнал, коли працює з пропорційним або інтегральним виконавчим механізмом?
24. Який вигляд має узагальнена схема цифрового регулятора?
25. Які функції цифрового регулятора виконує пристрій вводу інформації?
26. Як працює АЦП з порозрядним зрівноваженням?
27. Що собою являє пристрій керування в цифровому регуляторі і що в ньому відбувається?
28. Як і для чого в цифровому регуляторі здійснюється цифрова фільтрація вхідного сигналу?

29. Як у цифровому регуляторі здійснюється усунення початкової похибки перетворення вхідних сигналів?
30. Навіщо в регуляторах можна змінювати нахил вимірюваної характеристики?
31. Які типи логіки можуть бути реалізовані двопозиційним регулятором?
32. В яких випадках в роботі двопозиційного регулятора використовується тип логіки «прямий гістерезис»?
33. В яких випадках при двопозиційному регулюванні використовується П-подібний, а в яких U-подібний тип логіки?
34. Який тип логіки застосовується для керування роботою «холодильника»?
35. Як у пристрої керування цифрового регулятора формується вихідний сигнал, якщо виконавчим механізмом є позиціонер?
36. Як у пристрої керування цифрового регулятора формується вихідний сигнал, якщо виконавчим механізмом є нагрівачем або охолодник?
37. За якою формулою розраховується вихідний сигнал регулятора, якщо він працює з виконавчим механізмом сталої швидкості?
38. Як в пристрої керування працює алгоритм ШІМ-модуляції?
39. Яких типів вихідні пристрої застосовуються в цифрових регуляторах?
40. Що у цифровому регуляторі являє собою вихідний пристрій аналогового типу?
41. Яку схему має і, як працює ЦАП?
42. Як цифрові регулятори підключаються до промислової мережі?
43. Який вигляд має функціональна схема регулятора МТР-8 і, які його можливості?
44. Як МТР-8 формує ПД-закон регулювання, коли працює з виконавчим механізмом сталої швидкості?
45. Які можливості має регулятор ИРТ 5501/М1 і, яка у нього структурна схема?
46. З якими типами виконавчих механізмів працює регулятор ИРТ 5501/М1?
47. Яке призначення має вимірювач-регулятор ТРМ251?
48. Як в регуляторі ТРМ251 здійснюється цифрова фільтрація результатів вимірювання?
49. Як в регуляторі ТРМ251 функціонує пристрій сигналізації?
50. Як регулятором ТРМ251 виконується програма технолога?
51. Чому регулятор температури РТ1-03 називається універсальним?
52. Як в регуляторі РТ1-03 реалізуються алгоритми керування?
53. Яке призначення мають регулятори-вимірювачі серії МЕТАКОН-514/524/534?
54. За яким рівнянням регулятори серії МЕТАКОН-514/524/534 розраховують сигнал керування?
55. У чому різниця між регуляторами серій МЕТАКОН-514/524/534?
56. За якими законами регулювання може працювати прилад Диск250М?
57. Що відображає вікно барграфу приладу Диск250М?
58. Як настроюється регулятор за допомогою методу спроб і помилок?

6 ЗАСОБИ ОПЕРАТИВНОГО КЕРУВАННЯ ТА ДОПОМІЖНІ ПРИБОРИ

Регулятори і виконавчі механізми є основними пристроями систем автоматизації локального рівня, оскільки від статичних та динамічних властивостей саме цих технічних засобів залежить якість регулювання технологічних параметрів. Проте склад систем автоматичного регулювання значно ширший. Існують пристрої без яких неможливо не тільки якісне автоматичне регулювання за заданим алгоритмом, а і їх налагодження, та дублювання у роботі. Серед них задатчики, покажчики положення регульовального органа, блоки ручного керування, перемикачі режимів роботи, нормувальні перетворювачі, блоки живлення, мережні фільтри, пристрої сигналізації та комутації.

6.1 Задавальні пристрої

Задавальні пристрої (задатчики) призначені для використання в локальних і комплексних системах промислової автоматизації в якості пристроїв, що задають для регуляторів значення параметрів, які вони мають підтримувати для забезпечення якісного технологічного процесу.

Задатчики ручні РЗД-12 і РЗД-22 (АБС ЗЕіМ, Росія), рис.6.1, призначені для ручного установлення сигналів завдання стабілізуючим регуляторам і регуляторам співвідношення. Окрім того РЗД-22 також може перетворювати один вид уніфікованого сигналу постійного струму або напруги в іншій.

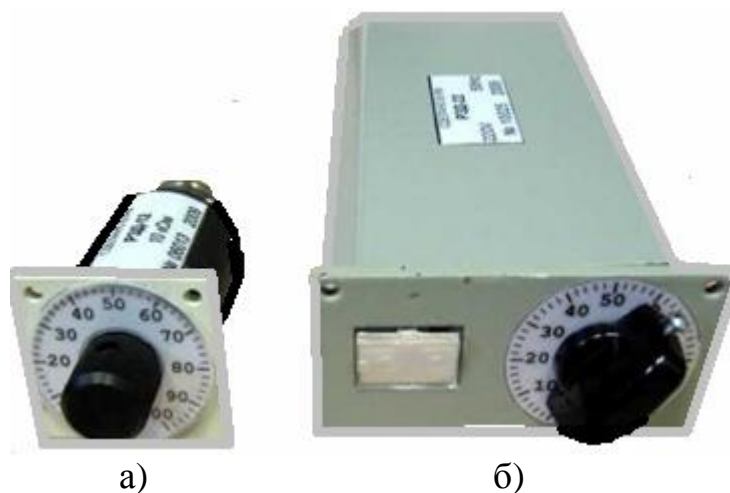


Рисунок 6.1 – Ручні задатчики струмові РЗД-12 (а) РЗД-22 (б)

Задатчик РЗД-12 конструктивно складається з передньої панелі, ручки зі шкалою 0-100% та пластмасового корпусу. Він являє собою потенціометр, опір на виході якого змінюється при повороті ручки від 0 до 10Ком або від 0 до 2,2Ком залежно від виконання, .

Задатчик РЗД-22 має передню та задню панелі, з'єднаних боковинами. На передній панелі розташовано ручка для установлення завдання, яка насаджена на вісь потенціометра дільника напруги, шкала та табличка для надписів. Під

табличкою є отвори для доступу до потенціометрів, за допомогою яких здійснюється підстроювання нульового значення та нижнього і верхнього рівнів вихідного сигналу. Датчик приєднується до зовнішніх електричних кіл за допомогою розніму, що знаходиться позаду.

У складі задатчика є регульований дільник напруги, підсилювач постійного струму та джерело живлення. При повороті ручки задатчика відбувається управління вихідною напругою операційного підсилювача за допомогою регульованого дільника напруги, підключеного до одного з його входів. Вхідними і вихідними сигналами задатчика РЗД-22 можуть бути сигнали постійного струму 0 - 5мА, 0 - 20мА, 4 - 20мА або напруга 0 - 10В. Схеми приєднання навантаження до РЗД-22 наведено на рис.6.2.

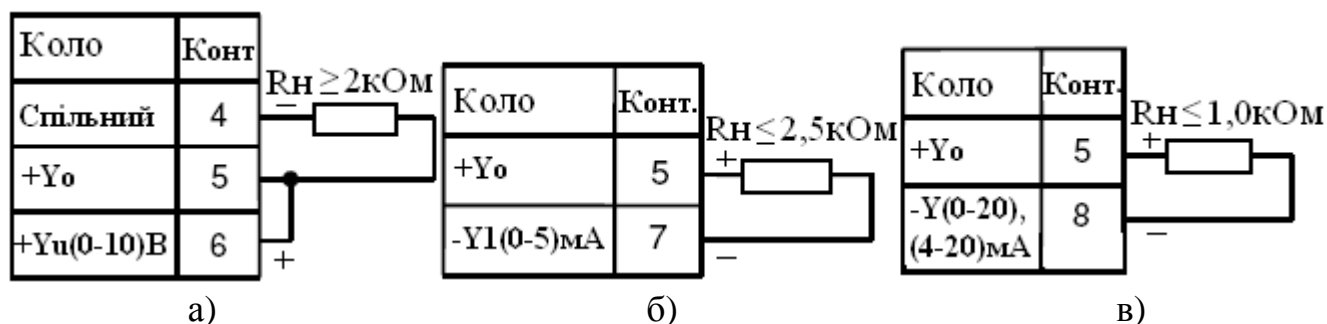


Рисунок 6.2– Схеми приєднання навантаження до РЗД-22 для вихідних сигналів (0-10)В (а), (0-5)мА (б) та (0-20,(4-20)мА (в)

Електричне живлення задатчика РЗД-22 має здійснюватися змінним однофазним струмом з напругою 220В, 240В або 24В і частотою 50 або 60Гц[68].

Московський завод теплової автоматики випускає декілька струмових задатчиків – ЗУ5, ЗУ11 і більш сучасний ЗУ50, рис.6.3.

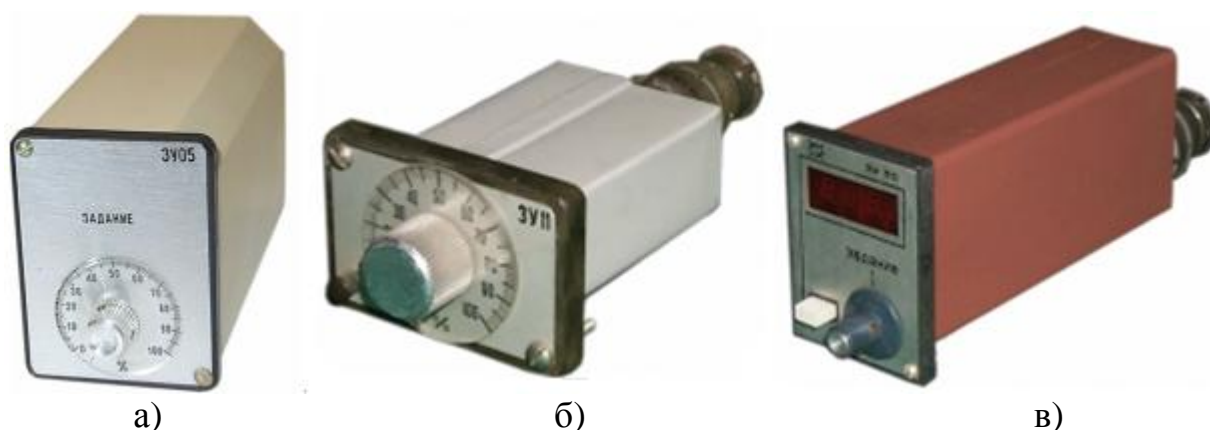


Рисунок 6.3– Струмові задатчики ЗУ05 (а), ЗУ11 (б) і ЗУ50 (в)

Задавальний пристрій ЗУ50 (МЗТА, Москва) призначений для застосування в схемах автоматизації різних технологічних процесів як задатчик для регульовальних приладів. Задане значення регульованої величини

представляється у вигляді аналогового уніфікованого сигналу постійного струму, величина якого відображається на цифровому індикаторі.

Задатчик є пристроєм, на лицевій панелі якого знаходиться ручка зміни завдання, цифровий індикатор і кнопка для гасіння сегментів цифрового індикатора, а на тильній стороні – рознім для підключення зовнішніх електричних кіл. Вихідний сигнал постійного струму, що змінюється в діапазонах 0-5мА, 0-20мА, 4-20мА вибирається на відповідних клеммах розніму, а цифрова індикація виконана у відсотках[69].

Задатчики МТМ103 (Мікротерм, Україна), рис.6.4, призначені для використання не тільки в якості ручного задатчика аналогових сигналів, а ще як станція ручного керування аналоговими виконавчими механізмами.





Рисунок 6.4 – Задатчик МТМ103


Вихідний сигнал МТМ103 настроюється програмно в діапазонах 0-5, 0-20, або 4-20 мА постійного струму з цифровою індикацією значень у відсотках або в одиницях вимірювання регульованого параметра . Для цього на передній панелі пластмасового корпусу знаходяться індикатори і кнопки.

Цифровий індикатор зеленого кольору, призначений для відображення значення сигналу постійного струму, що задається, у відносних або абсолютних одиницях, а світлодіод червоного кольору показує стан задатчика (постійне свічення в режимі завдання струму і мигання в режимі програмування).

Кнопки призначені для:

– збільшення  значення вихідного сигналу постійного струму (у режимі ручного керування) або збільшення значення програмованого параметра (у режимі програмування);

– зменшення  значення вихідного сигналу постійного струму (у режимі ручного керування) або зменшення значення програмованого параметра (у режимі програмування);

– входу  в режим програмування або для підтвердження зміни програмованого параметра.

На задній панелі корпусу розташовано рознім для підключення напруги живлення і вихідних електричних кіл.

Структурна схема задатчика наведена на рис.6.5а. Сигнал з кнопок поступає на мікроконтролер (МК), який управляє індикацією і сигналом, що подається на цифро-аналоговий перетворювач (D/A).

Живлення елементів схеми здійснюється від перетворювача, побудованого за принципом перетворення постійної напруги в змінну (генератор Роєра) з подальшим її випрямленням.

При зникненні живлення задатчики зберігають значення вихідного сигналу на момент вимикання, чим забезпечується безударність при перемиканні.

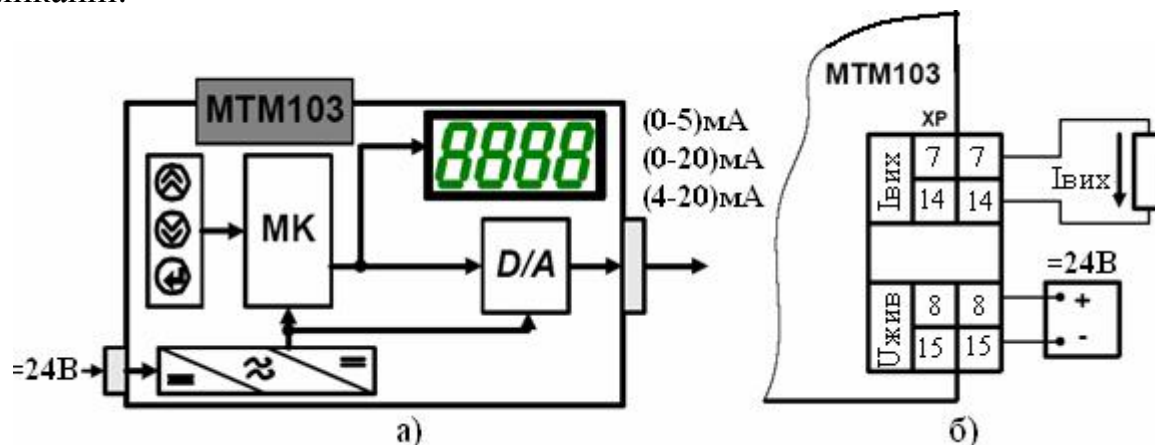


Рисунок 6.5 – Структурная схема (а) и схема приєднання (б) задатчиків

Схема приєднання задатчиків показана на рис.6.5б. Якщо задатчики справні, засвічуються індикатор і світлодіод, а значення вихідного сигналу постійного струму встановлюється на рівні 50 % діапазону вихідного сигналу постійного струму[70].

6.2 Дистанційні показчики

Налагодження і аналіз роботи систем автоматичного регулювання ускладнюються без наявності інформації про сигнали непогодження на вході регулятора та положення регульовального органа. Пов'язане це з тим, що регулятор повинен мати достатній діапазон регулювання як у бік збільшення так і зменшення вихідного сигналу. Тому в усталеному режимі, коли поточне значення регульованого параметра дорівнює заданому і в системі автоматизації відсутні збурення, регульовальний орган має займати проміжне положення між крайніми точками робочого діапазону.

Дистанційний показчик положення ДУП-М (ЗЕіМ, Росія) і індикатор положення уніфікований ИПУ (МЗТА, Росія), рис.6.6а,б, призначені для дистанційного показу положення вихідного вала електричного виконавчого механізму, який жорстко з'єднаний з регульовальним органом і має реостатний або індуктивний датчик зворотного зв'язку. За принципом роботи вони ідентичні, тому електричні схеми майже однакові.

Принципова схема ДУП-М, рис.6.6, складається з вимірювального моста і вузла живлення (на рисунку не показано).

Плечі незрівноваженого вимірювального моста утворюються потенціометром R3, обмотками індуктивного перетворювача (ІП) виконавчого механізму або активним опором у разі реостатного перетворювача, а також резисторами R4 і R6. У діагоналі моста знаходиться вимірювальний прилад ВП (мікроамперметр 0-100 мкА), чутливість якого встановлюється потенціометром R5. Випрямлення струму здійснюється напівпровідниковими діодами Д3 і Д4. Міст балансується потенціометром R3, резистори R2, R4, і R6 служать для обмеження струму в колах живлення моста і перетворювача.

Показчик положення живиться змінною напругою 220 В (клеми 1-2). Стабілітрони Д1 і Д2 призначені для стабілізації напруги живлення моста.

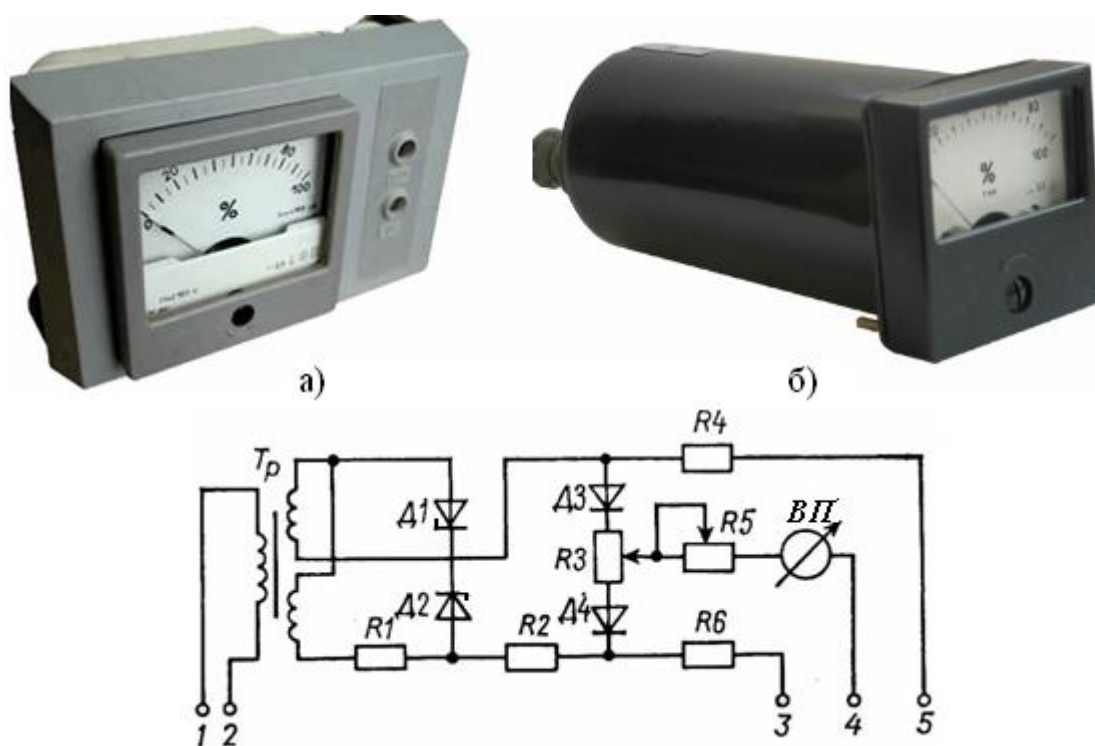


Рисунок 6.6– Дистанційний показчик положення ДУП-М (а) і його принципова електрична схема та індикатор положення уніфікований ІПУ (б)

Резистор R1 забезпечує режим роботи стабілітронів. При зміні положення вихідного вала виконавчого механізму змінюється співвідношення опорів плечей ІП. Це призводить до зміни струму в діагоналі моста, що вимірюється приладом ВП, шкала якого відградує у відсотках. Свідчення ВП відповідають положенню вихідного вала виконавчого механізму у відсотках від повного кута повороту вала.

Для приєднання ДУП-М до датчика положення вихідного вала виконавчого механізму використовуються клеми 3, 4 і 5 показчика[71,72].

Перетворювачі положення аналогові МТМ 150 (Мікротерм, Україна), рис.6.7, призначені для безперервного вимірювання і перетворення кута повороту вала або величини лінійного переміщення штока пневматичного виконавчого механізму в електричний уніфікований сигнал постійного струму, відображення результатів перетворення на цифровому індикаторі, а також сигналізації досягнення валом або штоком крайніх положень.

Існує дві модифікації перетворювачів - без сигналізації МТМ- 150 і з сигналізацією - МТМ150М.

Перетворювачі можуть працювати в режимі перетворення, настроювання і калібрування. Перемикання режимів здійснюється за допомогою кнопок розташованих під кришкою перетворювача.

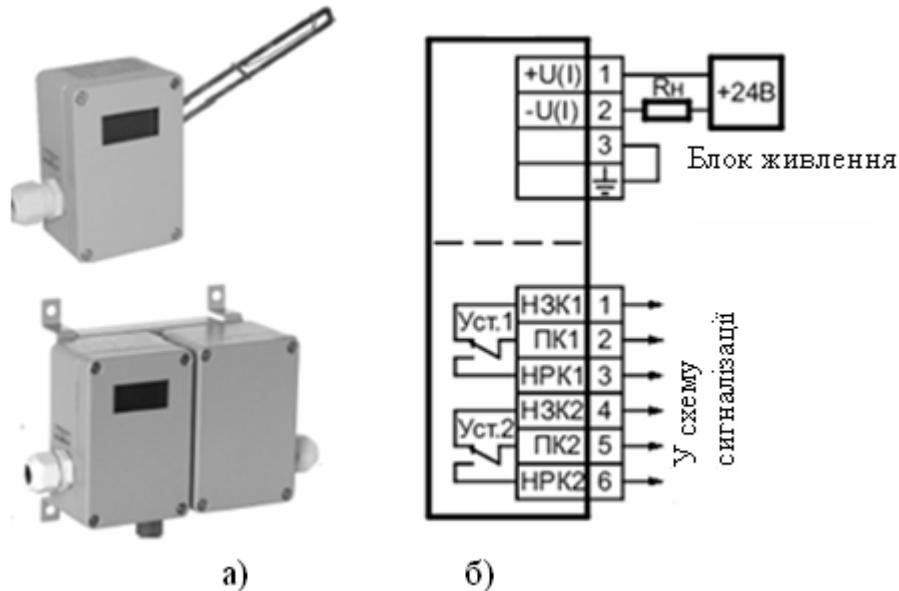


Рисунок 6.7 – Перетворювачі положення аналогові МТМ 150 і МТМ150С (а) і схема електричних приєднань (б)

Настроювання МТМ-150 здійснюється через багаторівневе меню за допомогою кнопок і цифрового індикатора. Залежно від заданого при настроюванні типу перетворення вихідний сигнал може мати лінійну залежність від кута повороту вала або від лінійного переміщення штока виконавчого механізму, з'єднанного з валом за допомогою важеля. При цьому на індикатор може виводитися поточне положення вихідного елемента виконавчого механізму у відсотках від заданого діапазону або у вигляді лінійної шкали.

Електрична схема приєднання перетворювача показана на рис.6.7б [73].

6.3 Блоки ручного керування

Блоки ручного керування використовуються в системах автоматичного регулювання та в автоматизованих системах управління технологічними процесами. За їх допомогою можна здійснюється перемикання з автоматичного режиму управління на ручний і назад; кнопкове управління виконавчими механізмами; світлову індикацію вихідного сигналу імпульсного регулятора, визначення положення регульовального органа і т. ін.

Блок ручного керування БРУ-33 (ЗЕіМ, Росія), рис.6.8, виконує функції управління блока попереднього випуску БРУ-32, замінює дистанційний показчик положення ДУП-М і формує сигнал постійного струму по положенню вала електричного виконавчого механізму для використання в САР.

Залежно від виду вхідного сигналу БРУ-33 має дві модифікації:

- БРУ-33-И - для вхідного сигналу від індуктивного датчика;
- БРУ-33-Р - для вхідного сигналу від реостатного датчика.

Протягом роботи БРУ- 33 забезпечує:

- перетворення вихідного сигналу індуктивного або реостатного датчика електричного виконавчого механізму (ЕВМ) в уніфікований сигнал;
- індикацію положення вихідного вала ЕВМ стрілочним індикатором;
- ручне перемикання режимів управління інтегральним виконавчим пристроєм з автоматичного на ручній і назад;
- кнопкове керування інтегральним виконавчим пристроєм;
- світлову індикацію вихідного сигналу регульовального пристрою з імпульсним вихідним сигналом.



Рисунок 6.8– Блок ручного керування БРУ- 33

Конструктивно БРУ-33 має корпус, на лицевій панелі якого знаходяться кнопки керування, одиничні індикатори, стрілковий вказівник та підстроювальні резистори «0» і «100» виходів. На задній панелі розташовано 32-контактний рознім для підключення зовнішніх електричних кіл, підстроювальні резистори «0інд» і «100інд» для настроювання мінімального та максимального значень стрілкового вказівника.

Шкала стрілкового індикатора відградуєвана у відсотках, а його показання відповідають положенню вихідного вала виконавчого механізму.

Перемикач режимів управління призначений для ручного перемикання кіл управління. Натиснуте і віджате положення перемикача має фіксацію. Натиснуте положення з поворотом проти ходу стрілки годинника відповідає автоматичному режиму управління, віджате з поворотом за ходом стрілки годинника – ручному режиму керування.

Кнопки ▷(більше) і ◁(менше) призначені для керування виконавчими пристроями вручну. Одиничні індикатори ▷(більше), ◁(менше) вказують на наявність імпульсних вихідних сигналів регульовального пристрою.

Живлення блока відбувається змінним однофазним струмом напругою 220В частотою 50Гц, а для живлення світлодіодів використовується напруга 24В постійного струму[74].

Схема електричних приєднань БРУ-33 показана на рис.6.9.

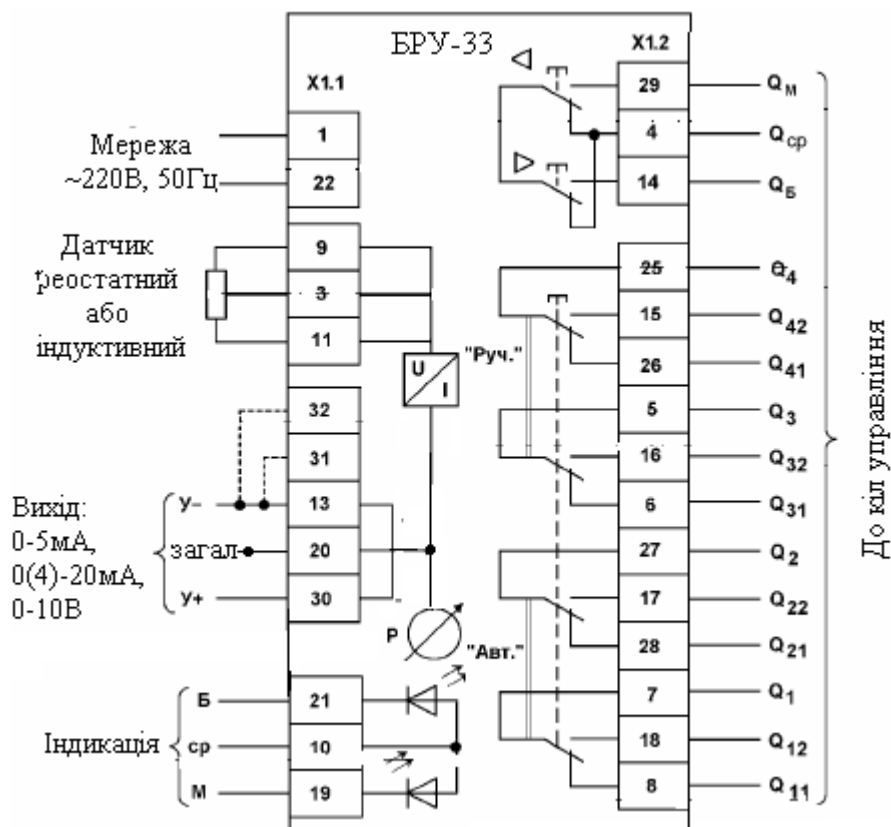


Рисунок 6.9 – Схема електричних приєднань БРУ-33

Блок ручного керування БРУ-44 (ЗейМ, Росія), рис.6.10, призначений для перемикання кіл керування виконавчими пристроями в автоматизованих системах управління різними технологічними процесами. Блок замінює блок ручного керування БРУ-42 і відрізняється від нього розширеними функціональними можливостями, сучасним дизайном, використанням сучасної елементної бази, меншою вагою.



Рисунок 6.10– Блок ручного керування БРУ-44

За допомогою блока ручного керування БРУ-44 можна здійснювати:

- ручне або дистанційне перемикання режимів управління виконавчим пристроєм з автоматичного на ручний і назад;
- кнопкове керування виконавчим пристроєм при ручному режимі керування;
- автоматичне формування імпульсів з регульованою шпаруватістю для управління виконавчим пристроєм у ручному режимі.

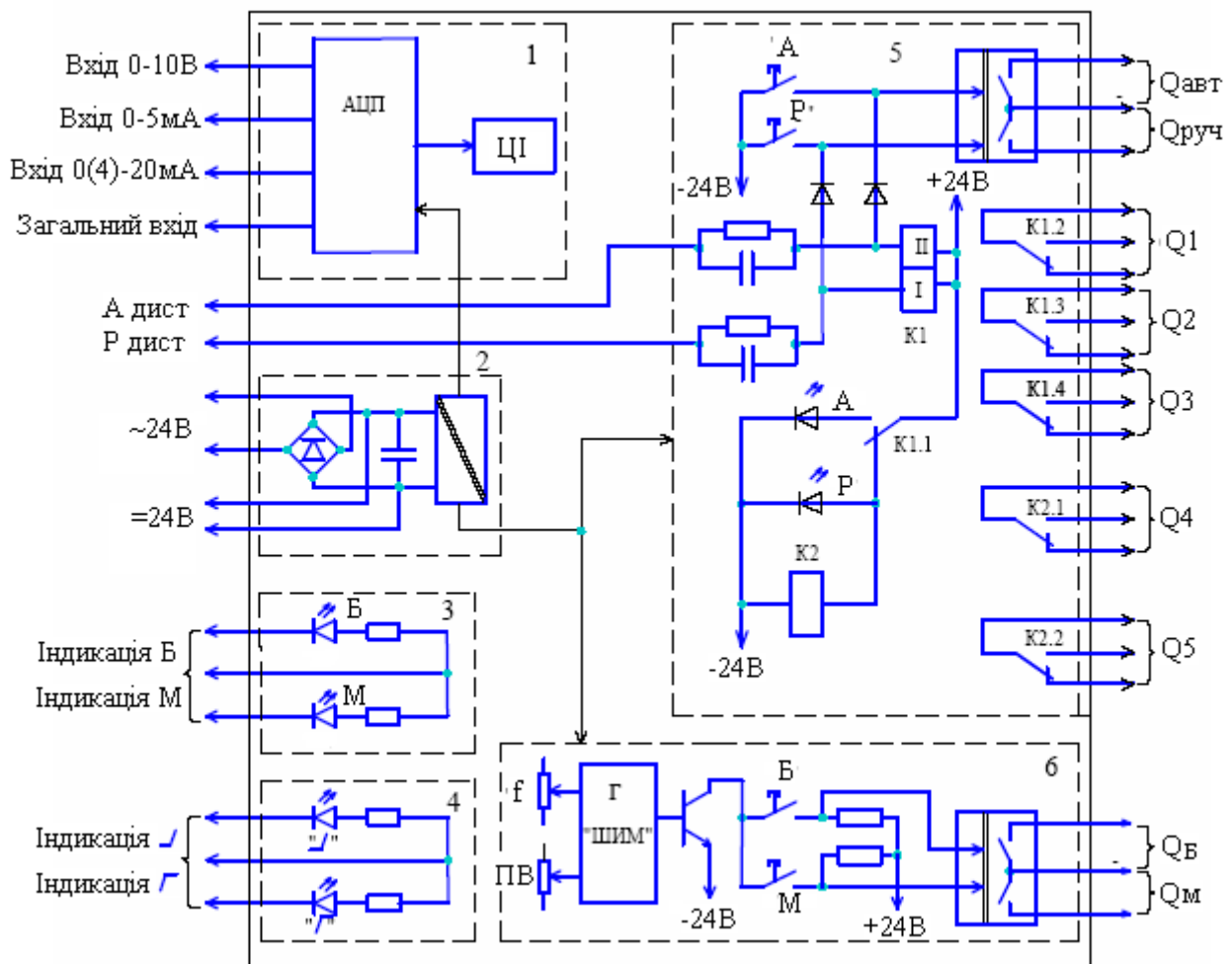
Крім того на його лицевій панелі є:

- цифрова індикація сигналу по положенню вихідного вала електричного виконавчого механізму;
- світлова індикація встановленого режиму управління;
- світлова індикація вихідного сигналу регульовального пристрою з імпульсним вихідним сигналом;
- світлова індикація про спрацьовування кінцевих вимикачів в крайніх положеннях вихідного вала електричного виконавчого механізму.

Блок живиться змінною напругою 24В частотою 50Гц або випрямленою напругою з середнім значенням 24В.

БРУ- 44 складається з друкованої плати, передньої панелі і вихідного розніму, що розташовані у пластмасовому корпусі. На передній панелі знаходяться кнопки керування А, Р, ▲, ▼, одиничні індикатори А, Р, ▲, ▼, цифровий індикатор, підстроювальні резистори "0" і "100" індикації, "f", "ПВ" ШИМ - сигналу.

Функціональна схема БРУ- 44 приведена на рис.6.11.



1-вузол індикації вхідного сигналу (положення вихідного вала електричного виконавчого механізму); 2-джерело живлення; 3-вузол індикації вихідного сигналу регульовального пристрою з імпульсним вихідним сигналом; 4-вузол індикації спрацьовування кінцевих вимикачів в крайніх положеннях вихідного вала виконавчого механізму; 5-вузол перемикання режимів управління; 6-вузол ручного керування.

Рисунок 6.11– Функціональна схема блока ручного керування БРУ- 44

Вхідний сигнал (0-10 В, 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА) надходить з виконавчого механізму на вузол індикації 1 і перетворюється вхідними резисторами у вимірюваний сигнал напруги. Підстроювання початкового і кінцевого значень здійснюється резисторами "0" і "100", що на передній панелі.

Вимірюваний сигнал поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача АЦП, де перетворюється у 3,5-розрядний семипозиційний код і висвічується на цифровому індикаторі ЦІ.

Джерело живлення 2 перетворює напругу живлення змінного струму 24В в напругу постійного струму для живлення схеми перемикачів режимів управління і вузла ручного керування, а також містить імпульсне джерело постійного струму для АЦП і ЦІ.

Вузол індикації 3 має одиничні індикатори Б і М для індикації вихідного сигналу імпульсного регульовального пристрою.

Вузол індикації 4 має одиничні світлодіоди \perp , Γ для індикації спрацьовування кінцевих вимикачів в крайніх положеннях вихідного вала виконавчого механізму.

Вузол перемикачів режимів управління 5 містить поляризоване реле К1, яке має дві обмотки. Перемикач реле відбувається при проходженні імпульсу постійного струму через відповідну обмотку. Повторення імпульсу струму в тій самій обмотці, а також вимикання живлення, не змінює стану контактів реле К1. Для зміни стану контактів необхідно вимкнути живлення однієї обмотки і пропустити імпульс струму по іншій обмотці.

Вузол ручного керування 6 містить генератор імпульсів з регульованою частотою f і регульованою тривалістю вмикання ТВ (ШІМ-сигнал). Підстроювання частоти імпульсів в діапазоні від 0,25 до 1 Гц і регулювання ТВ імпульсів в діапазоні від 25 % до 100 % здійснюється резисторами "f" і "ТВ", які знаходяться на передній панелі. ШІМ- сигнал через кнопки Б або М впливає на виходи бесконтактних реле QБ або QМ, які управляють виконавчими пристроями в ручному режимі [75].

Блок ручного керування БРУ-10. Підприємство МІКРОЛ (Україна) випускає декілька пристроїв ручного керування для систем автоматизації. Блок ручного керування БРУ-1 призначений для формування сигналів завдання для ручного керування аналоговими виконавчими механізмами. Блок ручного керування БРУ-5 призначений для використання в локальних і комплексних системах промислової автоматизації виробничих процесів в якості станції ручного керування імпульсними виконавчими механізмами або ручного задатчика імпульсних сигналів більше-менше з індикацією. Блок ручного керування БРУ-7 призначений для використання в локальних і комплексних системах промислової автоматизації виробничих процесів в якості станції ручного керування аналоговими виконавчими механізмами або ручного задатчика аналогових сигналів з індикацією.

Найбільш універсальний блок ручного керування, завдання і індикації БРУ-10 призначений для використання в локальних і комплексних системах промислової автоматизації виробничих процесів в якості багатofункціональної

станції ручного керування аналоговими або імпульсними виконавчими механізмами.

Конструктивно БРУ-10 є приладом щитового виконання, рис. 6.12. На лицевій панелі розміщені клавіші керування і індикація, а на задній частині розніми для приєднання клемно-блокового з'єднувача і локальної мережі.

Для управління технологічним процесом блок ручного керування обладнаний цифровою індикацією вимірюваної величини - дисплей ПАРАМЕТР і індикацією значення керувального діяння, яке подається на аналоговий вихід пристрою - дисплей ВИХІД. Крім того є необхідна кількість клавіш обслуговування і світлодіодних індикаторів для сигналізації різних статусних режимів і станів.



Рисунок. 6.12 – Блок ручного керування БРУ-10

Приєднання БРУ-10 до зовнішніх електричних кіл здійснюється за допомогою клемно-блокового з'єднувача КБЗ-24-14, який приєднується до розніму на задній стінці блока за допомогою шлейфа, завдовжки 0,75м або згідно замовлення. На КБЗ розміщені пружинні клєми для підключення зовнішніх сигналів блока БРУ-10, а також перемички для вибору діапазонів вхідних аналогових сигналів. КБЗ-24-14 встановлюється на рейку DIN35x7,5 за допомогою ніжок, розташованих на задньої стінці КБЗ.

Схему зовнішніх приєднань блока ручного керування БРУ-10 при використанні КБЗ-24-14 наведено на рис.6.13.

Блоки БРУ підключаються у розрив лінії подачі керувального сигналу від регулятора до виконавчого механізму. Коли блок БРУ знаходиться в режимі автоматичного регулювання, сигнал від регулятора подається на виконавчий механізм безпосередньо. При переведенні блока БРУ в ручний режим керування, оператор безпосередньо управляє виконавчим механізмом з передньої панелі блока.

БРУ-10 працює під управлінням сучасного, високоінтегрованого мікроконтролера, виготовленого за високошвидкісною технологією з низьким енергоспоживанням. Шляхом конфігурації БРУ-10 може бути встановлено в один з дев'яти режимів роботи.

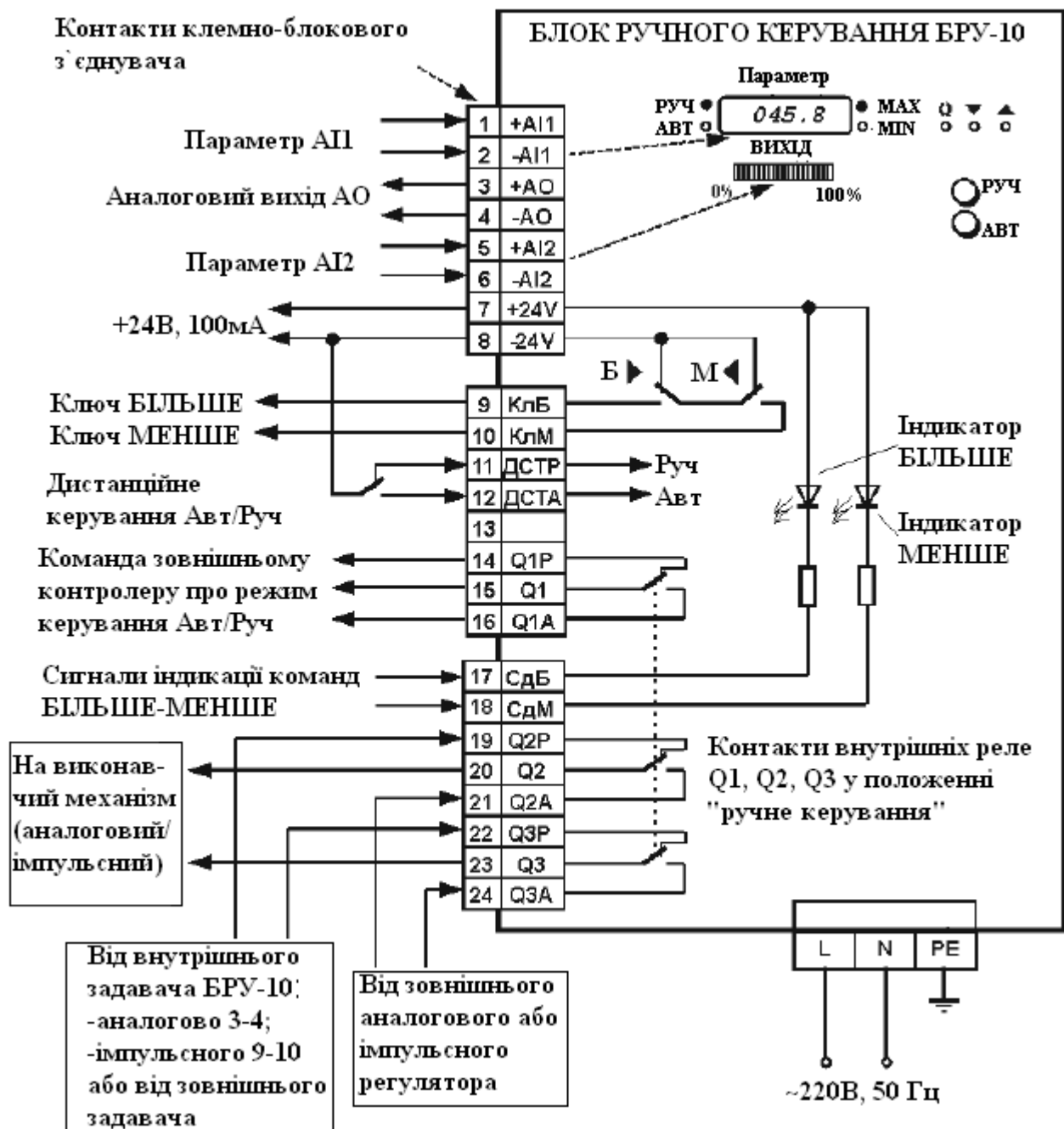


Рисунок 6.13 – Схема зовнішніх приєднань блока ручного керування БРУ-10 при використанні КБЗ-24-14

Режим 0 – індикатор двох фізичних величин на цифровому і лінійному індикаторі. Ручний аналоговий задатчик аналогових уніфікованих сигналів (керований клавішами на передній панелі).

Режим 1 – станція ручного керування аналоговим виконавчим механізмом із зовнішнім перемиканням керувальних кіл.

Режим 2 – станція ручного керування аналоговим виконавчим механізмом з внутрішнім перемиканням керувальних кіл.

Режим 3 – станція ручного керування імпульсним виконавчим механізмом із зовнішнім перемиканням керувальних кіл, з індикацією

положення виконавчого механізму за допомогою внутрішнього інтегратора. Задатчик імпульсних сигналів типу «більше-менше».

Режим 4 – перетворювач імпульсних сигналів більше-менше від імпульсного регулятора у вихідний уніфікований сигнал.

Режим 5 – перетворювач імпульсних ШІМ-сигналів від ШІМ-модулятора у вихідний уніфікований сигнал. Індикація ШІМ-сигналу на світлодіодному індикаторі "менше".

Режим 6 – перетворювач вхідних аналогових уніфікованих сигналів у вихідний аналоговий уніфікований сигнал. Можливість масштабування і перетворення (пряма або зворотна) шкал. Наприклад, перетворення вхідного сигналу 0-100% (0-20мА) у вихідний аналоговий сигнал 0-5мА - від 20% до 75% вхідного сигналу, але перетвореного в 0-100% вихідного сигналу.

Режим 7 – задатчик аналогових і імпульсних сигналів. Індикатор двох фізичних величин.

Режим 8 – задатчик аналогових і імпульсних сигналів (із захищеним режимом зміни аналогового сигналу). Індикатор двох фізичних величин.

Блок ручного керування БРУ-10 може забезпечити виконання комунікаційної функції по інтерфейсу RS - 485, що дозволяє контролювати і модифікувати його параметри за допомогою зовнішнього пристрою (комп'ютера, мікропроцесорної системи управління).

Протоколом зв'язку по інтерфейсу RS - 485 являється протокол Modbus режим RTU (Remote Terminal Unit).

Для роботи необхідно настроїти комунікаційні характеристики блока БРУ-10 так, щоб вони співпадали з настройками обміну даними головного комп'ютера[76].

6.4 Блоки мережних фільтрів

Блоки мережних фільтрів призначені для захисту двопровідної мережі змінного струму, що живить прилади і датчики, від імпульсних і високочастотних перешкод.

Імпульсні перешкоди – це короточасні (1нс-1мс) викиди в мережі амплітудою, що перевищує номінальну напругу.

Високочастотні перешкоди - це невизначені за часом і амплітудою сигнали в діапазоні 100кГц-30МГц, які спотворюють параметри вхідної напруги (220В/50Гц).

Блоки мережних фільтрів БСФ (ОВЕН, Росія), рис.6.14, ефективно послабляють імпульсні перешкоди від природних і техногенних джерел таких як:

- удари блискавок поблизу кабелів або ліній електропередачі;
- комутаційні процеси при вмиканні/вимиканні потужного мережного навантаження;
- викиди струму при повному вмиканні/вимиканні напруги в мережі або аварії на підстанціях.

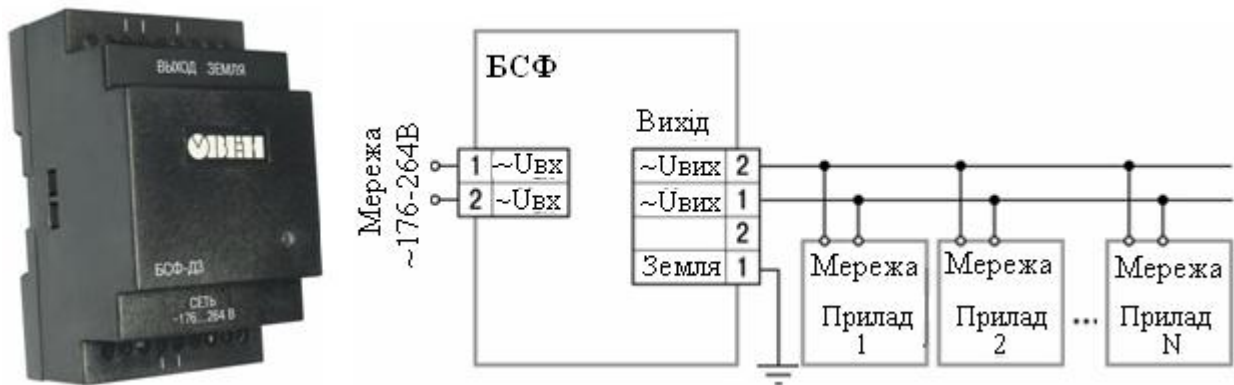


Рисунок 6.14 – Мережний фільтр серії БСФ і схема електричного приєднання

Імпульсні перешкоди з періодом 5-50нс ослаблюються в 10 разів, а з періодом 1-50мкс - в 4 рази, рис.6.15а.

Фільтри БСФ також ефективно заглушують високочастотні перешкоди, рис.6.15б, від:

- імпульсних блоків живлення (побутова електронна техніка, промислові і медичні апарати та ін.);
- кіл нелінійних перетворювачів потужності (перетворювачі змінної і постійної напруги);
- потужних двигунів, акумуляторів, генераторів, зварювальних апаратів, реле, газорозрядних ламп і тому подібне.

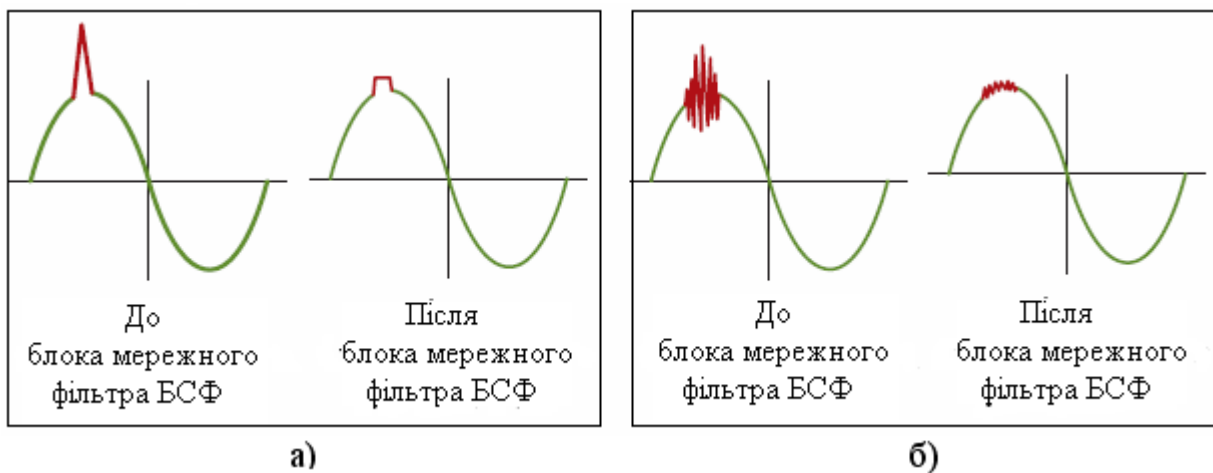


Рисунок 6.15 – Фільтрація імпульсних (а) і високочастотних перешкод (б)

Заглушування високочастотних перешкод відбувається при частоті 100кГц на 30дБ, 1МГц на 40дБ, 10МГц на 40дБ, 30МГц на 30дБ.

Електрична схема приєднання БСФ до приладів, що захищаються, приведена на рис.6.14. Слід пам'ятати, що не допускається паралельная робота блоків мережного фільтра, а кількість приєднаних до БСФ приладів має регламентуватися його максимальним струмом навантаження (0,6А для БСФ-Д2 і 1,2А для БСФ-Д3)[59].

Фільтр мережний ФС-220 (КонтрАвт, Росія), рис.6.16, захищає прилади від характерних для промислового виробництва високочастотних і імпульсних перешкод, а також короткочасних перенапружень, що поступають по колах живлення напруги 220В.

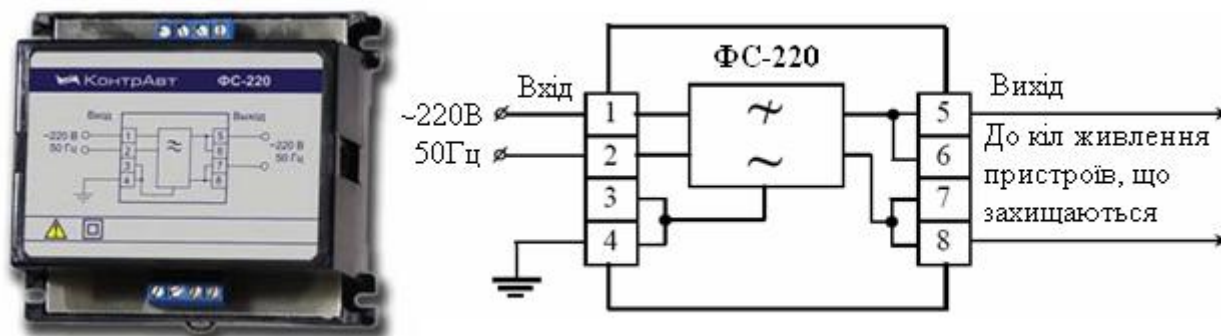


Рисунок 6.16 – Фільтр мережний ФС-220 і схема електричного приєднання

Максимальна енергія імпульсної перешкоди, що поглинається фільтром, не перевищує 100Джоулів. При цьому досягається 30-кратне послаблення наносекундних імпульсних перешкод (4кВ, 50нс) і 6-кратне послаблення мікросекундних імпульсних перешкод (4кВ, 50мкс). Заглушування в смузі захисту понад 100кГц, не гірше 25дБ.

Електричне приєднання фільтра до пристроїв, що захищаються, слід здійснювати згідно зі схемою, приведеною на рис.6.16.

Характеристики фільтра по заглушуванню високочастотних і імпульсних перешкод забезпечуються тільки у тому випадку, коли клемма 3 (чи 4) приєднана до робочого заземлення.

Встановлюється фільтр на спеціальну монтажну шину NS 35/7,5 за допомогою кріпильних пазів і клямки, що розташовані на його корпусі. Можливе також установлення фільтра на горизонтальну або вертикальну панель за допомогою гвинтів М3[77].

Блок фільтра БФ-1-2 (Мікрол, Україна), рис.6.17, призначений для захисту засобів автоматизації від дії перешкод мережі живлення змінного струму.

Блок забезпечує захист джерела живлення від дії імпульсних та високочастотних перешкод мережі живлення змінного струму та захист мережі від проникнення перешкод, що створюються працюючим обладнанням.

Блок складається з ударостійкого пластмасового корпусу, на задній стінці якого встановлено захват для монтажу блока на 35 мм DIN-рейку. В середині корпусу розташовано модуль фільтра, що являє собою плату друкованого монтажу з розміщеними на неї радіоелементами. На передній кришці корпусу встановлено панель, на якій зображена схема підключень блока і його позначка.

З'єднувачі для приєднання входних і вихідних електричних кіл, встановлені на платі і виходять за межі корпусу.

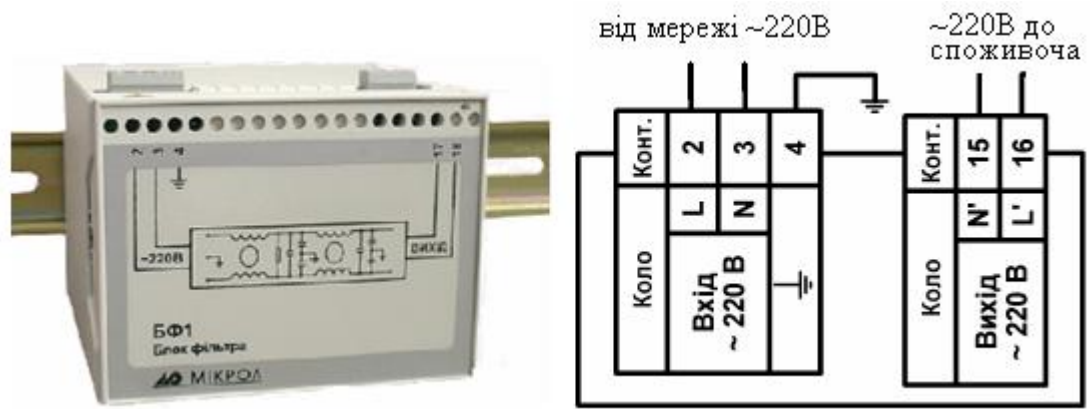


Рисунок 6.17 –Блок фільтра БФ-1-2 і схема електричного приєднання

Максимальний струм навантаження блока БФ-1-2-1 складає 1А, блока БФ-1-2-3 – 3А та БФ-1-2-6 – 6А. Подавлення високочастотних перешкод на частоті 150кГц для першої, третьої та шостої модифікацій блока БФ складає, відповідно, 65 дБ, 70 дБ і 55 дБ [76].

6.5 Блоки живлення

Блоки живлення призначені для перетворення змінної напруги 220В у напругу постійного струму. Вони використовуються для живлення датчиків, контролерів та інших приладів. Блоки живлення, що випускаються більшістю виробників, можна поділити на дві групи – одноканальні та багатоканальні. Вони випускаються на широкий спектр напруг – від 5В до 60В.

Чотириканальний блок живлення БП14Б-Д4.4 (ОВЕН, Росія), рис.6.18, призначений для живлення стабілізованою напругою постійного струму датчиків з уніфікованим вихідним струмовим сигналом. Блоки випускаються в одному корпусі в декількох модифікаціях, які відрізняються один від одного вихідною напругою в каналі, - 24В або 36В.

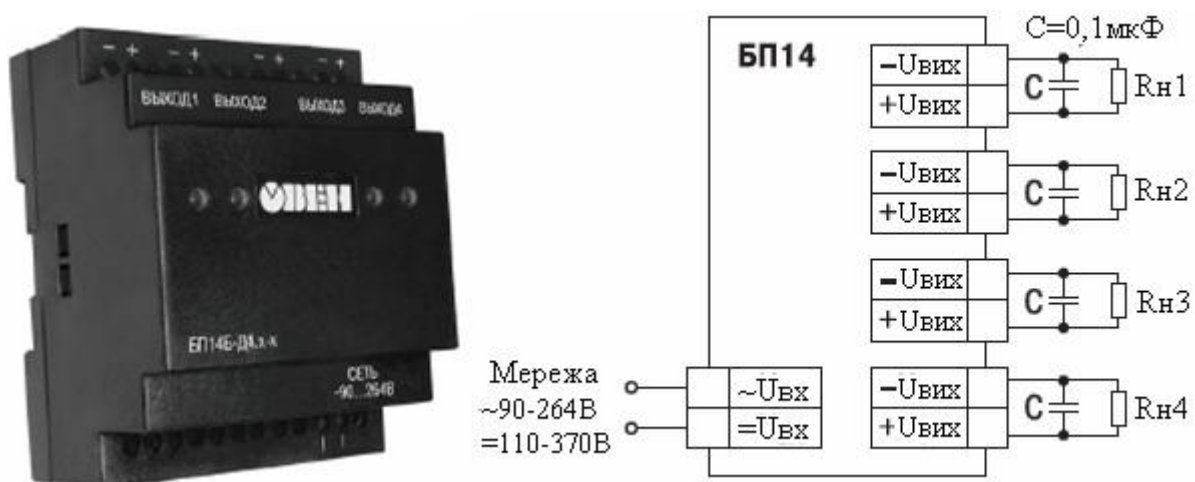


Рисунок 6.18 – Чотириканальний блок живлення БП14Б-Д4.4 і схема електричного приєднання

Блок виготовляється в пластмасовому корпусі з кріпленням на DIN - рейку. Корпус складається з двох частин, які з'єднуються між собою за допомогою заціпки. Для забезпечення відведення тепла, що виділяється при роботі блока, на нижній і верхній гранях корпусу передбачені вентиляційні отвори. На лицевій панелі блока розташовано чотири світлодіоди, які призначені для індикації наявності вихідної напруги в кожному каналі. Для приєднання до первинної мережі і навантаження блок оснащений двома групами клемних з'єднувачів (під гвинт), розташованих на верхній і нижній гранях корпусу.

Блок БП14Б-Д4.4 є імпульсним за принципом дії і виконаний за схемою одноктного обратногоходового перетворювача, має фільтр радіоперешкод на вході, гальванічну розв'язку між входом і виходом, і гальванічно ізольовані вихідні канали. Вихідна напруга стабілізується за допомогою негативного зворотного зв'язку. Пусковий струм обмежується за допомогою терморезистора. Захист від перенапруження і імпульсних перешкод здійснюється за допомогою варистора. У блоці передбачено захист від перевантаження і короткого замикання в навантаженні з автоповерненням, який діє незалежно для кожного каналу. При короткому замиканні або перевантаженні канал переходить в режим перезапуску, вихідна напруга в каналі знижується до нуля і відповідний світлодіод гасне або працює в миготливому режимі. При цьому інші канали працюють в нормальному режимі[59].

Блок живлення і реле БПР (КонтрАвт, Росія) це пристрій, рис. 6.19, у складі якого є джерело стабілізованої напруги 24В і три незалежні електромеханічні реле.



Рисунок 6.19 – Блок живлення і реле БПР

БПР призначений для живлення стабілізованою напругою нормуючих перетворювачів, реле, схем сигналізації і індикації, а також комутації кіл змінного і постійного струму в системах промислової автоматизації.

Напруга живлення БПР – 220В, а максимальне значення напруг, що комутують вбудовані реле, складає 110В постійного і 250В змінного струму.

При цьому значення струму при роботі з активним навантаженням не перевищує 5А, а при роботі з індуктивним навантаженням - 3А. При подчі на БПР напруги живлення загоряється зелений світлодіод, а кожне спрацьовування реле індичується червоними світлодіодами

Блок БПР рекомендується застосовувати спільно з регуляторами серії МЕТАКОН. Схема приєднання БПР в комплекті з блоком комутації реверсивним БКР, який керує роботою виконавчого механізму, і регулятором МЕТАКОН-5Х4 показана на рис.6.20.

Згідно з приведеною схемою, до реле К1 і К2 приєднуються компаратори Н і L регулятора, а до реле К3 - його вихід "Аварія". Якщо до контактів реле БПР підключити світлову або звукову сигналізацію, то при активізації відповідних виходів регулятора, оператори об'єкта автоматизації дізнаються про вихід регульованого параметра за допустимі межі Н і L або про аварійну ситуацію, яка виникла в процесі роботи регулятора.

У роботі БПР передбачено захист від перегрівання.

При монтажі системи автоматизації блоки живлення встановлюються на DIN -рейку в шафах систем промислової автоматики[78].

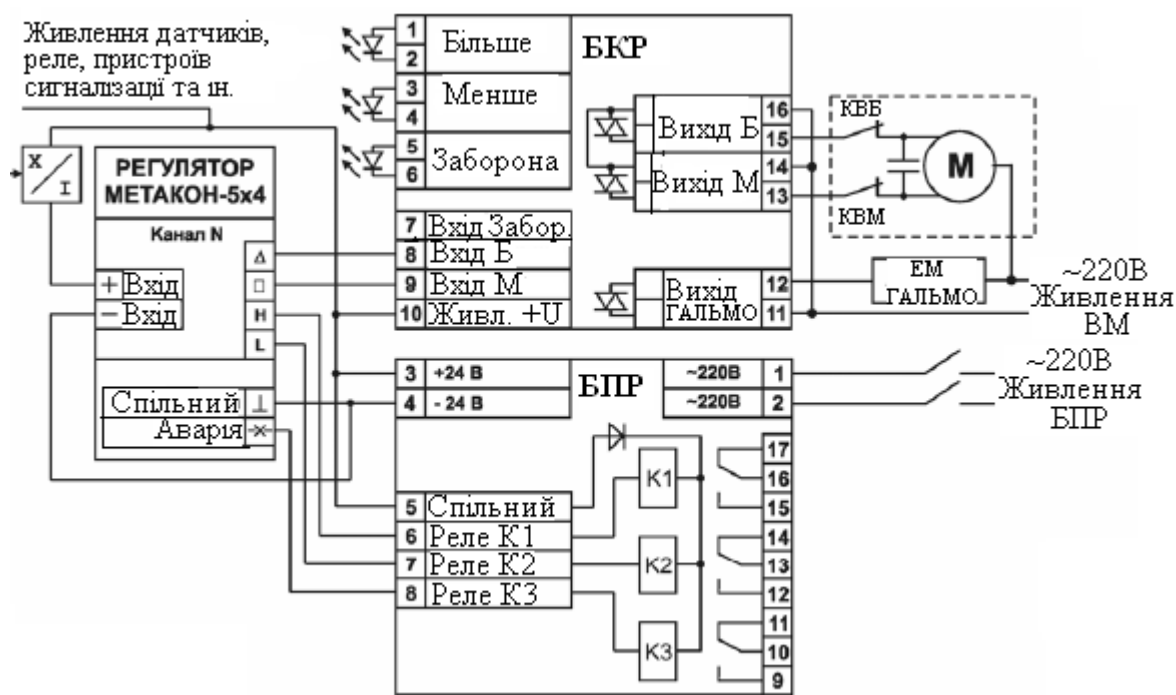


Рисунок 6.20 – Схема приєднання БПР

Одноканальний блок живлення БП24-1к (Мікрол, Україна), рис.6.21, призначений для:

- живлення нестабілізованою напругою постійного струму 24В нормуючих перетворювачів і блоків перетворення сигналів;
- живлення електронних схем і кіл дискретних входів, імпульсних входів і дискретних виходів мікропроцесорних контролерів і регуляторів;
- живлення датчиків з уніфікованим вихідним сигналом;

- живлення контакторів, пускачів механічних і твердотілих реле, електромагнітних клапанів на вибухобезпечних виробництвах.

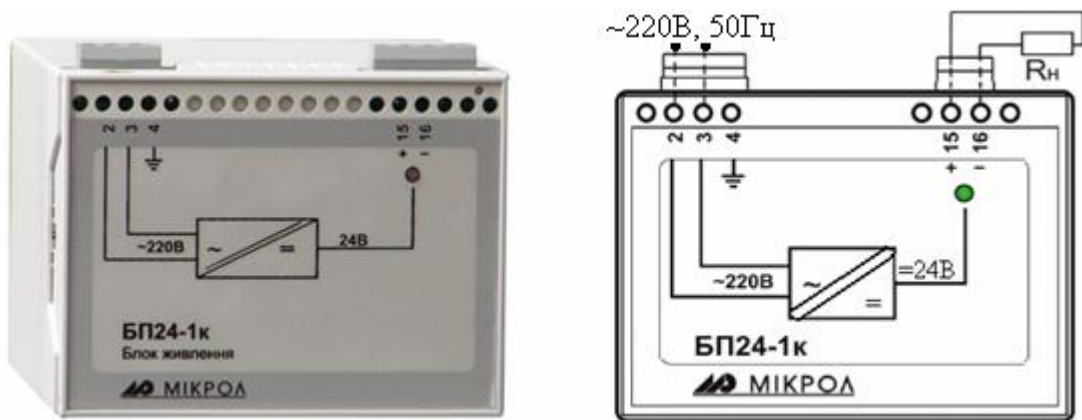


Рисунок 6.21 – Блок живлення БП24-1к і схема електричного приєднання

Блок має удароміцний пластмасовий корпус, на задній стінці якого встановлені захоплювачі для монтажу на 35мм DIN- рейку. На передній панелі блока розташовані індикатор наявності напруги живлення, клеми приєднання вхідних і вихідних електричних кіл.

Електрична схема блока містить знижувальний трансформатор, світлодіод індикації наявності живлення, електронний випрямляч-обмежувач напруги та захист від перевантажень.

Живлення блока здійснюється від мережі змінного струму напругою ((100-240)В, частотою (47.63)Гц.

Блоки живлення БП24-1к мають можливість паралельного приєднання, рис.6.22. Таке з'єднання дозволяє збільшити вихідний струм системи електроживлення, а також рівномірно розподілити навантаження між ними. Ця можливість дозволяє також забезпечити модульний принцип резервування блоків живлення для підвищення надійності системи вторинного електроживлення і зменшення номенклатури використовуваних блоків живлення.

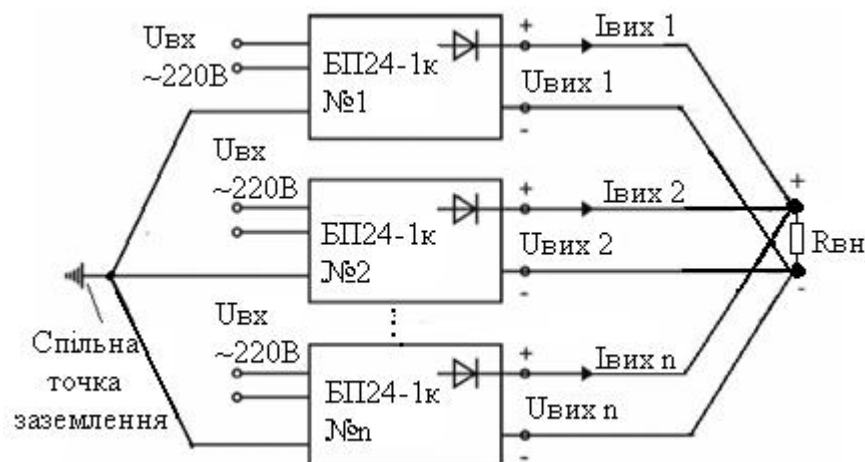


Рисунок 6.22 – Паралельне приєднання блоків живлення

Паралельне з'єднання можливе як декількох вихідних каналів окремого блока живлення, так і вихідних каналів різних блоків живлення.

Обмежень на кількість блоків, що приєднуються, і вихідних каналів живлення не існує.

Вимикання та вмикання блоків живлення до навантаження можливе при працюючій системі електроживлення. Для реалізації режиму "гарячій" заміні в кожен канал блока живлення БП24-1к вбудовані блокуючі діоди.

Крім того в блоках живлення забезпечується захист від перевантаження по струму і надмірного нагріву. При перевантаженні по струму живлення блок вимикається до тих пір, поки не буде усунена причина, що викликає спрацьовування захисту. Працездатність каналу блока відновлюється автоматично.

Захист від надмірного нагріву здійснюється вбудованим електронним термозапобіжником. У разі, коли температура корпусу блока живлення перевищує значення $+70^{\circ}\text{C}$ (при максимальному навантаженні блока), відповідний вихідний канал вимикається. Перезапуск блока може бути здійснений шляхом вимикання напруги живлення мінімум на 3 хвилини для пониження температури[76].

6.6 Нормувальні перетворювачі

Нормувальні перетворювачі призначені для перетворення неуніфікованих сигналів (у мілівольтах, омах, частоті та ін.), що надходять з датчиків, на еквівалентні уніфіковані сигнали (0-5)мА, (0-20)мА і (4-20)мА постійного струму, $(0 \pm 10)\text{В}$ сталої та змінної напруги.

Перетворювачі цього типу являють собою замкнені статичні системи, що охоплені глибоким негативним зворотним зв'язком. Принцип дії нормувальних перетворювачів базується на частковій компенсації вхідного сигналу сигналом негативного зворотного зв'язку, отриманого на виході підсилювального елемента, який має великий коефіцієнт передачі. На рис.6.23 наведено структурну схему, що реалізує компенсаційний метод перетворення вхідної величини у стандартний сигнал.

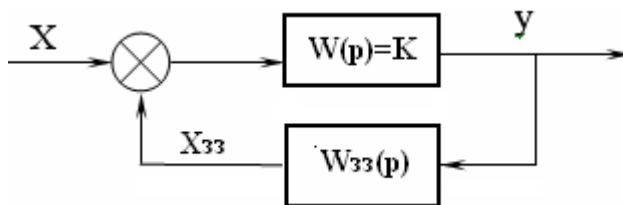


Рисунок 6.23– Структурна схема нормувального перетворювача.

Вхідний сигнал X підсумовується з сигналом негативного зворотного зв'язку $X_{3.3}$, і сигнал неузгодження $\Delta X = X - X_{3.3}$ надходить на вхід підсилювача $W(p)$, який має коефіцієнт передачі K . Оскільки коефіцієнт

передачі ланки зворотного зв'язку дорівнює $K_{3.3}$, вихідний сигнал перетворення

буде: $y = \frac{K}{1 + K \cdot K_{3.3}} \cdot X$, а відносна похибка δ перетворювача, відповідно:

$$d = 100 \cdot \frac{\Delta X}{X} = 100 \cdot \left(1 - \frac{y}{X} \cdot K_{3.3}\right) = \frac{100}{1 + K \cdot K_{3.3}}, \%$$

З останнього рівняння видно, що δ залежить від значень коефіцієнтів передачі підсилювача і ланки зворотного зв'язку. Чим більше величина $K \cdot K_{3.3}$, тим менше похибка пристроїв подібного типу [3,19].

Вітчизняною та закордонною промисловістю випускається велика гама різноманітних нормувальних перетворювачів, серед яких перетворювачі сигналів термоопорів, тензодатчиків, термопар, постійної та змінної напруги і струму, взаємної індуктивності, фазового зсуву та ін.

Нормувальний перетворювач БПТ-22 виробництва Мікрол (Україна), рис.6.24, призначений для перетворення сигналів низького рівня (0÷100) мВ і термопар типу ТХА(К), ТХК(Л), ТВР, ТВП(С), ТПР(В) в уніфікований сигнал постійного струму 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, 0-10В.

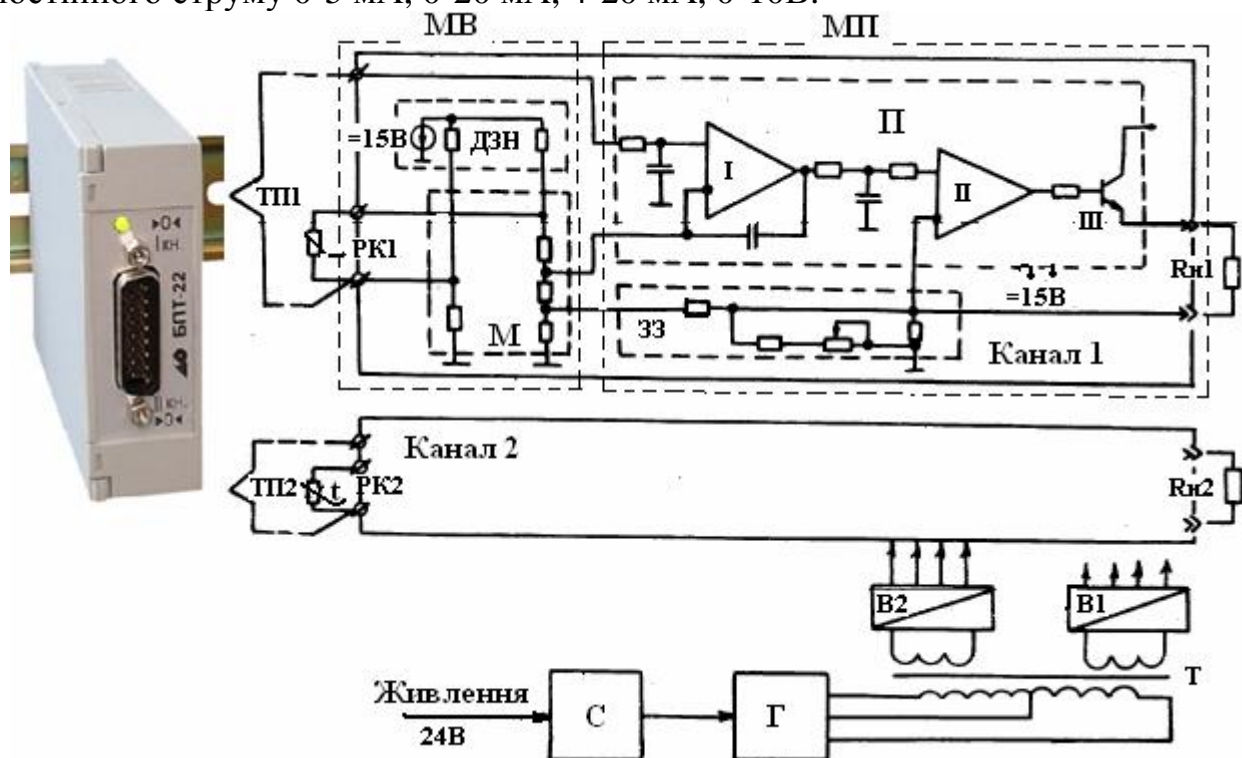


Рисунок 6.24 – Перетворювач БПТ-22 і його блок-схема

БПТ-22 складається з двох частин ударостійкого пластмасового корпусу, на одній з яких всередині закріплена плата з друкованим монтажем.

На передній панелі блока розташовані індикатор наявності напруги живлення і рознім для приєднання клемно-блокового з'єднувача. На задній поверхні блока знаходяться кріплення для монтажу на DIN- рейку.

Блок БПТ-22 має два ідентичних, гальванічно не пов'язаних канали перетворення. Обидва канали БПТ-22 розраховані на підключення однакових термопар з однаковими настройками. БПТ-22 може

використовуватися не лише для перетворення сигналу термопар, але і для посилення напруги низького рівня ($0 \div 100$) мВ, отриманого від джерела напруги.

Регулювання нуля каналів 1 і 2 здійснюється за допомогою потенціометрів " I кн $>0<$ " і " II кн $>0<$ " через отвір на передній панелі.

Нормувальний перетворювач складається з:

- модуля вимірювання мВ з мостовою схемою М і джерелом зразкової напруги ДЗН;
- модуля перетворення, у складі якого трикаскадний підсилювач і коло негативного зворотного зв'язку ЗЗ;
- модуля живлення, створеного на базі стабілізатора С, генератора Г, розв'язуючого трансформатора Т і джерел живлення В1, В2.

За допомогою мостової схеми здійснюється установа нульового початкового значення вхідного сигналу, а також автоматична компенсація термо-е.р.с. вільних кінців термопари Відбувається це за допомогою мідного чутливого елемента R_k , що знаходиться в плечі моста і розташований поряд з місцем приєднання вільних кінців термопари ТП на клемнику перетворювача.

Вихідний сигнал блока підсумований з вихідною напругою мостової схеми, поступає на вхідний каскад підсилювача каналу, який одночасно є активним фільтром. На виході першого каскаду включено додатковий RC - фільтр, який спільно з першим каскадом забезпечує необхідне заглушення поперечної перешкоди.

Другий і третій каскади призначені для підсилення сигналу за потужністю. Усі каскади підсилювача охоплені негативним зворотним зв'язком по вихідному струму.

Для перешкодостійкості і гальванічного розподілу каналів один від одного, живлення підсилювачів каналів здійснюється від окремих джерел В1 і В2. Ці джерела забезпечують напругою живлення каскади підсилювача і джерело зразкової напруги ДЗН, яке формує зразкову напругу для мостової схеми.

Підключення джерела живлення, вхідних і вихідних сигналів здійснюється за допомогою клемно-блокового з'єднувача КБЗ - 16-12[68].

Двоканальний перетворювач БПО-32, рис.6.25, виробництва Мікрол (Україна), призначений для перетворення зміни опору резистивних датчиків (термоперетворювачів) приєднаних за трипроводною схемою, в уніфікований сигнал постійного струму 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, 0-10 В. Як і БПО-22 цей блок має ударостійкий пластмасовий корпус, в якому закріплена плата з друкованим монтажем та кріплення для встановлення на DIN-рейку, а на передній панелі блока розташовані індикатор наявності напруги живлення, рознім для підключення клемно-блокового з'єднувача і засоби для регулювання нуля першого і другого каналів.

Кожний канал перетворювача складається з модуля вимірювання сигналу мВ, модуля перетворення його в уніфіковану величину струму мА і модуля живлення МЖ. Два останніх модуля такі самі як і у БПО-22, а вимірювальний модуль пристосований для роботи з термометром опору.

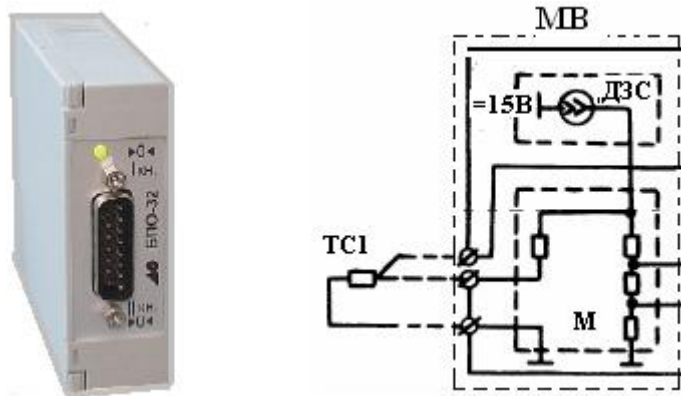


Рисунок 6.25 – Перетворювач БПО-32 і його модуль вимірювання

У складі вимірювального модуля знаходиться мостова схема М і джерело зразкового струму ДЗС. За допомогою мостової схеми здійснюється установлення нульового початкового значення вхідного сигналу і компенсація впливу опору лінії з'єднання на сигнал перетворення. Для цього термометр опору приєднується до моста за трипроводною схемою. Вихідний сигнал з мостової схеми поступає на вхідний каскад підсилювача, який за конструкцією та принципом роботи такий самий як і в БПО-32.

Джерела В1 (В2) модуля живлення МЖ забезпечують напругою каскади підсилювача і джерело зразкового струму ДЗС, яке формує струм для живлення мостової схеми $2 \pm 0,5$ мА.

Для завадозахищеності і гальванічного розподілу каналів один від одного, живлення кожного каналу перетворювача здійснюється від окремої обмотки розв'язуючого трансформатора модуля МЖ, який є частиною схеми генератора що живиться стабілізованою напругою.

Підключення джерела живлення, вхідних і вихідних сигналів здійснюється за допомогою клемно-блокового з'єднувача КБЗ - 16-11[76].

Великий вибір вимірювальних перетворювачів випускає московська фірма Елемер. Серед них є традиційні аналогові і сучасні мікропроцесорні вироби.

Мікропроцесорні вимірювальні перетворювачі ИПМ 0399 (Елемер, Росія) – це одноканальні прилади, що переконфігуровуються споживачем. Вони призначені для перетворення сигналів термодпар, термометрів опору і уніфікованих сигналів напруги в стандартні струмові сигнали 0-5мА, 4-20мА, 0-20мА. Випускаються вони трьох модифікацій - ИПМ 0399Ех/М0, ИПМ 0399Ех/М2 і ИПМ 0399Ех/М3, рис.6.26. Статична характеристика цих приладів лінійна, а перетворювачі, що працюють з уніфікованими вхідними сигналами додатково мають функцію добування квадратного кореня.

Модифікація перетворювача ИПМ 0399Ех/М0 - призначена для експлуатації у вибухонебезпечних зонах, але може мати і загальнопромислове виконання. Конфігурація цього приладу здійснюється по інтерфейсу за допомогою спеціального програмного забезпечення. ИПМ 0399Ех/М0 живиться від зовнішнього джерела напругою $=24$ В і має струмовий вихід - 0..5мА або 4..20 мА.



Рисунок 6.26 – Мікропроцесорні вимірювальні перетворювачі ИПМ 0399Ex/M0 (а), ИПМ 0399Ex/M2 (б) і ИПМ 0399Ex/M3 (в)

Модифікація ИПМ 0399/M2 є приладом загальнопромислового виконання, який має два чотирирозрядних і три одиничні світлодіодні індикатори червоного світіння. На цифрові індикатори виводиться:

- поточне вимірне значення параметра і величина однієї з уставок в режимі вимірювання і контролю;
- індикація значення і мнемоніки параметрів в режимі переконфігурування приладу з кнопочого пульта;
- індикація ознак обриву вимірювального електричного кола або виходу параметрів за межі діапазону;
- індикація спрацьовування уставки.

Прилади ИПМ 0399/M2 мають два гальванічно розв'язаних універсальних струмових виходи і три уставки. Конфігурування параметрів перетворювача здійснюється споживачем з кнопочової клавіатури або по інтерфейсу із збереженням встановлених значень при вимкненому живленні.

Виконавчі твердотілі реле каналів сигналізації забезпечують комутацію струмового навантаження 100 мА напруги постійного струму + 60 В.

Живляться прилади від зовнішнього джерела постійного струму напругою =24 В.

Вимірювальні перетворювачі ИПМ 0399/M3 багато в чому схожі з ИПМ 0399/M2. На відміну від модифікації M2, вони мають напругу живлення змінного струму ~176-253В та вбудований блок живлення напругою =24В або =36В для датчиків з уніфікованим вихідним сигналом.

Монтаж усіх перетворювачів ИПМ 0399 здійснюється на DIN - рейку[23].

6.7 Пристрої технологічної сигналізації

Пристрої технологічної сигналізації призначені для прийому і логічної обробці сигналів від двопозиційних датчиків, датчиків з уніфікованим електричним вихідним сигналом постійного струму, відображення інформації, попередження оператора світловим і звуковим сигналами про відхилення контрольованих параметрів від норм.

Блоки пристроїв оперативної сигналізації БС-2-8 і БПС-2 (Мікротерм, Україна), рис.6.27, складаються з двох мікропроцесорних блоків:

- блока сигналізації багатоканального БС- 2-8 (до 8 шт.);
- блока живлення БПС- 2.

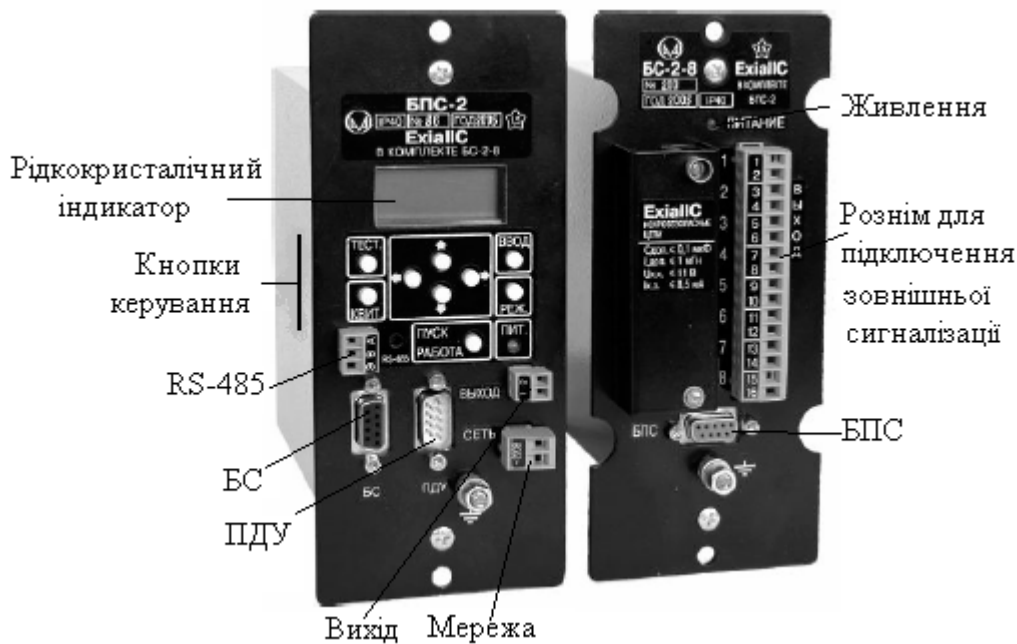


Рисунок 6.27 – Блоки пристроїв оперативної сигналізації БПС-2 і БС- 2-8

Блоки живлення БПС- 2 призначені для живлення і гальванічного розподілу іскробезпечних електричних кіл багатоканальних блоків сигналізації БС- 2-8. Вони забезпечені написом "В комплекті БС-2-8".

Конструктивно БС-2-8 і БПС-2 виконані в корпусах, призначених для щитового монтажу. У середині БС-2-8 містить плату мікропроцесора, плату індикатора і плату входів, а БПС-2 – плату блока живлення, плату процесора, плату клавіатури і індикації.

Випускається чотири модифікації блоків сигналізації. Модифікації БС-2-8-00 і БС-2-8-01 працюють з датчиками електроконтактів, а БС-2-8-02 і БС-2-8-03 – з датчиками, що мають електричний вихідний сигнал постійного струму в діапазоні 0-25мА. Вихідні реле блоків БС-2-8-00 і БС-2-8-02 комутують напругу змінного струму від 5В до 220В при силі струму не більше 1А, а вихідні реле блоків БПС-2 і БС-2-8-01, БС-2-8-03 комутують напругу змінного і постійного струму від 0 В до 350 В при силі струму не більш 0,5А.

У блоках БС-2-8-02 і БС-2-8-03 кожному входу відповідає два логічні канали, для кожного з них передбачена верхня або нижня уставка. Канал вмикається, коли значення вхідного сигналу постійного струму перевищують значення, що задане верхньою уставкой, або коли воно нижче за значення, що задане нижньою уставкой. Вимикається канал, коли значення вхідного сигналу постійного струму повертається в область обмежену нижньою і верхньою уставками. При вмиканні (вимиканні) логічного каналу вмикається (вимикається) один або декілька виходів.

На лицевій панелі блоків БПС-2 розташовані:

- рознім живлення "Мережа";
- рознім для приєднання пульта дистанційного керування "ПДУ";

- рознім для приєднання блоків БС-2-8 "БС";
- роз'їм для приєднання пристроїв світлової (лампа) або звукової ("сирена") сигналізації "ВИХІД";
- рознім інтерфейсу RS485 "RS 485";
- кнопки керування і програмування блоків БПС-2;
- символний рідкокристалічний індикатор;
- світлодіодний індикатор живлення;
- гвинт заземлення.

На лицевій панелі блоків БС-2-8 розташовані:

- рознім для підімкнення вхідних кіл "ВХІД";
- рознім для приєднання пристроїв зовнішньої сигналізації (лампа) "ВИХІД";
- рознім для приєднання до блоків БПС-2 "БПС";
- 8 світлодіодних індикаторів вмикання виходів;
- світлодіодний індикатор живлення;
- гвинт заземлення;

Окрім того на лицевій панелі блоків БС-2-8 є вирізи у формі півкола для установа гумових втулок для пропуску монтажних кабелів, що приєднуються до вхідних і вихідних рознімів.

За допомогою клавіатури блока БПС-2 можна задати чотири режими роботи виходів блоків БС-2-8:

- безперервний режим без звукової сигналізації;
- безперервний режим із звуковою сигналізацією;
- модульований режим без звукової сигналізації;
- модульований режим із звуковою сигналізацією.

Блоки БС-2-8 приєднуються до блока БПС-2 за допомогою послідовного інтерфейсу SPI. Блок БПС-2 є провідним пристроєм (master), блоки БС-2-8 – підпорядкованими (slave). Кожен блок БС-2-8 має свій номер, який може задаватися з клавіатури на передній панелі блока БПС-2. Для коректної роботи системи усі блоки БС-2-8, що приєднані до одного блока БПС-2 повинні мати різні номери в діапазоні від 1 до 8. Кожен цикл обміну інформацією з блоками БС-2-8 блок БПС-2 починає з видачі адреси і до шини SPI приєднується тільки один блок БС-2-8 (до наступної видачі адреси).

Настроювання блоків здійснюється програмно за допомогою клавіатури і дисплея блока БПС-2. Для цього передбачено більше двадцяти режимів.

В процесі роботи блоки БПС-2 здійснюють індикацію часу з посекундним опитуванням блоків БС-2-8. У разі спрацьовування датчиків, приєднаних до входів блоків БС-2-8-00 і БС-2-8-01, або при виході значень вхідного сигналу постійного струму за межі уставок блоків БС-2-8-02 і БС-2-8-03, номери входів і час спрацьовування датчиків заносяться в архів. При необхідності вмикається звукова сигналізація і синхронно з нею, реле на виході блока БПС-2. У разі відмови якого-небудь блока БС-2-8 або його відімкнення від блока БПС-2 в архів заносяться номер блока, що відмовив, і час відмови, і надалі цей блок БС-2-8 більше не опитується (до виконання пошуку блоків БС-2-8). Перегляд

архіву виконується на екрані вбудованого індикатора, а обмін інформацією з ЕОМ - по інтерфейсу RS-485.

Вимикання звукової сигналізації виконується за допомогою клавіші КВИТ[79].

Пристрій технологічної сигналізації ПТС-64 (Мікрол, Україна) призначено для узагальної і поканальної сигналізації параметрів технологічних процесів, значення яких в процесі роботи перевищують ті або інші технологічні уставки. ПТС-64, рис.6.28, складається з одного блока ПТС-2 (провідний пристрій або прилад узагальної сигналізації) і одного або декількох блоків ПТС-8 (підпорядкований пристрій або прилад поканальної сигналізації).



Рисунок 6.28 – Пристрій технологічної сигналізації ПТС- 64

На передній панелі блоків розміщені світлодіодні індикатори, які сигналізують про наявність і стан різних сигналів, перемички для установлення різних режимів роботи блоків та пружинні клеми і розніми для зовнішніх з'єднань. Позаду блоків встановлені защипи для монтажу на 35мм DIN рейок. Напруга живлення ПТС- 64 – 24(±4)В постійного струму.

Протягом роботи ПТС-64 виконує наступні функції:

- спрацьовування одного з двох каналів узагальної сигналізації блока ПТС-2 у разі спрацьовування одного з каналів сигналізації блока ПТС-8;
- спрацьовування поканальної сигналізації блока ПТС-8 і узагальної сигналізації блока ПТС-2; відображається як по місцю, тобто на блоках ПТС-2 і ПТС-8 є відповідні індикатори, так і виводяться назовні;
- сигналом сигналізації блоків ПТС-8 і ПТС-2 може бути статичний сигнал (постійне свічення) або динамічний з частотою F1 або F2. Частота F1 і F2 задається на ПТС-2;
- в робочому режимі з приладу ПТС-2 здійснюється кнопкове управління квітуванням (зняттям) сигналізації;
- в тестовому режимі з ПТС-2 здійснюється кнопкове управління перевіркою сигналізації.

Провідний пристрій блок ПТС-2 має два незалежні канали узагальної сигналізації з перемикальними контактами частоти F1 і F2, задатчик частоти сигналів сигналізації F1 і F2, вузол квітування сигналізації і вузол перевірки сигналізації.

Підпорядкований пристрій блок ПТС-8, має вісім незалежних каналів сигналізації з можливістю поканального вибору сигналів (статичного або динамічного з частотою F1 або F2) і номера каналу спрацьовування узагальненої сигналізації на ПТС-2.

Схему, що пояснює принцип роботи ПТС-64, наведено на рис.6.29. У схемі показано тільки один канал ПТС-8, решта каналів працює аналогічно.

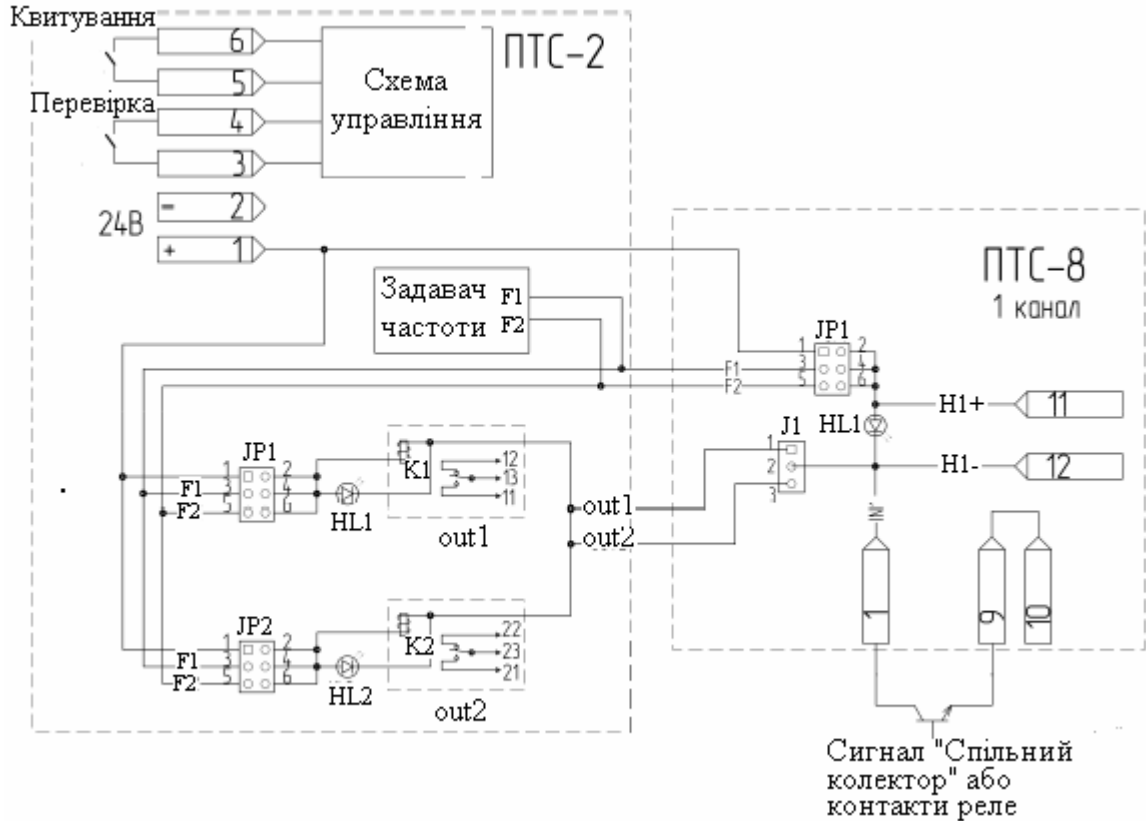


Рисунок 6.29– Структурна схема ПТС-64

При замиканні зовнішнього контакту (транзистор за схемою відкритий колектор або контакт реле) починає працювати відповідний канал ПТС-8. Про це сигналізує світлодіодний індикатор цього каналу HL і відповідно з'являється напруга на вихідних контактах 11 и 12. Загоряння світлового індикатора на ПТС- 8 відбуватиметься за сигналом сигналізації F1 або F2 або постійно залежно від положення перемички JP відповідного каналу.

У той же час спрацьовує і один з каналів узагальненої сигналізації ПТС-2 (OUT1 або OUT2) залежно від положення перемичок J відповідного каналу. Загоряння світлового індикатора на ПТС-2 відбуватиметься аналогічно як і на ПТС-8 – за сигналом сигналізації F1 або F2 або постійним свіченням залежно від положення перемички JP на ПТС-2. Якщо працює один з каналів сигналізації ПТС-8 і відповідний канал на ПТС-2, то є можливість квитувати цю сигналізацію за допомогою кнопочного перемикача на ПТС-2, який приєднується до клем 5 і 6. При цьому сигналізація на ПТС-2 вимкнеться (обидва канали), а на ПТС- 8 постійно горітимуть індикатори HL на увімкнених каналах не залежно від попереднього їх сигналу.

Для періодичної перевірки світлодіодних індикаторів НЛ і виходів Н на ПТС-8 передбачено контроль їх справності. Для цього на ПТС-2 є клеми 3 і 4, до яких підключається кнопка цієї перевірки. При натисканні цієї кнопки індикатори НЛ і виходи Н на ПТС-8 будуть увімкнені незалежно від стану входів IN1- IN8[76].

6.8 Симисторні блоки комутації

При розв'язанні завдань промислової автоматизації часто виникає необхідність керування змінним струмом ПД-ШІМ-регуляторами. При цьому навантаження може бути як активним, наприклад ТЕН, так і індуктивним, наприклад, асинхронний двигун. Зазвичай неперервне керування електричним сигналом здійснюється безконтактним способом з використанням напівпровідникових приладів, серед яких найбільшого поширення набули тиристорні та симисторні силові блоки.

Симисторні блоки БС-240-Х-Н і БС-440-Х-Н, рис.6.30, які виробляє НПФ КонтрАвт (Росія) використовуються в системах промислової автоматики для безконтактної комутації навантаження змінного струму напругою 240 В і 440В.

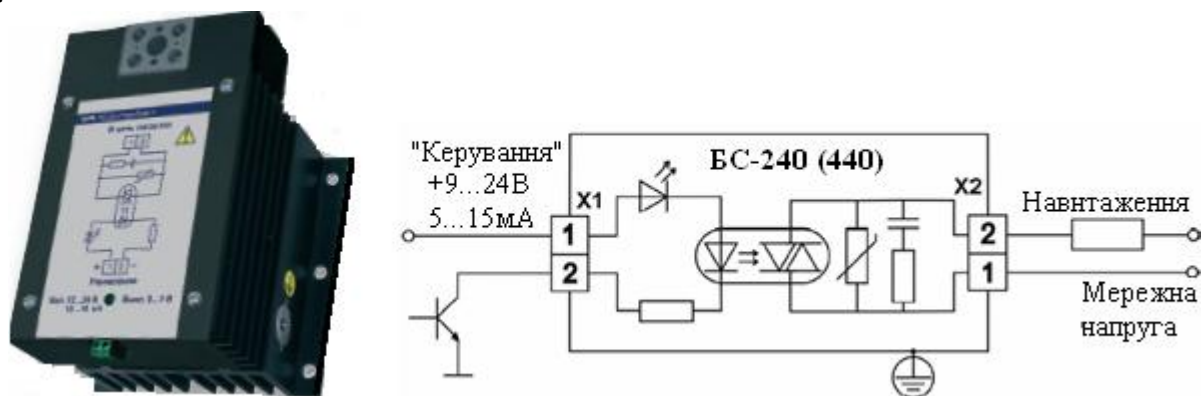


Рисунок 6.30 – Симисторний блок БС- 240(440) і електрична схема приєднання

Симисторний блок БС являє собою симисторний ключ встановлений на радіаторі зі схемою управління. Використання оптосимистора в конструкції БС забезпечує гальванічну ізоляцію входу управління від силового електричного кола. Це дозволяє зменшити вплив на керувальний регулятор електромагнітних перешкод, що виникають при комутації і роботі навантаження. Діапазон керувальної напруги складає 12-24 В.

Симисторні блоки забезпечують комутацію навантаження при напрузі від 60В до 240В для БС-240-Х-Н і до 440В для БС-440-Х-Н. Причому комутація відбувається тільки під час переходу напруги через нуль після того, як зміниться сигнал управління. Графіки, що пояснюють роботу симисторного блока, зображені на рис.6.31, мережна напруга 220В, 50Гц.

Зі зменшенням мережної напруги фазова затримка струму навантаження збільшується і при напрузі 60В вона складає біля 30°. При цьому діючі значення напруги і струму зменшуються на 1,5 %, в порівнянні з випадком відсутності фазової затримки, а потужність навантаження зменшується на 3 %. При подальшому зменшенні мережної напруги відбувається швидке падіння

діючого значення напруги і струму навантаження. При напрузі менше 40В комутація навантаження відбуватися не буде.

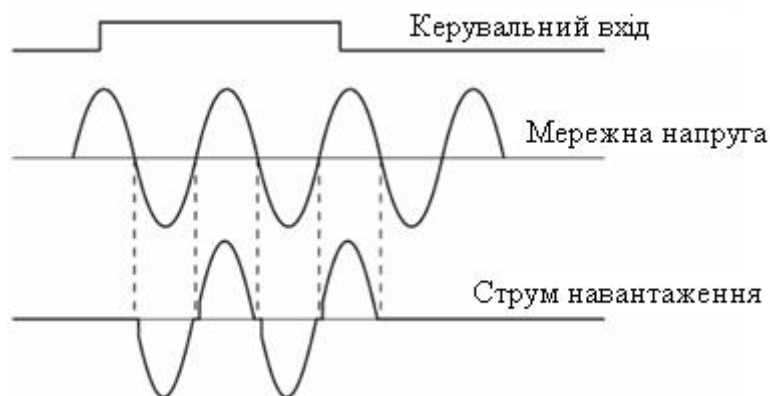


Рисунок –6.31 Графіки роботи симисторного блока

Симисторний блок має вбудований захист від короткочасних перевантажень по напрузі. Захист забезпечується за допомогою варистора і демпфірувального RC-кола. Варистор захищає БС від імпульсного перенапруження, а демпфірувальне коло захищає симістор при комутації індуктивного навантаження. У разі комутації реактивного навантаження, наприклад, асинхронного двигуна, рекомендується застосовувати індивідуальну компенсацію реактивної потужності. Найбільш поширений спосіб - застосування спеціальних конденсаторних установок. Компенсація реактивної потужності дозволяє підвищити коефіцієнт потужності навантаження до 0,99, а також раціональність використання електроенергії і понизити навантаження на електричні мережі й обладнання електроустановки.

У симисторному блоці передбачено індикацію сигналу управління [80].

Блок комутації силових симісторів і тиристорів БКСТ1 виробництва ОВЕН (Росія), рис.6.32, призначено для управління комутацією активних навантажень (в основному ТЕНів) у трифазному колі, увімкнених за схемами "зірка" і "трикутник" за допомогою трьох зовнішніх симісторів або тиристорів із струмом керування до 1А при напрузі 110-380В.

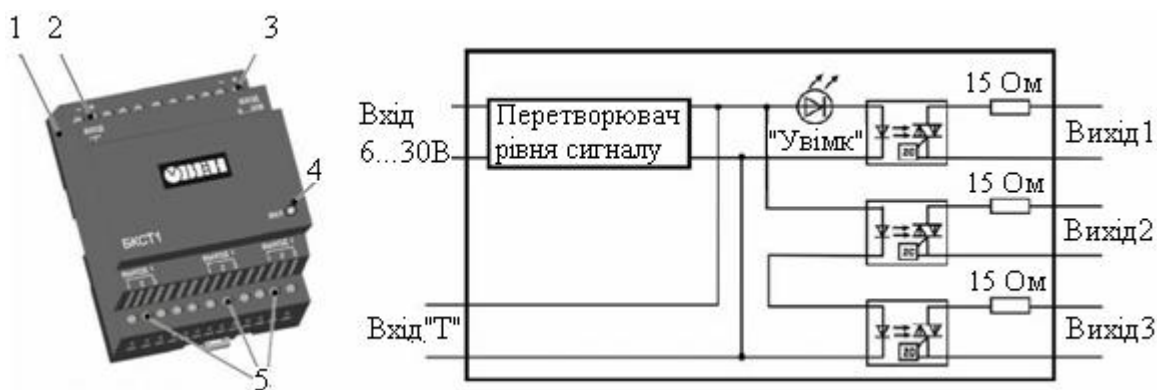


Рисунок 6.32 – Блок комутації силових симісторів і тиристорів БКСТ1 та його структурна схема

Блок має пластиковий корпус 1, гвинтовий рознім 2 для приєднання до блока через джерело живлення приладів виробництва ОВЕН (наприклад, ТРМ251), які оснащені виходом "Т" (транзисторний ключ) – 5,0-6,5В, гвинтовий рознім 3 для приєднання до блока приладів ОВЕН (наприклад, ТРМ251), оснащених виходом "К"(транзисторна оптопара) або "Р"(електромагнітне реле) з керувальним сигналом в діпазоні 6-30В, світлодіод 4 для індикації стану блока і гвинтові розніми 5, що призначені для приєднання зовнішніх силових симисторів або тиристорів. Управління блоком можливо здійснювати регуляторами інших виробників, якщо їх параметри управління відповідають входам БКСТ1.

Блок має три опторозділених симистори, які управляються сигналом, поданим на вибраний вхід. Блок здійснює управління комутацією активних навантажень (в основному, ТЕНів). Управління індуктивним навантаженням (наприклад, електродвигунами) не допускається.

Обмеження струму управління силовими симисторами/тиристорами здійснюється вбудованими резисторами. Коли на блок надходить сигнал керування, перемикання навантаження у мережі змінного струму відбувається при напрузі не більше 20В. БКСТ1 має пристрій контролю переходу через 0.

Блок встановлюється вертикально на DIN - рейці і закріплюється за допомогою клямки, що розташована на корпусі блока[81].

Контрольні запитання до розділу 6

1. Яке призначення мають задатчики?
2. Чим відрізняються задатчики РЗД-12 і РЗД-22?
3. Який з задатчиків – РЗД-12, РЗД-22 чи ЗУ50 має цифровий індикатор?
4. В якому із задатчиків – ЗУ50 чи МТМ103 вихідний сигнал настроюється програмно?
5. За рахунок чого задатчики МТМ103 забезпечується безударність при перемиканні?
6. Навіщо в системі автоматичного регулювання потрібна інформація про положення регульовального органа?
7. Яка вимірвальна схема використовується в покажчиках положення ДУП-М та ИПУ?
8. Які функції має блок ручного керування БРУ- 33?
9. Які режими роботи БРУ- 33 вибираються за допомогою перемикача?
10. Що можна здійснити за допомогою блока ручного керування БРУ-44?
11. Що індикуюється на лицевій панелі БРУ-44?
12. З яких основних компонентів складається функціональна схема блока ручного керування БРУ- 44?
13. Чим відрізняється БРУ-10 від інших блоків ручного керування?
14. Що собою являє блок ручного керування БРУ-10?
15. Як здійснюється приєднання БРУ-10 до зовнішніх електрическим кіл?
16. Чи можна модифікувати параметри БРУ-10 за допомогою зовнішнього пристрою?

17. Якими виконавчими механізмами можна керувати за допомогою БРУ-10?
18. Яке призначення мають блоки мережних фільтрів?
19. Що таке імпульсні та високочастотні перешкоди?
20. Від яких джерел послабляють імпульсні перешкоди блоки мережних фільтрів БСФ?
21. Від яких перешкод захищає прилади фільтр мережний ФС-220?
22. Яке призначення має блок фільтра БФ-1-2?
23. Яке призначення і будову має блок живлення БП14Б-Д4.4?
24. Які додаткові можливості надає паралельне з'єднання блоків живлення БП24-1к?
25. Чи можлива «гаряча» заміна блоків живлення БП24-1к?
26. Як в БП24-1к здійснюється захист від надмірного нагріву?
27. Що має блок живлення БПР окрім джерела стабілізованої напруги?
28. Яке призначення мають нормувальні перетворювачі і в чому принцип їх роботи?
29. Чим відрізняються нормувальні перетворювачі БПТ-22 і БПО-22?
30. Чи передбачено в нормувальних перетворювачах БПТ-22 і БПО-22 автоматична компенсація похибки, що виникла в наслідок зміни температури навколишнього середовища?
31. У чому переваги мікропроцесорних нормувальних перетворювачів відносно аналогових?
32. Яке призначення і будову мають нормувальні перетворювачі ИПМ 0399?
33. Яке призначення блоків БС-2-8 і БПС-2 у пристроях оперативної сигналізації?
34. Які існують модифікації блоків сигналізації БС-2-8 і, як вони настроюються?
35. За яким режимом здійснюється обмін інформацією між блоками БС-2-8 і БПС-2?
36. Яка будова пристрою технологічної сигналізації ПТС-64?
37. Які функції виконує ПТС-64 протягом роботи?
38. У чому схожі пристрої сигналізації БС-2-8 і ПТС-64?
39. Яке призначення мають симисторні блоки БС- 240(440)?
40. Що відбувається в симисторних блоках БС- 240(440) зі зменшенням мережної напруги ?
41. Як у симисторних блоках БС-240(440) забезпечується захист від короткочасних перевантажень по напрузі?
42. Що рекомендується додатково застосовувати у разі комутації блоком БС-240(440) реактивного навантаження (асинхронного двигуна)?
43. З якими регуляторами можуть працювати блоки комутації БКСТ1?
44. Чи допускається керування індуктивним навантаженням блоком комутації БКСТ1?
45. Який блок призначено для управління комутацією активних навантажень у трифазному колі?

7 ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

7.1 Рекомендації, щодо вибору технічних засобів автоматизації

Побудова локальних систем автоматизації найчастіше базується на принципах одноконтурного, каскадного і комбінованого регулювання, рис.7.1.

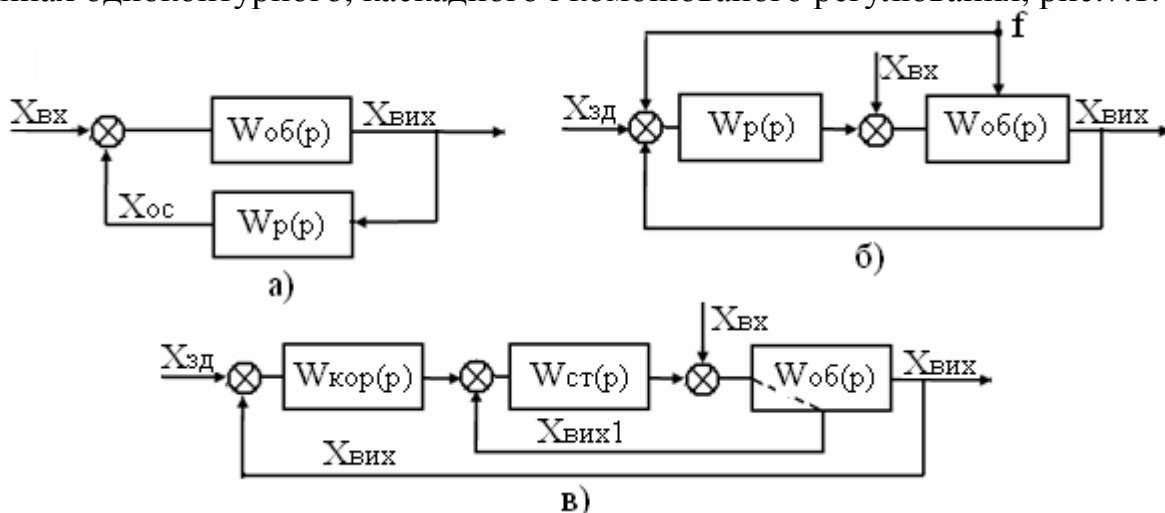


Рисунок 7.1 – Структурні схеми одноконтурної (а), комбінованої (б) і каскадної (в) системи автоматичного регулювання

Відповідно до наведених схем, в одноконтурній системі автоматичного регулювання (САР) регулятор $W_p(p)$ формує керувальне діяння на об'єкт автоматизації $W_{об}(p)$ за відхиленням регульованого параметра $X_{вих}$. У комбінованій системі регулятор $W_p(p)$ формує керувальне діяння не лише за відхиленням регульованого параметра $X_{вих}$, але і за збуренням f . Це дозволяє підвищити швидкодію системи, оскільки регулятор впливає на об'єкт відразу після появи збурення, не чекаючи відхилення регульованої величини. У каскадній САР використовуються два регулятори – коригуючий $W_{кор}(p)$ і стабілізуючий $W_{ст}(p)$. Стабілізуючий регулятор виробляє керувальні діяння за проміжною вихідною величиною $X_{вих1}$, яка змінюється під впливом збурення, що йде з боку регульовального органа, а коригуючий регулятор формує завдання для стабілізуючого за величиною регульованого параметра $X_{вих}$. У такій САР якість регулювання покращується за рахунок зменшення впливу внутрішнього збурного діяння на головну регульовану величину.

Проте для практичної реалізації наведених структурних схем не достатньо мати тільки регулятори. Потрібні ще додаткові технічні засоби, серед яких датчики, перетворювачі сигналів, задатчики, блоки ручного керування, пускачі, виконавчі механізми, регульовальні органи, різноманітні електричні апарати управління та інші пристрої, склад яких визначається у кожному конкретному випадку.

Щоб зробити правильний вибір технічних засобів автоматизації при розробленні системи автоматичного регулювання необхідно знати, що вона має забезпечувати – стабілізацію параметра на заданному рівні, регулювання за програмою або автоматичне слідкування. При цьому треба враховувати, які

можливості повинна мати САР – автоматичний та ручний режим роботи, індикацію регульованого параметра або положення вихідного вала виконавчого механізму, сигналізацію при аварійних ситуаціях, автоматичне самонастроювання, можливість інтегрування в АСУТП та ін.

Кожна САР реалізує закон регулювання, який вибирається відповідно до динамічних властивостей об'єкта і вимог, що пред'являються до якості регулювання. Оскільки закон регулювання реалізує виконавчий пристрій, статичні і динамічні властивості його визначають точність відпрацьовування вибраного закону регулювання. В багатьох випадках розробник САР не має можливостей змінити властивості виконавчого пристрою. Це стосується дозуючих регулювальних органів, теплоелектронагрівачів, різного роду приводних механізмів, тобто тих виконавчих пристроїв, які є складовою частиною об'єкта автоматизації. Коли ж використовується дросельний регулювальний орган, розробник САР повинен розрахувати і вибрати його таким, щоб він не спотворював закон регулювання. Треба також намагатися, щоб нелінійність статичної характеристики об'єкта автоматизації не впливала на якість регулювання. Для цього необхідно розрахувати зчленування регулювального органа з виконавчим механізмом таким чином, щоб нелінійність його статичної характеристики компенсувала нелінійність статичної характеристики об'єкта автоматизації.

При виборі виконавчого механізму треба звертати увагу не тільки на його потужність, а і на те, яким електродвигуном він оснащений – однофазним чи трифазним. Від цього залежить, який пускач треба використовувати.

Після того, як стане зрозумілим, з яким виконавчим пристроєм буде працювати регулятор, необхідно визначитися з його типом і законом регулювання. Сучасні цифрові регулятори здатні реалізовувати дво/три-позиційні, П-, ПІ-, ПІД-ШІМ-, ПІД-імпульсні, ПІД-аналогові, ПІДД-закони регулювання. Закон регулювання вибирається, відповідно до існуючої методики по відношенню величини транспортного запізнювання до постійної часу об'єкта τ/T , а також з урахуванням динамічних властивостей виконавчого пристрою і особливостей його роботи [51].

Зазвичай, якщо регулятор працює з пропорційним виконавчим пристроєм, закон регулювання має бути ПІД-аналоговим. Якщо регулятор працює з нагрівачем і холодильником одночасно або окремо з нагрівачем чи холодильником, тоді використовується ПІД-ШІМ-закон регулювання. Коли регулятор працює з виконавчим механізмом сталої швидкості, регулятор обов'язково має реалізовувати ПІДД-ШІМ-закон регулювання. При наявності виконавчого механізму сталої швидкості з негативним зворотним зв'язком можливе використання ПІД-імпульсного закону регулювання. Проте у будь-якому випадку перед використанням регуляторів треба обов'язково знайомитися з особливостями їх роботи в інструкції з експлуатації.

Якщо локальна система автоматичного регулювання має бути інтегрована в АСУТП, при виборі регулятора необхідно враховувати те, що він повинен мати інтерфейс сполучення у промисловій мережі RS-485.

Коли визначилися з виконавчим пристроєм і регулятором можна здійснювати підбір решти технічних засобів. При цьому треба враховувати не тільки їх призначення, а і для кого вони потрібні і де мають бути встановлені. Наприклад, якщо вибір режиму роботи (Авт/Руч) і ручне керування потрібні лише наладнику при настроюванні САР, тоді достатньо можливостей регулятора, який розташований у спеціальному приміщенні і має ці функції. Коли такий вибір повинен зробити технолог, тоді потрібні додаткові технічні засоби на його робочому місці. Або, якщо технологічно важливим є недопущення виходу регульованого параметра за встановлені межі, тоді потрібні виносні пристрої сигналізації, не дивлячись на те, що на лицевій панелі регулятора є відповідна світлодіодна індикація.

Деякі засоби автоматизації багатofункціональні, тому замість декількох окремих пристроїв бажано вибирати універсальні. Наприклад, можна вибрати показчик положення вала виконавчого механізму, задатчик, перемикач режимів роботи, пристрій ручного керування, індикатор величини регульованого параметра, а можна застосувати блок ручного керування БРУ-10, в якому всі ці функції поєднані, і встановити його на панелі оператора.

При створенні систем автоматичного регулювання потрібно враховувати можливий вплив на їх роботу імпульсних та високочастотних перешкод мережі живлення змінного струму та перешкод, що створюються працюючим технологічним обладнанням. Тому для підвищення якості роботи САР бажано застосовувати мережні фільтри, що випускаються промисловістю.

Щоб уявити реальну комплектацію систем автоматичного регулювання, які працюють з різними виконавчими пристроями і за різними законами, а також зрозуміти як прилади приєднуються один до одного, розглянемо декілька принципових електричних схем САР.

7.2 ПД-регулювання з електропривідною арматурою

На рис.7.2 наведено принципову електричну схему системи автоматичного регулювання технологічного параметра з використанням ПД-регулятора і трифазного виконавчого механізму сталої швидкості.

Вибір технічних засобів автоматизації базувався на пристроях українського та російського виробництва. Серед яких – регулятор МТР-8, блок ручного керування БРУ-10, блок фільтра БФ-1-2, блок живлення БП24-4к підприємства "Мікрол" м. Івано_Франківськ, автоматичні вимикачі ВА-2000 і світлодіодна сигнальна арматура АД22 Української електротехнічної корпорації АСКОУкрем, двоелементна термopара ТП2388 НПП «Елемер» м. Москва, універсальний перемикач ПКУЗ ПО «Електротехник» м.Москва, трипозиційний тиристорний підсилювач ФЦ-0620 "СКБ СПА" м. Чебоксари і виконавчий механізм МЕО-40-99К Чебоксарського заводу ЗЕіМ.

Восьмиканальний МТР-8 конфігуровано на вимірювання регульованого параметра за допомогою термopари ТП (клеми 9,17 клемно-блокового з'єднувача КБЗ-24-17), яка вибрана двоелементною. Пов'язано це з тим, що інформація про поточну температуру подається не лише на регулятор, але і на блок ручного керування БРУ- 10.

Коли значення регульованого параметра виходять за верхні і нижні межі попереджувальних і аварійних уставок на виходах регулятора DO3 (клеми 31,33) або DO5 (клеми 51,53), спрацьовує спочатку попереджувальна сигналізація періодичними миганнями, а потім на виходах DO4 (клеми 41,43) або DO6 (клеми 61,63) аварійна – безперервним свіченням світлодіодної сигнальної арматури серії AD 22.

При невідповідності поточного значення регульованого параметра заданої уставці, регулятор за ПД-імпульсним законом формує керувальні імпульси, які через виходи DO1 (клеми 11,13) і DO2 (клеми 21,23) клемного блоку з'єднувача КБЗ-30К- 11 подаються на вхід блока ручного керування БРУ-10 (клеми 21 і 24). Якщо універсальний перемикач ПКУЗ знаходиться в положенні "А" (Автомат), то сигнали управління через клеми 20 або 23 БРУ- 10 поступають на тиристорний пускач ФЦ-0620 (клеми 7 або 9), який вмикає в роботу виконавчий механізм МЕО-40-99К, що з'єднаний із заслінкою. При досягненні затвором регульовального органа граничного положення виконавчий механізм автоматично вимикається. Відбувається це у зв'язку з тим, що сигнали управління подаються на вхід тиристорного пускача ФЦ-0620 через кінцеві вимикачі виконавчого механізму, які розривають коло управління в крайніх положеннях затвора регульовального органа.

Формування регулятором ПД-імпульсного закону спільно з інтегральним виконавчим механізмом сталої швидкості, дозволяє наявність на виході схеми МТР-8 негативного зворотного зв'язку і внутрішнього інтегратора положення вала виконавчого механізму. Це надає виконавчому механізму пропорційні властивості.

Ручний режим роботи в системі автоматизації забезпечується блоком ручного керування БРУ- 10, який конфігуровано як станція ручного керування імпульсним виконавчим механізмом. Перехід з автоматичного на ручний режим роботи здійснюється дистанційно універсальним перемикачем ПКУЗ. В цьому випадку за значеннями температури, які виводяться на цифровий дисплей БРУ- 10, оператор за допомогою клавіш на лицевій панелі подає на виконавчий механізм сигнали "Менше" або "Більше".

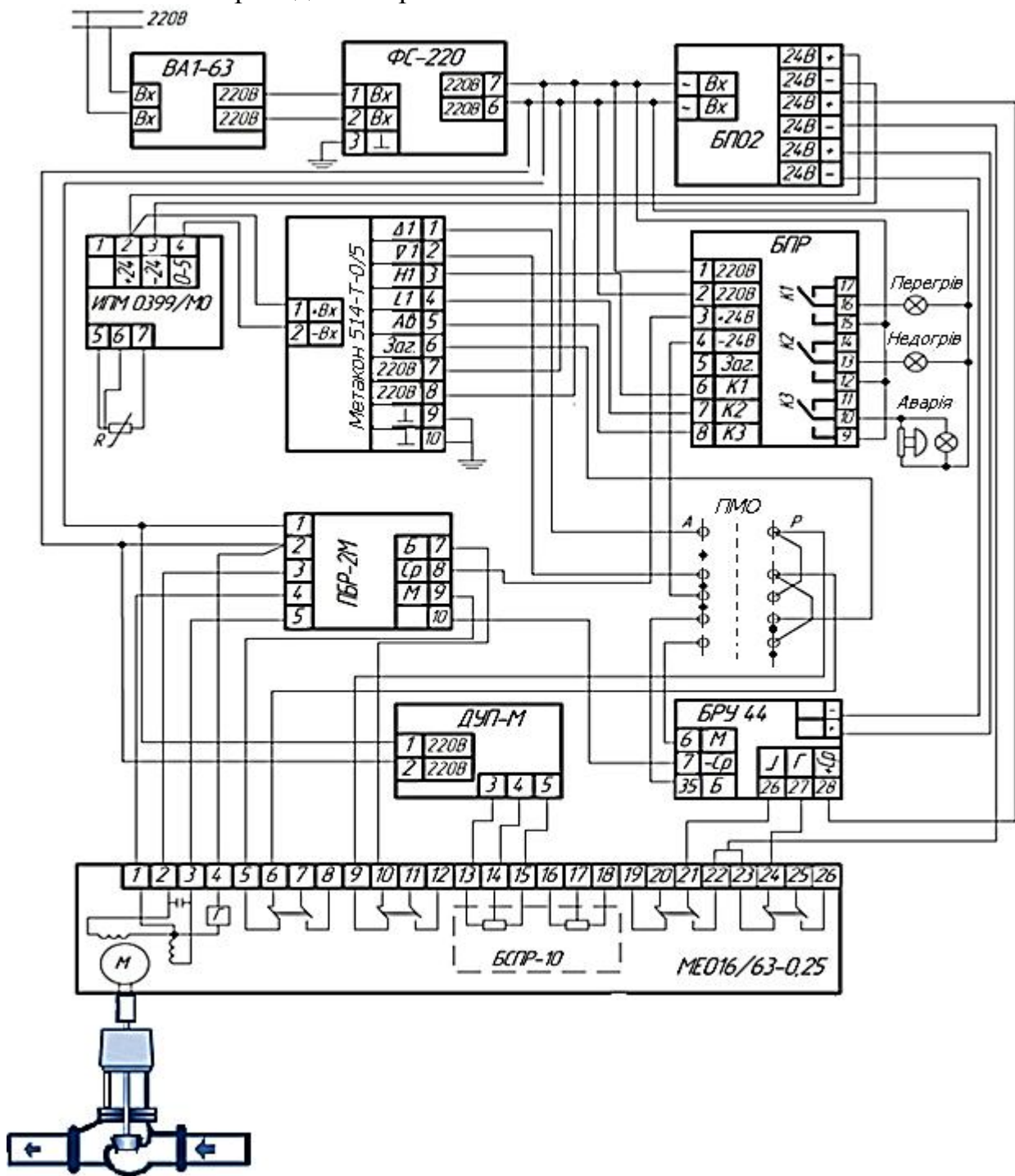
Щоб на індикаторі блока ручного керування можна було бачити положення регульовального органа, на клеми 5 і 6 клемного блоку з'єднувача КБЗ-24-14 підводиться сигнал зворотного зв'язку зі струмового датчика БСПТ-10 виконавчого механізму МЕО-40-99К.

Напруга живлення на прилади подається автоматичними вимикачами серії ВА-2000, а для захисту пристроїв автоматизації від діяння мережних перешкод послідовно з автоматом приєднано блок фільтра БФ-1. Живлення внутрішніх електричних кіл системи автоматичного регулювання напругою =24В здійснюється чотириканальним блоком живлення БП24-4К.

7.3 ПД-регулювання з електропривідною арматурою

Реалізація ПД-закону за допомогою ПД-регулятора можлива тільки при спільній його роботі з виконавчим механізмом, що має інтегральні властивості. Відомо, що такі властивості має одноборотний виконавчий механізм сталої

швидкості. Система автоматичного регулювання, яка побудована на базі таких технічних засобів приведена на рис.7.3.



ВА1-63 вимикач автоматичний; ФС-220 – фільтр мережний; БП 02 – блок живлення; ИПМ 0399/МО – перетворювач сигналу термометра опору в уніфікований струмовий 0-5мА; Метакон-514 – регулятор-вимірювач; БПР – блок живлення і реле; ПБР-2М – пускач безконтактний реверсивний; ПМО – універсальний перемикач, ДУП-М – дистанційний показчик положення; БРУ-44 – блок ручного керування; МЕО-16/63-0,25 – однофазний однооборотний виконавчий механізм

Рисунок 7.3 – Принципова електрична схема САР з ПДД-регулятором і однофазним виконавчим механізмом

Як основні засоби автоматизації використовуються прилади і пристрої науково-виробничої фірми "КонтрАвт" м. Нижній Новгород. Серед них ПДД-регулятор Метакон М514-Т- 0/5, блок живлення і реле БПР, фільтр мережний ФС-220 та блок живлення =24В постійного струму. Окрім цього є блок ручного керування БРУ-44 ОАО«СКБ СПА» м.Чебоксари, вимикач автоматичний ВА1-63, термометр опору ТС1088 і перетворювач сигналу термометра опору в уніфікований струмовий 0-5мА ИПМ0399/МО науково-виробничого підприємства "Елемер", м. Москва, пускач ПБР-2М, однофазний виконавчий механізм сталії швидкості МЕО16/63-0,25 і дистанційний покажчик положення ДУП-м Чебоксарського заводу ЗЕІМ, універсальний перемикач серії ПМО Московського виробничого об'єднання "Електротехник".

Інформація про регульований параметр сприймається термометром опору R (ТС1088), який спільно з ИПМ 0399/МО перетворює її в уніфікований струмовий сигнал 0-5мА і подає на вхід регулятора М514-Т (клеми 1,2). Якщо поточне значення регульованого параметра не відповідає заданій уставці, регулятор виробляє керувальні діяння за ПДД-законом і видає їх у вигляді імпульсів різної полярності на один з двох виходів (клеми 1 і 2). Далі сигнал управління через універсальний перемикач ПМО, що знаходиться в положенні "А" (Автомат), і кінцеві вимикачі виконавчого механізму МЕО16/63-0,25 поступає на безконтактний реверсивний пускач ПБР-2М. Пускач посилює його і вмикає в роботу виконавчий механізм, який змінює положення затвора односідельного клапана у бік зменшення розбалансу поточного і заданого значень регульованого параметра. Коли затвор регульовального органа досягає граничного положення, кінцевий вимикач розмикається і керувальний сигнал зникає на вході пускача. Виконавчий механізм зупиняється навіть за наявності команди з пульта управління.

Компаратор регулятора конфігуровано таким чином, що при виході регульованого параметра за задані межі, на клеммах 3 і 4 з'являються попереджувальні сигнали. Ці сигнали подаються на блок живлення і реле БПР (клеми 6 і 7), забезпечуючи вмикання на його виході попереджувальної світлодіодної сигналізації "Перегрів" і "Недогрів". При обриві сполучних проводів термометра опору виникає сигнал "Аварія" і подається на вихід регулятора (клема 5), а далі на БПР, де спрацьовує вихідне реле КЗ, яке вмикає зовнішню світлову і звукову сигналізацію (клеми 10,11).

У регуляторі передбачено два режими роботи - автоматичний "А" і ручний "Р". Перехід з режиму на режим і ручне керування здійснюються за допомогою кнопок на лицевій панелі. Проте в цій системі автоматичного регулювання ці процедури виконуються з поста оператора-технолога. Вибір режимів роботи - "А", "Р" здійснюється за допомогою універсального перемикача ПМО, а керування роботою виконавчого механізму – блоком ручного керування БРУ-44, який додатково здійснює попереджувальну сигналізацію, коли затвор регульовального органа досягає граничних положень. Для цього на його входи 25,26,27 подається напруга =24В через кінцеві вимикачі виконавчого механізму.

Як дистанційний показчик положення вала виконавчого механізму використовується ДУП-М, приєднаний до його реостатного датчика (клеми 13, 14, 15).

Напруга живлення на прилади подається автоматичним вимикачем серії ВА1-63, а для захисту пристроїв автоматизації від діяння мережних перешкод послідовно з автоматом приєднано фільтр мережний ФС-220. Живлення внутрішніх електричних кіл системи автоматичного регулювання напругою =24В здійснюється блоком живлення БПО2.

7.4 ПД-регулювання з електронагрівачем

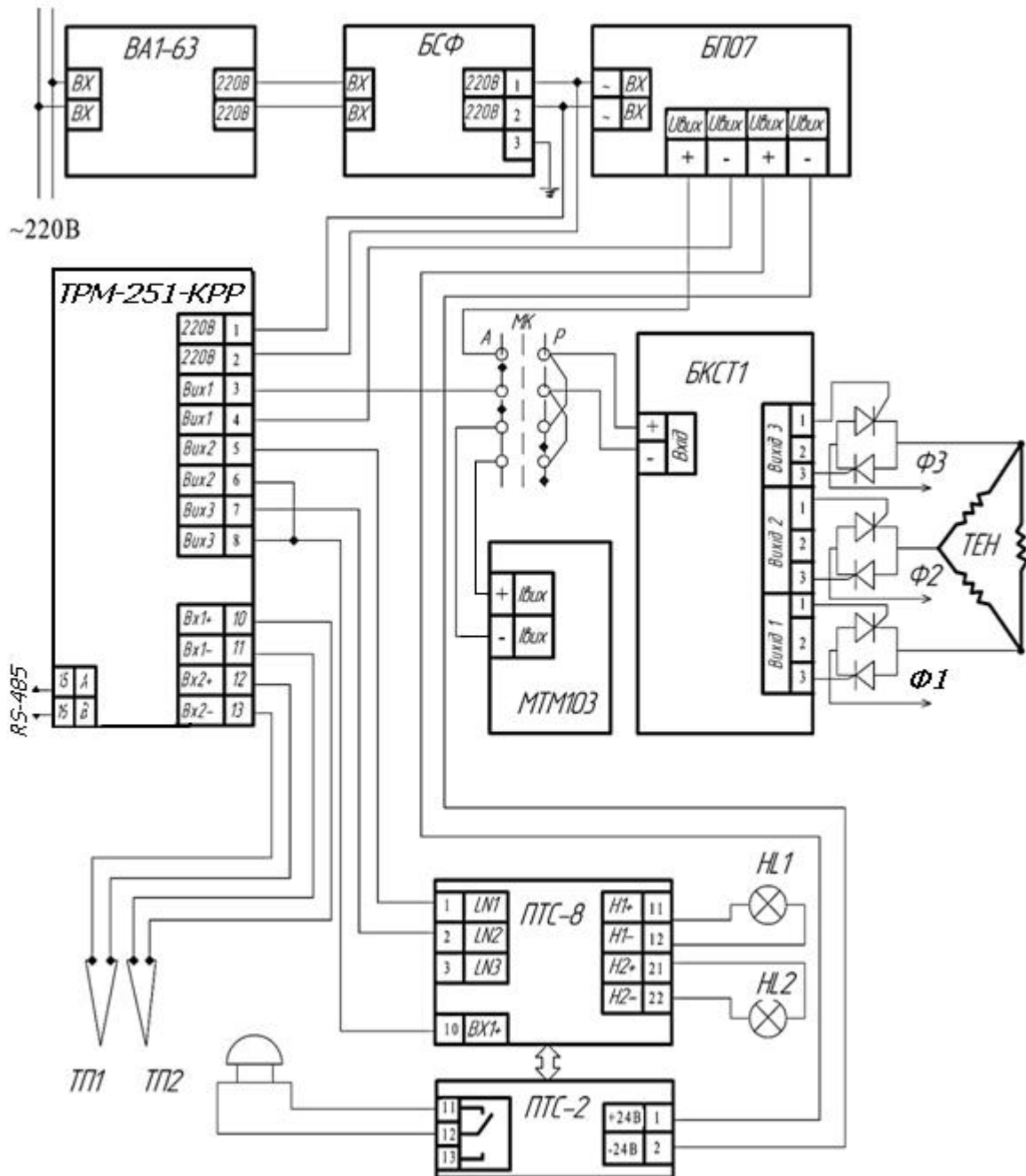
Особливістю управління електричними нагрівальними печами є те, що на виконавчій пристрій треба подавати керувальний сигнал тільки в одному напрямі – на нагрів. Охолодження ТЕНів і в цілому печі відбувається природним чином при відключенні керувального сигналу. Систему автоматичного керування багатоступінчастим температурним режимом в електропечі наведено на рис.7.4. Реалізована вона на базі технічних засобів автоматизації, що випускаються московською компанією ОВЕН. Серед них програмний ПД-регулятор ТРМ251-КРР, блок комутації силових симисторів і тиристорів БКСТ1, блок мережного фільтра БСФ, двоканальний блок живлення БПО7, термопари типу ДТПК. У складі САР є також пристрій технологічної сигналізації ПТС-64 виробництва "Мікрол" м. Івано-Франківськ та задатчик струму МТМ-103 підприємства «Мікротерм» м. Северодонецьк.

Стан об'єкта автоматизації контролюють дві термопари – основна ТП1 і резервна ТП2, які підключені до вхідних клем регулятора 10-11 і 12-13, відповідно. Резервна автоматично заміщає основну при виході її з ладу. Регулятор порівнює виміряне значення з уставкою і виробляє вихідний ШІМ-сигнал, що спрямований на зменшення їх непогодження. З клем 3 і 4 імпульсна напруга подається на вхід блока комутації силових тиристорів БКСТ1, який перетворює його в сигнал керування потужним трифазним ТЕНом.

Регулятор конфігуровано таким чином, що при перевищенні максимальною температурою значення, заданого уставкою, на його другому виході з'являється дискретний сигнал попереджувальної сигналізації, який подається на блок ПТС-8 (клеми 1,10) пристрою ПТС-64 і він вмикає миготливу світлодіодну лампу НЛ1. При розриві контура регулювання ТРМ251 видає на третій дискретний вихід (клеми 7-8) сигнал аварії, який перетворюється блоком ПТС-8 у світлодіодну сигналізацію постійного свічення НЛ2. Одночасно з аварійною світловою сигналізацією у блоці ПТС-2 спрацьовує узагальнена звукова, яка вмикає дзвоник гучного бою.

Перехід на ручний режим роботи та керування силовою напругою ТЕНів здійснюється з лицевої панелі регулятора відповідними клавішами. У схемі передбачено ручне керування температурою печі від задатчика струму МТМ-103. Для цього необхідно універсальний перемикач МК перевести з положення «А» у положення «Р». Цей вид ручного керування використовується, коли регулятор вимкнено.

Напряга живлення 220В подається на прилади за допомогою автоматичного вимикача ВА1- 63. Щоб забезпечити прилади захистом від мережних перешкод, послідовно з автоматом приєднано блок мережного фільтра БСФ. Для живлення внутрішніх кіл напругою $\approx 24\text{В}$ постійного струму в системі регулювання передбачено двоканальний блок живлення БП- 07.



ВА1-63 – вимикач автоматичний; БСФ – блок мережного фільтра; БП-07 – блок живлення; ТРМ-251 – вимірювач-регулятор; МК – універсальний перемикач; МТМ-103 – задатчик струму; БКСТ1– блок комутації силових симисторів і тиристорів; ТЕН – теплоелектронагрівач; ПТС-8 пристрій технологічній сигналізації; ПТС-2 – блок живлення пристрою технологічній сигналізації; HL1, HL2 – сигнальні лампи; дзвоник гучного бою

Рисунок 7.4 – Принципова електрична схема САР з теплоелектронагрівачем

7.5 ПД-регулювання з електропневопривідною арматурою

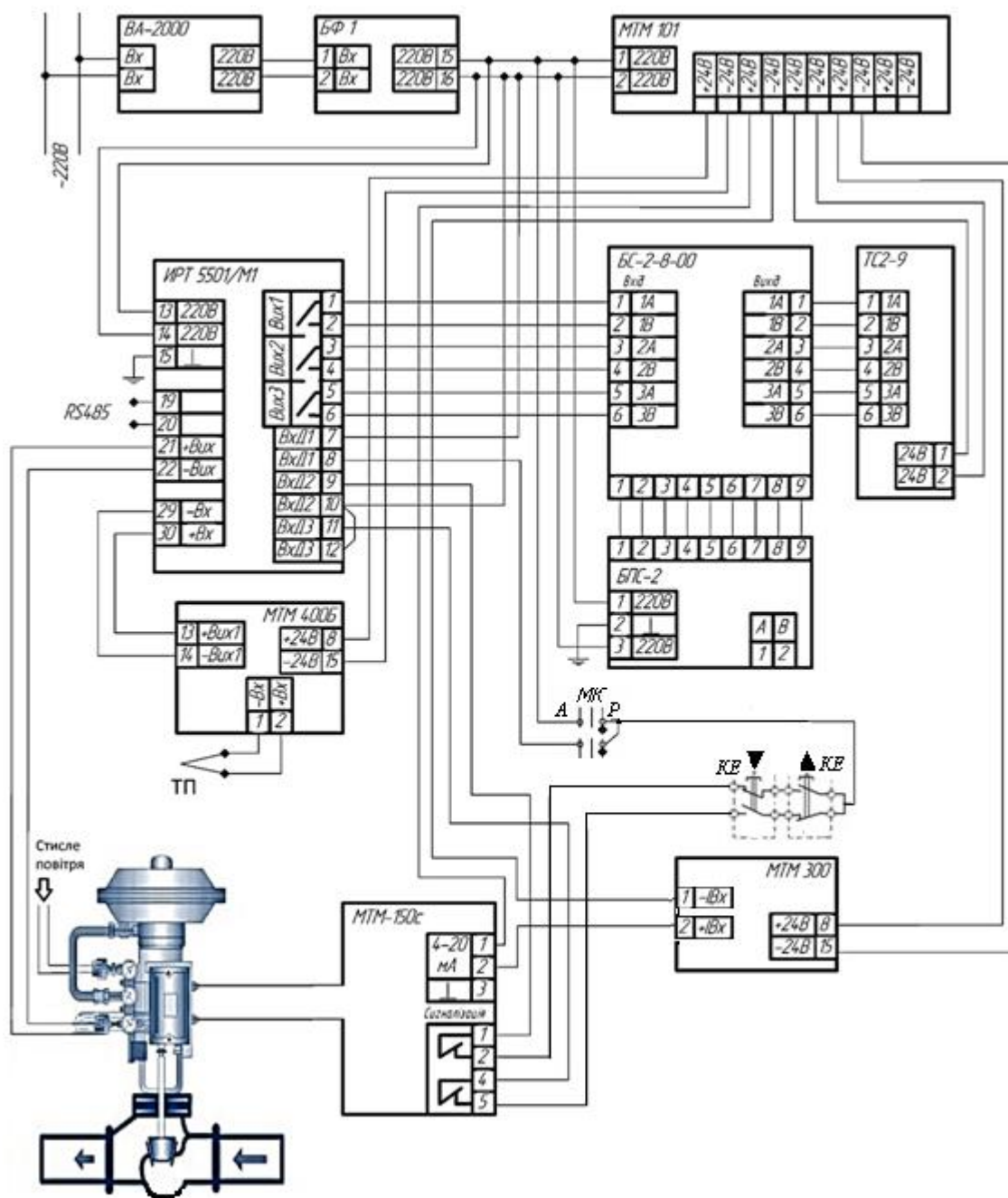
У багатьох випадках в системах автоматизації використовуються пневматичні виконавчі механізми, що працюють спільно з електропневматичними перетворювачами, які надають йому властивості позиціонера. Завдяки цьому такі виконавчі механізми розглядаються як пропорційні ланки, а тому працюють з ПД-регуляторами, що мають на виході аналоговий струмовий сигнал. Систему автоматичного регулювання такого типу наведено на рис.7.5. До складу її входять ПД-регулятор ИРТ5501/М1 і термopара ТП-1088 науково-виробничого підприємства "Елемер", м. Москва, блок фільтра БФ-1 Івано-Франківського підприємства "Мікрол", нормувальний перетворювач сигналу термopари в уніфікований струмовий сигнал МТМ400Б, п'ятиканальний блок живлення напругою $=24В$ МТМ101, блоки пристроїв оперативної сигналізації БС-2-8, БПС- 2, світлове табло ТС- 2-8, перетворювач положення аналоговий МТМ-150С і шкальний індикатор МТМ300 Северодонецького підприємства "Мікротерм", вимикач автоматичний ВА-2000 Української електротехнічної корпорації АСКОУкрем, кнопка серії КЕ, що не фіксується Кам'янець-подільського електромеханічного заводу, універсальний перемикач серії МК Московського виробничого об'єднання «Електротехник», а також мембранний виконавчий механізм (МИМ) з електропневопозиціонером, що перетворює струмовий вхідний сигнал 0-20 мА в положення робочого органа механізму.

Відповідно до наведеної схеми температура в об'єкті автоматизації сприймається термopарою ТП і подається на нормувальний перетворювач МТМ400Б. Уніфікований струмовий сигнал з виходу МТМ400Б (клеми 7,14) подається на вхід регулятора ИРТ5501/М1 (клеми 29,30). Якщо виміряне значення регульованого параметра не співпадає із заданою уставкою, регулятор по цьому розбалансу формує керувальне діяння, яке передається на струмовий вихід (клеми 21,22). Далі сигнал поступає на електропневматичний позиціонер мембранного виконавчого механізму МИМ, який змінює подачу теплоносія у бік зменшення розбалансу на вході регулятора. Якщо в процесі регулювання з'являється помилка вимірювання або регульована величина виходить за встановлені межі, на виходах 1, 2 і 3 регулятора ИРТ 5501/М1 з'являються дискретні сигнали, які поступають на вхід блока оперативної сигналізації БС-2-8-00. В результаті спрацьовують його вихідні реле і вмикаються відповідні лампи світлового табло ТС- 2-8.

У системі автоматичного регулювання передбачено два режими роботи - автоматичний і ручний, які вибираються за допомогою універсального перемикача МК. При переході на ручний режим роботи, керування здійснюється за допомогою кнопок КЕ, які комутують напругу 220В на входах 2 «Більше» і 3 «Менше» регулятора ИРТ5501/М1.

Для безперервного вимірювання і перетворення величини лінійного переміщення штока виконавчого механізму в уніфікований струмовий сигнал, а також для сигналізації досягнення затвором регульовального органа граничних положень, на виконавчому механізмі встановлено перетворювач МТМ-150С. Електричний сигнал, пропорційний положенню затвора

регулювального органа, з клем 1,2 перетворювача подається на вхід шкального індикатора МТМ300. Коли затвор регулювального органа досягає граничних положень, на виходах 1-2 і 4-5 перетворювача МТМ-150С спрацьовують релейні елементи, які розривають керувальні кола на входах 2 і 3 регулятора.



ВА-2000 – вимикач автоматичний; БФ-1– блок фільтра; МТМ-101 – блок живлення; IPT 5501/М1–вимірювач-регулятор; БС-2-8-00, БПС-2 – блоки пристрою оперативної сигналізації; ТС-2-8 – світлове табло; МТМ-400Б – перетворювач сигналу терморари в уніфікований струмовий сигнал; МК– універсальний перемикач; КЄ – кнопки керування; МТМ-150с – перетворювач положення аналоговий; МТМ-300 – шкальний індикатор

Рисунок 7.5 – Принципова електрична схема САР з електропневмопривідною арматурою

Завдяки цьому виключається можливість подальшого впливу на виконавчий механізм за попереднім напрямом.

Напруга живлення на прилади САР подається автоматичним вимикачем серії ВА-2000, а для захисту пристроїв автоматизації від дії мережних перешкод послідовно з автоматом приєднано блок фільтра БФ-1. Для живлення внутрішніх електричних кіл системи автоматичного регулювання напругою =24В використовується п'ятиканальний блок живлення МТМ101.

7.6 Надійність засобів автоматизації

Найважливішою властивістю систем автоматичного регулювання є надійність, яка в значній мірі залежить від електричних режимів роботи елементів (пристроїв), механічних навантажень і довкілля.

Перевантаження елементів струмом або напругою призводять, відповідно, до перегріву або пробою електричної ізоляції. Підвищені механічні навантаження (вібрації, удари і тому подібне) викликають ушкодження елементів, послаблення монтажних з'єднань, обриви, порушення налаштувань і т. ін.

Підвищена вологість сприяє зниженню опору ізоляції, що може викликати пробой і замикання електричних кіл. Волога викликає корозію робочих поверхонь контактів і погіршує їх роботу. При негативних температурах змінюються властивості багатьох ізоляційних матеріалів, відбуваються тріщини і розриви. Дія підвищеної температури довкілля еквівалентна збільшенню електричного навантаження.

Надійністю називається властивість пристрою виконувати необхідні функції, зберігаючи протягом заданого проміжку часу експлуатаційні показники в необхідних межах. Якщо усі параметри пристрою відповідають вимогам документації, такий стан називають працездатним, а подія, що привела до порушення працездатності, – відмовою.

Відмова може наступити не лише при механічних або електричних ушкодженнях (обриви, короткі замикання), але і при порушенні регулювання, із-за "виходу" параметрів елементів за допустимі межі і тому подібне. Відмови окремих елементів, а також зміни параметрів елементів можуть привести до порушення стійкості САР і погіршенню показників якості перехідного процесу (часу регулювання, максимального динамічного відхилення, перерегулювання, статичної помилки), що також є відмовою системи.

Розрізняють раптові і поступові відмови. Раптові відмови виникають в результаті стрибкоподібної зміни експлуатаційних параметрів елемента або пристрою. Вони є результатом прихованих недоліків технології виробництва або прихованих змін параметрів, що накопичуються в процесі експлуатації при ударах, вібраціях і т.ін. Приклади раптових відмов - обрив проводу, коротке замикання, пробій напівпровідникового приладу. Поступові відмови характеризуються, плавними в часі змінами параметрів елементів або пристроїв, що викликані безповоротними процесами старіння, зносу, а також порушенням умов регулювання.

Надійність проявляється через безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збережність.

Безвідмовність - властивість елемента (пристрою) безперервно зберігати працездатність протягом деякого часу.

Довговічність - властивість елемента (пристрою) зберігати працездатність до настання граничного стану з перервами для технічного обслуговування і ремонтів. Граничний стан може встановлюватися за змінами параметрів, умовами безпеки, економічними показниками, необхідністю капітального ремонту і т.ін.

Ремонтпридатність - властивість елемента (пристрою), яка надає можливість попереджувати, виявляти і усувати відмови шляхом проведення технічного обслуговування і ремонту.

Збережність - властивість елемента (пристрою) безперервно зберігати справний, працездатний стан протягом усього часу зберігання.

Надійність елементів в основному залежить від якості матеріалів і технології виготовлення, а надійність системи управління залежить від кількості і якості елементів, з яких вона складається, а також умов експлуатації, схемного і конструктивного виконання.

Оскільки відмови є випадковими подіями, то для дослідження надійності застосовують теорію вірогідності і математичну статистику.

Кількісними характеристиками надійності є – вірогідність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, середнє напрацювання до відмови (середній час безвідмовної роботи) та ін.

Вірогідність безвідмовної роботи $P(t)$ – це вірогідність того, що в заданому інтервалі часу t не виникає відмова. При випробуванні або експлуатації виробів вірогідність безвідмовної роботи визначається наступною статистичною оцінкою:

$$P^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0},$$

де N_0 – кількість виробів на початку випробувань; $n(t)$ – кількість виробів, що вийшли з ладу за час t ; t – час, для якого визначається вірогідність безвідмовної роботи.

При збільшенні кількості виробів N_0 статична оцінка вірогідності $P^*(t)$ практично не змінюється, тобто $P(t) = P^*(t)$.

Інтенсивністю відмов називається відношення кількості виробів, що відмовили в одиницю часу, до середньої кількості виробів, що продовжують справно працювати:

$$I(t) = \frac{n(\Delta t)}{N\Delta t},$$

де $n(\Delta t)$ – кількість виробів, що відмовили в інтервалі часу від $t - \Delta t/2$ до $t + \Delta t/2$; $N = (N_i + N_{i+1})/2$ – середня кількість виробів, що справно працюють в інтервалі Δt ; N_i, N_{i+1} - кількість справно працюючих виробів, відповідно, на початку і кінці інтервалу Δt .

Типова крива зміни інтенсивності відмов в часі представлена на рис.7.6.

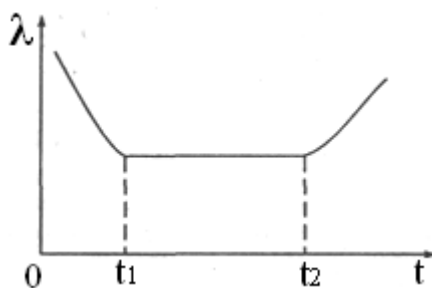


Рисунок 7.6 – Типова залежність інтенсивності відмов апаратури в часі

На ділянці $0-t_1$ (ділянка припрацювання) із-за прихованих дефектів інтенсивність відмов висока, але з часом зменшується. Для систем управління тривалість ділянки складає десятки, а іноді сотні годин. Зменшити її можна за рахунок попереднього відбракування і обкатки елементів і блоків.

Ділянка t_1-t_2 (ділянка нормальної експлуатації) характеризується зразковою постійністю інтенсивності відмов. Тривалість ділянки - тисячі і десятки тисяч годин.

На ділянці $t_1>t_2$ в результаті зносу і старіння інтенсивність відмов починає зростати. Досягнувши часу t_2 подальша експлуатація системи недоцільна.

При постійній інтенсивності відмов $\lambda(t)=\lambda$ вірогідність безвідмовної роботи складає $P(t) = e^{-\lambda t}$.

Середнє напрацювання до відмови (середній час безвідмовної роботи) при постійній інтенсивності відмов дорівнює $T_{cp}=1/\lambda$.

Кількісні показники надійності зазвичай використовуються при формуванні вимог до надійності під час проектування виробів, порівнянні виробів за рівнем надійності, визначенні об'єму запасних частин, розрахунку термінів служби виробів та ін.

Підвищити надійність системи можна за рахунок застосування внутрішньоелементної і структурної надмірності: зниження коефіцієнтів електричних навантажень, застосування елементів з вищими показниками надійності, полегшення умов їх роботи та резервування окремих пристроїв і в цілому системи автоматизації.

Зниження коефіцієнта електричного навантаження може бути досягнене заміною цього елемента функціонально подібним, але з більшою номінальною потужністю.

Полегшення умов роботи елементів в місцях їх установки досягається за рахунок кращого компонування елементів в блоках, створення кращих умов для відведення теплоти за допомогою вентиляційних отворів, примусового охолодження і т.ін.

Проте найбільш поширеним методом кардинального підвищення надійності систем автоматизації є резервування типових виробів широкого застосування, яке може бути роздільним, коли резервуються окремі елементи системи і загальним, коли резервується система в цілому[82,83].

Контрольні запитання до розділу 7

1. У чому відмінності між одноконтурним, каскадним і комбінованим регулюванням?
2. Чим треба керуватися підбираючи технічних засобів автоматизації при розробці системи автоматичного регулювання?
3. Що необхідно враховувати при розрахунку та виборі виконавчого пристрою?
4. Для чого необхідно знати статичну характеристику об'єкта автоматизації при розрахунку зчленування ВМ і РО?
5. Як конструкція та властивості виконавчого пристрою впливають на вибір закону регулювання?
6. Як впливає на вибір технічних засобів автоматизації інформація про те для кого вони потрібні і де мають бути встановлені?
7. Які технічні засоби автоматизації потрібні при створенні САР, що працює з однофазним виконавчим механізмом?
8. Який закон регулювання має формувати регулятор при роботі з трифазним виконавчим механізмом сталої швидкості з негативним зворотним зв'язком?
9. Як впливають на вибір закону регулювання динамічні властивості виконавчого механізму?
10. Як впливає на підбір технічних засобів автоматизації використання в САР електропневмопривідної арматури?
11. Що таке надійність засобів автоматизації?
12. Що таке працездатність пристрою і, як називається подія, що порушує її?
13. Результатом чого є раптові відмови?
14. Чим характеризуються поступові відмови?
15. Як розуміти термін «безвідмовність»?
16. Що характеризує властивість елемента (пристрою) зберігати працездатність протягом певного терміну?
17. Від чого залежать надійності пристроїв і систем регулювання?
18. Що характеризує ремонтпридатність пристрою?
19. Які кількісні показники характеризують надійність пристроїв автоматизації?
20. Як визначити середнє напрацювання приладу до відмови?
21. Що таке вірогідність безвідмовної роботи?
22. Як визначається інтенсивність відмов?
23. Який вигляд має типова крива зміни інтенсивності відмов у часі і, як її тлумачити?
24. За рахунок чого можна підвищити надійність системи автоматизації?
25. Що таке «структурна надмірність»?
26. Як можна досягти зниження коефіцієнта електричного навантаження?

Додатки

1. ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Засвоєння розділу «Засоби автоматичного регулювання», в якому розкриваються теоретичні основи формування алгоритмів управління промисловими регульовальними пристроями та розглядаються конструкції, принцип і особливості роботи найбільш поширених аналогових та цифрових регуляторів неможливо без отримання практичних навичок настроювання їх і налагодження роботи. У зв'язку з цим передбачається лабораторний практикум, протягом якого студенти вивчають, досліджують і набувають навички роботи з аналоговими та цифровими регуляторами [84,85]. Усього створено 11 лабораторних стендів, на яких пропонується до виконання 8 чотиригодинних лабораторних робіт. Серед них дві роботи по дослідженню характеристик аналогових регуляторів з неперервним та імпульсним вихідним сигналом і шість робіт присвячених конфігуруванню та дослідженню роботи цифрових регуляторів.

Перелік лабораторних робіт

№ п/п	Назва лабораторної роботи	Кількість годин
1	Конфігурування і дослідження роботи цифрового регулятора МТР-8 з блоком ручного керування БРУ-10 виробництва «Мікрол».	4
2	Конфігурування і дослідження роботи цифрового регулятора ИРТ 5501/М1 виробництва «Елемер».	4
3	Конфігурування і дослідження роботи цифрового програмного регулятора С-РТ виробництва «ТЕРА».	4
4	Конфігурування і дослідження роботи цифрового програмного регулятора ТРМ 251 виробництва «Овен».	4
5	Конфігурування і дослідження роботи цифрового регулятора Метакон-514-Т виробництва «КонтрАвт».	4
6	Конфігурування і дослідження роботи цифрового регулятора приладового типу Диск 250М виробництва «Теплоприбор».	4
7	Дослідження характеристик регульовального блока Р27 комплексу технічних засобів «Каскад 2».	4
8	Дослідження характеристик регульовального блока Р17 комплексу технічних засобів «Каскад 2».	4
9	Дослідження характеристик регульовального приладу Р25 комплексу технічних засобів «Контур».	4
10	Дослідження характеристик прецизійного регульовального приладу Р133.	4
11	Дослідження характеристик регульовального пристрою РП4 комплексу технічних засобів АКЕСР2.	4

2. ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

На практичні заняття виносяться теми навчального посібника, які потребують додаткового опрацювання на конкретних прикладах і реальних завданнях.

Перелік тем практичних занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Релейно-контактні схеми систем промислової автоматизації	4
2	Розрахунок та вибір регулювальних органів і виконавчих механізмів	4
3	Розрахунок та будівництва зчленування виконавчого механізму з регулювальним органом	4
4	Розробка принципів електричних схем керування роботою виконавчих механізмів	4

3. КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

Розрахунок і вибір виконавчого пристрою

Одною з відповідальних ланок систем автоматичного регулювання є виконавчі пристрої, які містять дросельний регулювальний орган і виконавчий механізм. Оскільки форма перепускної характеристики регулювальних органів обумовлена певними зовнішніми чинниками, якість регулювання залежить не тільки від якості настроювання регулятора, а і від того наскільки правильно розраховано перепускную здатність і зроблено вибір регулювального органа.

Правильно розрахований регулювальний орган не повинен спотворювати характеристики технологічного об'єкта. Більше того, він має усувати нелінійність його статичної характеристики за допомогою використання проміжної ланки між регулювальним органом і виконавчим механізмом з відповідною статичною характеристикою.

Тому студентам надається можливість під конкретні технологічні умови, що визначені індивідуальним завданням, на основі запропонованої методики здійснити необхідні розрахунки, креслення та вибір регулювального органа і виконавчого механізму, визначити характеристику з'єднання їх між собою та побудувати його[86].

Курсовий проект складається із записки та креслення форматом А1. У записці надається розрахунок і вибір регулювального органа, вибір виконавчого механізму та розрахунок з'єднання регулювального органа з виконавчим механізмом. Креслення містить переріз вибраного регулювального органа, будівництва безрозмірної статичної характеристики з'єднання виконавчого механізму з регулювальним органом, та будівництва зчленування регулювального органа з виконавчим механізмом. Окрім того, надається принципова електрична схема з'єднання підібраних пускача, виконавчого механізму та дистанційного покажчика положення вала виконавчого механізму.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ніколаєнко А.М. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації: навч.-посіб. / Ніколаєнко А.М., Міняйло Н.О. – Запоріжжя, ЗДІА, 2011.– 441с.
2. Ніколаєнко А.М. Програмування ПЛК у Softlogic-системі KW MULTIPROG: навч.-посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / Ніколаєнко А.М. – Запоріжжя: Видав. –ЗДІА, 2008. – 203с.
3. Беляєв Г.Б. Технические средства автоматизации в теплоэнергетике: учеб. пособие для вузов /Беляєв Г.Б., Кузищин В.Ф., Смирнов Н.И. –М.:Энергоиздат, 1982.–320с.
4. Яковис Л.М. Многоуровневое управление производством (состояние, проблемы, перспективы) [Электронный ресурс]: Санкт-Петербургский государственный университет - Режим доступа: <http://itrp.ru/content/company/public/multilevel.php>
5. Родионов В.Д. Технические средства АСУТП: учеб. пособие для вузов по специальности «Автом. и управл. в технич. сист.»/ Родионов В.Д., Терехов В.А., Яковлев В.Б. Под редакцией В.Б. Яковлева. – М. Высш. шк. 1989. – 263с.
6. Электрические измерения неэлектрических величин. /[А.М. Туричин, П.В.Новицкий, Е.С. Левшина, и др.] –Л.: «Энергия», 1975. – 576с. с ил.
7. Справочник по средствам автоматизации. /[Под ред.В.Э. Низэ и И.В. Антика.] – М.: Энергоатомиздат, 1983. –504 с.
8. Бриндли К. Измерительные преобразователи: справочное пособие /К. Бриндли. – Москва: Энергоатомиздат. - 1991. – 144 с.
9. Шандров Б.В. Технические средства автоматизации: учебник для студ. высш. учеб. заведений. /Шандров Б.В., Чудаков А.Д. – М.,: Издательский центр «Академия», 2007. – 368с.
10. Тематический каталог. Датчики давления. Метран, 2006, 276с.
11. Приборы для измерения давления SITRANS P. Каталог FI 01 Siemens FI 01-2007, 216с.
12. Весоизмерительная техника. Каталог WT 01 Siemens AG -2007, 133с.
13. Тематический каталог. Расходомеры. Счётчики. Метран, 2006, 310с.
14. Сигнализаторы уровня Rosemount 2110 и 2120 [Электронный ресурс]- Режим доступа: http://www.pea.ru/docs/fileadmin/files/emerson/urovnyemery/Signalizatory_urovnya_Rosemount_2110_i_2120.pdf.
15. Инструкция по установке и программированию 2-х проводного компактного емкостного преобразователя уровня NivoCAP СТ - 200 [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.nivelco.com/download/pdf/cbr2052o0600p_03.pdf
16. Емкостные датчики [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://wwwcdl.bmstu.ru/mt10/UTS/frames0.html>
17. Промышленные расходомеры SITRANS F. Каталог FI 01 Siemens AG-2004, 48с.
18. Индуктивные датчики перемещения SICK [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.rakurs.su/brends/Sick/catalog/sensors-inductive/>

19. Коновалов Л.И. Элементы и системы электроавтоматики: учеб. пособие для студ. вузов спец. «Автоматизация и комп. механизация хим.-технол. процессов/ Л.И. Коновалов, Д.П. Петелин – М.: Высш. шк., 1985. – 216с., ил.
20. Анализатор жидкости кондуктометрический АЖК-3101М. Руководство по эксплуатации.
21. Непрерывные газоанализаторы, экстрактивные ULTRAMAT-23 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.ppm-systems.ru/resources/files/ultramat23.pdf>
22. Электрохимический датчик угарного газа NAP-505 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.platan.ru/news/news1199.shtml>
23. Каталог продукции.– Элемер. 2010.– 608с.
24. Твердотельное реле [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://cxem.net/electric/electric74.php>
25. Контактторы. Пускатели электромагнитные [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.elektrotehnik.ru>
26. Командоконтроллеры. Каменец-Подольский электромеханический завод [Электронный ресурс]- Режим доступа: <http://www.kpemz.ltd.ua/>
27. Выключатели путевые ВП15[Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.ferrol.ru>
28. Выключатели концевые серии ВК-200, ВК-300, Выключатели путевые ВПК-2000Б [Электронный ресурс]- Режим доступа: <http://www.ferrol.ru>
29. Универсальные переключатели [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.pselektro.ru/feedback>
30. Выключатели кнопочные серии КЕ, Каменец-Подольский электромеханический завод [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.kpemz.ltd.ua/>
31. Кнопки. Тумблеры. Переключатели клавишные. Манипуляторы. Українська електротехнічна компанія ЕТЕМ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.etem.net.ua/230/>
32. Рубильники, разъединители [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.elektrotehnik.ru>
33. Автоматические выключатели [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.elektrotehnik.ru>
34. Переключатели пакетные серии МК [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.ferrol.ru>
35. Пакетные переключатели [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.pselektro.ru/feedback>
36. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования. [Справочное пособие]/ А.С. Клюев, А.Т. Лебедев, С.А. Клюев, А.Г. Товарнов; Под ред А.С. Клюева – М.Энергоатомиздат, 1989. –308с.
37. А.И.Емельянов. Исполнительные устройства промышленных регуляторов. /А.И.Емельянов, В.А.Емельянов.–М., «Машиностроение», 1975, –327с.
38. Г.Я.Кричевский. Техника наладки промышленных систем автоматического регулирования в металлургии./ Г.Я. Кричевский, А.А. Артемьев, В.И. Кесисоглу.–М.:Металлургия.-1971,–192с..

39. Арматура регулирующая, предохранительная, запорная. Каталог. [Группа компаний «Авангард»], 2011.– 48с.
40. Промышленная и энергетическая трубопроводная арматура. [Обзор поставляемого оборудования Инжиниринговая компания Техприлад] –Киев, 2011.– 23с.
41. Исполнительные механизмы. Классификация электрических исполнительных механизмов [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.comodity.ru/>
42. «Поволжская электротехническая компания». Исполнительные механизмы, пусковые и управляющие устройства. [Каталог продукции.] Чебоксары, 2010.– 34с.
43. Сергей Шашкин. Электрические исполнительные механизмы /Сергей Шашкин. Контроль и автоматика. Методичка. КонтрАвт 2008, №1 с. 17-26, 2008, №2 с. 3-19.
44. Герасенков А.А. Автоматика. Исполнительные механизмы / Герасенков А.А., Вихрова Л.Г., Загинайлов В.И., Суворов С.А. – М.: МГУЛ, 2001.– 89с.
45. Сергей Шашкин. Пневматические исполнительные механизмы /Сергей Шашкин. Контроль и автоматика. Методичка. КонтрАвт 2006, №2 с. 22-27.
46. Приводы электрические многооборотные ПЭМ-А, ПЭМ-Б, ПЭМ-В. АБС ЗЭиМ Автоматизация [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.abs-zeim.ru>
47. Пневматический привод [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.gidraul.narod.ru/pnevpriv.html#stih0>
48. Система 6000. Электропневматический преобразователь для сигналов постоянного тока. Samson с. 10. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.samson.de/pdf_in/e61110ru.pdf
49. Усилитель тиристорный трёхпозиционный ФЦ. Руководство по эксплуатации. АБС ЗЭиМ Автоматизация. 15с.
50. Устройство плавного пуска, торможения и защиты реверсивное серии «БиСТАРТ-Р» БСТ-12Р/380-32. Руководство по эксплуатации. Научно-производственная фирма «БИТЕК»” 68с.
51. Ротач В.Я. Теория автоматического управления /Ротач В.Я. — М. : Издательство МЭИ, 2004. — 400 с.
52. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации /Денисенко В.В. // Современные технологии автоматизации. 2006. № 4. с. 66-74; 2007. № 1. с. 78-88.
53. Денисенко В.В. Заземление в системах промышленной автоматизации /Денисенко В.В. // Современные технологии автоматизации. 2006. № 2. с. 94-99; № 3. С. 76-92.
54. Денисенко В.В. Защита от помех датчиков и соединительных проводов систем промышленной автоматизации /Денисенко В.В., Халявко А.Н. // Современные технологии автоматизации. 2001. № 1. С. 68-75.
55. Денисенко В.В. Разновидности ПИД-регуляторов /Денисенко В.В. // Автоматизация в промышленности, июнь 2007, с. 45-50.

56. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации /Денисенко В.В. // Современные технологии автоматизации. 2007. № 4. С. 86-97.
57. Изерман Р. Цифровые системы управления /Изерман Р. — М. : Мир, 1984. —541 с.
58. Сергей Шашкин. Обзор рынка многоканальных регуляторов /Сергей Шашкин // Современная электроника. 2010, №7, с. 34-41.
59. ОВЕН. Оборудование для автоматизации. Каталог 2012 с. 416 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.owen.ru/text/37081875>
60. Романенко В.Д. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микроЭВМ: Учеб. пособие. /В.Д. Романенко, Б.В. Игнатенко – К.: Выща шк., 1990.–334с.
61. Регуляторы микропроцессорные МТР-8. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.micro1.ua>.
62. Измеритель-регулятор технологический ИРТ 5501/М2. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.elemer.ru/production/irt_pid/irt_5501.php
63. Программный ПИД-регулятор ТРМ251. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.owen.ru/uploads/rie_trm251_488.pdf
64. Универсальный регулятор температуры РТ1-03. Паспорт и руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.ao-tera.com.ua/commonfiles/contr-intro.pdf>
65. Регуляторы измерительные микропроцессорные серии МЕТАКОН –514. Руководство по эксплуатации. КонтрАвт [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.contravt.ru/?id=6811>
66. Прибор регистрирующий ДИСК-250М. Руководство по эксплуатации. Теплоприбор –Юнит с.52 [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://energiatlt.ru/ener_stat_1.htm
67. Зорин С.В. ПИД-закон регулирования. Методы нахождения ПИД коэффициентов / С.В. Зорин [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.termodat.ru/pdf/pid.pdf>
68. Задатчик ручной РЗД. Руководство по эксплуатации. АБС ЗЭиМ Автоматизация, с.23.
69. Техническое описание и инструкция по эксплуатации устройства задающего ЗУ-50. МЗТА, с.18.
70. Задатчик токовый МТМ-103. Руководство по эксплуатации. Микротерм, с. 23.
71. Указатель положения дистанционный ДУП-М. Руководство по эксплуатации. АБС ЗЭиМ Автоматизация, с.9.
72. Техническое описание и инструкция по эксплуатации индикатора положения унифицированного ИПУ.МЗТА, с.8.
73. Преобразователи положения аналоговые МТМ150. Руководство по эксплуатации. Микротерм, 2008, с.41
74. Блоки ручного управления БРУ. Руководство по эксплуатации. АБС ЗЭиМ Автоматизация, с.29.

75. Блоки ручного управления БРУ-33, БРУ-44. Руководство по эксплуатации. СКБ СПА. с.20 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.skbspa.ru/index.php?c>
76. Каталог продукции. Микрол 2008, 188с.
77. Паспорт сетевого фильтра ФС-220. КонтрАвт, с.13 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://files.contravt.ru/fs.pdf>
78. Паспорт блока питания и реле БПР. КонтрАвт, с.12 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://files.contravt.ru/fs.pdf>
79. Блоки устройств оперативной сигнализации БС-2-8, БПС-2. Руководство по эксплуатации. Микроterm. 2006, с. 50 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.mikroterm.lg.ua/bs2.html>.
80. Блок симисторный БС-240-Х-Н, БС-440-Х-Н. Паспорт. НПФ КонтрАвт, с.14 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://files.contravt.ru/fs.pdf>
81. Блок коммутации силовых симисторов и тиристоров БКСТ1. Паспорт и руководство по эксплуатации. Овен с.30 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.owen.ru/>
82. Майоров М.М. Надёжность средств и систем автоматизации трубопроводного транспорта: справочное пособие/ Майоров М.М., Дубровский В.В., Разладов Г.З.— М: Недра, 1992.—160с.
83. Виктор Денисенко. Аппаратное резервирование в промышленной автоматизации /Виктор Денисенко // Современные технологии автоматизации 2008. № 2. с. 90-99.
84. Ніколаєнко А.М. Технічні засоби автоматизації. Методичні вказівки до лабораторного практикуму для студентів ЗДІА спеціальності АУТП /Укл.: А.М. Ніколаєнко.—Запоріжжя, 2004.—44с.
85. Ніколаєнко А.М. Технічні засоби автоматизації. Цифрові регулятори. Методичні вказівки до лабораторного практикуму для студентів ЗДІА напряму підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» /Укл.: А.М. Ніколаєнко.—Запоріжжя, 2009.—82с.
86. Ніколаєнко А.М. Виконавчі пристрої та регулювальні органи. Методичні вказівки до курсового проекту для студентів ЗДІА за фахом «Автоматизоване управління технологічними процесами» /Укл.: А.М. Ніколаєнко.—Запоріжжя, 2004.—68с.

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ І СКОРОЧЕНЬ

Автоматичний вимикач	Контактний комутаційний апарат, який вмикає, проводить і вимикає струми при нормальному стані електричного кола і одночасно забезпечує захист кабелів, проводів та кінцевих споживачів електроенергії від перевантаження та короткого замикання
Аліасна частота	Аліасна частота – це різниця між частотою перешкоди і частотою квантування сигналу.
АСУП	Автоматизована система управління виробництвом
АСУТП	Автоматизована система управління технологічним процесом
АЦП	Аналогово-цифровий перетворювач
Блок ручного керування	Пристрій, за допомогою якого можна здійснювати перемикання з автоматичного режиму управління на ручний і назад, кнопкове управління виконавчим механізмом, світлову індикацію вихідного сигналу, визначення положення регулювального органа
Блок мережних фільтрів	Пристрій, що призначений для захисту двопровідної мережі змінного струму, яка живить прилади і датчики, від імпульсних і високочастотних перешкод.
Виконавчий механізм (ВМ)	Рушійна частина виконавчих пристроїв, яка перетворює керувальне діяння регулятора у переставне зусилля на регулювальному органі
Високочастотні перешкоди	Невизначені за часом і амплітудою сигнали в діапазоні 100кГц-30МГц, які спотворюють параметри вхідної напруги (220В/50Гц).
Вита пара	Фізичне середовище для передачі інформації, яке складається з двох ізольованих проводів, звитих між собою (для зменшення впливу зовнішніх електромагнітних полів). Швидкість передачі – до 1 Мбіт/с
Гальванічний перетворювач	Перетворювач, робота якого базується на залежності е.р.с. гальванічного кола від концентрації іонів в електроліті та окислювально-відновних процесів, що відбуваються на електродах
Геркон	Герметизований магнітокерований контакт
Деіонна решітка	Ізольовані один від одного металеві пластини, які переривають електричну дугу, що виникає при розмиканні контактів реле, з метою її гасіння
Демпфірування	Згладжування сигналу з метою усунення існуючих шумових складових.

Діафрагмовий клапан	Арматура із запірним або регулювальним органом, у вигляді мембрани, яка під тиском штока переміщується, змінюючи прохідний переріз клапана або повністю перекриваючи його
Дистанційний покажчик положення	Прилад, що призначений для дистанційного показу положення вихідного вала виконавчого механізму
Диференціальне з'єднання	З'єднання, при якому вихідні сигнали двох перетворювальних ланок віднімаються
ДСП	Державна система промислових приладів і засобів автоматизації
ДЦП	Дискретно-цифровий перетворювач
Електролітичний резистивний перетворювач	Перетворювач, робота якого базується на залежності опору електролітичної комірки від складу та концентрації електроліту, а також геометричних розмірів комірки
Електростатичний перетворювач	Два або декілька тіл, між якими діє електричне поле
Електропневматичний перетворювач	Перетворювач, що призначений для сполучення пневматичних виконавчих механізмів з електричними сигналами систем управління
Ерозія	Електричне зношення контактів реле
Е.Р.С.	Електрорушійна сила
Задатчик	Прилад, що призначений для використання в системах автоматизації в якості пристрою, що задає для регуляторів значення параметрів, які вони мають підтримувати для забезпечення якісного технологічного процесу
Заслінка	Арматура із запірним або регулювальним органом, що повертається у трубопроводі на вісі, розташованій перпендикулярно напрямку потоку
Засувка	Арматура, яка має запірний або регулювальний орган, що переміщується уздовж ущільнювальних поверхонь корпусу РО перпендикулярно вісі потоку речовини.
Імпульсні перешкоди	Короткочасні (1нс-1мс) викиди в мережі живлення амплітудою, що перевищує номінальну напругу
Індуктивний перетворювач	Перетворювач, який перетворює переміщення у зміну індуктивності

Індукційний перетворювач	Перетворювач, який перетворює швидкість механічного переміщення в індуковану е.р.с.
Кінцевий вимикач	Перемикальний пристрій, що обмежує пересування механізму у кінці шляху за рахунок замикання або розмикання схем керування електроприводом
Клапан	Арматура із запірним або регулювальним органом, що рухається зворотно-поступально уздовж центральної вісі ущільнювальної поверхні корпусу або повертається навколо вісі, яка перпендикулярна напрямку потоку середовища
Кнопка керування	Найпростіший командоапарат, при натисканні якого завдяки замиканню-розмиканню двох або більше контактів електричні сигнали передаються різним пристроям
Командоапарат	Комутувальний електричний апарат, що призначений для автоматичного управління електричними приводами постійного та змінного струму напругою до 500В шляхом перемикання вторинних кіл контакторів, пускачів, різноманітних схем автоматизації
Командоконтролер	Багатопозиційний апарат, що керує обмотками контакторів, головні контакти яких увімкнені в силові кола електричних машин, трансформаторів і резисторів
Контактор	Двопозиційний апарат з самоповерненням, який призначений для комутування струмів, що не перевищують струми перевантаження
Кран	Арматура із запірним або регулювальним органом у формі тіла, яке повертається навколо вісі перпендикулярної напрямку руху речовини.
Лінійна пропускна характеристика	Прирошення пропускної здатності пропорційно переміщенню затвора
Логометричне з'єднання	З'єднання, при якому вихідні сигнали двох перетворювальних ланок діляться одне на одне
Магнітопружний перетворювач	Перетворювач, робота якого базується на зміні магнітної проникності феромагнітних тіл під впливом механічних зусиль
М.Р.С.	Магніторушійна сила
Мережа MODBUS	Мережа з послідовним обміном типу провідний/підпорядкований
МИМ	Мембранний виконавчий механізм
МП	Мікропроцесор

МЕО	Механізм електричний однообортний
Нейтральне реле	Реле, що не реагує на знак вхідного сигналу
Номинальний момент виконавчого механізму	Момент, що розвиває виконавчий механізм при всіх допустимих умовах експлуатації при зниженні напруги живлення до $0,85U$
Нормувальний перетворювач	Пристрій, що призначений для перетворення неуніфікованих сигналів (у мілівольтах, омах, частоті та ін.), що надходять з датчиків, на еквівалентні уніфіковані сигнали (0-5)мА, (0-20)мА і (4-20)мА постійного струму, (0 ± 10) В сталої та змінної напруги.
ОЗП (RAM–Random access memory)	Оперативний запам'ятовуючий пристрій (Пам'ять з довільним доступом)
Пакетний перемикач	Апарат закритого типу, який збирається з нерухомих кілець (пакетів), виготовлених з ізоляованого матеріалу і призначений для з'єднання та роз'єднання електричних кіл постійного та змінного струму до 100А при напрузі 220В і до 60А при напрузі 380В
П'єзоелектричний перетворювач	Перетворювач, що електризується під впливом механічних напружень (прямий п'єзоефект) і деформується в електричному полі (протилежний п'єзоефект).
Передавальна функція	Відношення зображення вихідної величини до зображення вхідної величини
ПЗП (ROM–Read Only Memory)	Постійний запам'ятовуючий пристрій (Пам'ять тільки для читання)
П-закон	Пропорційний закон регулювання
ПІ-закон	Пропорційно-інтегральний закон регулювання
ПІД-закон	Пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання
ПДД-закон	Пропорційно-диференціально-диференціальний закон
ПЛК (PLC) (Programmable Logic Controller)	Програмований логічний контролер

Повний хід виконавчого механізму	Хід вала виконавчого механізму в частках оберту, за який затвор РО переміщується від початку до кінця
Позиціонер	Регулятор положення рухливої системи пневматичного регулювального клапана
Потенціометричний перетворювач	Реостатний перетворювач увімкнутий за схемою дільника напруги
Поляризоване реле	Різновид електромагнітних реле постійного струму, що реагує на величину і знак вхідного сигналу
Пристрій технологічної сигналізації	Пристрій, що призначений для прийому і логічному обробленню сигналів від двопозиційних датчиків, датчиків з уніфікованим електричним вихідним сигналом постійного струму, відображення інформації, попередження оператора світловим і звуковим сигналами про відхилення контрольованих параметрів від норм.
Пропускна здатність	Витрата рідини з густиною 1000кг/м^3 , що перепускається РО при перепаді тиску на ньому 100КПа
Пропускна характеристика	Встановлює залежність пропускної здатності відносно переміщення затвора при постійному перепаді тиску
Пускальний пристрій	Пристрій, що забезпечує необхідне підсилення потужності керувальних сигналів, які надходять від регулятора при автоматичному регулюванні або від оператора при ручному керуванні
Пускач електромагнітний	Комутувальний електричний апарат, що призначений для пуску, зупинення та захисту трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором.
Регулювальний орган (РО)	Ланка виконавчого пристрою, яка призначена для зміни витрати речовини або енергії в об'єкт регулювання
Регулятор	Прилад, що одержує, підсилює та перетворює сигнал відхилення регульованої величини і цілеспрямовано впливає на об'єкт автоматизації, щоб забезпечити підтримку технологічного параметра на заданому рівні або зміну його величини за заданою програмою
Резистивний перетворювач	Перетворювач, в якому вихідною величиною є змінний активний опір.

Реле	Пристрій, що перетворює повільну зміну вхідної величини у ступінчасту зміну вихідної
Рівновідсоткова пропускна характеристика	Прирощення пропускної здатності при переміщенні затвора пропорційно поточному значенню пропускної здатності
Рубильник	Комутаційний апарат, який призначається для неавтоматичного нечастого замикання і розмикання силових електричних кіл постійного і змінного струму напругою до 500 В і струмом до 5000 А, якімає 1 - 3 полюси.
САР	Система автоматичного регулювання
САУ	Система автоматичного управління
Твердотіле реле	Реле, яке має надійну герметизовану за допомогою епоксидної смоли конструкцію, і містить кола керування великими навантажувальними струмами, що побудовані на транзисторних, симисторних або тиристорних схемах
ТЕН	Теплоелектронагрівач
Тензорезистор	Перетворювач, в основі роботи якого лежить явище тензоефекту (активний опір провідників змінюється при їх механічній деформації)
ТЗА	Технічні засоби автоматизації
Трансформаторний або взаєм-індуктивний перетворювач	Перетворювач, що перетворює переміщення обмоток у зміну взаємної індуктивності
Універсальний перемикач	Перемикач, що встановлюється на панелях або щитах і забезпечує можливість здійснення одночасних перемикачів у кількох не залежних електричних колах дистанційного керування комутаційними апаратами (реле, електромагнітними пускачами та контакторами), а також в електричних колах сигналізації, вимірювання та автоматизації при напрузі змінного та постійного струму до 220В
ЦАП	Цифро-аналоговий перетворювач
ЦДП	Цифро-дискретний перетворювач
ЦПП	Центральний процесорний пристрій

Час повного ходу виконавчого механізму	Час за який виконавчий механізм переміщує затвор РО від початку до кінця
Шиберна засувка	Арматура із запірним або регулювальним органом, що переміщується перпендикулярно напрямку потоку при невеликих статичних тисках
Шланговий клапан	Арматура із запірним або регулювальним органом, який має вигляд шланга, розташованого між двома валами, що зближуються або розходяться у площині, перпендикулярній вісі проходу
Шляховий вимикач	Командоапарат, що призначений для комутування електричних кіл управління під впливом упорів, що розташовані на шляху контрольованого об'єкта
Шпаруватість імпульсів	Відношення тривалості періоду прямування імпульсів до величини імпульсу
Control-level	Рівень безпосереднього (локального) контролю та управління ходом технологічного процесу.
ERP (Enterprise Resource Planning)	Рівень управління сучасним підприємством, на якому здійснюється розрахунок і аналіз фінансово-економічних показників, розв'язуються поточні та стратегічні адміністративні задачі
HMI (Human - Machine Interface)	Людино-машинний зв'язок, який здійснює візуалізацію (відображення інформації) ходу технологічного процесу
Input/Output	Рівень отримання інформації про стан технологічних параметрів і впливу на хід виробничого процесу
MES (Manufacturing Execution Systems)	Рівень управління сучасним підприємством, на якому розв'язуються задачі управління якістю продукції, планування і контролю за послідовністю операцій технологічного процесу, управління виробничими і людськими ресурсами у межах технологічного процесу, технічного обслуговування виробничого устаткування
pH-метр	Гальванічний вимірювальний перетворювач
RS-485	Високошвидкісний та перешкодостійкий промисловий послідовний інтерфейс, який передає сигнали диференціальними перепадами напруги (0,2...8)В у лінії зв'язку довжиною до 1км
SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)	Система збору даних і супервізорного (диспетчерського) управління – рівень тактичного оперативного управління, на якому розв'язуються задачі оптимізації, діагностики, адаптації і т. ін.