

А. М. Гуржій, А. Т. Нельга, О. С. Ігжін, В. М. Співак

ОСНОВИ АВТОМАТИКИ ТА РОБОТОТЕХНІКИ



2021

Гуржій А. М., Нельга А. Т., Співак В. М., Ітякін О. С.

ОСНОВИ АВТОМАТИКИ ТА РОБОТОТЕХНІКИ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

для здобувачів професійної (професійно - технічної) освіти

Дніпро – «Гарант СВ»

2021

УДК 378.147

Г 45

“Схвалено Вченою радою Інституту професійно - технічної освіти Національної академії педагогічних наук України” як навчальний посібник для здобувачів професійно - технічної освіти, Основи автоматики та робототехніки: Навчальний посібник:- Київ, 2021: 243 с., 190 іл., 6 табл., 23 бібл.

Навчальний посібник призначений для отримання здобувачами професійної (професійно – технічної) освіти знань з автоматики та робототехніки, формування уявлення про області застосування відповідних автоматичних пристроїв і систем, а також робототехніки, як одного з напрямків діяльності людини.

Навчальний посібник має 12 розділів, з яких 7 розділів відносяться до автоматики, а 5 – до робототехніки. Посібник призначено для здобувачів професійно – технічної освіти за професіями «Електромонтер з ремонту та обслуговування електроустаткування», «Електрогазозварник, електрозварник на автоматичних та напіваавтоматичних машинах».

Посібник відповідає програмам підготовки здобувачів професії і освіти, згідно вимог Державних стандартів України та програм професійно – технічної освіти ДСПТО 7241.В.09.90-2015. Посібник може бути корисним здобувачам професій і освіти споріднених спеціальностей.

Рецензенти:

Лузан Петро Григорович, доктор педагогічних наук, професор;

Жуйков Валерій Якович, доктор технічних наук, професор;

Струтинський Василь Борисович, доктор технічних наук, професор;

Дмитриков Валерій Павлович, доктор технічних наук, професор;

Гоменюк Дмитро Васильович, кандидат педагогічних наук, доцент.

Гуржій А. М.

Г45 Основи автоматики та робототехніки: Навчальний посібник/
А. М. Гуржій, А. Т. Нельга, В. М. Співак, О. С. Ітякін:–Дніпро:«Гарант СВ», 2021.- 243с.

ISBN 978-617-627-156 -7

УДК 378.147

© Гуржій А. М., Нельга А. Т.,
Співак В. М., Ітякін О. С., 2021

ISBN 978-617-627-156 -7

ЗМІСТ

Передмова	6
Вступ	7
1. Принципи побудови систем автоматики	11
1.1. Основні терміни та визначення	11
1.2. Принципи побудови систем автоматики	12
1.3. Основні види систем автоматичного керування	21
1.4. Системи автоматичного контролю і сигналізації	22
1.5. Системи дистанційного керування і телеуправління	23
1.6. Системи автоматичного регулювання і захисту	24
Контрольні запитання	27
2. Вимірювальні перетворювачі неелектричних величин	28
2.1 Характеристики вимірювальних перетворювачів і їх класифікація	28
2.2. Електроконтактні датчики	35
2.3. Кінцеві вимикачі	37
2.4. Безконтактні кінцеві вимикачі	39
2.5. Потенціометричні датчики	40
2.6. Тензорезисторні датчики	44
2.7. Датчики Холла	47
2.8. Індуктивні датчики	51
2.9. Індукційні датчики	53
2.10. Диференційно-трансформаторні датчики	54
2.11. Ємнісні датчики	55
2.12. П'єзоелектричні датчики	56
2.13. Фотоелектричні датчики	58
2.14. Датчики руху	59
2.15. Температурні датчики	61
2.15.1. Терморезистивні датчики температури	61
2.15.2. «Інтелектуальні» датчики температури	70
Контрольні запитання	72
3. Задавачі, пристрої порівняння та підсилювачі в системах автоматики	74
3.1. Задавачі систем автоматики	74
3.2. Пристрої порівняння	82
3.3. Підсилювачі електричних сигналів	83
Контрольні запитання	87

4. Автоматичні регулятори	88
4.1. Призначення та класифікація автоматичних регуляторів	88
4.2. Поняття про перехідні процеси та закони регулювання	90
4.3. Закони регулювання та регулятори, що їх реалізують	95
Контрольні запитання	107
5. Електричні апарати та елементи	108
5.1. Контактні електромагнітні та електричні пристрої комутації	108
5.1.1. Електромагнітні реле	108
5.1.2. Герконові реле	109
5.1.3. Автоматичні вимикачі	111
5.1.4. Магнітні пускачі і контактори	112
5.2. Електронні пристрої комутації	114
5.2.1. Твердотільні реле	114
5.2.2. Програмовані інтелектуальні реле	115
5.3. Елементи захисту електронної апаратури	118
5.3.1. Плавкі запобіжники	118
5.3.2. Варистори	118
5.4. Варикапи	120
5.5. Умовні позначення пристроїв комутації	122
Контрольні запитання	124
6. Виконавчі пристрої	125
6.1. Виконавчі пристрої, застосування та особливості	125
6.2. Основні технічні вимоги до виконавчих пристроїв	126
6.3. Основні типи виконавчих пристроїв	128
6.3.1. Виконавчі пристрої на основі електричних двигунів	128
6.3.2. Виконавчі механізми з двигуном змінного струму	130
6.3.3. Електромагнітні виконавчі механізми	135
6.3.4. Електромагнітні муфти	136
6.3.5. Електромагнітні гальма	137
6.3.6. Електромагнітні клапани	138
6.3.7. Електромагніти	139
6.4. Крокові електродвигуни	139
Контрольні запитання	141
7. Мікропроцесорні засоби в системах автоматики	142
7.1. Основні поняття і визначення мікропроцесорних засобів	142
7.2. «Машинне» представлення інформації	144

7.3. Мікропроцесори	148
7.4. Мікропроцесорні контролери	150
7.5. Однопроцесорні системи в автоматичі	152
7.6. AVR мікроконтролери	156
Контрольні запитання	159
8. Робототехніка в системах автоматики	160
8.1. Історія розвитку робототехніки	160
8.2. Робототехнічні засоби і системи	172
8.3. Нанотехнології в робототехніці	177
Контрольні запитання	180
9. Класифікація і будова роботів та маніпуляторів	181
9.1. Класифікація роботів	181
9.2. Технічні характеристики роботів	182
9.3. Будова промислових роботів	185
9.4. Системи маневрування промислових роботів	190
9.5. Робочі органи роботів та маніпуляторів	192
Контрольні запитання	195
10. Методи і системи керування в робототехніці	196
10.1. Біологічні методи і конструкції створення роботів	196
10.2. Загальна схема системи керування рухом тіла людини і системи керування роботами	202
10.3. Модулі руху в мехатронних системах роботів	203
10.3.1. Поняття модуля руху	203
10.3.2. Мехатронні модулі руху	206
10.3.3. Інтелектуальні модулі руху	207
Контрольні запитання	212
11. Робототехніка на платформі Ардуїно	213
11.1. Застосування платформ Ардуїно в роботах-маніпуляторах	213
11.2. Плати Ардуїно та їх характеристики	214
11.3. Програмне забезпечення плат Ардуїно	223
Контрольні запитання	226
12. Напрямки розвитку робототехнічних комплексів	227
12.1. Застосування робототехнічних комплексів у виробництві	227
12.2. Техніка безпеки в робототехніці	235
Контрольні запитання	238
Список літератури	239
Додаток. Основні літерні позначення вимірюваних величин і функціональних ознак приладів	241

ПЕРЕДМОВА

Мета навчального посібника – отримання учнями професійних (професійно - технічних) закладів теоретичних знань з основ автоматики, формування уявлення про області застосування автоматичних пристроїв і систем, а також елементів робототехніки, як одного з напрямків діяльності людини, ознайомлення з основними принципами робототехніки, історією та сучасними тенденціями розвитку робототехніки.

Завданням навчального посібника є надання навчального матеріалу для:

- оволодіння здобувачами професійної (професійно - технічної) освіти основних платформ у сучасній автоматизації й робототехніці;
- використання технічних засобів автоматики, електронних пристроїв і елементів, мікропроцесорних контролерів та платформ Arduino, зокрема для потреб робототехніки;
- ознайомлення з програмним забезпеченням платформи Arduino та з використанням датчиків, виконавчих пристроїв і в цілому роботів.

Посібник складено на основі вивчення та аналізу багатьох підручників та посібників з цієї тематики, а також матеріалів лекцій дисциплін, пов'язаних з автоматикою і робототехнікою, включених у навчальний процес підготовки фахівців і здобувачів освіти в вищих навчальних закладах і коледжах електротехнічного та електромеханічного напрямку. В основу запропонованого навчального посібника автори поклали також особистий багаторічний досвід викладання різних дисциплін споріднених з автоматикою в Дніпровському державному технічному університеті (ДДТУ), в Київському політехнічному інституті (КПІ) України ім. Ігоря Сікорського та Техніко – економічному фаховому коледжі (ТЕФК) ДДТУ.

Автори посібника висловлюють подяку рецензентам, а саме, *Лузану Петру Григоровичу*, д.п.н., професору, головному науковому співробітнику інституту професійно-технічної освіти Національної академії педагогічних наук (НАПН) України; *Жуйкову Валерію Яковичу*, д.т.н., професору, декану факультету Електроніка КПІ ім. Ігоря Сікорського; *Струтинському Василю Борисовичу*, д.т.н., професору, завідувачу кафедри конструювання верстатів та машин, КПІ ім. Ігоря Сікорського; *Дмитрикову Валерію Павловичу*, д.т.н., професору Полтавської державної аграрної академії; *Гоменюку Дмитру Васильовичу*, к.п.н, директору Навчально-наукового центру професійно-технічної освіти НАПН України за цінні зауваження, які було враховано при доопрацюванні рукопису.

Автори також вдячні студентам спеціальності «Електроніка» ТЕФК ДДТУ за участь у первинній обробці нового навчального матеріалу, а також за суттєву допомогу при оформленні оригінал – макету.

ВСТУП

Технічний прогрес у всіх галузях промисловості, так само як і в побутовому господарстві, багато в чому визначається рівнем розвитку *автоматики* і *робототехніки*, що при цьому використовуються.

Автоматика (грец. Automates - автоматичний) – область науки і техніки, що охоплює теорію і принципи побудови систем керування (СК), що діють без безпосередньої участі людини. Автоматика - це сукупність механізмів і пристроїв, що діють автоматично. Зараз автоматика широко застосовується в різних галузях народного господарства (в промисловості, автомобільному транспорті, зв'язку, в комунальному господарстві і т. і.).

Робототехніка (англ. robotics, нім. Robotertechnik) - прикладна наука, що охоплює проектування, розробку, будову, експлуатацію та використання роботів, а також комп'ютерних систем для їх контролю і обробки інформації автоматизованих технічних систем (*роботів*).

Історія сучасних роботів пов'язана із прізвищами відомих іноземних і вітчизняних вчених, інженерів і винахідників. Сам термін «робот» з'явився завдяки творчості письменника Карела Чапека і його фантастичній п'єсі «Rossumovi univerzální roboti» (1920). Якщо точніше, це були не зовсім роботи, а більш всього кіборги (механічні і органічні істоти). Однак у науці слово закріпилося і застосовується досі.

Вагомий внесок у розвиток автоматики й робототехніки на підприємствах України зробив директор Інституту кібернетики Академії наук України Віктор Михайлович Глушков. Він був справжнім генієм, ідеї якого набагато випередили свій час. У 1958 року Глушков висловив ідею про «мозкоподібні» структури ЕОМ, які об'єднують мільярди процесорних елементів, подібно до того, як це має місце в мозку людини. Це був один із перших кроків до створення систем штучного інтелекту. Під керівництвом Глушкова було розроблено теорію автоматів та електронних обчислювальних машин, автоматизованих систем керування та систем обробки даних, проведено дослідження в галузі штучного інтелекту та багато іншого.



Глушков В. М.
(1918-2002pp)

У 1960 року в Інституті кібернетики за підтримки Глушкова був створений відділ біокібернетики. Понад 30 років його незмінним керівником та ідейним натхненником був всесвітньо відомий кардіохірург, академік *Микола Михайлович Амосов*.

У компанії Drone.ua створюють пристрої в галузі безпілотних технологій. Компанія веде діяльність в аграрній сфері, енергетиці та нафтогазовій промисловості, а також у сферах геодезії і топографії.

Концерн ДК «Укроборонпром» об'єднує декілька підприємств розробників, які конструюють бойову роботизовану техніку. БТР-робот може пересуватися на відстань до 20 км.

Керування машиною відбувається захищеним радіоканалом або за допомогою волоконного кабелю.

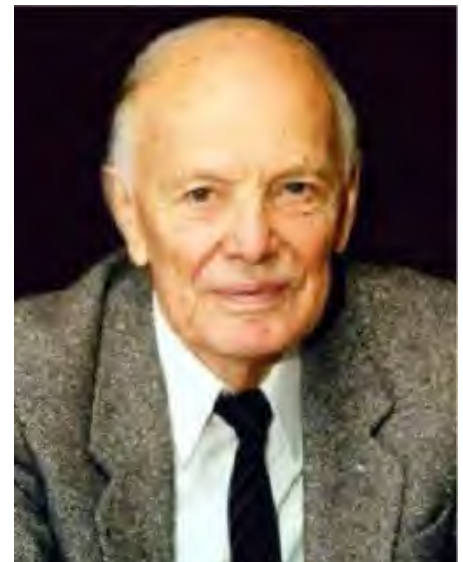
Також у концерні виготовляють безпілотники. Остання розробка - безпілотний літальний апарат ANSER, створений учасниками концерну НДП «Спайтек». Безпілотник може перебувати в польоті від 6 до 12 годин, піднімати до 5 кг вантажу і використовує зашифровані канали передачі даних.

Україна заслужено гордиться своїм сином *Патоном Борисом Євгенійовичем*. Він понад 50 років був президентом Національної академії наук України. Його наукові дослідження присвячені процесам автоматичного і напіваавтоматичного зварювання, розробці теоретичних основ створення автоматів і напіваавтоматів для електродугового зварювання і зварювальних джерел живлення. Це далеко не повний перелік його величезних для країни заслуг.

Системи автоматики й робототехніки безперервно розвиваються і розширюються. Набір функцій сучасної автоматики дуже широкий. Це є здійснення пуску, зупинки, змінювання режиму роботи, положення робочих органів і виконання інших операцій керування і контролю, шляхом дії на органи керування машин, механізмів, тощо.



Амосов М. М.
(1913-2002рр.)



Патон Б. Є.
(1918-2020рр.)

Навчальний посібник призначено для студентів вищих технічних навчальних закладів, у тому числі коледжів, електротехнічного та електромеханічного напрямку. Він має 12 розділів, 7 розділів з яких відносяться до автоматики, а 5 – до робототехніки.

У посібнику розглянуто роль автоматики і робототехніки в сучасній техніці і технології, показані тенденції розвитку та соціально-економічні аспекти автоматизації виробництва. Розглянуто будову, загальні характеристики і принципи дії основних елементів автоматики, описано різні системи автоматики і робототехніки. Наведено приклади застосування технічних засобів і пристроїв у системах автоматики й автоматичних роботах - маніпуляторах. Приділено увагу будові промислових роботів і робототехнічних систем.

У посібнику розглянуто основні поняття, цілі та принципи керування в системах автоматики. Приведено класифікацію датчиків, задавачів, автоматичних регуляторів, підсилювачів, виконавчих пристроїв та їх технічні характеристики. Не без уваги обійшовся розгляд інтелектуальних датчиків і програмованих виконавчих пристроїв. Розкрито дію й зазначена роль таких радіоелектронних елементів як варикапи і варистори в системах автоматики.

Достатню увагу приділено і типовим законам систем автоматичного регулювання (САР) та аналізу їх якості функціонування.

Значне місце в посібнику відведено інформативним свідченням про типи платформ Ардуїно, що широко використовуються в різних сферах нашого господарства, надані їх технічні характеристики, описано будову і дію. Як приклад програмування, розглянуто скетч керування електромагнітним реле конструктора - робота.

В останньому розділі намічено шляхи й перспективи подальшого розвитку й впровадження робототехнічних комплексів та приведено заходи техніки безпеки в робототехніці.

В результаті освоєння даного посібника здобувачі професійної (професійно – технічної) освіти повинні.

Знати:

- основні принципи побудови систем автоматичного регулювання в складі з типовими регуляторами як прямої так і непрямої дії; типові вхідні впливи, показники оцінки якості регулювання;
- принципи дії і будову основних первинних перетворювачів електричних і неелектричних змінних та «інтелектуальних» перетворювачів;
- принципи побудови промислових і сервісних роботів, їх склад і застосування;

- характеристики та технічні можливості сучасних систем автоматики і робототехніки, шляхи удосконалення;
- правила дотримання техніки безпеки при експлуатації роботів і інших систем автоматики.

Вміти:

- аналізувати процеси в найпростіших САР в статичному і динамічному режимах, а також перехідні процеси в типових ланках САР за допомогою часових характеристик; аналізувати статичні і динамічні показники САР;
- застосовувати двійкову мову при опису роботи цифрових елементів та пристроїв;
- здійснювати обґрунтований вибір технічних засобів автоматики, що відповідають конкретним умовам експлуатації і технічним вимогам;
- здійснювати вибір промислових регуляторів згідно закону регулювання та визначати параметри їх налаштування;
- аналізувати дії роботів і робототехнічних систем при виконанні завдання, які на них покладені.

Цей навчальний посібник написаний для здобувачів професій і освіти, як спеціальностей електротехнічного і електромеханічного напрямку, так і інших, які займаються вирішенням практичних задач з автоматики і робототехніки.

1.1. Основні терміни та визначення в автоматичності

При описі окремих елементів автоматичності і системи в цілому застосовується певна термінологія.

Система автоматичного керування (САК) - сукупність технічних засобів з керування величиною регульованого параметра, в якій обчислювальні і логічні операції здійснюються за допомогою спеціального технічного пристрою - автоматичного регулятора, програмованого контролера або комп'ютера. Основною частиною (вузлом, елементом) САК є *об'єкт керування*.

Елемент автоматичності - це частина пристрою автоматичної системи керування, в якій здійснюються якісні або кількісні перетворення фізичних величин. Крім перетворення фізичних величин елемент автоматичності служить для передачі сигналу від попереднього елемента до наступного.

Об'єкт керування - це технічна установка, обладнання й ін., або технологічний ланцюг установки, фізико-хімічних процесів (нагрівання, охолодження, зберігання, змішування і т.д.), в якій керують (регулюють) за допомогою спеціальних технічних засобів.

Одновимірний об'єкт системи це об'єкт з однієї регульованою величиною.

Багатовимірний об'єкт системи - об'єкт з декількома регульованими величинами і вони використовуються для керування багатовимірними об'єктами регулювання, нормальне функціонування яких вимагає зміни по заданому закону не менше двох фізичних величин.

Технологічні параметри - це фізико-хімічні величини, що характеризують стан технологічного процесу в об'єкті керування. Наприклад: температура, тиск, швидкість обертання і ін.

Регульований параметр - це технологічний параметр, величиною якого керують за допомогою спеціальних технічних засобів. Кількість регульованих параметрів, як правило, значно менше загальної кількості технологічних чи технічних параметрів.

Параметри стану об'єкта - вихідні величини, об'єктивні показники об'єкта в заданий момент часу, вимірювані в певних фізичних

(температура, тиск і ін.) або відносних (частки, відсотки, бали тощо) одиницях.

Керування об'єктом - це процес впливу на об'єкт з метою досягнення показників стану заданих значень в певний момент часу.

Мета керування - досягнення необхідного стану об'єкта керування заданого величинами його параметрів, наприклад, температури в приміщенні. Мета керування в даний момент часу вважається досягнутою, якщо отримані задані значення параметрів стану об'єкта керування.

Система ручного регулювання (СРР) - це сукупність технічних засобів з керування величиною регульованого параметра, в якій обчислювальні і логічні операції здійснюються людиною-оператором.

Дії - чинники, що змінюють перебіг технологічного процесу в об'єкті керування. Вони можуть бути збурюючими та керуючими.

Керуючі впливи - це впливи на об'єкт керування, що організовуються технічним пристроєм або людиною-оператором з метою компенсації збурюючих впливів. Збурюючі впливи носять випадковий, важко передбачуваний характер. Наприклад, температура зовнішнього повітря, колювання напруги в електромережі та ін.

Сигнали - сукупність потоків енергії або речовини, які надходять або виходять з об'єкту керування.

Розрізняють *вхідні* і *вихідні* сигнали об'єкта керування. Збурюючі і керуючі впливи будуть для об'єкта керування вхідними сигналами, а регульований параметр завжди приймають за вихідний сигнал об'єкта керування, навіть якщо він фізично нікуди за межі об'єкта не виходить. Наприклад, температура в топці котла, рівень матеріалу в бункері, напруга на обмотках електродвигуна і ін.

У пристроях та системах автоматики будь-якої складності об'єкт зображують у вигляді простого *прямокутника*.

Основою керування є переробка інформації про стан об'єкта відповідно до мети керування.

1.2. Принципи побудови систем автоматики

Класифікація систем автоматики. За призначенням системи автоматики підрозділяються на:

- системи автоматичного керування;
- системи автоматичного контролю, що призначені для отримання інформації про значення вихідних параметрів об'єктів;

- системи автоматичного регулювання;
- системи захисту і блокування - для захисту об'єктів керування від неприпустимих станів, які можуть привести до аварії;
- системи автоматичної сигналізації - для сповіщення обслуговуючого персоналу про стан об'єктів керування;
- системи телекерування та дистанційного керування - для управління об'єктами керування на відстані;

По роду споживаної енергії системи автоматики підрозділяються на електричні (електронні), гідравлічні, пневматичні комбіновані.

Електричні (електронні) системи набули найбільшого поширення, оскільки електричні сигнали найбільш зручні для створення автоматичних, телемеханічних і обчислювальних пристроїв.

Системи автоматичного керування (САК). Такі системи являють собою сукупність об'єкта керування (ОК) і пристроїв керування (ПК), пов'язаних між собою каналами зв'язку (КЗ) і взаємодіючих між собою в процесі роботи для досягнення певної мети керування. Процес керування в цьому випадку відбувається без участі людини-оператора і тому він називається *автоматичним*.

Порядок взаємодії ОК і ПК задається алгоритмом керування. Слово «*алгоритм*» позначає припис, який визначає послідовність певних дій (операцій), що призводять до бажаного результату.

У разі коли процес керування зводиться до автоматичного регулювання або підтримці на сталому рівні одного або кількох заданих параметрів ОК, то таку систему називають власне *системою автоматичного регулювання (САР)* або *системою стабілізації*.

Якщо задана для регулювання величина змінюється по відповідній, заздалегідь встановленій програмі керування, то таку систему називають *системою з програмним керуванням*. Якщо ж задана величина може виконуватися в широких межах і за довільним законом, то таку систему називають *системою, що стежить*.

Якщо в складних системах частина операцій виконується автоматично, але людина-оператор навчаючись у процесі керування виконує частину операцій, то таке керування вважають *автоматизованим*.

Сучасні системи автоматичного керування являють собою складні комплекси взаємодіючих технічних пристроїв і елементів, робота яких заснована на різних фізичних принципах. Ці пристрої мають різні конструктивні виконання і технічні характеристики. Почнемо більш докладне знайомство з САК з найпростіших систем автоматичного регулювання.

Для наочного пояснення основного принципу дії будь-якої системи автоматичного регулювання розглянемо для порівняння системи ручного та автоматичного керування на прикладі керування рівнем рідини в резервуарі. Система ручного керування схематично показана на рис. 1.1. Тут під керуванням або, точніше регулюванням, ми будемо розуміти підтримку заданого рівня рідини в резервуарі.

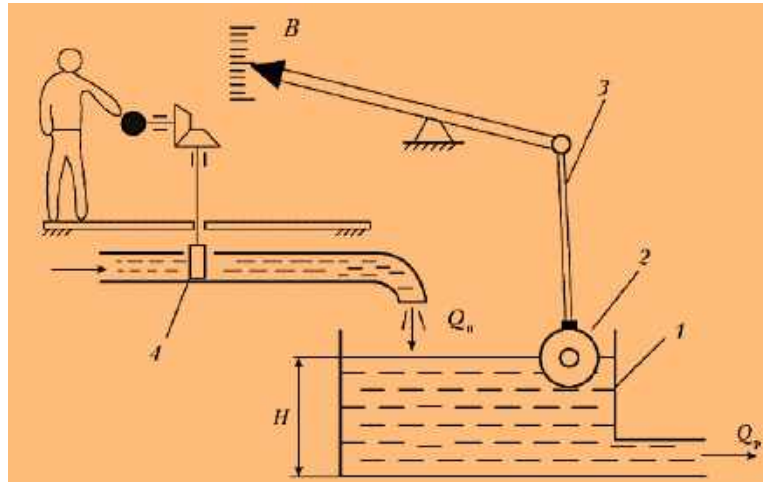


Рис. 1.1. Схема системи ручного керування рівнем рідини в резервуарі

Інформацію про рівень H рідини в резервуарі 1 в залежності від витрати Q_v і подачі Q_n людина-оператор отримує за допомогою вимірювального пристрою B , що складається з поплавка 2 (датчика) і системи важелів 3 (інформаційного перетворювача). Оператор, стежачи за стрілкою вимірювального пристрою B , шкала якого проградуєвана в одиницях довжини, наприклад в сантиметрах, стежить тим самим за рівнем H рідини в резервуарі і відповідним чином здійснює керування цим рівнем, змінюючи за допомогою засувки 4 , або дроселем, подачу рідини Q_n в резервуарі 1 . Залежно від того, в який бік відхиляється рівень рідини від необхідного значення, людина-оператор зменшує або збільшує подачу рідини Q_n . Наприклад, якщо рівень рідини знижується, оператор збільшує її подачу. Підтримуючи таким чином постійний рівень рідини в резервуарі, оператор забезпечує рівність $Q_n = Q_v$. Витрата і подача рідини вимірюється об'ємом рідини за одиницю часу.

Точність підтримки заданого рівня залежить від кваліфікації і досвіду оператора, коли рівень рідини може піднятися вище або опуститися нижче допустимих значень.

Функціональна схема ручного регулювання рівня рідини в резервуарі приведена на рис. 1.2. Така схема являє собою графічне зображення системи регулювання, в якому пояснюється її принцип дії. На ній показують окремі частини системи, виконувані нею відповідні функції, а також зв'язок між окремими частинами.

Елементами функціональної схеми називають конструктивно обґрунтовані частини системи, що виконують певні функції. Їх зображують у вигляді окремих блоків - *прямокутників*.

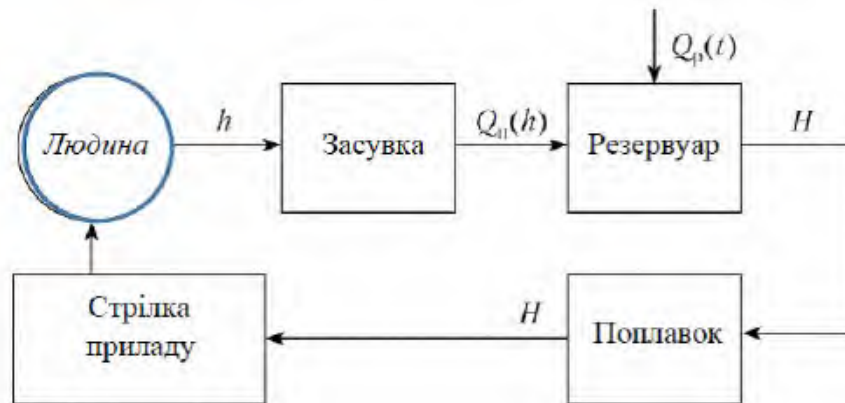


Рис. 1.2. Функціональна схема системи ручного регулювання рівнем рідини

В наданій системі людина здійснює керування засувкою 4 в залежності від спостережуваного нею рівня рідини H в резервуарі (або відхилення h рівня від необхідного значення). В даному випадку відхилення h є небажаним відхиленням рівня від заданого значення. Очевидно, що відкриття засувки 4 має бути прямо пропорційно відхиленню h . Такий закон регулювання називається законом *регулювання по відхиленню*.

Тут функція людини в процесі ручного регулювання як раз і полягає в тому, щоб здійснювати реалізацію цього закону регулювання, стежачи за відхиленням рівня рідини в резервуарі. Слід зауважити, що зображена система ручного регулювання є *замкнутою*. Така система може надійно функціонувати тільки тоді, коли людина є невід'ємною частиною цієї системи і сумлінно виконує свої функції.

Якщо ж людина відлучиться, то система регулювання розімкнеться і керування припиниться, через що систему на рис. 1.2 без участі людини можна назвати *розімкнутою* системою.

З урахуванням сказаного виникає думка: здійснювати керування засувкою 4 без участі людини так, щоб сама система весь час відпрацьовувала дії на зменшення, а то і знищення небажаного відхилення. Для цього засувку 4 слід безпосередньо (без участі людини) пов'язати з поплавком 2 і зробити систему замкнутою, в залежності від рівня рідини в резервуарі. Така система автоматичного керування рівнем рідини схематично показана на рис. 1.3. Саме таким був перший в історії техніки автоматичний регулятор, винайдений І. І. Ползуновим в 1765 р і призначений для регулювання рівня води у котлі його парової машини. Пристрій автоматичного керування рівнем рідини в системі, складається з поплавка 2, з'єднаного системою важелів 3 із засувкою 4. При збільшенні витрати Q_v рідини здійснюється зменшення її рівня H , при цьому поплавок 2 опускається, засувка 4 автоматично більше відкривається, а значить буде збільшуватися подача Q_n рідини. Якщо об'єм рідини в резервуарі зросте до рівня, коли $Q_n = Q_p$, то її подача призупиниться (засувка 4 перекриється).



Ползунов І. І.
(1728 – 1766рр)

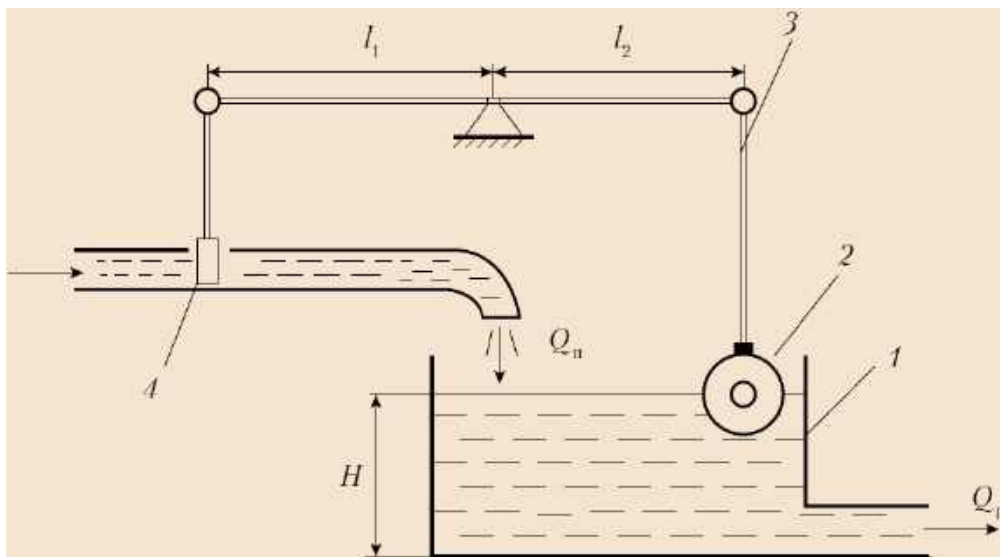


Рис. 1.3. Схема системи керування рівнем рідини з регулятором прямої дії

У такій системі керуючий вплив на Q_n прямо пропорційний відхиленню регульованої величини H . Позначимо відхилення рівня рідини H від заданого значення H_0 через $h = H_0 - H$. Тоді подача Q_n буде

пропорційна відхиленню h , тобто $Q_n = kh$, де k - коефіцієнт пропорційності, що залежить від співвідношення плечей l_1 і l_2 важеля. Отже, розглянута система реалізує закон регулювання *по відхиленню*, або *пропорційний закон*, тому регулятор, який реалізує цей закон, називають *П-регулятором*.

При зменшенні витрати рівень рідини піднімається і її подача автоматично зменшується.

Завдання даної системи керування таке як і в ручній, - забезпечувати подачу рідини, що дорівнює її витраті. При цьому рівень H рідини в резервуарі при різних витратах змінюється незначно, тобто можна в першому наближенні вважати, що він практично не змінюється.

Оскільки рівень підтримується приблизно на одному і тому ж заданому значенні, то таку систему по аналогії з системою ручного керування називають *системою підтримки заданого рівня* рідини в резервуарі (або *системою автоматичної стабілізації*).

Властивості системи автоматики залежать від властивостей окремих елементів, з яких вона складена. Висвітлимо загальні питання автоматичного регулювання, виходячи з функцій, які виконують окремі елементи системи.

Функціональна схема розглянутої системи автоматичного регулювання, приведена на рис. 1.4.

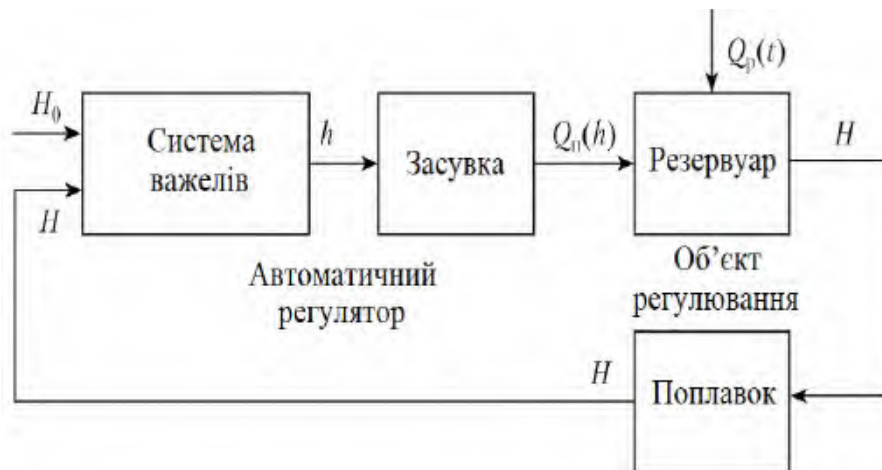


Рис. 1.4. Функціональна схема системи автоматичного регулювання по «відхиленню»

Залежність рівня рідини H від стану засувки в сталому режимі, тобто від подачі Q_n , виразиться записом:

$$H = H(Q_n),$$

який прийнято називати *прямим зв'язком*, а залежність подачі Q_n від рівня H , $Q_n = Q_n(H)$ - *зворотним зв'язком*, оскільки керуючий вплив на засувку 4 для забезпечення заданої подачі Q_n формується на основі інформації про стан керованого параметра (рівня H або його відхилення $h=H_0-H$) об'єкта керування. Тут H_0 - задане значення рівня при відсутності витрати.

В результаті маємо замкнутий контур або замкнуту систему без участі людини. Керування в замкнутому контурі називають *регулюванням*, а систему з таким керуванням називають *системою автоматичного регулювання (САР)*. Вона складається з *автоматичного регулятора* (поплавок, система важелів і засувка) і *регульованого об'єкта* (резервуару).

Регулятор у цій системі називають *регулятором прямої дії*, так як керування рівнем рідини відбувається за рахунок енергії самого керованого об'єкта. Тут *чутливим елементом* є датчик рівня, який без додаткового джерела енергії безпосередньо впливає на *регулюючий орган* - засувку.

Процес регулювання в САР характеризується передачею впливу від одного елемента до іншого по замкнутому контуру. Всі фізичні величини H , h , Q_n на рис. 1.4, які беруть участь у цьому процесі, залежать одна від одної і впливають одна на одну. Тому тут в загальному випадку існує не сума процесів, що здійснюються в окремих елементах системи, а єдиний круговий замкнутий процес. Щоб визначити в процесі регулювання стан будь-якого окремого елемента, необхідно знати стан у даний момент усіх інших елементів, включаючи і об'єкт регулювання.

Дійсно, щоб знати рівень рідини H , необхідно знати подачу, так як рівень $H=H(Q_n)$ є *функцією* подачі або витрати. У свою чергу, подача $Q_n=Q_n(H)$ залежить від рівня рідини. Виходить замкнуте коло.

Всі діяння елементів, що здійснюються один на одного називають *внутрішніми впливами*. Якщо вихідну величину кожного елемента системи можна вважати прямо пропорційною вхідній величині, то всю систему називають *лінійною*.

Крім внутрішніх впливів, що утворюють замкнутий контур, система має зв'язок із зовнішнім світом, з якого здійснюються зовнішні збурюючі дії на систему, тобто збурюючі впливи. В даному випадку збурюючим впливом буде зміна витрати рідини Q_e . Завдання САР - якомога повніше ліквідувати вплив всіх збурюючих дій і якомога точніше відпрацювати задану вхідну величину.

Схема, що представлена на рис. 1.4, містить один контур регулювання і тому називається *одноконтурною*.

Якщо за вихідний параметр даної системи прийняти витрату Q_v рідини, то дану систему можна розглядати як стежачу систему, в якій відслідковується витрата води і забезпечується подача Q_n , що точно відповідає витраті Q_v . Таким чином, до якого виду віднести систему, залежить від того який параметр прийняти за керований. У даному випадку ми будемо користуватися сформованою традицією приймати за керований параметр для даної системи рівень рідини H і називати цю систему системою регулювання рівня рідини в резервуарі або, точніше, *системою стабілізації* рівня рідини в сталому (стаціонарному) режимі. При заданому значенні Q_v рівень буде стабільним, тобто він не буде знижуватися і підвищуватися, якщо кількість рідини, що подається Q_n за одиницю часу дорівнюватиме кількості споживаної рідини Q_v за цю ж одиницю часу.

Оскільки в системі змінюється витрата Q_v , то повинна автоматично змінюватися і подача Q_n . Оскільки Q_n залежить від рівня H , то неминуче буде в якійсь мірі змінюватися і рівень рідини H , причому чим більше буде витрата Q_v і відповідно Q_n , тим менше буде рівень рідини H для того, щоб більше відкрити засувку 4.

Таким чином, у даній системі значення рівня рідини H принципово не може бути строго сталим. Воно залишається сталим лише приблизно, декілька зменшуючись з ростом Q_v (див. рис. 1.5). Такі системи регулювання називаються системами зі *статичною характеристикою*. Значення відхилення h називають *статичною похибкою* системи.

При збільшенні збурюючого впливу (витрати Q_v), або навантаження, значення статичної похибки h зростає, і пропорційно їй збільшується *регулюючий* вплив, що спрямований на компенсацію збурення.

При витраті рідини $Q_v=0$ рівень рідини в системі дорівнює максимальним значенням H_0 . Засувка 4 повністю перекриває трубопровід, і приплив рідини в ємність буде відсутній, тобто $Q_v=Q_n=0$. При збільшенні витрати рідини Q_v рівень H знижується, статична похибка h зростає, що веде до збільшення відкриття засувки 4 і подачі рідини Q_n . При номінальній, тобто заданій, витраті $Q_{v,n}$ рівень рідини стає рівним H_n , а статична похибка стає рівною h_n .

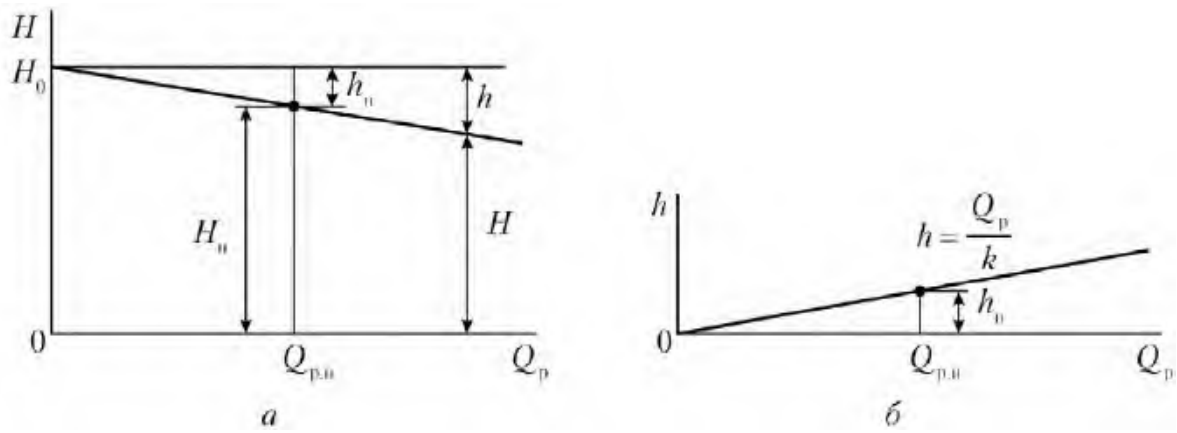


Рис. 1.5. Статична характеристика САР

При подальшому збільшенні витрати Q_v статична похибка h зростає ще більше. Незначне зменшення рівня рідини не є недоліком системи, так як це забезпечує автоматичну подачу рідини Q_n , відповідно до необхідної її витрати Q_v .

Відзначимо відмінність ролі вимірювального приладу в обох розглянутих системах. У розімкнутій системі ручного регулювання (див. рис. 1.1) вимірювальний прилад з датчиком-поплавком служить тільки для свідчення значення рівня рідини. Він дає людині інформацію.

У замкнутій же системі датчик-поплавок принципово необхідний. Він не тільки служить для реєстрації рівня рідини і видачі інформації, а ще є і датчиком - *чутливим елементом*, який реагує на відхилення рівня рідини від заданого значення і тим самим, відповідно впливає на засувку 4. Іншими словами, вимірювальний прилад (чутливий елемент) у системі автоматичного регулювання забезпечує зворотний зв'язок виходу системи з входом, яка тут принципово необхідна.

У даному прикладі ми розглянули поки загальний принцип автоматичного регулювання в найпростішому вигляді. Відхилення регульованої величини від необхідного значення називають *похибкою* системи автоматичного регулювання. Отже, характерною рисою розглянутої системи автоматичного регулювання є те, що сама похибка цієї системи є *рушійним* сигналом для будь якої системи, що діє на знищення цієї похибки.

Налаштування регулятора на певне значення H може проводитися подовженням або укороченням стрижня поплавка і його висоти.

Стрілочний показчик рівня можна прибрати або зберегти для контролю з боку людини за правильністю роботи системи автоматичного регулювання.

1.3. Основні види систем автоматичного керування

Залежно від принципу і закону функціонування систем автоматичного керування, розрізняють їх основні види:

- *стабілізації*;
- *програмні*;
- *стежачі*;
- *самостійно налагоджувальні*;
- *екстремальні*;
- *оптимальні*;
- *адаптивні*.

У системах *стабілізації* забезпечується незмінне значення керованої величини при всіх видах впливів, тобто $y = \text{const}$.

Пристрій, який задає завдання (ЗП) формує еталонний сигнал, з яким порівнюється вихідна величина (y). ЗП, як правило, здійснює настройку еталонного сигналу, що дозволяє міняти по бажанню значення вихідної величини.

У *програмних* системах забезпечується зміна керованої величини у відповідності до програми, що формується в ЗП. До цього виду САК можна віднести знімні жорсткі диски, флешки, кулачкові механізми і т. п. Розрізняють системи з тимчасовою програмою, що забезпечують $y = f(t)$, і системи з просторовою програмою, в яких $y = f(x)$, що застосовуються там, де на виході САК важливо отримати необхідну траєкторію в просторі, наприклад, в копіювальному верстаті, закон руху в часі тут ролі не відіграє, де t - час, x - координата точки.

Стежачі САК відрізняються від програмних лише тим, що програма $y = f(t)$ або $y = f(x)$ заздалегідь невідома. В якості ЗП виступає пристрій, що стежить за зміною будь-якого зовнішнього параметра. Ці зміни і будуть визначати завдання вихідної величини САК. Наприклад, рука робота, що повторює рух руки людини.

Для всіх трьох розглянутих вище видів САК характерною є вимога збігу вихідної величини з деяким запропонованим значенням на вході САК, яке само може змінюватися.

У *самоналагоджувальних* системах ЗП відшукує таке значення керованої величини, яке за якимось критерієм (або декількома) є оптимальним.

В *екстремальних* системах потрібно, щоб вихідна величина завжди приймала мінімальне або максимальне значення з усіх можливих, яке заздалегідь не визначено і може непередбачувано змінюватися.

Для його пошуку система виконує невеликі пробні рухи і аналізує реакцію вихідної величини на ці проби. Після цього виробляється керуючий вплив, що приближує вихідну величину до екстремального значення. Процес повторюється безперервно. Так як в даних САК здійснюється безперервна оцінка вихідного параметра, то вони реалізуються тільки у відповідності з принципом зворотного зв'язку.

Оптимальні системи є більш складним варіантом екстремальних систем. Тут відбувається, як правило, складна обробка інформації про характер зміни вихідних величин і збурень, про характер впливу управляючих впливів на вихідні величини, може бути також задіяна теоретична інформація, інформація евристичного характеру і т. п. Тому основною відмінністю екстремальних систем є присутність в них електронно-обчислювальних машин (ЕОМ).

В *адаптивних* системах передбачена можливість автоматичного перенастроювання параметрів або зміни принципової схеми САК з метою пристосування її до зовнішніх умов, що змінюються.

Необхідність в адаптивних системах виникає у тих випадках, коли повна інформація про об'єкт керування відсутня.

1.4. Системи автоматичного контролю і сигналізації

Система автоматичного контролю призначена для вимірювання і реєстрації параметрів технологічного процесу, має структуру, наведену на рис. 1.6, і складається з об'єкта, датчика, вимірювального пристрою і показчика. Як об'єкт може розглядатися будь-яка технологічна установка: котел, насос і т.п. Стан об'єкта в даній системі характеризується величиною контрольованого параметра (рівень, тиск і т. д.).

Датчик - це чутливий елемент, що сприймає певний фізичний фактор, наприклад температуру, і перетворює її в сигнал, зручний для подальшого використання. Наприклад, термопара є датчиком температури, вона перетворює температуру в електричний сигнал (ЕРС термопари пропорційна значенню температури).

Вимірювальний пристрій містить датчик, підсилювач, джерела живлення і служить для підсилення і перетворення сигналу.

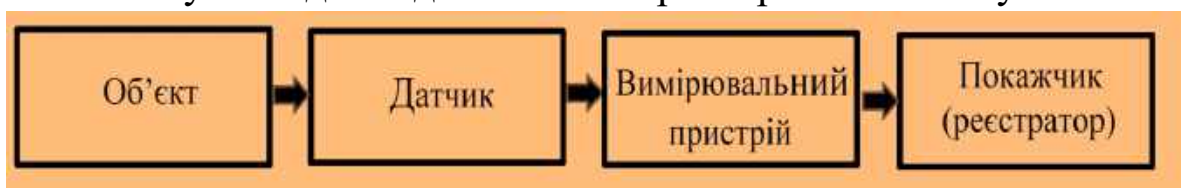


Рис. 1.6. Структурна схема системи автоматичного контролю

Показчик (реєстратор) виконує функції візуальної індикації (реєстрації) величини контролюваного параметра. Об'єднані в одній конструкції вимірювальний пристрій і показчик (реєстратор) називаються *вторинним приладом*, тоді датчик називається *первинним перетворювачем*. Приклад системи автоматичного контролю - система для вимірювання температури в печі. Датчик температури розташований безпосередньо в печі, а вторинний прилад - на пульті управління і контролю.

Система автоматичної сигналізації має аналогічну структуру, але замість показчика застосовується елемент сигналізації (лампочка, дзвінок, сирена). Призначення системи - повідомлення персоналу про вихід значення технологічного параметра за межі встановленого діапазону.

1.5. Системи дистанційного керування і телеуправління

Система дистанційного керування призначена для дистанційного впливу на об'єкт, наприклад, включення-відключення, відкривання-закривання. Структурна схема системи дистанційного керування показана на рис. 1.7.

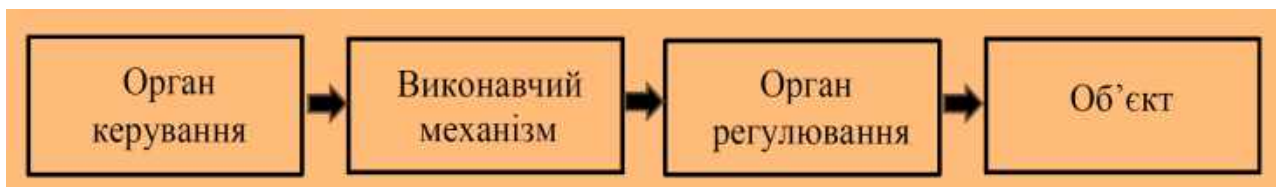


Рис. 1.7. Структурна схема системи дистанційного керування

До складу системи входять орган керування, виконавчий механізм, регулюючий орган, об'єкт керування. На відміну від системи автоматичного контролю, де сигнал передається від об'єкта до оператора, в даній системі напрямок передачі сигналу зворотний - від оператора до об'єкта.

Органами керування зазвичай є кнопка, ключ або інший подібний пристрій. Сигнал від органу керування надходить на виконавчий механізм (електромагніт, електродвигун і т. п.), який взаємодіє з регулюючим органом (клапан, вентиль і т.п.) і здійснює вплив на процеси, що відбуваються в об'єкті керування. Прикладом *дистанційного* керу-

вання включенням і вимиканням електродвигуна з пульта управління, розташованого на відстані від двигуна.

Система телекерування визначається тим, що по одній лінії зв'язку (або каналу зв'язку) може передаватися велика кількість команд керування. Прикладом може бути система управління телевізором, до якого по одному каналу (оптичному) з пульта керування передається багато команд керування функціями телевізора. Системи автоматичного контролю, сигналізації та дистанційного керування відносяться до розімкнених систем, в яких сигнали передаються лише в одному напрямку: або від об'єкта, або до об'єкту.

1.6. Системи автоматичного регулювання і захисту

Принцип замкнутого регулювання. Структурна схема замкнутої системи автоматичного регулювання (САР) представлена на рис. 1.8. САР має замкнуту структуру, що характеризується як прямим (до об'єкту), так і зворотним (від об'єкта) напрямками передачі сигналів. Окрім розглянутих раніше, дана схема містить ряд пристроїв. Це задавач - пристрій який формує сигнал-завдання, що порівнюється з сигналом датчика. У разі, якщо сигнал-завдання і сигнал від датчика не рівні між собою, пристрій порівняння виробляє сигнал неузгодженості, що надходить на регулятор, іншими словами кажучи, він здійснює операцію віднімання цих сигналів. Регулятор під дією сигналу неузгодженості по заздалегідь заданому закону формує сигнал керування, який через виконавчий механізм і регулюючий орган впливає на об'єкт з метою зміни регульованого параметра відповідно до завдання.

Принцип розімкнутого керування. Суть принципу полягає в тому, що сигнал керування виробляється тільки на основі заданого алгоритму функціонування, який є сталим.



Рис. 1.8. Структурна схема замкнутої системи автоматичного регулювання

Програма регулювання в часі жорстко задана задавачем і керування не враховує вплив збурень на параметри процесу. Схема має вид розімкнутого кола, що й визначило назву принципу. Близькість вихідної величини до бажаної забезпечується тільки правильним вибором автоматичного керуючого пристрою. Схему такої САК зображено на рис. 1.9. У цій схемі керуючий вплив $U(t)$ формується шляхом функціонального перетворення впливу $U_0(t)$, що задає пристрій задання, з урахуванням характеристик об'єкта керування.

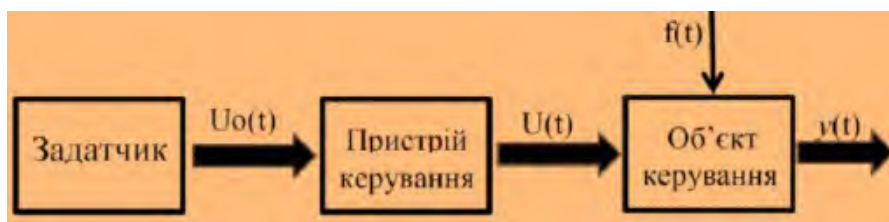


Рис. 1.9. Система автоматичного керування розімкнутого типу

САК, що функціонують по принципу розімкнутого керування мають суттєвий недолік: вони не забезпечують високої точності за наявності завад $f(t)$ і зміни параметрів об'єкта. До переваг потрібно віднести простоту конструкції та високу швидкодію.

Прикладами систем, що працюють за принципом розімкнутого керування є годинник, комп'ютер і т.п.

Принцип керування за збуренням (принцип Понселе – Чиколєва). Його було запропоновано французом Жаном-Віктором Понселе - французьким математиком та інженером, що створив проєктивну геометрію, і є одним із засновників вивчення властивостей матеріалів у матеріалознавстві. Одночасно із заняттями чистою математикою він продовжив свою діяльність як військовий інженер і окрім робіт технічного характеру з будівельної механіки - займався зокрема паровою механікою, гідравлічними двигунами та спорудами.



Понселе Жан
(1788-1867рр.)

Принцип керування за збуренням вперше широко використано в регуляторах дугових ламп освітлення російським електротехніком В. М. Чиколєвим у другій половині XIX ст. Керування за збуренням ґрунтується на принципі *компенсації збурень*. При такому принципі керований параметр



Чиколєв В. М.
(1845-1898рр.)

не змінюється, а використовується лише інформація про зовнішню дію на об'єкт. При цьому визначають основну збурюючу дію і встановлюють, як необхідно змінювати керуючу дію на об'єкт керування, щоб значення керованих параметрів підтримувались незмінними. Функціональна схема такої САК представлена на рис. 1.10.

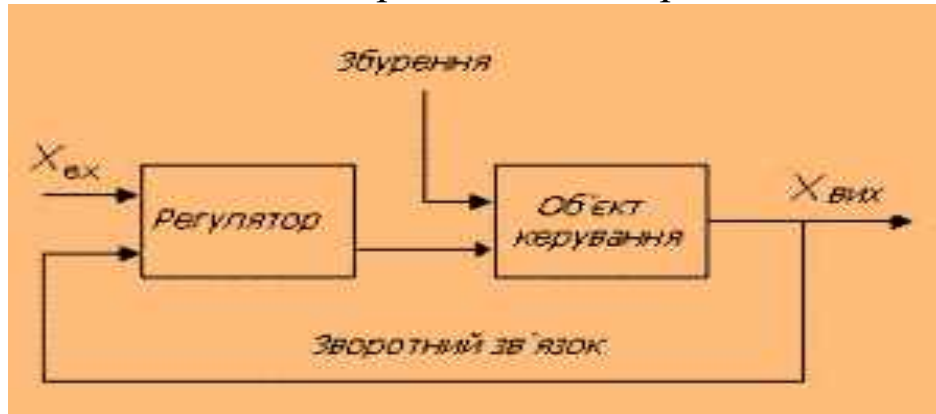


Рис. 1.10. Структура САК, що побудована на основі принципу керування за збуренням

По типу регульованого параметра розрізняють САР температури, тиску, рівня і т.д.

За принципом дії виділяють САР безперервного, релейного і імпульсного регулювання (керування).

За характером завдання бувають стабілізуючі, програмні і стежачі САР.

По виду використовуваної енергії в регуляторі та виконавчому механізмі розрізняють САР електричні, гідравлічні, пневматичні і т.д.

Системи програмного керування з позицій принципу їх дії мають замкнуту структуру. Призначення таких систем полягає у виконанні програми зміни стану об'єкта відповідно до заданої послідовності робочих операцій. При цьому перехід від однієї операції до іншої може логічно ув'язуватися зі станом об'єкта.

Системи аварійного захисту і блокування призначені для запобігання нештатних і аварійних ситуацій на об'єкті. Такі системи відключають агрегат при виникненні аварійної ситуації, а значить усувають можливість неправильних або несвоєчасних включень і відключень пристроїв і механізмів.

За характером сигналів САР діляться на безперервні і дискретні.

У безперервних системах присутні тільки безперервні в часі сигнали. У дискретних системах регулюючий вплив змінюється в дискретні моменти часу. Дискретні системи можуть бути позиційними

(релейними) або імпульсними. У позиційних системах момент зміни регулюючого впливу визначається значенням регулюючого параметра. В імпульсних системах регулюючий вплив змінюється в певні моменти часу з заданим періодом. До імпульсним відносяться САР, де в якості регулятора використовуються цифрові обчислювальні пристрої.

Контрольні запитання

1. Що таке автоматика?
2. З яких основних блоків складається система автоматичного регулювання (керування)?
3. Наведіть приклади об'єкта регулювання (керування).
4. Зобразіть структурну схему системи автоматичного регулювання.
5. За якими ознаками класифікують системи автоматики?
6. Поясніть принцип дії системи автоматичного регулювання по «відхиленню».
7. Яке призначення датчика. Наведіть приклади датчиків?
8. Що таке статична характеристика САР і яке значення вона має?
9. Зобразіть структурну схему системи автоматичного контролю та дайте їй пояснення.
10. Зобразіть структурну схему системи дистанційного керування та дайте їй пояснення.
11. У чому полягає принцип керування за збуренням?
12. Наведіть приклад системи автоматичної стабілізації рівня води в ємності.

ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН

2.1. Характеристики вимірювальних перетворювачів неелектричних величин і їх класифікація

Контроль за режимом роботи різних машин і пристроїв, їх технічним станом, протіканням технологічних процесів здійснюється за допомогою *первинних вимірювальних перетворювачами (ПВП)*. ПВП – засіб вимірювань, що призначений для отримання сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення і обробки. Крім терміну первинний вимірювальний перетворювач”, використовується термін *датчик*”.

Вимірювальний первинний перетворювач сприймає поточне значення контрольованого технічного параметра і перетворює його в електричний сигнал, зручний для введення в систему автоматичного регулювання. Контрольована величина, що ним сприймається, є *вхідною* величиною. До контрольованих величин належать, наприклад, температура, тиск, кут повороту валу, швидкість переміщення об'єкта, сила та ін. Сигнал вимірювальної інформації є його *вихідною* величиною.

За структурою вимірювальний перетворювач (датчик) складається з чутливого елемента й одного або декількох послідовно з'єднаних елементарних перетворювачів. Часто чутливий елемент перетворює технічний параметр в аналоговий електричний сигнал, і далі, у цифровий код. У деяких випадках у датчиках використовуються більш складні перетворення.

Наприклад, чутливий елемент перетворить контрольовану величину в механічне переміщення.

Датчик (рис. 2.1) включає чутливий елемент і перетворювач неелектричних величин в електричні сигнали.



Рис. 2.1. Узагальнена будова датчика

Зустрічаються і інші назви датчиків: вимірювальний перетворювач, датчик, детектор, вимірювач, чутливий елемент, зонд, сенсор, рецептор. Деякі датчики забезпечуються підсилювальними схемами, що підвищують їх чутливість.

Найбільший інтерес представляє залежність вихідної величини датчика від його вхідної величини. Вхідну величину зазвичай називають *вхідним сигналом* (будемо позначати його через x), а вихідну величину - *вихідним сигналом* (будемо позначати його через y). Режим роботи, при якому вхідний і вихідний сигнали є сталими, називають *статичним* або *сталим режимом*. Характеристики, які визначаються в цьому режимі, називаються *статичними*. У вимірювальних перетворювачів статична характеристика, як правило, є лінійною: $y=kx$, тут k – *коефіцієнт перетворення* (чи при використанні перетворювача в системах автоматичного регулювання – *коефіцієнт передачі*), який визначений як відношення сигналу на виході вимірювального перетворювача, що характеризує вимірювану величину, до викликаного цього сигналу на вході перетворювача. Коефіцієнт перетворення може бути визначений експериментально. Для цього встановлюють певне значення вхідного сигналу і вимірюють відповідний йому вихідний сигнал. Таких дослідів можна провести кілька (для різних значень). За результатами кількох дослідів може бути побудована *статична* характеристика $y=f(x)$, що представляє собою функціональну залежність вихідної величини від вхідних у статичному режимі.

Статичні характеристики бувають *лінійними* і *нелінійними* (рис. 2.2).

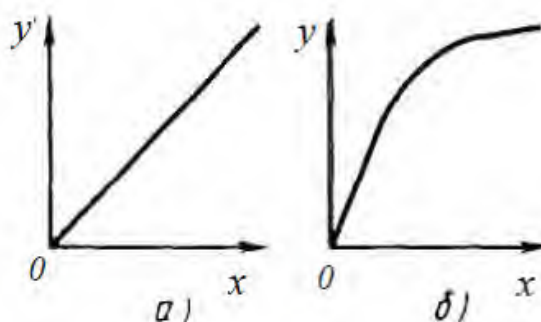


Рис. 2.2. Статичні характеристики: *а* – лінійного елемента, *б* - нелінійного елемента

Якщо коефіцієнт перетворення не залежить від вхідного сигналу, то статична характеристика має вигляд *прямої лінії* (рис. 2.2,а), а елемент, що має таку характеристику, називають *лінійним*.

Коефіцієнт перетворення нелінійних елементів не є сталим, а статична характеристика може мати вигляд, показаний на рис. 2.2,б.

Важливими статистичними параметрами є також: *чутливість*, *роздільна здатність*, *точність*, *лінійність*, *дрейф*, *робочий діапазон*, *зона нечутливості*.

Чутливість датчика визначається як відношення величини зміни вихідного сигналу до одиничної зміни вхідної величини.

Роздільна здатність – це найменша зміна вимірюваної величини, котра може бути зафіксована і точно показана датчиком.

Точність визначає різницю між вимірюваною і дійсною величиною; вона може стосуватися датчика в цілому або конкретного його показника. В процесі перетворення параметра x в сигнал y виникають різні похибки.

Лінійність не описується аналітично, а визначається виходячи з градування кривої датчика. Статична крива градування показує залежність вихідного сигналу від вхідного при стаціонарних умовах. Наближення цієї кривої до прямої лінії і визначає ступінь лінійності. Визначається як відношення максимального відхилення між фактичною характеристичною кривою та відповідною прямолінійною лінією в повному діапазоні масштабу до вихідного значення повної шкали.

Дрейф визначається як відхилення показників датчика, коли вимірювана величина залишається постійною на протязі довготривалого моменту часу. Величина дрейфу може визначатися при нульовому, максимальному чи деякому проміжному значенні вхідного сигналу.

Деякі датчики через вплив сил тертя, люфтів і інших причин мають *зону нечутливості* (зону нульової чутливості). Для таких датчиків вводиться поняття *порогу чутливості*, тобто мінімального збільшення параметра x при якому сигнал y починає змінюватися.

Динамічні характеристики. Під динамічною характеристикою датчика розуміють поведінку вихідної величини $y(t)$ під час перехідного процесу у відповідь на *миттєву (ступінчасту)* зміну його вхідної величини $x(t)$.

В динамічному режимі $x(t)$ і $y(t)$ безупинно змінюються, і зв'язок між ними визначається диференціальним рівнянням, яке отримують на основі фізичного принципу і схеми датчика.

Динамічний режим характеризується цілим рядом параметрів, які, однак, доволі рідше наводяться в технічних описах виробників. Параметри, що описують реакцію датчика, дають уяву про його шви-

дкодію (наприклад час нарощення, запізнювання, час досягнення першого максимуму), інерційних властивостей (відносно перегулювання, час встановлення) і точності (зміщення).

Наведемо декілька динамічних параметрів датчиків.

1. *Час проходження зони нечутливості* – час між початком вимірювання фізичної величини і моментом реакції датчика, тобто моментом початку зміни вихідного сигналу.

2. *Запізнювання* – час, через який показання датчика перший раз досягають 50 % значення, що встановилося.

В літературі зустрічаються і інші визначення запізнення.

3. *Час нарощення* – час, через який вихідний сигнал збільшується від 10 до 90 % значення, що встановилося.

Інше визначення часу нарощення – величина, зворотна нахилу кривої реакції датчика на стрибок вимірювання величини в момент досягнення 50 % від значення, що встановилося, помножене на значення, що встановилося.

4. *Час досягнення першого максимуму* – час досягнення першого максимуму вихідного сигналу (перерегулювання).

Основні метрологічні параметри датчиків. *Точність* (похибка) показує наскільки показання давача близькі до його істинного значення.

Для вимірювальних перетворювачів вводяться поняття наступних похибок:

Абсолютна похибка – різниця між виміряним приладом (A_v) та дійсним значенням контрольованого параметра (A_d), виражена в одиницях вимірюваного параметра:

$$\Delta A = A_v - A_d. \quad (2.1)$$

За дійсне значення (A_d) приймається значення, що відраховане за зразковим приладом при проведенні повірки.

Інколи для підвищення точності вимірювань до показів контрольно-вимірювального приладу додають поправку, яка дорівнює абсолютній похибці, взятій зі зворотним знаком.

Абсолютна похибка вимірювального перетворювача за входом – це різниця між розрахованим значенням параметра на вході (A_{p1}) (визначається за допомогою градуйованої характеристики перетворювача для кожного дійсного значення параметра на виході) та дійсним (A_d) значенням параметра на вході перетворювача

$$\pm\Delta A = A_{p1} - A_d. \quad (2.2)$$

Абсолютна похибка вимірювального перетворювача за виходом – це різниця між дійсним (A_d) та розрахунковим (A_{p2}) значенням параметра на виході (визначається за допомогою градуйованої характеристики перетворювача для кожного дійсного значення параметра на вході)

$$\pm\Delta A = A_{p2} - A_d. \quad (2.3)$$

Відносна похибка – це відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини, звичайно виражається у відсотках:

$$\delta = \pm(\Delta / A) \cdot 100\%. \quad (2.4)$$

Приведена похибка – це відношення абсолютної похибки до нормуючого значення (A_N), виражається у відсотках:

$$\gamma = \pm(\Delta A / A_N) \cdot 100\%. \quad (2.5)$$

Інерційність – це час, за який показання перетворювача відбувається відповідно зі значенням вимірюваної величини.

Надійність – це здатність перетворювача зберігати свої характеристики у заданих межах протягом певного проміжку часу. Нерозривно пов'язана з надійністю; працездатність – стан пристрою, за якого він може виконувати задані функції з параметрами, встановленими вимогами технічної документації.

Події, які полягають у порушенні працездатності перетворювача, називається відмовою.

Безвідмовність – це властивість пристрою зберігати працездатність протягом деякого часу напрацювання без вимушених перерв.

2.2. Класифікація датчиків

Залежно від методу перетворення неелектричних величин в електричні сигнали розрізняють *параметричні* й *генераторні датчики*. У *параметричних* датчиках зміна фізичної величини перетвориться в відповідну зміну будь-якого параметра електричного кола, що живиться від зовнішнього джерела. Такими параметрами зазвичай є опір, ємність або індуктивність. У *генераторних* датчиках відбувається

ся безпосереднє перетворення фізичних величин в електричні сигнали без використання зовнішніх джерел живлення.

За характером вихідних електричних сигналів розрізняють датчики *постійного* і *змінного* струму.

Перші іноді ототожнюють тільки з потенціометричними датчиками, хоча клас датчиків постійного струму значно ширше.

За способом подання інформації датчики діляться на *аналогові* і *цифрові* і *сигнальні*.

В *аналогових* датчиках вихідний електричний сигнал є аналогом вимірюваної фізичної величини. Якщо параметр змінюється безперервно, то вихідний сигнал такого датчика зазнає такі ж зміни. У *цифрових* датчиках при плавній зміні вхідної величини вихідний сигнал змінюється дискретно і представляється зазвичай у вигляді *двійкового* коду.

Сигнальні (бінарні, двійкові) датчики виробляють сигнал тільки двох рівнів: (0/1).

За типом *енергії* датчики поділяються на: *активні* і *пасивні* перетворювачі. Пасивний отримує енергію від вимірюваної величини, наприклад, фотодіод. *Активний* – має зовнішнє живлення (фоторезистор).

За типом дії на об'єкт виміру (локалізації): *контактні* та *безконтактні* (дистанційні).

Чутливі елементи датчиків. Чутливі елементи датчиків за принципом дії поділяються на *параметричні*, в яких величина, що вимірюється, впливає на параметри чутливого елемента (*опір R , ємність C , індуктивність L* і т. д.), і *генераторні*, що перетворюють неелектричні величини в електричну величину (*напругу, струм*).

Для роботи параметричного датчика необхідний зовнішній джерело енергії.

Для побудови чутливих елементів датчиків використовують ряд фізичних явищ, які можуть в залежності від умов давати інформацію про той чи інший параметр технологічного процесу.

Принципи побудови чутливих елементів датчиків розглянемо по фізичній природі перетворення інформації.

Механічні чутливі елементи датчиків. Найбільш простими засобами отримання інформації про різні параметри технологічних процесів (положення деталей, тари, рівня води в ємності і ін.) служать *механічні* датчики - щупи, стрижні, полозки, катки і т. д.

Що таке *щуп*? Щуп представляє собою ту частину вимірювальної системи, яка стикається з деталлю, приводячи до спрацьовування датчика. Контрольований елемент визначає тип і розмір використовуваного щупа.

Щуп представляє собою ту частину вимірювальної системи, яка стикається з деталлю, приводячи до спрацьовування датчика. Генерований сигнал забезпечує виконання вимірювання.

Механічний чутливий елемент пов'язаний, як правило, з перетворювальною ланкою і знаходиться в стані силового замикання з джерелом інформації.

Певна силова настройка щупа дозволяє виділити корисний сигнал, наприклад, поява тари на транспортері.

Сигнал керування може являти собою одиничний електричний імпульс, який зчитується системою керування і використовується для підрахунку, чи то кількості банок, зупинки транспортера, подачі ящиків і т. д.

На рис. 2.3 зображено механічний мікрометр - індикатор годинникового типу. Індикатори перетворюють малі переміщення вимірювального щупа в великі переміщення стрілки по шкалі.

Призначені для відносних вимірювань, виміру малих відхилень. Застосовують в тому числі для регулювання клапанів у автомобільному обладнанні.



Рис. 2.3. Вигляд механічного мікрометра - індикатора

Велика стрілка індикатора здійснює один оборот при зміщенні вимірювального стержня на 1 мм, мала стрілка - при зміщенні на 10

мм. Є регулювання для точної настройки нуля. Є кріплення на задній частині мікрометра для інструментальної штанги.

Іншим прикладом механічного датчика є відомий "поплавок" (рис. 2.4) для визначення рівня рідини.

При надходженні рідини в бак поплавок піднімається разом з її рівнем. Дія поплавкового датчика направлена на подачу води в бачок, а також його дозування, завдяки впливу його на стан крану («відкрити» чи «закрити»).

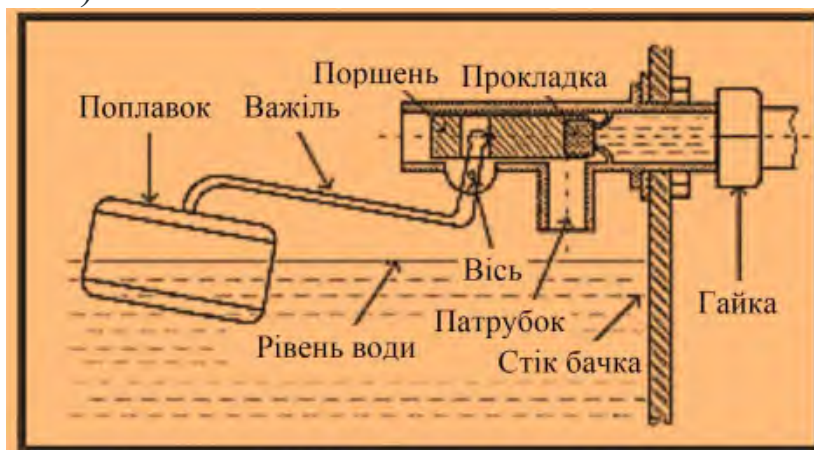


Рис. 2.4. Схематичний вигляд системи регулювання рівня води

Принцип роботи поплавкового крана полягає в тому, що при достатньому наборі води в бачок поплавок спливає, і таким чином приводить важелем в рух спеціальну пробку, яка блокує доступ подачі води в бачок.

2.2. Електроконтактні датчики

У системах керування послідовністю дій в основному застосовуються сигнали типу "включено/вимкнено", що виробляються *бінарними* датчиками. Бінарні датчики використовуються для визначення положення при механічних переміщеннях для підрахунку елементів в дискретних потоках (наприклад, кількості пляшок на виході лінії розливу), для контролю досягнення граничних значень рівня, тиску чи крайніх положень рухомих частин.

Нижче описані деякі типи датчиків з бінарним виходом - положення, порогові і датчики рівня.

Датчики положення. Як датчики положення (position sensor) протягом багатьох десятиліть користуються *вимикачі*. Вони складаються з електричних контактів, які механічно розмикаються або зами-

каються, коли будь-яка змінна (положення, рівень) досягає певного значення. *Кінцеві вимикачі* (limit switch) різних типів є важливою частиною багатьох систем керування, надійність яких істотно залежить саме від них. Вони розташовуються там, де "відбувається дія", і часто піддаються великим механічним навантаженням.

На рис. 2.5 схематично показані нормально розімкнутий вимикач, що замикається, нормально замкнутий вимикач, що розмикається, та перемикач в нормальному положенні і при спрацюванні.

	Нормально розімкнутий контакт, що замикається	Нормально замкнутий контакт, що розмикається	Перемикач
Нормальне положення			
Положення при спрацюванні			

Рис. 2.5. Схематичне умовне зображення вимикачів та перемикачів

На схемах контакти вимикача зазвичай зображують в нормальному положенні. Датчики цього типу будуються на основі перетворювачів, які перетворюють механічні переміщення у замкнений або розімкнений стан.

На рис. 2.6 зображено контактний датчик, в якому механічне переміщення контрольованого параметра *1* перетворює в замкнений або розімкнений стан контакти *2*, що керують електричним колом (або декількома ланцюгами). На рисунку показано нормальне положення контактів – розімкнуте.

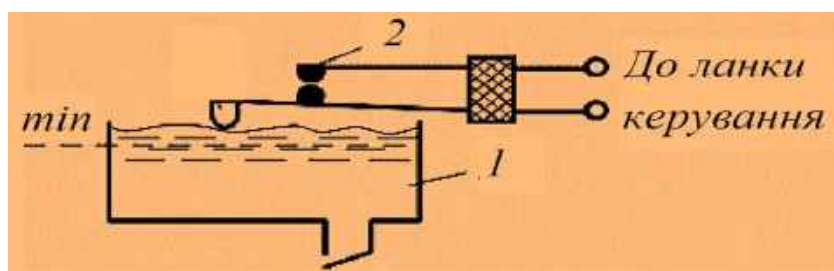


Рис. 2.6. Система регулювання рівня заповнення сипучої речовини

Електричну схему можна використовувати на конвеєрних лініях подачі сипучих матеріалів чи виробів на підприємствах або при інших аналогічних технологіях.

2.3. Кінцеві вимикачі

Кінцеві або як їх ще називають *шляхові вимикачі* використовуються для зв'язування електричного кола, наприклад, в електричних приладах і сигналізації. Ці пристрої застосовуються також для контролю і керування електротехнікою, яка систематично перевіряється на рухливість. Вимикач монтується на самій конструкції там, де необхідно контролювати рух окремих елементів. Щоб використовувати кінцевий вимикач необхідно знати для чого він потрібен, яких видів буває і як працює кожен окремий варіант виконання. Саме про це піде мова далі.

Механічні кінцеві вимикачі. Кінцевий вимикач - це електро-механічний виріб, розмикає і замикає робочий ланцюг при певних умовах, наприклад, при заданому положенні керованого пристрою. Кінцевий вимикач виконує практично ті ж самі функції, що і простий вимикач, тільки для його спрацьовування не потрібно натискання на кнопку. В основі конструкції кінцевого вимикача лежить контактна частина, що включає контакти, що замикають і розмикають. Внутрішні деталі пристрою укладені в міцний корпус. Будова кінцевих вимикачів різниться в залежності від їх виду. На рис. 2.7 зображено конструкцію кінцевого вимикача поверненої дії. Із рисунку кінцевого вимикача витікає, що за лінійного або кутового переміщення штовхача спочатку розмикається контакт «1-2», а потім після деякого додаткового переміщення ΔL або $\Delta \alpha$ замикається контакт «3-4».

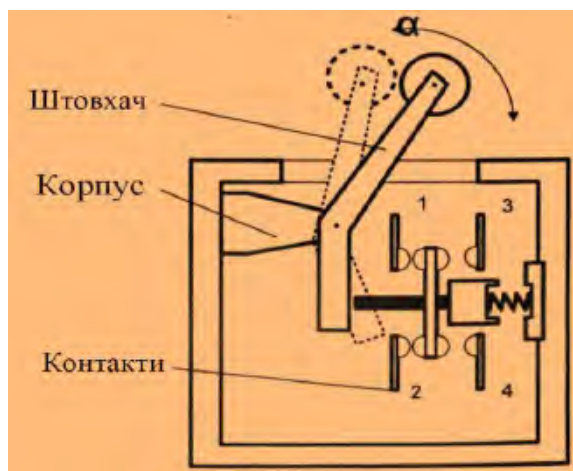


Рис. 2.7. Конструкція кінцевого вимикача

На рис. 2.8 зображено різні типи механічних кінцевих вимикачів. Кінцеві вимикачі розрізняються за способом взаємодії з керованим обладнанням. Так, для спрацьовування механічних моделей потрібно безпосередній тиск на важіль або коліщатко.

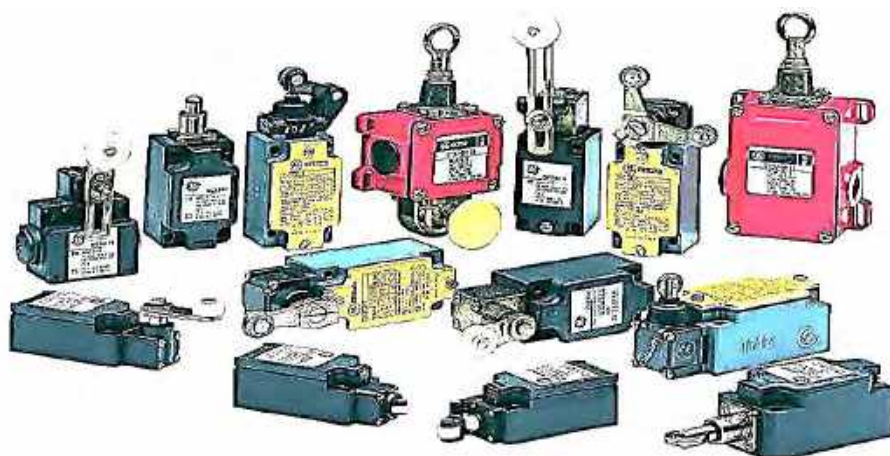


Рис. 2.8. Типи механічних кінцевих вимикачів

У механічних кінцевих вимикачах до розмикання або замикання контактів призводить фізичний вплив на особливі частини конструкції - *ролики, кнопки, важелі або поплавці*. Після зміни положення контактів кінцевик на механізм направляє керуючий або попереджувальний сигнал. Крім механічних виробів стандартних розмірів, зустрічаються *мікроперемикачі*. Конструктивно мікроперемикачі суттєво відрізняються від кінцевих вимикачів. Основна відмінність полягає у застосуванні пружинного рухомого контакту у сукупності з фігурною повертальною пружиною. При переміщенні штовхача рухомий контакт, який спирається вільним кінцем на фігурну пружину, спочатку прогинається у своїй центральній частині, і лише після подолання опору пружини здійснює перемикання (рис. 2.9).

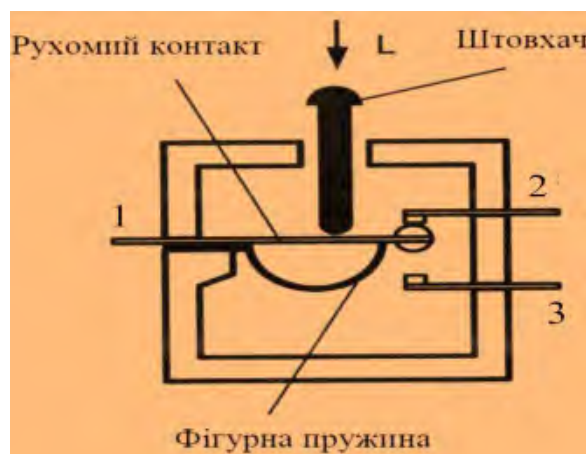


Рис. 2.9. Конструкція мікроперемикача

The image displays a variety of hydraulic components, including solenoid valves, pressure-reducing valves, and flow control valves, arranged in three rows. Each component is labeled with a model number.

Top Row:

- MTS 1130
- MTS 1136
- MTS 1137
- MTS 1138
- MTS 1139
- MTS 1140
- MTS 1141
- MTS 1142
- MTS 1143
- MTS 1144
- MTS 1145
- MTS 1146
- MTS 1147
- MTS 1148
- MTS 1149
- MTS 1150
- MTS 1151
- MTS 1152
- MTS 1153
- MTS 1154
- MTS 1155
- MTS 1156
- MTS 1157
- MTS 1158
- MTS 1159
- MTS 1160
- MTS 1161
- MTS 1162
- MTS 1163
- MTS 1164
- MTS 1165
- MTS 1166
- MTS 1167
- MTS 1168
- MTS 1169
- MTS 1170
- MTS 1171
- MTS 1172
- MTS 1173
- MTS 1174
- MTS 1175
- MTS 1176
- MTS 1177
- MTS 1178
- MTS 1179
- MTS 1180
- MTS 1181
- MTS 1182
- MTS 1183
- MTS 1184
- MTS 1185
- MTS 1186
- MTS 1187
- MTS 1188
- MTS 1189
- MTS 1190
- MTS 1191
- MTS 1192
- MTS 1193
- MTS 1194
- MTS 1195
- MTS 1196
- MTS 1197
- MTS 1198
- MTS 1199
- MTS 1200
- MTS 1201
- MTS 1202
- MTS 1203
- MTS 1204
- MTS 1205
- MTS 1206
- MTS 1207
- MTS 1208
- MTS 1209
- MTS 1210
- MTS 1211
- MTS 1212
- MTS 1213
- MTS 1214
- MTS 1215
- MTS 1216
- MTS 1217
- MTS 1218
- MTS 1219
- MTS 1220
- MTS 1221
- MTS 1222
- MTS 1223
- MTS 1224
- MTS 1225
- MTS 1226
- MTS 1227
- MTS 1228
- MTS 1229
- MTS 1230
- MTS 1231
- MTS 1232
- MTS 1233
- MTS 1234
- MTS 1235
- MTS 1236
- MTS 1237
- MTS 1238
- MTS 1239
- MTS 1240
- MTS 1241
- MTS 1242
- MTS 1243
- MTS 1244
- MTS 1245
- MTS 1246
- MTS 1247
- MTS 1248
- MTS 1249
- MTS 1250
- MTS 1251
- MTS 1252
- MTS 1253
- MTS 1254
- MTS 1255
- MTS 1256
- MTS 1257
- MTS 1258
- MTS 1259
- MTS 1260
- MTS 1261
- MTS 1262
- MTS 1263
- MTS 1264
- MTS 1265
- MTS 1266
- MTS 1267
- MTS 1268
- MTS 1269
- MTS 1270
- MTS 1271
- MTS 1272
- MTS 1273
- MTS 1274
- MTS 1275
- MTS 1276
- MTS 1277
- MTS 1278
- MTS 1279
- MTS 1280
- MTS 1281
- MTS 1282
- MTS 1283
- MTS 1284
- MTS 1285
- MTS 1286
- MTS 1287
- MTS 1288
- MTS 1289
- MTS 1290
- MTS 1291
- MTS 1292
- MTS 1293
- MTS 1294
- MTS 1295
- MTS 1296
- MTS 1297
- MTS 1298
- MTS 1299
- MTS 1300
- MTS 1301
- MTS 1302
- MTS 1303
- MTS 1304
- MTS 1305
- MTS 1306
- MTS 1307
- MTS 1308
- MTS 1309
- MTS 1310
- MTS 1311
- MTS 1312
- MTS 1313
- MTS 1314
- MTS 1315
- MTS 1316
- MTS 1317
- MTS 1318
- MTS 1319
- MTS 1320
- MTS 1321
- MTS 1322
- MTS 1323
- MTS 1324
- MTS 1325
- MTS 1326
- MTS 1327
- MTS 1328
- MTS 1329
- MTS 1330
- MTS 1331
- MTS 1332
- MTS 1333
- MTS 1334
- MTS 1335
- MTS 1336
- MTS 1337
- MTS 1338
- MTS 1339
- MTS 1340
- MTS 1341
- MTS 1342
- MTS 1343
- MTS 1344
- MTS 1345
- MTS 1346
- MTS 1347
- MTS 1348
- MTS 1349
- MTS 1350
- MTS 1351
- MTS 1352
- MTS 1353
- MTS 1354
- MTS 1355
- MTS 1356
- MTS 1357
- MTS 1358
- MTS 1359
- MTS 1360
- MTS 1361
- MTS 1362
- MTS 1363
- MTS 1364
- MTS 1365
- MTS 1366
- MTS 1367
- MTS 1368
- MTS 1369
- MTS 1370
- MTS 1371
- MTS 1372
- MTS 1373
- MTS 1374
- MTS 1375
- MTS 1376
- MTS 1377
- MTS 1378
- MTS 1379
- MTS 1380
- MTS 1381
- MTS 1382
- MTS 1383
- MTS 1384
- MTS 1385
- MTS 1386
- MTS 1387
- MTS 1388
- MTS 1389
- MTS 1390
- MTS 1391
- MTS 1392
- MTS 1393
- MTS 1394
- MTS 1395
- MTS 1396
- MTS 1397
- MTS 1398
- MTS 1399
- MTS 1400
- MTS 1401
- MTS 1402
- MTS 1403
- MTS 1404
- MTS 1405
- MTS 1406
- MTS 1407
- MTS 1408
- MTS 1409
- MTS 1410
- MTS 1411
- MTS 1412
- MTS 1413
- MTS 1414
- MTS 1415
- MTS 1416
- MTS 1417
- MTS 1418
- MTS 1419
- MTS 1420
- MTS 1421
- MTS 1422
- MTS 1423
- MTS 1424
- MTS 1425
- MTS 1426
- MTS 1427
- MTS 1428
- MTS 1429
- MTS 1430
- MTS 1431
- MTS 1432
- MTS 1433
- MTS 1434
- MTS 1435
- MTS 1436
- MTS 1437
- MTS 1438
- MTS 1439
- MTS 1440
- MTS 1441

Індуктивні вимикачі, що відповідають на наближення і відда-

Вхідна в конструкцію котушка індуктивності взаємодіє з матері-

Ємнісні кінцевики реагують на певні предмети, які проводять

39

У порівнянні з індуктивними моделями, ємнісні менш чутливі до зовнішніх впливів. Вони не реагують на вологість повітря і зміну щільності.

Ультразвукові (кварцові) випромінювачі ультразвукових кінцевих вимикачів створюють імпульсні хвилі, які змінюються при русі об'єктів у радіусі дії кінцевиків. Використовуються кварцові звукові випромінюючі елементи. Коли щось з'являється в радіусі дії пристрою, змінюється амплітуда звукового сигналу, в основному ця частота нечутна людям. Зафіксувавши зміни, пристрій подає на обладнання сигнал.

Магнітні моделі оснащені феромагнітними контактами (*герконами*), що міняють своє положення під впливом постійного магнітного поля.

Внутрішні частини герконів поміщають в скляний або пластиковий корпус. Завдяки простоті пристрою, магнітні вимикачі мають компактні розміри.

Оптичні кінцеві вимикачі функціонують завдяки перериванню світлового промінню об'єктами, що потрапляють в зону їх дії.

Оптичні вимикачі мають спеціальний транзистор і інфрачервоний світлодіод. Коли переривається промінь світлодіоду, фотоелемент закривається. Крім того, пристрої здатні реагувати на відбите світло. Оптичні моделі володіють великим радіусом дії - до 150 метрів.

За виконуваної функції кінцевики діляться на *захисні* та *функціональні*.

Захисні пристрої оберігають кероване обладнання від пошкодження, а також забезпечують безпеку людей, що використовують його. Так, в ліфтах і підйомниках вимикачі забороняють рух, поки двері закриваються.

Функціональні кінцевики відповідають за регулярне включення і виключення обладнання.

Наприклад, вони можуть запалювати світло при відкриванні дверей.

До речі, саме так працює освітлення в холодильниках.

2.5. Потенціометричні датчики

Потенціометричні датчики широко використовуються для перетворення *лінійного* або *кутового* переміщень (вхідна величина) в *електричний* сигнал (вихідна величина). У таких датчиках, чутливим еле-

ментом є *потенціометр* - змінний резистор з рухомим контактом, що механічно зв'язаний з пристроєм, параметр якого необхідно вимірювати. Вхідним сигналом можна вважати положення рухомого контакту змінного резистора (потенціометра) високої точності, а вихідним - напругу, яка знімається з цього контакту, або є опір відповідної частини потенціометра.

Потенціометричні датчики використовуються як датчики положення механічних елементів системи, наприклад, поплавка рівноміра, дросельної заслінки, пружного елемента в електромеханічних манометрах та ін. Датчики такого типу використовуються в системах промислової автоматики, автомобільній, корабельній, авіаційній та іншій техніці.

При використанні потенціометра як дільника напруги на його крайні контакти подається напруга живлення, а вихідним сигналом є напруга, яку знімають між рухомим контактом та одним з кінців резистивного елемента. Величина вихідного сигналу пов'язана з положенням контакту наступним співвідношенням:

$$U_x = U \cdot R_x / R,$$

де U - напруга живлення давача, R - повний опір потенціометра, R_x - опір між виводом початку резистивного елемента та рухомим контактом, U_x - вихідний сигнал. Якщо потенціометр має лінійну функціональну залежність, виконується співвідношення

$$R_x / R = X / L,$$

де L - довжина резистивного елемента, x - відстань між початком резистивного елемента та рухомим контактом.

Залежність сигналу від положення в цьому випадку приймає вигляд

$$U_x = (U/L) \cdot x = kx,$$

де $k = U/L$ - коефіцієнт перетворення потенціометричного датчика.

Схема потенціометричного датчика зображена на рис. 2.11.

У промисловості поширені дровові потенціометричні датчики переміщення. Вони володіють високою точністю і стабільністю, мають малі величини температурного і перехідного опору і низький рівень шумів. Пристрої складаються з трьох основних елементів: каркасу, ізольованої обмотки і рухомого контакту.

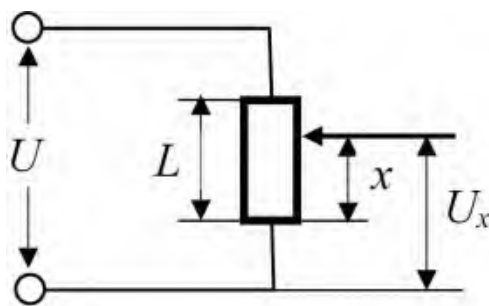


Рис. 2.11. Схема потенціометричного датчика:

U - напруга живлення датчика; L - довжина робочого ходу щітки (контакту);
 x - положення щітки; U_x - вихідний сигнал

Каркас виготовлений з теплопровідного ізоляційного матеріалу або металу з діелектричним покриттям, що не міняє геометричні розміри при нагріванні. Форма може бути у вигляді кільця, зігнутої пластини, стрижня. ізольована обмотка.

Ізольована обмотка виконується з точним укладанням проводу від кроку якої залежить роздільна здатність приладу.

Рухомий контакт в пристроях може здійснювати поступальне (лінійне) переміщення або обертове (див. рис. 2.12).

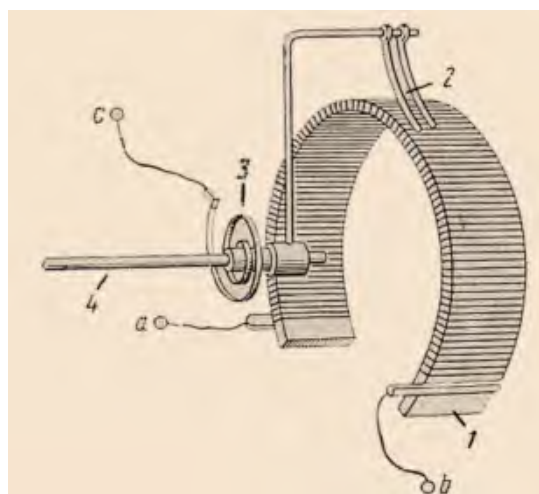


Рис. 2.12. Зображення конструкції потенціометричного датчика обертового переміщення

Зображений на рис. 2.12 реостатний датчик приводиться в рух віссю манометра або іншого первинного вимірювача. Реостатні датчики можуть з'єднуватися з приладом, що має порівняно великий крутний момент (манометри, поплавкові рівнеміри і т.п.). Датчик складається з дроту (зазвичай манганінового або константанового), намота-

ного на текстолітову або пластмасову підставу 1. Рухомий контакт 2 приводиться в дію від первинного вимірювача 4.

Електричне з'єднання рухомого контакту з мережею проводиться через спіральну пружинку 3.

Каркас виготовляється з діелектричного матеріалу: кераміки, гетинаксу, текстоліту, пластмаси. Метал обмотки має високий питомий електричний опір. Він стійкий до корозії, міцний на стирання і розрив. Цим вимогам відповідає манганін, константан, нікель-хром.

Конструктивне зображення деяких типів потенціометричних датчиків надано на рис. 2.13.

Приклад. Розглянути роботу автомобільного вимірювача рівня палива в баку, зображеного на рис. 2.14. Показчик рівня палива - елемент панелі приладів, що вимірює кількість пального в баку. Показчик може бути аналоговим або цифровим.

Більшість систем вказівки рівня пального в баку працюють за єдиним принципом. У баку знаходиться поплавок, на відповідній частині якого розташований ковзний контакт змінного опору - реостату R . Чим більше опір у ланцюзі, тим менший у ньому протікає струм.



Рис. 2.13. Конструктивне зображення деяких типів потенціометричних датчиків

Ковзний контакт рухається по пластині, жорстко закріпленою з контактами на корпусі вимірювача. Переміщення ковзного контакту змінює величину опору, тим самим збільшуючи або зменшуючи величину струму, що проходить в ланцюзі. Чим менше опір, тим більший струм протікає в ланцюзі і тим більше відхиляється стрілка показчика рівня пального.

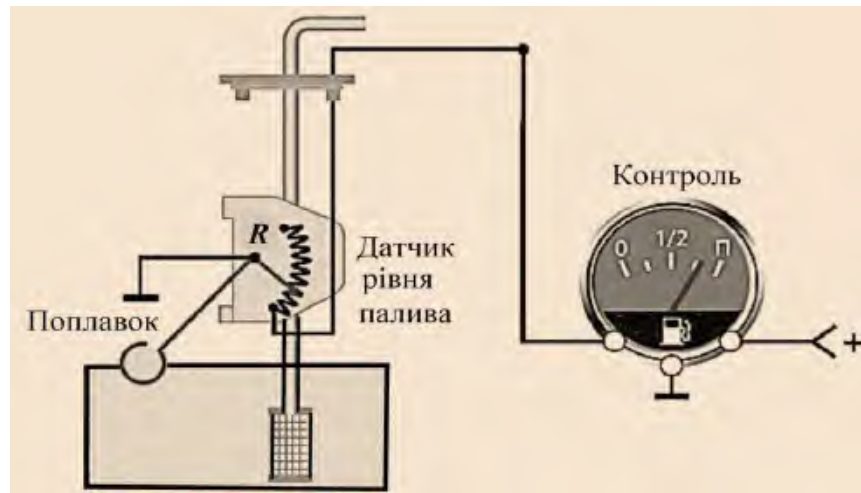


Рис. 2.14. Схема вимірювача рівня палива в баку

Потенціометричні датчики прості за конструкцією і дешеві, однак, в силу застосування рухомих механічних частин, мають значні похибки і низьку надійність.

2.6. Тензорезисторні датчики

Принцип дії тензорезисторних датчиків заснований на *тензоефекту* - зміні величини *активного опору* провідникових і напівпровідникових матеріалів під впливом прикладених до них *механічної напруги* (зусиль).

У найпростішому випадку тензорезистор є тонкий дріт, впроваджений в папір, наклеєний на металеву балку, яка піддається механічній деформації (розтягування, вигин, скручування, стиснення). При механічній дії на підкладку він згинається, в результаті чого дріт розтягується. Відповідно в натягнутому стані змінюється (зменшується) її площа поперечного перерізу і опір збільшується. При зниженні тиску підкладка повертається у вихідне положення, резистивний прошарок теж, а його опір починає зменшуватися і повертатися до норми.

Напівпровідниковий тензорезистор (рис. 2.15) являє собою кристал кремнію (*n*-провідність) 1 з нанесеною на його поверхню доріжкою іншого напівпровідника з *p*-провідністю - тензорезиста 2. Опір доріжки 2 тензорезистора становить:

$$R = \rho l/s,$$

де ρ - питомий опір матеріалу тензорезиста; l - довжина доріжки тензорезиста; s - площа поперечного перерізу тензорезиста. При деформації доріжки під дією сили F , наприклад, при її стисненні, змінюється

ся ефективна довжина l (збільшується) і площа поперечного перерізу s (зменшується). В результаті змінюється опір підкладки R (збільшується), а значить і всього p - n переходу тензорезистора.

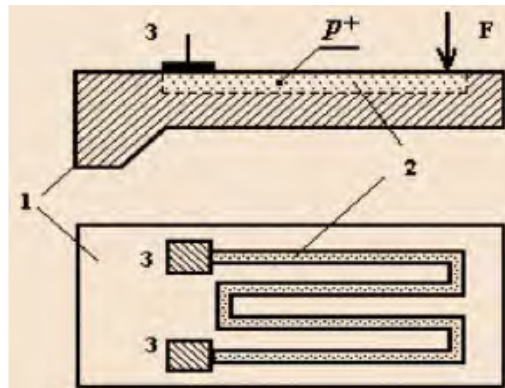


Рис. 2.15. Тензорезистори: 1 - напівпровідниковий кристал;
2 - доріжка тензорезиста з p -провідністю; 3 електроди

Тензорезистор кріпиться до деталі, яка сприймає будь-які зусилля F . Чутливість тензорезисторних перетворювачів визначається *тензорезисторним коефіцієнтом* - відношенням зміни опору активної частини тензорезистору до зміни прикладеної сили. У більшості дрітчастих тензорезисторів $K \sim 2$, а у напівпровідникових - $K \sim 100$.

На практиці тензометричні датчики можуть здійснюватися в абсолютно різноманітному виконанні. Основа або корпус бувають різних типів, від цього залежить, куди ви зможете встановити датчик. А також те, в якому напрямку він працює - на *стиск*, *розтяг* або на *вигин*.

У корпусі тензодатчика крім чутливого елемента можуть установлюватися і додаткові блоки, наприклад, аналого-цифровий перетворювач сигналу, формувачі живлення та ін.

Конструктивні особливості тензодатчика визначаються його застосуванням, а саме, наявністю монтажних отворів і векторів можливого докладання зусиль, відповідно і самого процесу вимірювання і т. і.

На рис. 2.16 зображені види деяких типів конструкцій тензодатчиків.

Сучасні тензометричні датчики в залежності від свого призначення можуть використовуватися в установках для вимірювання від часток грам до сотень тон.



Рис. 2.16. Зовнішній вид тензодатчиків трьох типів конструкцій:
а – консольний; б – циліндричний; в – S - образний

Широке застосування у вимірювальній техніці знайшли тензорезисторні перетворювачі типу «Сапфір-22» – це інтелектуальний датчик тиску. Зараз широко використовуються тензорезисторні перетворювачі типу «Сапфір» з напівпровідниковим кремнієвим тензорезистором, нанесеним на ізольовану сапфірову підкладку. Під впливом вимірюваного тиску підкладка деформується, при цьому змінюється опір тензорезистора, який за допомогою електронного пристрою перетворюється в аналоговий стандартний сигнал 0 – 5; 0 – 20 мА; або 4 – 20 мА постійного струму (рис. 2.17).

Мембранний тензоперетворювач 3 розміщений усередині підстави 9. Внутрішня порожнина 4 тензоперетворювача заповнена кремнійорганічною рідиною і відокремлена від вимірюваного середовища металевою гофрованою мембраною 6, привареною по зовнішньому контуру до підстави 9. Порожнина 10 сполучена з навколишньою атмосферою. Вимірюваний тиск подається в камеру 7 фланцю 5, який ущільнений прокладкою 8. Вимірюваний тиск діє на мембрану 6, а потім, через рідину - на мембрану тензоперетворювача, викликаючи її прогин і зміну опору тензорезисторів. Електричний сигнал від тензоперетворювача передається з вимірювального блоку 1 по проводах через гермовивід 2. Ці манометри забезпечують перетворення значення вимірюваного параметра, а саме, надмірного й абсолютного тиску, розрядження, різниці тиску нейтральних і агресивних середовищ в уніфікований струмовий сигнал для дистанційної передачі (0 – 5 мА, 0 - 20 мА і ін.). Чутливим елементом тензоперетворювача є пластина з монокристалічного сапфіра (різновид корунду - Al_2O_3) з кремнієвими плівковими тензорезисторами (структура КНС – кремній на сапфірі).

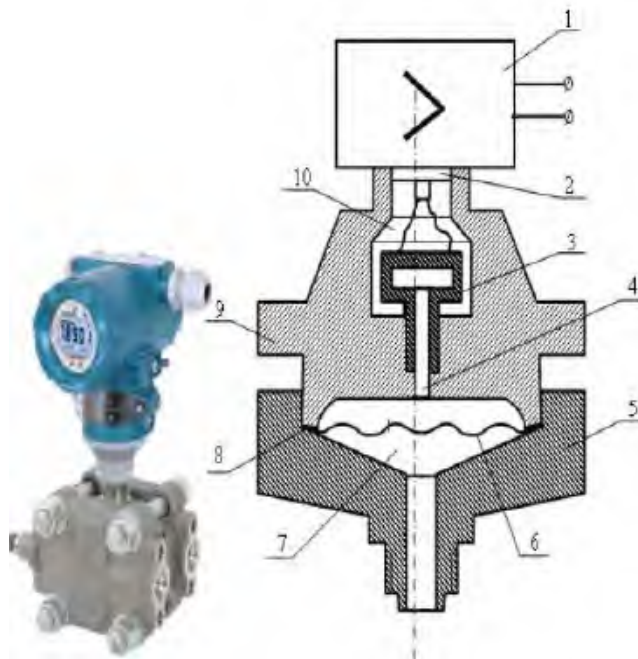


Рис. 2.17. Схема перетворювача «Сапфір-22»

Тензодатчики часто застосовуються й для вимірювання крутного моменту (на двигунах автомобілів або верстатів), визначення прискорення, контролю переміщення, для зважування вагонів, автомобілів, баків і ємностей, вимірювання ваги, що піднімається краном і в інших подібних конструкціях.

2.7. Датчики Холла

Датчик Холла - це датчик магнітного поля. Він був так названий завдяки принципу роботи - ефекту Холла.

У 1879 році американський фізик *Едвін Холл* відкрив цікаве явище, що пов'язане з поведінкою провідника зі струмом у магнітному полі. Якщо в магнітне поле помістити пластину через яку протікає струм I_C , то електрони в пластині будуть відхилятися в напрямку, перпендикулярному напрямку струму, див. рис. 2.18. Магнітний потік B генерує силу Лоренца F_L , діючу перпендикулярно напрямку рухливих носіїв зарядів, які і утворюють струм. Це веде до зміни кількості носіїв зарядів на різних кінцях пластини і створює різницю потенціалів, яка є напругою Холла U_H .



Холл Едвін
(1855-1938pp.)

Для систематизації сказаного вище отримуємо: $V_H = (K/d) \times I_c \times B$, де K - константа Холла для застосовуваного матеріалу; d - товщина пластини напівпровідника. Такий пристрій (рис. 2.19) отримав назву *генератора Холла*.

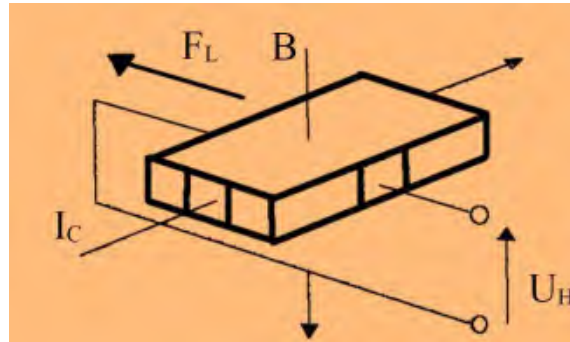


Рис. 2.18. Пояснення електричних параметрів ефекту Холла

На основі ефекту Холла тепер виготовляють датчики Холла, прилади для вимірювання напруженості магнітного поля і визначення сили струму в провіднику. Для виготовлення датчиків Холла використовують напівпровідники, які мають високу чутливість до впливу магнітного поля, наприклад, InP, InSb, GaAs, Ge, Si. Чутливі елементи можуть бути мініатюрних розмірів, наприклад, 1x1x0,5 мм. Саме це дозволяє зробити вимірювальний прилад компактным і зручним для користувачів. В імпульсному генераторі Холла, між магнітом і напівпровідником поміщають переміщуваний екран з прорізами. Частота слідування імпульсів визначається зі співвідношення

$$F = kn, \text{ Гц}, \quad (2.6)$$

де k – кількість прорізів у магнітному екрані; n – частота обертання валу, об/с.



Рис. 2.19. Генератор Холла

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

До теперішнього часу вимірювання різних видів струму проводяться за допомогою струмових шунтів, трансформаторів струму або магнітних підсилювачів. Недолік цих приладів не тільки в тому, що всі вони морально застаріли, але і в тому, що всі вони обмеженого застосування. Наприклад трансформатором струму можна вимірювати тільки змінний струм. Шунти дозволяють вимірювати постійний струм, але в процесі роботи вони вигорають, що відразу ж знижує точність вимірювання. Однак загальним недоліком цих приладів є те, що вони не забезпечують *гальванічну розв'язку* між струмовою шиною і вимірювальними ланцюгами.

Датчики вимірювання струму на основі датчика Холла забезпечують гальванічну розв'язку до 10 кВ і мають цілу низку інших переваг: малі габарити і маса, гарна швидкодія, відсутність внесених в систему втрат, і ін.

Конструкція датчика струму, як правило, включає в себе кільцевий або прямокутний магнітопровід, в зазорі якого знаходиться датчик Холла, див. рис. 2.20.

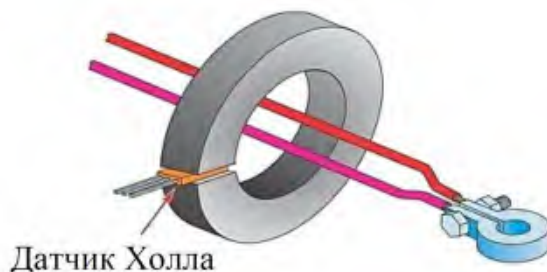


Рис. 2.20. Спрощена конструкція датчика струму

При використанні стандартних датчиків, наприклад типів ДТХ (ДТХ-Т) вихідний сигнал струмовий, який може бути як пропорційним миттєвому значенню вимірюваного струму так може вимірювати і його діюче значення. Це створює додаткові зручності при використанні датчиків в електротехнічних комплексах, чи системах автоматизації і т.д.

Сучасною електронною промисловістю випускаються, трьох вивідні датчики Холла, що мають у своєму корпусі *n-p-n* транзистор з відкритим колектором. Для підключення потужного навантаження необхідно встановлювати підсилювач струму.

Умовне графічне позначення приладів цього класу наведено на рис. 2.21.

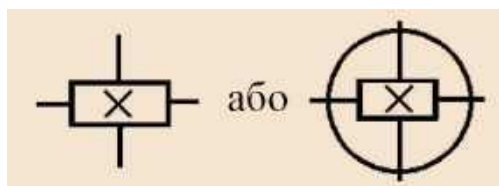


Рис. 2.21. Умовне графічне позначення датчика Холла

Логічним продовженням описаного вище приладу є датчик вимірювання потужності, що реалізує формулу вимірювання потужності $P = IU$. Датчик призначений для перетворення активної потужності, споживаної навантаженням в ланцюгах змінного струму частоти 50 Гц і постійного струму, в пропорційний стандартний сигнал 0 - 20 мА або 4 - 20 мА, гальванічно ізольованого від вимірювальних ланцюгів і без розриву кола шини. Для цього струмова шина пропускається в отвір в датчику, а напруга підводиться до входних клем датчика.

Для вимірювання потужності в трифазних ланцюгах з несиметричним навантаженням застосовуються три датчика, по одному в кожній фазі. В цьому випадку виходи датчиків об'єднуються, а вихідний сигнал буде дорівнює сумі сигналів всіх датчиків.

Ідея вимірювання струму без розриву електричного кола була успішно реалізована в вимірювальному приладі, який отримав назву «струмові кліщі» (див. рис. 2.22). Такий прилад дозволяє легко виміряти струм без необхідності розмикати досліджувану ланцюг. Його дія побудована на принципі *одновиткового* трансформатора струму. Провідник (шина), по якому протікає струм, що вимірюється, виконує функцію первинної обмотки, а вторинною є багатовиткова обмотка, до якої підключений амперметр. Змінний струм в провіднику створює змінний магнітний потік в магнітопроводі приладу, в результаті чого у вторинній обмотці струмовимірювальних кліщів виникає ЕРС. У замкнутій вторинній обмотці виникає струм, який вимірюється амперметром.

Прилад обробляє отримані дані і видає на дисплей результат вимірювань струму в зручному для користувача вигляді.

Достоїнством струмових кліщів є і те, що вимірювання можна проводити на діючій установці або обладнанню. Прилад також дозволяє виміряти струм провідника, який знаходиться в ізоляції. Універсальність датчика Холла така, що його можна використовувати як в складних технічних пристроях, так і у звичайній побутовій техніці.



Рис. 2.22. Загальний вигляд струмових кліщів

Досить широко поширені датчики Холла в безколекторних, або вентильних, електродвигунах (сервомоторах), де датчики встановлюються прямо на статорі двигуна і відіграють роль датчика положення ротора, який забезпечує зворотний зв'язок по положенню ротора.

На базі ефекту Холла працюють електронні компаси в сучасних смартфонах. У клавіатурах комп'ютерів ці датчики Холла забезпечують безконтактний спосіб зняття інформації.

Сенсор, що входить до складу кулера побутового персонального комп'ютера, здатний управляти полярністю обмоток ротора, тобто міняти напрям його обертання. А в смартфоні, зокрема, він забезпечує його вимикання при розміщенні його в чохол з «магнітною» застібкою.

Розглядаючи сфери застосування датчиків Холла, простими словами можна сказати, що їх використання в технічній сфері практично нічим не обмежена.

2.8. Індуктивні датчики

Принцип дії індуктивних датчиків заснований на зміні струму в обмотці індуктивного котушки або трансформатора в залежності від магнітного опору сердечника.

На рис. 2.23 наведено схемне зображення індуктивного датчика, що складається з обмотки котушки 1, намотаною на нерухомий сердечник 2, продовженням якого є рухливий сердечник 3.

Між нерухомим і рухомим сердечниками є зазор δ , який залежить від положення рухомого осердя 3, пов'язаного з об'єктом, для

якого необхідно виміряти переміщення X . На обмотку котушки подається змінна синусоїдальна напруга U_1 з частотою f . В осерді з магнітним опором R_m циркулює магнітний потік Φ .

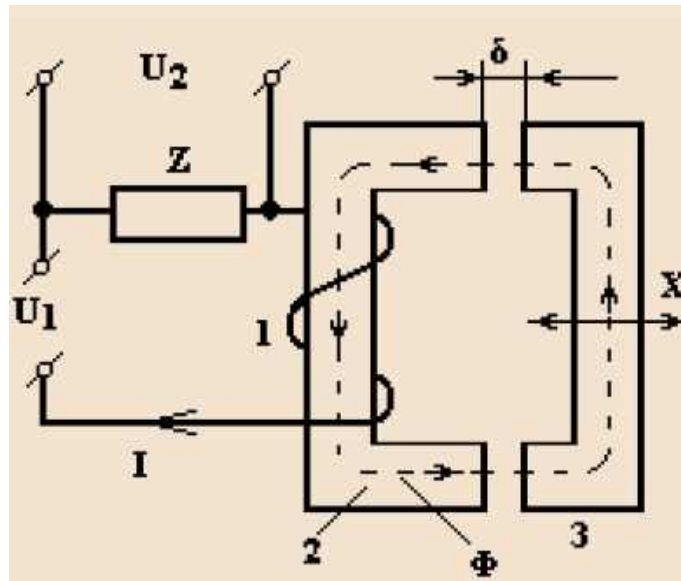


Рис. 2.23. Індуктивний чутливий елемент:

1 - обмотка котушки; 2 - нерухомий сердечник; 3 - рухомий сердечник; U_1 - вхідна змінна напруга; U_2 - вихідний сигнал; Z - опір навантаження

У ланцюзі обмотки протікає струм, величина якого зростає від зазору δ :

$$I = \delta \Phi (2\pi f / \mu_0 S) = k \delta \Phi,$$

де: $k = 2\pi f / \mu_0 S$ - стала датчика; μ_0 - магнітна стала; S - площа перетину сердечника.

Вихідний сигнал датчика дорівнює: $U_2 = Z I = k \delta \Phi$.

Оскільки магнітний потік також залежить від зазору δ , то залежність струму від зазору є нелінійною, особливо на початку і в кінці залежності $I = f(\delta)$.

Для підвищення чутливості застосовують диференціальне включення двох обмоток у міст.

Широко використовується трансформаторна схема включення, коли одна з обмоток живиться зовнішньою напругою, а в другій - наводиться напруга в залежності від магнітного опору, тобто зазору між сердечниками.

Індуктивні датчики широко застосовуються для вимірювання малих переміщень і вібрацій, що становить: 0,1 - 0,5 мкм.

2.9. Індукційні датчики

Індукційні датчики поділяються на два типи: з котушкою, яка має феромагнітну деталь, що переміщається відносно нерухомої котушки і котушкою з переміщенням щодо постійного магніту. Індукційний датчик з котушкою 1, намотаною на сердечник 2, і що переміщається феромагнітної деталлю 3, зображений на рис. 2. 24,а. Феромагнітна деталь 3 механічно зв'язана з деталлю 4, що переміщається (обертається валом зі швидкістю ω). В цьому випадку котушка 1 періодично пронизує змінним магнітним потоком Φ , в результаті чого в ній виникає електрорушійна сила $e(t)$:

$$e(t) = -\Psi d\Phi/dt,$$

де Ψ - коефіцієнт потокозчеплення індукційного датчика; t - час.

При обертанні валу 4 на виході котушки виникають імпульси напруги. Період виникнення імпульсів точно відповідає частоті обертання валу $f = \omega/2\pi$: $T = 1/f = 2\pi/\omega$. Частота появи імпульсів f рівна частоті обертання валу. Для підрахунку цієї частоти використовують лічильники імпульсів. До індукційних пристроїв відносяться тахогенератори (рис. 2.24,б), які представляють собою мініатюрні генератори з збудженням від постійних магнітів або додаткових обмоток збудження.

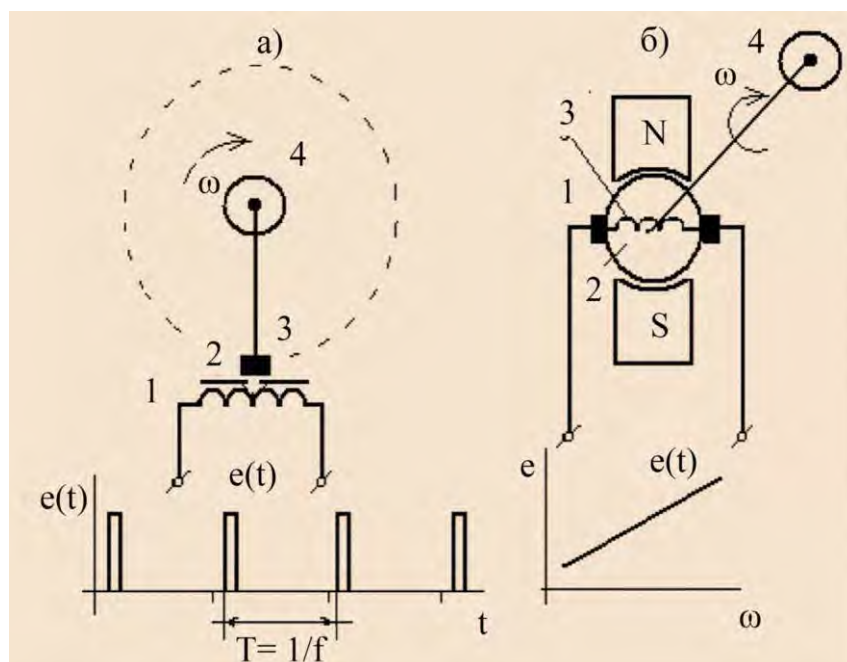


Рис. 2.24. Індукційні чутливі елементи:
а - з феромагнітною деталлю, що переміщується, б - тахогенератор

Магнітне поле створюється постійними магнітами *N-S*. Якір 2 тахогенератора містить котушку 3, що обертається від валу 3 зі швидкістю ω . Вихідна напруга знімається з щіток 1.

Для більшості індукційних перетворювачів статична характеристика є лінійною (похибки становлять 0,5 ... 1,5%) - вихідна напруга пропорційна швидкості обертання валу.

2.10. Диференційно-трансформаторні датчики

Диференційно-трансформаторний датчик являє собою трансформатор, що складається з котушки з двома обмотками і плунжера

(рис. 2.25,а). Його принцип дії заснований на зміні індуктивного зв'язку котушок при переміщенні плунжера, кінематично зв'язаного з контрольованим об'єктом. На затискачах вихідної обмотки виникає напруга $U_{вих}$, рівна різниці ЕРС котушок w_{11} і w_{22} . Значення напруги відповідає ступеню зміщення плунжера, фаза - його напрямку. При переміщенні плунжера від 50 мкм до 100 мм $U_{вих}$ змінюється від 50 мВ до 10 В.

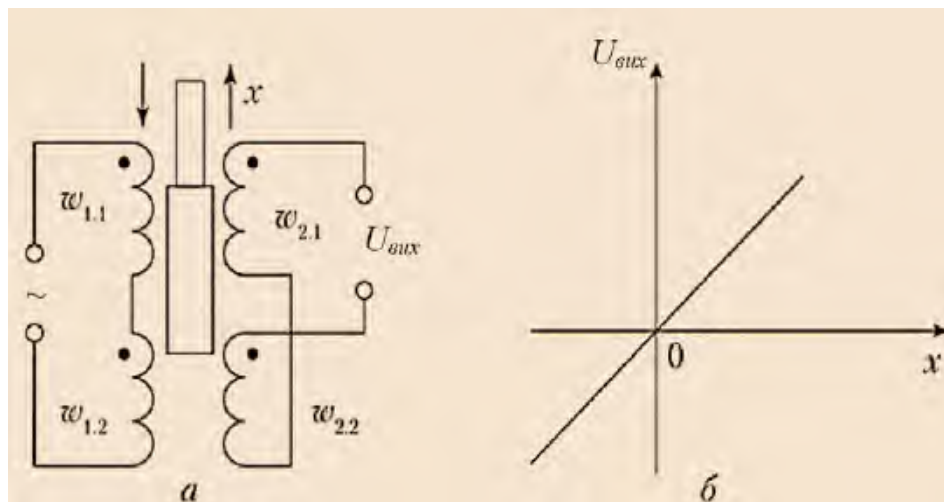


Рис. 2.25. Схема диференційно-трансформаторного перетворювача - (а), статична характеристика - (б)

Диференційно-трансформаторні перетворювачі мають лінійну статичну характеристику (рис. 2.25,б), високі чутливість (до 1мВ/мкм) і надійність.

Розглянемо принцип дії подібного перетворювача на прикладі датчика рівня рідини (рис. 2.26).

При зміні рівня рідини у бачку змінюється положення поплавка й положення осердя у давачі.

До тих пір поки осердя знаходиться у середній частині диференціального трансформатора, в обох вторинних обмотках W_2 і W_3 індують однакові е.р.с. Але оскільки обмотки увімкнені зустрічно, то різниця потенціалів на виході трансформатора дорівнює нулю.

При зменшенні рівня рідини в бачку поплавков буде опускатися, а осердя, навпаки, підніматися. Внаслідок цього е.р.с., що індукують в обмотці W_2 , збільшиться, а е.р.с. в обмотці W_3 зменшиться й на виході трансформатора з'явиться сигнал змінної напруги, пропорційний зниженню рівня рідини у бачку.

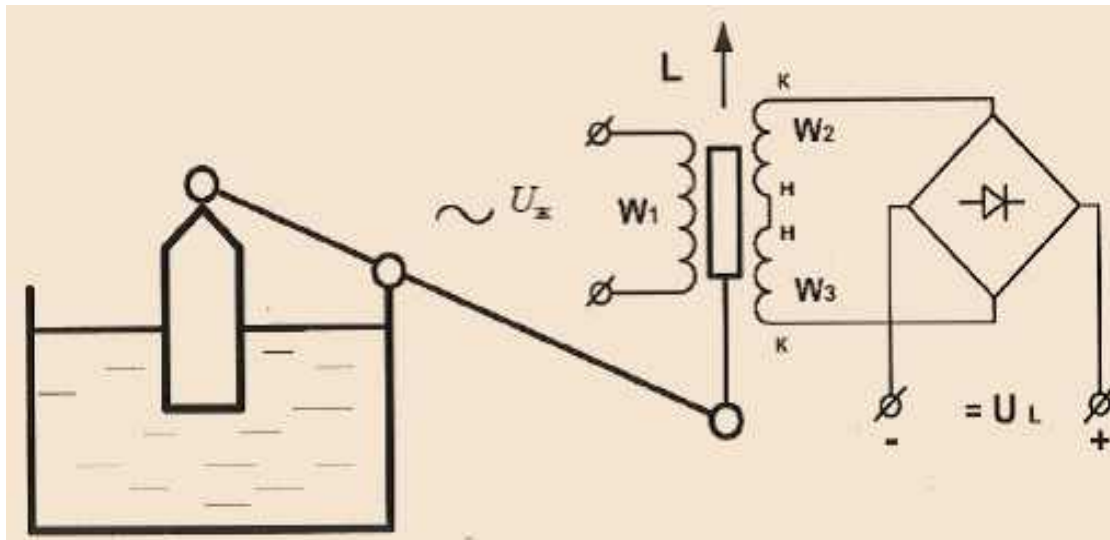


Рис. 2.26. Схема вимірювання рівня води диференційно-трансформаторним перетворювачем

Для поєднання датчика з системами автоматичного контролю та керування застосовують випрямний міст, з виходу якого знімають сигнал постійної напруги, чий рівень також пропорційний амплітуді контрольованої величини.

2.11. Ємнісні датчики

Ємнісний датчик (рис. 2.27.) представляє собою конденсатор із змінним зазором d між обкладинками, площею пластин S або діелектричною проникністю ϵ . Зміна входньої величини викликає зміну ємності конденсатора:

$$C = E_0 \epsilon S / (d - \Delta d),$$

де S - площа обкладинок вимірювальних ємностей; x - переміщення обкладинок; d - початковий зазор; Δd - зміна зазору; ϵ - діелектрична проникність середовища між обкладинок; ϵ_0 - абсолютна діелектрична проникність вакууму.

Ємнісні перетворювачі зі змінним зазором між пластинами (рис. 2.27,а) служать для вимірювання лінійних переміщень x з точністю до 0,1 ... 0,01 мкм; зі змінною площею (рис. 2.27,б) - для вимірювання лінійних і кутових переміщень; зі зміною діелектричною проникністю середовища (рис. 2.27,в) - для вимірювання рівнів, вологості, температури, хімічного складу і ін.

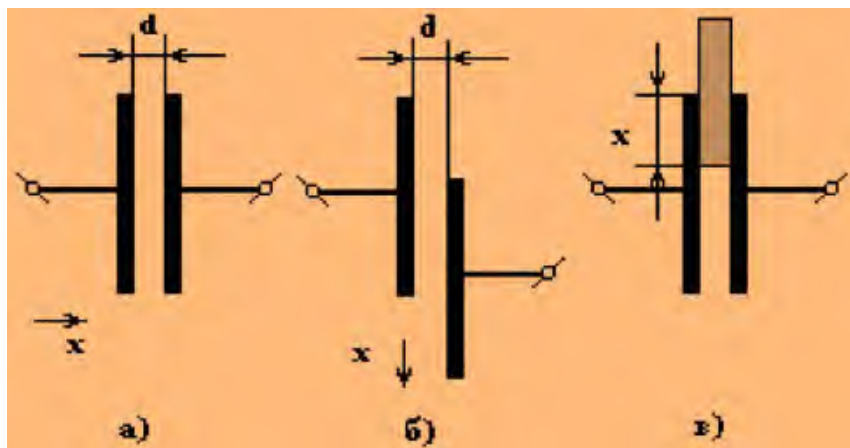


Рис. 2.27. Ємнісні чутливі елементи

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

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

2.12. П'єзоелектричні датчики

В таких чутливих елементів використовується *п'єзоелектричний* ефект, сутність якого полягає в тому, що під дією прикладеного зусилля на гранях деяких кристалів (кварцу, титану, барію, турмаліну, сегнетової солі і ін.) з'являються електричні заряди (прямий п'єзоефект), а при внесенні п'єзoelementу в електричне поле він деформується (зворотний п'єзоефект).

При дії сили F на стиск або розтяг на гранях пластини виникають різнополярні електричні заряди q (рис. 2.28).

У загальному вигляді щільність зарядів d залежить від механічної напруги кристала s : $d = ds$, де d - величина, стала для даного типу матеріалу і конструкції чутливого елемента.

Якщо до кристалу прикласти зовнішнє електричне поле E (підвести електричну напругу), то він почне деформуватися – змінювати свої геометричні розміри, а значить, і електричну ємність. Змінне зовнішнє електричне поле призводить до виникнення в кристалі механічних коливань, частота яких залежить від її величини і конструкції. Такі п'єзодатчики називаються *кварцовими резонаторами*, в них основна частота механічних коливань залежить від власної частоти кристала.

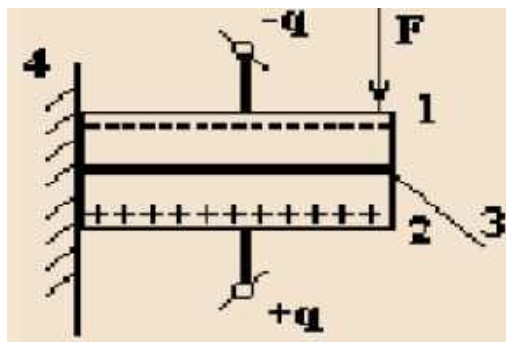


Рис. 2.28. Виникнення п'єзоефекту в кристалі кварцу:

1, 2 - пластини кварцу; 3 - електропровідна фольга;
4 - консоль кріплення пластин

Якщо включити кварцовий резонатор Pe за схемою автогенератора (рис. 2.29), то на виході операційного підсилювача (ОП) виникне сигнал з частотою f , залежно від прикладеного зовнішнього впливу - зусилля, температури, вібрації і т. п. Конденсатор Pe з кварцовою пластиною включений на інвертований вхід операційного підсилювача ОП.

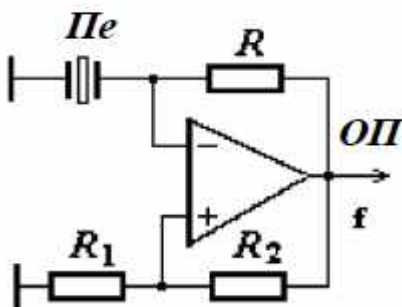


Рис. 2.29. Кварцовий автогенератор

Струм насичення конденсатора створює падіння напруги на вході OP , який інвертується і змінює знак живлення ланцюга $Pe - R$, в результаті чого виникають коливання, частота яких визначається її сталою часу.

Частота коливань генератора збігається з власною частотою кварцу і виникають резонансні автоколивання.

Чутливі елементи п'єзореzonансних датчиків виконують у вигляді резонатора тієї чи іншої форми - прямокутної, квадратної, круглої і т.п.

П'єзоелектричні датчики використовуються при вимірюванні зусиль, тисків, вібрацій та інших фізичних величин.

2.13. Фотоелектричні датчики

Фотоелектричні датчики реагують на зміну світлового потоку (рис. 2.30). Їх застосовують у якості датчиків переміщення.

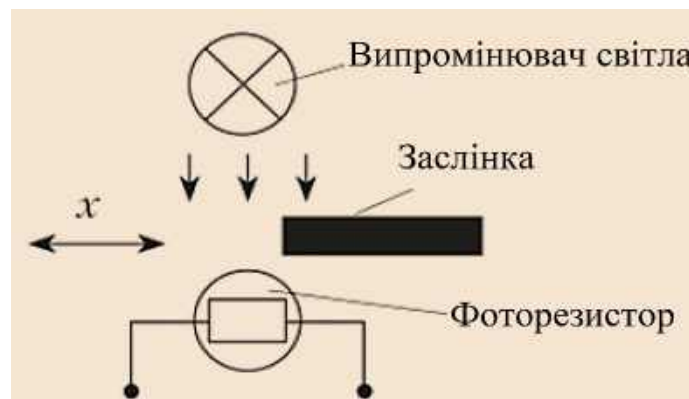


Рис. 2.30. Схема фотоелектричного датчика

В цьому випадку деталь механізму, що переміщається повинна перетинати шлях променю світла від його джерела до фотоперетворювача, до якого відносяться фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори.

Зміна освітленості призводить до зміни сили струму в електричному ланцюзі. Як матеріал для фотодіодів найчастіше використовують германій, кремній.

Фотоелектричні чутливі елементи перетворюють оптичне випромінювання в електричний сигнал.

За принципом дії існують кілька видів перетворювачів: із зовнішнім фотоефектом (вакуумні або газонаповнені; з внутрішнім фотое-

фектом (фоторезистори) і на основі р-п-переходу (фотодіоди, фото транзистори і т.п.).

Основною характеристикою фотоелементів є: залежність параметра (опору, струму, напруги) від опромінення вхідного струму чутливого елемента. Щоб забезпечити необхідний просторовий розподіл світла, світлодіод застосовується спільно з оптичними лінзами.

В даний час набули поширення твердотільні фотоелектронні прилади з зарядним зв'язком (ПЗЗ).

Основою ПЗЗ є конденсатор МОН-структури (метал-окисел-напівпровідник). Однією обкладкою конденсатора є металевий електрод, а другий - напівпровідник. Між обкладинками знаходиться прошарок оксиду напівпровідника.

2.14. Датчики руху

Автоматика стабільно і послідовно охоплює всі сфери нашого повсякдення. Ручне керування практично будь-якими видами техніки, а тим паче побутової, впевнено зводиться до мінімуму. Поява *датчиків руху* - чергове тому підтвердження. Датчик руху - це пристрій, який визначає рух об'єкта в зоні виявлення. Ці прилади виготовляються багатьма фірмами в різному конструкційному виконанні. На рис. 2.31. зображені види деяких типів датчиків руху. Однак принцип дії всіх існуючих модифікацій має загальну базу - ефект випромінювання хвиль різного типу. Розрізняють багато видів датчиків руху, зокрема можна відзначити: *ультразвукові, фотоелементи, інфрачервоні*.



Рис. 2.31. Види деяких типів датчиків руху

В *ультразвуковому* датчику принцип роботи побудований на відображенні звуку від зовнішньої перешкоди, а саме, на ефекті Доплера. Випромінювана хвиля, відбиваючись від рухомого об'єкту, повертається і приймається приймачем, при цьому довжина хвилі (час-

тота) незначно змінюється. Датчик видає сигнал, який використовують для керування і комутації навантаження. Якщо датчик уловлює зміни хвилі – він спрацьовує.

Прикладом ультразвукового датчика є *радар*. Принцип його дії: джерело випромінює ультразвукову хвилю, вона стикається з рухомим об'єктом, відбивається від нього, а приймач пристрою фіксує. По розбіжності параметрів відбитої та прийому хвилі роблять висновки про швидкість рухомого об'єкту.

Датчики руху на основі фотоелементу працює на основі сприйняття світлових променів. Зазвичай такий вид датчиків складається з двох частин, одна з яких випромінює світло, друга - сприймає його за допомогою фотоприймача. Під дією падаючого світла у ньому виникає електричний струм, завдяки якому датчик спрацьовує.

У побуті найчастіше використовують електронний *інфрачервоний* датчик, який виявляє присутність і переміщення людини.

Інфрачервоний датчик на даний момент найпоширеніший і працює за типом зміни температури на довірєній йому зовнішній або внутрішній території. Тобто сповіщувач руху аналізує температуру навколишнього середовища, порівнюючи її з температурою тіла, яке з'явилося в зоні спостереження.

Пристрій розсіює кілька променів і якщо людина поступово буде їх перетинати сенсор датчика розпізнає зміни і відправить сигнал на сповіщувач.

Датчики руху широко застосовують для автоматизації технологічних процесів у машинобудуванні, наприклад, для автоматичного керування робочими органами різноманітних верстатів (токарних, фрезерних тощо) і роботів. Вони широко застосовуються незалежно або в складі охоронних систем для виявлення проникнення сторонніх осіб, а також для автоматизації освітлення і кліматичних технічних систем (опалення та кондиціонування) в квартирах, житлових будинках і комерційної нерухомості.

Датчики руху є одним з основних елементів систем *охоронної сигналізації*. Вони фіксують найменші переміщення фізичного об'єкта, який опинився в зоні контролю такого датчика, і своїм спрацьовуванням активують подачу сигналу тривоги.

Сьогодні датчики руху стали досить популярними та доступними приборами для економії електроенергії. Їх устатковують на вулиці, у складських приміщеннях, коридорах, тобто ділянках, де потрібне часте вмикання світла.

Приклад. Навести схему підключення в електричну мережу датчика руху для ввімкнення світла з його виключенням у світлий час доби. Зазвичай у датчика руху є три дроти або три клеми для під'єднання.

Монтажна схема буде мати вигляд, див. рис. 2.32.



Рис. 2.32. Монтажна схема включення датчика руху для автоматичного вмикання лампи

Розвиток нанотехнологій призводить до появи *безпроводної* системи датчиків, де зв'язок здійснюється у GSM діапазоні ($f=2,4\text{ГГц}$) на відстані до 15 до 20 метрів.

Це так звана Smart (розумна) технологія, яка у майбутньому обіцяє створити інтелектуальну мережу, призначену для збору, аналізу, обробки і збереження даних у системах транспортної телеавтоматики.

2.15. Температурні датчики

2.15.1. Терморезистивні датчики температури

Температура є одним з основних параметрів технологічних процесів. Близько 40% вимірювань в промисловості припадає на вимірювання температури. Температура середовища впливає на параметри багатьох матеріалів - розміри, електричний опір, термоелектрорушійної і т. д. У якості чутливих елементів датчиків температури застосовуються *терморезистори, тепломеханічні елементи, термопари,*

p-n - переходи, кристали кварцу, кремнію та їх з'єднань і багато інших матеріалів.

Тепломеханічні датчики (термобіметалевий, дилатометричні) використовуються як датчики, що перетворюють зміну фактичного значення регульованої температури в переміщення.

Біметалевий елемент (рис. 2.33) являє собою дві вузькі металеві пластинки 1 і 2 з різними коефіцієнтами температурного розширення, жорстко скріплених між собою по всій площині торкання (спаяні).

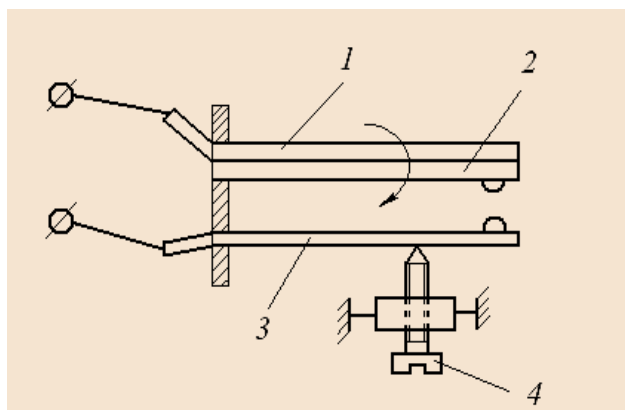


Рис. 2.33. Схема біметалевого датчика температури:

1 - пластина з заліза, міді або латуні; 2 - сплав заліза з нікелем - інвар (64% Fe + 36% Ni); 3 - нерухомий контакт; 4 - регулювальний гвинт

Дія біметалевого датчика ґрунтується на відмінності температурних коефіцієнтів розширення різних металів.

Коефіцієнт температурного розширення пластини 1 більше, ніж пластини 2 в 10-20 разів. При нагріванні біметалева смуга прогинається і контакт замикається.

Статична характеристика датчика *релейна*.

Датчики застосовуються для фіксації граничних значень температури.

На шляху вигину біметалевої пластинки можна поставити, наприклад, електричні контакти, які будуть включати електричну мережу. Подібні чутливі елементи використовують для двопозиційного регулювання «*ввімкнено-вимкнено*» температури.

Приклад. Температурний контактний датчик, що установлюваний в побутових утюгах, здійснює регулювання температури утюга (див. рис. 2.34).

У холодному утюгу, чутливий до зміни температури біметалевий термоконтакт K_t замкнутий, і при включенні утюга в мережу через нагрівальний елемент R проходить струм, що нагріває його. При досяг-

ненні підшоною утюга температури спрацьовування біметалевого контакту він розмикається і відключає нагрівальний елемент від мережі.



Рис. 2.34. Схема регулювання температури нагріву з біметалевим термоконтрактом

Термобіметалеві чутливі елементи застосовуються для вимірювання температур в діапазоні від -60 до $+450$ °С. Похибка перетворення становить 1 ... 5%.

Принцип дії терморезисторів заснований на зміні електричного опору провідникових і напівпровідникових матеріалів при зміні їхньої температури.

На рис. 2.35 зображено схему устаткування для демонстрації залежності опору провідника від температури.

Намотаємо у вигляді спіралі декілька метрів тонкого залізного дроту й увімкнемо його в коло, що містить батарею гальванічних елементів і амперметр.

Опір дроту підберемо таким чином, щоб за кімнатної температури стрілка амперметра відхилялася практично на всю шкалу. Відмітимо покази амперметра та почнемо сильно нагрівати дріт за допомогою спиртівки. Із плином часу ми побачимо, що при нагріванні дроту сила струму в колі зменшується.

Ураховуючи, що напруга залишається незмінною, робимо висновок: опір дроту при нагріванні збільшується.

Є метали, у яких збільшення опору досить значне, а є спеціальні сплави, опір яких з підвищенням температури майже не змінюється.

Для порівняння залежності зміни опору від зміни температури використовують величину, що має назву *температурного коефіцієнта опору* матеріалу провідника й позначається α . Температурний кое-

фіцієнт опору - це фізична величина, яка показує відносний приріст опору провідника при зміні його температури на 1°C .

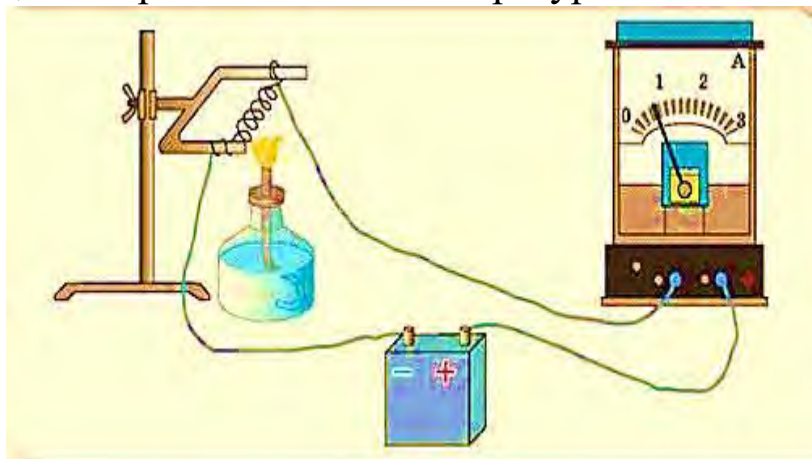


Рис. 2.35. Устаткування демонстрації залежності опору провідника від температури

Для металів залежність електричного опору від температури має вигляд:

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

де R_t – електричний опір провідника при вимірюваній температурі t ; R_0 – електричний опір провідника при нульовій температурі t_0 ; $\Delta t = t - t_0$.

Зауважимо, що температура t вимірюється при даному запису формули, в $^{\circ}\text{C}$. Залежність опору матеріалів від температури використовують для виготовлення *термометрів опору*.

Графік залежності опору металевого провідника від температури зображено на рис. 2.36.

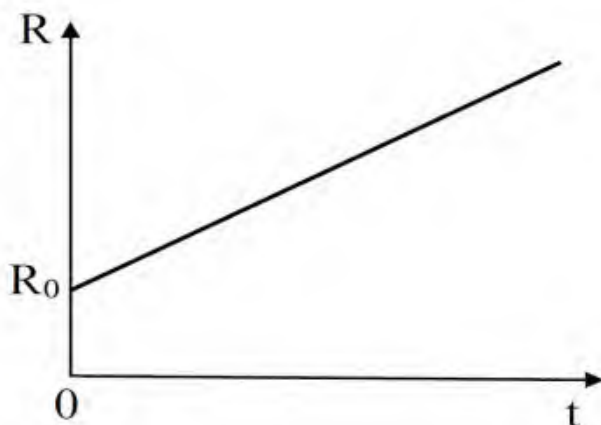


Рис. 2.36. Графік залежності опору металевого провідника від температури

Як видно з графіку опір металів лінійно збільшується з підвищенням температури. Розрізняють терморезистори з негативним (*термістори*) і позитивним (*позистори*) ТКО (температурний коефіцієнт опору). Їх ще називають *NTC*-термістори і *PTC*-термістори відповідно. У позисторів із зростанням температури зростає опір, а у термісторів - навпаки: при збільшенні температури опір падає.

Діапазон робочих значень RTD знаходиться в межах від -200 до + 600 °С. Будову терморезистора зображено на рис. 2.37.

Для отримання високої чутливості й стабільності параметрів, в якості матеріалу для терморезисторів використовують ті, що мають максимальний і сталий температурний коефіцієнт опору α .

Терморезистори з мідного провідника працюють при температурах -50...+150°С, при цьому $\alpha = 4,27 \cdot 10^{-3}$ град⁻¹.

Функція перетворення мідного терморезистору - *лінійна*.

Терморезистори з тонкого платинового дроту працюють у діапазоні температур -190 ... +650 °С, при цьому $\alpha = 3,968 \cdot 10^{-3}$ град⁻¹. Функція перетворення платинового терморезистору – *нелінійна*.

Чутливий елемент мідного терморезистора (рис. 2.37) являє собою пластмасовий циліндр 1, на якому біфілярно в кілька про шарків намотаний мідний дріт 2, діаметром 0,1мм. Зверху котушка покрита лаком. До кінців обмотки припаюються мідні вивідні дроти 3, діаметром 1,0...1,5 мм.

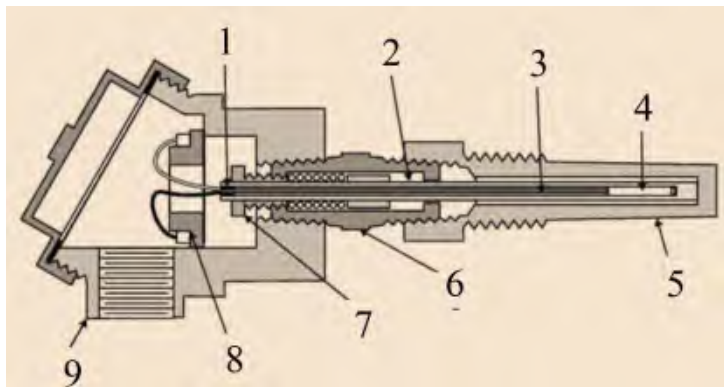


Рис. 2.37. Будова терморезистора:

1 - свинцева пломба; 2 - оболонка зонда; 3 - ізолюваний пакет проводів; 4 - RTD сенсор; 5 – термокишеня; 6 - пружинні кріплення; 7 - знімний стопор; 8 - термінальний блок; 9 - наконечник

На точність терморезисторів впливають зміни властивостей матеріалу з часом, нестабільність опору знімних проводів, що підходять від вимірювальної схеми до перетворювача, додаткове нагрівання терморезисторів при проходженні по них струму.

Умовне графічне позначення терморезисторів на схемі нагадує звичайні резистори, а відмінністю є лише те, що вони перекреслені смугою з позначкою букви t (див. рис. 2.38).

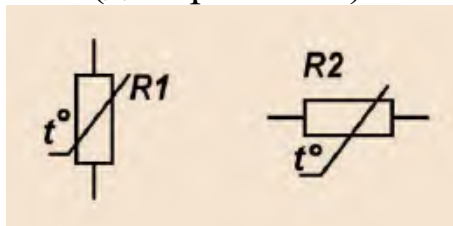


Рис. 2.38. Умовне позначення терморезисторів

На рис. 2.39 показаний терморезистор ММТ-4В (4,7 кОм). Якщо підключити його до мультиметру і нагрівати, наприклад, термофеном або жалом паяльника, то можна переконатися в тому, що зі зростанням температури його опір падає.



Рис. 2.39. Вид терморезистора ММТ-4В

В якості матеріалу для термісторів використовують оксиди металів – марганцю, міді, заліза, нікелю, кобальту та інших, які спікають при відносно високій температурі.



Андерсон Цельсій
(1701-1744рр.)

У техніці, медицині, метеорології і в побуті використовується шкала Цельсія, яка практично є дуже зручною. Шкала запропонована шведським астрономом, геологом і метеорологом Андерсом Цельсієм в 1742 р. Нині шкалу Цельсія визначають через шкалу Кельвіна: ціна одного ділення по шкалі Цельсія дорівнює ціні ділення шкали Кельвіна, $t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$. Усі прилади для вимірювання температури умовно можна розділити на дві великі групи: *контактні*, тобто датчик температури безпосередньо контактує з вимірюваним середовищем - найбільш широко вживані в промисловості й *безконтактні* - які застосовуються для вимірювання температури, там де прямий контакт з вимірюваним середовищем неможливий з тих або інших причин.

Механічні термометри. В якості датчика зазвичай використовується металева спіраль або стрічка з біметалу (рис. 2.40).



Рис. 2.40. Механічний термометр

Рідинні термометри засновані на принципі зміни об'єму рідини, яка залита в термометр (звичайно це спирт або ртуть), при зміні температури довкілля. У зв'язку із заборобою застосування ртуті у багатьох областях діяльності ведеться пошук альтернативних наповнень для побутових термометрів.

Термопара (термоелектричний перетворювач температури) – термоелемент, вживаний у вимірювальних і перетворюючих пристроях, а також у системах автоматики. Термопара з'явилася в 1821 році завдяки відкриттю німецького фізика Томаса Зеебека. Він виявив явище виникнення термо ЕРС (електрорушійної сили) в замкнутому ланцюзі при нагріванні місця контакту двох електродів з різних металів А і Б, (див. рис. 2.41).



Томас Зеебек
(1770-1830pp.)

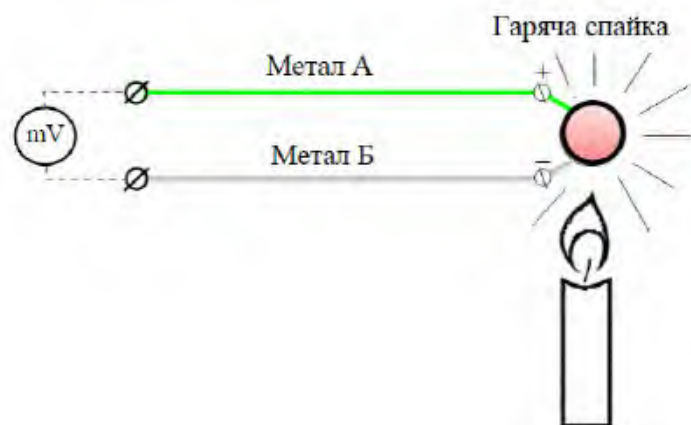


Рис. 2.41. Схематичне зображення виникнення термоЕРС

Міжнародний стандарт на термопари дає наступне визначення: термопара це два провідника з різних металів А і Б, сполучених (скрутка, пайка і ін.) на одному кінці і формуючих термоЕРС на інших двох вільних кінцях, що використовуються для вимірювання температури.

На рис. 2.42 зображено 3-и способи створення робочої спайки термопари – *скруткою, зваркою та зваркою вузьким швом* кінців електродів.

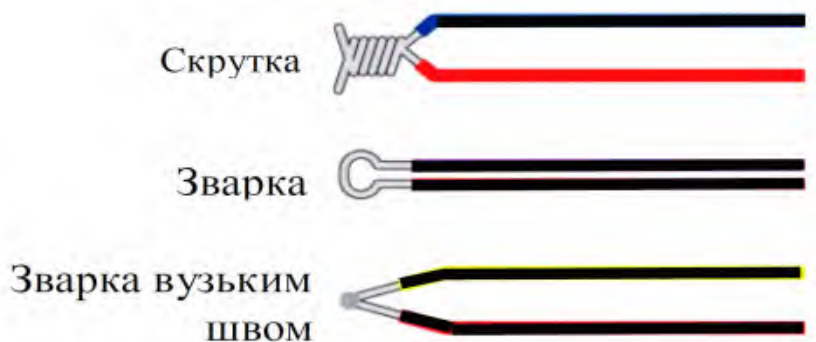


Рис. 2.42. Зображення створення робочої спайки термопари

На рис. 2.43 зображено схему вимірювання напруги термопари мультиметром.

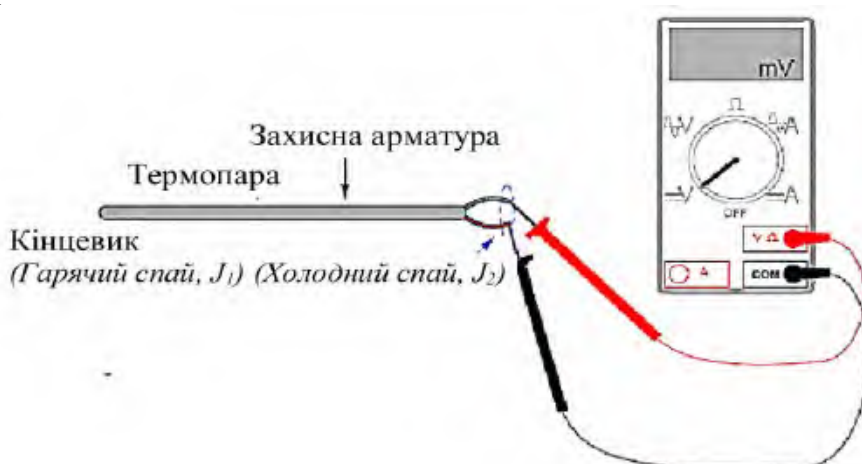


Рис. 2.43. Вимірювання напруги термопари

Як приклад об'єкту використання термопари, можна привести газову колонку нагріву води. При нагріві води, ЕРС термопари, що встановлена в колонці, буде достатня для відкриття електромагнітного клапана подачі газу в пальник і запальник. Якщо горіння газу припиниться, то термопара швидко охолоне, в результаті її ЕРС зменшиться, і сили струму стане недостатньо для утримання електромагнітного

клапана у відкритому стані, подача газу в пальник і запальник буде перекрита.

Градуювання термопар. Основним призначенням термопар є вимірювання температури. Змінювання температури призводить до виникнення термо-ЕРС в електричному ланцюзі, в який входять електроди термопар. Таким чином, вимірювальний прилад, що також входить в електричний ланцюг, визначає змінювання термо-ЕРС. Але кінцева мета - визначити температуру. Відповідно, необхідно зіставити конкретні значення термо-ЕРС конкретним значенням температури. Таким чином шкала термоелектричного термометра повинна відображати градуси.

Термопары характеризуються:

- високою точністю вимірювання значень температури (до $\pm 0,01$ °C);
- великим температурним діапазоном вимірювання : від $- 200$ °C до 2500 °C;
- простотою будови;
- дешевизною;
- надійністю.

Для стандартних термопар, визначена стандартна залежність термо-ЕРС від температури. Ця залежність представлена як номінальні статичні характеристики (НСХ) перетворення значення термо-ЕРС, що розвивається термопарою, в відповідне значення температури. НСХ визначається експериментально за результатами вимірювань. Напруга, що виробляється термопарою, залежить від ступеня нагрівання і виду застосовуваних металів у термопарі. Величина напруги невелика, і знаходиться в інтервалі 1-70 мікрівольт на один градус. Кожен вид термопар має своє позначення, і розділені вони за загальноприйнятим стандартом. Кожен тип електродів термопар має своє скорочення: ТХА, ТХК, ТВР і т. д. На рис. 2.44 зображено зовнішній вигляд однієї з термопар у захисній арматурі.



Рис. 2.44. Зовнішній вигляд термопар у захисній арматурі

У табл. 2.1 позначенні основні типи термопар та наведені їх робочі діапазони температури.

Таблиця 2.1. Позначення основних типів термопар та наведення їх робочих діапазонів температури

Буквене позначення	Електроди	Діапазон температур, °C
J	Залізо-константан	0 ... 700
K	Хромель-алюмель	0 ... 1100
T	Мідь-константан	-185 ... +300
E	Хромель- константан	0 ... 800
S	Платина-платина/родій 10%	0 ... 1600
R	Платина-платина/родій 13%	0 ... 1600

Завдяки простоті будови, термопара є дуже надійним елементом схеми автоматики і безвідмовно може працювати багато років.

2.15.2. «Інтелектуальні» датчики температури

Під *інтелектуальним* датчиком розуміють датчик з вбудованою електронікою, що включає в себе: чутливий елемент, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), мікропроцесор (МП), інтерфейсний блок, систему на кристалі і т. д. Електричний сигнал від перетворювача сенсора (J) за допомогою АЦП перетворюється в цифровий код, який оброблюється і корегується МП (часто АЦП входить до складу МП) і, в залежності від цілі використання, за допомогою адаптера мережі, може видавати інформацію по Інтернету.

На рис. 2.45 зображено структурну схему типового інтелектуального датчика.

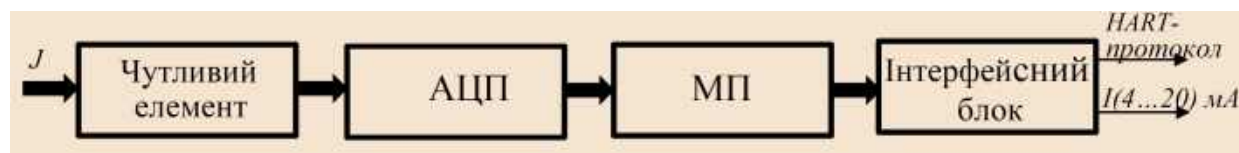


Рис. 2.45. Будова цифрового «інтелектуального» датчика

Наявність мікропроцесора дозволяє не тільки підвищити точність вимірювань, але і значно розширити функції приладу. Такі датчики можуть обробляти і зберігати в пам'яті великі масиви інформації, працювати в автономному режимі значний період часу, (до декіль-

кох місяців), проводити самостійну діагностику роботи сенсора і самостійно коригувати виникаючі похибки.

Інтелектуальні датчики поєднують в одному модулі (іноді кристалі) процеси перетворення первинної інформації з подальшою комплексною її переробкою і видачею підсумкової інформації у необхідній для контролю і керуванню формі.

Інтелектуальні датчики швидше слід називати *вимірювальними комплексами* (наприклад, радар, який вимірює швидкість автомобіля, що рухається, або датчик положення автомобіля, що включає GPS-приймач і синхронну систему обробки даних з цифровою картою місцевості). За приклад інтелектуального датчика, що заслуговує певної уваги, можна привести охоронний акустичний датчик контролю розбиття скла в приміщенні, функціональна схема якого зображено на рис. 2.46. На вхід чутливого елемента (мікрофону) надходять звукові хвилі, що після підсилення розбиваються на складові смуговими фільтрами.

Мікроконтролер, що входить до складу датчика, здійснює аналіз по 2-4 частотам, у залежності від моделі пристрою.

Інтелектуальна обробка сигналів виконується шляхом багаторазової активної фільтрації звукових частот.

Мікрофон служить для перетворення звукових коливань в електричний сигнал.

Підсилювач забезпечує необхідний для надійної обробки рівень сигналу. Смугові фільтри дозволяють визначити спектральний характер сигналу.

Як правило, використовується два смугових фільтра фільтр низької частоти (НЧ) та високої (ВЧ).

Схема обробки визначає рівень сигналу на виходах смугових фільтрів і аналізує форму сигналу в часі. При збігу всіх умов (перевищення порогових значень на виходах обох фільтрів і певна форма залежності акустичного сигналу від часу) формується сигнал тривоги.

Важливим фактором для подальшої інтерпретації результатів вимірювань є їх прив'язка до часу.

Тобто доцільно разом з кодом вимірювань фізичних величин передавати і час їх здійснення.

Розвиток *нанотехнологій* призводить до появи безпроводної системи датчиків, де зв'язок здійснюється у GSM діапазоні ($f=2,4$ ГГц) на відстані до 15 до 20 метрів.

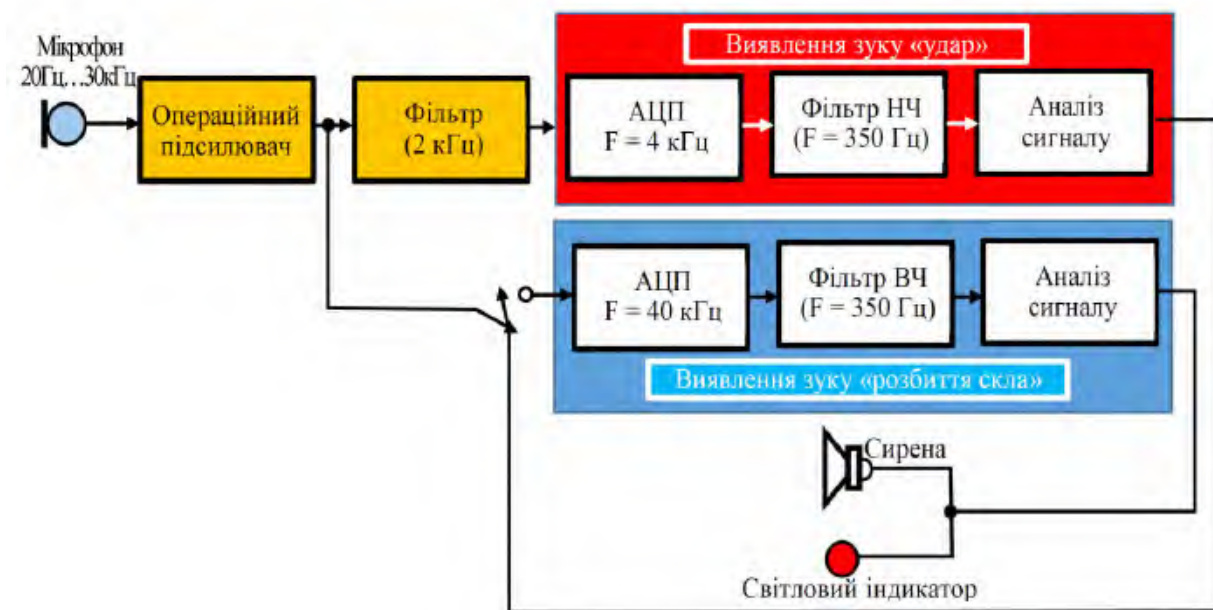


Рис. 2.46. Функціональна схема акустичного датчика

Це так звана Smart (розумна) технологія, яка у майбутньому обіцяє створити інтелектуальну мережу, призначену для збору, аналізу, обробки і збереження даних у системах транспортної телеавтоматики.

Контрольні запитання

1. Які типи датчиків називають *параметричними*?
2. Які типи датчиків називають *генераторними*?
3. Назвіть типи параметричних датчиків.
4. Поясніть роботу потенціометричного давача на прикладі електричного термометра.
5. Що таке тензорезистор?
6. Який ефект покладений в основу тензоперетворювача?
7. Що таке електричні термометри опору?
8. Дайте приклади використання термометра опору.
9. Який ефект покладений в основу магнітоомічних перетворювачів або магніторезисторів?
10. Поясніть принцип дії магніторезисторів.
11. Що таке фоторезистор? Який ефект покладений в основу роботи фотодатчиків?
12. Поясніть принцип дії датчика з перетворенням індуктивного типу.

13. Надайте приклад датчика рівня з диференціальним трансформатором.
14. Поясніть принцип дії безконтактних кінцевих вимикачів.
15. Що є ємнісний датчик?
16. Що таке контактний датчик? Які перетворення виконуються в безконтактних датчиках?
17. Що таке електроконтактний датчик?

ЗАДАВАЧІ, ПРИСТРОЇ ПОРІВНЯННЯ ТА ПІДСИЛЮВАЧІ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ

3.1. Задавачі систем автоматики

Задавач - пристрій, що задає завдання для систем автоматичного регулювання (керування), а також може використовуватися для дистанційного ручного керування виконавчими механізмами. Він формує та зберігає величину впливу, змінні значення, коефіцієнти, мітки часу і т.п. Задавач виробляє умови протікання технічного (технологічного) процесу, що можна вважати, як функцію часу $Y_z(t)$. Але в деяких випадках завдання САК задається не функцією часу, а постійною величиною.

Функція $Y_z(t)$ може бути *одновимірною* (одна величина) або *багатовимірною* (кілька величин). У системах автоматичного керування частіше зустрічаються багатовимірні функції часу, коли одночасно задаються умови за кількома параметрами, наприклад, температурі, тиску і т.д. Вихідні сигнали задавачів можуть представлятися як в *аналоговій* так і *цифровій* формі.

Задавачі виготовляються як окремими пристроями, так і конструктивно можуть входити в склад автоматичних регуляторів. Раніше, в якості задавачів, застосовувалися кулачкові механізми, функціональні потенціометри, лекала й т.п.

У даний час, в основному використовуються електронні аналогові і цифрові пристрої.

На рис. 3.1 наведені деякі типи задавачів аналогових і цифрових величин.

Існує досить широкий клас потенціометричних задаючих пристроїв, в основі яких лежить уставка величини, що вибирається за допомогою потенціометра R (рис. 3.1, *а*). Тут на змінний резистор R подається опорна напруга $U_{оп}$. Постійний сигнал Y_z задається і запам'ятовується положенням движка потенціометра R . Для контролю за Y_z до движка під'єднують вимірювальний прилад $П$, проградуйованого в одиницях величини, що задається, наприклад, температури. Іноді уставки мають сталі величини - їх вибирають за допомогою дискретного потенціометра, що має перемикач резисторів $П_k$ (рис. 3.1, *б*).

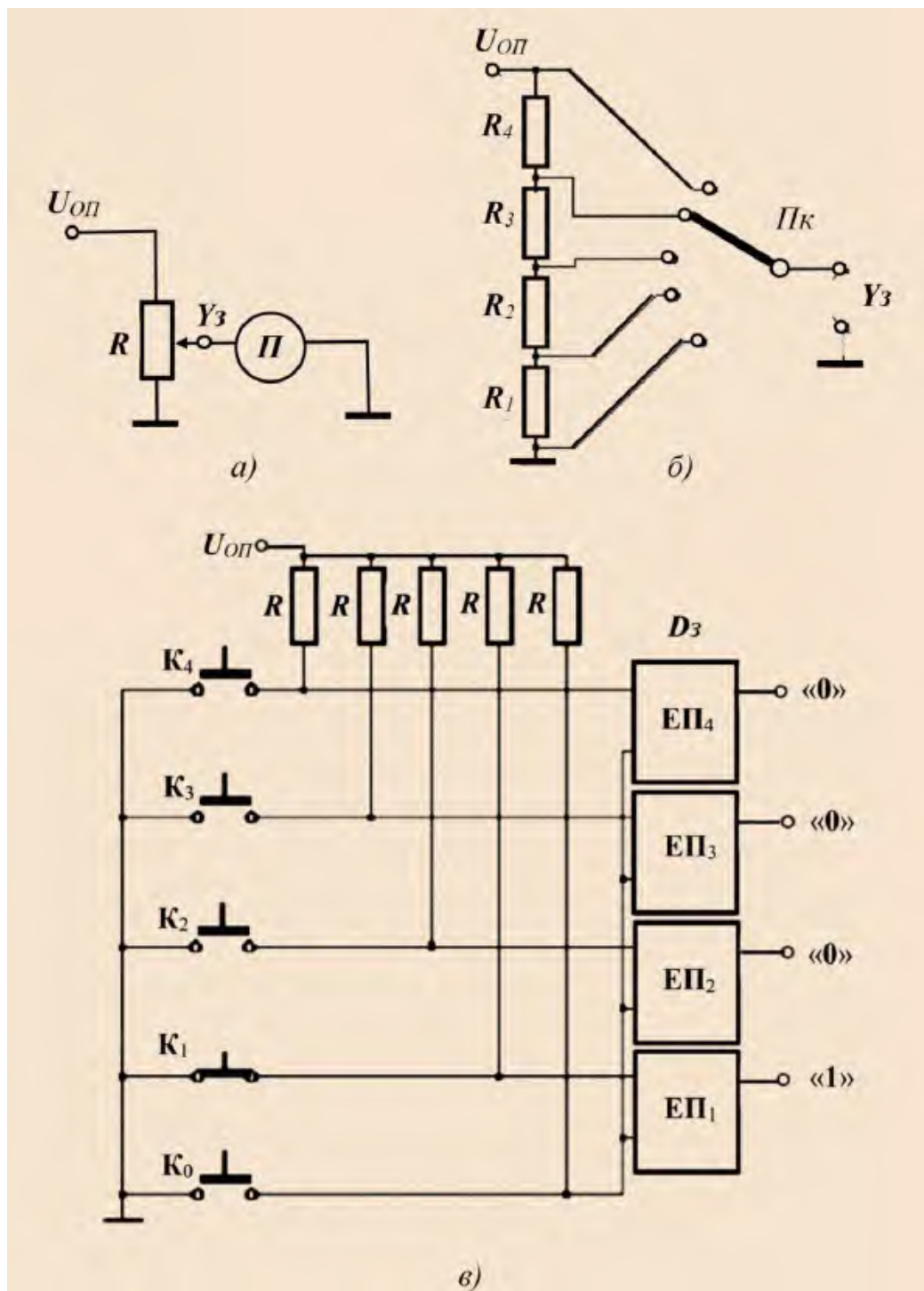


Рис. 3.1. Схеми деяких видів задавачів: *а* - аналоговий потенціометричний; *б* - дискретний потенціометричний; *в* - цифровий; R - потенціометр; Π_k - перемикач; Π - вимірювальний прилад; $ЕП_1$ - $ЕП_4$ – елементи пам'яті; $K_0 - K_4$ - кнопки введення коду сигналу «1 – 0 – 0 – 0»; $U_{оп}$ - опорна напруга

Для керування цифровими САК (на базі мікропроцесорів і комп'ютерів) може використовуватися приведена на рис. 3.1, *в* схема дискретного чотирьох розрядного задавача. Він складається з кнопок

введення K_1 - K_4 , кнопки скидання K_0 і елементів пам'яті EP_1 – EP_4 , що частіше всього реалізуються на тригерах.

Для введення необхідного цифрового коду натискаються відповідні кнопки K_1 - K_4 , наприклад, для введення "1" натискається K_1 . Далі можна вводити інші цифри, наприклад, "2", натискаючи на кнопку - K_2 і т.д. В результаті на виході елементів пам'яті з'являється цифровий позиційний код, який використовується далі для отримання САК відповідного керуючого сигналу. Цифровий код зберігається до натискання кнопки K_0 – обнуління, або зняття напруги з схеми.

З метою підвищення надійності і стабільності пристроїв, що передбачають включення у свій склад задавачів, доцільною є заміна механічних потенціометрів цифровими.

Компанія MAXIM пропонує дуже широкий вибір цифрових потенціометрів для найрізноманітніших застосувань задавачів вихідної напруги джерел живлення. При цьому різноманітність потенціометрів не обмежується кількістю "кроків" регулювання або наявністю незалежної пам'яті положення "движка". Існують і спеціалізовані пристрої, які суттєво підвищують точність і надійність виробу за рахунок заміни механічних перемикачів на електронні.

У цьому сенсі заслуговує уваги мікросхема з декількома потенціометрами в одному корпусі, що можуть бути зручною при необхідності завдання декількох параметрів. Наприклад, мікросхема DS1844 містить чотири, а DS1806 - шість потенціометрів з незалежним керуванням. Движок потенціометра має 64 положення.

Задавач може мати *лінійну* або *кругову* шкалу з рукояткою, що переміщує або обертає, чи клавішний перемикач.

У програмних регуляторах задаючий пристрій виконується, наприклад, у вигляді профільного диска (копіра). Якщо застосовується електронна обчислювальна техніка, то завдання можна записати на постійному пристрої, що запам'ятовує (ПЗП).

У пневматичних і гідравлічних регуляторах у якості задавачів застосовують регульовальні гвинти зі стрілкою і шкалою: при обертанні гвинта змінюється, наприклад сила стиснення пружини або зусилля на мембрану.

Ручні задавачі. Ручні задавачі призначені для ручної установки завдання регулюючим або виконавчим пристроями. Виробники контрольно – вимірювальних приладів (КВП) випускають наступні моделі ручних задавачів струму:

Овен: пристрій завдання сигналу ПЗС - 1;

- *КБ Агава*: цифровий задавач струму;
 - *Мікрол*: блок ручного керування БРУ- 420, БРУ- 1 та ін.;
- Із іноземних моделей задавачів найбільш відомими є:
- *Phoenix Contact* : цифровий задавач - MCR - SL - D - SPA - UI - 2710314;
 - *Cobi Electronic* : задавач струму 4-20 мА CM22 - 4-20 мА.

Указані типи задавачів мають різний набір додаткових функцій і можливостей. Так пристрій завдання сигналу Овен ПЗС – 1, що призначений для керування аналоговими виконавчими механізмами в ручному або автоматичному режимі, доцільно використовувати перш за все із – за своєї функціональності й різних варіантів виконання, а саме, монтажу на шитках, монтажу на DIN рейку і на стіну при порівняно невисокій вартості.

У табл. 3.1 наведені технічні характеристики задавачів типу РЗД.
Таблиця 3.1. Технічні характеристики задавача РЗД

Найменування	РЗД	Примітка
<u>Вхідний сигнал:</u> - напруга - вхідний опір	0 ... 10 В не менше 40 кОм 0 ...10 В не менше 2 кОм 0 ... 5 мА 0...20 мА не більше 2,5кОм 4...20 мА не більше 1кОм	Постійний струм
<u>Вихідні сигнали:</u> - напруга - опір навантаження - струм - струм - опір навантаження - струм - опір навантаження		
Діапазон установки завдання		
Параметри живлення задавача: - напруга змінного струму - частота		
Споживана потужність		
Габаритні розміри		
	0 ...100%	
	24(±2,4) В 50Гц	
	не більш 3,5 ВА	
	40 x 40 x 550 мм	

У ручному режимі значення сигналу 4 - 20 мА постійного струму або 0 - 10 В напруги постійного струму задається користувачем з

лицьової панелі приладу, а в автоматичному - сигнал транслюється або контролером, або іншим керуючим приладом.

Якщо ж в першу чергу важливі габарити задавача, то в цьому випадку безумовним лідером є задавач струму 4 - 20 мА СМ22-4-20 мА виробництва компанії Cobi Electronic, зовнішній вигляд якого зображений на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Зовнішній вигляд задавача струму
СМ22-4-20 мА

Блоки ручних задавачів. Вони призначені для використання в системах промислової автоматики як: блок ручного задавача аналогового сигналу; блок ручного керування аналоговим виконавчим механізмом. Вітчизняним підприємством Мікрол виготовляються такі блоки ручних задавачів, як БРУ-1 та БРУ-420.



Рис. 3.4. БРУ-420

Функціональні можливості БРУ-420:

- аналоговий вихідний сигнал 4-20 мА;
- живлення блоку від струмової петлі напругою постійного струму від 18 до 36 В;

- ручка керування на передній панелі для зміни значення вихідного аналогового сигналу;
- шкала відлікового пристрою на передній панелі;
- світлодіодний індикатор на передній панелі наявності струму в вихідному ланцюгу;
- підключення приладу здійснюється за допомогою рознімання клеми на задній панелі приладу.



Рис 3.47. БРУ-107

Блок ручного управління БРУ-107 (БРУ-17) призначений для використання в локальних і комплексних системах промислової автоматизації виробничих процесів в якості станції ручного керування аналоговими виконавчими механізмами або ручного задавача аналогових сигналів з індикацією. Відмінною особливістю блоку БРУ-107 (БРУ-17) є наявність гальванічної ізоляції між входами, виходами, ланцюгом живлення і інтерфейсом.

Задавач монтується в стандартний монтажний отвір для сигнальних ламп діаметром 22 мм.

На рис. 3.3, а зображено загальний вигляд задавача сигналів ПЗС–1, а на рис. 3.3, б - спрощену схему вбудови задавача в систему автоматики.

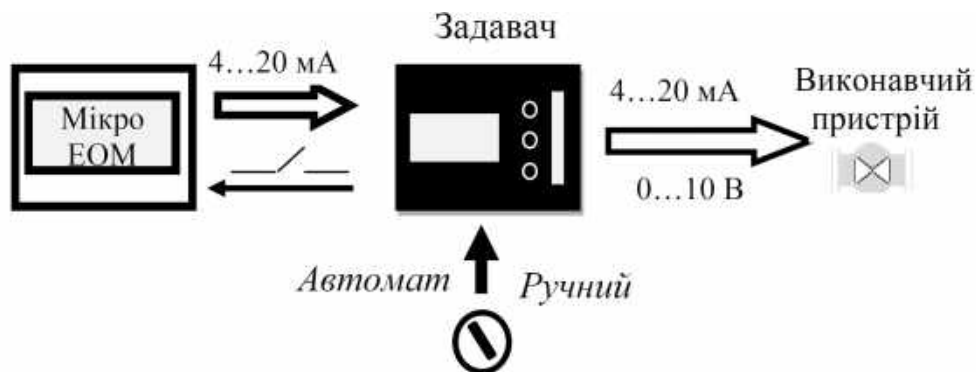
Задавач сигналів ПЗС–1, служить для керування виконавчими механізмами і засувками, а також режимом роботи частотних перетворювачів, завдяки застосуванню сигналів постійного струму 4-20 мА. Сигнал з аналогового виходу задавача подається на вхід частотного перетворювача, що управляє, або аналоговий вхід підсилювача клапана або засувки. Величина цього сигналу задається експлуа-

туючим персоналом вручну у відносних або фізичних значеннях величин за допомогою кнопок "більше" і "менше" або за допомогою регулятора поворотного типу, що розташовані на лицьовій панелі задавача.

Залежно від моделі, сучасні задавачі струму, окрім базової функції формування вихідного сигналу 4 - 20 мА, мають додаткові функції, що розширюють сферу їх застосування і покращують експлуатаційні якості.



а)



б)

Рис. 3.3. Загальний вигляд задавача сигналів ПЗС–1

До таких функцій можна віднести:

Вихідний аналоговий сигнал 4 - 20 мА або 0 – 10 В.

2. Відображення значення вихідної величини вихідного сигналу на дисплеї задавача, у відносних одиницях (0 – 100 %), в одиницях вимірювання вихідного сигналу (мА, В) або без одиниць вимірювання.

3. Можливість роботи в автоматичному або ручному режимі і плавний перехід між ними.

4. Можливість налаштування дискретності (кроку) зміни вихідного сигналу при кожному натисненні кнопок керування .
5. Вбудоване джерело живлення 24 В для живлення струмової петлі вихідного сигналу задавача, у тому разі, якщо він підключений до пасивного аналогового входу керованого пристрою.
6. Можливість налаштування параметрів індикації.
7. Контроль справності лінії зв'язку з увімкненим пристроєм.

Під автоматичним режимом роботи задавача мається на увазі режим його роботи, при якому він передає значення струму зі свого аналогового входу на вихід. Наприклад, у задавачах Овен ПЗС-1 до входу задавача може бути підключений датчик швидкості, а до виходу - аналоговий вхід частотного перетворювача.

Залежно від величини сигналу, який поступає з датчика швидкості на вхід частотного перетворювача (через ПЗС-1), змінюється частота напруги на виході частотного перетворювача, що спричиняє змінювання швидкості підключеного до нього електричного двигуна.

У пневматичних регуляторах функцію елемента порівняння виконує, наприклад вузол «сопло - заслінка», мембранний блок, в гідравлічних - золотникові пристрої та інші.

Для отримання певної функціональної залежності регулювання, використовують можливості мікропроцесорів (мікроконтролерів), щодо зберігання інформації та виконання відповідних математичних операцій.

Функціональні залежності в мікропроцесорних пристроях генеруються за допомогою спеціальної робочої програми, що записується в їх пам'ять.

Широко застосовуються перепрограмовані пристрої пам'яті (ПППП). Вони використовуються для пристроїв, робоча програма яких повинна змінюватися в процесі експлуатації.

Для тимчасового зберігання результатів проміжних обчислень використовуються оперативні запам'ятовуючі пристрої (ОЗП).

При переході з автоматичного режиму роботи САР на ручний, задавач переводиться в режим «Ручний» і кнопками на його лицьовій панелі встановлюється потрібне значення. Щоб перемикання з автоматичного режиму на ручне керування не привело до різкої стрибкоподібної зміни вихідного струму, в задавачеві реалізований алгоритм, так званого *плавного переходу*. Тобто при переході на ручне керування, регулювання починається не з якогось довільного або раніше

встановленого значення, а з того значення сигналу, яке було на виході задавача на момент перемикання режиму керування.

3.2. Пристрої порівняння

Якщо в автоматичній системі керуючий вплив формується на основі інформації про відхилення регульованої величини від заданого значення, тобто система побудована на основі принципу регулювання за відхиленням, в регулюючому пристрої необхідно здійснювати порівняння дійсного значення регульованої величини з заданим значенням та керувати об'єктом у залежності від результатів цього порівняння. Такою частиною регулятора, що виробляє сигнал розузгодження ΔY (різниця між поточним значенням регульованого параметра Y_i і заданим Y_z), а саме:

$$\Delta Y = Y_i - Y_z,$$

і є елемент порівняння (ЕП).

При відхиленні регульованої величини від заданого значення на елементі порівняння формується сигнал $\Delta(y)$, який після підсилення і перетворення за необхідним алгоритмом у регуляторі здійснює керування роботою виконавчого механізму. Останній впливає на регулюючий орган, змінюючи значення вхідного сигналу доти, поки не зникне відхилення поточного значення регульованої величини від заданого, тобто до моменту виконання умови $\Delta Y = 0$.

Елементи порівняння умовно зображуються так, як показано на рис. 3.4.

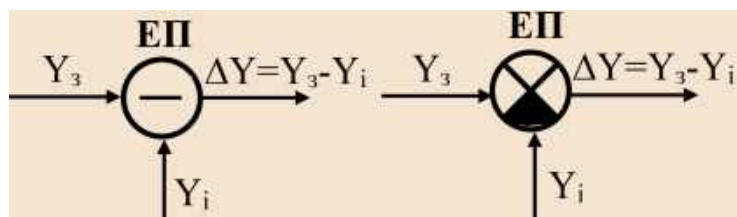


Рис. 3.4. Умовне зображення елементів порівняння

Пристрої порівняння аналогових сигналів (компаратори) виконують функцію порівняння двох вхідних сигналів між собою, або одного вхідного сигналу з деяким наперед заданим еталонним рівнем.

Як правило, до одного з входів під'єднують датчик, а до другого — задаючий пристрій.

До електричних дорівнюючих пристроїв відносяться мостові, потенціометричні, трансформаторні, диференційно-трансформаторні схеми, електромеханічні пристрої, нуль-органи та ін.

На даний час розроблені спеціальні інтегральні компаратори сигналів. На відміну від звичайних компараторів на ОП, в інтегральних компараторах їх швидкодія набагато більша.

У режимі двопозиційного регулятора ЕП порівнює значення вхідної величини з уставками і видає керуючий сигнал на вихідний пристрій відповідно до заданої логіки. Так як вихідний сигнал двопозиційного регулятора може мати тільки два значення: *максимальне* і *мінімальне*, тобто одне з них включає, а інше вимикає вихідний пристрій, то останній повинен бути дискретного типу, наприклад, електромагнітне реле, транзисторна оптопара, оптосимістори, вихід для керування зовнішнім твердотільним реле).

У табл. 3.1 наведені типові параметри деяких компараторів напруги.

Таблиця 3.1. Типові параметри деяких компараторів напруги

Параметри	Тип компаратора		
	521CA1	521CA4	ADCMP533
Напруга зміщення, мВ	3,5	4	5
Час затримки, нс	110	26	0,17
Напруга живлення, В	6	± 9	3,15 ÷ 6,5
Струм живлення, мА	6,5	7,5	52

Слід зауважити, що до більшості об'єктів в машинобудівній, металургійній і в інших галузях промисловості пред'являють більш високі вимоги до якості регулювання і тому використовують досить складні технічні засоби. Для таких систем основні функціональні елементи випускають у вигляді окремих приладів.

3.3. Підсилювачі електричних сигналів

Загальні відомості та класифікація підсилювачів. Підсилювач - це пристрій, в якому відбувається підсилення вихідного сигналу датчика або перетворювача до величини, необхідної для живлення виконавчих пристроїв за рахунок додаткового джерела енергії. Викорис-

тання підсилювачів викликано тим, що зазвичай, електричні сигнали (напруга і струм), що надходять в електронні пристрої малі по амплітуді, і тому виникає необхідність збільшувати їх до необхідного значення, достатнього для подальшого використання (перетворення, передачі, подачі на навантаження).

На рис. 3.5 представлені пристрої, необхідні для роботи підсилювача.

Потужність, що виділяється на навантаженні підсилювача, є перетвореною потужністю його джерела живлення, а вхідний сигнал тільки керує нею.

Підсилювачі живляться від джерел постійного струму.



Рис. 3.5. Спрощена схема підсилювача

Зазвичай підсилювач складається з декількох каскадів підсилення (рис. 3.6).

Перші каскади підсилення, призначені, головним чином для підсилення напруги сигналу. Їх називають *попередніми* підсилювачами. Їх схемна побудова визначається типом джерела вхідного сигналу.

Каскад, що підсилює потужність сигналу, називають *кінцевим* або *вихідним*. Його основна особливість - робота при високих рівнях вхідного сигналу і великих вихідних струмах, що викликає необхідність використовувати потужних підсилювальних приладів. Так само, до складу підсилювача можуть входити *проміжні* каскади, що призначені для отримання необхідного *коефіцієнта підсилення* і (або) формування необхідних характеристик підсилюючого сигналу.

Найпростіший підсилювач являє собою схему на основі транзистора чи транзисторів. Але для сучасних підсилювачів характерним є широке використання мікросхем, і в першу чергу – *операційних підсилювачів (ОП)*.



Рис. 3.6. Блок – схема підсилювача

Можна сказати, що операційні підсилювачі є основою всієї *аналогової* електроніки.

Широке поширення ОП пов'язано з їх універсальністю (можливість побудови на їх основі різних електронних пристроїв, причому, як аналогових, так і імпульсних), широким діапазоном частот (підсилення сигналів постійного і змінного струмів), незалежністю основних параметрів від зовнішніх дестабілізуючих факторів (зміна температури, напруги живлення та ін.). Присутність в назві слова "операційні" пояснюється можливістю виконання даними підсилювачами ряду математичних операцій - підсумовування, віднімання, диференціювання, інтегрування та ін. На рис. 3.7 умовно зображені інтегральні операційні підсилювачі. Підсилювач має два входи - прямий і інверсний, і один вихід. При подачі вхідного сигналу на прямий вхід, вихідний сигнал має ту ж полярність (фазу).

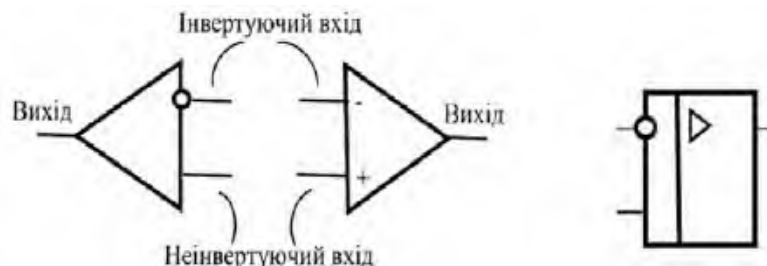


Рис. 3.7. Умовно-графічні позначення операційних підсилювачів

При виборі підсилювача виходять з параметрів підсилювача:

- *Вихідної потужності*, що вимірюється в *ватах*. Вихідна потужність варіюється в широких межах у залежності від призначення підсилювача, наприклад в підсилювачах звуку - від міліват у навушниках до десятків і сотень ват в аудіо системах.
- *Діапазону частот*, що вимірюється в *герцах*. Наприклад, той же підсилювач звуку зазвичай повинен забезпечувати підсилення в діапазоні частот 20 - 20 000 Гц, підсилювач телевізійного сигналу (зображення + звук) - 20 Гц - 10 МГц і вище.

- *Нелінійного спотворення*, вимірюються у відсотках, %. Характеризується спотворення форми підсилювального сигналу. Зазвичай чим менше цей параметр, тим краще.

- *ККД (коефіцієнта корисної дії)*, вимірюються у відсотках, %. Показує, яка частина енергії джерела живлення витрачається на виділення потужності в навантаженні.

Справа в тому, що частина потужності джерела витрачається марно, в більшій мірі це теплові втрати - протікання струму завжди викликає нагрів матеріалу.

Особливо критичним даний параметр є для пристроїв з автономним живленням (від акумуляторів і батарей).

У підсилювачах вхідна і вихідна величини мають однакову фізичну природу.

Підсилювачі є елементами датчиків, перетворювачів, виконавчих пристроїв.

Підсилювачі по виду енергії класифікуються на *механічні, гідравлічні, пневматичні, електричні*.

Основними характеристиками підсилювача є:

- вид статичної характеристики (лінійна, нелінійна);
- коефіцієнт підсилення;
- чутливість;
- швидкодія;
- точність відтворення вхідної величини.

Тип і характеристики підсилювача залежить від типу і характеристик датчика, перетворювача і виконавчого пристрою.

Окрім електричних підсилювачів змінного струму в системах автоматики широко використовуються підсилювачі *постійного* струму. Підсилювачі *постійного струму* застосовуються для підсилення сигналів при керуванні виконавчими пристроями невеликої потужності - електромагнітними реле і обмотками збудження електродвигунів. Потужність таких підсилювачів може досягати декількох десятків ват.

Суттєвим недоліком подібних схем є наявність *дрейфу нуля*, викликаного зміною температури навколишнього середовища і величини напруги живлення $U_{ж}$.

Контрольні запитання

1. Яке призначення задавачів систем автоматичного регулювання (керування)?
2. Поясніть, які функціональні можливості у задавачів різних виробників.
3. Назвіть основні технічні характеристики ручних задавачів.
4. Які вимоги висуваються до задавачів?
5. Поясніть використання цифрових потенціометрів як задавачів САК.
6. У чому полягає доцільність використання цифрових потенціометрів як задавачів?
7. Яку функцію виконує мікросхема MAX5456?
8. Яке призначення пристрою, що задає в САУ?
9. Як і в якому вигляді представляються задані величини в САК?
10. Поясніть роботу пристрою, що задає, виконаного за релейною схемою.
11. Яку функцію виконують пристрої порівняння в САК?
12. Поясніть роботу електричної схеми порівняння.
13. Як можна порівнювати механічні величини?

АВТОМАТИЧНІ РЕГУЛЯТОРИ

4.1. Призначення та класифікація автоматичних регуляторів

Автоматичним регулятором називають пристрій, що призначений для підтримки керованої величини на заданому рівні або змінювання її до необхідної, що задається *законом регулювання*. Регулятор - це засіб автоматизації, який отримує, підсилює та перетворює сигнал відхилення регульованої величини і цілеспрямовано діє на об'єкт керування. При відхиленні регульованого параметра об'єкта від заданого значення, регулятор формує керуючу дію на регулюючий орган, щоб зменшити це відхилення.

Регулятор може бути побудований на різних принципах. Найзнаменитіший з перших регуляторів є *відцентровий регулятор Уатта*, що був призначений для стабілізації частоти обертання парової турбіни. Уатт (Watt) Джеймс, шотландець, винахідник - механік, творець універсального парового двигуна. Його іменем названа одиниця вимірювання потужності – *ват*.



Джеймс Уатт
(1736-1819рр.)

Вид регулятора стабілізації частоти обертання парової турбіни зображено на рис. 4.1.

Коли частота обертання збільшується, кульки розходяться через збільшення відцентрової сили. При цьому через систему важелів трохи закривається заслінка, зменшуючи потік пари на турбіну.

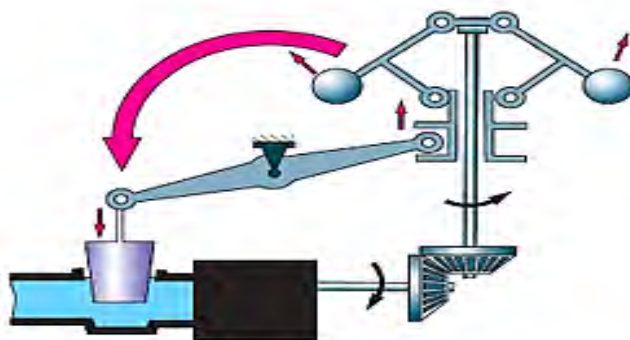


Рис. 4.1. Зображення відцентрового регулятора Уатта

Принцип його дії наступний. Чим швидше наростає кількість обертів, тим далі розходяться кульки. Вони через важіль переміщують клапан, який перекриває паропровід і кількість обертів знижується.

ся. Якщо оберти навпаки знижуються, кульки опускаються і клапан відкриває паропровід, число обертів збільшується.

Такі регулятори використовувалися в старих паровозах, але вони так само успішно використовуються і в сучасних тепловозах.

Це реально корисний і простий винахід, який працює безвідмовно. Автоматичний регулятор виконує завдання, яке визначається задаючим елементом (важіль, педаль, колесо, заслінка тощо). Регулятор виробляє регулюючу дію, яка через виконавчий пристрій і регулюючий орган діє на об'єкт регулювання. Автоматичні регулятори класифікують за різними ознаками, наприклад: за видом регульованого параметра, за видом регульованого впливу, за родом енергії, за конструктивним виконанням, за законом регулювання та ін.

За *видом регульованого параметра* регулятори поділяють на регулятори температури, тиску, рівня, частоти обертання, напруги тощо.

За *видом регульованого впливу* регулятори бувають *прямої дії*, у яких енергія для переміщення регулюючого органу виникає внаслідок вимірювання регульованого параметру, та регулятори *непрямої дії*, які отримують енергію від стороннього джерела.

За *родом енергії* регулятори поділяють на *електричні, гідравлічні, пневматичні та комбіновані*.

За *конструктивним виконанням* регулятори бувають *апаратні, приладні, агрегатні та модульні*.

Регулятор *апаратного* типу - це пристрій, який працює у комплекті з первинним вимірювальним перетворювачем.

Регулятори *приладного* типу отримують сигнал від вторинного перетворювача, на який поступає сигнал від первинного вимірювального перетворювача.

Регулятори *агрегатного* типу побудовані із окремих блоків: *вимірювального, підсилювального, задавального* тощо.

Автоматичні регулятори *модульного* типу складаються із окремих елементів, які виконують найпростіші операції.

За *законом регулювання* регулятори підрозділяють на *лінійні і нелінійні*.

У свою чергу лінійні регулятори поділяють на: *пропорційні, пропорційно-інтегральні та пропорційно-інтегрально-диференціальні*, а нелінійні – на *позиційні й імпульсні*.

З позиційних регуляторів найчастіше використовують *дво- та трипозиційні* регулятори.

4.2. Поняття про перехідні процеси та закони регулювання

Перехідний процес у замкненій системі називають *процесом автоматичного регулювання*. Як попередньо вже зазначалося, при виникненні збурення Z в об'єкті регулювання (ОР) замкнена САР здійснює певну дію регулювання X_p і на виході регулятора виникає *перехідний процес* – зміна в часі t сигналу ε розбалансу або перехід у часі регульованої величини Y з одного стану рівноваги на інший, який відповідає новому навантаженню або новому значенню завдання X_3 .

Системи автоматичного регулювання налаштовують на один з *типових перехідних процесів*, тобто якість автоматичного регулювання визначається видом перехідного процесу при регулюванні, по іншому скажемо, характером повернення регульованої величини до заданого значення після деякого збурення (з боку навантаження або завдання).

Велике практичне значення в автоматичності має *крива розгону* – це реакція вихідної величини $y(t)$ елемента на ступінчасту одиничну (миттєву) зміну входної змінної $\Delta X = I(t)$. При цьому необхідно, щоб до прикладення входного впливу, досліджувана ланка знаходилась у стані спокою, тобто параметри не змінювалися у часі (рис. 4.2).

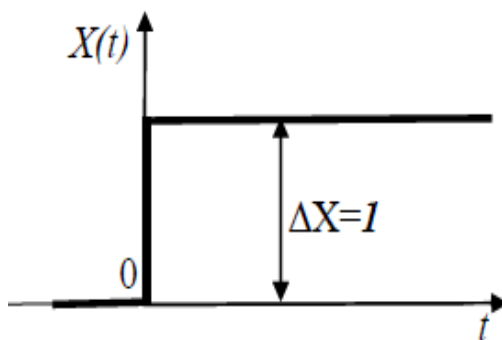


Рис. 4.2. Графічне зображення ступінчастого збурення

Криву розгону часто знімають експериментально на діючому об'єкті керування.

На рис. 4.3 зображено приклади типових перехідних процесів САР, а саме, *апериодичний* (а) та *коливальні* (б і в) з різними ступенями згасання, де y – регульований параметр, y_3 – задане значення регульованого параметра.

Аперіодичний процес приймають у тих випадках, коли перерегулювання не допускається. Процес з пере регулюванням є доцільний, коли перерегулювання допускається, але до нього висуваються певні вимоги (обмеження).

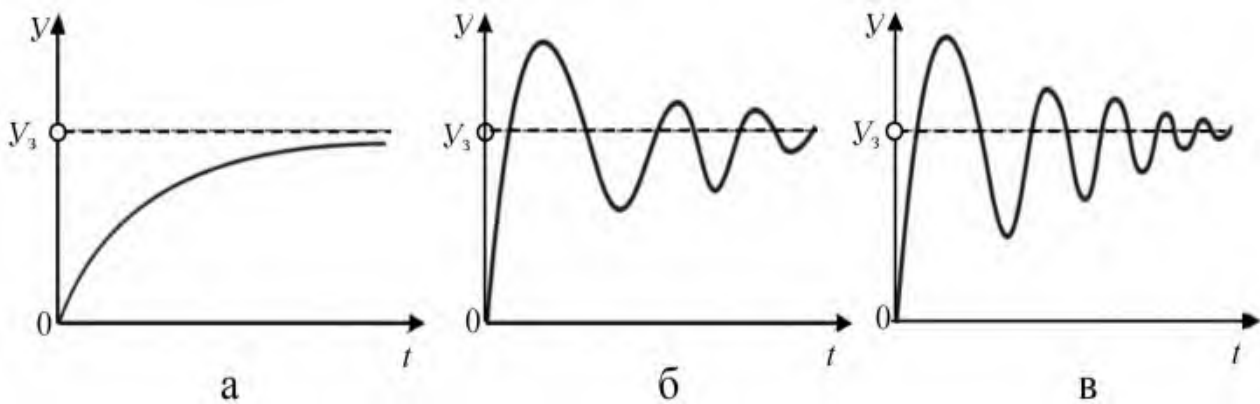


Рис. 4.3. Приклади типових перехідних процесів САР

Перехідний процес в системах автоматичного регулювання (керування) характеризується перш за все наступними показниками:

$\varepsilon_{ст}$ – статичною похибкою;

t_p – часом регулювання;

ζ – перерегулюванням;

u_{max} – максимальним динамічним відхиленням;

n – коливальність.

Статична похибка $\varepsilon_{ст}$ – це різниця між запропонованим і дійсним значенням регульованої величини в сталому режимі (див. рис. 4.4). Очевидно, САР з таким перехідним процесом не буде виконувати своєї основної функції, тобто забезпечувати в ідеалі $\varepsilon = 0$, і не буде приводити її до нового стану рівноваги.

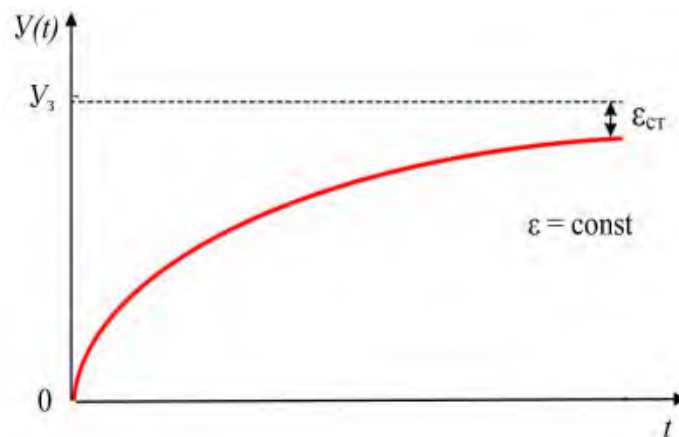


Рис. 4.4. Визначення статичної похибки

Інші вище згадані показники доцільно розглянути, використовуючи коливальний перехідний процес, див. рис. 4.5.

Час регулювання t_p - це відрізок часу від подачі збурення впливу до досягнення регульованою величиною заданого значення, по закінченні якого відхилення $y(t)$ перехідної характеристики від сталого значення стає й залишається менше заданої величини $\Delta=0,05$ від y_z . t_p визначає швидкодію САР.

Перерегулювання ζ - це динамічна похибка, яка віднесена до заданого значення регульованої величини у відсотках:

$$\sigma = \frac{y_{max} - y_z}{y_z} \cdot 100\% = \frac{\varepsilon_{дин}}{y_z} \cdot 100\%.$$

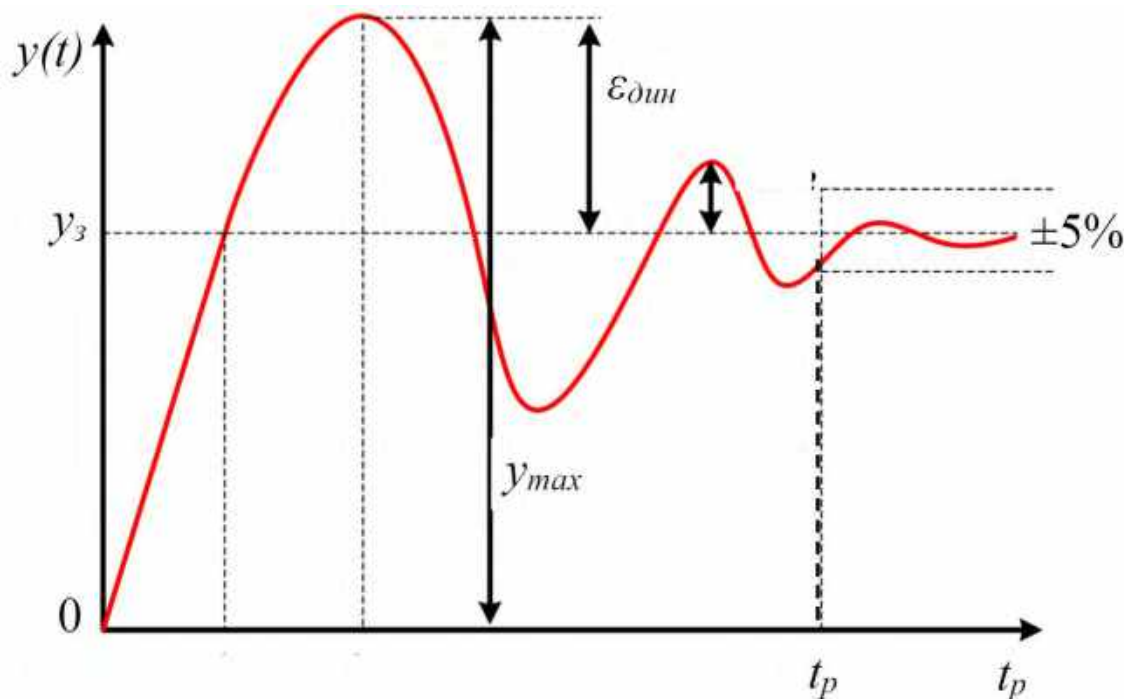


Рис. 4.5. Визначення динамічних параметрів

Коливальність n – характеризується числом коливань, величини, що регулюється за час регулювання t_p .

Динамічна похибка $\varepsilon_{дин}$ є максимальне відхилення регульованої величини від запропонованого (заданого) значення

$$\varepsilon_{дин} = y_{max} - y_z,$$

де y_z - задане значення регульованої величини.

Необхідний вид перехідного процесу багато в чому зумовлюється вимогами технології керованого об'єкта. В одних випадках важливою вимогою є мінімальний час регулювання, в інших - мінімально можливе динамічне відхилення. Таким чином, кожний з типових перехідних процесів має свої переваги й недоліки, і переваги тієї або іншої форми процесу досягають із урахуванням особливостей об'єкта регулювання.

Вибір закону регулювання та знаходження параметрів налаштування ведеться за попередньо визначеними *динамічними властивостями* об'єкту регулювання (керування), а також вимогами з боку технологічного процесу. Саме динамічні властивості об'єкта регулювання відіграють основну роль у виборі найбільш ефективного закону регулювання.

Існуючі методики вибору закону регулювання та визначення параметрів налаштування регуляторів викладені докладно у відповідних літературних джерелах.

Окрім вибору закону регулювання та знаходження потрібних значень параметрів налаштування регуляторів для задовільної роботи САР, система автоматичного регулювання повинна бути *стійкою* (*збіжною*). Це коли перехідні процеси завершуються новим станом рівноваги. Якщо новий стан рівноваги в САР не настає, то такий перехідний процес називається *нестійким* (*незбіжним*). Стійкість САР – необхідна, але далеко не достатня умова доцільності її застосування.

Очевидно, що стійка система при відпрацьовуванні різних сигналів може бути недостатньо точною, перехідні процеси керування в ній можуть затухати надто повільно.

На рис. 4.6 зображено графіки перехідних процесів, що є характерними для стійкої (а) та нестійкої (б) систем регулювання. Як видно, стійка система САР сходиться або затухає, а нестійка розходиться, амплітуда коливань зростає.

Комплекс вимог, що визначають поведінку системи в усталеному та перехідному процесах відпрацьовування заданої дії, об'єднується поняттям *якості процесу керування*.

Вимоги до цього комплексу висовуються практикою. При невдалому виборі параметрів регулятор може бути таким, що САР не заспокоює систему, а навпаки – її розгойдує. При цьому крива процесу регулювання буде відходити від заданої величини u_z .

Основними показниками якості є:

- час регулювання;

- перерегулювання;
- коливальність;
- статична (усталена) похибка;
- динамічна похибка

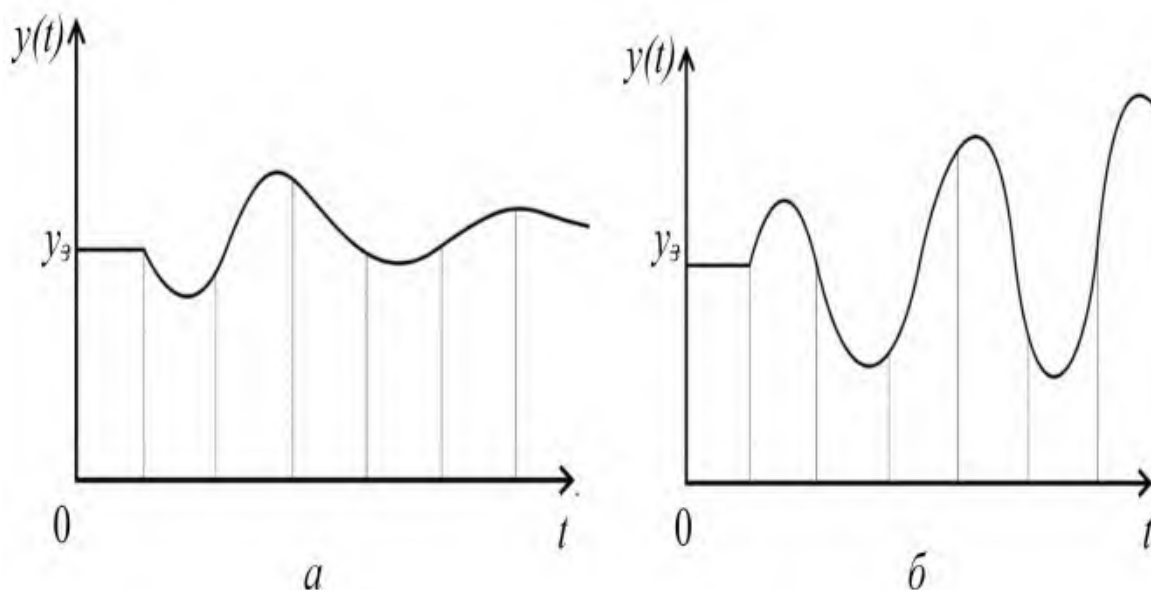


Рис. 4.6. Стійка (а) і нестійка (б) системи САР

Якість САР визначається як загальний показник відповідності системи установленим нормам (найчастіше з точки зору *точності* і *швидкодії*).

Точність САР визначається в *усталеному* режимі за величинами похибок.

Слід прийняти до уваги, що система може бути стійкою, але перехідні процеси в ній затухають протягом тривалого часу, чи відхилення від положення рівноваги можуть бути значними. Така система не буде задовольняти вимогам якості, тому необхідно розглядати якість керування в *перехідних процесах*, тобто досліджувати якість перехідних процесів. Таким чином, в загальному випадку якість САР визначається:

1. Похибками в усталеному режимі (точність САР при заданій вхідній дії).
2. Якістю перехідних процесів.

Прямі показники якості перехідних процесів визначаються по перехідній характеристиці САР. Вони розглянуті в попередньому підрозділі.

Перехідний процес може відбуватись по різному, залежно від того, яку стійкість, якість і точність забезпечує САР.

4.3. Закони регулювання та регулятори, що їх реалізують

Законом регулювання $y=f(x)$ називається залежність між вихідною регульованою дією (y) і його вхідною регулюючою дією (x).

Найчастіше вхідною регулюючою дією є сигнал неузгодження $x(t) = x_{зд}(t) - x_d(t)$, різниця між заданим значенням $x_{зд}$ САР і фактичним x_d (значення датчика).

У виразах законів регулювання присутні змінні величини – $x(t)$ і $y(t)$, а також постійні коефіцієнти – параметри закону регулювання.

Закони регулювання бувають *лінійними* і *нелінійними*.

Лінійність полягає в тому, що змінна $x(t)$, її похідна й інтеграл входять у рівняння закону тільки в перших ступенях. У інших випадках закони регулювання є нелінійними.

Розглянемо окремі випадки лінійних законів регулювання, а саме: *пропорційний (П)*, *інтегральний (І)*, *пропорційно-інтегральний (ПІ)*, *диференціальний (Д)*, *пропорційно-диференціальний (ПД)*, *пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД)* закони.

Пропорційний закон – характеризується пропорційною залежністю між вхідними та вихідними координатами:

$$y(t) = K_p \cdot x(t) + y_0,$$

Він характеризує велику швидкість дії. На практиці це досягається за рахунок введення підсилювачів. Підвищення коефіцієнта K_p призводить до зменшення похибки в усіх типових режимах. Проте підвищення обмежується стійкістю системи. При підвищенні коефіцієнта K_p система наближається до межі стійкості.

Регулятор, що реалізує пропорційний закон регулювання називають *пропорційним* або *П-регулятором*. П-регулятори діють на регулюючий орган пропорційно відхиленню регульованої величини від заданого значення. Параметром налагодження П-регулятора є коефіцієнт передачі регулятора (K_p). Вхідним сигналом регулятора є відхилення регульованої величини від заданого значення. Пропорційний регулятор забезпечує простий швидкодіючий процес регулювання системи, але має статичну похибку (ϵ). Цю похибку можна зменшити за

рахунок підвищення K_p , але її не можна усунути остаточно, залишаючись у рамках пропорційного закону.

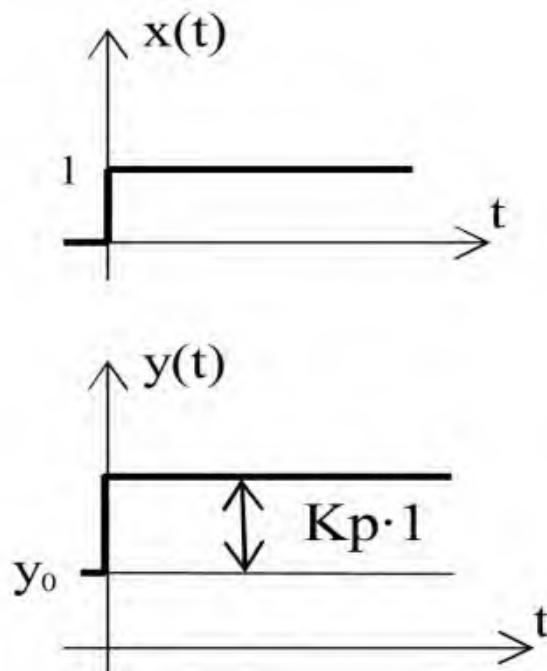


Рис. 4.8. Часові характеристики П – регулятора

На об'єктах з невисокими вимогами точності цього може бути досить, але треба враховувати, що підвищення K_p знижує запас стійкості. З цього випливає, що розрахунок налаштувань регулятора ґрунтується на компромісі між точністю і стійкістю. Пропорційні регулятори здійснюють досить стійке регулювання.

Інтегральний закон – встановлює пропорційну залежність між швидкістю зміни регульованої величини dx/dt і вхідною змінною регулятора. Характеризує високу точність дії. Введення похідної призводить до зменшення амплітуди коливань перехідного процесу.

Інтеграл визначає площу під кривою зміни відхилення величини, що регулюється. Звідси інтегруюча ланка, як корекція, що здійснює вплив головним чином в кінці перехідного процесу і ліквідує статичну похибку в усталеному режимі.

$$y(t) = K_I \int_0^t x(t) dt + y_0 = \frac{1}{T_I} \int_0^t x(t) dt + y_0 ,$$

Регулятор, що реалізує інтегральний закон регулювання називають *інтегральним* або *I-регулятором*. Цей регулятор за похідною від

похибки – реалізується використанням диференційної ланки. Параметром його настройки є коефіцієнт k_2 , який являється сталою часу (T).

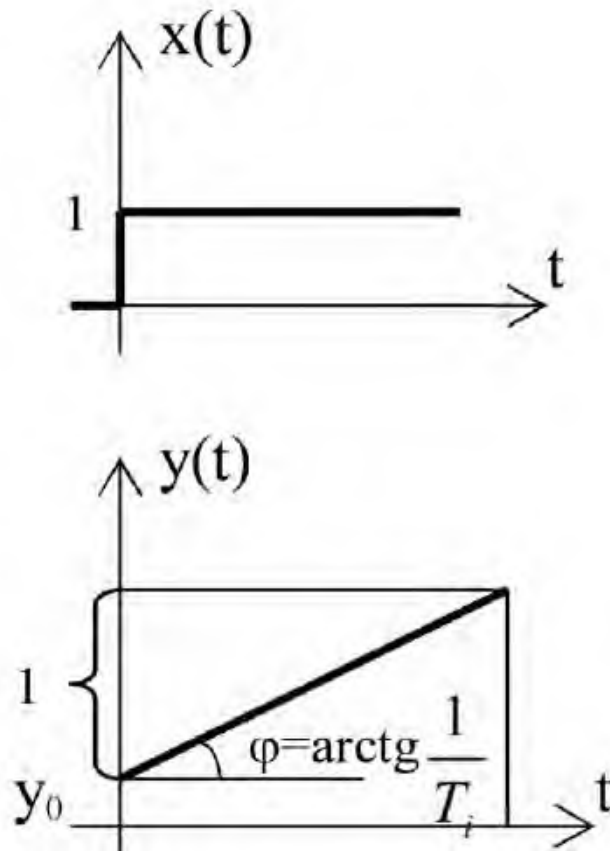


Рис. 4.9. Часові характеристики І – регулятора

Пропорційно-інтегральний закон – об'єднує два закони регулювання: пропорційний і інтегральний:

$$y(t) = K_p \left(x(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t x(t) dt \right) + y_0 ,$$

Регулювання за цим законом ще називають *ізодромним* (об'єднує швидкість і точність дії), а сам регулятор має назву *пропорційно-інтегральний (ПІ-регулятор)* або *ізодромний*.

Зміна регулюючої дії $x(t)$ на об'єкт регулювання залежить не тільки від відхилення керуючої величини, але й від швидкості цього відхилення dy/dt , тобто в цей закон регулювання введена *похідна*.

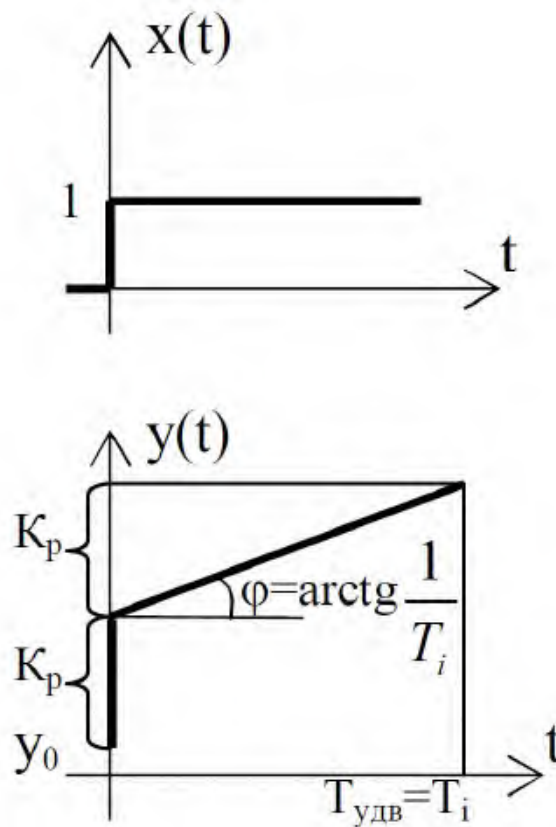


Рис. 4.10. Часові характеристики ПІ – регулятора

Сигнал за похідною dy/dt збільшує затухання коливань, а сигнал за відхиленням y – зменшує статичну похибку.

T – час інтегрування (подвоєння) – це час, протягом якого інтегральна складова змінює вихідну величину $y(t)$ настільки, наскільки змінила її перед цим пропорційна складова.

Час подвоєння служить мірою інтенсивності інтегральної частини.

Пропорційно-інтегральний закон регулювання – найпоширеніший, тому що він поєднує в собі кращі властивості пропорційного й інтегрального законів, але на деяких об'єктах ПІ-закон не забезпечує достатньої швидкості.

Цей регулятор має два параметра настройки: коефіцієнт K_p і T – сталу часу інтегрування.

Пропорційно-диференціальний закон регулювання:

$$y(t) = K_p \left(x(t) + T_d \frac{dx(t)}{dt} \right) + y_0,$$

здійснюється як за відхиленням керуючої величини так і за першою похідною від похибки. Окремо *диференціальний* закон не має самостійного значення, так як при сталому значенні похідна дорівнює нулю – регулювання призупиняється).

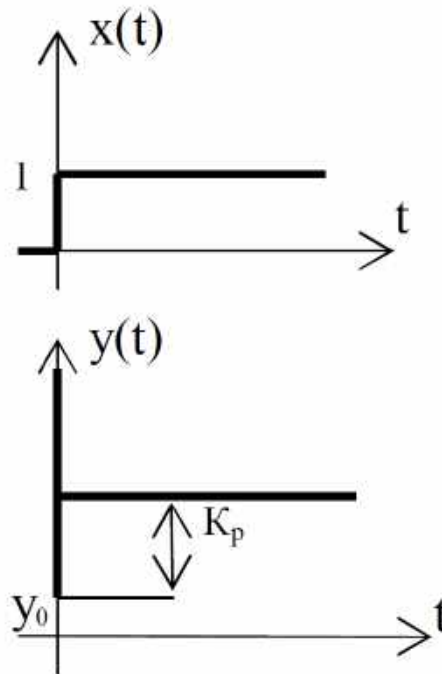


Рис. 4.11. Часові характеристики ПД – регулятора

Регулятор, що реалізує *пропорційно-диференціальний* закон регулювання повторює його назву, тобто є *пропорційно - диференціальним* або *ПД-регулятором*.

Пропорційно-інтегрально-диференціальний закон – об'єднує попередні закони:

$$y(t) = K_p \left(x(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t x(t) dt + T_D \frac{dx(t)}{dt} \right) + y_0$$

Коефіцієнти K_p , T_I , T_D вказують на питому вагу кожної зі складових. Перша складова використовується самостійно в тому випадку, коли важлива тільки стійкість системи. Друга складова усуває статичну похибку, що виникає при використанні пропорційного регулятора, але при цьому час перехідних процесів збільшується. Третя складова випереджає реакцію на відхилення регульованої змінної з огляду на швидкість зміни сигналу відхилення, тобто поліпшує властивості регулятора при реакції на швидкозмінливі сигнали. Змінюючи співвідношення між K_p , T_I , T_D можна надавати регулятору ті або інші власти-

вості, так щоб задовольнити вимогам якості регулювання більшості промислових об'єктів.

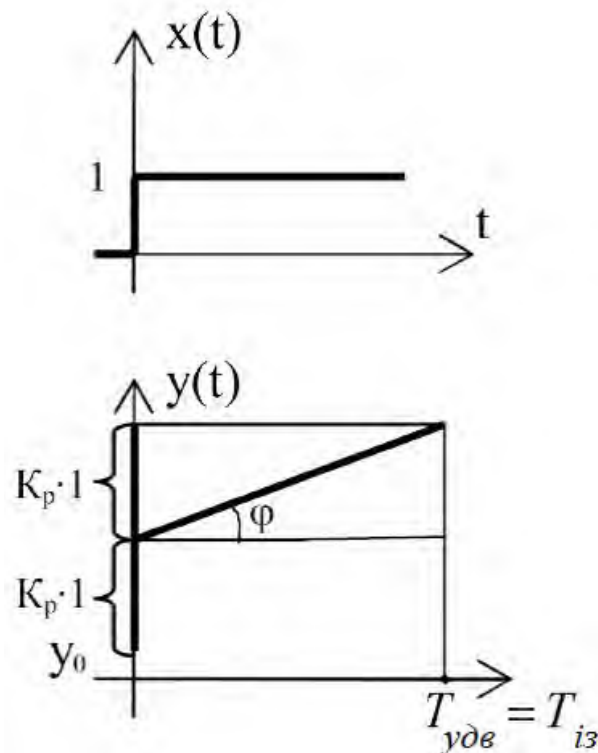


Рис. 4.12. Часові характеристики ПІД – регулятора

Регулятор, що реалізує ці закони регулювання називається *пропорційно-інтегрально-диференціальним (ПІД-регулятором)*. Він передбачає застосування комбінаційних послідовних коригуючих пристроїв, що складаються з диференційної та інтегральної ланок. В цьому випадку диференційна ланка зменшує схильність системи до коливань, а інтегруюча – зменшує статичну похибку. Іншими словами, похідна покращує процес регулювання в перехідному режимі, а інтеграл – в статичному. Цей регулятор має три параметра настройки: коефіцієнт передачі регулятора K_p , час ізодрому $T_{із}$ та час випередження $T_{вп}$. Цей регулятор є найбільш універсальним, оскільки за його допомогою можна здійснити різноманітні закони регулювання: при $T_{вп}=0$ та нескінченно великому $T_{із}$ отримуємо П-регулятор, а при $T_{із}=0$ отримуємо ПІ-регулятор.

Позиційні закони регулювання і регулятори (Т-регулятори). Позиційні закони регулювання відносяться до нелінійних і можуть бути досить різноманітними, але в стандартних регуляторах застосовують тільки 2-х (рис. 4.13) і 3-х *позиційні закони* (рис. 4.14).

K_1 і K_2 - величини керуючого впливу 2-х позиційного регулятора. Приклади деякого обладнання, що працюють за двопозиційним законом регулювання: холодильник, праска, кондиціонер.

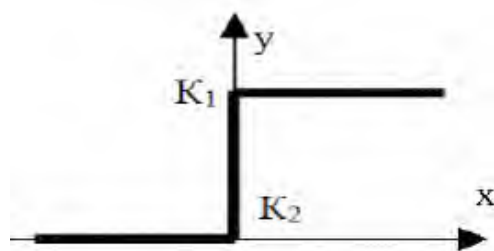


Рис. 4.13. Приклад дії двопозиційного закону регулювання

Реальний *позиційний* регулятор має зону нечутливості 2Δ (рис. 4.14), яка характеризує величину порогів спрацювання регулятора від заданого значення регульованої величини. Зона нечутливості є параметром налагодження і називається *диференціалом*. Як тільки відхилення регульованої величини перевищить $+\Delta$, на регулюючий орган подається сигнал керування. Він буде зберігатися до того часу, доки відхилення регульованої величини не стане рівним $-\Delta$.

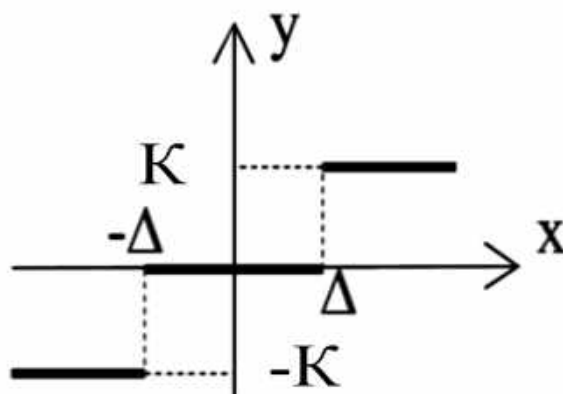


Рис. 4.14. Приклад трипозиційного закону регулювання з зоною нечутливості 2Δ

Величина керуючого впливу характеризується $-K$ і $+K$.

Недоліком позиційних законів регулювання є постійні коливання регульованої величини навколо заданого значення.

На рис. 4.15. наведено зображення найпростішого двопозиційного регулятора - контактного термометра, який має два або три контакти, які запаєні у скло капіляра. Чутливий елемент термометра – ртуть, при нагріванні розширюється і замикає контакти, а при охолодженні -

розмикає їх. Ртуть служить провідником електричного струму при замиканні контактів.

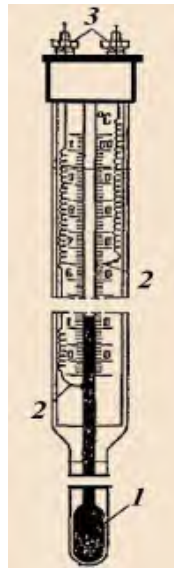


Рис. 4.15. Вид термометра електроконтактного: 1 - резервуар з ртуттю; 2 – металеві контакти, що впаяні в капіляр; 3 - затискачі контактів

Вітчизняною промисловістю випускаються електронні регулятори, які виконані у вигляді окремого приладу. На рис. 4.16 зображено один з регуляторів ОВЕН ТРМ151 для створення систем керування різного рівня складності.



Рис. 4.16. Вигляд регулятора ОВЕН ТРМ151

Прилад можна налаштувати на один зі стандартних типів регулювання (ПД) і, в тому числі, 2-х чи 3-х позиційного.

Для позиційного регулювання використовуються також контактні групи, увімкнені у первинні або вторинні прилади, наприклад, манометри для вимірювання і регулювання тиску.

Приклад 4.1. Вивчити принцип дії регулювання температури в приміщенні (див. нижче). Скласти структурну схему САР температури й пояснити її роботу, а також навести відповідні графіки, що могли б пояснити процес регулювання температури в приміщенні.

Опис роботи системи двопозиційного регулювання температури в приміщенні. Об'єктом регулювання температури є приміщення. Електричний нагрівач виконує роль робочого органу. Датчиком температури є біметалева пластина, яка впливає на стан виконавчого елемента – електромагнітного реле, що може знаходитися в стані «увімкнено» або «вимкнено», а значить електрична напруга, що подається на нагрівач, має тільки два значення - максимальне і мінімальне (нульове), тобто дві позиції (звідси і назва регулятора - двопозиційний).

Якщо температура в приміщенні менше заданої, то обігрівач включається і в будівлю починає надходити тепло. Температура в приміщенні підвищується. При досягненні необхідної величини, автоматичний двопозиційний регулятор відключає обігрівач. Температура в приміщенні знижується до мінімальної величини і регулятор включає обігрівач, і так повторюється багаторазово (див. рис. 4.17).

Процес регулювання являє собою коливання з певною частотою і амплітудою навколо завдання θ_z , значення яких визначається властивостями як регулятора так і об'єкта регулювання.



Рис. 4.17. Процес регулювання температури Т-регулятором

Нехай задане значення температури, що необхідно підтримувати в приміщенні, становить $\theta_z = 18^\circ\text{C}$, а поріг спрацьовування $\pm 2^\circ\text{C}$. Процес регулювання температури Т-регулятором буде відбуватися таким чином. Уявимо, що спочатку температура в приміщенні буде $\theta \leq 16^\circ\text{C}$, тобто менша ніж задана $\theta_z = 18^\circ\text{C}$. Регулятор включає обігрівач, у результаті чого тепло подається в приміщення. Через певний

час t_o , температура починає підвищуватися і досягає заданого значення $\theta = 18^\circ\text{C}$. Однак, в силу нерівномірності розподілу температури в приміщенні та інерційності датчика температури і наявності порога спрацьовування, регулятор вступає у дію трохи пізніше того часу, коли температура досягне заданого значення. За цей час, за рахунок приходу "зайвого" тепла, температура в приміщенні підніметься вище заданої, наприклад до 20°C , тобто проявляється ефект перерегулювання. Регулятор відключається і припиняється подача теплоносія, а значить в приміщення припиняється і подача тепла. Падіння температури триває до заданого значення 18°C і нижче, в силу все тієї ж інерційності системи і наявності порога спрацьовування. Регулятор спрацює тільки при температурі, наприклад, 16°C , після чого в приміщенні буде підніматися температура.

Приклад 4.2. Вивчити принцип дії й графічно зобразити процес регулювання температури в холодильній камері (читай нижче) та пояснити роботу.

Опис роботи системи регулювання температури в камері холодильника). Розглянемо систему стабілізації температури в холодильнику. В кожному холодильнику застосовується проста система автоматичного регулювання, мета функціонування якої полягає в стабілізації температури в камері холодильника при зміні маси і температури продуктів, що закладають, або при відкриванні дверці.

До приладів автоматики побутових холодильників відносяться:

- *датчики-реле* температури (*терморегулятор*) для підтримки заданої температури в холодильній або низькотемпературній камері побутових холодильників;
- *пускове реле* для автоматичного включення пускової обмотки електродвигуна при запуску;
- *захисне реле* для запобігання обмоток електродвигуна від струмів перевантаження;
- *прилади автоматики* для видалення снігового покриву зі стінок випарника.

На рис. 4.18 наведена спрощена схема системи стабілізації температури, в якій у якості керуючого пристрою використовується релейний елемент із зоною нечутливості.

Тут: U_z - сигнал заданої температури; $U_{\text{кам}}$ - сигнал температури камери; ПП - підсилювач потужності з релейною характеристикою, яка включає або відключає холодильний агрегат (ХА), «прокачуючи»

холодоагент через трубки камери; ДТ - датчик температури, вихідний сигнал U_k якого пропорційний температурі камери; ЕП – елемент порівняння заданої температури і дійсної; Δ - різниця між заданою і дійсною температурою.

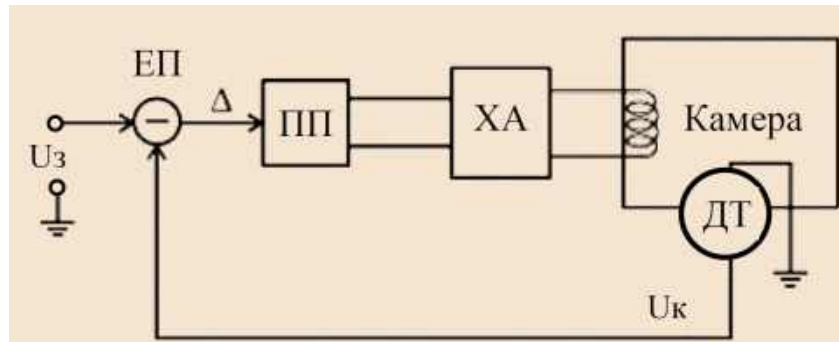


Рис. 4.18. Функціональна схема системи стабілізації

Терморегулятор призначений для підтримки в холодильнику, заданої температури шляхом автоматичних вимкнень і включень електродвигуна компресора (в компресійних холодильниках) або нагрівача в (в абсорбційних холодильниках).

При регулюванні холодопродуктивності, шляхом періодичних зупинок і пусків агрегату, температура в холодильнику буде коливатися, що в певній мірі залежить від чутливості терморегулятора.

Терморегулятором побутового холодильника є важільний механізм з силовим важелем і контактною системою, що вмикається в електричний ланцюг холодильника. На силовий важіль впливає пружний елемент (сильфон) термочутливої системи.

Термочутлива система манометричного типу складається з пружного елемента - сильфона (металевий балон з гофрованими стінками) або мембрани з припаяною до них трубкою. Система наповнена невеликою кількістю фреону або хлорметилем і ретельно герметизована.

При зниженні температури трубки знизиться тиск насичених парів у термосистемі. Під впливом основної пружини, гофри сильфона будуть стискуватися і силовий важіль повернеться навколо своєї осі, в результаті чого контакти розімкнуться. При підвищенні температури тиск насичених парів відповідно зросте. Долаючи опір пружини, гофри сильфона розширяться, і важіль повернеться в протилежну сторону, а контакти при цьому замкнуться.

З цього випливає, що задана температура, при якій будуть розмикатися контакти, залежить від зусилля пружини. Так, при меншому

зусиллі пружини контакти будуть розмикатися при відповідно меншому тиску парів в термочутливій системі і, отже, при більш низькій температурі.

Для одержання більш високої температури, зусилля пружини, навпаки має бути великим. В цьому випадку пружина повинна подолати більший опір сильфона, так як при більш високій температурі буде більший тиск парів фреону в термочутливій системі. Таким чином, для зміни заданої температури, необхідно змінювати зусилля основної пружини. Практично це здійснюють ручкою терморегулятора, при повороті якої змінюється натяг пружини.

У побутових холодильниках застосовують терморегулятори різних конструкцій, проте окремі їх елементи виконують цілком певні функції, однакові для всіх конструкцій.

Імпульсні регулятори.

Імпульсними називають регулятори, у яких при зміні вхідної величини виробляються керуючі сигнали, що подаються на регулюючий орган у вигляді імпульсів тривалістю t_i через рівні інтервали часу. Амплітуда цих імпульсів може бути пропорційна відхиленню або незмінною. Імпульсні регулятори при відхиленні регульованого параметра переміщують регулюючий орган із перервами у часі.

Імпульсні регулятори в автоматичних системах регулювання найчастіше застосовуються з електромагнітними пускачами або реле.

Коли відхилення регульованої величини перевищує значення порогу Δ спрацьовує пускач, який подає на виконавчий механізм імпульс напруги тривалістю t_i . При цьому виконавчий механізм буде переміщувати регулюючий орган з постійною швидкістю. Під час пауз між імпульсами пускач вимикається, і виконавчий механізм перебуває у нерухомому стані.

На виконавчий механізм буде поступати серія імпульсів доти, поки відхилення регульованої величини не перевищить значення визначеної зони $\Delta - \Delta_n$, де Δ_n - зона повернення релейного елемента в початковий стан.

Більшість сучасних регуляторів побудовані за такою ж схемою, оскільки такий регулятор може реалізовувати позиційний, імпульсний або неперервний закон регулювання.

Контрольні запитання

1. Яке призначення регулятора?
2. Який принцип дії одного з перших автоматичних регуляторів - регулятора Уатта?
3. За якими ознаками класифікують автоматичні регулятори?
4. Наведіть приклад типового вхідного впливу. Для чого вони потрібні?
5. Що називається перехідною характеристикою?
6. Перелічіть типові закони, що лежать в основі дії автоматичних регуляторів.
7. У чому полягає достоїнство і недоліки II -регуляторів?
8. Назвіть рівняння динаміки пропорціональної ланки.
9. Зобразіть графік перехідної характеристики I -регулятора.
10. Назовіть параметри настройки III -регулятора.
11. Що собою уявляють позиційні (релейні) регулятори?
12. Присутність яких параметрів є характерним для позиційних регуляторів?
13. Наведіть приклади використання двопозиційних регуляторів в побутовому господарстві.
14. Чим відрізняються двопозиційні регулятори від трипозиційних?
15. Дайте тлумачення назві «імпульсні» регулятори.
16. За якими параметрами здійснюють оцінку якості дії САР?

5.1. Контактні електромагнітні та електричні пристрої комутації

5.1.1. Електромагнітні реле

Одним з найбільш розповсюджених електричних елементів у схемах автоматики є *електромагнітні реле*. Основною властивістю реле є можливість керувати досить потужними виконавчими електричними механізмами. Вперше, термін «реле» фігурує в тексті патенту



на винахід телеграфу за авторством С. Морзе в 1837 році. А сам пристрій електромагнітного реле було винайдено американцем Джозефом Генрі в 1831р і базувалося на електромагнітному принципі дії. Цікаво також, що термін «реле» походить від англійського слова «relay», яке в ті часи означало дію при передачі естафети спортсменами або ж підміну поштових коней на станціях, коли вони починають втомлюватися.

Широке застосування в схемах автоматики і системах захисту електроустановок отримали електромагнітні реле, завдяки своїй високій надійності і простоті принципу дії.

Робота електромагнітних реле заснована на використанні електромагнітних сил, що виникають в металевому сердечнику при проходженні струму по витків його котушки. На рис. 5.1 спрощено зображено електромагнітне реле, а на рис. 5.2 схема використання реле для включення виконавчого пристрою.

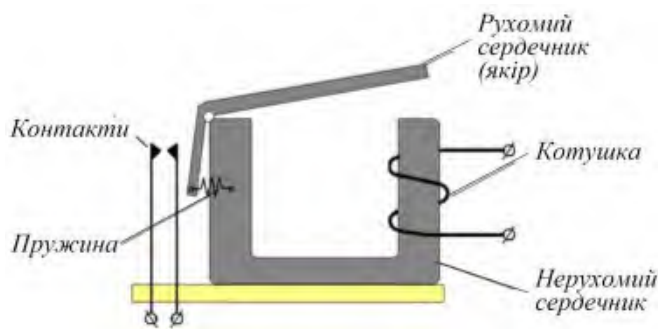


Рис. 5.1. Спрощене зображення електромагнітного реле

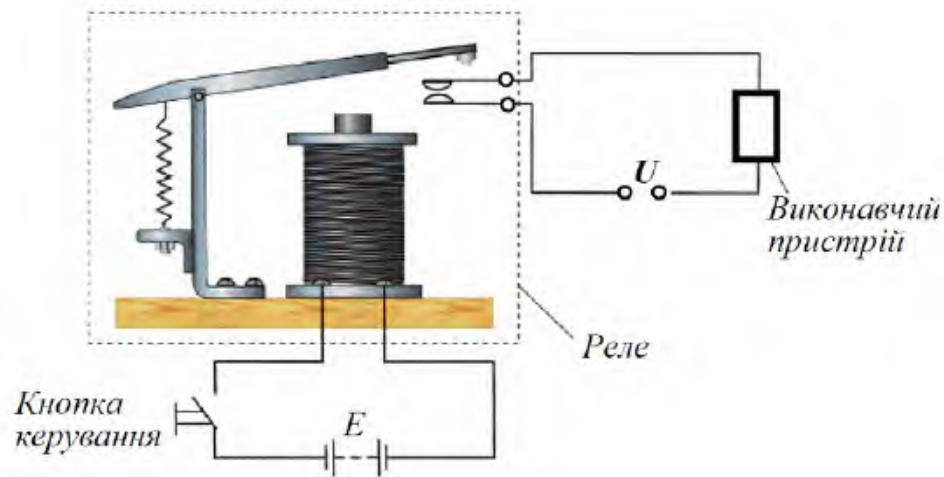


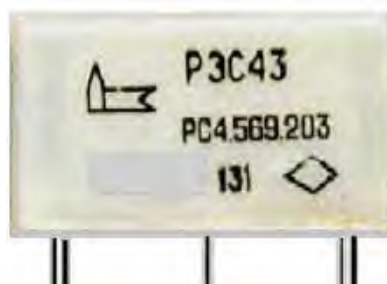
Рис. 5.2. Схема керування включенням виконавчого пристрою

Електромагнітне реле можна зробити чутливим до полярності напруги, підведеної до його обмотки. Це досягається деяким ускладненням конструкції реле та підмагнічуванням осердя за допомогою вбудованого постійного магніту. При цьому керуюча напруга позитивної полярності викликає замикання однієї пари контактів, а при зміні полярності напруги якорь відхиляється у протилежну сторону та замикає іншу пару контактів. Таке реле називається *поляризованим*.

5.1.2. Герконові реле

Ще один різновид реле - *герконове* реле. Загальний вигляд реле і самих герконів зображено, відповідно на рис. 5.3, а і б.

Геркон це герметичний контакт, керований магнітним полем, що створюється спеціальною котушкою індуктивності. Перший геркон був розроблений в 1936 році американською компанією Bell Telephone Laboratories.



а)



б)

Рис. 5.3. Загальний вигляд герконового реле (а) і типи герконів (б)

На основі герконів випускаються також датчики магнітного поля для самих різних застосувань – від побутової техніки до авіації та космонавтики.

Схематичне зображення будови геркону розміщено на рис. 5.4.

Геркон складається з двох феромагнітних провідників, що мають плоскі контакти, розміщених у скляній капсулі. Без зовнішнього магнітного поля контакти розімкнуті, і між ними є невеликий діелектричний зазор. В порожнину капсули зазвичай закачують азот.

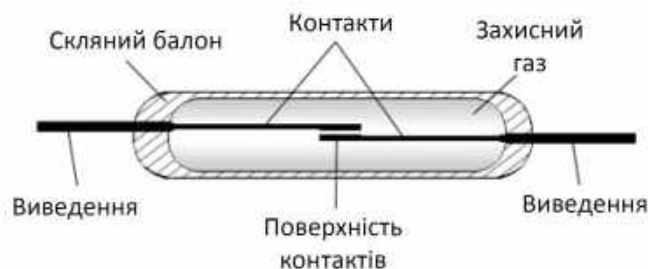


Рис. 5.4. Схематичне зображення будови геркона

Геркони комутують електричні ланцюги постійного і змінного струму частотою до 10 кГц з напругою до 300В, силою струму до 4А. Вітчизняною промисловістю геркони випускаються на замкнення, розімкнення і на переключення. Умовне позначення геркона складається з шести елементів. Перший елемент визначає умовне найменування геркону: МК - контакт герметизований. Другий елемент вказує на схему комутації геркона: А - замикає; В - розмикає; З - перемикає; Д - перекидає. Третій елемент Р присутній тільки в ртутних герконах. Четвертий елемент вказує на довжину геркону в міліметрах і складається з двох цифр. П'ятий елемент вказує на функціональне призначення герконів: 1 - малої і середньої потужності; 2 - підвищеної потужності; 3 - потужні; 4 - високовольтні; 5 - високочастотні; 6 - з "пам'яттю", 7 - спеціальні; 8 - вимірювальні. В позначенні можуть зазначатися один або дві ознаки. Геркони, що характеризуються двома ознаками, позначаються двома цифрами, які розташовуються в порядку зростання. Геркони, що характеризуються однією ознакою, позначаються цифрою, після якої додається нуль. Наприклад: геркон МКА-27101 замикає, з балоном довжиною 27 мм, малої та середньої потужності, першої модифікації для застосування в комутаційних матрицях і інших ланцюгах; геркон МКС-15101, що переключає, з балоном довжиною 15 мм, малої та середньої потужності, першої модифікації.

5.1.3. Автоматичні вимикачі

При виникненні небезпечного режиму автоматичний вимикач розмикає свої контакти, відключаючи ділянку мережі з підвищеним споживанням струму, тим самим рятуючи електропроводку від пошкодження.

Автоматичний вимикач захисту лінії, його ще називають «автоматом захисту», був винайдений американським вченим *Чарлзом Графтоном Пейджем* у 1836 році. Першу конструкцію автоматичного вимикача навів *Едісон* в 1879 році, яка була запатентована в 1924 р.

Апаратів захисту електроустаткування і електричних мереж є дуже велика група, що включає в себе такі апарати як: плавкі вставки (запобіжники), автоматичні вимикачі, різноманітні реле (струмові, теплові, напруги і т. п.).

Зовні автоматичний вимикач виглядає як короб із пластику. Передня панель оснащується рукояткою для включення і відключення устаткування. Задня панель оснащена спеціальним фіксатором для закріплення вимикача, а верхні і нижні кришки оснащуються клемми особливої форми. На рис. 5.5 зображено загальний вигляд деякої різновидності автоматичних вимикачів.



Чарлз Пейдж
(1812-1868рр.)



Рис. 5.5. Загальний вигляд автоматичних вимикачів

Конструктивні особливості автоматичних вимикачів залежать від сфери застосування і завданнями, покладеними на пристрій. Запуск і вимикання обладнання може відбуватися в ручному режимі або за допомогою електромагнітного чи електродвигунового приводу.

Тепловий захист потрібний для тривалих перевищень струму. Він здійснюється за допомогою являє собою біметалеву пластину, яка при нагріванні згинається в одну із сторін. При досягненні критичного стану вона штовхає важіль, і контакти роз'єднуються.

Виникнення перевантаження мережі означає, що сила струму в певній ділянці перейшла через максимальне значення для даного захисного електрообладнання. Занадто сильний струм проходить по тепловому вузлу, що розчіплює, викликаючи його деформацію. В залежності від різниці діючої сили струму деформація може досягати певного рівня, результатом якої може стати відключення автомата.

Перевантаження електричної мережі виникає у разі підключення великої кількості приладів, загальна потужність споживання яких, перевищує нормальну потужність.

Включення декількох потужних електроприладів, швидше за все, викличе спрацювання термічного елемента. Якщо таке сталося, слід до включення автомата визначитися з тим, які прилади слід відключити, зробити відключення і трохи почекати. Цей час необхідний, щоб термічний елемент в захисному електрообладнанні остудився і перейшов в початкове положення.

5.1.4. Магнітні пускачі і контактори

Магнітний пускач – це комутаційний електромагнітний пристрій, що призначений для дистанційного керування та захисту, який складається з контактора, доповненого тепловим реле.

Контактор - це комутаційний електромагнітний апарат, що виконує функції дистанційних включень і відключень силових електричних кіл при нормальних режимах роботи.

Магнітні пускачі призначені, головним чином, для дистанційного керування трифазними асинхронними електродвигунами з короткозамкненим ротором, а саме:

- для пуску безпосереднім підключенням до мережі та зупинки (відключення) електродвигуна (нереверсивні пускачі);
- для пуску, зупинки і реверсу електродвигуна (реверсивні пускачі).

При наявності у складі теплового реле вони здійснюють також захист електродвигунів від перевантажень за неприпустимої тривалості робочого циклу. Але досить часто магнітні пускачі використовують і без теплових реле. І дуже важко провести чітку границю між контактором та магнітним пускачем.

Як правило, в позначеннях магнітних пускачів є літери ПМ або ПА, а в позначеннях контакторів – КТ.

Контактор має дугогасильну камеру на відміну від магнітного пускача.

І, нарешті, остання відмінність - це наявність у контактора більше трьох силових контактів, оскільки, згідно визначення, контактор використовується для комутації будь-яких силових кіл, а магнітний пускач - для пуску, зупинки, реверсу трифазних двигунів.

При розмиканні головних контактів на великих струмах виникає електрична дуга, яка може призвести до руйнування контактної системи. Тому головні контакти контактора, що працюють при великих силах струму обладнують дугогасильними камерами з жаростійкого ізоляційного матеріалу.

При підключенні магнітного пускача або контактора до електричного кола слід звертати увагу на номінальну напругу котушки. Котушки магнітних пускачів та контакторів виготовляють на напруги 24; 36; 127; 220; 380 В.

Кнопки керування.

Кнопки керування використовують для керування різними електричними приладами і механізмами (в основному оснащених електродвигунами) на відстані.

Широке використання знайшли *кнопові пости*, що здійснюють роботу запуску або зупинки електротехнічних пристроїв, для реверсивного руху приводів в механізмах, для аварійної зупинки приводів механізмів у невідкладних ситуаціях і т.і.

Кнопові пости виготовляються в корпусах різної форми і різним числом кнопок, залежно від виконуваних ними функцій.

Особливістю застосування кнопок є те, що їх не застосовують в схемах з високою напругою. Однак кноповими постами можна керувати обладнанням з високою напругою, підключаючи їх до ланцюга керування на змінному струмі до 600 В, і на постійному струмі до 400В.

На рис. 5.6 зображено загальний вигляд кнопок керування (а) і 2-х та 3-х кнопкового посту (б, в).



Рис. 5.6. Загальний вигляд кнопок керування (а) і 2-х (б) та 3-х (в) кнопкового посту

Пакетні вимикачі.

Такі вимикачі призначені для одночасного включення і відключення вручну декількох ланцюгів. Їх набирають з нерухомих співвідно-розташованих кілець (пакетів) з електроізоляційного матеріалу, все-редині кожного з яких встановлюють комутуючі пристрій, пов'язане із загальним валом (рис. 5.7).

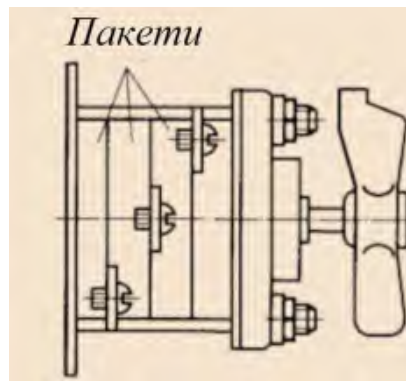


Рис. 5.7. Приклад зображення пакетного вимикача

5.2. Електронні пристрої комутації

5.2.1. Твердотільні реле

Твердотільне реле - електронний пристрій, що функціонально є реле без механічних рухомих частин, тобто служить для включення і виключення потужного ланцюга за допомогою низької напруги, яка

здійснює відповідне керування. Зображення твердотільного реле на- дано на рис. 5.8. Твердотільне реле — це електричний пристрій, що побудований на напівпровідникових елементах і силових ключах, та- ких як симістори чи транзистори.



Рис. 5.8. Зображення зовнішнього вигляду твердотільного реле

Як і в електромагнітних реле та інших комутаційних приладах вони призначені, щоб слабким сигналом управляти навантаженням з великою напругою або струмом.

У твердотільних реле не має котушки управління і немає рухомої контактної групи. У ньому замість силових контактів використовую- ються напівпровідникові ключі: транзистори, симістори, тиристори та інші електричні елементи в залежності від сфери застосування. Це є головна відмінність напівпровідникового реле від електромагнітного. У зв'язку з цим у твердотільного реле значно більший термін служби, оскільки не має механічного зносу контактної групи, також варто від- значити, що і швидкодія напівпровідникових реле вище, чим у елект- ромагнітних.

Крім відсутності механічного зносу, немає й іскор або дуг при комутації, як і звуків від ударів контактів при перемиканні. До речі, якщо не має іскор і дугових розрядів при комутації – твердотільні ре- ле можуть працювати у вибухонебезпечних приміщеннях.

5.2.2. Програмовані інтелектуальні реле

Програмовані інтелектуальні реле є однією з різновидів про- грамованих логічних контролерів (ПЛК). Застосування інтелектуаль- них реле дозволяє значно спростити схеми керування електроустат- куванням, підвищити їх надійність.

Завдання програми для інтелектуальних реле виробляється за допомогою кнопок на лицьовій панелі і не великого, як правило, в одну - два рядки LCD індикатора. Хоча існують і більш складні конструкції, і в цих випадках програми доводиться писати на комп'ютері, з використанням спеціалізованих мов програмування релейної логіки *LD*, *FBD* і деяких інших.

Для завантаження (прошивки) готових програм у пам'ять мікроконтролера, використовуються інтерфейси типу *RS-232*, *RS-485* або *Industrial Ethernet*, що дозволяють також здійснювати зв'язок з автоматизованими системами керування верхнього рівня.

Область їх застосування це автоматизація окремих агрегатів, керування системами освітлення, деякими пристроями в системі ЖКГ, локальні контури різних систем автоматизації, побутова техніка.

Особливістю таких пристроїв є їх локальне застосування для невеликих систем, сама програма для них в основному створюється на мові функціональних блокових діаграм або на мові релейної логіки.

На рис. 5.9 зображено спрощену функціональну схему системи програмним керування включення чотирьох споживачів з використанням ПЛК для обробки змінних, що надходять на вхідні канали (1...4).

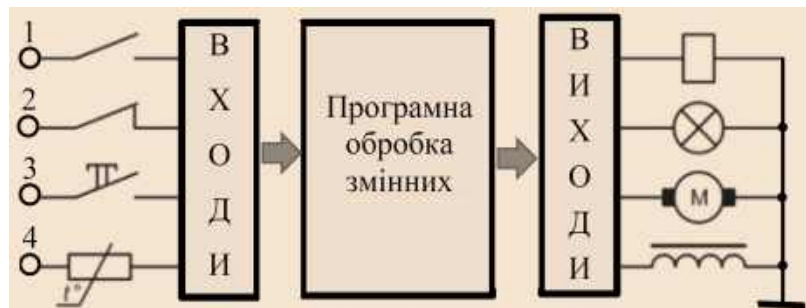


Рис. 5.9. Спрощена функціональна схема системи програмного керування включенням споживачів

Програмне забезпечення таких реле має зручний і доброзичливий інтерфейс і дозволяє розробити програми в короткий термін, а так само має можливість провести налагодження програми в реальному часі, яка ясно дає уявлення про те, як буде вести себе контролер в тій чи іншій ситуації.

Конструкція програмованих інтелектуальних реле найчастіше моноблочна, - в одному невеликому корпусі містяться всі вузли. Це, як правило, блок живлення невеликої потужності, мікроконтролер,

канали введення і виведення інформації, клеми для підключення виконавчих пристроїв. Корпуси таких пристроїв невеликі і дозволяють установку в електричних шафах.

Програмовані реле зараз випускаються багатьма фірмами, здебільшого зарубіжними. Як приклад можна привести фірму Schneider Electric, продукція якої вельми різноманітна: від звичайних автоматичних вимикачів до таких складних пристроїв як частотні перетворювачі, пристрої сигналізації та управління, пристрої плавного пуску, реле контролю, датчики і програмовані реле і контролери. Як приклад використання інтелектуального реле зображено на рис. 5.10, де наведений малюнок керування ескалатором.



Рис. 5.10. Зображення використання програмованого реле для керування роботою ескалатора

Системою керування передбачено забезпечення безперервної роботи тільки в будні дні з 8:00 до 18:00. З 18:00 до 20:00 включення ескалатора здійснюється тільки при появі людини.

Розглянемо програмовані реле Zelio Logic.

Програмовані реле Zelio Logic фірми Schneider Electric дозволяють реалізувати невеликі системи управління, кількість вводу/виводу яких знаходиться в межах 10...40 каналів. У корпусі можна розмістити до 26 каналів вводу/виводу. При цьому напруга живлення пристрою знаходиться в дуже широких межах: як змінної напруги: 24 В, 100 ... 240 В, так і постійного: 12 В, 24 В, що дозволяє легко вбудовувати реле в будь-які конструктиви.

5.3. Елементи захисту електронної апаратури

5.3.1. Плавкі запобіжники

Для захисту електронних приладів (комп'ютерів, телевізорів та ін.) застосовують швидкодіючі *запобіжники* у вигляді тонкого прошарку металу (срібла), напиляного на електроізоляційну основу. Запобіжник - простий пристрій для захисту електричних ланцюгів і споживачів електричної енергії від струмів короткого замикання. Він складається з однієї або декількох плавких вставок, ізолюючого корпусу і виводів для приєднання плавкої вставки до електричного кола. Деякі плавкі запобіжники наповнюють кварцовим піском для кращого охолодження плавкої вставки і гасіння дуги; іноді вони мають індикатори спрацювання.

На рис. 5.11 зображено декілька типів запобіжників.



Рис. 5.11 Вид деяких типів запобіжників

Плоскі вставки мають звужені ділянки, які розплавляються в першу чергу. Запобіжник включається послідовно в електричний ланцюг і при розплавленні вставки розмикає її.

Найбільш поширеними запобіжниками, застосовуваними для захисту електроустановок напругою до 1000 В, є:

ПР - запобіжник розбірний;

НПН - насипний запобіжник, нерозбірний;

ПН2 - запобіжник насипний, розбірний.

5.3.2. Варистори

Варистори застосовуються практично у всіх електронних пристроях автоматики. Варистор (varistor) є напівпровідниковим резистором, опір якого залежить від прикладеної напруги. Причому, при збільшенні напруги опір варистора зменшується і навпаки. Варистор має властивість різко зменшувати свій опір, починаючи з одиниць ГОм

(Гіга) до десятків Ом при збільшенні прикладеної до нього напруги вище порогової величини.

При подальшому збільшенні напруги опір зменшується ще сильніше.

Варистори є основним елементом для пристроїв захисту від перенапруги.

Основними матеріалами, що використовуються для виготовлення варисторів, є оксид цинку і матеріали на основі карбіду кремнію.

Умовне позначення варисторів зображено на рис. 5.12.

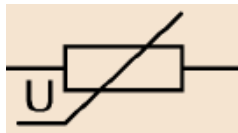


Рис. 5.12. Умовне позначення варисторів

Конструктивно варистори виготовляються у вигляді дисків, таблеток, стрижнів. Вони виглядають як конденсатор і розізняються лише за маркуванням. Але маркування варисторів відрізняються одне від одного, оскільки кожен виробник цих радіокомпонентів має право встановлювати його самостійно. Це, перш за все, пов'язано з його технічними характеристиками, наприклад, відмінності по напрузі і необхідним рівнем струму для його роботи.

Найбільш поширеними варисторами є імпортовані типи 7n471k, 14d471k, k1472m і ac472m, а найбільшою популярністю користується тип варистора, маркування якого - CNR (бувають ще *hel*, *vdr*, *jvr*). Крім того, до нього прикріплюється ще цифро-літерний індекс 14d471k, і розшифровується цей вид позначення наступним чином:

1. CNR – металевооксидний.
2. 14 - діаметр компоненту, що дорівнює 14 мм.
3. d - радіокомпоненти у формі диску.
4. 471 - максимальне значення напруги, на яку він розрахований.
5. k - допустиме відхилення класифікаційної напруги, що дорівнює 10%.

На схемах варистор зазвичай маркується двома буквами RU, а після них ставиться порядковий номер варистора в схемі (1, 2, 3 ...).

На рис. 5.13. зображено вигляд деяких типів варисторів.

Низьковольтні варистори виготовляють під робочу напругу від 3 до 200 000181В та струм від 0,1 000051мА до 1 000051А; високовольтні варистори — під робочу напругу до 20 кВ.



Рис. 5.13. Вигляд деяких типів варисторів

Варистори застосовуються в основному для захисту електронних пристроїв від стрибкоподібної напруги, амплітуда якої перевищує номінальне значення живлення. Завдяки застосуванню в блоках живлення такого напівпровідникового резистора, з'являється можливість уникнути безлічі поломок, які можуть вивести з ладу електроніку.

На рис. 5.14 зображена частина схеми електропроводки, яка захищена від перевантажень і неприпустимих амплітудних значень струму і напруги, завдяки використанню варистора.

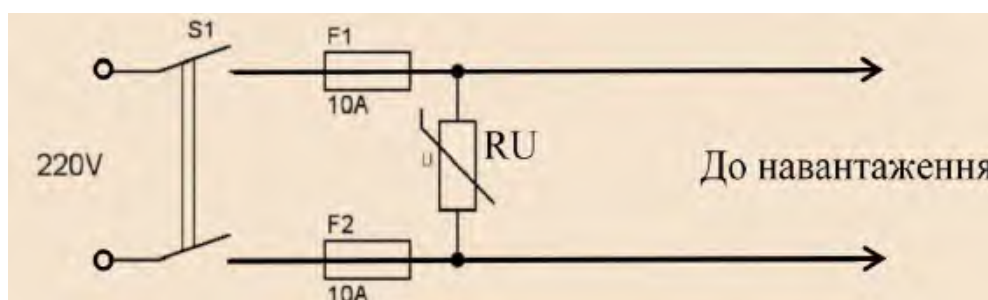


Рис. 5.14. Фрагмент електричного кола мережі 220 В з підключенням варистора

Низьковольтні варистори працюють в діапазоні напруги від 3 В до 200 В з силою струму від 0,1 до 1 А.

Вони застосовуються в різній апаратурі і ставляться переважно на вході або виході джерела живлення.

5.4. Варикапи

Варикап - це різновид напівпровідникового діоду, який здатний змінювати свою внутрішню ємність прямо пропорційно рівню прик-

ладеної зворотної напруги зміщення $p-n$ переходу від одиниць до сотень пікофарад.

Умовно графічне зображення варикапа на принципових схемах поєднує в собі позначення діода і ємності конденсатора. Тому варикап ще й називають - *ємнісним діодом*.

Дія варикапу пов'язана з $p-n$ переходом і *бар'єрною ємністю*. Сама по собі бар'єрна ємність несе паразитні властивості. В результаті спроби позбутися від паразитної ємності і був відкритий варикап - так званий гібрид діода і змінного конденсатора, ємність якого можна регулювати за допомогою прикладеної зворотної напруги. У номінальному значенні вона знижується з ростом прикладеної зворотної напруги зсуву. У варикапів ємність може змінюватися в дуже широкому діапазоні, від 3 до 10 разів.

Вони відмінно підходять для роботи на дуже високих частотах, де ємність вимірюється частками пікофарад. Це дуже важливий момент, тому що якби ємність була нестабільна, то частота коливального контуру «плавала», тобто змінювалася, що неприпустимо.

То що з ростом напруги ємність падає, це дозволяє дистанційно змінювати частотні характеристики радіокомпонентів, що використовується в схемах настройки частоти фільтрів і коливальних контурів передавальних пристроїв, в генераторах і підсилювачах НВЧ-хвиль.

Ємнісний характер функціонування варикапа знаходить відображення в його умовному графічному зображенні (УГЗ) - в ньому присутнє зображення конденсатора.

На рис. 5.15 зображено умовне позначення (а) та зовнішній вигляд (б) варикапу.



Рис. 5.15. Умовне зображення варикапу (а) та зовнішній вигляд (б) деяких його типів

Ємність варикапа входить до складу коливального контуру. Змінюючи її, ми змінюємо властивості коливального контуру і частоту

його налаштування. Так здійснюється електронна настройка на частоту в сучасних схемах приймачів.

В меню телевізорів є функція – авто настройки телеканалів. Вибираємо її, і весь телевізійний діапазон сканується на наявність мовних програм - телеканалів.

У схемі телевізора формується плавно змінювальна напруга настройки, яка і надходить на варикап. За рахунок нього змінюються параметри коливального контуру тюнера і він налаштовується на мовний канал.

5.5. Умовні позначення пристроїв комутації

Керування різноманітними виконавчими електричними і магнітними елементами або органами, а саме, електромагнітними реле і клапанами, електродвигунами, нагрівачами тощо, чи не найпоширеніші операції в електроавтоматиці. Використання певних виконавчих пристроїв потребує відповідного схемного рішення їх керуванням. Будь-якому елементу на електричних схемах присвоюється не тільки графічне позначення, але і буквене із зазначенням позиційного номеру. Такий стандарт регулюється ГОСТ 2.710-81 «Позначення буквено-цифрові в електричних схемах» і є обов'язковий для застосування для всіх елементів в електричних схемах. Так, наприклад, згідно ГОСТ 2.710-81 автоматичні вимикачі прийнято позначати шляхом спеціального літерно-цифрового позиційного позначення: QF1, QF2, QF3 і т.д. Рубильники (роз'єднувачі) позначаються як QS1, QS2, QS3 і т. д. Запобіжники на схемах позначаються як FU з відповідним порядковим номером. Кодування літери Q означає – «вимикач або рубильник в силових ланцюгах». Кодова комбінація QF розшифровується як Q – «вимикач або рубильник в силових ланцюгах», F – «захисний», що цілком може бути застосована для будь яких автоматичних вимикачів.

Комутаційні пристрої (вимикачі, контактори тощо) є такі, що замикають контакти, розмикають і що перемикають. Контакт, що замикає в нормальному стані є розімкнутим, при переведенні його в робочий стан (включено), ланцюг замикається. Контакт, що в нормальному стані знаходиться в замкнутому положенні, коли при певних умовах він спрацьовує, він розмикає ланцюг.

Перемикальний контакт буває двох і трьох позиційним. У першому випадку вмикається то один ланцюг, то інший. У другому – присутнє *нейтральне* положення.

Позначення реле на схемах. Прийнято наступні позначення елементів електромагнітних реле на схемах (рис. 5.16).

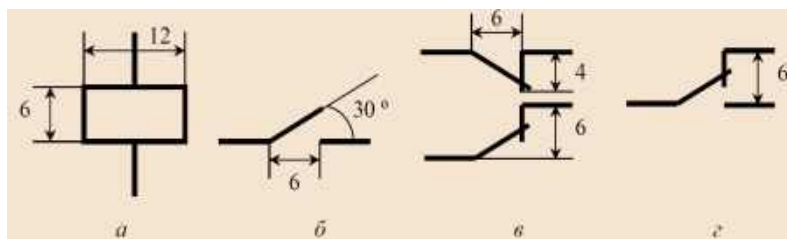


Рис. 5.16. Позначення елементів реле на схемах:

а - котушка реле; б - замикаючий контакт; в - варіанти позначення контакту;
г - перемикаючий контакт

На схемі контакти реле зображуються в початковому стані, коли котушка реле знеструмлена. Реле, що складається з котушки і групи контактів, на схемі може бути зображено поєднаним або рознесеним способом, див. рис. 5.17.

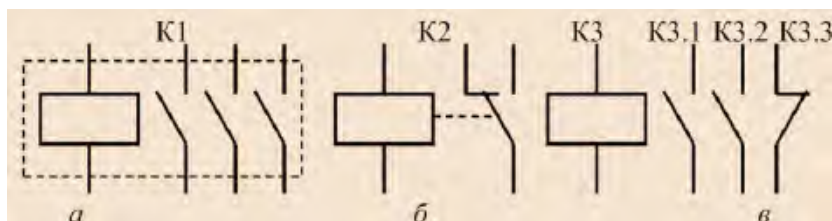


Рис. 5.17. Зображення реле на схемі:

а - поєднане зображення; б - зображення із зазначенням механічного зв'язку;
в - рознесене зображення

Варіанти суміщеного зображення (рис. 5.17, а, б) застосовують, якщо схема складається з невеликого числа реле. Якщо реле багато, то зображення електричних зв'язків виходить занадто громіздким і складним для розуміння.

При рознесеному зображенні (рис. 5.17, в) контакти реле зображуються в тій частині схеми, де вони застосовуються, це істотно спрощує конфігурацію зв'язків на схемі. Належність контактів певного реле встановлюється за допомогою буквено-цифрових позначень. Так, контакти реле КЗ позначаються послідовно КЗ.1, КЗ.2, КЗ.3 і т.д.

Літерно-цифрові позначення наносяться зверху або праворуч від зображення елемента.

Контрольні запитання

1. Пояснити принцип дії і будову електромагнітного реле.
2. Укажіть які основні властивості герконів.
3. Приведіть приклад використання автоматичних вимикачів.
4. Поясніть будову автоматичних вимикачів.
5. Яку функцію виконую теплове реле?
6. Як діє біметалевий елемент у тепловому реле?
7. У чому полягає різниця між контактором і магнітним пускатчем?
8. Яке призначення варикапу?
9. У чому полягає перевага використання твердотільних реле?
10. Що являє собою програмоване інтелектуальне реле?

6.1. Виконавчі пристрої, застосування та особливості

Виконавчий пристрій - функціональний елемент системи автоматичного керування (регулювання), який впливає на об'єкт керування (регулювання), змінюючи потік енергії або матеріалів, які надходять на об'єкт.

Виконавчі пристрої знаходять широке застосування практично у всіх галузях промисловості, в тому числі, і в побуті. Застосування конкретного виду пристрою залежить від того, яке завдання вони повинні виконувати. Вони повинні бути надійними і простими в експлуатації. Це електродвигуни, гідравлічні приводи, реле, які застосовуються в верстатобудуванні, роботобудуванні, автомобілебудуванні, в створенні побутових пристроїв, холодильників, мікрохвильових печей тощо.

Виконавчі пристрої можуть бути абсолютно різних типів, наприклад, електричного, пневматичного або гідравлічного характеру. Їх основне призначення полягає в операціях включення, відключення, зміни режимів функціонування механізмів, різноманітних систем і пристроїв.

Виконавчі пристрої визначаються видовою різноманітністю. Як простий приклад можна розглянути електродвигуни, реле або електромагніти.

Серед найбільш поширених пристроїв подібного типу можна виділити електродвигуни, актуатори, всілякі приводи, реле перемикання, роботизовані захоплювальні механізми, соленоїдні приводи і багато ін.

Для можливості перетворення електроенергії в механічну енергію застосовуються електричні магніти і двигуни. Основною перевагою електричного магніту є простота конструктивного виконання. У той же час у електричного двигуна більше плюсів, це стосується високого коефіцієнта корисної дії, можливості отримання різних швидкостей і переміщень.

Але всі ці плюси доцільно використовувати в складних автоматизованих системах і при тривалій роботі. Якщо потрібні малі переміщення (в пару мм) і зусилля, то краще й економніше використовувати електромагніти, ніж двигонок з редуктором.

На наступній сторінці наведені деякі приклади використання електромагнітних виконавчих пристроїв.

В автоматичі під виконавчим пристроєм розуміють пристрій, що передає вплив з регулюючого (керуючого) пристрою на об'єкт регулювання. Іноді виконавчий пристрій розглядається як складова частина об'єкта регулювання.

На рис. 6.1 зображено структурну схему САР куди входить виконавчий пристрій, як обов'язковий блок.

Від елементу порівняння (ЕП) сигнал неузгодженості ε (різниця задавального сигналу $X_z(t)$ і сигналу зворотного зв'язку u , тобто фактичного значення вихідного параметра $Y(t)$), за допомогою регулятора перетворюється в сигнал регулювання $X_p(t)$, що передається на виконавчий пристрій, вихідний параметр якого $X_{вп}(t)$ здійснює вплив на об'єкт регулювання.

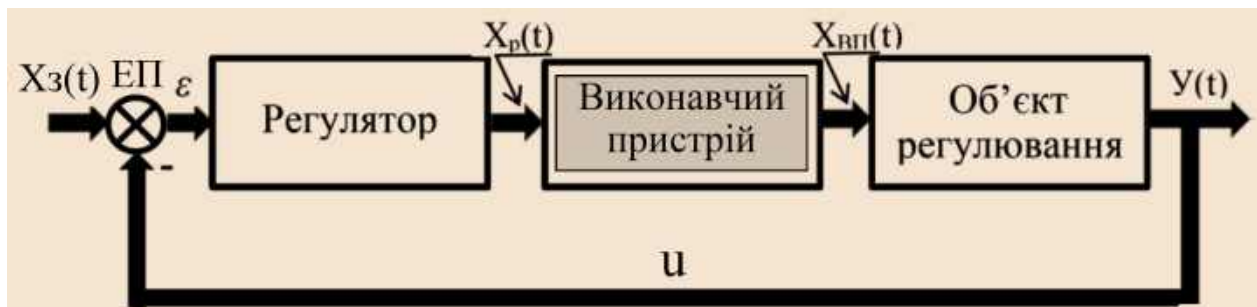


Рис. 6.1. Структурна схема системи автоматичного регулювання

Виконавчий пристрій у більшості випадків включає два функціональних блоки: *виконуючий елемент* і *регулюючий орган*, наприклад, це може бути клапан регулювання.

У ряді випадків можуть бути присутні й інші блоки. Якщо виконавчий пристрій механічний, то його часто називають *виконавчий механізм*.

6.2. Основні технічні вимоги до виконавчих пристроїв

Виконавчі пристрої повинні забезпечувати задану *точність* і *швидкість* відпрацювання сигналів, що надходять на вхід виконавчого пристрою. *Точність* відпрацювання сигналів визначає, в свою чергу, необхідну чутливість пристрою. *Швидкість* відпрацювання або швидкодія виконавчого пристрою визначається *часом* переміщення регулюючого органу з одного крайнього положення в інше, з подачею

на вхід виконавчого пристрою максимального сигналу. Цей час залежить від швидкості обертання приводного двигуна і передавального відношення редуктора.

Для забезпечення необхідної якості регулювання виконавчий пристрій має відпрацьовувати з малими спотвореннями сигналу. Вибіг вихідного вала при знятті керуючого сигналу, а також люфти в виконавчому пристрої, які погіршують якість перехідного процесу, повинні бути по можливості невеликими.

З метою усунення вибігання регулюючого органу застосовується *гальмування* електричного двигуна.

В електричних виконавчих механізмах, допустимий вибіг вихідного вала не повинен перевищувати 1° .

Максимальний робочий кут повороту вихідного вала виконавчих механізмів може бути рівним 90° , 120° , 180° , 270° , і для багатооборотних механізмів $360^\circ - n$, де n - ціле число.

Живлення електричних виконавчих механізмів може здійснюватися від мережі змінного струму промислової частоти 50 Гц з напругою 127, 220 або 380 В.

Виконавчі механізми повинні мати пристрій *дистанційного* керування регулюючим органом.

Крім того, для ручного переміщення регулюючого органу виконавчі механізми з номінальним моментом на вихідному валу понад 6 кГм повинні мати *штурвали*.

На рис 6.2 для прикладу зображено типовий зовнішній вид виконавчого механізму на основі електричного двигуна.



Рис. 6.2. Зовнішній вид виконавчого механізму на основі електричного двигуна

Для відключення двигуна при досягненні регульованим органом крайніх положень виконавчі механізми повинні мати *кінцеві вимикачі*. У разі багатооборотних виконавчих пристроїв кінцеві вимикачі повинні допускати обертання валу на $360^\circ n$ оборотів.

Виконавчі пристрої повинні бути надійними і простими в експлуатації.

6.3. Основні типи виконавчих пристроїв

Виконавчі пристрої характеризуються широким різноманіттям. Залежно від застосовуваної енергії, яка необхідна для вчинення певної дії, виконавчі пристрої бувають *електричного, пневматичного або гідравлічного* характеру.

Беручи до уваги енергію пристрою вони діляться на такі види:

- *Електричні* з електричним механізмом виконання.
- *Гідравлічні* з гідравлічним механізмом виконання.
- *Пневматичні* з пневматичним механізмом виконання.
- *Електропневматичні* з електропневматичним перетворювачем.
- *Електрогідравлічні* з електрогідравлічним перетворювачем.

Найбільш часто використовуються електричні виконавчі пристрої.

6.3.1. Виконавчі пристрої на основі електричних двигунів

Електричні виконавчі пристрої здійснюють безпосереднє перетворення електричної енергії у механічну. У свою чергу, вони підрозділяються на пристрої, що використовують для перетворення енергії *електричні двигуни* та *електромагнітні механізми*.

У загальному випадку механізми цієї групи містять електричний *двигун змінного або постійного* струму, *циліндричний, планетарний або комбінований* понижувальний *редуктор*, передавальний *пристрій*, що перетворює обертальний рух у кутове або зворотно-поступальне переміщення вихідного елемента. Окрім цього, як правило, подібні виконавчі пристрої містять *блок кінцевих вимикачів* або *мікроперемикачів*, що припиняють подачу живлення на електродвигун при досягненні вихідним елементом заданого лінійного або кутового переміщення.

Багато виконавчих механізмів цієї групи містять електромагнітне гальмо, яке запобігає «вибігу» вихідного елемента після зняття ко-

манди керування. Деякі спеціальні виконавчі механізми забезпечені органами керування передатним пристроєм, що забезпечує механічне роз'єднання редуктора та вихідного елемента або зміну його напрямку руху без електричного реверсування електродвигуна. Подібні органи керування, як правило, являють собою комплект *електромагнітних муфт*. Основний елемент узагальненої схеми виконавчого механізму – електродвигун постійного або змінного струму.



Якобі Б. С.
(1801-1874рр.)

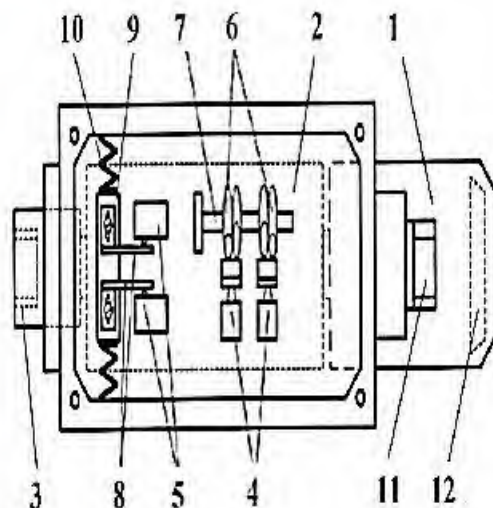
Перший електродвигун постійного струму був створений ще у 1834 році академіком Б.С. Якобі.

До електродвигунів в автоматичності пред'являються наступні вимоги: широкий діапазон та простота регулювання швидкості обертання, малі габарити та вага за відносно великої механічної потужності, мала інерційність, невеликий момент тертя тощо. Внаслідок цього в автоматичності широкого застосування в основному отримали електродвигуни постійного струму з незалежним збудженням та двофазні асинхронні електродвигуни.

Розглянемо виконавчий механізм на прикладі МПК-13А-5 загальний вигляд якого зображено на рис. 6.3 а, а схемне зображення на рис. 6.3 б. Цей пристрій містить електродвигун постійного струму з послідовним збудженням 1, багатоступінчастий редуктор 2, вихідний елемент 3.



а)



б)

Рис. 6.3. Зовнішній вигляд і схемне зображення виконавчого механізму МПК-13А-5

Регулювання кута повороту вихідного елемента виконують за допомогою здвоєних кулачків 6, встановлених на осі 7, яка обертається синхронно з вихідним елементом. Встановлення заданого значення протидіючого моменту виконують настроюванням положення штовхачів 8, встановлених на кулісі 9, що взаємодіє з пружинами граничного моменту 10. Електричне з'єднання виконавчого механізму з керуючим модулем здійснено за допомогою штепсельного роз'єму 11. Для підвищення точності позиціонування вихідного елемента ротор двигуна забезпечений торцевим електромагнітним гальмом 12. Електрична схема підключення механізму МПК-13А-5 показана на рис. 6.4.

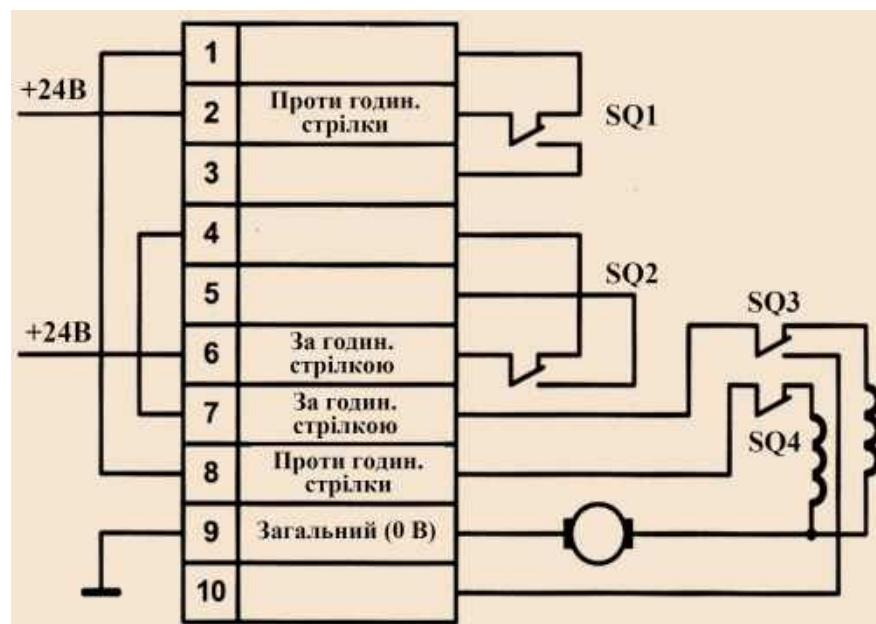


Рис. 6.4. Електрична схема підключення МПК-13А-5

Зупинка двигуна при досягненні вихідним елементом максимального кута повороту проти годинникової стрілки здійснюється за допомогою мікроперемикачів SQ1, за годинниковою стрілкою – за допомогою SQ2, а також SQ3 і SQ4.

6.3.2. Виконавчі пристрої з двигуном змінного струму

В системах автоматики, які мають доступ до мереж змінного струму, застосовують виконавчі механізми, виконані на базі електричного двигуна змінного струму.

Перший електродвигун змінного струму був створений М.О. Доливо-Добровольським у 1889 р. З електродвигунів змінного струму найбільшого розповсюдження в автоматичці отримали асинхронні еле-

ктродвигуни змінного струму з короткозамкненою обмоткою ротора, які мають низку суттєвих переваг:

- 1) малий момент інерції ротора;
- 2) малий момент тертя через відсутність ковзних контактів; обертальний ротор не з'єднується з колом живлення і тому потреба у ковзних струмопідведеннях (щітках) відпадає;
- 3) зручність регулювання й реверсування обертання;
- 4) пропорційність швидкості обертання напрузі живлення;
- 5) можливість живлення від електронного підсилювача, який працює на змінному струмі.



Доліво-Добровольський
(1861-1919рр.)

Потужність механізмів на основі однофазних електродвигунів не перевищує 1 кВт, механізмів з дво- та трифазними електродвигунами – практично не обмежена.

Обидві групи виконавчих механізмів за своєю структурою й принципом перетворення обертального руху ротора двигуна у поворотне або зворотно-поступальне переміщення вихідного елемента аналогічні виконавчим механізмам, заснованим на електродвигунах постійного струму. поворот

Виконавчі механізми з однофазними двигунами мають обмежений поворот (до 90°) і випуск (до 50 мм) вихідного елемента, тому кінцеві вимикачі, що обмежують переміщення останнього, конструктивно розміщені у корпусах відповідних механізмів.

Електрична схема підключення однофазного виконавчого механізму МЕО-0,63 зображено на рис. 6.5.

Додатково у механізмах такого типу можуть бути встановлені потенціометри зворотного зв'язку $R_{зз}$, що забезпечують безперервний контроль за станом вихідного елемента. Для створення замкненого магнітного потоку між обмотками статора встановлюють *фазозсувний конденсатор* C_1 ємністю 3,0 мкФ. Реверс ходу вихідного елемента здійснюють реверсуванням електродвигуна шляхом подачі живлення на відповідну обмотку статора.

Найбільш широкого застосування у промисловості знаходять виконавчі механізми з обернено-поступальним переміщенням вихідного елемента, виконані на основі трифазних електродвигунів з короткозамкненим ротором.

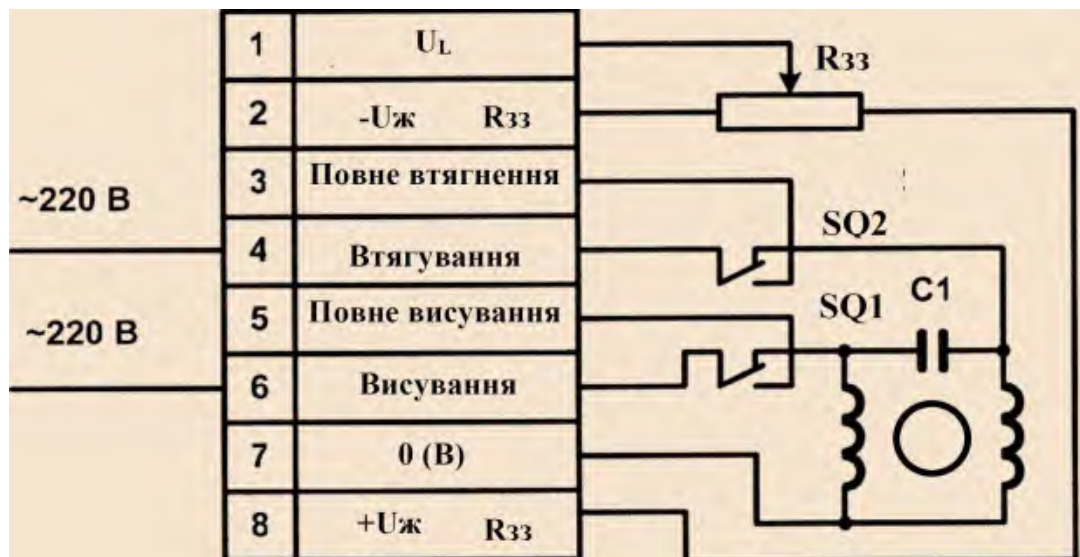


Рис. 6.5. Електрична схема однофазного виконавчого механізму МЕО-0,63

На рис. 6.6 зображено зовнішній вигляд виконавчого механізму МЕО 4000/160-0,63.



Рис. 6.6. Вигляд виконавчого механізму МЕО 4000/160-0,63

Як правило, такі механізми використовують як приводи шиберних заслінок або повзунків високопродуктивних клапанів підвищеного тиску.

Оскільки амплітуда переміщення затворів досягає 1 м і більше, кінцеві вимикачі, що обмежують хід вихідного елементу, конструктивно винесені за межі корпусу виконавчого механізму.

На рис. 6.7 зображено блок - схему системи керування бункером-накопичувачем з використанням виконавчого механізму - шиберної

заслінки, а на рис. 6.8 - принципову електричну схему системи керування шиберною заслінкою.

У виконавчому механізмі здійснюється перетворення обертального руху ротора електричного двигуна в обернено-поступальне переміщення штовхача, шарнірно з'єданого з плитою шиберної заслінки.



Рис. 6.8. Схема керування бункером-накопичувачем з використанням виконавчого механізму шиберної заслінки

Зміну напрямку руху шибера здійснюють шляхом реверсу електродвигуна. Зупинку заслінки при повному відкриванні та закриванні бункера-накопичувача здійснюють за допомогою двох кінцевих вимикачів SQ_1 й SQ_2 (див. рис. 6.9), роликові штовхачі яких взаємодіють з кулачком, встановленим на неробочій частині плити шибера.

Даною системою передбачено два режими керування бункером-накопичувачем: режим ручного і дистанційно-автоматичного керування. У режимі ручного керування команди на відкривання, закривання й проміжну зупинку подають за допомогою кнопок $SB_{вп}$, $SB_{наз}$ і $SB_{стоп}$, встановлених на щиті керування, розміщеному у безпосередній близькості від затвора. У дистанційно-автоматичному режимі команди керування подаються за допомогою контактів $КД_{вп}$, $КД_{наз}$ і $КД_{стоп}$ вихідних реле керуючої системи, що забезпечує спрацювання цих реле відповідно до прийнятого закону керування.

Власне реверс трифазного електродвигуна досягається за рахунок «перекидання» двох фаз на вхідних клеммах електричного двигуна. Для захисту електродвигуна від перевантажень, які можуть виникну-

ти, наприклад, при перекосі плити шиберу або при попаданні кам'яних матеріалів між плитою і стінкою бункера, у двох лініях Л1 і Л2 живлення двигуна встановлені біметалеві пластини теплового реле РТ.

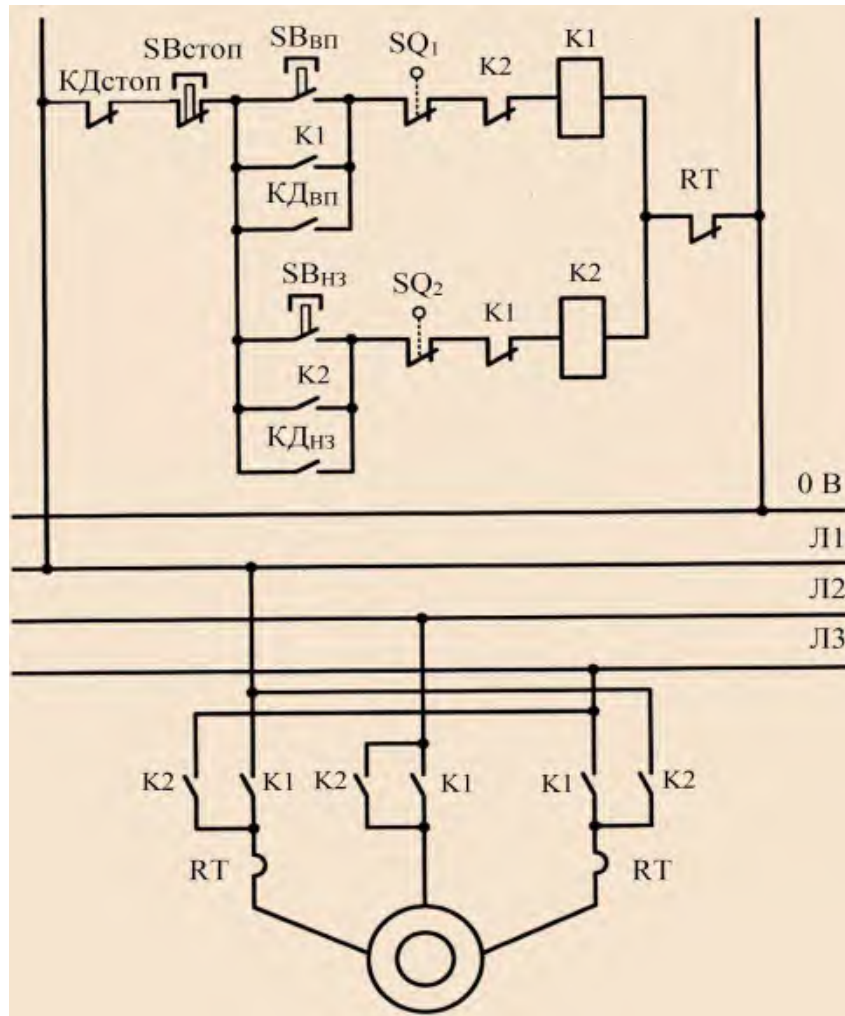


Рис. 6.9. Принципова електрична схема керування шиберною заслінкою

При виникненні перевантаження падіння напруги на пластинах збільшується, що призводить до їх деформації та розімкнення контакту РТ, встановленого у колі живлення контакторів К1 і К2, викликаючи зупинку електродвигуна. Для запобігання одночасного спрацьовування контакторів К1 і К2 при випадковому одночасному натисканні на кнопки $SB_{вп}$ і $SB_{нз}$ або при збоях в керуючій системі у коло живлення обмотки контактора К1 встановлений розмикальний контакт К2, а у коло живлення обмотки К2 – розмикальний контакт контактора К1. Подібне блокування виключає можливість виникнення корот-

кого замикання у колах живлення електричного двигуна при одночасному спрацьовуванні обох контакторів.

6.3.3. Електромагнітні виконавчі механізми

Основою електромагнітних виконавчих механізмів є електромагніти, як правило, *соленоїди*. Соленоїдом називають котушку індуктивності, яка намотана дротом на каркас у вигляді циліндра, див. рис. 6.10.

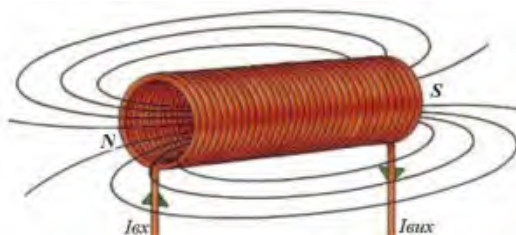


Рис. 6.10. Умовне зображення соленоїду

Коли електричний струм проходить через обмотки котушок, він веде себе як електромагніт, і плунжер, який знаходиться всередині котушки, притягається до центру котушки за допомогою магнітного потоку всередині корпусу котушок, який, в свою чергу, стискає невелика пружина прикріплена до одного кінця плунжера.

Сила і швидкість руху плунжерів визначаються силою магнітного потоку, що генерується всередині котушки. А зусилля, що розвивається електромагнітом, пропорційне добутку кількості витків обмотки на значення струму, що протікає в обмотці. Найпростіший спосіб керувати соленоїдом - включити і вимкнути струм. На рис. 6.11 *а*, *б* зображено схему електромагнітного виконавчого пристрою (*а*) і зовнішній вигляд одного з його типів (*б*).



Рис. 6.11. Зображення електромагнітного виконавчого пристрою: *а* – схема; *б* – зовнішній вигляд

Електромагнітні виконавчі механізми представляються досить широким рядом пристроїв.

6.3.4. Електромагнітні муфти

Електромагнітні муфти використовуються в електроприводах і пристроях керування для швидкого включення й виключення привідного механізму, а також для його реверсу.

У деяких випадках муфти служать для регулювання швидкості та обмеження передавального моменту.

В останні роки розроблені швидкодіючі типи електромагнітних муфт для стяжних систем й приладобудування (феропорошкові, зі зв'язком через поле).

По суті, муфтою слід вважати будь-який пристрій для передачі обертання від одного вала (провідного), з'єднаного з джерелом енергії, до іншого вала веденого, пов'язаного з привідним механізмом. Під це визначення підпадають і не розчіпні, так звані еластичні муфти, що з'єднують два механізми й призначені для зменшення вібрації та зношування підшипників через не співвісність валів; проте у подальшому будуть розглянуті лише розчіпні муфти з електронним керуванням, які служать для швидкого включення привідного механізму, а також для регулювання або обмеження передавального моменту.

За устроєм розчіпні муфти бувають:

- а) з механічним зв'язком (фрикційні);
- б) феропорошкові;
- в) зі зв'язком через електромагнітне поле.

Значного застосування у різних системах автоматизації знаходять *електромагнітні муфти*, що забезпечують як фрикційне, так і зубчасте з'єднання ведучого і веденого валів. За принципом дії вони аналогічні торцевим електромагнітним гальмам, але на відміну від останніх з'єднання валів у муфтах відбувається при спрацьовуванні керуючого електромагніту.

Один із боків якоря (рис. 6.12) за допомогою шліцьового з'єднання уведений у зачеплення з веденим елементом, на який необхідно передавати обертальний момент від вихідного вала будь-якого двигуна. Інший бік якоря забезпечений фрикційним або зубчастим диском, який взаємодіє з аналогічним диском, встановленим на торці вала двигуна.

Крім звичайних муфт, розрахованих на один напрям обертання, застосовують реверсивні муфти, але вони значно складніше за конструкцією, тому що кожна з них складається зі здвоєних муфт.

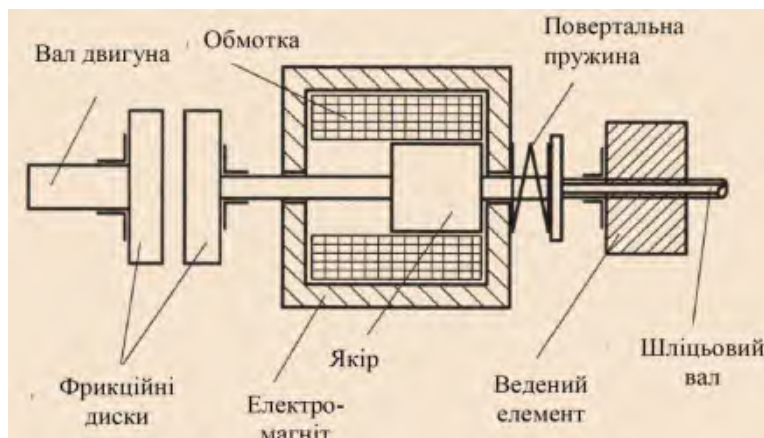


Рис. 6.12. Електромагнітна з'єднувальна муфта

У малопотужних приладових муфтах для реверсу можна використовувати поляризований електромагнітний механізм, тоді реверс досягається зміною полярності струму в обмотці.

6.3.5. Електромагнітні гальма

Електромагнітні гальма служать для забезпечення точності позиціонування інших виконавчих механізмів, наприклад, електричних приводів вантажопідйомних лебідок або шиберних заслонів накопичувальних бункерів промислових підприємств. Найпростіше електромагнітне гальмо (рис. 6.13 а) містить власне електромагніт, до якоря якого прикріплений один кінець фрикційної стрічки, що огинає гальмівний барабан, встановлений на валу електродвигуна.

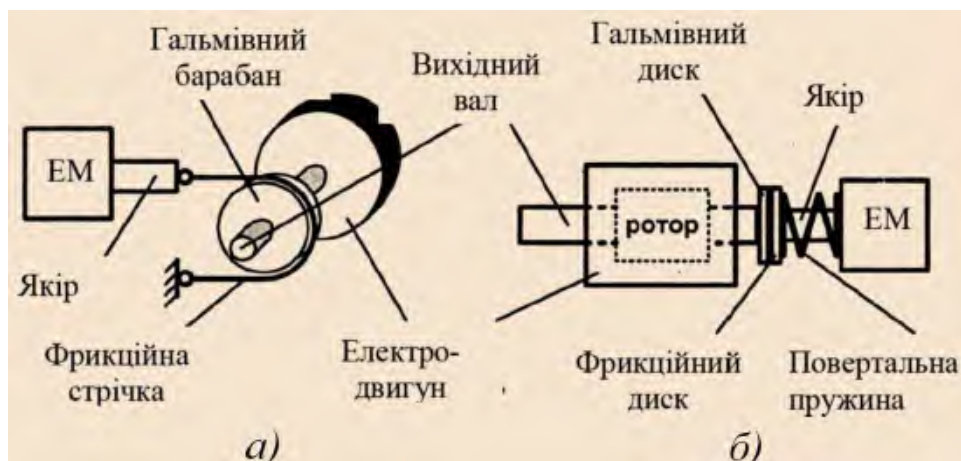


Рис. 6.13. Електромагнітні гальма

Другий кінець стрічки жорстко закріплений до станини лебідки. Гальмування вала електродвигуна відбувається при включенні магніту ЕМ.

Торцеві електромагнітні гальма (рис. 6.13, б), як правило, застосовують для зупинки валів малопотужних (до 100 Вт) електродвигунів постійного струму, що мають повторно-короткочасний режим включення. Гальмування вала здійснюється при відключенні електромагніту ЕМ і притисканні пружиною фрикційного диска, встановленого на якорі, до гальмівного диска двигуна.

Включення і відключення електромагніту здійснюється одночасно з включенням і відключенням електродвигуна.

6.3.6. Електромагнітні клапани

У сучасних транспортних засобах, наприклад, автомобілях для штатної та аварійної зупинки двигуна застосовують електромагнітні клапани паливних проводів. Ці пристрої, як правило, встановлюють у безпосередній близькості від паливних насосів високого тиску. Електромагнітні клапани також встановлюють у пневматичних магістралях підприємств будівельної індустрії для забезпечення імпульсної подачі стисненого повітря у різні пневматичні механізми, наприклад, у сопла систем обвалення сипучих матеріалів у витратних бункерах.

Електромагнітний клапан (рис. 6.14) містить власне електромагніт, якір якого, будучи замикаючим елементом, перекриває відповідну магістраль під дією повертальної пружини при знятті керуючої команди з обмотки електромагніту. Відкриття магістралі здійснюється при спрацюванні електромагніту.

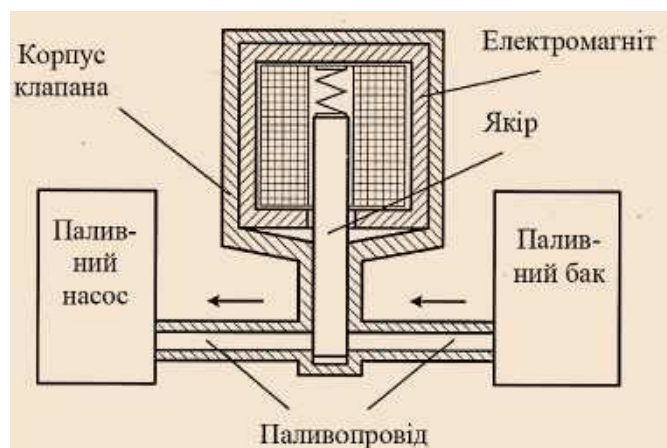


Рис. 6.14. Електромагнітний клапан паливо проводу

Електромагніти також широко застосовують при створенні гідравлічних розподільників з електричним керуванням, які забезпечують об'ємне й дросельне регулювання гідравлічних двигунів.

6.3.7. Електромагніти

Електромагніти широко використовуються в металургійній промисловості, на інших виробництвах та звалищах. Це відмінний варіант для підйому і перенесення металобрухту і металевих виробів.

На рис. 6.15 зображено приклад використання електромагніту



Рис. 6.5. Використання електромагніту

для перенесення металобрухту. Розрізняють такі види електромагнітів: нейтральні електромагніти, що працюють від постійного струму; поляризовані електромагніти, що працюють при наявності двох незалежних магнітних потоків робочого поляризованого; електромагніти змінного струму, для яких характерним є пульсуючий магнітний потік від нуля до максимуму, вібрації якоря. Як і деякі типи електродвигунів

електромагніти відрізняються режимом роботи, а саме: тривалим; короткочасним; переривистий.

6.4. Крокові електродвигуни

В наш час в схемах автоматики поряд з автоматичними системами безперервної дії, які здійснюються з допомогою виконавчих двигунів звичайного виконання, використовуються системи дискретної (імпульсної) дії. Такі системи здійснюються з допомогою *крокових виконавчих двигунів*.

Крокові двигуни – пристрої, які перетворюють електричні імпульси напруги керування в дискретні (стрибкоподібні) кутові або лінійні переміщення ротора з можливою його фіксацією в потрібних положеннях.

Крокові двигуни з'явилися в 30-х роках минулого століття. Перші крокові двигуни виконувались у вигляді електромагніту, що приводить в обертання храпове колесо (рис. 6.15). За одне вмикання елект-

ромагніту (за один такт) храпове колесо переміщується на визначений кут – крок, величина якого визначається величиною зубчатого кроку храпового колеса. Для забезпечення реверса на валу двигуна встановлювалось два храпових колеса, повернених на 180° відносно один одного, і двигун забезпечувався двома електромагнітами.

Не дивлячись на наявність цілого ряду недоліків, храпові крокові двигуни і в наш час знаходять ще досить широке використання.

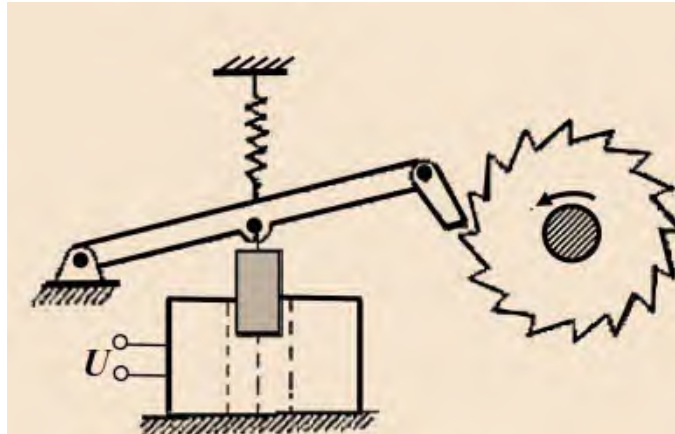


Рис. 6.15. Перші крокові двигуни

За храповими двигунами ще в минулому столітті з'явилися крокові двигуни, що за пристроєм мало відрізняються від синхронних реактивних двигунів з явно вираженими полюсами на роторі і статорі.

Конструктивно крокові електродвигуни складаються із статора, на якому розташовані обмотки збудження, і ротора, виконаного з магнітно-м'якого (ферромагнітного) матеріалу або з магнітно-твердого (магнітного) матеріалу. Зовні він практично нічим не відрізняється від двигунів інших типів. Найчастіше це круглий корпус, вал, кілька виводів, див. рис. 6.16.



Рис. 6.16. Зовнішній вид крокового двигуна
(тип 57BYG250B-8 NEMA)

Крокові двигуни використовуються, за необхідності, у точному позиціонуванні і керуванні швидкістю обертання у системах, де швидкість і момент крокового двигуна є достатніми.

Існують три основні типи крокових двигунів:

- двигуни зі змінним магнітним опором (КД з пасивним (не збудженим) ротором або їх ще називають реактивними);
- двигуни з постійними магнітами (активним ротором);
- гібридні двигуни.

Гібридний двигун, на сьогоднішній день, є найпопулярнішим двигуном в промисловій сфері. Його назва походить від того, що він поєднує в собі принципи роботи двох інших типів двигуна (з постійними магнітами і змінним магнітним опором).

Контрольні запитання

1. Для чого застосовують виконавчі механізми у системах автоматики?
2. Яке місце займає виконавчий пристрій у структурі системи автоматичного регулювання (зобразіть структурну схему САР) ?
3. Які переваги мають виконавчі механізми з двигунами змінного струму?
4. Назвіть основні технічні вимоги, які висуваються до виконавчих пристроїв.
5. Наведіть приклад використання виконавчого механізму в побутовому господарстві й промисловості.
6. Які види електромагнітних виконавчих механізмів ви знаєте?
7. Що таке електромагнітна муфта й де вона використовується?
8. Для чого використовують електромагнітні гальма?
9. Дайте приклади найпростіших електромагнітних гальм.
10. Що являє собою кроковий двигун?
11. Які основні переваги має кроковий двигун?

МІКРОПРОЦЕСОРНІ ЗАСОБИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ

7.1. Основні поняття і визначення мікропроцесорних засобів

Найбільш важливими і відповідальними елементами сучасних систем автоматики є різноманітні мікропроцесорні засоби й керуючі мікро-ЕОМ. Саме вони забезпечують високу надійність, точність і якість керування, швидку і якісну обробку інформації, можливості самоконтролю і самодіагностики та ін. Системи автоматики, що побудовані на основі мікро-ЕОМ, мають істотну специфіку, пов'язану з тим, що правильне і результативне функціонування таких систем забезпечується комплексом взаємодіючих *апаратних* і *програмних* засобів.

Часто в якості *апаратних* засобів використовують інтегральні схеми (ІС), що становлять мікропроцесорні комплекти мікросхем. *Програмні* засоби (soft), в кінцевому підсумку, забезпечують потрібний режим роботи всієї системи автоматики. До програмних засобів відносяться: системи команд конкретних мікро-ЕОМ, системні та прикладні програми, методи і принципи складання програм і ін. Одна і та ж мікро-ЕОМ може сполучатися з найрізноманітнішими зовнішніми пристроями, датчиками і об'єктами керування. При цьому зміна функцій, що виконуються мікро-ЕОМ, здійснюється простою заміною керуючої програми або її корекцією.

Слід зазначити взаємозв'язок і взаємозумовленість програмних і апаратних засобів в рішенні конкретної задачі керування. При цьому ускладнення апаратних засобів часто дає можливість спростити програмні засоби і, навпаки, спрощення апаратних засобів може вести до ускладнення програмних. Рациональний розподіл функцій між програмними і апаратними засобами - одна з найважливіших завдань, що вирішуються при створенні систем автоматики.

Одна з головних сфер застосування мікро-ЕОМ пов'язана з використанням їх у системах керування. Вона народилася приблизно в 60-і роки, коли електронно - обчислювальні машини стали інтенсивно впроваджуватися в контури керування автоматичних і автоматизованих систем. Нове застосування обчислювальних машин зажадало видозміни їх структури. ЕОМ, що використовувалися в керуванні, повинні були не тільки забезпечувати обчислення, але й автоматизувати збір даних і розподіл результатів обробки. Сполучення з каналами

зв'язку зажадало ускладнення режимів роботи ЕОМ, зробило їх багатопрограмними і розрахованими на багато користувачів.

Другий важливий напрям пов'язаний із застосуванням ЕОМ це вирішення завдань *штучного інтелекту*. Прикладами таких завдань є: завдання робототехніки, машинний переклад текстів з однієї мови на іншу, складання прогнозів, і т.д. Великий вклад у створення і розвиток ЕОМ і штучного інтелекту вніс наш співвітчизник академік *Виктор Михайлович Глушков*.

До основних понять належать: «мікропроцесор», «ІС», «ІМС», «ВІС», «НВІС», «ГВІС», «мікропроцесорний комплект ВІС», «мікропроцесорний пристрій», «мікропроцесорна система», «мікро-ЕОМ», «вбудована мікроЕОМ», «персональний комп'ютер», «мікроконтролер» і ін.

Окрім того, в мікропроцесорній техніці використовують поняття які властиві обчислювальній техніці, зокрема «магістраль», «шина», «інтерфейс», «програмний інтерфейс», «алгоритм», «програма», «програмне забезпечення і ін. Базовим поняттям є «мікропроцесор».

Мікропроцесор (МП) це програмно-керований пристрій, призначенням якого є обробка цифрової інформації і керування процесом цієї обробки, виконаний у вигляді однієї або декількох інтегральних мікросхем підвищеного ступеня інтеграції (ВІС, НВІС або ГВІС).

Мікропроцесорна техніка (МП-техніка) - пристрої, комплекси і системи обчислювальної техніки і автоматики, виконані на основі ВІС, НВІС чи ГВІС, що містить МП, пам'ять і порти введення-виведення.

Інтегральна мікросхема (ІМС) - мікроелектронний виріб, що виконує певну функцію перетворення, обробки сигналів і (або) накопичення інформації, що має велику щільність упаковки електрично з'єднаних елементів (або елементів і компонентів) і розглядається щодо вимог випробувань і експлуатації як єдине ціле.

Напівпровідникова ІМС - інтегральна мікросхема, всі елементи і міжелементні з'єднання якої виконані всередині і на поверхні напівпровідника.

Цифрова ІМС - інтегральна мікросхема, призначена для перетворення і обробки сигналів, що змінюються за законом дискретної функції.

Ступінь інтеграції - показник ступеня складності ІМС, який характеризується кількістю елементів і компонентів, що містяться в ній. Ступінь інтеграції визначається за формулою $k = I_g N$, де k - коефіцієнт

єнт, що визначає ступінь інтеграції, значення якого округляється до найбільшого цілого числа; N – кількість елементів і компонентів ІМС.

Велика інтегральна мікросхема (BIC) - інтегральна мікросхема, що містить від 500 і більше елементів; *надвелика інтегральна схема (NBIC)* - розміщує понад 10 000 елементів; *гігавелика інтегральна схема (GBIC)* – включає понад 100 000 елементів.

Комплект BIC - сукупність типів BIC, що виконують різноманітні функції, які сумісні архітектурою, конструктивним виконанням і електричними параметрами, і забезпечують можливість їх сумісного використання при виготовленні мікропроцесорних пристроїв та систем.

Мікропроцесорний комплект (МПК) - сукупність мікропроцесорних та інших ІМС, які сумісні за архітектурою, конструктивним виконанням і електричними параметрами, і забезпечують можливість їх сумісного використання. Основу МПК BIC становить базовий плект ІМС однієї серії.

Мікроконтролер (МК) - керований пристрій, виконаний на одному або декількох кристалах, призначений для керування.

Мікропроцесорний пристрій (МПП) - функціонально і конструктивно закінчений виріб, що з'єднує декілька мікросхем, у тому числі один або декілька мікропроцесорів, призначений для виконання однієї або кількох функцій: отримання, обробки, передачі, перетворення інформації і керування.

Мікропроцесорна система (МПС) - сукупність значної кількості функціональних пристроїв, одним з яких є мікропроцесор. Мікропроцесор є ядром цієї системи. Всі пристрої МПС мають стандартний інтерфейс і підключаються до єдиної інформаційної магістралі.

7.2. «Машинне» представлення інформації

Особливістю сучасних процесорів є те, що вони працюють з числами, представленими не у десятковій, а у двійковій системі числення. Це означає, що числа оброблювані комп'ютером, можна уявити за допомогою всього лише двох цифр - логічних «0» і «1».

Цифрам «0» і «1» можна, наприклад, поставити у відповідність *високий* або *низький* рівень напруги, *розімкнуте* або *замкнуте* положення контактів реле, протилежні напрямки намагніченості окремих ділянок магнітного диску і т. і.

«Змусити» електричний пристрій працювати безпосередньо з десятковими числами принципово можливо, але наділити такий пристрій здатністю перебувати в 10 різних станах (відповідним цифрам від 0 до 9) пов'язано з певними технічними проблемами. При необхідності представлення результатів обчислень в привичній для користувача десятковій системі, можна здійснити необхідні перетворення, використовуючи математичні "здатності" самого процесора, що працює в "звичній для нього" двійковій системі.

Ознайомимося спочатку з розрядністю числа. Крайнє праве місце йменують нульовим розрядом. Лівіше від нього розташовується перший розряд, ще лівіше - другий, потім - третій розряд і т. д. У двійковій системі числення значення символу числа змінюється від розряду до розряду в два рази. Розглянемо число, представлене на рис. 7.1. Символ "1", записаний в нульовому розряді, означає "один" (як і в десятковому коді). Символ "1", записаний у першому розряді, відповідає десятковому "два" (в два рази більше), а записаний у другому розряді - десятковому "чотири" (знову в два рази більше), потім - "вісім". З кожним розрядом значення символу, збільшується в два рази, його прийнято називати "вагою". На рис. 7.1 значення "ваги" 2^3 , 2^2 , 2^1 , 2^0 (8-4-2-1) для кожного розряду зображено в кружечках.

Число 1111_2 , написане в двійковій системі числення, значиться так: одна вісімка, одна четвірка, одна двійка і одна одиниця, а всього - число, рівноцінне п'ятнадцяти ($8+4+2+1=15_{10}$) в десятковій системі числення. Якщо в будь-якому розряді даного числа записаний 0, то значення цього розряду не входить до складу числа і ним нехтують при читанні. Наприклад, число 1001 в двійковій системі числення значиться як: «один, нуль, нуль, один у двійковій системі», що відповідає:

$$(2^3 \cdot 1) + (2^2 \cdot 0) + (2^1 \cdot 0) + (2^0 \cdot 1) = 9_{10}.$$

Символи 1 і 0 в двійковій системі числення не є цифрами в тому кількісному розумінні, до якого ми привикли, користуючись десятиковою системою. Тут вони лише служать умовними знаками, які показують, входить чи не входить десятковий еквівалент двійкового символу даного розряду до складу числа.

Двійкова система числення широко застосовується в мікропроцесорній техніці завдяки зручності зберігання і простоти введення двійкових чисел в ці пристрої. Арифметичні дії з двійковими числами набагато простіше ніж з десятковими, що полегшує конструювання

обчислювальних пристроїв. Однак в двійковій системі числення є і недоліки. Вони полягають у великій довжині двійкових чисел і малої їх наочності.

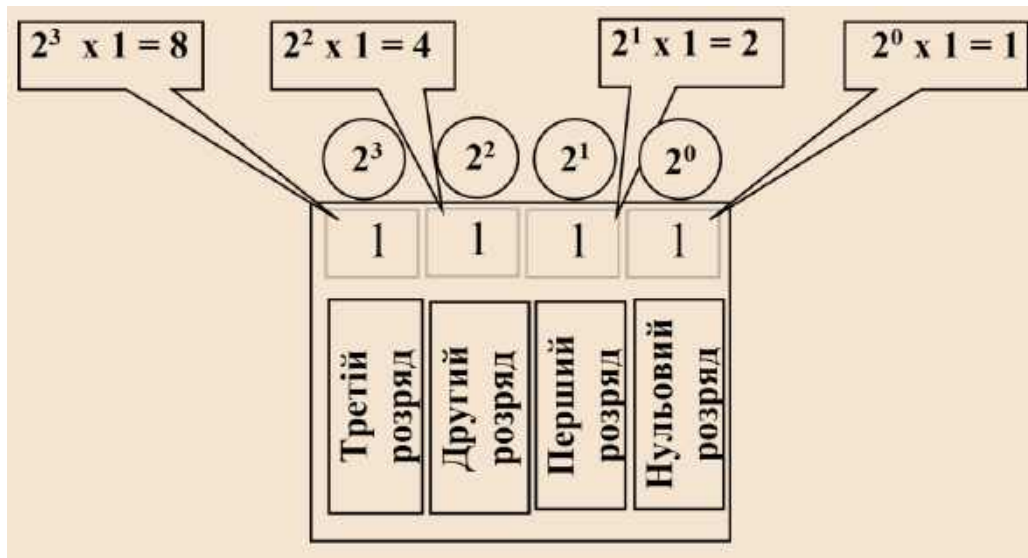


Рис. 7.1. Формат двійкового числа (1111_2) і десяткові еквіваленти в його розрядах

Розглянемо одиниці виміру цифрової інформації.

Біт (від англійського "Binary digiT" - двійкова цифра) приймає тільки два значення: 0 або 1. Група з восьми біт називається *байтом*, наприклад 10010111. Один байт дозволяє кодувати 256 значень: 00000000 - 0, 11111111 - 255. Біт це найменша одиниця подання інформації.

Байт - найменша одиниця обробки інформації. Байт це частина машинного слова, що складається з 8 біт і використовується як одиниця кількості інформації при її зберіганні, передачі і обробці на ЕОМ. Байт служить для представлення букв, цифр і спеціальних символів (що займають зазвичай всі 8 біт) або десяткових цифр (по 2 цифри в 1 байту).

Два взаємопов'язаних байта називається *словом*, 4 байта - *подвійне слово*.

Майже вся інформація, яка нас оточує, є *аналоговою*. Тому, перш ніж інформація потрапить на обробку в процесор, вона піддається перетворенню за допомогою АЦП (аналого-цифровий перетворювач). Крім того, інформація кодується в певному форматі і може бути *числовою*, *логічною*, *текстовою* (символьною), *графічною*, *відео* та і.н.

Наприклад, для кодування текстової інформації використовується таблиця кодів ASCII (від англ. American Standard Code for Information Interchange - *Американський стандартний код для обміну інформацією*). Запис одного символу здійснюється одним байтом, який може приймати 256 значень. Графічна інформація розбивається на точки (*пікселі*) і проводиться кодування кольору і положення кожної точки по горизонталі і вертикалі.

Крім двійкової і десяткової системи в МС використовують *шістнадцяткову* систему, в якій для запису чисел використовуються символи 0 ... 9 і A ... F. Її застосування обумовлюється тим, що один байт описується дворозрядним шістнадцятковим числом, що значно скорочує запис цифрового коду та робить його більш читабельним (11111111 - FF).

Запис чисел в різних системах числення наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Запис чисел в різних системах числення

10	2	16
0	0	0
1	1	1
2	10	2
3	11	3
4	100	4
5	101	5
6	110	6
7	111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F
16	10000	10

Для визначення значення числа, наприклад, числа 100 для різних систем числення може становити: 4, 100, 256, тому в кінці числа ля його визначеності додають відповідну цифру або латинську букву, що позначають систему числення. Так для двійкових чисел дописують букву b, для шістнадцятирічних - h, для десяткових - d. Число без додаткового позначення вважається десятковим. Тоді $100_2 = 100b = 4_{10}$; $100_{10} = 100d = 100$; $100_{16} = 100h = 256_{10}$.

7.3. Мікропроцесори

Мікропроцесор виконується у вигляді інтегральної мікросхеми. Його характеристики описуються великою кількістю параметрів, таких як швидкодія, завадостійкість, рівні сигналів, споживана потужність, надійність, розрядність, тип корпусу і ін. За кількістю ВІС в мікропроцесорному комплекті розрізняють *однокристальні, багатокристальні і багатокристальні секційні* МП.

Однокристальний мікропроцесор - це процесор, апаратурні засоби якого розміщені на одному кристалі.

На рис. 7.2 зображено зовнішні види першого у світі 8-розрядного однокристального мікропроцесора Intel 8008 (фірма Intel, 1972р.) і першого в СРСР КР580ВК80А (1984р).

Однокристальний МП має фіксовані розрядність, набір команд і конструктивно виконується у вигляді однієї інтегральної мікросхеми.



Рис. 7.2. Зовнішній вид 8-розрядного однокристального мікропроцесора Intel 8008 і КР580ВМ80А

Всі виконувані ним операції визначаються *набором команд* МП.

Схемотехнічною особливістю однокристального МП є наявність *внутрішньої* шини даних, що з'єднує всі внутрішні блоки МП.

Для однокристальних МП характерні *послідовна* організація обчислювального процесу, *послідовний* обмін інформацією по загальній інформаційній шині. Велика частина МП, що виробляються у світі, відноситься до класу однокристальних. Як приклад таких вітчизняних МП можна назвати мікросхеми: КР580ВМ80А, КР1821ВМ85, КР1810ВМ86 і ін.

Багатокристальні мікропроцесори отримують шляхом розділення логічної структури процесора на функціонально закінчені частини і їх реалізації у вигляді окремих ІС. Функціональна закінче-

ність ІС багатокристалного мікропроцесора означає, що його частини виконують заздалегідь визначені функції і можуть працювати автономно. У багатокристалних МП використовується сукупність МС, що утворюють мікропроцесорний комплект.

Багатокристалні секційні мікропроцесори складаються з набору *мікропроцесорних секцій*. Мікропроцесорна секція - мікропроцесорна інтегральна мікросхема, що реалізує частину мікропроцесора і володіє засобами простого функціонального об'єднання з однотипними або іншими мікропроцесорними секціями для побудови закінчених мікропроцесорів, МПУ або мікроЕОМ.

Керування секційними мікропроцесорами здійснюється *мікропрограмним* способом. При цьому команди реалізуються як послідовність мікрокоманд, записаних в спеціальному ПЗП. Вміст такого пристрою, що запам'ятовує можна змінювати за бажанням розробника. Багатокристалні секційні мікропроцесори мають розрядність від 2-4 до 8-16 біт і дозволяє створювати високопродуктивні процесори мікропроцесорних систем. До секційним МП відносяться МС серій К583, К584, К589, КР1802, КМ1804 і ін.

По виду оброблюваних вхідних сигналів розрізняють *цифрові* і *аналогові* мікропроцесори. При цьому слід пам'ятати, що в обох видах мікропроцесорів обробка інформації - *цифрова*. В аналогових МП спеціально для обробки аналогових сигналів вбудовані аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі. У системах з аналоговими МП вхідні аналогові сигнали передаються в МП через АЦП, обробляються в цифровій формі і після перетворення в аналогову форму в ЦАП надходять на вихід.

За розрядності розрізняють мікропроцесори з *фіксованою* і з розрядністю слова, що можна змінювати (модульні МП). При фіксованій розрядності найбільш поширені МП з довжиною слова 8 і 16 біт. При модульному принципі можлива побудова 8-, 16-, 24-, 32-, 64- розрядних МП із секцій розрядністю 2, 4 або 8.

За способом керування МП поділяються на *мікропрограмні* та з *жорстким керуванням*. Мікропрограмне керування характерно для секційних МП з нарощуваною розрядністю і дозволяють користувачу встановлювати власний набір операцій і команд, оптимальних для реалізації певних завдань. Жорстке (апаратне) керування такої можливості не має.

Можлива класифікація МП за характером тимчасової роботи - *синхронні* і *асинхронні* МП. В синхронних МП початок і кінець вико-

нання операцій задаються пристроєм керування, а в асинхронних МП початок виконання кожної наступної операції визначається за сигналом фактичного виконання попередньої операції).

Можна класифікувати МП і по більш дрібним ознакам, наприклад, за кількістю регістрів загального призначення, джерел живлення і т.д.

7.4. Мікропроцесорні контролери

В даний час одними з основних мікропроцесорних засобів, що широко застосовуються в автоматичі, є однокристальні мікроЕОМ (ОЕОМ) або, як їх ще називають, *однокристальні мікропроцесорні контролери* або *мікроконтролери* (embedded microcontrollers), які призначені для "інтелектуалізації" обладнання різного призначення.

Мікроконтролери (МК) орієнтовані на виконання, в першу чергу, функцій керування з різними пристроями. Звідси і назва - «*мікроконтролери*». Однокристальний МК є прилад, конструктивно виконаний у вигляді ВІС і що включає в себе всі складові частини мікроЕОМ, пам'ять програм і пам'ять даних, а також програмовані інтерфейсні схеми для зв'язку із зовнішнім середовищем.

Мікроконтролер, на відміну від мікропроцесора, зазвичай має невелику розрядність (8 - 16 біт) і багатий набір команд маніпулювання окремими бітами. Бітові команди дають можливість управляти дискретним обладнанням (підняти/опустити шлагбаум, включити/вимкнути лампу, нагрівач, запустити/зупинити двигун, відкрити/закрити клапан, і ін.).

Обмежений обсяг пам'яті і система команд, яка орієнтована на побітову обробку даних, не дозволяють створювати на основі ОЕОМ контролери, робота яких зв'язана з обробкою великих обсягів інформації або з використанням складних арифметичних операцій. Незважаючи на це, коло застосувань ОЕОМ досить широкий. Вони з успіхом використовуються для побудови різного роду контрольно-вимірювальної апаратури, побутової апаратури, контролерів нижніх рівнів складних систем керування.

Засоби, що забезпечують можливість оперувати окремими бітами, вводити і виводити дискретні сигнали називають «двійковим процесором».

На рис. 7.3 зображено малюнок схеми плати мікроконтролеру з розміщеними блоками і вузлами.

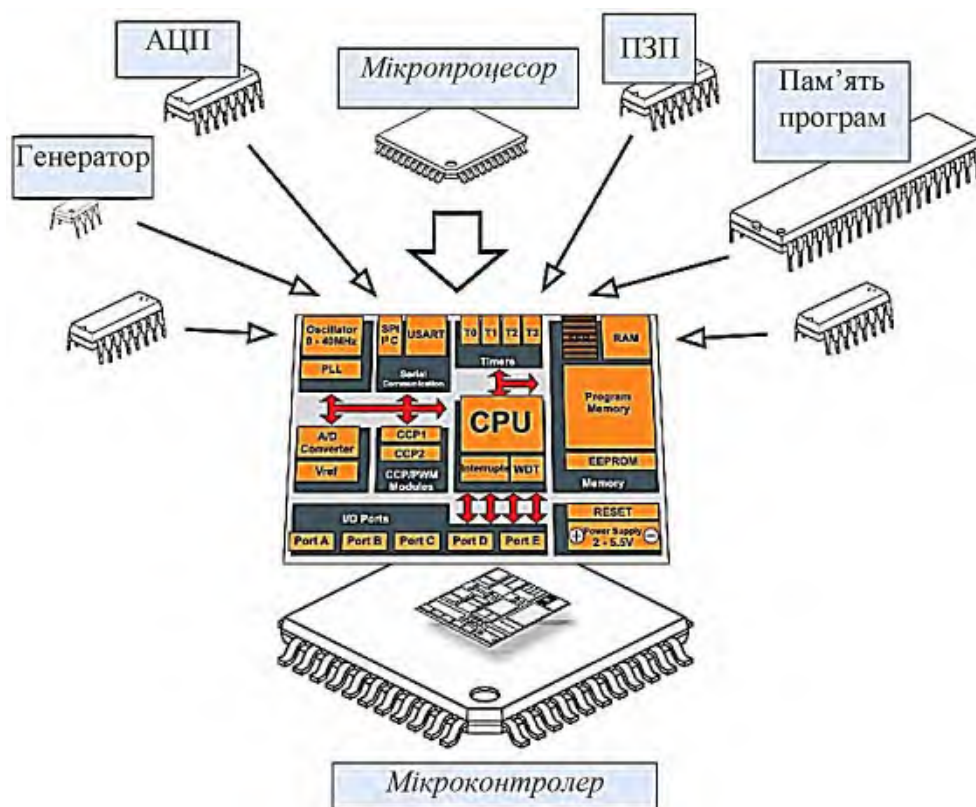


Рис. 7.3. Зображення блоків і вузлів, що містить мікроконтролер

Однокристалні мікроЕОМ відрізняються *розрядністю, системою команд, об'ємом пам'яті, дією пристроїв введення/виведення.*

До теперішнього часу більше двох третин коштів світового ринку мікропроцесорів складають саме однокристалні МК.

Використання МК в системах керування забезпечує досягнення високої ефективності при досить низькій вартості.

Піонером в області розробки МК є корпорація Intel. У 1976 р вона випустила перший універсальний 8-розрядний мікроконтролер 8048. В даний час Intel випускає кілька сімейств МК: MCS-51/151, MCS-251, MCS-96/196/296, що мають понад 100 моделей. Вони дають можливість задовольняти попит широкого кола виробників різноманітної електронної апаратури.

Професійний інтерес представляє і сімейство однокристалних мікроконтролерів фірм Microchip Technology Inc і Mitsubishi Electric. Серед сімейства МК фірми Microchip завоювали популярність такі мікроконтролери як PIC16C5x, PIC17C4x, PIC17C75, а фірми Mitsubishi - МК типу M3820 різної модифікації.

На рис. 7.4 зображено зовнішній вид нашого вітчизняного МС однокристалного мікроконтролера (тип КР1816ВЕ35).



Рис. 7.4. Вид мікроконтролера KP1816BE35

Вітчизняна мікроелектронна промисловість освоїла широкомасштабний випуск однокристальних мікроконтролерів, до яких можна віднести: 4-бітові мікроконтролери серій 1814, 1820, 1829 і 1013; 8-бітові мікроконтролери серії 1816 і 1830; мікроконтролери сигнальні (аналогові мікропроцесори) серії 1813.

7.5. Однопроцесорні системи в автоматичі

Найпростіша однопроцесорна система має такий склад. МП - мікропроцесор; ОЗП - оперативний запам'ятовуючий пристрій; ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій; ПВв - пристрій вводу; ПВив - пристрій виведення; ШК – шина керування; ШД - шина даних; ША - шина адреси; ІВВ - інтерфейс введення/виведення; БСВМ - блок сполучення з виконавчими механізмами; ВМ - виконавчі механізми; Д - датчики інформації стану об'єкта керування; БСД - блок сполучення з датчиками.

МП - центральний і головний елемент будь-якої мікропроцесорної системи, в якому зосереджені всі функції обробки інформації і вироблення керуючих впливів. Фізично мікропроцесор являє собою інтегральну схему - тонку пластинку кристалічного кремнію прямокутної форми площею всього кілька квадратних міліметрів, на якій розміщені схеми, що реалізують всі функції процесора. Кристал-пластинка зазвичай міститься в пластмасовому або керамічному плоскому корпусі і з'єднується золотими проводками з металевими штирями, щоб його можна було приєднати до системної плати комп'ютера.

ОЗП - пристрій, призначений для зберігання окремих програм роботи мікропроцесорної системи (МПС), зберігання даних для обробки інформації, запису і зберігання результатів виконуваних функцій, а так само для зберігання будь-якої іншої оперативної інформації для роботи МПС в даний момент. По швидкодії ОЗП має бути близько до МП для того щоб здійснювати ефективний обмін даними між МП і ОЗП і навпаки. ОЗП - є енергозалежним пристроєм. При відключенні живлення від МПС інформація з ОЗП втрачається.

ПЗП - пристрій, що призначений для зберігання всіх основних програм роботи МПС, а так само й різних констант і іншої постійної інформації, необхідної при роботі МПС.

За швидкістю ПЗП має бути близько до МП. ПЗП - є енергонезалежним пристроєм і тому при відключенні електроживлення від МПС інформація зберігається повністю.

ПВ_в - пристрій вводу, який необхідний для введення в МПС додаткової інформації, що надходить з зовні даної МПС. ПВ_в може бути кілька десятків або сотень. Дана кількість буде залежати від складності МПС і можливостей МП.

ПВив - пристрій, який необхідний для виведення перетвореної в МП інформації в вузли і блоки МПС, а так само оператору. Даних пристроїв може бути дуже багато. УВив мають інтерфейсний канал (ІК).

ІВВ Інтерфейс (англ. *interface* – засіб спряження, сполучення) є сукупністю уніфікованих технічних і програмних засобів, необхідних для підключення зовнішніх пристроїв. Він забезпечує перетворення сигналів МП у сигнали, що сприймаються зовнішніми пристроями.

Шина - модуль, що призначений для зв'язку блоків і пристроїв системи в єдине ціле. Фізично шина є набір електричних провідників. Дані по шині передаються у вигляді *слів*, що є групою бітів.

Усі основні блоки мікропроцесорного комплекту під'єднуються до єдиної паралельної шини, яка називається *системною шиною* SB (System Bus). Системна шина містить три шини: *адреси*, *даних* і *керування*.

Шина адреси АВ (Address Bus) є однонапрямленою і призначена для передавання адреси комірки пам'яті або пристрою введення/виведення. Напрямок передавання по шині адреси – від мікропроцесора до зовнішніх пристроїв. Приклади умовних позначень однонапрямленої паралельної шини наведені на рис. 7.5, на якому стрілка вказує напрямок передавання.

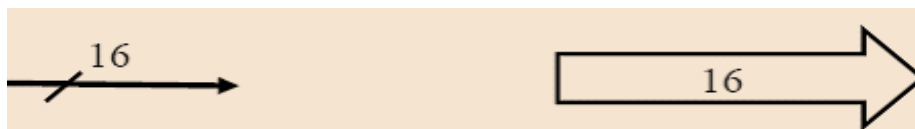


Рис. 7.5. Варіанти умовних позначень однонапрямленої паралельної 16 - розрядної шини

Кількість 16 на рис 7.5 характеризує розрядність шини. Зазначимо, що допускається позначення шин і без наведення розрядності.

Шина даних DB (Data Bus) є двоспрямована напрямленою і призначена для передавання даних між блоками мікропроцесорної системи. Інформація по одних і тих самих лініях DB може передаватися у двох напрямках - як до мікропроцесора, так і від нього.

Варіанти умовних позначень двоспрямованої шини наведені на рис. 7.6.



Рис. 7.6. Варіанти умовних позначень двоспрямованої паралельної 8 - розрядної шини

Шина керування CB (Control Bus) призначена для передавання керуючих сигналів.

Хоча напрямок керуючих сигналів може бути різним, однак шина керування не є двоспрямованою, бо для сигналів різного напрямку використовуються окремі лінії.

МПС керування доповнюється засобами сполучення (узгодження) з об'єктом (датчики, аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі, виконавчі пристрої і т.п.).

На рис. 7.7 зображено узагальнену структурну схему мікропроцесорної системи.

МПС складається з певної кількості модулів. До складу системи включені: центральний процесор (ЦП), ОЗП, ПЗП, контролер переривання, інтерфейси введення і виведення (ІВВ), таймер, пристрої введення і виведення (ПВВ). ОЗП і ПЗП становлять систему пам'яті, що служать для зберігання інформації, необхідної для функціонування МПС.

Оперативний запам'ятовуючий пристрій використовується для зберігання переміжних результатів обчислень, а постійний - для зберігання системних і призначених для користувача програм, констант.

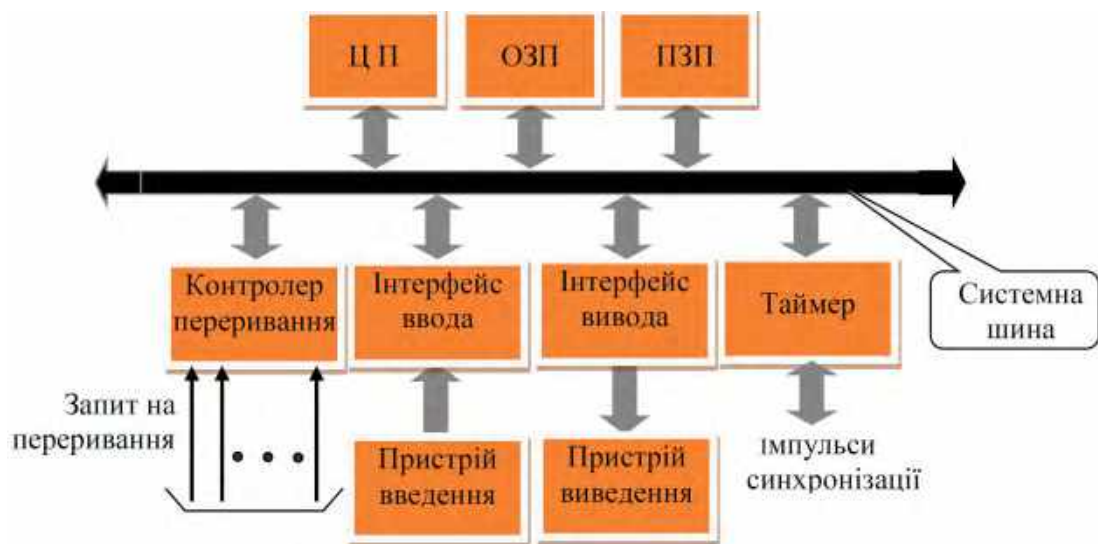


Рис. 7.7. Узагальнена структурна схема мікропроцесорної системи

Модуль центрального процесора забезпечує обробку даних і, крім того, керує всіма складовими модулями системи. Центральний процесор містить ІС МП, схему синхронізації і інтерфейс з системою шиною.

Пристрій введення призначений для введення інформації в МП, а пристрій виведення - для виведення її з мікропроцесора. Як приклад пристроїв введення, можна привести: *датчики, аналого-цифрові перетворювачі, клавіатура*, а пристроїв виведення - *дисплеї, друкарні пристрої, цифро-аналогові перетворювачі, реле*. Для підключення ПВВ до системної шини їх сигнали повинні відповідати певним стандартам. Це досягається за допомогою інтерфейсів введення-виведення. Інтерфейси введення-виведення (їх називають також *контролерами* або *адаптерами*) виконують функцію узгодження сигналів ПВВ з сигналами системної шини МПС.

Для сполучення об'єкта керування або контролю з МПУ або МПС, коли до складу обладнання входять датчики і виконавчі механізми, використовуються блоки сполучення, які виконують функції узгодження інтерфейсів. Іноді ці блоки називають *пристроями зв'язку з об'єктом* (ПЗО).

Система переривань реагує на зовнішні сигнали і дозволяє МПС приймати сигнали запиту переривань, джерелами яких можуть бути сигнали готовності зовнішніх пристроїв (генераторів, таймерів, датчиків і ін.).

З появою *запиту переривання*, ЦП перериває основну програму і переходить до виконання *підпрограми* обслуговування запиту перери-

вання. Для побудови системи переривань МПК містять ВІС спеціальних програмованих *контролерів переривань*, наприклад ІС К580ВН59.

Таймер призначений для реалізації функцій, пов'язаних з відліком часу. Після того, як МП завантажує в таймер число, яке задає частоту затримки або коефіцієнт ділення, таймер реалізує потрібну функцію самостійно. Широке застосування в мікропроцесорній техніці знайшов таймер, реалізований в інтегральному виконанні типу К580ВН53.

7.6. AVR мікроконтролери

В 1997 року корпорація Atmel приступила до серійного виробництва нового сімейства 8-бітних мікроконтролерів, які отримали назву АВР (*AVR*). Поява цих мікроконтролерів зобов'язана ідеї розробки так званого RISC-ядра, що належить двом студентам з норвезького міста Тронхейма - Альфу Богену і Вегард Воллену, які його і запатентували. Мікроконтролери АВР мають, так звану, *гарвардську* архітектуру це архітектура з роздільними шинами даних і команд. Ця архітектура передбачає наявність в системі окремої пам'яті для даних і окремої пам'яті для команд.

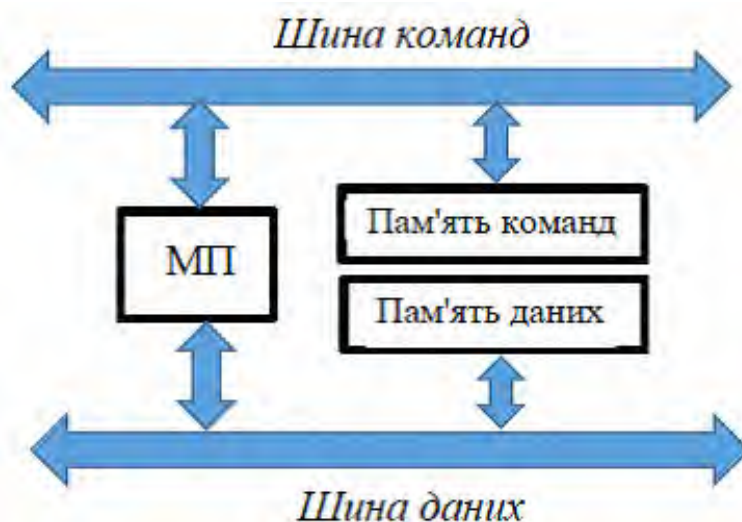


Рис. 7.8. Спрощена структура архітектури AVR мікроконтролерів

У разі двохшинної архітектури обмін по шинам може бути незалежним, паралельним в часі. Відповідно, структури шин (кількість розрядів адреси та даних, порядок і швидкість обміну інформацією і т.д.) можуть бути обрані оптимально для того завдання, яке вирішується кожною шиною.

Тому за інших рівних умов перехід на двохшинну архітектуру прискорює роботу МП системи. В цьому випадку, пам'ять даних і пам'ять команд мають свій окремий розподіл адреси.

На рис. 7.8 зображено структуру архітектури AVR мікроконтролерів. Основна перевага двохшинної архітектури, що реалізується в одній мікросхемі, в її швидкодії, коли не виникає потреба вирішення занадто складних задач, але натомість необхідна максимальна швидкодія при заданій тактовій частоті.

Сімейство AVR включає в себе 8 - бітні мікроконтролери для широкого спектра задач.

Для проектів з великою кількістю входів/виходів надані мікроконтролери AVR сімейства *Mega* і AVR *xMega*, які випускаються в корпусах від 44 до 100 виведень і мають до 1024 кБ Flash пам'яті, а швидкість їх роботи - до 32 мільйонів операцій за секунду. Практично всі моделі мають вбудовані АЦП і ЦАП. AVR - це найпопулярніше сімейство МК, про них написано дуже багато книг українською та іншими мовами світу. Популярність сімейства AVR підтримується на високому рівні вже багато років, в останні 10 років інтерес до них підігріває проект *Arduino* - плата для простого входу в світ цифрової електроніки. Найпростіший МК AVR з технічної точки зору є тип *Tiny*. У нього мало пам'яті і виведень для підключення сигналів, ціна відповідна. Однак це ідеальне рішення для найпростіших проектів, починаючи від автоматики керування освітлювальними приладами салону автомобіля, до осцилографічних пробників для ремонту електроніки своїми руками. На рис. 7.9 зображено зовнішній вид одного з розповсюджених типів МК сімейства AVR ATmega328 в dip 28 корпусі.



Рис. 7.9. Зовнішній вид МК AVR типу ATmega328

МК з напругою живлення 1,8-2,7В працюють з частотою до 12МГц, а з напругою живлення 2,7-3,6В вже можуть працювати на більш високих частотах - до 32МГц.

Короткі відомості про «Arduino». *Arduino* – це маленька плата (платформа) з процесором, по потужності порівняним з

комп'ютерами кінця 90-х років. У неї є контакти, до яких можна підключати будь-які пристрої: моторчики, лампочки, сенсори, динаміки.

Платформу «Arduino» названо в честь однойменної невеличкої забігайлівки в містечку Івреа, що в Італії, яку група розробників часто відвідувала. Саму ж забігайлівку названо в честь італійського короля Ардуїна I.

Платформа «Arduino» користується величезною популярністю в усьому світі завдяки зручності і простоті мови програмування, а також відкритій архітектурі. Маленька друкована плата тепер є, свого роду, джерелом натхнення для «митців» в електроніці, людей, захоплених електронними виробами, студентів і будь-кого, у якого є мрія зібрати що-небудь «значне».

Arduino - це електронний модуль-конструктор, який має в своєму складі МК AVR, який є мозком усього цього конструктора.

Відмінність від самого МК AVR - це спрощене програмування, велика кількість дешевих периферійних пристроїв, які можна купити без проблем, а також проста і безпечна "заливка" програми в МК.

На рис. 7.10 зображено одну з плат Arduino.

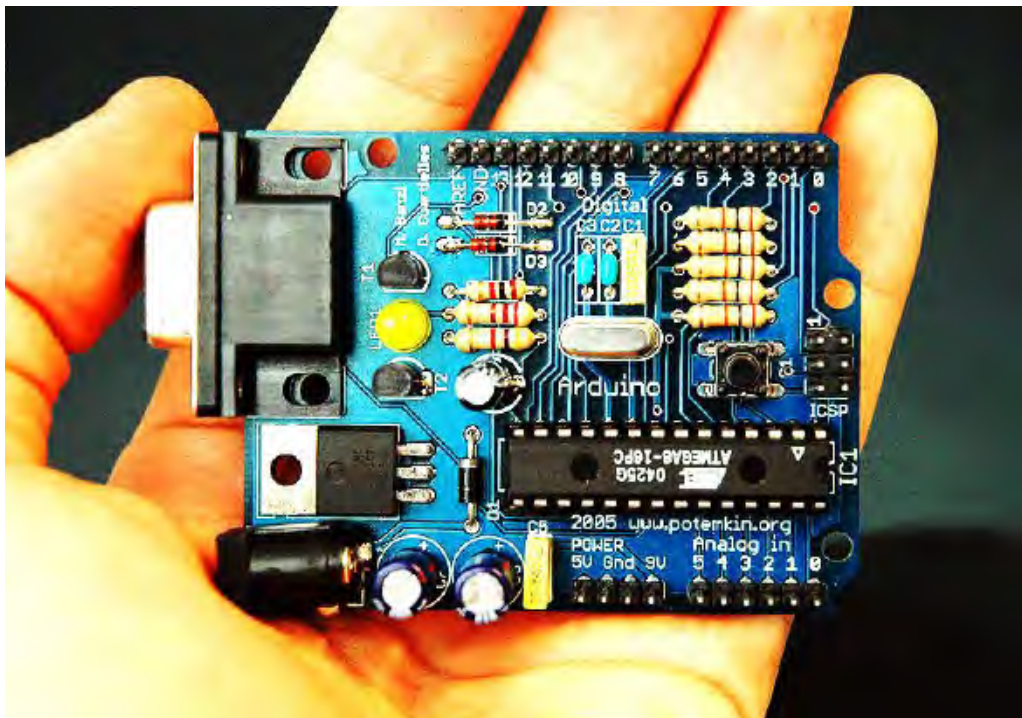


Рис. 7.10. Зображення плати Arduino

Велика частина Arduino виконана на 8-розрядному мікроконтролері компанії *Atmel*.

Головний плюс плат Arduino – порівняно просте проектування та збірка макетів.

На багатьох платах Arduino присутній лінійний стабілізатор напруги + 5В або +3,3В.

На сьогоднішній день налічується досить велика кількість різних плат Arduino, що відрізняються один від одного по продуктивності, функціональності і вартості.

Основна увага приділяється таким популярним платам (як оригінальних, так і сумісних): *Uno*, *Mega*, *ESP8266*, *Zero* і *MKR*. Uno є кращою відправною точкою для проектів Arduino. Його процесор - ATmega328P від Microchip. Найбільш характерна специфікація цього процесора - 2048 байт ОЗП.

Для вирішення простих завдань з використанням плат Arduino не потрібен великий запас знань, багато чого можна зробити і в шкільному віці, учні самі зацікавляються, коли побачать прості і цікаві пристрої, і зрозуміють на чому вони реально зможуть реалізувати отримані знання курсу фізики, інформатики і математики.

Контрольні запитання

1. Обґрунтуйте доцільність використання мікропроцесорних засобів у системах автоматизації і напрямки їх розвитку.
2. Укажіть на основні напрями розвитку мікропроцесорної техніки.
3. Дайте визначення мікропроцесору?
4. Що таке ступінь інтеграції?
5. Назовіть основні блоки, що входять до складу мікропроцесора.
6. Дайте визначення мікроконтролеру?
7. Яка система числення використовується при обробці даних в мікропроцесорній системі?
8. Що таке байт інформації?
9. Наведіть приклад перетворення числа в двійковому коді в десятиковий.
10. Яке призначення шин даних, адреси і керування?
11. Що таке апаратний інтерфейс?
12. Назвіть основну особливість мікросхем з гарвардською архітектурою.
13. Що таке платформа Ардуїно?
14. Назвіть переваги плат і коли доцільно їх використовувати?

8.1. Історія розвитку робототехніки

Робототехніка (від *робот* і *техніка*; англ. *robotics* - *роботика*, *робототехніка*) - прикладна наука, що займається розробкою автоматизованих технічних систем і є найважливішою технічною основою інтенсифікації виробництва. *Робототехніка* є однією з провідних галузей технологічного та економічного розвитку як нашої держави, так і багато різних держав. Робототехнічні комплекси сприяють прискоренню виробництва, підвищенню якості продукції і найголовніше допомагають виключити людський фактор.

Своєю назвою «*роботи*» зобов'язані кібернетикам і навіть не інженерам, а письменнику. Це Карел Чапек - відомий чеський письменник і драматург вперше придумав це слово. Карел Чапек у 1920 році придумана ним людиноподібна істота, персонаж п'єси «*RUR*» («*Россумські універсальні роботи*»). Один з героїв п'єси, генеральний директор компанії «*РУР*», відповідаючи на питання, що таке *роботи*, говорить: «*Роботи* - це не є люди, вони механічно досконаліше нас, вони мають неймовірно сильний інтелект, але у них немає душі».



Карел Чапек
(1890 – 1938pp.)

Так вперше з'явилося нове поняття «*робот*», яке незабаром з фантастичної літератури перейшло в науку і техніку. У п'єсі «*РУР*» *роботи*, спочатку створені для заміни людей на заводах, незабаром вийшли з під контроль людей і почали знищувати своїх творців. Так К. Чапек ілюструє думку про те, що техніка може приносити користь людству, тільки перебуваючи в чесних, добрих руках. Дискусії навколо *робота* і його штучного інтелекту, показують, що люди розуміють небезпеку, яку таять у собі *роботи*, слуги силам зла. На рис. 8.1 зображено сцену з вистави за п'єсою «*Россумські універсальні роботи*».

На початку минулого століття письменниця *Мері Шеллі* написала роман «*Франкенштейн*». У романі Віктор Франкенштейн, геніальний вчений, створив з неживої матерії живу істоту. Це чудовисько, яке подібне людині, спочатку бажало людям добра, вийшло з покори, і жорстокий нелюдський світ зробив його злочинцем. Слід зауважити, що ідея створення *роботів* - механізмів, людей захоплювала своїм зо-

внішнім виглядом і діями схожих на живих істот, здатних літати, жити під землею і водою, діяти самостійно і в той же час беззаперечно підкорятися людині, виконуючи за нього найважчу і небезпечну роботу, ще з незапам'ятних часів .



Рис. 8.1. Сцена з вистави «Россумські універсальні роботи»

У 1497 році в Мілані *Леонардо да Вінчі* здивував публіку механічним лицарем. Робот міг повертати головою, сідати, вставати і піднімати забрало. Ще одним винаходом Леонардо вважають механічного лева в натуральну величину. Лев ходив і вставляв на задні лапи, показуючи герб Франції на грудях.

Найбільш знаменитим творцем автоматичних фігур того часу був французький механік *Жак де Вокансон*. Його автоматична фігура «Порхаюча качка» (див. рис. 8.2).



Рис. 8.2. Зображення «порхаючої качки» Вокасона

Качка витягувала шию, клювала і переварювала даний зерно, пила, плавала і крякає, в точності імітуючи рухи живої качки.

Вже на початку ХІХ століття з'являються прядильні і ткацькі верстати-автомати з програмним управлінням. У грізний для Європи час, коли Наполеон завойовував одну країну за іншою і армії потрібно було багато тканин, французький винахідник *Жозеф Марі Жаккар* знайшов спосіб, яким можна було б впливати на складну роботу механізмів ткацького верстата. Для цього винахідник використовував набір картонних карт з різним розташуванням отворів. Саме отвори і були умовним позначенням порядку роботи машини - її *програмою*. Карта проходила під щупами. Коли щупи потрапляли в отвори, вони опускалися і за допомогою спеціальних приладів переміщали нитки на ткацькому верстаті. Так на тканинах виходили складні візерунки. Нова карта, нова програма, а значить, і новий візерунок. Зміна листа карти рівносильна заміні одного жорстко запрограмованого верстата іншим, нової конструкції. Це вже був значний крок вперед. Ідея введення програми роботи автомата за допомогою картонних карт і набору щупів виявилася дуже вдалою. З дня винаходу Жаккар пройшло більше ста п'ятдесяти років, проте до цих пір не знайдено кращого способу вироблення тканин, прикрашених складним малюнком.

Слово «*програма*» походить від грецького слова «*грами*» - «*писання*» і приставки «*про*», яка тут означає «*наперед*». Загальний сенс слова «*програма*» - приречення, щось написане для майбутнього. У нашому випадку програмний механізм визначає всю послідовність поведінки механічних людей. І жодного руху автомата, навіть самого незначного, не можна змінити, не внісши в програму поправки.

Перші промислові запрограмовані механізми з'являються в 1930-х роках в США. Поштовхом до їх створення послужила робота Генрі Форда по створенню конвеєра, який повністю змінив підхід до виробництва. Тепер робота над автомобілем була розбита на безліч етапів, одноманітність яких швидко стомлювала людини, а наявна тепер свобода вибору місця за конвеєром змусила платити більше за найменш кваліфіковану і шкідливу роботу, наприклад фарбування.

Парадоксально, але перший радянський робот «В2М» був створений школярем *Вадимом Вікторовичем Мацкевичем* (1920-2013р.). Сталося це в 1936 році, коли Вадиму було всього лише 16 років.

На рис. 8.3 зображено перший радянський робот і його автор – піонер Мацкевич В.В.

Роботи відрізняються один від іншого загальним видом, габари-

тами і технічними характеристиками, але у них є і загальні ознаки. Ступні робота зроблені дуже великими, щоб збільшити стійкість моделі. Ноги робота з верхньої горизонтальної платформою вільно відокремлюються від тулуба. У масивних ступнях моделі знаходяться батареї акумуляторів і механізми, що приводять в рух задні колеса кожної ступні.

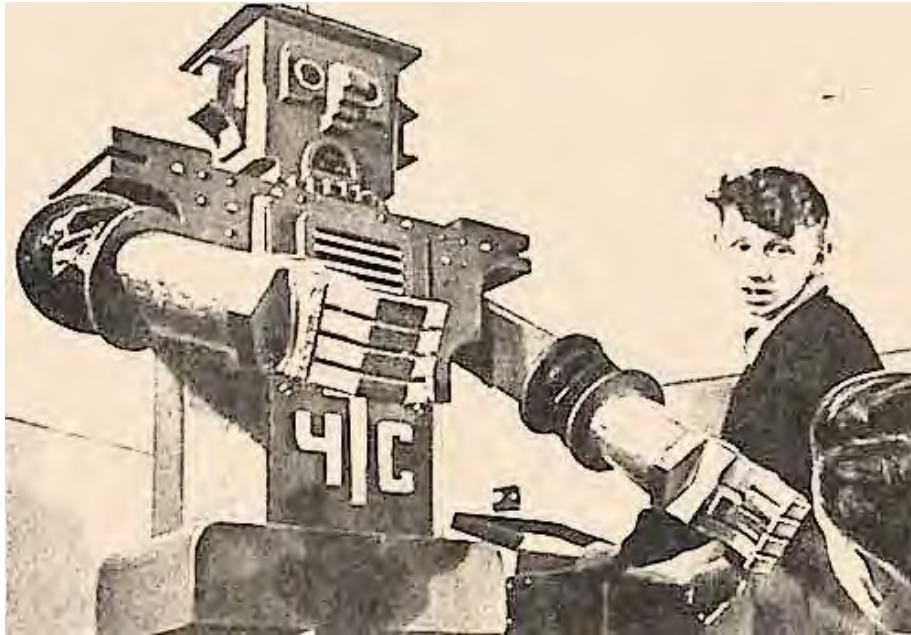


Рис. 8.3. Перший радянський робот

В кожній ступні змонтовано по три металевих колеса з жорсткими гумовими обіймами. В середній частині ноги проходять металеві тяги, завдяки яким досягається стійкість моделі під час руху.

Тулуб робота встановлюють на горизонтальну платформу і кріплять замками.

У професійному середовищі «*батьком робототехніки*» називають *Джозефа Енгельбергера (1925 – 2015р)* – знаменитого американського інженера, винахідника, підприємця. Він є власником першого патенту США на робот-маніпулятор (Патент 2988237, 1961). Саме його публічна діяльність зробила Енгельбергера «*батьком робототехніки*».

На рис. 8.4 зображено робот – маніпулятор і його винахідник Джозеф Енгельбергер.

У 1956 р. Джозеф Енгельбергер, разом з *Джорджем Деволом*, заснував компанію *Unimation*. Це поклало початок комерційного застосування промислових роботів (1994 р.). У пору 50-х років ниніш-

нього століття в тогдашній нашій країні, Радянському Союзі, почала-ся розробка промислових роботів або, як їх часто називають, *автоматичних маніпуляторів*.



Рис. 8.4. Робот – маніпулятор і його винахідник Джозеф Енгельбергер - «батько робототехніки»

Датою народження першого по-справжньому серйозного робота, про якого почув весь світ, можна вважати 18 травня 1966 року. У цей день Григорій Бабакін, головний конструктор машинобудівного заводу імені С.А. Лавочкина, підписав головний том проекту по створенню робота для дослідження Місяця - «Луноход-1».

В середині 1960-х рр. японські компанії почали розробку і виробництво власних роботів на основі ліцензійної угоди з Unimation.

До 1970 р роботи активно використовувалися в автомобільній промисловості США і Японії. До кінця 1980-х рр. Японія стала світовим лідером в цій сфері.

Перший повноцінний гуманоїдний робот, сконструйований в університеті *Васеда* (Японія), став основою для подальших численних інновацій, перш за все в області інтерфейсів взаємодії з людиною. Незважаючи на ранні свідчення використання «ніг» для пересування машин, основні прориви, що забезпечили створення електромеханічних пристроїв, здатних пересуватися на ногах, були зроблені в 1960 - 1970 рр.

Розвиток електротехніки та електроніки в XX столітті дало но-

вий імпульс пошукам реалізації концепції *андроїдів*. Проте в сучасному розумінні роботи з'явилися в результаті індустріалізації як засобу виконання повторюваних операцій.

В останні роки активно розвиваються два технологічних напрямки, пов'язаних із застосуванням промислових роботів. Перший - це системи, що дозволяють людям або комп'ютерам керувати роботами в дистанційному режимі. Другий - механічні маніпулятори - системи, такі як «руки» або «ноги», для пересування і оперування об'єктами. Як велике досягнення в розвитку робототехніки можна відмітити створення планетоходів, зокрема марсохода, що пересувається по поверхні Марса (див. рис. 8.5). Марсоходом, на відміну від місяцехода, неможливо управляти дистанційно командами оператора, що знаходиться на Землі, в режимі реального часу через значне запізнювання командних сигналів і сигналів від планетоходу. Час запізнювання становить від 4 до 21 хвилин у залежності від взаємного положення Землі і Марса. Затримка виникає, оскільки радіосигналу внаслідок обмеженості його швидкості поширення потрібен час, щоб дійти до Марса і від нього до Землі. Тому марсоходи здатні деякий час функціонувати, в тому числі пересуватися і виконувати дослідження, автономно по закладеним в них програмами, отримуючи команди лише час від часу.



Рис. 8.5. Зображення марсохода «Персеверанс»

Використання роботів відкриває перспективи створення принципово нових технологічних процесів, в яких неможлива безпосередня участь людини. Наприклад, коли людина в умовах сильної радіації працювати не може.

Комплексне застосування промислових роботів вже сьогодні до-

зволяє підвищити продуктивність праці в 1,5 - 2 рази, майже в 2 рази, і, між іншим, суттєво покращує загальну культуру виробництва.

І нарешті - фактор *соціальний*. Роботи візьмуть на себе практично всю некваліфіковану працю. Вони замінять людину на важкій, небезпечній, монотонній роботі, а людина, ставши кваліфікованим оператором, буде нею керувати, навчати їх і налаштовувати.

Не дивлячись на широке використання роботів у житті сучасного суспільства, загальноприйнятого визначення робота не існує. Вікіпедія визначає робота як автоматичний пристрій, що створений за принципом живого організму. Діючи за заздалегідь закладеною програмою і отримуючи інформацію про навколишній світ від датчиків (аналогів органів чуття живих організмів), робота самостійно здійснює виробничі та інші операції. При цьому робота може як мати зв'язок з оператором (отримувати від нього команди), так і діяти автономно.

Огляд відповідних літературних джерел показав, що є велике різноманіття роботів і тому існує самостійна проблема їх класифікації. Зазвичай роботи класифікують за такими ознаками: *областю застосування* (промислові, військові, дослідні, медичні і т.д.); *середовищем експлуатації* (наземні, підземні, надводні, підводні, повітряні, космічні, комбіновані); *ступенем рухливості* (стаціонарні, мобільні); *типом системи керування* (програмні, адаптивні, інтелектуальні); *функціональним призначенням* (маніпуляційні, транспортні, інформаційні, комбіновані); *рівнем універсальності* (спеціальні, спеціалізовані, універсальні); *типом виконавчих приводів* (електричні, гідравлічні, пневматичні і т.д.); *способом керування* (автоматичні, телекеровані, ручні і т.д.).

Найважливіші класи роботів широкого призначення це *маніпуляційні* та *мобільні* роботи.

Маніпуляційний робота - автоматична машина (стаціонарна або пересувна), що складається з виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора, що має кілька ступенів рухливості, і пристрою програмного керування, який служить для виконання рухових і керуючих функцій у виробничому процесі. Такі роботи особливо найбільше поширення отримали у машинобудівних та приладобудівних галузях.

Мобільний робота - автоматична машина, в якій є рухоме шасі з автоматично керованими приводами. Такі роботи можуть бути колісними, крокуючими і гусеничними. Існують також мобільні робототехнічні системи, що повзають, плавають і літають.

У розвитку методів керування роботами величезне значення

мають досягнення технічної кібернетики та теорії автоматичного управління.

Робототехнічні комплекси стали популярними і в галузі освіти як сучасні високотехнологічні дослідні інструменти в області теорії автоматичного управління і мехатроніки. Застосування можливостей робототехнічних комплексів в інженерній освіті дає можливість одночасної відпрацювання професійних навичок відразу по декількох суміжних дисциплін: електроніка, мікропроцесорна техніка, механіка, теорія управління, схемотехніка, програмування.

При створенні перших роботів і аж до наших днів завжди зразком виступали можливості людини. Будова людини, тварин і комах стає тією областю, в якій творці роботів черпають нові ідеї. Жива природа для робототехніки ще довго буде служити джерелом ідей і прикладом для запозичення.

Важливо відмітити те, що в ряді застосувань робототехніки, їх засоби повинні діяти в органічній єдності з людиною. У зв'язку з цими обставинами також потрібно знати, як організовані рухи в живій природі і як вони управляються.

Тому цей розділ ми почнемо з викладення позицій сучасної робототехніки, а саме людини, точніше її головного маніпуляційного засобу – руки.

Найбільш вражаючий розділ робототехніки - це створення *андроїдів*. Андроїд (гр. «*andr*» - людина, «*eides*» - подібний - робот, подібний до людини як зовні, так і за поведінкою. Дизайн такого робота зумовлений певною метою: *функціональністю* - для використання людських інструментів чи середовищ життя людини; з *експериментальною* метою - для вивчення прямого ходіння; з *мединою* метою - вивчення впливу на організм тих чи інших навантажень; або для інших цілей. Загалом, людиноподібні роботи мають тулуб, голову, дві руки і дві ноги; хоча деякі види людиноподібних роботів можуть моделювати тільки частину тіла, наприклад, від голови - до поясу. Деякі людиноподібні роботи можуть мати голову, призначену для реплікації людських рис обличчя (таких, як очі і рот і т.і.).

Аналогічним терміном є «*гуманоїд*» (від «*humanoid*» - подібний людині). Але слід зазначити, що існує багато тварин краще від людини адаптовані до середовища проживання. Вони плавають, бігають, здійснюють стрибки, утримуються на різних поверхнях краще, ніж люди, не кажучи вже про можливість літати. Ще Леонардо да Вінчі підмітив це, намагаючись створити *орнітоптер* - апарат, оснащений

крилами подібно до птахів.

У біоніці використовуються принципи організації, функцій і властивостей біологічних систем при пошуку оригінальних, а найчастіше оптимальних інженерних рішень.

Стів Ессомба (Steve Essomba) дає їй таке визначення: «біоніка - застосування біологічних методів і конструкцій, підглянутих в природних системах, для розробки і проектування інженерних систем і сучасних технологій». Основна перевага такого підходу полягає в запозиченні у природи готових до використання схем та ідей. На рис. 8.6 зображено біонічну мураха – робот.

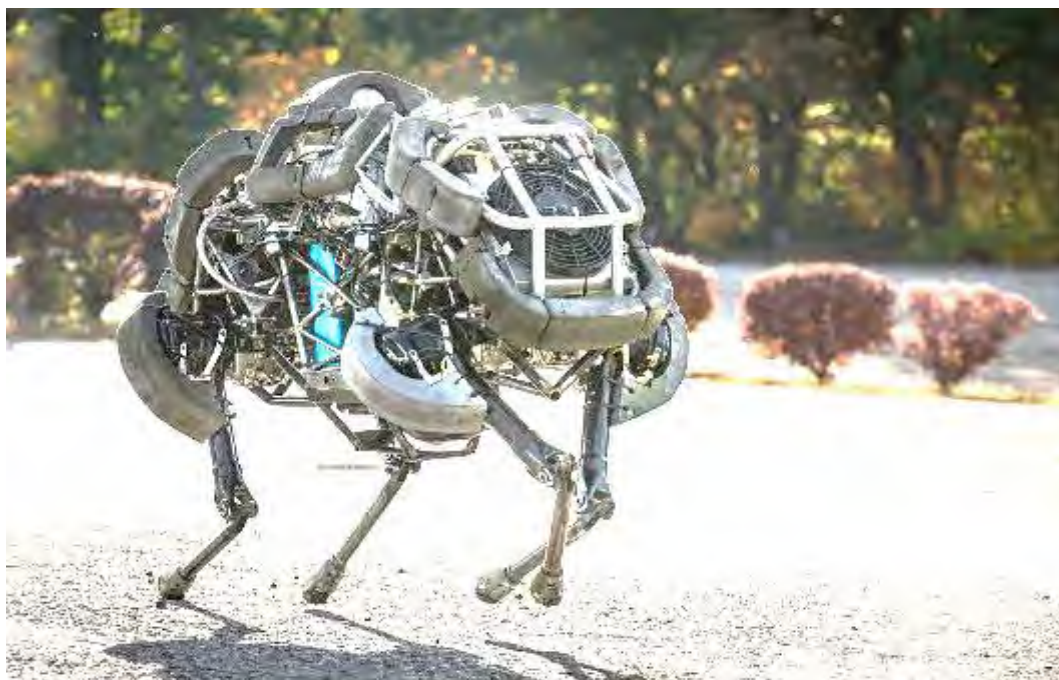


Рис. 8.6. Біонічна мураха – робот

Зупинимося докладніше на досягненнях сучасної біоніки. Ймовірно, одним з найбільш вражаючих є сучасні *роботопротези*. Справляє враження досвід Хью Герра, керівника групи Biomechatronics research group лабораторії MIT Media Lab. Герр, що втратив ноги, коли йому було 17 років, зосередив свої зусилля на пошуку вирішення даної проблеми і зайнявся розробкою протезів. Отримані результати дозволили йому не тільки зберегти рухливість і не приковувати себе до крісла, але і продовжити заняття альпінізмом. Варто відзначити бурхливо зростаючий ринок 3D-друку, який дозволив зробити виробництво індивідуальних пристроїв такого типу максимально ефективним. Їх будова віддалено нагадує будову тіла, а переміщення засноване на тій же механіці, що і пересування собаки і гепарда. Ці роботи

вміють не тільки уникати зіткнень з перешкодами і впевнено стояти на ногах, але і швидко бігати, а також перестрибувати через невисокі перешкоди.

Біонічний підхід часто використовується і при розробці компонентів роботів. Компанія *Festo* представила новий захват для роботів, коли в якості його основи використано будову *язика хамелеона* (рис. 8.7). Еластичний силіконовий «язик» може піднімати і переміщати об'єкти різних форм. Для захвату використовується пневматика.

З природи приходить і *пластичність рухів*. У даний час багато людей думають, що роботи - жорсткі пристрої з металу і пластмаси. Однак біонічний захват, розробляється для промислових роботів, відкривають нові можливості. Роботу потрібні складні програми і обчислення, для того щоб підняти об'єкт, не пошкодивши його, а наявність пластичного захвату розвантажує «мозок» машини.



Рис. 8.7. Захват, принцип дії якого запозичений з язика хамелеона

Захват може бути влаштований набагато простіше, ніж механічна «рука», що складається з десятків елементів. Наприклад, розробка Jaeger-Lipson є заповнена меленою кави куля, яка змінює жорсткість у залежності від внутрішнього тиску. Пристрій самостійно «охоплює» той предмет, який має підняти, не проводячи жодних ситуативних розрахунків.

З природи в робототехніку прийшли і *вібриси* - довгі жорсткі відчутні волоски у ссавців, наприклад вуса у кішок. Вчені Ілінойського університету розробили прототип сенсора у вигляді прута діаметром 3 мм, який може визначати положення об'єктів і формувати двовимірне зображення, ґрунтуючись на мікроколиваннях, викликаних потоком повітря. Як очікується, подібні розробки розширюють арсенал доступних роботам сенсорів і оптимізують їх взаємодію з навколиш-

нім світом.

Можна з упевненістю стверджувати, що в найближчі роки біоніка привнесе в робототехніку чимало дивовижних можливостей. Особливий інтерес викликають її можливості щодо поліпшення функціонування малих роботів, розмір яких не дозволяє встановити на них традиційне обладнання. Арсенал ідей, які можна запозичити з природи, ще дуже великий. Ведуться, наприклад, розробки штучних м'язів, які зможуть замінити в роботах звичні електромотори. Почалося створення роботів, що імітують різних комах. Але не тільки мініатюрні пристрої виграють від біонічних рішень. Роботам-андроїдам ще належить навчитися сприймати навколишній світ подібно до того, яким його бачимо і відчуваємо ми.

У робототехніці, як і в багатьох сферах народного господарства, широке застосування знайшли мехатронні системи.

Термін «мехатроніка» визначено від комбінації слів «МЕХАніка» і «елекТ-РОНІКА». Ця назва була запропонована японською фірмою Yaskawa Electric в 1969 році і зареєстрована як торгова марка в 1972 році.

Починаючи з 80-х років у світовій технічній літературі починають застосовувати термін «мехатроніка» як назву класу машин з комп'ютерним керуванням руху. Спочатку мехатронними пристроями вважали тільки регульовані електроприводи.

У 1980-х роках клас мехатронних пристроїв поповнився верстатами з числовим програмним керуванням (рис. 8.8), промисловими роботами.



Рис. 8.8. Токарний верстат з програмним керуванням

В останнє десятиліття дуже велику увагу приділяють створенню мехатронних пристроїв для сучасних автомобілів, нового покоління технологічного обладнання, роботів з інтелектуальним управлінням, мікромашин, офісної техніки й ін.

Мехатроніка активне застосування знайшла й у сфері медицини.

Коротко розглянемо принцип дії і будову мехатронної системи, так званої *екстракорпоральної літотрипсії*, яка відіграє велику роль у здоров'ї й житті людини з певною хворобою (рис. 8.9). Екстракорпоральна літотрипсія це є метод руйнування каменів в нирках і сечовому міхурі неінвазивним способом (тобто без хірургічного втручання). Для здійснення такого методу необхідно зруйнувати зрощення (камінь) всередині організму до розмірів не більше 1-3 мм, не розсікаючи тканини пацієнта. Цей метод, розроблений в 80-х р XX ст. В основі методу лежить вплив на камінь ударної акустичної хвилі, що формується в апараті. За допомогою спеціального відбивача ударна хвиля, проходячи через м'яккі тканини людини, фокусується в зоні знаходження каменю й призводить до його руйнування і дроблення. Установка екстракорпоральної літотрипсії містить чотири блоки:

- система ультразвукової (УЗ) візуалізації;
- система визначення координат каменю (СВКК);
- система наведення літотриптера на камінь;
- система керування високовольтним розрядом.



Рис. 8.9. Комплекс екстракорпоральної літотрипсії

Система керування установки має персональний комп'ютер (ПК) верхнього рівня і чотири підсистеми. Керуючі сигнали від ПК і сигнали зворотного зв'язку передаються через шину передачі даних. Система УЗ-візуалізації має свій контролер, УЗ-генератор, УЗ-приймач і УЗ-п'єзоелектричний сканер.

СВКК складається з багатоланкового маніпулятора, на кінцевій ланці якого встановлений УЗ-п'єзоелектричний сканер. Лікар вручну фіксує його на тілі пацієнта, знаходячи по монітору розташування каменю всередині нирки. Далі система керування автоматично визначає положення каменю відносно нерухомої системи координат, виходячи з показань датчиків положення маніпулятора.

Система наведення літотриптеру (другого фокуса) на камінь отримує інформацію про координати каменю. Далі, утворюється коротко годинна електрична дуга, здійснюється мікрровибух і виникає ударна хвиля, яка і роздроблює камінь.

В даний час кілька провідних компаній з виробництва медичної техніки випускають такі комплекси.

8.2. Робототехнічні засоби і системи

Основними робототехнічними засобами є *маніпулятор* і *керувальна система*. У свою чергу, кожна з цих частин включає ряд компонент. Маніпулятор (механічна система) промислового робота це керований пристрій або машина для виконання рухових функцій і складається з виконавчого пристрою та робочого органу.

Виконавчий пристрій промислового робота (маніпулятора) це пристрій промислового робота, який виконує його рухові функції. Він представляє собою багатоланковий просторовий механізм, який може мати у загальному випадку поступальні, обертальні, циліндричні, сферичні та інші кінематичні пари. Залежно від поставленої задачі маніпулятор повинен забезпечувати різну кількість ступенів вільності. Виконавчий пристрій, як правило, являє собою кінематичний ланцюг, ланки якого послідовно з'єднані між собою зчленуваннями різного типу; однак найчастіше зустрічаються кінематичні пари, що володіють одним ступенем рухливості, та мають поступальні і обертальні зчленування.

Робочий орган промислового робота це складова частина промислового робота, яка разом з виконавчим пристроєм призначена для безпосереднього виконання технологічних операцій. Робочий орган

виконує функції переміщення об'єктів, що здійснюється за допомогою захоплювального пристрою, або технологічні функції, які реалізує додаткове обладнання, наприклад, пристрої для фарбування, зварювання, обробки поверхні, лазерного різання тощо.

Приводи призначені для здійснення переміщення механічних компонент виконавчого пристрою. В залежності від вимог до засобів переміщення використовують *електричні, гідравлічні та пневматичні* приводи.

Пристрої захвату маніпуляторів відносяться до робочих органів і служать для захвату і утримання в певному (конкретному) положенні об'єктів маніпулювання. Ці об'єкти можуть мати різні розміри, форму, масу і характеризуватися різними фізичними властивостями.

Система керування промислового робота призначена для формування і видачі керувальних дій виконавчому пристрою відповідно до програми керування. Система керування включає сам пристрій керування, який здійснює програмне керування з можливістю перепрограмування інформаційно-вимірювальної системи. Вона включає також систему зв'язку, що здійснює зв'язок з іншими пристроями робототехнічних систем, пульт програмування та ручного керування,

Термін «робототехнічні системи» (РТС) означає технічні системи будь-якого призначення, у яких основні функції виконують роботи. Це гнучкі виробничі системи, у яких автоматично діючі машини, пристрої, пристосування реалізують усю технологію виробництва, за винятком функції керування й контролю, здійснюваних людиною.

Незважаючи на безперервне розширення сфери застосування мехатронних систем (МС) основною областю їх застосування поки залишається промисловість і, насамперед, машинобудування й приладобудування. Технологічні комплекси з такими роботами називаються *роботизованими технологічними комплексами* (РТК).

Для швидкого переходу з однієї моделі виробу на інший, створюються *гнучкі автоматизовані виробничі системи* (ГВС). ГВС – це система верстатів і механізмів, призначених для обробки різних конструктивно й технологічно подібних деталей невеликими партіями або поштучно без особистої участі людини. Складовими частинами ГВС є підсистеми: технологічна, транспортно-накопичувальна, інструментального обслуговування й автоматизованого керування за допомогою ЕОМ.

Розглянемо коротко *мобільний робототехнічний комплекс* (МРК), узагальнена структура якого надана на рис. 8.10. Конструкти-

вно мобільні роботи є самохідними засобами. встановлених на роботах комплексів приладів і устаткування входять: навісне устаткування; система освітлення; рушій; приводи; система зв'язку; пост керування; система відчуттів; система керування; енергоустаткування. Будь-який мобільний робот може бути представлений у вигляді сукупності трьох основних систем - *транспортної, спеціальної* і системи керування.

Транспортна система є транспортним засобом, призначеним для доставки спеціального і технологічного устаткування до місця виконання поставленого завдання.

Спеціальні системи служать для безпосереднього виконання поставлених завдань. Спеціальна система складається з необхідного набору технологічного устаткування, склад якого визначається типом вирішуваної задачі і призначенням мобільного робота. Наприклад, при вирішенні розвідувальних завдань, технологічним устаткуванням є комплект сенсорів і засобів первинної обробки інформації. Для виконання технологічних завдань мобільний робот забезпечується маніпулятором і набором змінного інструменту до нього.

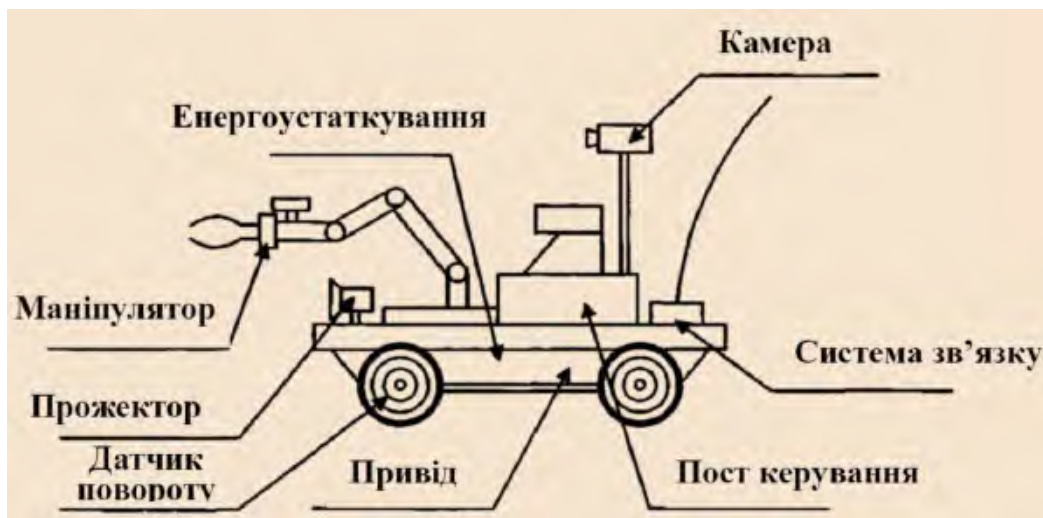


Рис. 8.10. Узагальнена структура МРК

Система керування забезпечує керування рухом і функціонуванням технологічного устаткування робота. Вона включає: апаратуру керування роботом, датчики, систему технічного зору, мікропроцесорні засоби попередньої обробки інформації; пост оператора мобільного робота (пульт керування, відеопереглядові пристрої; ЕОМ для обробки інформації) і комплект приймально-передавальної апаратури, що забезпечує передачу інформації від робота на пост оператора,

а також команд керування від поста оператора на мобільний робот. В системі передбачено планування руху на основі картографічної бази з урахуванням інформації, що безперервно надходить від технічних органів чуття і навігаційної системи.

Відмітним є також те, що в останні роки інтенсивно став розвиватися новий напрямок робототехніки - *ройова робототехніка*.

Загальну ідею цього напрямку можна сформулювати таким чином: деякі завдання може краще вирішувати не один великий і складний робот, а велика кількість маленьких і простих роботів, здатних діяти узгоджено. Іншими словами можна сказати, що розвинений *рій* представляє собою колективний *штучний інтелект*.

Останнім часом, виходячи з аналізу літературних джерел, можна відмітити, що розвиток робототехніки йде в основному за рахунок все більшого застосування *штучного інтелекту (ШІ)*, а не тільки за рахунок застосування нових матеріалів та удосконалення механізмів.

На сьогоднішній день конкуренція на ринку робототехніки і штучного інтелекту, як ніколи, висока. Все більша кількість великих технологічних (і не тільки) компаній ставить пріоритетом розвиток даних галузей всередині організації, крім цього, виникає безліч стартапів, метою яких є створення *інтелектуальних* роботів, які можуть знайти застосування в великому спектрі напрямків.

Роботи з ШІ ставатимуть такими, як ми їх уявляємо по різним науково-фантастичним фільмам, книгам і комп'ютерним іграм.

Роботами зі штучним інтелектом, про які можна найчастіше почути є *автономні* (або самоврядні) *автомобілі*.

Технології ШІ використовуються в самоврядних автомобілях для вирішення безлічі завдань - від забезпечення безпосередньо руху до взаємодії з водієм.

Самоврядний автомобіль складається з п'яти основних елементів, що забезпечують його автономність: *комп'ютерного зору, обробки даних датчиків, визначення свого місця розташування (локалізація), планування шляху і безпосередньо керування* автомобілем.

У кожній компоненті знаходять своє застосування технології ШІ. Автономному автомобілю необхідно розуміти, що його оточує і де він знаходиться по відношенню до цього оточення. На підставі інформації про оточення автомобіля, будується траєкторія, по якій він зможе безпечно рухатися.

Далі формуються команди рульового керування, акселератора і гальма для виконання руху по траєкторії.

Методи для вирішення завдань комп'ютерного зору, зокрема *нейронні мережі*, дозволяють використовувати зображення з камер для розпізнання об'єктів, що знаходяться на дорозі - ліній розмітки, світлофорів, дорожніх знаків, пішоходів та інших автомобілів.

На рис. 8.11 надано зображення схеми завдання і технології ШІ в самоврядних автомобілях. Ця інформація разом з даними від інших сенсорів, таких як радар і система геопозиціонування, дозволяють автомобілю «розуміти», на якій відстані і в якому становищі по відношенню до нього знаходяться інші об'єкти. Знаючи про свій стан і стан інших об'єктів, автомобіль може побудувати траєкторію руху в потоці інших автомобілів чи прийняти рішення про зупинку перед пішохідним переходом або червоним сигналом світлофору.



Рис. 8.11. Схема завдання і технології штучного інтелекту в автомобілях

Для планування траєкторії також застосовуються технології штучного інтелекту, а останнім часом *алгоритми навчання з підкріпленням*. Розуміючи, по якій траєкторії автомобіль повинен рухатися, він може виконати безпосередні команди керування для проходження траєкторії, керуючи акселератором, використовуючи рульове керування.

На рис. 8.12 зображено автомобіль – «безпілотник», який оснащений сенсорними і навігаційними засобами: датчиком кута повороту, ультразвуковими датчиками, далекоміром, телевізійною камерою, радаром, системою GPS та комп'ютером.

Система навігації дозволяє встановлювати зв'язок із засобами голосового керування. Ця система використовує нейронні мережі для розпізнавання голосу, виділення адреси і передача цієї інформації та ін. в навігаційну систему.

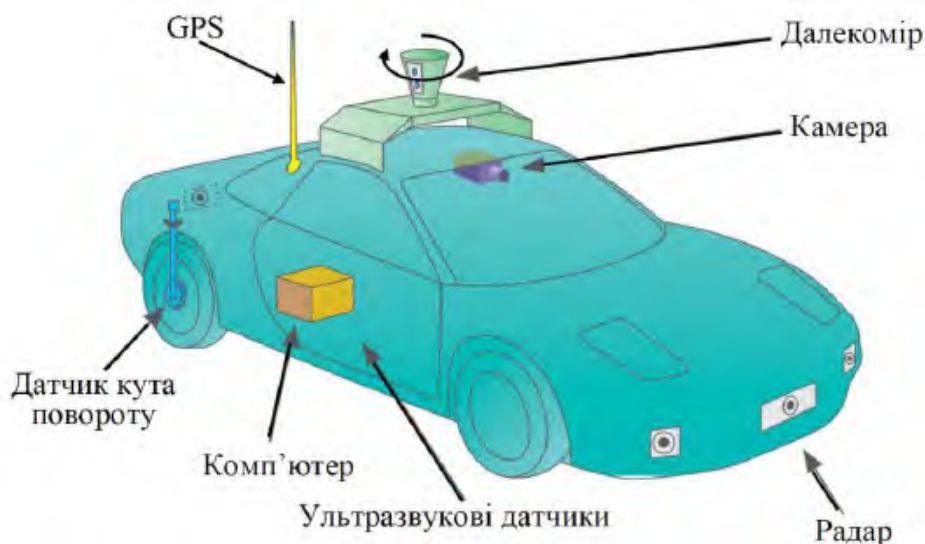


Рис. 8.12. Автомобіль – «безпілотник»

Важливо відзначити, що для створення цілком автономних автомобілів (п'ятого рівня автономності), недостатньо ефективних систем навігації, більш досконалих сенсорів і технологій ШІ. Для цього створюються інфраструктури, яка забезпечують «безпілотним» машинам достатні умови для орієнтації в просторі.

Наприклад, повсюдно наносити на дороги машиночитасьому розмітку і встановлювати машино зчитувальні дорожні знаки, які будуть добре помітні комп'ютерним зором навіть в умовах поганої видимості. Також необхідно забезпечити ефективний інформаційний обмін між автомобілями, для чого потрібні стабільно працюючі мережі 5G.

8.3. Нанотехнології в робототехніці

Нанотехнології – це технології виробництва пристроїв і їх компонентів, що оперують атомами, молекулами й частками, розміри яких перебувають у межах від 1 до 100 нанометрів. *Нанороботи*, або *наноботи* – роботи, що створені з наноматеріалів, розміром порівнянним із молекулою, що володіють функціями, обробки й передачі інформації, виконання програм. Нанороботи є здатні до створення своїх копій, тобто мають функцію самовідтворення.

Один нанометр (від грецького „нано” – карлик) рівний одній мільярдній частині метра. На цій відстані можна впритул розташувати приблизно 10 атомів. Мабуть, першим ученим, що використовував цю одиницю виміру, був *Альберт Ейнштейн*, який в 1905 р. теоретично довів, що розмір молекули цукру рівний одному нанометру.

Традиційні методи виробництва працюють із порціями речовини, що мають мільярди атомів. Це якісний стрибок, що забезпечує безпрецедентну точність і ефективність. Нанотехнології використовують для виготовлення електронних схем, елементи яких складаються з декількох атомів; створення наномашин, тобто механізмів і роботів розміром з молекулу та ін.

Однак на перше місце зараз вийшло питання застосування нанороботів у медицині. Тіло людини як би наstownує на думку про нанороботів, оскільки саме містить природні наномеханізми: лімфоцити і білі кров'яні тілця постійно функціонують в організмі, відновлюючи ушкоджені тканини, знищуючи шкідливі мікроорганізми й видаляючи сторонні частки з різних органів. Шляхом звичайної ін'єкції нанороботи можуть бути транспортовані в кров або лімфу. Одним з розроблених напрямків є транспортування ліків до уражених клітин. При звичайному введенні ліків лише одна молекула зі ста тисяч досягає мети, у той час як нанопристрій в білковій оболонці збільшує ефективність у сотні разів. Нанороботи можуть робити буквально все: діагностувати стан будь-яких органів і процесів, втручатися в ці процеси, доставляти ліки, з'єднувати й руйнувати тканини, синтезувати нові. На даному етапі вченими розроблена складна програма, що моделює проектування й поведінку нанороботів в організмі. Надзвичайно детально розроблені аспекти маневрування в артеріальному середовищі, пошук білків за допомогою датчиків. Учені провели віртуальні дослідження нанороботів для лікування діабету, аневризми мозку, раку, біозахисту від отруйних речовин. Однак, нанотехнологія зараз ще перебуває в початковій стадії розвитку, оскільки основні відкриття, що передвіщаються в цій області, поки не зроблені. Проте, проведені дослідження вже дають практичні результати. Використання в нанотехнології передових наукових результатів дозволяє віднести її до високих технологій. Очікується, що розвиток медичної робототехніки здатний зробити революційний прорив у лікуванні навіть найважчих захворювань. Зокрема, нанороботи будуть точково вбивати ракові клітини, а роботи-хірурги зможуть проводити найскладніші операції.

Модель медичного нанороботу загального застосування можна уявити так. В ідеальному випадку, це пристрій, що буде здатний «ремонтувати» пошкоджені клітини чи тканини; проводити діагностику і лікування ракових захворювань та картографувати

кровоносні судини; проводити аналіз ДНК з подальшим його корегуванням; знищувати бактерії, віруси, і т. п. При цьому максимальний розмір пристрою не повинен перевищувати $1 \times 1 \times 3$ мікрона.

Нижче на рис. 8.13 представлений можливий вид наноробота в кровоносній системі. Електромагнітні хвилі, які можуть поширюватися в тілі людини, не згасаючи, будуть по довжині хвилі порівнянні з нанороботом. Тому приймально-передавальні антени будуть мати вигляд диполів, які виступають за межі корпусу. Наноманіпулятори, механічні захвати і джгутики мають бути телескопічними і при необхідності повинні складатися в корпус робота для того, щоб робот зміг краще пересуватися в кровоносному руслі.



Рис. 8.13. Вигляд наноробота в кровоносній системі

Розмір наноробота також відіграє важливу роль, так само як і мобільність пристрою, шорсткість поверхні і її рухливість. Для такого наноробота, можна буде використовувати нанокомп'ютер, що здійснює $\sim 10^6 - 10^9$ операцій за секунду для виконання своєї роботи. Це на 4-7 порядків менше обчислювальної потужності людського мозку, що становить $\sim 10^{13}$ операцій за секунду. Так що цей наноробот володіти штучним інтелектом ще не буде. Відмітним є також те, що в останні роки інтенсивно став розвиватися новий напрямок робототехніки - *ройова робототехніка*. Загальну ідею цього напрямку можна сформулювати таким чином: деякі завдання може краще вирішувати не один великий і складний робот, а велика кількість маленьких і простих роботів, здатних діяти узгоджено. Іншими словами можна сказати, що розвинений *рій* представляє собою колективний *штучний інтелект*.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення «робототехніки».
2. Поясніть походження слова «робот».
3. Наведіть приклади появи «роботів» у минулих роках.
4. Кого називають «батьком робототехніки»?
5. Чим відрізняється робот від маніпулятора?
6. Хто є автором першого у нашій країні робота - людини?
7. Поясніть у чому полягає сутність моделі ноги робота?
8. Що таке модель руки робота?
9. Дайте визначення *мобільного* робота?
10. Наведіть приклади *маніпуляційного* робота.
11. Наведіть приклади використання нанотехнології в робототехніці?
12. Які перспективні напрями розвитку робототехніки?
13. Наведіть приклад роботів, які використовують штучний інтелект.
14. Поясніть призначення основних складових блоків, що входять до складу автомобіля «без водія».

9.1. Класифікація роботів

Як було раніше визначено, *робот* це є автоматичний пристрій, який призначений для виконання виробничих та інших операцій, які зазвичай виконувались людиною.

Загальна класифікація промислових роботів містить від 7 до 12 класифікаційних ознак (у залежності від інформаційного джерела). Відмітимо, що сфера використання роботів прогресивно розширюється і відповідно зростає перелік типів роботів, які визначаються їх основним призначенням.

Розглянемо насамперед класифікацію роботів за основними їх ознаками. Першою такою ознакою, відповідно до якої всі роботи діляться на найбільші групи, є їх призначення, тобто галузь застосування.

Роботи розділяють на *промислових* і *сервісних*.

Сьогодні основним таким типом, як і раніше, є промислові роботи (ПР), які призначені для застосування в промисловості і складають до 80% всього парку роботів в світі. У свою чергу промислові роботи діляться на ряд типів вужчого призначення (наприклад, робот фарбувальний, зварювальний, транспортний, для обслуговування верстатів, пресів, ливарних машин і т.д.).

За типом виконуваних операцій всі промислові роботи діляться на роботи *технологічні*, які виконують основні технологічні операції, і роботи *допоміжні*, що виконують допоміжні технологічні операції з обслуговування технологічного обладнання. Технологічні роботи відносяться до основного технологічного устаткування, а допоміжні можна віднести до засобів автоматизації.

За широтою переліку операцій, для виконання яких призначений робот, розрізняють роботи *спеціальні*, *спеціалізовані* й *універсальні*. *Спеціальні* роботи призначені для виконання однієї конкретної технологічної операції (наприклад, конкретну складальну операцію, обслуговування певної марки технологічного обладнання). *Спеціалізовані* роботи можуть виконувати різні однотипні операції (складальний робот зі змінними робочими інструментами, робот для обслуговування певного типу технологічного устаткування і т.п.). *Універсальні* робо-

ти призначені для виконання будь-яких основних і допоміжних операцій в межах їх технічних можливостей.

Промисловий робот складається з *маніпулятора*, в тому числі приводів, і контролера, включаючи пульт навчання і апаратний або програмний комунікаційний інтерфейс. Маніпулятор робота можна програмувати за трьома або більше ступенів рухливості в залежності від завдань автоматизації.



Рис. 9.1. Промислові роботи KUKA в автомобільному виробництві

Класифікація роботів за способом керування. За цією ознакою розрізняють роботи з *програмним, адаптивним і інтелектуальним* керуванням. Керування рухом по окремим ступенях рухливості може бути *безперервним* (контурним) і *дискретним* позиційним.

В останньому випадку керування рухом здійснюють, задаючи кінцеву послідовність точок (позицій) і подальше переміщення по ним кроками від точки до точки без контролю траєкторій між цими точками. Найпростішим варіантом дискретного керування є *циклове*, при якому кількість точок позиціонування по кожній ступені рухливості мінімально, тобто найчастіше обмежена двома - *початковою і кінцевою*.

9.2. Технічні характеристики роботів

До показників, що визначають технічні характеристики роботів відносять: *тип приводів* робота, його *вантажопідйомність*, *кількість маніпуляторів*, *тип і параметри* їх робочої зони, *рухливість* і *спосіб*

розміщення, виконання за призначенням.

Приводи, які використовуються в маніпуляторах і системах пересування роботів, діляться на *електричні, гідравлічні і пневматичні*. Часто їх застосовують в комбінації. *Вантажопідйомність* робота - це вантажопідйомність його маніпуляторів, а для транспортного робота ще і його шасі. Вантажопідйомність маніпулятора визначається масою переміщуваних ним об'єктів і в залежності від призначення робота може становити від одиниць грам (надлегкі роботи, наприклад, що застосовуються в мікроелектроніці) до декількох тисяч кілограм (надважкі, наприклад, транспортні та космічні роботи).

Кількість маніпуляторів у роботів у більшості випадків обмежена тільки одним (*одноманіпуляторні* або *однорукі* роботи). Однак в залежності від призначення, існують конструкції роботів з *двома, трьома і чотирма* маніпуляторами. Наприклад, існують промислові роботи для обслуговування пресів холодного штампування з двома різними маніпуляторами: один основний для взяття заготовки і установки її в прес і інший спрощеної конструкції для виконання більш простої операції зштовхування готової деталі в бункер.

Тип і параметри робочої зони маніпуляторів робота визначають область навколишнього його простору, в межах якої робот може здійснювати маніпуляції. *Робоча* зона маніпулятора - це простір, в якому може перебувати його робочий орган при всіх можливих пересуваннях.

Рухливість робота визначається наявністю або відсутністю у нього системи пересування. У першому випадку роботи називають *мобільними*, а в другому - *стаціонарними*. Відповідно до призначення роботів в них застосовують системи пересування практично всіх відомих на сьогодні типів: від *наземних колісних і гусеничних* до призначених для пересувань в воді, глибинах землі, в повітрі і космосі. Специфічним для робототехніки способом пересування є *крокування*.

За способом *розміщення* стаціонарні і мобільні роботи бувають *підлоговими, підвісними* (мобільні роботи цього типу зазвичай переміщаються з порушеного рейкового шляху), що вбудовуються в інше обладнання (наприклад, в обслуговується верстат) і т. д.

Виконання робота за призначенням залежить від зовнішніх умов, в яких він повинен функціонувати. Розрізняють виконання *нормальне, пилозахисне, теплозахисне, вологозахисне, вибухобезпечне* і т. д.

Основні параметри роботів. До основних параметрів роботів,

що визначають їх динамічні властивості відносяться *швидкодія* і *точність* їх рухів. Ці параметри взаємопов'язані й складаються з їх значень для маніпуляторів і систем пересування.

Швидкодія маніпулятора визначається швидкістю *переміщення* робочого органу.

Швидкодію маніпуляторів у роботів загального застосування можна розбити на наступні *три* діапазони:

малу - при лінійних швидкостях до 0,5 м/с;

середню - при лінійних швидкостях від 0,5 до 1-3 м/с;

високу - при великих швидкостях.

Найбільша швидкість маніпуляторів сучасних роботів досягає 10м/с і вище.

Для значної частини областей застосування роботів швидкодія є дуже важливим параметром, так як визначає їх *продуктивність*. Основні труднощі при підвищенні швидкодії пов'язана з відомим протиріччям між швидкодією і іншим не менш важливим параметром – *точністю*.

Точність маніпулятора і системи пересування робота характеризується результируючою похибкою позиціонування (при дискретному русі) або відпрацювання заданої траєкторії (при безперервному русі).

Найчастіше точність роботів характеризують *абсолютною похибкою*. Точність роботів загального застосування можна розбити на наступні три діапазону:

малу - при лінійній похибці від 1мм і більше;

середню - при похибці від 0,1 до 1 мм;

високу - при меншій лінійній похибці.

Найменшу точність мають роботи, що призначені для виконання найбільш грубих, наприклад, транспортних рухів, а найбільшу мікронну - роботи, які використовуються в електронній промисловості.

Параметри, що визначають технічний рівень роботів. Поряд з класифікаційними параметрами, роботи характеризуються параметрами, які визначають їх *технічний рівень*. До них відносяться і деякі з розглянутих вище параметрів, які можуть мати кількісне вираження таких як швидкодія й точність.

Іншими параметрами, котрі характеризують технічний рівень роботів, є *надійність*, *кількість* одночасно працюючих *ступенів рухливості*, *час програмування*, а також засновані на перерахованих вище параметрах різні *відносні* і *комбіновані* показники.

До них відносяться, зокрема, *питома вантажопідйомність*, віднесена до маси робота, *вихідна потужність* маніпулятора, яку відносять до потужності його приводів, відносні оцінки *габаритних* параметрів, маніпуляційних *кінематичних* і *динамічних* характеристик, можливостей *програмування*, *економічної ефективності* та т.п.

Однак ці відносні показники технічного рівня вже не є паспортними параметрами, використовуваними для характеристики конкретних роботів, а служать *критеріями якості*, призначеними для їх оптимізації при проектуванні і порівняльній оцінці.

9.3. Будова промислових роботів

Приведемо більш розширений варіант визначення промислового робота та його складових блоків.

Промисловий робот - це автоматична машина, стаціонарна або пересувна, що складається з виконавчого пристрою у вигляді *маніпулятора*, що має кілька ступенів рухливості, і пристрою програмного керування для виконання рухових і керуючих функцій у виробничому процесі.

Маніпулятор - керований пристрій, що призначений для виконання рухових функцій при переміщенні об'єктів у просторі, оснащених робочим органом. Він складається з несучих конструкцій, виконавчих механізмів, пристрою захвату, приводу з передавальними механізмами і пристрої пересування. Несучі конструкції служать для розміщення всіх пристроїв і агрегатів робота, а також для забезпечення необхідної міцності і жорсткості маніпулятора. Виконуються у вигляді підстав, корпусів, стоек, рам, візків, порталів і т.і.

Виконавчий механізм - сукупність рухливо з'єднаних ланок маніпулятора, призначених для впливу на об'єкт маніпулювання або оброблюване середовище.

Робочий орган - складова частина виконавчого механізму маніпулятора для безпосереднього виконання технологічних операцій і (або) допоміжних переходів (наприклад, складальний інструмент, пристрій захвату).

Пристрій захвату - кінцевий вузол маніпулятора, що забезпечує захоплення і утримання в певному положенні об'єкта маніпулювання.

Привід призначений для перетворення енергії, що підводиться в механічний рух ланок виконавчого механізму відповідно до сигналів, які надходять від пристрою керування.

Пристрій пересування служить для переміщення маніпулятора або промислового робота в цілому в потрібне місце робочого простору. Складається з *ходової частини* і *приводних пристроїв*.

На рис. 9.2 представлена одна з конструкцій промислового робота до складу якої входять: 1–датчик зворотного зв'язку; 2–пристрій захвату; 3–кість маніпулятора; 4–рука маніпулятора; 5–колона; 6–несуча конструкція; 7–привод руки маніпулятора; 8–блок керування з пультом.

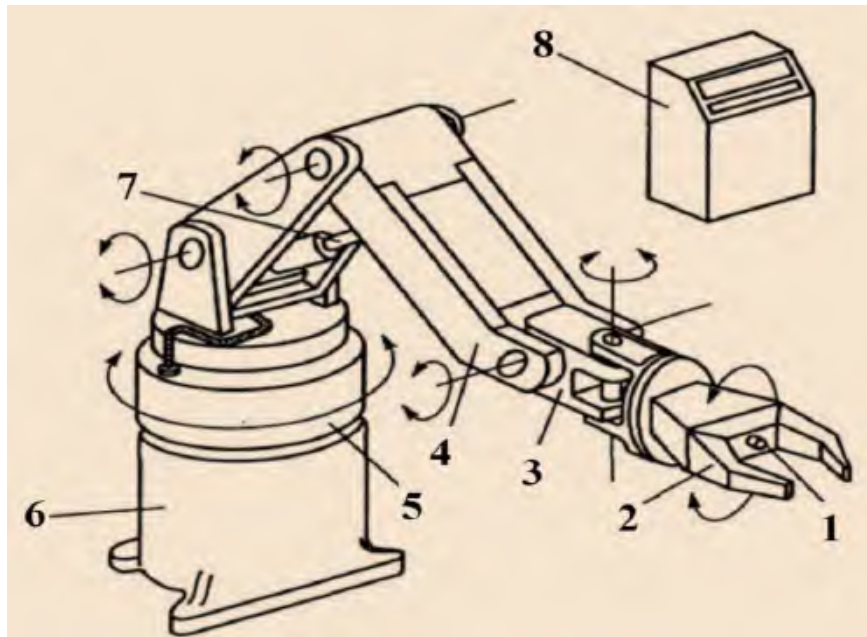


Рис. 9.2. Приклад конструкції промислового робота

На рис. 9.3 зображено спрощену блок-схему промислового робота. Промислові роботи можуть мати різну будову, що багато в чому визначається завданнями, які стоять перед ними.

На даний період розвитку робототехніки найбільш поширеними видами є *роботизовані маніпулятори*.

Стандартний маніпулятор виконаний з семи сегментів, які з'єднуються за допомогою шести суглобів. Кожен сегмент виконаний з металевого корпусу і проводів. У кожному сегменті присутні крокові двигуни, які змушують суглоби рухатися.

Керування суглобами і роботом в цілому здійснюється за допомогою комп'ютера, який змушує обертатися конкретні крокові двигуни.

У деяких маніпуляторах замість двигунів можуть застосовуватися пневматичні або гідравлічні пристрої.

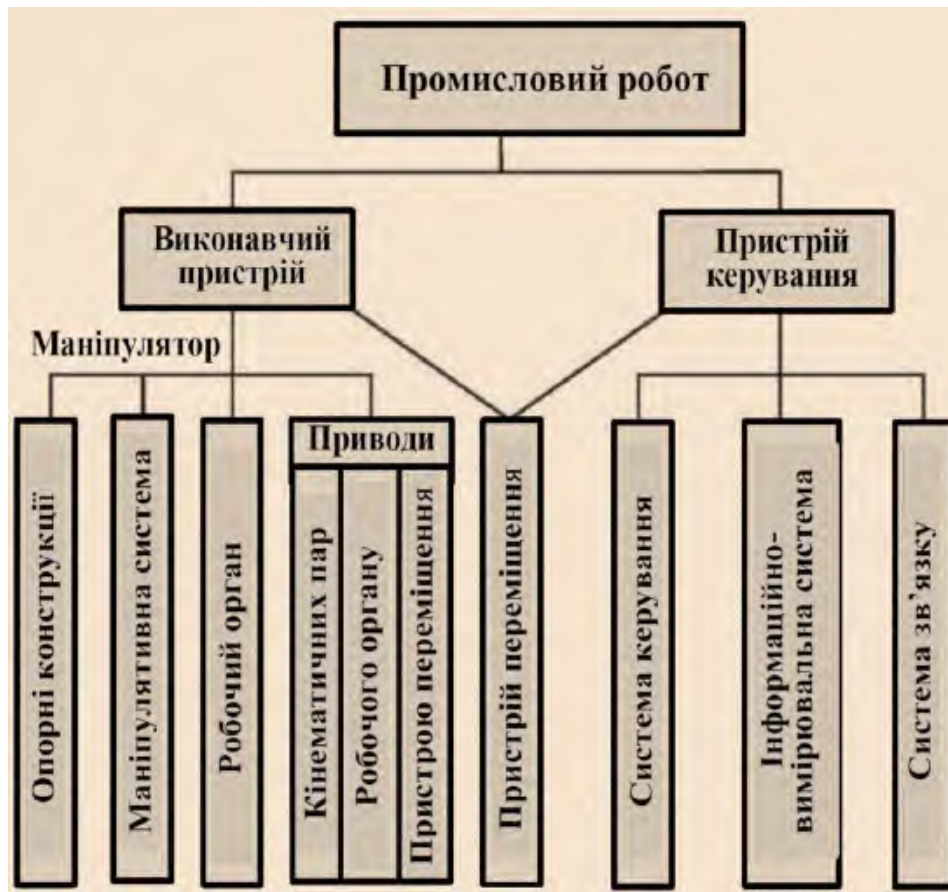


Рис. 9.3. Спрощена блок-схема промислового робота

Головна особливість крокових двигунів в тому, що вони можуть забезпечувати дуже точні рухи. Якщо комп'ютер дасть команду суглобу пересунутися рівно на 15 мм, то двигун зробить те, що від нього попросять. При цьому рух буде точним кожен раз при вчиненні однієї і тієї ж дії.

Щоб контролювати, чи правильно робот виконує необхідні дії, застосовуються *датчики руху*. Якщо відбувається найменше відхилення від заданої програми, то відбувається корекція руху. Якщо ж спостерігається значне відхилення і неможливість його виправлення, то сигнал подається на головний комп'ютер.

У результаті робот може бути зупинений, щоб його можна було відремонтувати.

Маніпулятор також має *пристрій захоплення*, які виконані у вигляді людської руки з механічними пальцями. При необхідності захоплення плоского предмета замість механічних пальців може застосовуватися пневматична присоска. У разі необхідності захоплення безлічі деталей може бути задіяна конструкція у вигляді пристосування,

спеціально розробленого для цього. До того ж замість пристрої захвату можуть застосовуватися і інші робочі інструменти, наприклад, *пультверизатор*, *викрутка* і так далі.

Промислові роботи також можуть переміщатися по колії, виконаної на підлозі у вигляді монорейок. У разі необхідності руху по нерівній поверхні, використовуються інші конструкції, наприклад, пневматичні присоски тощо. Для живлення роботів може використовуватися *акумулятор*, але найчастіше застосовується промислова електрична мережа. Для керування використовується комп'ютер, який командує роботом через дроти або бездротовий зв'язок. Також в самих роботах може бути встановлений *блок пам'яті*, куди записується необхідна програма.

Промислові роботи, які мають 6 суглобів, зовні нагадують людську руку (плече, лікоть і зап'ястя). Роботизовані руки за своєю будовою нагадують руку людини. У людей є лікоть і плече, суглоби, що дозволяють рукам вільно згинатися, а також кістки з'єднують суглоби. Такий принцип руху суглобів і передачі потужності через зв'язки типовий як для людей так і для роботів. На рис. 9.4. зображено фізичну модель руки. Рух суглобів - досить тонкий процес. Кабелі й джгути вбудовуються в руку і це дозволяє уникнути створення перешкод периферійного устаткування. У більшості випадків плече монтується на нерухомій основі. В результаті такої будови робот може мати 6 ступенів свободи, а це значить, що він здатний рухатися по 6 різних напрямків.

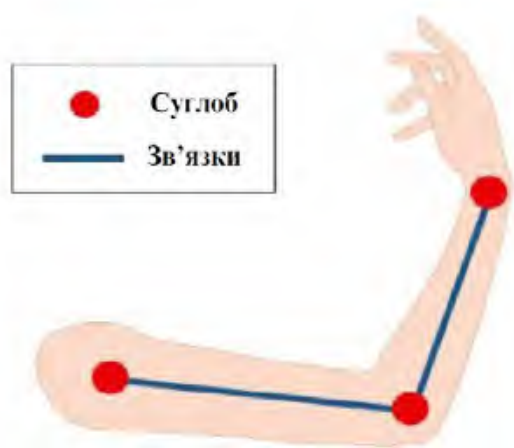


Рис. 9.4. Зображення фізичної моделі руки

Подібно людській руці маніпулятор також переміщує кінцевий ефектор з одного місця на інше. При оснащенні кінцевого ефектора

різними пристроями, у робота з'являється можливість виконувати певні технологічні операції. Одним з найбільш поширених варіантів є подоба руки, яка дозволяє роботу захоплювати і переміщати об'єкти з місця на місце, див. рис. 9.5.

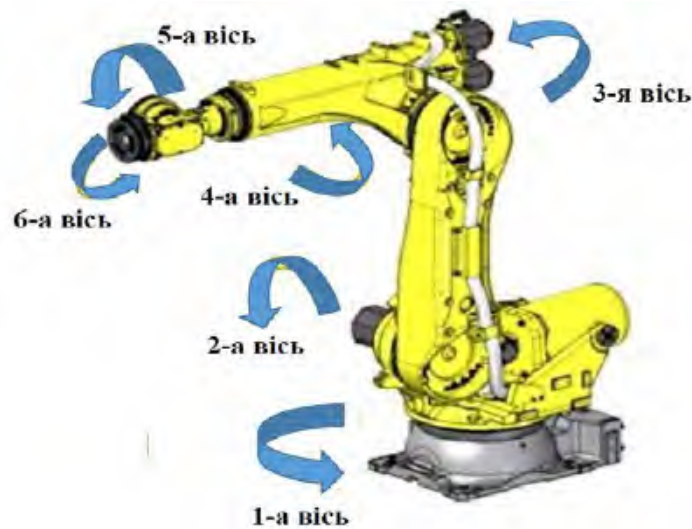


Рис. 9.5. Робот «людська» рука з механічними пальцями

Досить часто маніпулятори мають вбудовані датчики тиску, завдяки чому вони можуть контролювати силу захоплення і не ламати все підряд. Якщо сила буде занадто велика, то, наприклад, лампочка, як об'єкт дії, просто лопне. Контролювання сили стиснення гарантує, що лампочка не постраждає, див. рис. 9.6.



Рис. 9.6. Робот «людська» рука з датчиком тиску

За допомогою інших кінцевих ефекторів можуть використовуватися розпилювачі порошку, різні дрилі і так далі.

Керування такими роботами може бути виконано: за допомогою програми, адаптивного керування, прямо людьми, але на відстані, а також своєрідним «штучним інтелектом».

При експлуатації роботів використовуються сенсорні пристрої, сигнали яких аналізуються, після чого виконується необхідна дія.

Слід прийняти до уваги, що одні типи роботів призначені тільки для виконання певної технологічної операції, інші - можуть виконувати відразу кілька.

Промислові роботи - це технічно складні пристрої, які вимагають грамотного програмування, налаштування і обслуговування.

9.4. Система маневрування промислових роботів

В процесі експлуатації промислових роботів величезне значення має система маневрування, тобто *кінематична* система. Головне її завдання полягає в забезпеченні переміщення об'єкта - оброблюваної деталі або інструменту - з однієї точки в іншу, тобто, на будь-яку позицію в рамках робочої зони. Для цього передавальний механізм направляючого грейфера має *ротаційні* і *трансляційні* вузли.

Трансляційні вузли служать для виконання прямолінійних переміщень. Їх зв'язок між собою здійснюється за допомогою ротаційних вузлів, які забезпечують можливість роботи за рахунок дії приводів виконувати обертання і поворот руху. Комбінуючи ці вузли між собою, можна встановити межі робочої зони робота.

Давайте простежимо це на одному прикладі. Тіло (припустимо, куб) може вільно переміщатися в просторі і має свободу шостого ступеня, тобто за допомогою трьох обертальних і трьох поступальних рухів воно може бути переміщено на будь-яку іншу позицію, що для промислового робота відповідає комбінуванню рухів по ротаційних і трансляційних осях. Вихідною для даних процесів є *система координат* зі звичайними осями координат X , Y , Z для осей поступальної ходи по прямим лініям (поступальні рухи за напрямками осей координат). Осі обертальних рухів позначають буквами A , B , C . Можливості виконання окремих рухів передавальним механізмом направляючого грейфера і самого грейфера визначають ступінь свободи робота (званої також ступенем свободи грейфера). Щодо куба він має свободу шостого порядку. Зображення куба з напрямками поступальних рухів X , Y , Z та обертальних рухів A , B , C надано на рис. 9.7.

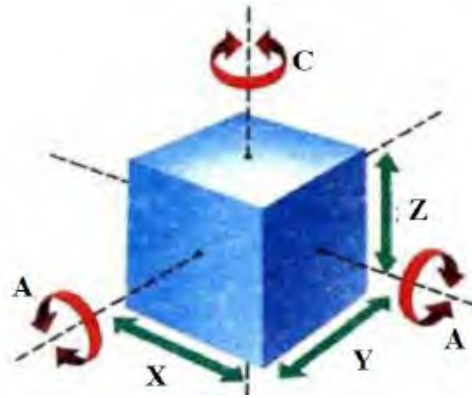


Рис. 9.7. Вид куба з напрямками поступальних рухів X , Y , Z та обертальних рухів A , B , C

Можливість виконання рухів у промислового робота забезпечується взаємодією різноманітних шарнірів, з'єднаних між собою робочими ланками.

На рис. 9.8 надано зображення 3-х мірної моделі робота – маніпулятора.

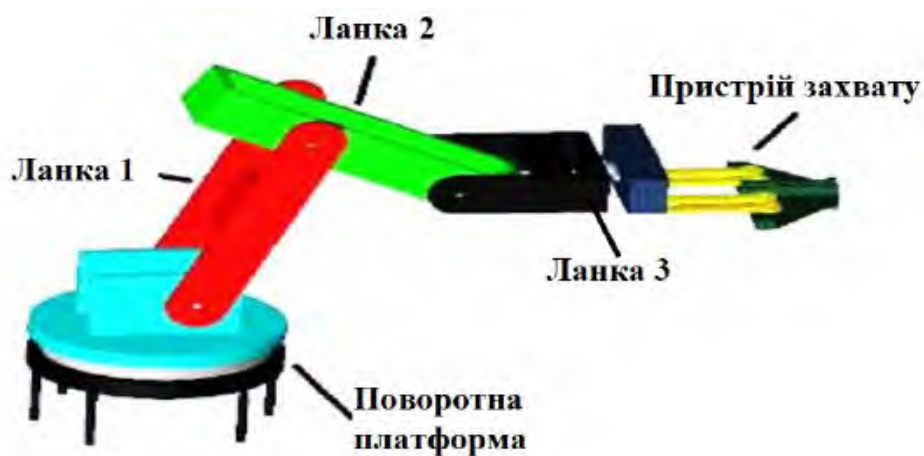


Рис. 9.8. 3-х мірна модель робота – маніпулятора

Так, для переміщення центральної точки грейфера в будь-яку точку робочої зони необхідні три рухи, для додання грейферу в цій позиції бажаного напрямку необхідні ще три рухи. Як правило, три рухи приходяться на важіль і три - на грейфер.

Вибір необхідного ступеня свободи для робота залежить, звичайно, від тих завдань, які належить йому виконувати.

Наприклад, завантажувальний робот, який може обходитися відносно простими рухами, не потребує високого ступеня свободи, на відміну від робота, призначеного для миття і чищення автомобільних кузовів.

9.5. Робочі органи маніпуляторів

Взаємодія робота з зовнішнім середовищем здійснюється, в основному, за допомогою його грейферів, що знаходяться в безпосередньому контакті з оброблюваним предметом. Тому конструкція грейфера залежить від виду силової передачі; кількості шарнірів; прохідної відстані, виду поверхні; розмірів і маси об'єкта, а також від виду матеріалу об'єкта і т. п.

Грейфер розміщується на важелі і призначається для утримання інструменту або оброблюваної деталі. За допомогою передавального механізму грейфера, а разом з ним і оброблювальна деталь або інструмент переміщаються на позицію, необхідну для виконання певної операції.

Найчастіше грейфери оснащуються додатковими елементами - магнітами, датчиками і т.п.

Робочі органи маніпуляторів діляться на *захватні пристрої* і *спеціальний інструмент*.

Робочі органи можуть бути *постійними* і *знімними*, в тому числі з можливістю їх автоматичної заміни в ході виконання технологічної операції.

Захватні пристрої. Вони призначені для того, щоб брати об'єкт, утримувати його в процесі маніпулювання і звільнити після закінчення цього процесу.

Існують наступні основні типи захватних пристроїв: *механічні пристрої - захвати, пневматичні і електромагнітні*. Крім того, в зв'язку з великою різноманітністю об'єктів маніпулювання розроблено велику кількість різних комбінацій цих типів захватних пристроїв і безліч спеціальних захватних пристроїв, заснованих на різних оригінальних принципах дії (наприклад, клейкі захватні пристрої, наколюючі, що використовують аеродинамічну підйомну силу і т. п.).

Захвати - це механічні захватні пристрої, які є аналогом кисті руки людини. Найпростіші двох пальцеві захвати нагадують звичайні плоскогубці, але забезпечені приводом.

Промислові роботи, в своїй більшості, оснащуються *стандартними* грейферами, у яких можна замінювати окремі елементи.

Для виконання певних робочих операцій іноді доводиться виготовляти *спеціальні* грейфери.

На рис. 9.9 зображено окремі типи найбільш розповсюджених грейферів в робототехніці.



Рис. 9.9. Окремі типи грейферів в робототехніці

Для одночасного виконання різних робочих операцій роботи оснащуються декількома важелями, на кожному з яких встановлюються один або два грейфера. Так, безперебійна робота завантажувальних роботів або завантажувальних пристроїв для турнікетних автоматів забезпечується трьома важелями, відповідно, одним або двома грейферами.

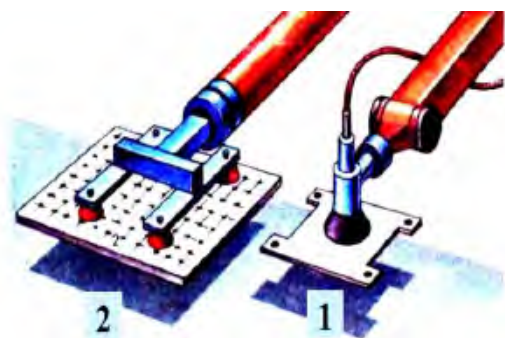
Захвати часто наділяють «чутливістю» за допомогою контактних датчиків (торкання чи тактильних), датчиків прослизання, зусилля (по одній або декількох осях) і дистанційних датчиків (ультразвукових, оптичних та ін.), які виявлятимуть предмети поблизу захвату і між його пальцями.

У найбільш поширеному типі вакуумного загарбного пристрої використані вакуумні присоски, які утримують об'єкти за рахунок розрядження повітря в порожнині між присосками і захоплюваним об'єктом. Для захоплення об'єктів складної форми застосовують вакуумні хватні пристрої з декількома присосками.

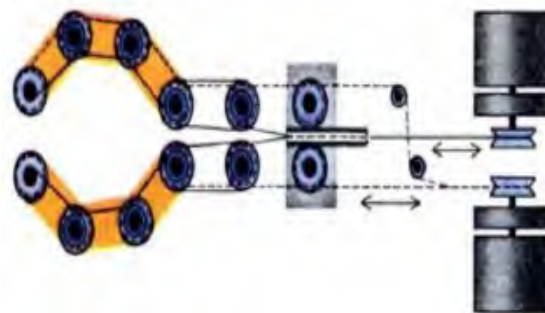
Магнітні хватні пристрої також давно відомі, як і вакуумні, і широко використовуються для взяття феромагнітних об'єктів.

У роботах знайшли застосування в основному хватні пристрої з електромагнітами, але є пристрої і з постійними магнітами.

На рис. 9.10 зображено спеціальні грейфери з вакуумним (1) та магнітним хватом (2), з хватом (3), з тактильними датчиками.



Грейфер з вакуумним (1) і магнітним захватом (2)



Грейфер з охватом

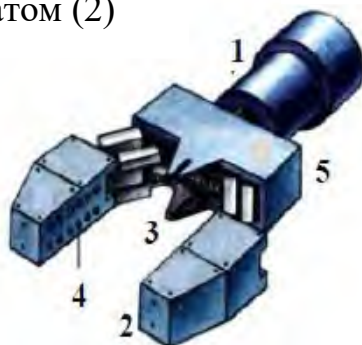


Рис. 9.10. Спеціальні грейфери

Грейфер з тактильними датчиками: 1 – шарнірний датчик; 2 – датчики доторкання; 3 – тримач інструменту; 4 – грейферні датчики; 5 - кожух приводу

Для звільнення захопленого предмета їх зазвичай постачають спеціальними механічними виштовхувачами.

Як правило, це приведення в дію грейферів і невеликих маніпуляторів. Іноді для збільшення ефективності приводи комбінуються, що дозволяє домагатися кращих позицій оброблюваних деталей і інструменту.

Якщо робот не призначений для операцій по захвату об'єкта, то важіль з грейфером може бути замінений на відповідний інструмент для виконання спеціальних технологічних операцій: зварка, свердління, монтаж, фарбування фарбопультотом і т. і.

Часто завданням робота є виконання певних технологічних операцій, таких як нанесення покриттів, зварювання, загвинчування гайок, зачистку поверхонь і т.п., коли замість захватного пристрою необхідно використовувати робочий інструмент. При цьому цей інструмент, як правило, безпосередньо кріпиться до маніпулятора.

На рис. 9.11, для прикладу, зображено робота, який призначений для штампування прокладок.



Рис. 9.11. Зовнішній вид роботи з інструментальним робочим органом

Ці роботи називають *коботами*. Вони створенні спеціально для безпечної роботи поряд з людиною й визначаються мобільністю, компактністю, зручними засобами ручного керування та іншими достоїнствами.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення робота.
2. За якими основними ознаками класифікуються роботи?
3. Що є характерним для спеціальних, спеціалізованих і універсальних роботів?
4. Перелічіть основні показники, що визначають конструкцію робота.
5. Які способи керування використовуються в роботах?
6. Які параметри характеризують динамічні властивості роботів?
7. Як оцінюють технічний рівень роботів?
8. Дайте характеристику основних складових блоків робота.
9. Поясніть принцип дії роботів
10. Яка роль кінематичної системи робота?
11. Яка роль робочих органів робота?
12. Наведіть основні типи захватних пристроїв та дайте їм пояснення.

МЕТОДИ І СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ В РОБОТОТЕХНІЦІ

10.1. Біологічні методи і конструкції створення роботів

При створенні перших роботів і аж до наших днів завжди зразком виступали можливості людини. Будова людини, тварин і комах стає тією областю, в якій творці роботів черпають нові ідеї. Жива природа для робототехніки ще довго буде служити джерелом ідей і прикладом для запозичення.

Важливо відмітити те, що в ряді застосувань робототехніки, їх засоби повинні діяти в органічній єдності з людиною. У зв'язку з цими обставинами також потрібно знати, як організовані рухи в живій природі і як вони управляються.

Тому цей розділ ми почнемо з викладення позицій сучасної робототехніки, а саме людини, точніше її головного маніпуляційного засобу – рук і ніг.

Найбільш вражаючий розділ робототехніки - це створення *андроїдів*. Андроїд (*гр. «andr» - людина, «eides» - подібний* - робот, подібний до людини як зовні, так і за поведінкою. Дизайн такого робота зумовлений певною метою: *функціональністю* - для використання людських інструментів чи середовищ життя людини; з *експериментальною* метою - для вивчення прямого ходіння; з *медичною* метою - вивчення впливу на організм тих чи інших навантажень; або для інших цілей. Загалом, людиноподібні роботи мають тулуб, голову, дві руки і дві ноги.

Керування рухом тіла людини є чи не найдискусійнішою в нейробиології проблемою. В основі цієї проблеми лежить той факт, що рух кінцівок включає багато рівнів нейронного та біомеханічного контролю, які міцно взаємопов'язані та не можуть розглядатись окремо. На відміну від роботизованих систем, біологічне моторне керування характеризується складною взаємодією між ЦНС, поведінкою та біомеханікою.

На рис. 10.1 показана узагальнена функціональна схема системи керування рухами тіла людини, в яку входять пасивна частина системи - *скелет*, її активна (рушійна) частина - *м'язи*, чутливі пристрої - *рецептори* і інформаційно-керуюча система - *центральна нервова система (ЦНС)*.

Скелет (його частина, яка бере участь в русі) являє собою разом з м'язами *об'єкт керування* у вигляді рухливо з'єднаних кісткових ланок, що утворюють з позицій механіки багатоланкові кінематичні ланцюги, подібні маніпуляторам роботів.

Основне призначення цих систем керування - підтримка пози, орієнтація (на об'єкти зовнішнього середовища), переміщення тіла в просторі - локації, нарешті, маніпуляції. Розглянемо складові частини схеми на рис. 10.1.

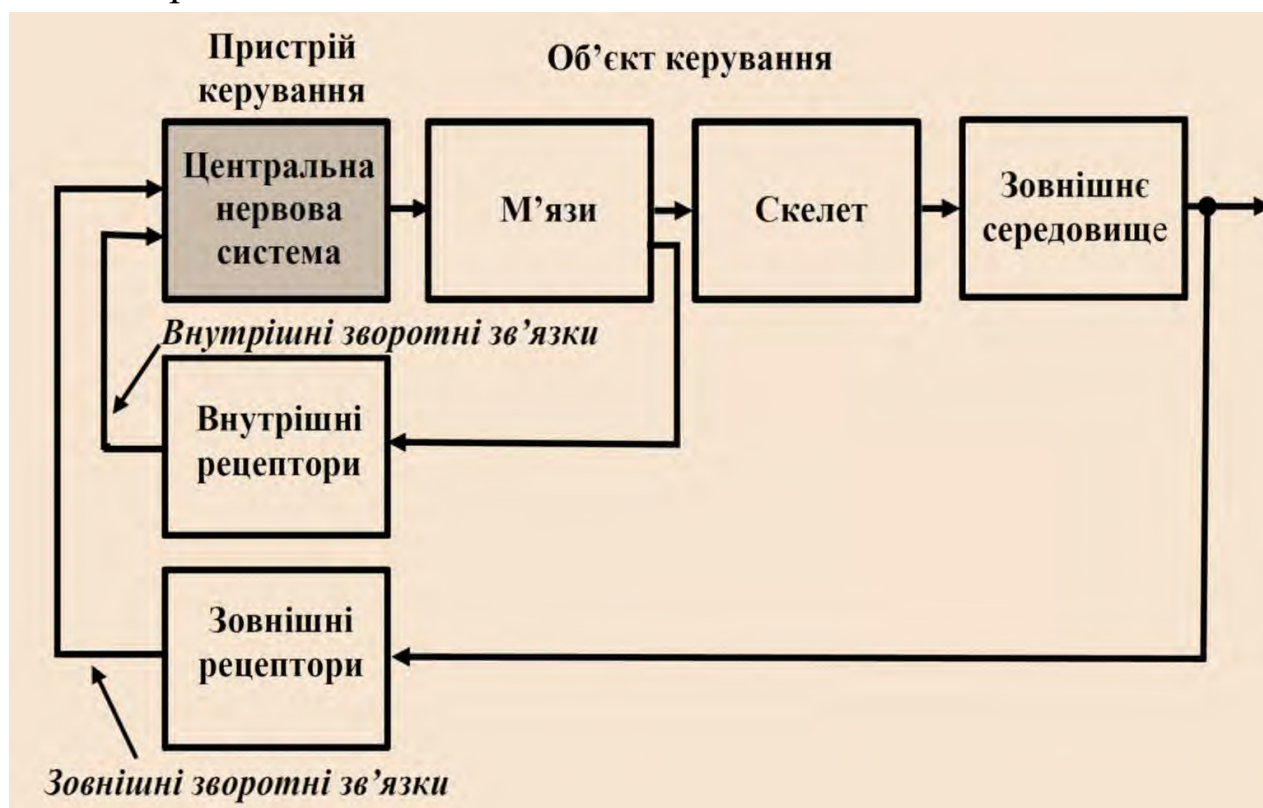


Рис. 10.1. Функціональна схема системи керування рухами тіла людини

Нейрони. Це нервові клітини, які є "елементної базою" розглянутих систем керування. Існує багато типів нейронів, що спеціалізуються на сприйнятті зовнішньої інформації, її перетворення, зберіганні, передачі і, нарешті, вплив на м'язи і залози. В організмі людини мільярди нейронів, які з'єднані в *нейронну мережу*, охоплює все тіло.

Нейрон (рис. 10.2) складається з тіла - *соми*, *дендритів* - відростків, які сприймають вхідні впливу від інших нейронів, і аксонів – розгалужених відростків, які передають вихідні впливу інших нейронів і різних клітин. Аксони закінчуються кінцевими потовщеннями – синапсами на дендритах і тілі інших клітин.

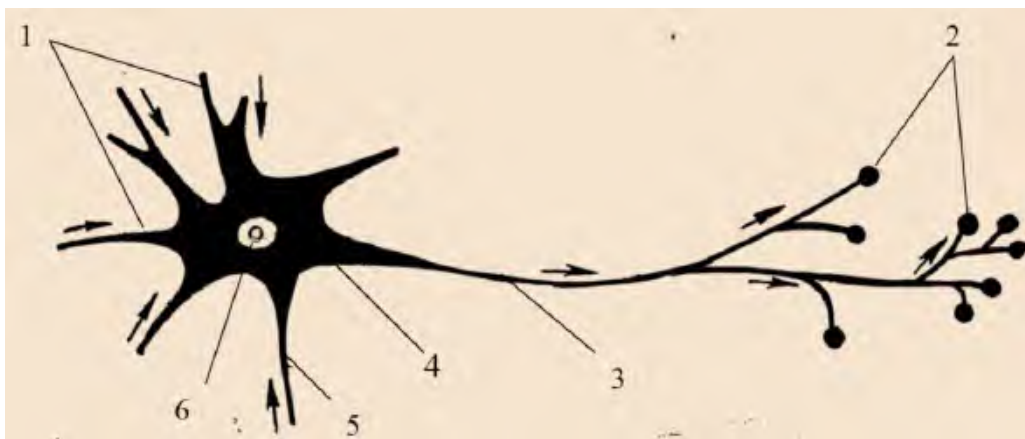


Рис. 10.2. Будова нейрона: 1 - дендрити; 2 - синапси; 3 - аксон;
4 - аксонний горбок; 5 синапс інший клітини; 6 - тіло клітини

Один нейрон може мати тисячі входів від інших нейронів і сотні виходів через синапси. Збудження по аксону передаються у вигляді електричних імпульсів довжиною приблизно 1 мс зі швидкістю 50-100 м/с нейрони мають певний поріг чутливості, при перевищенні якого вони порушуються і генерують імпульси на виході, які поширюються по аксону.

Після цього потрібен певний час для повернення нейрона в початковий стан. Це так званий *рефрактерний період*, протягом якого відбувається хімічне відновлення відповідного аксона після проведення ним чергового імпульсу. Вхідний сигнал впливає на клітку, змінюючи потенціал її мембрани, при цьому він може як збільшити цей потенціал, збуджуючи клітину, так і зменшити його, здійснюючи її гальмування.

Таким чином, нейрон здійснює просторово-тимчасове підсумовування вхідних сигналів, відновлює їх інтенсивність, видаючи вихідні сигнали певної інтенсивності, і передає їх через свої аксони іншим клітинам. Аксони нейронів об'єднуються в пучки, утворюючи стовбури або нерви.

М'язи. Тіло людини приводиться в рух за допомогою поперечно-смугастих м'язів. Їх основу складає так званий *анізотропний елемент* (диск) у вигляді круглої платівки розміром в червоне кров'яне тільце. Під дією керуючого сигналу цей елемент різко скорочується (протягом близько 1 мс). Після цього для повернення в початковий стан йому потрібно приблизно вдвічі-втричі більше часу. Таким чином, він являє собою імпульсний елемент з істотним часом.

Для створення тривалої безперервної зміни зусилля з'єднані в

ланцюжок анізотропні елементи перемежуються ізотропними елементами з пружною сухожильної тканини. Ці ізотропні елементи відіграють роль амортизаторів, швидко розтягуючись при імпульсному стисненні анізотропних елементів, а потім плавно повертаючись в початковий стан. Ланцюжки анізотропних і ізотропних елементів утворюють волокна. З цих волокон, об'єднаних в пучки по 10-15 волокон, і складається м'яз.

Керування м'язом здійснюється спеціальними руховими нейронами - *мотонейронами*. Кожному мотонейрону підпорядковані певні волокна, які розподілені по різних пучках м'яза. Для цього до кожного пучка підходить окремий аксон цього мотонейрону і його синапси, що розташовані на входних в цей пучок волокнах даного типу.

Зусилля, що розвивається м'язом в цілому, визначається загальною кількістю введених в дію волокон, а необхідна плавність руху забезпечується шляхом включення в дію в ході виконання руху все нових волокон.

Керування м'язом здійснюється серіями імпульсів наступних від мотонейронів з частотою 50-200 імпульсів за секунду.

У цілому, м'яз - це складного складу *двигун*, що складається з великого числа (до декількох тисяч) паралельно включених елементарних імпульсних двигунів - волокон, «конструктивно» об'єднаних в пучки, а з керування - в рухові одиниці різного типу.

При цьому поперечно смугастий м'яз - це двигун односторонньої (нереверсивної) дії, тобто по зовнішньому сигналу він може тільки скорочуватися.

Рецептори. Це – чутливі пристрої, що підрозділяються на *зовнішні* і *внутрішні* у відповідності з джерелами інформації. Загальна кількість рецепторів у людини вимірюється сотнями мільйонів. Зовнішні рецептори – це перш за все п'ять основних органів почуттів (зір, слух, дотик, нюх, смак), а також безліч таких рецепторів, які розташовані в шкірі: температурні рецептори, рецептори тиску, больові та ін. Крім того, сюди відноситься *вестибулярний апарат* скроневої кістки, який визначає положення тіла в просторі і прискорення.

Особливістю органів почуттів є попередня обробка в них інформації до передачі її в головний мозок.

Внутрішні рецептори (інтероцептори) видають інформацію про стан рухового апарату, а також залоз і внутрішніх органів.

Рецептори першого типу діляться на м'язові рецептори *розтягування*, *сухожильні* і *механорецептори* суглобів і шкіри.

М'язові рецептори розміщені в м'язі, й видають інформацію про довжину м'яза і швидкість його зміни, а *сухожилльні* - про зусилля і швидкість його зміни й *суглобові* - про значення суглобового кута, швидкість і прискорення його зміни.

Центральна нервова система. Будову центральної нервової системи показано на рис. 10.3. *Передній мозок* складається з *кінцевого мозку* і *проміжного*. В кінцевий мозок входять великі півкулі, включаючи «нову кору», яка у людини перевершує всю решту мозку і має товщину в 60-100 нейронів. Щоб поміститися в черепі, вона має складки (борозни), при цьому півкулі з'єднані мозолястим тілом і іншими нервовими шляхами.

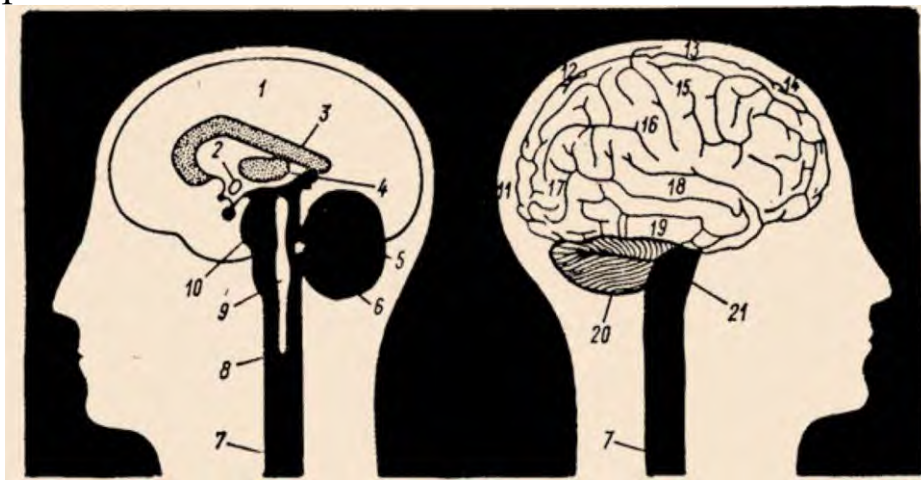


Рис. 10.3. Будова центральної нервової системи: 1 - нова кора; 2 - гіпоталамус; 3 - мозолисте тіло; 4 - таламус; 5 - мозочок; 6 - вестибулярні ядра; 7 - спинний мозок; 8 - продовгуватий мозок; 9 - ретикулярна формація; 10 - воротієвий міст; 11 – потилична доля; 12 - темена доля; 13 - центральна борозна; 14 - лобна доля; 15 – рухова кора; 16 - соматосенсорна кора; 17 - зорова кора; 18 - слухова кора; 19 - обоняльна кора; 20 - мозочок; 21- стовбур мозку

У кожній півкулі розрізняють чотири частини: *лобову, скроневу, тім'яну* і *потиличну*.

У корі є сенсомоторна область, яка складається з сенсорних областей (*соматосенсорної*, яка отримує інформацію від внутрішніх рецепторів, *зорової, слухової* і *нюхової*) та *моторної* області. Вхідною в кінцевий мозок є *лімбічна система*, яка об'єднує інформацію від окремих органів почуттів і відіграє важливу роль у поведінці, направлену на виживання (*харчування, почуття небезпеки, агресивність, розмноження*). Знаходиться лімбічна система під великими півкулями перед стоволом мозку, як і проміжний мозок, через який реалізуються її сигнали.

Проміжний мозок включає *таламус* і *гіпоталамус*. У таламусі здійснюється проміжна обробка, що йде до кори сенсорної інформації (крім нюхової, яка обробляється в гіпоталамусі) і частина йде назад («вниз») моторної інформації. Гіпоталамус разом з лімбічною системою визначає емоційну та мотиваційну поведінку (крім того, тут контролюються біохімічні процеси - сольовий обмін, кров'яний тиск, дихання, температура, водний баланс, почуття голоду і насичення, ендокринна система).

Стовбур мозку здійснює керування зоровими, слуховими і руховими рефlekсами. Ретикулярна формація стовбура мозку, регулює чергування сну і неспання, забезпечує стійкість пози, тобто, компенсацію впливу сили тяжкості.

Мозочок забезпечує координацію рухів, підтримує тонус і регуляцію м'язів.

Довгастий мозок є продовженням спинного мозку в черепі. Через нього з спинного мозку вгору йде інформація про стан частин тіла і м'язового тонусу, а вниз - рухові сигнали. (Крім того, довгастий мозок бере участь в регуляції серцево-судинної системи, дихання, травлення, рівноваги).

Спинний мозок розташований в хребті і розділений на сегменти, які керують окремими частинами тіла. Для цього в кожному сегменті є сенсорні нервові клітини і керуючі м'язами *мотонейрони*. Сегменти з'єднані нервовими волокнами, які йдуть вгору і вниз уздовж спинного мозку.

Сенсорні системи людини. Сенсорні системи перетворюють фізичну енергію в нейронну інформацію, тоді як моторна система перетворює нейронну інформацію в фізичну енергію використовуючи команди, які передаються через стовбур мозку та спинний мозок до скелетних м'язів, що перетворюють нейронну інформацію в скорочувальну силу, яка генерує рухи кінцівок.

Моторне керування довільних рухів це складний процес. Мозок повинен контролювати тіло та його рухи через складну м'язову систему, яка є надзвичайно надлишковою, нелінійною та ненадійною. Окрім того, для вправної та швидкої координації рухів у мінливому середовищі, мозок повинен спиратись на *зворотну* сенсорну інформацію, яка також є ненадійною та істотно затримується, часто приходячи надто пізно, щоб скерувати рух.

Для подолання цієї затримки, моторна система формує пряму внутрішню модель, що передбачає наслідки моторних команд та від-

повідно до них змінює рухи, хоча самі ці моделі є наближеними та вносять помилки у моторний контроль.

10.2. Загальна схема системи керування рухами тіла людини

Сучасні роботизовані системи та обчислювальні машини випереджують людину в складних логічних та математичних операціях. Вони майже не спроможні виконувати чи вкрай складно виконують ті моторні завдання, які є для людини рутинними, як то хода, досягання руками та маніпуляція об'єктами. Очевидна причина такої вправності людини криється не так в скелетно-м'язовій системі, як в складних механізмах *моторного керування* цією системою, які забезпечує кора головного мозку.

Робот, що ходить, завдячній пасивній динаміці. Хоча ходіння робота здається природним, воно не потребує якого-небудь моторного керування і навіть м'язів, пересуваючись тільки завдяки гравітаційній потенції енергії та пасивному переставлянню ніг. Однак, беручи до уваги складну біомеханіку скелетно-м'язової системи, моторне керування не є відокремленим чи досконалішим від механізмів (кінцівок), якими воно керує. Істотна різниця між сенсорними нейронними обчисленнями та моторними полягає в тому, що останні не пов'язані виключно з обробкою інформації. Між моторною поведінкою та нейронними обчисленнями знаходиться складна біомеханіка кінцівок, яка значно ускладнює процес прямого співвідношення між моторним наслідком та його нейронною причиною. Протягом довільних рухів кінцівки задіяні більше ніж один суглоб, що породжує складні динамічні взаємодії, оскільки рух в одному суглобі впливає на рухи в інших суглобах, потребуючи складного моторного керування.

Кінематичні перетворення при моторному керуванні. Рух кінцівок людини здійснюється в результаті сенсорно-моторних перетворень координат, що полягають у зміні кінематичних моторних параметрів, таких як положення руки та кутів суглобів, які переміщують руку до вибраного положення. Рука є ланцюгом сегментів, що складається з багатьох суглобів, тому рух кисті руки в просторі визначається часовою послідовністю змін кутів суглобів (кінематика руху). Для того, щоб перемістити руку в дане місце, моторна система повинна здійснити перетворення із внутрішніх координат (*кутів суглобів*) у зовнішні (*декартові*) координати. Таке перетворення назива-

ється *прямим*. Для досягнення конкретного положення руки в просторі, моторна система повинна вибрати потрібні довжини м'язів та відповідні кути суглобів.

Для того, щоб перемістити кисть руки до бажаної точки, потрібно обчислити кути для суглобів всієї кінцівки, що є значно складнішим обчислювальним завданням, аніж пряма кінематика. Таке обернене до прямої кінематики перетворення, - із зовнішніх, декартових координат (положення руки) у внутрішні (кути суглобів та довжину м'язів), - називається *зверненою кінематикою*.

Здатність людини зафіксувати зором ціль в просторі, закрити очі та досягнути рукою вибраної цілі свідчить про те, що ЦНС має *внутрішню модель перетворення* із бажаних положень руки в кути суглобів та довжину м'язів, тобто, може обчислювати перетворення оберненої кінематики. Слід зауважити, що система керування рухами тіла людини є *ієрархічною*, яка складається з п'яти рівнів керування, а саме, з стратегічного рівня (прийняття рішень про виконання певних дій на основі мотивацій); тактичного і трьох динамічних рівнів (виконання рухів шляхом керування з використанням зовнішньої інформації, рефлекторного пов'язаного управління декількома ланками тіла, рефлекторного управління окремими ланками).

10.3. Модулі руху в мехатронних системах роботів

10.3.1. Поняття модуля руху

Створення *мехатронних модулів руху* з високими характеристиками є однією з найважливіших задач роботів - маніпуляторів. З таких модулів, як з функціональних блоків, можна створити складні роботизовані системи.

Основними вимогами, щодо будови мехатронних модулів руху для багатьох областей їх застосування є: підвищення продуктивності технологічного обладнання, надійність і компактність.

Надаймо визначення й поняття модуля руху.

Модуль руху (МР) – конструктивно й функціонально самостійний виріб, що включає в себе механічну (гідравлічну, пневматичну) і електротехнічну частини, який можна використовувати у різних комбінаціях з іншими модулями й самостійно. Прикладами МР є *мотор-редуктори, електроциліндри, мотор-колеса, електрошпинделі*. Одним із найперших таких модулів став свого часу мотор-редуктор (рис. 10.4), що поєднав у собі приводний електричний двигун та індустріа-

льний механічний редуктор. Його використання значно спростило розробку та виготовлення машини, її надійність. Мотор служить для перетворення електричної енергії в механічну.

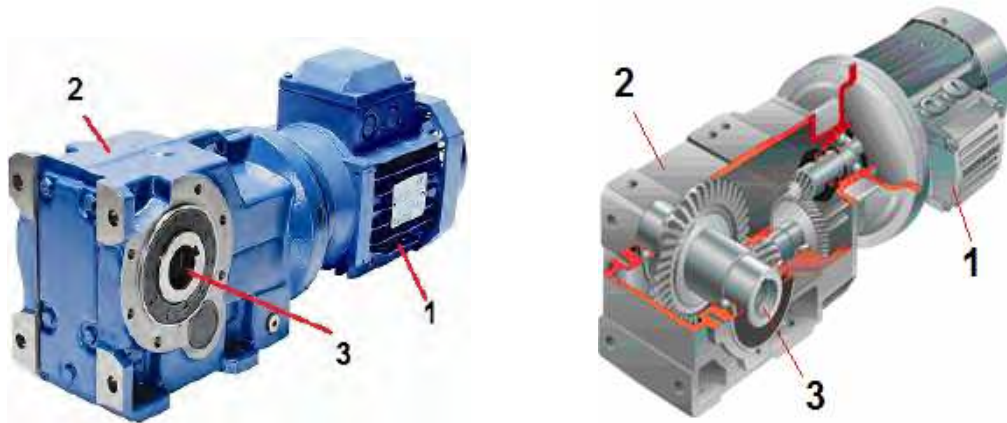


Рис. 10.4. Мотор-редуктори

На рис. 10.5 показано електроциліндр: в розрізі (а) і в зборі (б).

Електроциліндр складається з електродвигуна 1, гвинта 2 (одночасно є ротором двигуна) та нерухомої гайки 3. Дві останні частини утворюють кульово-гвинтову передачу, в якій обертання гвинта призводить до його поступального руху.

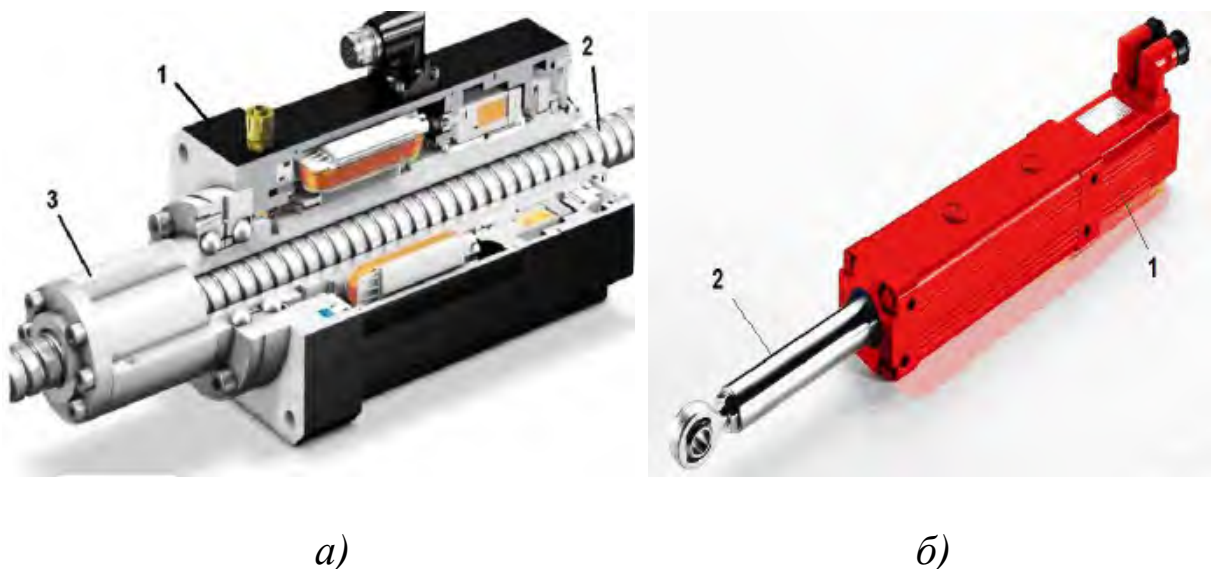


Рис. 10.5. Електроциліндр: а – у розрізі; б – у зборі

На рис. 10.6 зображено мотор-колесо. Канадські конструктори створили уніфікований колісний модуль, що складається з власне колеса, електричного мотора, гальмівної системи, підвіски і контролера,

енергопостачання якого здійснюється від блоку батарей автомобіля.

Використання таких мотор-колів позбавляє електромобільні «стартапи» від необхідності розробляти кожен з компонентів самостійно: вони просто під'єднують уніфіковані блоки до рами свого транспортного засобу.



Рис. 10.6. Мотор-колесо

А мотор-колесо, наприклад типу Protean 360, дає змогу електромобілям паркуватися будь яким боком (рис. 10.7).

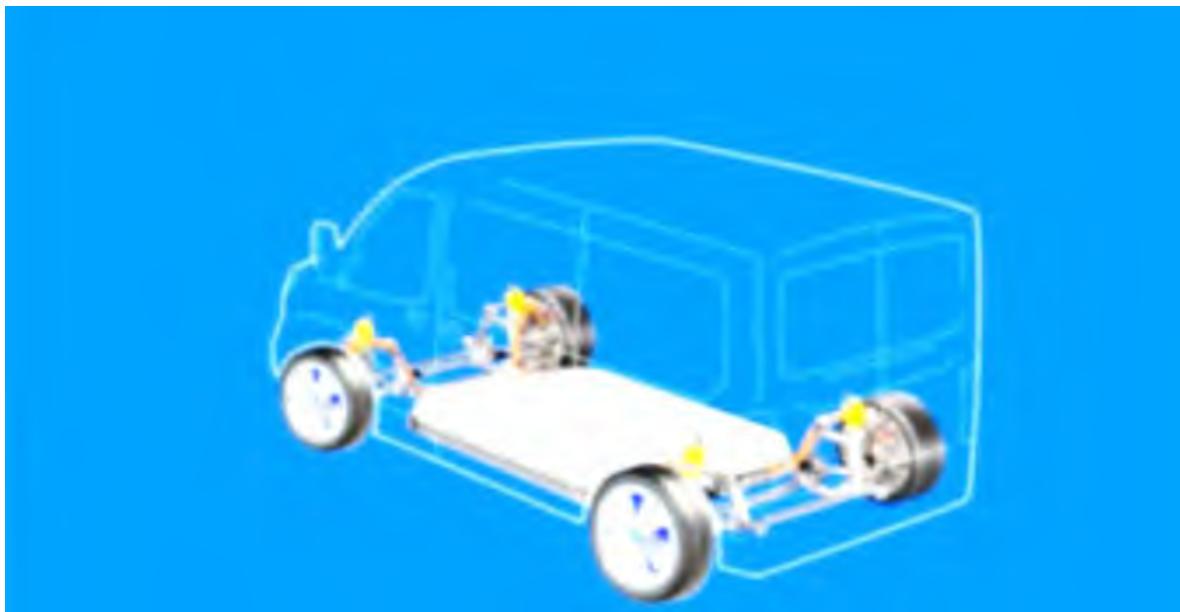


Рис. 10.7. Електромобіль з мотор-колесами Protean 360

Команди розгону, маневрування і гальмування будуть передаватися в модулі не механічно, а за допомогою електроніки. Перевага такої системи ще й у тому, що вона дозволяє відмовитися від рульо-

вої колонки, а це робить просторіше салон пасажирського або вантажного електромобіля.

На рис. 10.8 зображено верстат з числовим програмним керуванням з позначеним електрошпинделем.



Рис. 10.8. Верстат з позначенням електрошпинделя

Поширений у використанні у складі верстатів, як модуль руху, є *електрошпиндель*. Він являє собою високошвидкісний електричний двигун, робочий вал якого оснащений спеціальним пристосуванням, призначеним для закріплення оброблюваної заготовки або різального інструменту. Шпиндель для верстата оснащується спеціалізованими підшипниками зі сталі або кераміки, що дозволяють досягати за допомогою перетворювача частоти швидкості обертання валу двигуна від 3000 об/хв до 24000 об/хв (стандарт), а деяких випадках - до 60000 об/хв. Ця властивість дозволяє здійснювати шпинделем обробку всіх можливих матеріалів: дерево, метал, алюміній, скло, камінь, пластик.

10.3.2. Мехатронні модулі руху

Мехатронний модуль руху (ММР) на відміну від модулю руху додатково включає ще електротехнічну, електронну й інформаційну частини. Вбудовані в модулі руху мініатюрні датчики й електронні блоки для обробки їх сигналів перетворюють МР у мехатронні модулі руху (ММР). Для створення сучасних автоматичних ліній необхідні різноманітні мехатронні модулі руху, що задовольняють ряду вимог: висока точність реалізації рухів, надійність, довговічність, можливість роботи при наявності різних видів збурень і в широкому діапа-

зоні температури навколишнього середовища, а також значно менші масогабаритні показники у порівнянні звичайним електроприводом.

Вимоги до приводних зусиль, точності й швидкості виконавчих рухів пов'язані з особливостями технологічної операції, яка обладнується мехатронними модулями руху, а вимога мінімізації його розмірів – необхідністю вбудовування його в технологічну машину.

Належної компактності модуля руху можна досягти шляхом використання безконтактних електричних машин і їх інтеграції з перетворювачами руху й інформаційно-вимірювальними елементами. При цьому перетворювачі руху й датчики не є окремим обладнанням, а стають невід'ємними елементами двигуна.

Мехатронні модулі руху є функціональними „цеглинками”, з яких можна компонувати складні мехатронні системи.

Приклади мехатронних модулів руху: мехатронні модулі руху на основі електродвигунів кутового й лінійного руху й різних перетворювачів руху (гвинтових, черв'ячних, планетарних, хвильових тощо), безредукторні мехатронні модулі руху, безредукторні поворотні столи.

10.3.3. Інтелектуальні модулі руху

Інтелектуальний мехатронний модуль (ІММ) – конструктивно й функціонально самостійний виріб із інтеграцією механічної (гідравлічної, пневматичної), електротехнічної й комп'ютерної (мікропроцесорної) частин, який можна використовувати індивідуально й у різних комбінаціях з іншими модулями.

Таким чином, у порівнянні із ММР, у конструкцію ІММ додатково включені *мікропроцесорне* обчислювальне обладнання й силові електронні перетворювачі, а також елементи, що забезпечують *інтелектуальне* керування.

Розглянемо основні переваги, які дає застосування інтелектуальних мехатронних модулів:

- здатність ІММ виконувати складні рухи самостійно, без „звертання” до верхнього рівня керування, що підвищує автономність модулів, гнучкість і живучість мехатронних систем;
- спрощення комунікацій між модулями й центральною системою керування (наприклад, перехід до безпроводних комунікацій);

- підвищення надійності й безпеки мехатронних систем завдяки комп'ютерній діагностиці несправностей і автоматичному захисту в аварійних і позаштатних режимах роботи;
- інтелектуалізація силових перетворювачів, що входять до складу ІММ, для реалізації безпосередньо в мехатронному модулі інтелектуальних функцій керування рухом, захисту модуля в аварійних режимах і діагностики несправностей;
- інтелектуалізація сенсорів для мехатронних модулів, що дозволяє досягти більш високої точності вимірювання, програмним шляхом забезпечивши в самому сенсорному модулі фільтрацію шумів, калібрування, лінеаризацію характеристик „вхід-вихід”, компенсацію гістерезису й дрейфу нуля.

Інтелектуальний мехатронний модуль складається з наступних основних елементів:

- 1) електродвигуна (хоча можливе використання приводів і інших типів, наприклад, гідравлічних);
- 2) механічного перетворювача;
- 3) інформаційних пристроїв (датчиків зворотного зв'язку й сенсорного обладнання);
- 4) пристрою керування (контролера);

Мехатронні модулі різного рівня наведені на рис. 10.9.

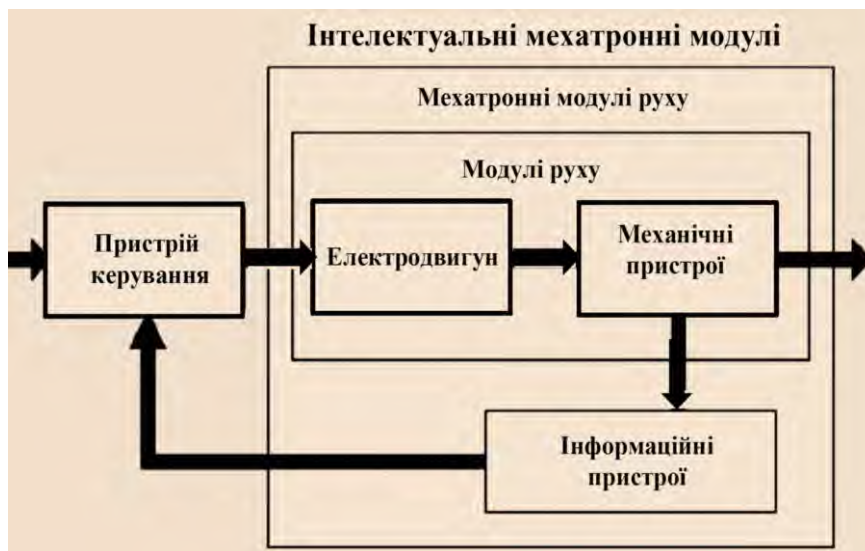


Рис. 10.9. Структура інтелектуального мехатронного модуля

У якості механічних перетворювачів руху застосовують зубчасті, гвинтові та інші передачі.

В інтелектуальних мехатронних модулях використовують різні датчики положення й швидкості (*енкодери, обертові трансформа-*

тори, тахогенератори), датчики струму, моменту, температури, вібрації тощо, які передають інформацію в обладнання комп'ютерного керування про фактичний стан підсистем модуля.

У ланці мехатронної техніки одне з перших місць займає інтелектуальна мехатронна машина. Інтелектуальна мехатронна машина (ІММ) – це інтелектуальна багатовимірна система, побудована на мехатронних принципах і технологіях. Така система здатна ефективно виконувати програми функціональних рухів в умовах нечіткої та неповної інформації про експлуатаційну характеристику машини та параметри зовнішнього середовища. На рис. 10.10 зображено узагальнену структуру мехатронної машини, в основу побудови якої покладена структура автоматичних роботів. Зовнішнім середовищем для машин цього класу є технологічне середовище, яке містить основне й допоміжне обладнання, технологічне оснащення та об'єкти робіт. Під час виконання мехатронною системою заданого функціонального руху, об'єкти робіт впливають на робочий орган. Наприклад, вплив сили різання на технологічну операцію механічної обробки, вплив реакції струменя рідини при гідравлічному різанні та інші.

До складу мехатронної машини входять чотири частини:

- механічний пристрій, кінцевою ланкою якого є робочий орган;
- блок приводів, що складається з силових перетворювачів і виконавчих двигунів;
- пристрій комп'ютерного керування, на вхід якого надходять команди людини-оператора або ЕОМ верхнього рівня керування;
- інформаційний пристрій, призначений для отримання й передачі до пристрою комп'ютерного керування даних про реальний рух машини та про фактичний стан його підсистем.

Механічний пристрій і двигуни об'єднані в групу виконавчих пристроїв. До складу групи інтелектуальних пристроїв включені електронна, керувальна та інформаційна частини машини.

Механічний пристрій мехатронної машини є багатоланковим механізмом. Кінематичний ланцюг його утворюють рухомі ланки, -складові кінематичні пари. Кінцевою ланкою кінематичного ланцюга є робочий орган.

Робочий орган мехатронної машини – це складова частина механічного пристрою, що призначений для безпосереднього виконання технологічних операцій.

Прикладами робочих органів в робототехніці є такі пристрої: механічні, вакуумні й електромагнітні захватні, а також зварювальні

кліщі (для точкового зварювання), інструментальні головки для механічної обробки й лазерних операцій, фарбувальний пістолет тощо. Отже, робочий орган – це керований модуль, який може мати декілька ступенів рухливості та складатися з декількох елементів.

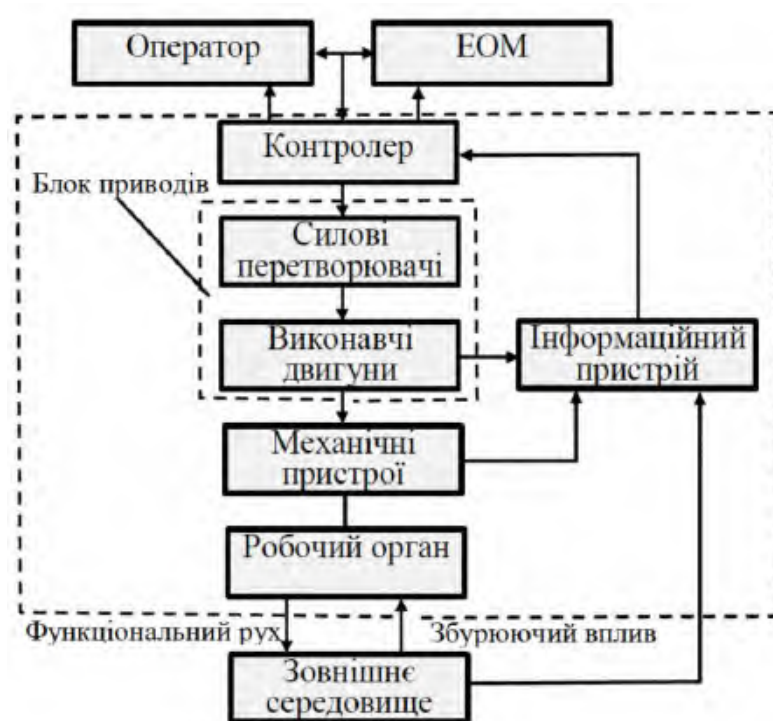


Рис. 10.10. Узагальнена структурна схема інтелектуальної мехатронної машини

Пристроєм комп'ютерного керування є комплекс апаратних і програмних засобів, що виробляє сигнали керування для блоку приводів машини.

До складу комплексу входять мікропроцесорний контролер, задаючі пристрої (наприклад, джойстики та рукоятки), пульт керування оператора, обчислювальні та перетворювальні пристрої, периферійні пристрої введення-виведення інформації.

Пристрій комп'ютерного керування виконує такі основні функції:

- керування функціональними рухами мехатронної машини у реальному масштабі часу;
- координації керування механічним рухом із супутніми зовнішніми процесами;
- взаємодії з людиною-оператором через людино-машинний інтерфейс у режимах програмування та безпосередньо у процесі руху (режим on-line);

– обміну даними із зовнішніми пристроями (інформаційним пристроєм, блоком приводів, комп'ютером верхнього рівня, периферійними пристроями).

Сучасні інтелектуальні модулі (рис. 10.11), вузли та системи легко перепрограмовуються під нове завдання, що розширює функціональні можливості машин і механізмів.

Водночас із розвитком техніки вузли машини різного фізичного походження (механічні, електричні, електромеханічні, електронні, інформаційні) поступово об'єднуються в єдине конструктивне ціле. Саме такі інтелектуальні машини та вузли називають мехатронними.

Інформаційний пристрій призначений для збору й передачі в пристрій керування інформації про фактичний стан зовнішнього середовища й рух мехатронної машини.



Рис. 10.11. Мехатронні модулі з інтегрованим робочим органом

В інформаційному пристрої можна виділити три групи сенсорів:

- датчики інформації про стан зовнішнього середовища й об'єктів робіт (системи технічного зору, локаційні давачі, далекоміри тощо);

- давачі інформації про рух механічної частини (давачі переміщень, швидкостей, прискорень, сил і моментів);

- давачі зворотного зв'язку блоку приводів (надають інформацію про поточні значення електричних струмів і напруг у силових перетворювачах).

Система інтелектуального керування машиною (комплекс верх-

нього рівня керування) в умовах неповної інформації зазвичай реалізується у вигляді комплексу програмних засобів на комп'ютері верхнього рівня керування.

Контрольні запитання

1. Наведіть приклади, коли жива природа стала запозичником ідей створення технічних пристроїв.
2. Що являє собою *андроїд*?
3. Що є спільного в біологічній системі керування рухом тіла людини й технічній системі керування роботом?
4. Яке призначення рецепторів людини?
5. Яка роль відіграє сенсорна система при русі людини?
6. Який орган людини виконує функції, що сходні з функціями ЕОМ?
7. Які кінематичні перетворення здійснюються у людини при її русі?
8. Дайте визначення модуля руху.
9. Що являють собою мехатронні модулі руху?
10. Наведіть основні вимоги, що виставляються при будові мехатронних модулів руху.
11. Дайте визначення інтелектуальному модулю руху.
12. Назвіть основні складові частини, що входять до структури інтелектуального модуля руху.
13. Які типи датчиків застосовуються в інтелектуальних модулях руху?
14. Чим інтелектуальна мехатронна машина відрізняється від звичайних мехатронних?

11.1. Застосування платформ Arduino в роботах - маніпуляторах

Широкого поширення у нашому повсякденному аматорському та професійному житті окрім «великих» комп'ютерів (персональні, ноутбуки й ін.) знаходять і «маленькі», а саме *мікроконтролери (МК)*. Вони застосовуються зараз повсюди: в побутовій електронній апаратурі, у пральних машинах, автомобілях, холодильниках і т. д.

У цьому розділі об'єктом нашої пильної уваги будуть апаратна платформа *Arduino* й роботи. *Arduino* це маленька плата з мікропроцесором і з деякою кількістю контактів до яких підключають периферійні пристрої: сенсори, моторчики, лампочки, динаміки і ін. Платформа користується величезною популярністю в усьому світі завдяки зручності і простоті мови програмування, а також відкритій архітектури і програмного коду. Ця маленька друкована плата є, свого роду, джерелом натхнення для «митців» в електроніці, людей, що захоплені електронними виробами, учнів, студентів і будь-кого, у кого є мрія зібрати що-небудь корисне і цікаве. На її основі можна створювати як пристрої з простими схемами, так і складні трудомісткі проекти, наприклад, роботів або дронів.

Перевага плат *Arduino* перед аналогічними платформами - відносно невисока ціна і практично масове поширення серед любителів і професіоналів робототехніки та електротехніки.

Для того, щоб Ардуіно робот виконував нескладну вправу, наприклад, проходження по чорній лінії або по лабіринту, необхідно навчити його отримувати і обробляти інформацію, що надходить від відповідних датчиків. І вже на основі отриманих даних подавати команду електромоторам на обертання «вперед» або «назад». Так само необхідно мати хороше представлення про те, як створити саму платформу робота. Які мотори і колеса застосувати в роботі, так, що б він зміг проїхати задану траєкторію і ні де на забуксував. Вибрати джерело електричного живлення й вирішити інші конструкторські питання. У більш складних конструкціях роботів необхідно буде вже отримувати і обробляти інформацію від деякої безлічі датчиків.

Як пов'язані *Arduino* і роботи? Відповідь дуже проста - *Arduino* використовується як *мозок* робота.

Пристрої на базі Arduino можуть отримувати інформацію про навколишнє середовище за допомогою різних датчиків, а також можуть управляти різними виконавчими пристроями.

Мікроконтролери присутні навіть в самих, на перший погляд, простих предметах - електронний годинник, плеєри, різні гаджети. І в кожному перерахованому виробі, як і в безлічі інших, присутні електронні модулі з мікропроцесором.

11.2. Плати Arduino та їх характеристики

З появою першої оригінальної плати Arduino, що зразу знайшла популярність, компанія вирішила створити більше проектів, з метою виконання специфічних завдань і розширення області застосування. Крім того, оскільки оригінальний дизайн Arduino був під відкритою ліцензією, кілька компаній і приватних осіб розробили свої власні Arduino плати розширень, запропонували свої зміни в Arduino. Arduino почав програму сертифікації для забезпечення сумісності з бордами, які використовують різні процесори, і компанія Intel Galileo була першою, яка отримала подібний сертифікат. Найменування та логотип Arduino зарезервовані як торгова марка. Таким чином, можна знайти безліч плат з іменами, які закінчуються на "*uino*", що мають на увазі сумісність.

Arduino UNO. *Arduino Uno* — це найбільш використовувана плата мікроконтролерів з відкритим кодом на базі мікроконтролера ATmega328P. У його склад входить усе те, що необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 14 цифрових входів/виходів, 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для програмування всередині схеми (ICSP) і кнопка скидання. Для початку роботи з пристроєм досить просто подати живлення від AC/DC-адаптера або батареї, або підключити його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю. У разі живлення від акумулятора / батареї, її проводу необхідно під'єднати до виводів Gnd і Vin роз'єму POWER. Напруга зовнішнього джерела живлення може бути в межах від 6 до 20 В. Однак, зменшення напруги живлення нижче 7 В призводить до зменшення напруги на виході 5V, що може стати причиною нестабільної роботи пристрою. Використання напруги більше 12 В може призводити до перегріву стабілізатора напруги і виходу плати з ладу. З огляду на це, рекомендується використовувати джерело живлення з напругою в діапазоні від 7 до 12 В.

На рис. 11.1 зображено плату Arduino UNO з двох ракурсів її вигляду.

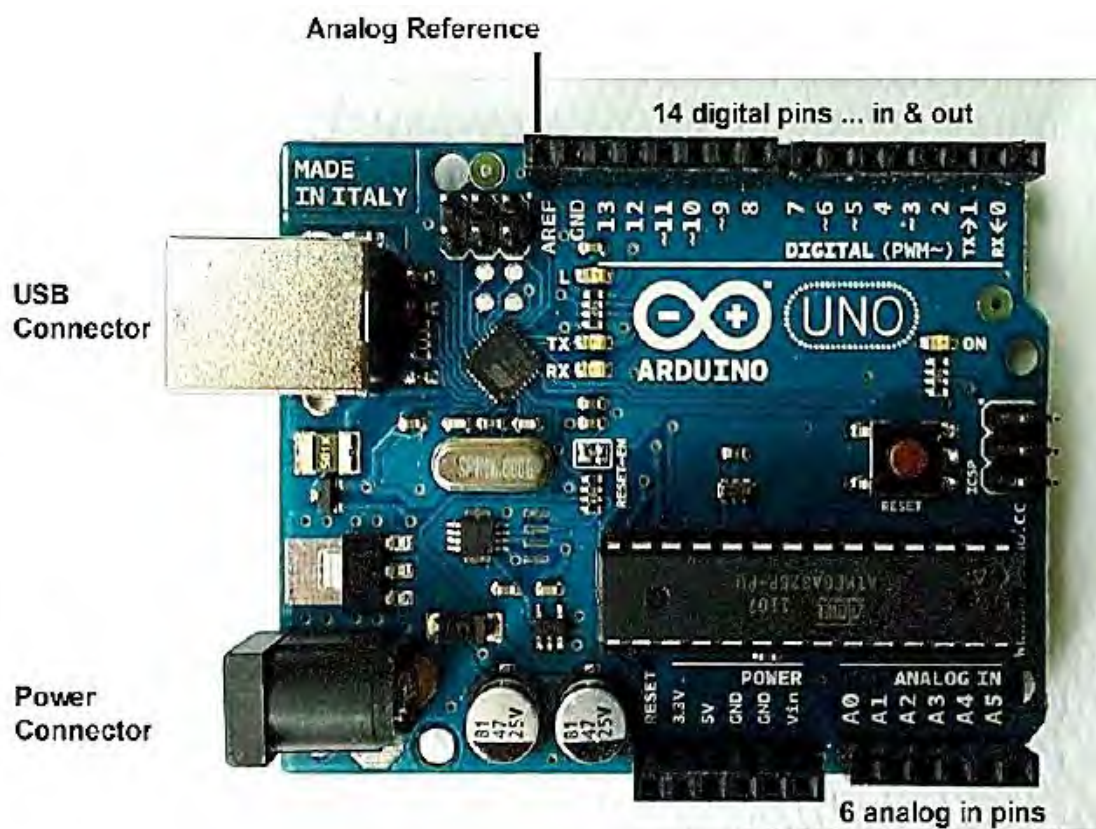


Рис. 11.1. Плата Arduino UNO

Нижче перераховані виходи живлення, які розташовані на платі:

- *VIN*. Напруга, що надходить в Arduino безпосередньо від зовнішнього джерела живлення (не пов'язане з 5 В від USB або іншою стабілізованою напругою).
- *5V*. На вивід надходить напруга 5 В від стабілізатора напруги на платі. Живити пристрій через вивід 5 V або 3V3 не рекомендується, оскільки в цьому випадку не використовується стабілізатор напруги, що може привести до виходу плати з ладу.
- *3V3*. 3,3 В, що надходять від стабілізатора напруги на платі. Максимальний струм, споживаний від цього виводу, становить 50 мА.
- *GND*. Вивід «землі».
- *IOREF*. Цей вивід надає платам розширення інформацію про робочу напругу мікроконтролера Arduino.

У табл. 11.1 надана основна технічна характеристика Arduino UNO.

Таблиця 11.1. Технічна характеристика Arduino UNO

Основні параметри	Значення
EEPROM	1 КБ (ATmega328)
SRAM	2 КБ (ATmega328)
Робоча напруга	5В
Аналогові входи	6
Напруга живлення (граничне)	6-20В
Напруга живлення (рекомендований)	7-12В
Цифрові входи / виходи	14 (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів)
Тактова частота	16МГц
Flash-пам'ять	32 КБ (ATmega328) з яких 0.5 КБ використовуються завантажувачем
Максимальний струм одного виведення	40мА
Максимальний вихідний струм виводу 3.3V	50мА
Мікроконтролер	ATmega328

Входи і виходи. У Arduino UNO, кожен з його 14 цифрових виводів, може працювати в якості як входу так і виходу. Рівень напруги на выводах обмежений і становить 5 В. Максимальний струм, який може віддавати або споживати один вивід, становить 40 мА.

Всі виводи пов'язані з внутрішніми підтягуючими резисторами номіналом 20-50 кОм. Крім цього, деякі виводи Arduino можуть виконувати наступні додаткові функції:

- *Послідовний інтерфейс:* виводи 0 (RX) і 1 (TX). Використовуються для отримання (RX) і передачі (TX) даних по послідовному інтерфейсу. Ці виводи з'єднані з відповідними выводами мікросхеми ATmega8U2, яка виконує роль перетворювача USB-UART.
- *Зовнішні переривання:* виводи 2 і 3. Можуть служити джерелами переривань.
- *ШИМ:* виводи 3, 5, 6, 9, 10 і 11. За допомогою функції analogWrite () можуть виводити 8-бітові аналогові значення в вигляді ШИМ-сигналу.
- *Інтерфейс SPI:* виводи 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Із застосуванням бібліотеки SPI дані виводи можуть здійснювати зв'язок по інтерфейсу SPI.
- *Світлодіод:* Вбудований світлодіод, приєднаний до виводу 13. При відправці значення HIGH світлодіод включається, при відправці LOW — вимикається.

В Arduino Uno є 6 аналогових входів (A0 - A5), кожен з яких може представляти аналогову напругу у вигляді 10-бітного числа ($2^{10}=1024$ різних значень). За умовчанням, вимірювання напруги здійснюється щодо діапазону від 0 до 5 В. Крім цього, деякі з аналогових входів мають додаткові функції:

- *TWI:* вивід A4 або SDA і вивід A5 або SCL. З використанням бібліотеки Wire дані виводи можуть здійснювати зв'язок по інтерфейсу TWI.

Крім перерахованих на платі існує ще кілька виводів:

- *AREF.* Опорна напруга для аналогових входів.
- *Reset.* Формування низького рівня (LOW) на цьому виводі призведе до перезавантаження мікроконтролера. Зазвичай цей вивід служить для функціонування кнопки скидання на платах розширення.

У ATmega328 є приймач UART, що дозволяє здійснювати послідовний зв'язок за допомогою цифрових виходів 0 (RX) і 1 (TX). Мі-

кроконтролер ATmega16U2 на платі забезпечує зв'язок цього приймача з USB-портом комп'ютера, і при підключенні до ПК дозволяє Arduino визначатися як віртуальний COM-порт.

Прошивка мікросхеми 16U2 використовує стандартні драйвера USB-COM, тому установка зовнішніх драйверів не потрібно. На платформі Windows необхідний тільки відповідний *.inf-файл*.

У пакет програмного забезпечення Arduino входить спеціальна програма, що дозволяє зчитувати і відправляти на Arduino прості текстові дані. При передачі даних через мікросхему-перетворювач USB-UART під час USB-з'єднання з комп'ютером, на платі будуть мигати світлодіоди RX і TX.

LilyPad Arduino.

LilyPad Arduino це мікропроцесорний пристрій, який спеціально розроблено для використання з предметами одягу та текстилю. Його можна легко пришивати до тканини і за допомогою провідних ниток підключити живлення, різні датчики або приводи. Основою пристрою є мікроконтролер *ATmega168V* (малопотужна версія ATmega168) або ATmega328V. LilyPad Arduino спроектований і розроблений компаніями Leah Buechley і SparkFun Electronics.

LilyPad Arduino випадає зі звичних стереотипів про звичайний Arduino, тому що має не прямокутну, а *круглу* форму діаметром близько 50 мм. Товщина самої плати становить 0,8 мм, а загальна висота з урахуванням всіх компонентів - приблизно 3 мм (див. рис. 11.2).



Рис. 11.2. LilyPad Arduino

Кругла форма продиктована тим, що роз'єми рівномірно розподілені по колу, і його невеликий розмір робить його більш доцільним для переносних пристроїв.

Основні технічні характеристики:

Напруга живлення LilyPad Arduino: 2.7 – 5,5 В.

Цифрові входи / виходи – 9.

Аналогові входи – 6.

Максимальний струм одного виведення - 40 мА.

Flash-пам'ять - 16 КБ.

SRAM - 1 КБ.

EEPROM - 512 байт.

Тактова частота 8 МГц.

АТmega168V або АТmega328V в LilyPad Arduino випускається з прошитим завантажувачем, що дозволяє завантажувати в мікроконтролер нові програми за допомогою програмного забезпечення Arduino.

Arduino Ethernet.

Платформа *Arduino Ethernet* на основі АТmega328, взята з Uno, може підключатися до мережі Ethernet, функціональність необхідна в багатьох проектах.

Фізично, платформа Arduino Ethernet має ті ж 14-дискретних входів / виходів, як Arduino Uno, з тим винятком, що 4 використовуються для керування модулем Ethernet і вбудованим зчитувачем мікро-SD карт, обмежуючи кількість доступних виведень (див. рис. 11.3).

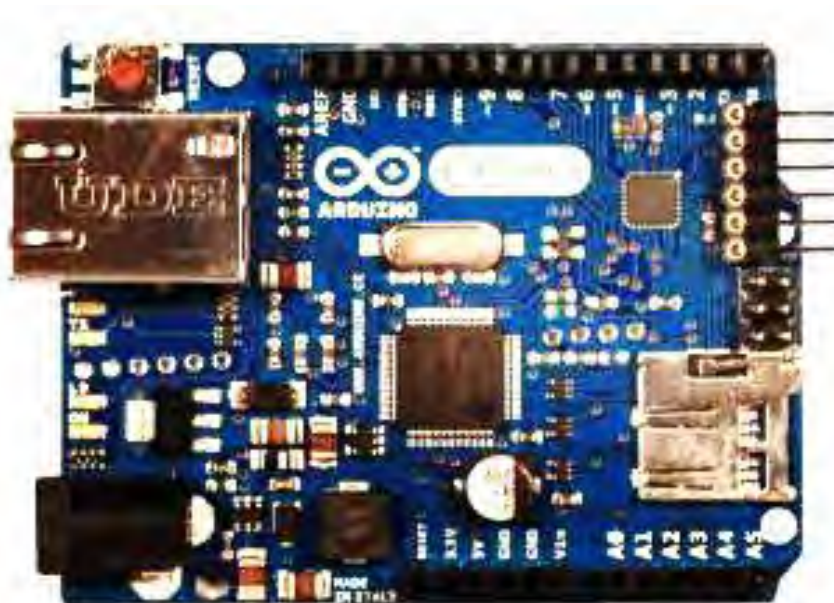


Рис. 11.3. Плата Arduino Ethernet

Плата може також підключатися до дротової мережі через Ethernet. При підключенні до мережі вам буде потрібно надати IP-адресу і MAC-адресу. Бібліотека Ethernet повністю підтримується.

Цікаво відзначити, що Arduino Ethernet має додатковий модуль POE (Power Over Ethernet). Ця опція дозволяє Arduino Ethernet жити безпосередньо від мережі Ethernet, без необхідності використання зовнішнього джерела живлення за умови, що живлення я POE підключено на іншому кінці кабелю Ethernet. Без POE Arduino повинен використовувати зовнішнє джерело живлення.

Ще одна відмінність від інших плат Arduino - це відсутність роз'єму USB. Тому що досить багато місця зайнято роз'ємом Ethernet, зате пристрій підтримує комунікації через звичайні виводи.

Arduino Esplora. Arduino Esplora це досить дивний пристрій. Більшість плат Arduino призначені для стаціонарного розміщення на столі або в щиті, але Esplora призначений для тримання руками (див. рис. 11.4).



Рис. 11.4. Плата Arduino Esplora

Arduino Esplora заснований на ATmega32u4, він не має на борту платформи контактів для входів і виходів. Замість цього, він виглядає і відчувається зручно в руках, у нього є курсор під великий палець у вигляді чотирьох дискретних кнопок, один аналоговий джойстик, а також лінійний потенціометр. У якості зворотного зв'язку передбачені зумер і триколірний світлодіод. Esplora має на своєму борту: мікрофон, датчик температури, роз'єм для підключення РК-екрану і трьохосьовий акселерометр. У Esplora є 32 Кб флеш пам'яті, 4 кБ з якої використовуються завантажником. У ній розміщується 2,5 кБ

SRAM і 1 Кбайт EEPROM пам'яті.

Для сумісності Esplora з іншими контролерами, передбачені 4 роз'єми TinkerKit: з двома входами і двома виходами.

У Arduino Esplora розміщуються наступні вбудовані засоби введення і виведення:

- аналоговий джойстик ;
- 4 кнопки;
- лінійний потенціометр;
- мікрофон;
- датчик освітленості;
- датчик температури;
- трьохосьовий акселерометр;
- зумер для генерації звукового сигналу прямокутної форми;
- RGB світлодіод;
- два виходи для підключення модулів приводів;
- роз'єм підключення TFT дисплея, SD карти або інших пристроїв, що використовують протокол SPI.

Arduino Robot.

Arduino Robot - перша офіційна версія Ардуїно, в конструкції якої передбачено коліщатка. Робот складається з двох плат, кожна з яких містить свій мікропроцесор. Плата приводів (Motor Board) контролює роботу двигунів, у той час, як керуюча плата (Control Board) зчитує показання датчиків і приймає рішення про подальші операції.

На рис. 11.5. зображено вигляд плати Arduino Robot.



Рис. 11.5. Вигляд плати Arduino Robot

Кожна з двох плат є повноцінним пристроєм Arduino, програмований за допомогою середовища розробки Arduino IDE.

Обидві плати побудовані на базі мікроконтролера ATmega32U4 (datasheet), виводи якого зв'язані з різними приводами і датчиками на платі.

Плата керування контролюється чипом ATmega32u4, що оснащений 32 КБ флеш пам'яттю, і має 2,5 КБ SRAM і 1 Кбайт EEPROM. Вона також має зовнішній I2C EEPROM пристрій. На борту платформи є компас, динамік, три світлодіода, клавіатура на п'ять кнопок і РК - екран, а також три виведення під пайку для зовнішнього I2C пристрою.

На платі розташовані окремі канали введення / виводу, з п'ятьма цифровими входами/виходами, шістьма широтно – імпульсними модуляторами (ШИМ) та чотирма аналоговими входами. Залишено місце для восьми аналогових входів (для датчиків відстані, ультразвукових датчиків і шести дискретних входів / виходів для інших пристроїв (чотири з яких можуть бути використані для аналогового входу).

Плата двигунів повністю незалежна, вона заснована на ATmega32u4, тобто на тому ж чипі що і плата керування.

Плата двигунів має в своєму складі два двигуна з коліщатками, які живляться окремо, а також п'ять інфрачервоних (ІЧ) датчиків та I2C і SPI порти. Вона також містить акумуляторну батарею, в яку вставляється чотири акумуляторні батареї типу AA. Плата може використовувати живлення від роз'єму USB.

Arduino Robot поставляється з декількома упаяними роз'ємами. Разом з тим, на платі Arduino передбачено кілька областей, що дозволяють при необхідності допаяти у схему свої деталі.

Всі роз'єми на платі промарковані і за допомогою бібліотеки Robot асоційовані з портами мікроконтролера, що забезпечує програмісту можливість роботи зі стандартними функціями Arduino.

Крім основних, деякі виводи Arduino Robot можуть виконувати допоміжні функції.

Виводи K0 - TK7 на керуючій платі. Дані виводи з'єднані із загальним аналоговим входом мікроконтролера через мультиплексор. Вони можуть використовуватися в якості аналогових входів для різних датчиків, таких, як далекоміри, аналогові ультразвукові датчики, механічні перемикачі для виявлення зіткнень і ін.

Виводи TKD0 - TKD5 на платі керування це цифрові виводи, що з'єднані безпосередньо з процесором. На основі платформи Arduino у

торгівлю надходить велика кількість різних «конструкторів» для самостійної зборки і програмування. Всі вони являють собою платформу і набір певних модулів з деталями. На рис. 11.6 зображено стартовий початковий комплект складових деталей конструктора, що можуть бути використанні при зборці нескладного робота.

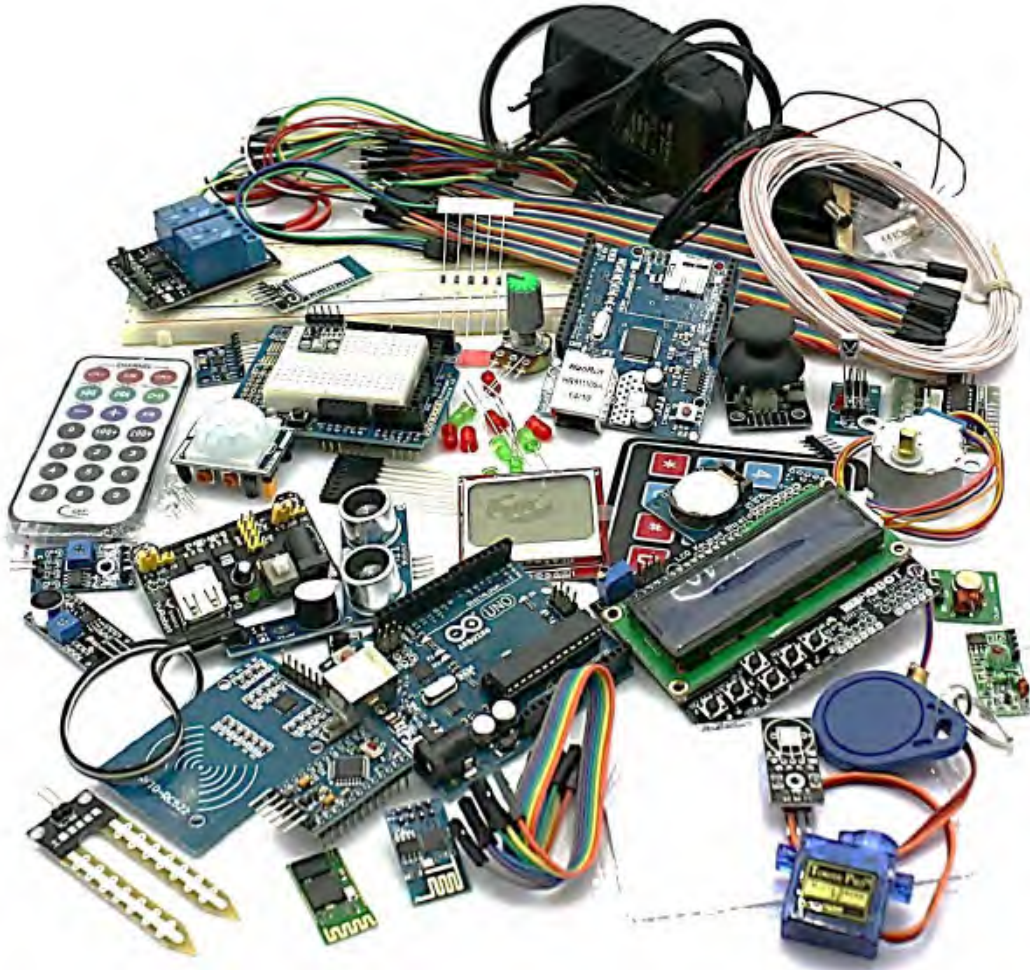


Рис. 11.6. Комплект складових деталей конструктора-робота

При бажанні, придбаний «конструктор» завжди можна модернізувати, змінювати і доповнювати різними датчиками і модулями.

11.3. Програмне забезпечення плат Arduino

Основою плати Arduino, крім апаратної частини, є і програмна. Програмне забезпечення конструктора на основі Arduino представлено інтегрованим середовищем розробки *Arduino IDE*. Програму в Arduino IDE, яка вже готова до роботи з платою, називають *скетчем*. Скетч має певну структуру.

Для початку розглянемо, як працює плата Arduino з програмної точки зору. Arduino, по суті, є розпіновкою розведенням ніжок мікроконтролера на зручні для використання входи / виходи, так звані *піни* мікроконтролера Atmega. Різні плати містять різні контролери і, відповідно, мають різну конфігурацію пінів.

Виготовлювач плат Arduino, як правило, встановлює на плату *hex-прошивку* (bootloader), яка стартує при включенні і передає керування скетчу, написаному користувачем.

Скетч обов'язково містить 2 функції: функцію *setup* і функцію *loop*.

Прошивка Arduino при включенні викликає функцію *setup*. Функція *setup* викликається лише один раз, при кожному запуску плати. Це ідеально підходить для *ініціалізації* змінних (завдання початкових значень), установки режимів пінів (введення / виведення), завдання відповідності підключених датчиків / сервоприводів з пінами.

Після виконання функції *setup*, йде циклічний виклик функції *loop* (тобто відразу після виходу з функції *setup*, виконується функція *loop*, а після виходу з неї, вона викликається знову. Loop перекладається як петля, або цикл і виконується безперервно. Так мікроконтролер ATmega328 (більшість плат Arduino містять саме його), буде виконувати функцію *loop* близько 10 000 разів за секунду.

Розглянемо найпростіший скетч на миготіння світлодіодом (приклад такого собі класичного Hello World для Arduino).

Слово *void* перед назвою функції, говорить нам про те, що функція не звертається ні до яких значень (повертає "void" - "порожнечу").

Після того як програма складена, вона завантажується (прошивається) на плату.

Для Arduino характерним є наявність додаткових функцій, а саме:

- **pinMode** - режим введення і виведення інформації;
- **analogRead** - дозволяє мікроконтролеру (МК) зчитувати аналогову напругу, що надходить на відповідний його вхід;
- **analogWrite** – здійснюється запис аналогової напруги, що надходить на відповідний вихід МК;
- **digitalRead** - дозволяє МК зчитувати значення цифрового коду на виводі;
- **digitalWrite** - дозволяє МК задавати значення цифрового коду

низького або високого рівнів;

- **Serial.print** - переводить оброблені дані МК у зручно читаючий текст.

Нижче, як приклад, наведемо скетч для керування реле з допомогою Arduino.

```
/*
*Скетч для керування реле за допомогою Arduino
*Використовуємо реле SRD-0.5VDC
*Реле вмикається при подачі низького рівня сигналу (LOW) на
керуючий пін.
*
*Реле відключається при подачі високого рівня сигналу (HIGH)
на керуючий пін.
*
*Вмикання і відключення реле здійснюється один раз за 5 се-
кунд.
*
*PIN_RELAY містить номер піна, до якого під'єднано реле, що
керується
*
*У функції setup встановлюємо початковий стан реле (відклю-
чено)
*
*Якщо до реле буде під'єднано навантаження, наприклад, лам-
почка, то після пуску скетчу вона буде вмикатися і виключатися кож-
ні 5 секунд
*Для змінювання періоду мерехтіння необхідно буде змінити
параметр функції delay (): вибравши 1000 мілі секунд. Тоді затримка
буде становити 1 секунда.
* У реальному випадку реле буде вмикатися чи відключатися у
залежності від якихось зовнішніх змін, наприклад, спрацювання дат-
чика освітлення
*
*/
#define PIN_RELAY 5 // визначає пін, який використовується
для вмикання реле
// Ця функція визначає початкові установки
void setup ()
{
  pinMode (PIN_RELAY, OUTPUT;
// Заявляєм, що пін реле є виходом
```

```

digital write (PIN_RELAY, HIGH);
// Включаємо реле - посилаємо високого рівня сигнал
}
void looh ()
{
    Digital Write (PIN_RELAY, LOW); // вмикаємо реле – відсилаємо
низький рівень сигналу
    delay (5000);
    Digital Write (PIN_RELAY, HIGH); // відключаємо реле – відси-
лаємо високий рівень сигналу
    delay (5000);
}

```

Слід зауважити, що в Arduino для плат існує безліч бібліотек, які представляють собою колекції функцій, що дозволяють здійснювати керування платою або додатковими модулями.

Варто прийняти до уваги, що конструювання роботів з контролером Arduino передбачає знання основ фізики, електроніки, механіки та певних знань і навичок у програмуванні.

Контрольні запитання

1. Пояснити, у чому полягає доцільність застосування Arduino?
2. Яку роль відіграє Arduino в роботі?
3. Назвіть найбільш поширені типи Arduino?
4. Назвіть основні складові блоки Arduino.
5. У чому полягають відмінності платформ Arduino?
6. Перелічіть основні параметри, що визначають технічні характеристики Arduino?
7. Яка робоча напруга використовується в Arduino?
8. Дайте характеристику вхідним сигналам, що надходять в Arduino?
9. Як здійснюється передача вхідних сигналів в Arduino?
10. Як називається програма в Arduino?
11. Які основні програмні оператори здійснюють початок роботи Arduino?
12. Перелічіть оператори програми, які забезпечують запис і зчитування в Arduino?

12.1. Застосування робототехнічних комплексів у виробництві

Робототехніка відноситься до тих науково-технічних напрямків, за допомогою яких може бути повністю здійснений перехід до автоматичного виробництва. Саме з використанням промислових роботів, можна взагалі виключити працю людини при виконанні робочих операцій й практично гарантувати стабільно високу якість продукції.

Розглянемо конкретні особливості оцінки ефективності застосування засобів робототехніки в виробництві. Аналіз результатів використання роботів в різних галузях промисловості і типах виробництв підтверджує, що вони можуть бути ефективно застосовані в умовах як дрібносерійного, так і масового виробництва. У масовому і багато-серійному виробництві з швидкою зміною об'єкта виробництва (автомобілебудування, радіопромисловість, виробництво електропобутових приладів і т.п.) перспективним є використання роботів для обслуговування агрегатних верстатів і переналагоджуваних автоматичних ліній на операціях завантаження-вивантаження технологічного обладнання на початкових і кінцевих позиціях ліній. Застосування роботів дозволяє здійснювати комплектацію і запуск таких ліній в більш короткі терміни. Роботи ефективно застосовують, зокрема, для заміни спеціального допоміжного обладнання на окремих операціях в автоматичних технологічних комплексах в період модернізації або заміни цього обладнання. У цьому випадку відпадає необхідність зупиняти комплекс на тривалий період, а витрати на переоснащення роботів виявляються значно нижче втрат внаслідок простою комплексу протягом всього періоду модернізації або заміни спеціалізованого допоміжного обладнання на конкретних операціях. Появляється можливість в переході до принципово нових технічних рішень, що дозволяє звільнити людину від одноманітних, фізично важких і позбавлених інтелектуального змісту операцій.

Подальше зростання виробництва на основі використання досягнень сучасної науки і техніки пов'язано ще з іншими обмеженнями, які викликані обмеженими можливостями людини. Вони стосуються збільшення інтенсивності технологічних процесів, зростання числа процесів, що протікають в агресивній і шкідливій для людини сере-

довищі (хімія, атомна енергетика та ін.).

Щоб зняти всі зазначені обмеження, знову-таки, необхідно передати частину трудових операцій новим технічним засобам. Не менш істотні обмеження виникають і щодо керування якістю продукції, що виробляється.

Практика показує, що у виробництві з переважанням ручної праці практично неможливо гарантувати стабільно високу якість продукції.

Робототехніка відноситься саме до тих науково-технічних напрямків, за допомогою яких можуть бути подолані зазначені об'єктивні протиріччя в розвитку сучасного виробництва між зростаючою спеціалізацією трудових операцій і необхідністю посилення змістовності праці. Вона, звільняючи людину від важкої і небезпечної праці, з іншого боку звільняє виробництво від безпосередньої участі в ньому людей і, тим самим, знімає пов'язані з ними обмеження на подальшу інтенсифікацію виробничих комплексів і впровадження нових технологічних процесів.

На рис. 12.1 зображена загальна класифікація робототехнічних комплексів за їх призначенням.



Рис. 12.1. Класифікація робототехнічних комплексів за призначенням

Використання роботів істотно впливає на такі важливі економічні характеристики, як продуктивність праці, обсяг виробництва продукції, собівартість, рентабельність, фондовіддача.

Зростання продуктивності праці забезпечується, з одного боку, збільшенням обсягу виробництва, а з іншого скороченням чисельності виробничих робітників.

Зростання обсягу виробництва відбувається внаслідок поліпшення використання устаткування, підвищення його продуктивності і зниження браку. При цьому поліпшення використання обладнання досягається за рахунок як факторів екстенсивного, так і інтенсивного характеру. Фактори інтенсивного характеру передбачають поліпшення використання устаткування в одиницю часу внаслідок скорочення трудомісткості допоміжних операцій (завантаження-вивантаження деталей, транспортування і т.п.). Підвищення екстенсивного використання обладнання обумовлено збільшенням часу його роботи. В умовах роботизації це забезпечується скороченням різного роду втрат робочого часу і підвищенням змінності роботи обладнання. Зниження браку продукції є наслідком усунення впливу таких індивідуальних і суб'єктивних факторів, як кваліфікація, досвід, стомлюваність робітника, його стан.

В умовах роботизації відбувається абсолютне і відносне скорочення чисельності виробничих робітників. Під відносним скороченням чисельності розуміється можливість підвищити обсяг виробництва при тій же чисельності виробничих робітників завдяки збільшенню річного ефективного фонду часу роботи обладнання в результаті використання роботів. На рис. 12.2 зображено діаграму рівня автоматизації, співвідношення робочих годин (%) по рокам.

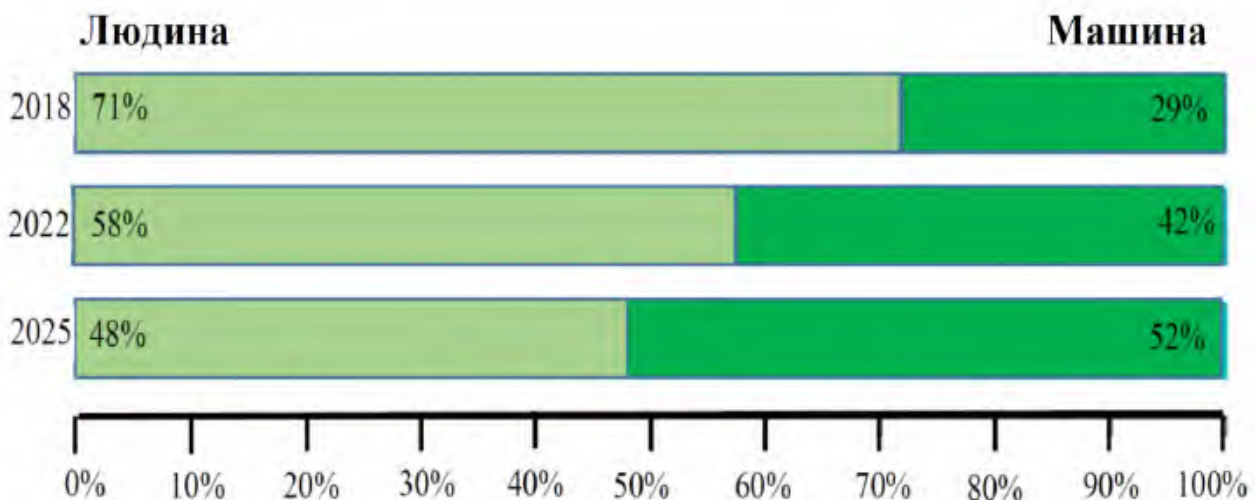


Рис. 12.2. Рівень автоматизації, співвідношення робочих годин (%)

Збільшення обсягу виробництва в умовах роботизації призводить до зниження собівартості продукції в результаті зменшення частки умовно-постійних накладних витрат на одиницю продукції, скорочення непродуктивних витрат, таких, як оплата понаднормових ро-

біт, оплата простоїв робочих, зниження втрат від браку, а також питомих витрат з утримання і експлуатації обладнання. Зниження собівартості продукції досягається за рахунок економії заробітної плати робітників, що вивільняються.

Економія на заробітній платі утворюється також внаслідок випереджаючого темпу підвищення продуктивності праці в порівнянні з темпом зростання заробітної плати.

Застосування роботів дозволяє поліпшити використання виробничих фондів, яке характеризується показниками *рентабельності* і *фондовіддачі*. При цьому рентабельність збільшується внаслідок зростання загальної суми прибутку, одержуваної в результаті зростання обсягу виробництва. Для оцінки економічного ефекту від застосування роботів в конкретному технологічному комплексі необхідно провести комплексний техніко-економічний аналіз з урахуванням технічних параметрів всіх агрегатів, що входять в комплекс, основних характеристик і особливостей технологічного процесу, приватних організаційних і техніко-економічних показників, а також соціальної значущості роботизації даного процесу. На рис. 12.3 зображено обсяг роботи людини й машини за 2018р і що передбачається в 2022 році.

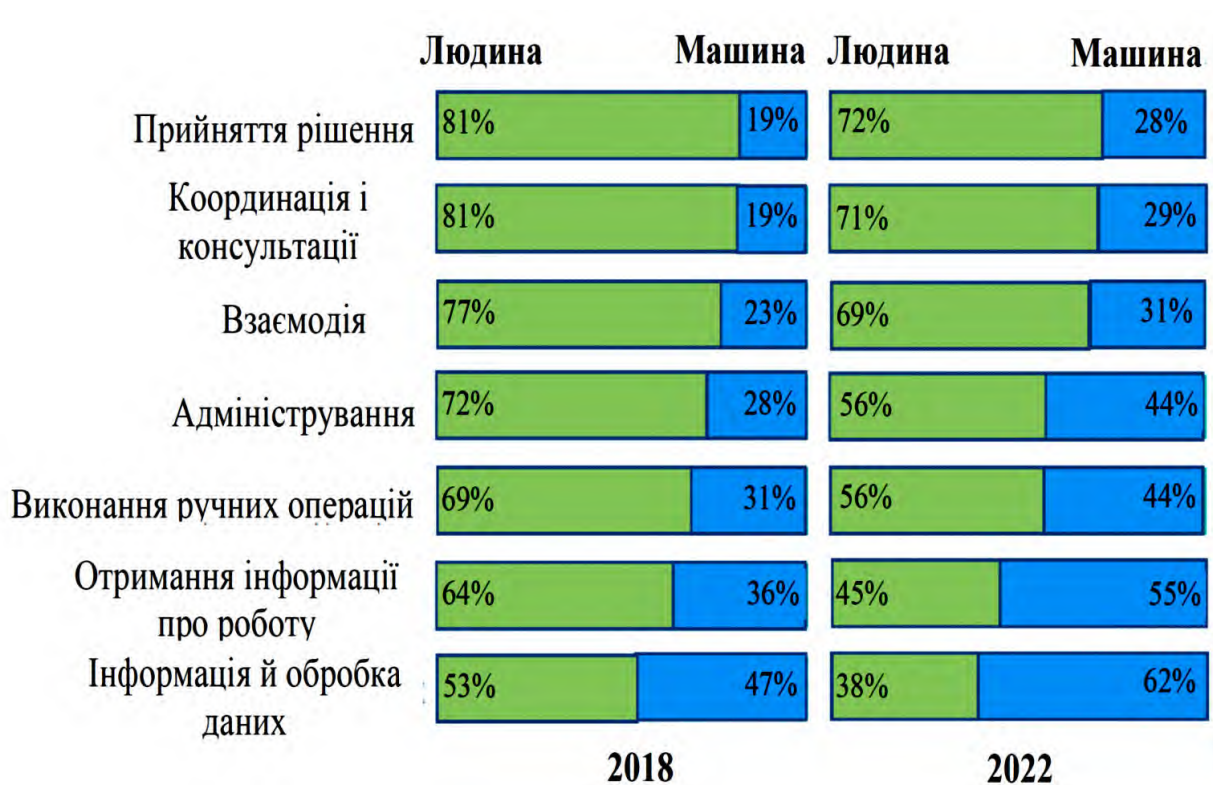


Рис. 12.3. Обсяг роботи людини й машини по рокам - 2018 й 2022

Одним з важливих чинників, який слід враховувати при економічному обґрунтуванні роботизації, є *надійність*. Недостатня надійність технічних пристроїв комплексу відповідно знижує ефективність роботизації виробництва. У зв'язку з цим виникає необхідність в дослідженні економічної ефективності різних заходів щодо підвищення надійності та виявлення оптимальної в цьому сенсі структури роботизованого комплексу.

Кожному поєднанню технічних засобів технологічного комплексу в свою чергу відповідає цілком певний склад системи управління.

Різними будуть для розглянутих варіантів як капітальні, так і експлуатаційні витрати на весь термін служби комплексу. У зв'язку з цим виникає завдання визначення такого складу технічних пристроїв, що входять в комплекс, і відповідного програмного забезпечення, який дає мінімум витрат на його проектування, виготовлення і експлуатацію за весь термін служби комплексу.

Соціальні аспекти роботизації, пов'язані з поліпшенням умов праці, ліквідацією важких, небезпечних і шкідливих для здоров'я видів робіт, з підвищенням загальної культури виробництва, повинні бути кількісно виміряні і враховані в розрахунках економічної ефективності застосування роботів.

Наприклад, впровадження роботів зменшує плинність кадрів, що виражається в конкретній економії витрат на прийом-звільнення, навчання і т.п.

Необхідно враховувати і економічний ефект, пов'язаний з тим, що роботизація дозволяє зменшити кількість професійних захворювань, знизити травматизм, скоротити витрати на лікування і заходи з охорони праці та техніки безпеки.

Облік соціальних чинників в економічних розрахунках дозволяє більш точно визначати області ефективного застосування роботів.

Зазвичай економічну ефективність створення і застосування роботів і заснованих на них технологічних комплексів оцінюють за річним економічним ефектом, який являє собою економію наведених річних витрат, що отримується в результаті використання роботів в складі певного технологічного комплексу або комплексу в цілому. Цю економію визначають з порівняння пропонованого (нового) варіанту з базовим, в якості якого приймається кращий аналог, який може бути придбаний або відтворений на основі ліцензії. Потім по цій величині визначають термін окупності витрат.

У більшості галузей економічно розвинених країн роботи вже

довели свою ефективність, що призвело до підвищення глобального попиту на них.

Незважаючи на те, що загальне число встановлених у світі роботів ледь перевищує 2 млн одиниць (по даним на 2020 р.), активно йде роботизація, яка залишила помітний слід у світовій економіці.

Цьому є причиною низка факторів. Головний з них - триваюча масштабна модернізація китайської промисловості: близько третини всіх світових продажів промислових роботів доводиться на Піднебесну.

Інший фактор, що сприяє роботизації, це застосування *3D-друку* композитними матеріалами та інших нових технологій для виробництва роботів, які роблять їх дешевше, доступніше і якісніше.

Ще одним важливим фактором є значне зростання інвестицій в цю галузь. За даними The Robot Report (TRR), інвестиції в робототехніку продовжують рости швидкими темпами.

У країнах-лідерах робототехнічної галузі - Японії, Китаю, Південної Кореї - головним драйвером попиту на робототехніку стало значне виробництво електроніки. Саме на електронну промисловість припадає 32% всіх світових поставок роботів.

Зростаючий попит на споживчу електроніку і необхідність автоматизації всього виробництва, включаючи виробництво батареї, чіпів і дисплеїв, у виробництві побутових товарів будуть залишаються головним чинником глобального зростання продажів промислових роботів, незважаючи на те, що в абсолютному вираженні зростання може сповільнюватися.

У число найменш охоплених роботизації галузей входять атомна промисловість, суднобудування, літакобудування, видобуток корисних копалин, сільське господарство.

Причина цього в тому, що роботизація даних галузей все ще складна і дорога на поточному рівні технологій. Саме тому можна очікувати, що в цих галузях будуть створені проривні технології в робототехніці.

Причина такого стрімкого зростання роботизації Китаю - в швидкому зростанні економіки, особливо автомобілебудуванні і електронної промисловості. Саме розвиток цих двох галузей (одна - традиційний лідер попиту на роботів, інша - новий лідер) забезпечує високий попит на робототехнічну продукцію.

Продажі роботів в Кореї скоротилися на 4%. Ключовою причиною стало скорочення попиту з боку електронної промисловості, так

як там вже досягнуто певне насичення.

Швидке зростання виробництва електроніки викликає зростання роботизації і в інших азіатських країнах. Відзначається зростання ринку персональних сервісних роботів.

Велику частку в ньому будуть займати роботи для прибирання: пирососи, мийники вікон та інші.

На рис. 12.4 і 12.5 представлені фотозображення роботів останніх розробок: мобільного робота і робота – роздавальника.

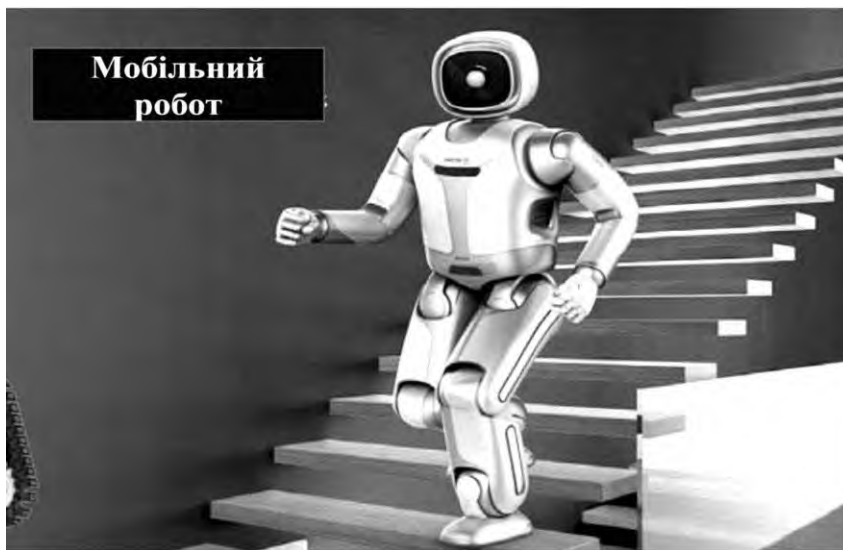


Рис. 12.4. Фотозображення мобільного робота



Рис. 12.5. Робот – роздавальник

На рис. 12.6 зображено фотореєстрацію клієнта готелю роботом



Рис. 12.6. Фотозображення обслуговування клієнта при реєстрації в готелю

Звісна роботизована платформа *Jeeves*, яка оснащена тривимірним оптичним зором і набором сенсорів. Вона здатна через бездротовий інтерфейс до автономної навігації в умовах багатоповерхових будівель, включаючи використання ліфтів. На рис.12.7 зображено роботоплатформу.

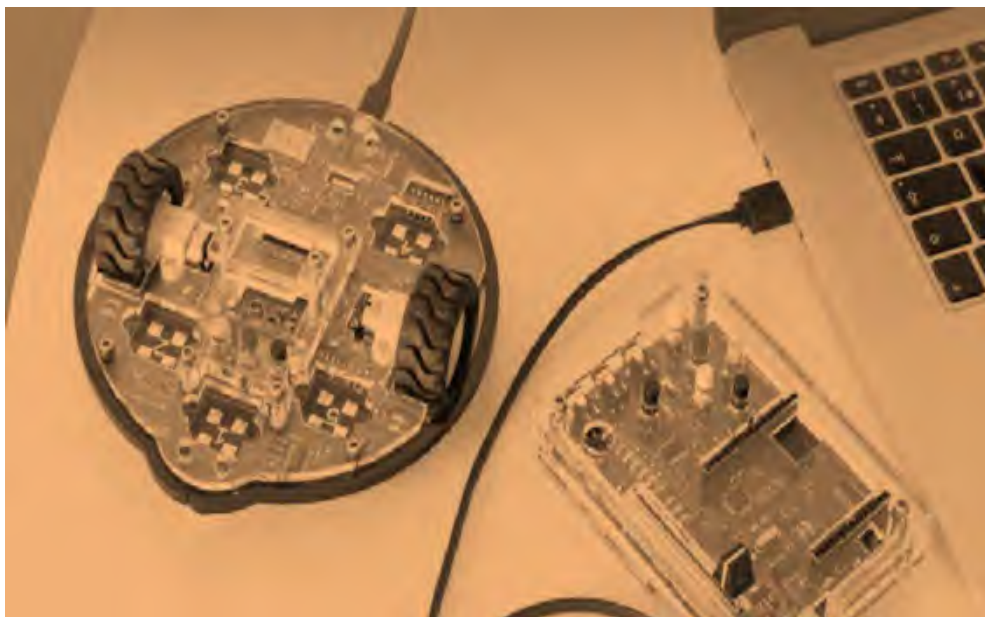


Рис.12.7. Зовнішній вигляд роботоплатформи

Уже в найближчій перспективі планується створення робота для роботи в лікарнях і в індустріальному оточенні. Ця платформа є основою модульної конструкції робота-кур'єра: на неї можуть бути встановлені різні модулі, включаючи контейнери для переміщення пакетованих продуктів, що охолоджуються або підігріваються, ємності і контейнери спеціального призначення. На рис. 12.8 представлено фотозображення робота приготування кави.



Рис. 12.8. Фотозображення робота приготування кави

Слід звернути увагу на те, що збільшення темпів роботизації та автоматизації промисловості і сервісного сектора призводить до того, що суспільство починає замислюватися про соціальні наслідки таких змін. Незважаючи на те, що роботи поки захоплюють владу лише в поганих фантастичних книгах і голлівудських кінофільмах, громадські інститути намагаються вже зараз передбачити способи контролю над роботизацією. Прикладом такої захисної реакції громадських інститутів можуть служити вітчизняні та міжнародні законодавчі та громадські ініціативи з розробки законодавчої бази і правового визначення роботів.

12.2. Техніка безпеки в робототехніці

У проблемі безпеки праці при використанні роботів можна виділити наступні два аспекти:

- застосування роботів як засобу підвищення безпеки виробництва;

- забезпечення безпеки при експлуатації самих роботів.

Перший аспект відповідає одному з першочергових призначень роботів - вивільнення людей від травмонебезпечно, шкідливого і важкої фізичної праці. При плануванні впровадження роботів у виробництво такого роду технологічні операції отримують пріоритет, і на таких операціях роботи впроваджують найбільш успішно. У машинобудуванні до цих операцій належать, зокрема, обслуговування ковальсько-пресового устаткування і металорізальних верстатів (особливо при обробці важких заготовок), обладнання в гальванічному і ливарному виробництвах, у виробництві виробів з пластмас, а також такі основні технологічні операції, як зварювання, фарбування, вантажно-розвантажувальні і транспортні роботи. У не машинобудівних галузях такими операціями є установка кріплення в забої, обслуговування відбійних і бурильних агрегатів, у гірничодобувній і вугільній промисловості, обслуговування устаткування і фасування продукції від шкідливої для здоров'я атмосфері в хімічній і нафтохімічній промисловості, різні маніпуляційні операції в металургійній промисловості, атомній енергетиці та інших виробництвах в екстремальних умовах (шкідливі випромінювання, вибухонебезпечність, граничні температури, загазованість, запиленість і т.п.). У світі накопичено певний позитивний досвід підвищення безпеки праці за допомогою роботів перш за все в машинобудуванні (на штампуванні, в гальванічному виробництві, у виробництві пластмасових виробів, на термообробці, вантажно-розвантажувальних і транспортно-складських операціях).

Другий названий вище аспект робототехніки з точки зору безпеки праці це забезпечення безпечної роботи самих роботів, які за певних умов можуть являти собою джерело підвищеної небезпеки для людини, а також для працюючого з ними обладнання.

Досвід свідчить про можливість нещасних випадків, в тому числі зі смертельними наслідками, при роботі з роботами. В Японії, де застосування роботів досягло найбільших розмірів, за даними статистики майже кожен третій робочий так чи інакше стикається з небезпекою, що створюється роботами. В основному така небезпека викликається наступними причинами:

- несправність власне робота через порушення його механічної



**НЕ ВІДЛІКАЙСЯ
ПІД ЧАС РОБОТИ!!!**

міцності або відмов в системі управління;

- помилки програмування і настройки, внаслідок чого при експлуатації можливі непередбачені руху з виходом з огорожених робочої зони або механічні пошкодження робота;

- втрати об'єкта маніпулювання та інші аварійні ситуації через перевищення допустимих динамічних режимів і перевантажень;

- порушення персоналом умов експлуатації робота (вхід в робочу зону, особливо при відключених засобах безпеки, відсутність особистих засобів безпеки, включаючи каску, перевищення допустимої вантажопідйомності, невідповідність виконання робота реальним умовам експлуатації, інші порушення технічних умов робота або технологічного комплексу, в складі якого він працює);

- неправильна дія засобів безпеки, якими обладнаний робот і його робоча зона (пристрої блокування, сигналізації, захисні огороження і т.п.).

Статистика показує, що більша частина нещасних випадків з обслуговуючим персоналом пов'язана з перебуванням у робочій зоні при програмуванні, налаштуванні і ремонті роботів. Нещасні випадки під час експлуатації робота в автоматичному режимі складають всього одиниці відсотків.

Заходи щодо забезпечення безпеки роботизованих виробництв повинні бути передбачені на всіх етапах їх створення та експлуатації, починаючи з формулювання технічних вимог, і регламентовані відповідними нормативно-технічними документами, а також спеціальними документами по техніці безпеки в робототехніці. Загальні вимоги щодо безпеки при проектуванні та експлуатації роботів стандартизовані. У цих вимогах, зокрема регламентовані наступні позиції. Якщо при програмуванні і налагодження робота потрібно перебування персоналу в його робочій зоні, то в цих режимах повинно бути передбачено зниження швидкості його виконавчих пристроїв до 0,3 м/с.

Пульт керування робота має видавати інформацію про режим його роботи, спрацьовуванні блокування, оповіщати наявності збоїв в роботі, початок руху робота.

Регламентовані також вимоги до запобіжних, блокуючих і захисних пристроїв, якими повинні бути оснащені роботи.

Стосовно до експлуатації роботів розроблені:

- вимоги, що пред'являються до обслуговуючого персоналу, і перелік їх обов'язків;

- інструкції з охорони праці.

В обов'язки обслуговуючого персоналу, зокрема, входять перевірка обладнання і блокувальних пристроїв перед початком роботи, обов'язкова реєстрація в спеціальному журналі всіх неполадок і аварійних ситуацій.

Контрольні запитання

1. Де є найбільш ефективно застосування робототехніки?
2. Яка доцільність застосування роботів?
3. На які типи класифікуються робототехнічні комплекси за призначенням?
4. Перелічіть фактори, що сприяють роботизації.
5. Покращенню яких економічних показників сприйняє впровадження роботів у виробництво?
6. Як впливає впровадження робототехнічних комплексів на рівень автоматизації?
7. Як ріст електроніки впливає на рівень робототехніки?
8. Наведіть приклади робіт, коли роботи замінюють людину.
9. Які застереження суспільства викликає ріст «інтелектуалізації» роботів?
10. Які чинники впливають на безпеку людини при взаємодії з роботами?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуржій А.М. Електротехніка та основи електроніки: Підручник/А.М. Гуржій, С.К. Мещанінов, А.Т. Нельга, В.М. Співак.-Київ:, Літера ЛТД, 2020, 293с.
2. Гуржій А.М. Інформатика: підручник /А.М. Гуржій, Л. А. Карташова, В. В. Лапінський.- Київ:, Світ, 2016, 179 с.
3. Гуржій А.М. Комп'ютерно-орієнтовані засоби та мультимедійні технології навчання/А.М. Гуржій, Р.С. Гуревич, Л. Л. Коношевський. -Вінниця:«Планер», 2015, 566 с.
4. Гуржій А.М. Мобільний робототехнічний комплекс з дистанційним керуванням./ А.М. Гуржій, В. Б. Струтинський, С. Ю. Вакуленко, Патент на корисну модель. Заявка UA 140446V. Бюлетень про видачу патенту № 4, 2020.
5. Гуржій А.М. Математичне моделювання процесів і систем / А. М. Гуржій, В. Б. Струтинський, В. С. Кравцов.- Харків: ХАІ, 2011, 658с.
6. Власюк Г. Г. Автоматика та електропривод техніки реєстрації інформації/ Г.Г. Власюк, В.М. Співак, К.О. Трапезон, В.Б. Швайченко.- Київ:, Освіта України, 2010, 293с.
7. Бойко В. І. Мікрокомп'ютерна техніка: навчальний посібник/ В.І. Бойко, А.Т. Нельга. - Київ, НМЦ МО, 2009, 254с.
8. Теорія автоматичного управління : конспект лекцій : у 2 ч. Ч. 1 «Аналіз лінійних систем автоматичного управління» / укладач Г. М. Худолей. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 179 с.
9. Бойко В. І. Взаємодія фізичних полів з біологічними об'єктами: навчальний посібник/ В.І. Бойко, А.Т. Нельга, С.К. Мещанінов. - Київ, НМЦ МО, 2016, 294с.
10. Освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи» / Укладач: О. О. Лугових. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020.– 38 с.
11. Ившин, В.П. Современная автоматика в системах управления технологическими процессами: Учебное пособие / В.П. Ившин, М.Ю. Перухин. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 400 с.
12. Киреева, Э.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Э.А. Киреева, С.А. Цырук. Энергетика).. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 288 с.
13. Кисаримов, Р.А. Практическая автоматика: Справочник / Р.А.

Кисаримов. - М.: РадиоСофт, 2013. - 192 с.

14. Серебряков, А.С. Автоматика: Учебник и практикум для академического бакалавриата / А.С. Серебряков, Д.А. Семенов, Е.А. Чернов. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 431 с.

15. Подураев Ю.В. Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем / Ю.В. Подураев, В.С. Кулешов // Мехатроника. - 2000. - №1. – С. 5-10.

16. <http://freepdf-books.com/python-programming-for-arduino/>

17. <https://www.pdfdrive.net/python-programming-for-arduino-e25954218.html>

18. <https://doc.arduino.ua/ru/prog/>

19. <http://fritzing.org/download/>

20. Александровская, А. Н. Автоматика: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования / А.Н. Александровская. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 256 с.

21. Шишмарёв, В.Ю. Основы автоматического управления: учеб, пособие для студ. высш. учеб, заведений / В. Ю. Шишмарёв. — М.: Академия, 2008.

22. Сайт «Blog.imena.ua». Чотири корисні відеолекції про роботів [Електронний ресурс] / І. Шихат-Саркисов. — Режим доступу: <http://www.imena.ua/blog/robots-lections/>

23. Огляд та перспективи використання платформи Arduino Nano 3.0 у вищій школі / Кривонос О. М., Кузьменко Є. В., Кузьменко С. В. // Інформаційні технології і засоби навчання [Електронний ресурс] / Ін-т інформ. технологій і засобів навчання НАПН України, Ун-т менеджменту освіти НАПН України; гол. ред. : В. Ю. Биков. - 2016.

Основні літерні позначення вимірюваних величин і функціональних ознак приладів (ГОСТ 21.404-85)

Позначення	Вимірювана величина		Функціональна ознака приладу		
	основне позначення вимірюваної величини	додаткове позначення, що уточнює вимірювану величину	відображення інформації	формування вихідного сигналу	додаткове значення
1	2	3	4	5	6
<i>A</i>	+	—	Сигналізація	—	—
<i>B</i>	+	—	—	—	—
<i>C</i>	+	—	—	Автоматичне регулювання, управління	—
<i>D</i>	Густина	Різниця, перепад	—	—	—
<i>E</i>	Електрична величина	—	+	—	—
<i>F</i>	Витрата	Співвідношення, частка, дріб	-	-	-
<i>G</i>	Розмір, положення, переміщення	—	+	—	—
<i>H</i>	Ручна дія	—	—	—	Верхня межа вимірюваної величини
<i>I</i>	+	—	Показання	—	—
<i>J</i>	+	Автоматичне перемикання, оббігання	—	—	—
<i>K</i>	Час, часова програма	—	—	+	—
<i>L</i>	Рівень	—	—	—	Нижня межа вимірюваної величини
<i>M</i>	Вологість	—	—	—	—
<i>N</i>	+	—	—	—	—
<i>O</i>	+	—	—	—	—
<i>P</i>	Тиск, вакуум	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6
<i>Q</i>	Величина, що характеризує якість: склад, концентрація	Інтеграція, підсумовування за часом	–	+	–
<i>R</i>	Радіоактивність	–	Реєстрація	–	–
<i>S</i>	Швидкість, частота	–	–	Включення, відключення, перемикання, блокування	–
<i>T</i>	Температура	–	–	+	–
<i>U</i>	Декілька різнорідних вимірюваних величин	–	–	–	–
<i>V</i>	В'язкість	–	+	–	–
<i>W</i>	Маса	–	–	–	–
<i>X</i>	Нерекомендована резервна буква	–	–	–	–
<i>Y</i>	+	–	–	+	–
<i>Z</i>	+	–	–	+	–

Примітка. Літерні позначення з позначкою "+" - резервні, а з позначкою "–" - не використовуються

Навчальне видання

Гуржій Андрій Миколайович,
Нельга Анатолій Тимофійович,
Співак Віктор Михайлович,
Ітякін Олександр Сергійович

ОСНОВИ АВТОМАТИКИ ТА РОБОТОТЕХНІКИ

Навчальний посібник для здобувачів професійної
(професійно - технічної) освіти

Підп. до друку 01. 07. 2021р.
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 14,18
Обл.-вид. арк. 14,68 Наклад 500 прим.
Замовлення № 5102/311.
Видавець «Свідлер А. Л.»
49041, м. Дніпро, а/с 2493, тел. +38 (067) 635-78-83
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єктів видавничої справи :
Серія ДК № 3876 від 10.09.2010 р.
Надруковано в типографії видавця «Свідлер А.Л.»
<http://garant-sv.com.ua>