

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра “підйомно-транспортного та робототехнічного
обладнання”

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

з дисципліни "Маніпулятори та промислові роботи"

Рівень підготовки – бакалавр

Галузь знань: 13 – Механічна інженерія

Спеціальність: 131 – Прикладна механіка

Спеціалізація: – Мехатроніка та промислові роботи
– Інженерія логістичних систем

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

Спеціалізація: – Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні
машини і обладнання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра “підйомно-транспортного та робототехнічного
обладнання”

Михайлов Євген Павлович
Лінгур Валерій Миколайович

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

з дисципліни "Маніпулятори та промислові роботи"

Рівень підготовки – бакалавр

Галузь знань: 13 – Механічна інженерія

Спеціальність: 131 – Прикладна механіка

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

Затверджено
на засіданні кафедри підйомно-
транспортного і робототехнічного
обладнання
Протокол № 7 від 20.02.2019 р.

ОДЕСА: ОНПУ, 2019

Навчальний посібник з дисципліни Маніпулятори та промислові роботи. Для студентів бакалаврів, спеціальності: 131 - Прикладна механіка, 133 – Галузеве машинобудування, / Укладачі.: Михайлов Є. П., Лінгур В.М. – Одеса: ОНПУ, 2019. - 233 с.

Укладачі:

Михайлов Є. П. доц.. кафедри підйомно-транспортного і робототехнічного обладнання,

Лінгур В.М. доц.. кафедри підйомно-транспортного і робототехнічного обладнання.

Зміст

Передмова.....	7
Глава 1. Маніпулятори та промислові роботи. основні визначення, класифікація та характеристики.....	8
1.1. Маніпулятори та промислові роботи. Основні визначення.....	8
1.2. Класифікація маніпуляторів та промислових роботів.....	9
1.3. Основні технічні характеристики промислових роботів.....	13
Глава 2. Структура та складові частини промислових роботів.....	17
2.1 Структура промислових роботів.....	17
2.2. Основні типи промислових роботів.....	18
2.3 Механізми маніпуляційних роботів.....	23
Глава 3. Пряма та зворотна задачі кінематики маніпулятора промислових роботів.....	27
3.1. Кінематика маніпуляційних роботів.....	27
3.2. Структурний синтез маніпуляторів.....	27
3.3. Приклад прямої та зворотної задачі кінематики.....	27
Глава 4. Захоплювальні пристрої промислових роботів.....	34
4.1. Призначення та види захоплювальних пристроїв.....	34
4.2. Основні експлуатаційні показники захоплювальних пристроїв.....	36
4.3. Складові частини захоплювальних пристроїв та їх призначення.....	37
4.4. Конструкції захоплювальних пристроїв.....	38
Глава 5. Основні типи систем керування промислових роботів.....	45
5.1. Основні типи систем керування промислових роботів.....	45
5.2. Рівні керування промисловими роботами.....	47
5.3. Системи керування універсальних та спеціалізованих промислових роботів.....	48
Глава 6. Структура і склад керувальної системи промислового робота.....	50
6.1. Узагальнена структура автоматичних роботів.....	50
6.2. Склад керувальної системи промислового робота.....	52
6.3. Рівні ієрархії системи керування рухом промислового робота.....	53
6.4. Засоби програмування промислових роботів.....	56
Глава 7. Циклові системи керування.....	62
7.1. Основні функції системи циклового керування.....	62
7.2. Реалізація циклового керування.....	62
7.3. Приклади циклового керування.....	64
Глава 8. Позиційні системи керування.....	69
8.1. Основні функції системи позиційного керування.....	69
8.2 Реалізація позиційного керування.....	70
8.3 Приклади позиційного керування.....	72
Глава 9. Контурні системи керування.....	76
9.1. Основні функції системи контурного керування.....	76
9.2. Реалізація контурного керування.....	77
9.3 Приклади контурного керування.....	78
Глава 10. Адаптивні системи керування та інформаційні системи промислових роботів.....	84
10.1. Основні властивості адаптивних систем.....	84
10.2. Рівні адаптації робототехнічних систем.....	84
10.3. Інформаційні системи промислових роботів.....	86
10.4. Приклади адаптивного керування.....	89
Глава 11. Датчики внутрішньої інформації.....	90
11.1. Контактні датчики положення.....	90
11.2. Безконтактні датчики положення.....	92
11.3. Датчики переміщення та швидкості.....	95
Глава 12. Датчики зовнішньої інформації.....	99
12.1. Тактильні та силомоментні датчики.....	99

12.3. Датчики відстані та локаційні системи чуттєвості.....	100
12.3. Системи технічного зору.....	104
Глава 13. Виконавчі пристрої робототехнічних систем	108
13.1. Основні типи приводів промислових роботів	108
13.2. Приводи без регулювання швидкості	109
13.3. Регульовані приводи.....	110
Глава 14. Мікропроцесорні пристрої в системах керування робототехнічних систем ..	121
14.1. Системи керування на основі мікропроцесорної техніки	121
14.2. Структура керуючих систем на основі мікропроцесорної техніки	122
14.3. Пристрої керування автономних роботів на основі мікропроцесорної техніки	124
14.4. Приклади використання мікроконтролерів в робототехнічних пристроях.....	127
Глава 15. Програмне забезпечення та засоби проектування мікропроцесорних систем керування.....	130
15.1. Особливості програмного забезпечення систем керування.....	130
15.2. Засоби програмування однокристальних мікроконтролерів	132
15.3. Приклади використання однокристальних мікроконтролерів в робототехнічних пристроях.....	134
Глава 16. Системи керування універсальних промислових роботів, структура і склад, апаратні та програмні компоненти	139
16.1. Типи універсальних промислових роботів	139
16.2. Роботи фірми KUKA	140
16.3. Програмування роботів фірми KUKA за допомогою мови KRL.....	145
16.4. Роботи фірми ABB та програмний комплекс RobotStudio.....	148
Глава 17. Програмні засоби для програмування роботів LABVIEW та MICROSOFT ROBOTICS DEVELOPER STUDIO	152
17.1. Програмні засоби для програмування роботів LABVIEW	152
17.2. Програмні засоби MICROSOFT ROBOTICS DEVELOPER STUDIO	155
Глава 18. Робототехнічні комплекси на основі програмованих логічних контролери... 158	
18.1. Програмовані логічні контролери, структура та склад	158
18.2. Приклади використання програмованих логічних контролерів в робототехнічних системах.....	164
Глава 19. Програмування робототехнічних комплексів на основі програмованих логічних контролерів	167
19.1. Програмне забезпечення програмованих логічних контролерів	167
19.2. Засоби налагодження та обслуговування програмованих логічних контролерів ..	173
19.3. Приклади програмної реалізації алгоритмів керування робототехнічними системами	177
Глава 20. Комплексні системи керування робототехнічними комплексами	180
20.1. Структура комплексних систем керування	180
20.2. Склад комплексних систем керування	181
20.3. Приклади використання комплексних систем керування в робототехнічних комплексах.....	186
Глава 21. Автономні мобільні роботи	188
21.1. Основні типи автономними мобільними роботами.....	188
21.2. Структура і склад автономних мобільних роботів	194
Глава 22. Колісні мобільні роботи.....	199
22.1. Основні типи колісних роботів	199
22.2. Приводи колісних роботів	204
Глава 23. Основні принципи проектування гусеничних мобільних роботів	208
22.1. Принципи проектування траєкторій переміщення гусеничних роботів	208
23.2. Приводи гусеничних роботів	211
Глава 24. Основні принципи проектування крокуючих мобільних роботів.....	214
24.1. Принципи проектування траєкторій переміщення крокуючих роботів	214

24.2. Приводи крокуючих роботів	218
Література.....	222
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	223
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	224
ДОДАТОК А	226
ДОДАТОК В.....	232

Передмова

Маніпулятори та промислові роботи є одними з основних компонент гнучких виробничих систем, підйомно-транспортного обладнання та логістичних систем.

У сучасному виробництві все найчастіше використовуються промислові роботи, які здатні незалежно від людини виконувати досить складні завдання, що пов'язані з переміщенням та транспортуванням різних об'єктів, виконанням технологічних функцій, здійсненням функцій контролю та обслуговування. Перевагою промислових роботів є можливість перенастроювання тільки шляхом зміни виконавчих пристроїв, перепрограмування алгоритму виконання закладених функцій та траєкторії переміщення робочих органів. Це дає можливість використовувати промислові роботи для вирішування широкого кола задач у складі виробничих та логістичних систем.

Дисципліна «Маніпулятори та промислові роботи» призначена для вивчення студентами питань побудови, основ проектування та застосування маніпуляторів та промислових роботів в виробничих та логістичних системах та поширює їх інженерні знання за рахунок розгляду різних типів промислових роботів та їх компонент, що базуються на сучасних засобах.

Мета викладання дисципліни: формування у студентів знань в галузі аналізу конструктивних рішень, конструювання та застосування різних типів промислових роботів в сучасних виробничих та логістичних системах.

Для досягнення майбутньої мети вивчення дисципліни студенти повинні знати: вимоги, які висуваються до уніфікації та агрегатно-модульної побудови промислових роботів; системи керування різноманітних типів; умови та режими промислових роботів, типи та характеристики промислових роботів; особливості, відмінності та галузі застосування різних типів промислових роботів, що застосовують в автоматизованих виробництвах; шляхи модернізації та подальшого розвитку промислових роботів.

Дисципліна «Маніпулятори та промислові роботи» є однією з завершальних у системі підготовки бакалаврів. Вона узагальнює набуті студентами знання у галузі розрахунку та проектування промислових роботів поширює їх в напрямку розрахунків, що базуються на сучасних моделях і методах.

Дисципліна має націлити майбутніх фахівців на творче застосування отриманих знань у їх практичній діяльності.

У навчальному посібнику розглянуті питання побудови, основи проектування та застосування промислових роботів в сучасних виробничих та логістичних системах. Наведені основні типи промислових роботів, принципи керування їх переміщенням та основні компоненти промислових роботів. Розглянуті особливості їх використання у складі робототехнічних комплексів в сучасних виробничих та логістичних системах.

Наведені завдання до лабораторних робіт та приклади розв'язання задач з теми заняття.

Глава 1. Маніпулятори та промислові роботи. основні визначення, класифікація та характеристики

1.1. Маніпулятори та промислові роботи. Основні визначення

Промисловий робот (англ. *industrial robot*) визначається як багатоцільовий маніпуляційний робот, що складається з механічного маніпулятора і перепрограмованої системи керування, який застосовується для переміщення об'єктів в просторі трьох і більше координат та для виконання різноманітних виробничих процесів [3].

За ДСТУ 2879-94: **Промисловий робот** — автоматична машина, стаціонарна чи пересувна, з виконавчим пристроєм у вигляді маніпулятора, який має декілька ступенів рухомості, і перепрограмовуваним пристроєм програмного керування для виконання у виробничому процесі рухових і керувальних функцій.

Таким чином сучасні промислові роботи складаються з механічних пристроїв, різних виконавчих двигунів та сенсорів (інформаційних систем), що забезпечують необхідну швидкість і точність переміщення робочого органа, пристроїв керування двигунами з силовими перетворювачами та пристрою програмного керування, який виконує весь алгоритм керування роботом.

Маніпулятор - керований пристрій або машина для виконання рухових функцій, аналогічних функціям руки людини при переміщенні об'єктів в просторі, оснащено робочим органом.

Залежно від виду систем керування розрізняють маніпулятори з ручним і автоматичним керуванням.

У маніпуляторах з ручним керуванням оператор, діючи на ланки механізму керування, приводить у рух ланки виконавчого механізму.

У найпростіших випадках передавання руху здійснюється за посередництвом механічних ланок: зубчастих коліс, тросів, важелів тощо. У цьому випадку граничні сили та переміщення виконавчого органа обмежені можливостями оператора.

У разі потреби більших потужностей окремі ланки виконавчого механізму приводяться у рух приводами за сигналами, що виробляються оператором через пристрій керування.

У маніпуляторах з автоматичним керуванням ланки виконавчого механізму приводяться у рух приводами, що працюють за попередньо складеною програмою. Маніпулятори з автоматичним керуванням, що застосовуються при автоматизації виробничих процесів називають промисловими роботами.

Автооператор - це маніпулятор, що застосовується в машинах-автоматах, які працюють по жорсткій програмі і оперують штучними об'єктами по загальному циклу машини.

Програмоносіями для автооператорів служать кулачки, перфострічки, магнітні стрічки, тому вони знаходили широке використання до того часу, як з'явилися електронні носії інформацію з можливістю перепрограмування (наприклад, флеш пам'ять - Flash Memory).

Автооператори застосовуються для автоматизації регулярно повторюваних переміщень деталей в умовах виробничих ліній різного призначення, наприклад, у складі гальванічних ліній, ліній забарвлення і інших виробництв в яких потрібно регулярне переміщення деталей між виробничими зонами.

Промисловий робот - автоматична машина з програмним керуванням, яка відтворює рухові і розумові функції людини при виконанні виробничих процесів, а також для обслуговування технологічних процесів та автоматизації транспортних робіт.

Промислові роботи є важливими компонентами автоматизованих гнучких виробничих систем (ГВС), які дозволяють збільшити продуктивність праці. Типове застосування роботів стосується таких операцій, як зварювання, фарбування, складання, вибірка та встановлення, пакування, контроль продукції та випробування, котрі виконуються з високою надійністю, швидкістю, і точністю.

1.2. Класифікація маніпуляторів та промислових роботів

Різні аспекти застосування промислових роботів розглядаються, як правило, в рамках типових проектів промислового виробництва: виходячи з наявних вимог, вибирається оптимальний варіант, в якому конкретизований необхідний для даної задачі тип роботів, їх кількість, а також вирішуються питання інфраструктури живлення (силові підводки, подача охолоджуючої рідини - у разі використання рідинного охолодження елементів оснащення) та інтеграції у виробничий процес (забезпечення заготовками/напівфабрикатами і повернення готового продукту в автоматичну лінію для передачі наступній технологічній операції).

Промислові роботи у виробничому процесі здатні виконувати основні і допоміжні технологічні операції.

До основних технологічних операцій належать операції безпосереднього виконання формоутворення, зміни лінійних розмірів заготовки та ін.

До допоміжних технологічних операціям ставляться транспортні операції в тому числі операції з завантаження та вивантаження технологічного обладнання. Такі задачі найчастіше вирішуються за допомогою мобільних роботів.

Таким чином різні аспекти застосування маніпуляторів та промислових роботів визначають їх класифікацією.

Маніпулятори класифікуються за такими признаками.

По характеру виконуваних робіт маніпулятори розподіляють на універсальні та спеціальні.

Універсальні маніпулятори застосовуються для виконання підйомно-транспортних робіт в машинобудуванні, а також для механізації операцій по обслуговуванні технологічного обладнання (установки і знімання деталей на металорізальних верстатах, зварювальні і свердлильні операції).

Спеціальні маніпулятори застосовуються для виконання обмежених технологічних функцій, наприклад, в ковальсько-пресових цехах, в ливарному виробництві або для зварювальних робіт.

По способу керування розподіляють маніпулятори з ручним та автоматичним управлінням.

Працездатність маніпуляторів характеризується рядом технічних характеристик: робоча зона, зона обслуговування, число ступенів свободи, вантажопідйомність, швидкість руху, енергетичні показники тощо.

Оскільки маніпулятори є частиною промислових роботів, то класифікації можуть співпадати та характеристики, коли вони визначається особливостями маніпуляторів.

По степені досконалості і типам систем керування промислові роботи поділяються на три покоління.

Перше покоління - програмні роботи (промислові), які працюють за жорсткими програмами. Вони широко застосовуються в машинобудуванні.

Друге покоління - адаптивні роботи, які працюють за гнучкими програмами і змінюють характер робіт в залежності від зміни параметрів зовнішнього середовища.

Третє покоління – інтелектуальні роботи, які здатні сприймати і логічно оцінювати навколишні обставини і визначити рухи, необхідні для досягнення заданої мети роботи.

Промислові роботи класифікуються за такими вказаними ознаками [2, 5] (рис. 1.1).

Характер виконуваних операцій:

- а) технологічні (виробничі);
- б) допоміжні (підйомно-транспортні);
- в) універсальні.

Ступінь спеціалізації:

- а) спеціальні;
- б) спеціалізовані;
- в) багатоцільові.

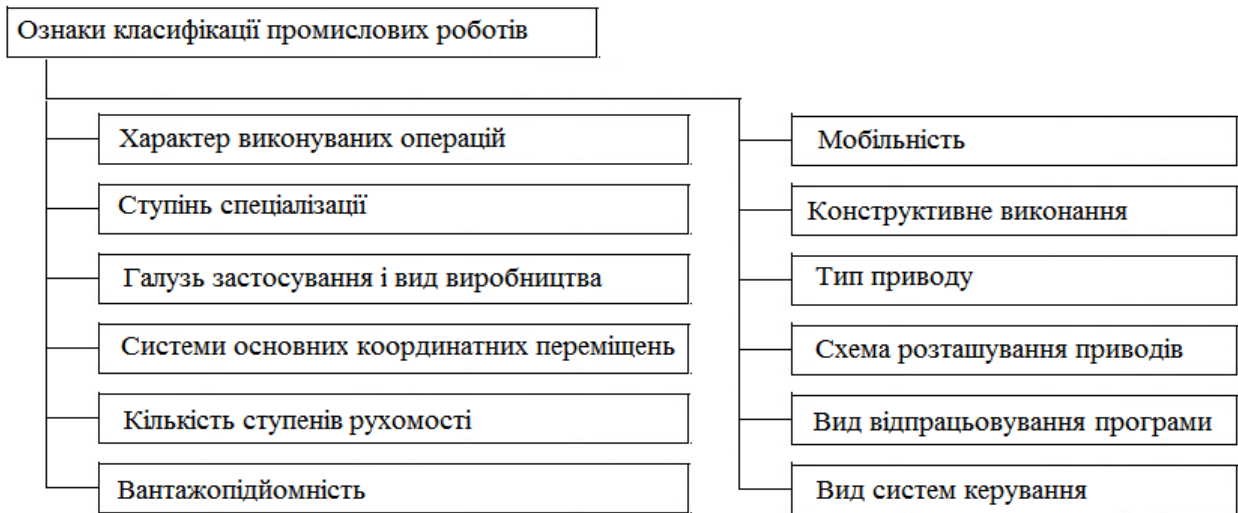


Рис. 1.1. Ознаки класифікації промислових роботів

Галузь застосування і вид виробництва:

- а) ливарні;
- б) нанесення покриттів;
- в) ковальсько-пресові;
- г) автоматичного контролю;
- д) зварювальні;
- е) складальні;
- ж) механічної обробки;
- з) транспортно-складські роботи;
- і) термообробка;
- к) інші.

Системи основних координатних переміщень:

- а) прямокутні (плоскі і просторові);
- б) полярні (плоскі, циліндричні чи сферичні);
- в) ангулярні (плоскі, циліндричні чи сферичні).

Кількість ступенів рухомості:

- а) роботи з двома ступенями рухомості;
- б) роботи з трьома ступенями рухомості;
- в) роботи з чотирма ступенями рухомості;
- г) роботи з ступенями рухомості більше чотирьох.

Вантажопідйомність:

- а) надлегкі (до 10 Н);
- б) легкі (до 100 Н);
- в) середні (до 2000 Н);
- г) важкі (до 10000 Н);
- д) надважкі (понад 10000 Н).

Мобільність:

- а) стаціонарні (убудовані в обладнання, підлогові і підвісні);
- б) пересувні (підлогові і підвісні).

Конструктивне виконання:

- а) вбудовані в устаткування;
- б) підлогові;
- и) підвісні.

Тип приводу:

- а) електромеханічні;

- б) пневматичні;
- в) гідравлічні;
- г) комбіновані.

Схема розташування приводів:

- а) в єдиному блоці;
- б) на виконавчих органах.

Вид відпрацьовування програми:

- а) жорстко програмувальні;
- б) адаптивні;
- в) гнучко програмувальні.

Вид систем керування:

- а) позиційні;
- б) контурні;
- в) комбіновані.

Для здійснення різноманітних виробничих процесів в особливих умовах виробництва використовуються відповідні типи роботів, що об'єднуються в робототехнічні комплекси, для керування якими використовуються комплексні системи керування.

Робототехнічні комплекси (РТК) можна класифікувати за такими ознаками [5].

По виду енергоносія:

- галузь застосування;
- тип структури;
- тип компонувань.

Першою ознакою РТК є галузь застосування, що характеризує вид виробничого процесу (метод обробки), де повинен функціонувати РТК.

Друга ознака характеризує тип структури комплексу, взаємодію промислового робота (ПР) з технологічним обладнанням (ТО) та допоміжним обладнанням (ДО) усередині комплексу.

Відповідно до структурної ознаки РТК бувають:

- однопозиційні (верстат-робот, прес-робот і т.д.), що включають один ПР у комплексі з технологічним обладнанням;
- групові, що включають один ПР, який обслуговує групу однотипного чи різнотипного технологічного обладнання;
- багатопозиційні, що включають групу ПР, які виконують взаємозалежні чи взаємодоповнюючі функції.

Для однопозиційних комплексів характерно співвідношення $ПР \leftrightarrow ТО = 1$; для групових – $ПР \leftrightarrow \Sigma ТО > 1$; для багатопозиційних – $\Sigma ПР \leftrightarrow \Sigma ТО \geq 1$.

Третьою ознакою класифікації комплексів є тип компонувань комплексу чи схема розташування обладнання (рис 1.2).

Компонування комплексу залежить від конструктивно кінематичного виконання ПР, а саме: від типу основних координатних переміщень робота, що визначають характер його робочої зони.

У компонуванні РТК передбачено шість основних схем:

РТК1 – включає комплекси, характерні лінійними розташуваннями ТО і ДО. Даний тип компонування комплексів створюється на базі ПР, що працюють у плоскій прямокутній системі координат. Він застосовується в основному в механопереробному виробництві для однопозиційних комплексів "верстат-робот".

РТК2 – характеризується лінійно-рівнобіжним розташуванням ТО і ДО. Створюється на базі ПР тельферного типу з плечоліктьовою конструкцією маніпулятора.

РТК3 – включає комплекси, створені на базі ПР, що працюють у циліндричній системі координат з горизонтальною віссю обертання. Застосовуються у механічній обробці і ковальсько-пресовому виробництві при однопозиційній структурі комплексів. Мають лінійно-рівнобіжну схему розташування обладнання.

РТК4 – створюється на базі ПР, що працюють у циліндричній системі координат, характеризується коловим розташуванням ТО і ДО.

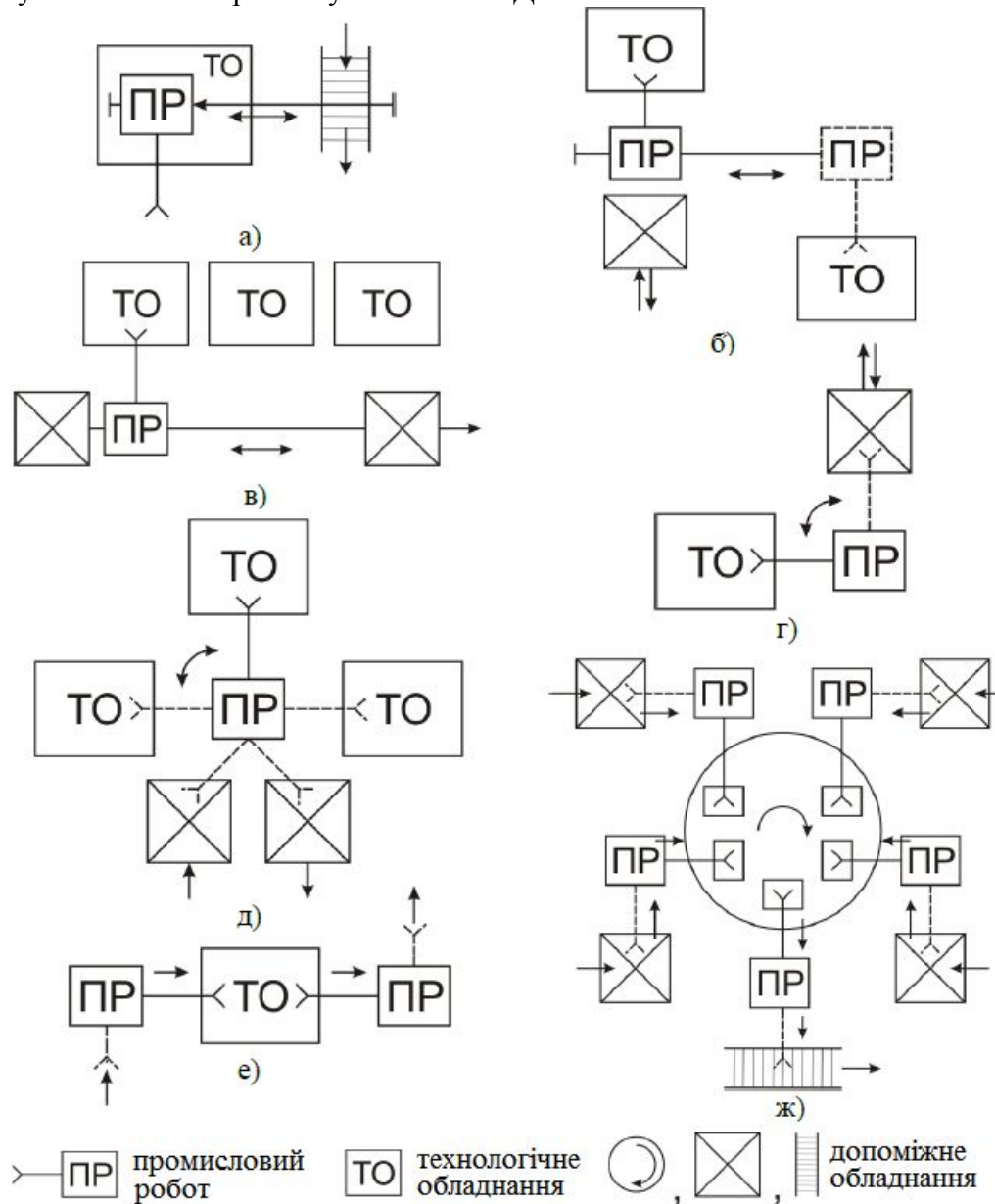


Рис. 1.2. Типи компоновки комплексів: РТК1 (а), РТК2 (б, в), РТК3 (г), РТК4, РТК5 (д), РТК6 (е, ж)

РТК5 – створюється на базі ПР, що працюють у сферичній системі координат. У дану групу входять ПР, що мають широкі функціональні можливості (до шести ступенів рухомості). Комплекси використовуються у найбільш складних умовах – при груповому обслуговуванні різнотипного (за схемою завантаження) обладнання для механічної обробки, а так само при виконанні фарбувальних та інших робіт. Схема розташування обладнання дворядна лінійно-рівнобіжна або колова.

РТК6 – створюється для багатопозиційних комплексів, характерних для ливарного, складального і частково ковальсько-пресового виробництва. Застосовується змішана схема розташування обладнання.

1.3. Основні технічні характеристики промислових роботів

Працездатність маніпуляторів характеризується рядом технічних характеристик: робоча зона, зона обслуговування, число ступенів свободи, вантажопідйомність, швидкість руху, енергетичні показники тощо (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Основні технічні характеристики промислових роботів

Номінальна вантажопідйомність

Номінальна вантажопідйомність маніпулятора – це найбільше значення маси предметів виробництва та технологічної оснастки, включаючи масу захоплювального пристрою, за якою гарантується їх утримання й забезпечення встановлених показників експлуатаційних характеристик.

Вантажопідйомність - найбільше значення маси об'єктів маніпулювання, включаючи і масу робочого органу, які можуть переміщатися "рукою" при заданих умовах. Для промислового робота з багатьма руками вантажопідйомність визначають як суму вантажопідйомності всіх його "рук".

Для деяких типів промислових роботів важливим показником є зусилля (або крутний момент), яке розвивається виконавчим механізмом. До числа таких показників можна віднести зусилля затиску об'єкта маніпулювання захоплювальним пристроєм, робоче зусилля "руки" промислового робота уздовж її поздовжньої осі, крутний момент при ротації захоплювального пристрою.

За величиною вантажопідйомності промислові роботи поділяють на надлегкі (до 1 кг), легкі (понад 1 до 10 кг), середні (понад 10. До 200 кг), важкі (понад 200 до 1000 кг), надважкі (понад 1000 кг). В даний час випускається до 73% моделей промислових роботів легкого і середнього типу з вантажопідйомністю від 5 до 80 кг.

Робочий простір

Робочий простір маніпуляторів (промислових роботів) - це простір, в якому може знаходитися виконавчий пристрій при функціонуванні маніпулятора.

Він визначається без урахування габаритних розмірів об'єкта маніпулювання.

Величини і швидкості переміщення робочого органу з кожного ступеня рухливості характеризують геометрію **робочого простору промислового робота**, а також особливості руху та орієнтації об'єкта який переносимо та для рухливих роботів крім робочої зони в якості характеристики розглядається також робочий простір, який визначається механікою маніпулятора промислового робота і можливостями приводу.

Величини переміщень по лінійним координатам задаються в метрах, за кутовими - в градусах або радіанах; відповідно швидкості виражаються в метрах в секунду для лінійних і градусах або радіанах в секунду - для кутових координат.

За величиною лінійного переміщення, або ходу робочого органу, розрізняють промислові роботи з малим (до 300 мм), середнім (понад 300 до 1000 мм) і великим ходом (понад 1000 мм).

На рис. 1.4. показані приклади різних робочих просторів маніпуляторів.

	Системи координат	Кінематична схема	Конструктивна схема	Системи координат	Кінематична схема	Конструктивна схема
Прямокутна				Сферична		
Циліндрична				Антропоморфна		

Рис. 1.4.. Робочі простори маніпуляторів.

Робоча зона

Робоча зона маніпуляторів (промислових роботів) - це простір, в якому може знаходитися робочий орган при його функціонуванні.

Вона характеризується своїми формою (або видом) і обсягом.

Форма, або вид робочої зони, просторова фігура, описувана робочим органом промислових роботів при проходженні ним гранично досяжних положень.

Вид робочої зони обумовлений призначенням промислового робота і визначається числом ступенів рухливості маніпулятора, типом і взаємної орієнтацією кінематичних пар в просторі і відносними розмірами ланок маніпуляційної системи.

Обсяг робочої зони (або робочий об'єм) - це обсяг простору, в межах якого може переміщатися робочий орган промислового робота при його функціонуванні, вимірюється в метрах кубічних і дозволяє судити про масштаб ручної праці, доступного промислового роботу.

На рис. 1.5 наведений приклад робочої зони маніпулятора.

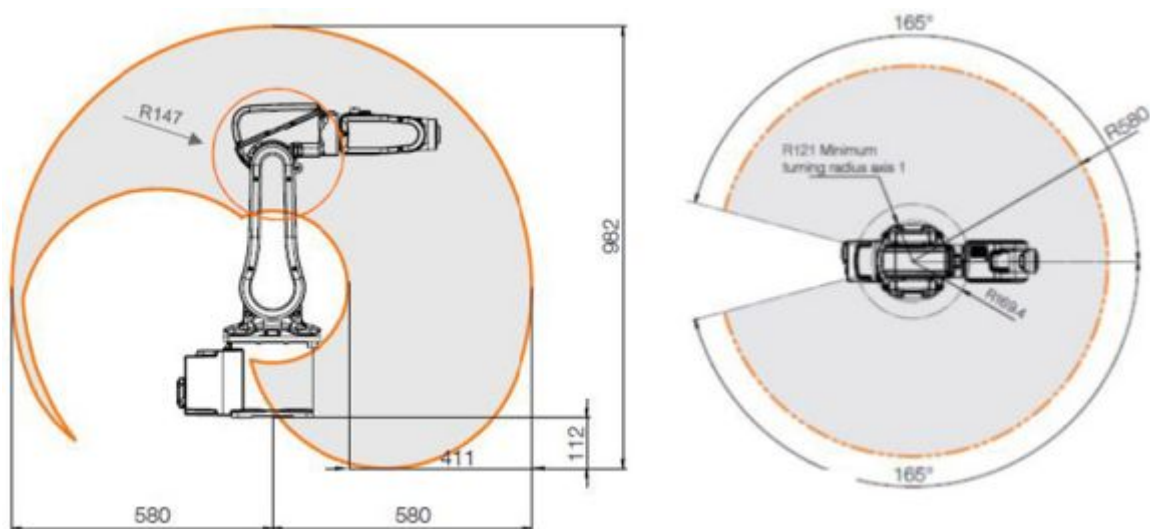


Рис. 1.5. Робоча зона маніпулятора

Зона обслуговування

Зона обслуговування маніпуляторів (промислових роботів) - це простір, в якому робочий орган виконує свої функції відповідно до призначення маніпулятора (промислового робота).

При спільній роботі декількох промислових роботів як характеристики робототехнічного комплексу розглядається зона спільного обслуговування - частина простору, в якому переміщення об'єкта маніпулювання можуть виконуватися кількома промисловими роботами.

Число ступенів рухливості

Число ступенів рухливості визначають як суму можливих координатних рухів його робочого органу або об'єкта маніпулювання щодо опорної системи.

Для деяких типів додатково враховують число ступенів рухливості захоплювального пристрою, рівне числу ступенів вільності всіх його ланок щодо вузла кріплення до "руки" робота.

Серед ступенів рухливості окремого маніпулятора слід розрізняти ступені переносу та ступені орієнтування.

За ступенем рухливості промислові роботи розділяють на три групи: малу (до 3-х ступенів рухливості); середню (4-6 ступенів рухливості) і високу рухливість (понад 6 ступенів). Число ступенів рухливості промислового робота значною мірою визначає його універсальність. Сучасні промислові роботи мають зазвичай від 2 до 7 ступенів рухливості: найпростіші - 1 - 2; найбільш складні - 7, іноді і більше. У структурі сучасного світового парку промислових роботів переважають конструкції з 4 і 5 ступенями рухливості.

На рис. 1.6 наведений маніпулятор з 6 ступенями рухливості.

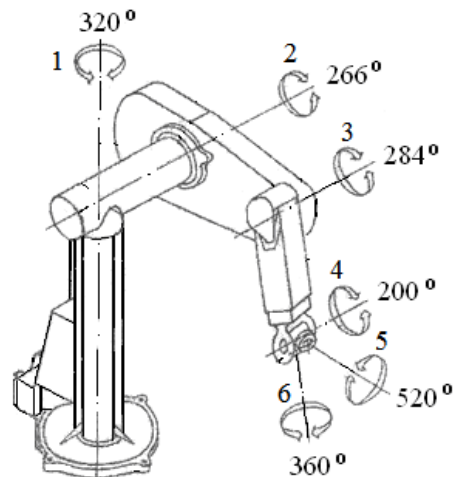


Рис. 1.6. Маніпулятор з 6 ступенями рухливості

Швидкість переміщення по мірі рухомості

Розподіляють швидкість лінійних та кутових переміщень.

Швидкість переміщень ланок маніпулятора характеризують важливу якість промислового робота - швидкодію, від якого залежить час обслуговування технологічного устаткування. Зазвичай швидкості лінійних переміщень робочих органів маніпуляторів не перевищують 1,0 - 1,5 м/с, хоча є окремі роботи зі швидкостями до 9 м/с. Швидкості кутових переміщень робочих органів переважно знаходяться в межах від 15 до 360 град/с (від 0,25 до 6,3 рад/с).

Похибка позиціонування робочого органу маніпулятора

Похибка позиціонування робочого органу маніпулятора – це відхилення положення робочого органу маніпулятора від заданого керуючою програмою.

Похибка позиціонування, або відпрацювання траєкторії визначається як відхилення фактичного положення робочого органу від заданого програмою при багаторазовому позиціонуванні (повторенні руху), яке оцінюється в лінійних або кутових одиницях. Похибка позиціонування, або відпрацювання, траєкторії може розглядатися як в цілому для робочого органу (сумарна), так і для окремих виконавчих механізмів промислових роботів.

У характеристиках промислового робота точність позиціонування вказується в абсолютних одиницях, однак для порівняльної оцінки різних роботів і визначення їх типів з точки зору ступеня їх точності такий показник неприйнятний, оскільки не пов'язаний з геометричними параметрами робочої зони. Тому в основу визначення типу промислового робота за показником точності покладена відносна похибка позиціонування, або відпрацювання траєкторії.

Відносна похибка позиціонування - величина, що характеризує точність роботів з цикловим і позиційним керуванням і рівна відношенню абсолютної похибки позиціонування до максимального віддалі від осі найближчої до основи робота кінематичної пари до кордону робочої зони, виражена у відсотках.

Похибка відпрацювання траєкторії робочого органу промислового робота

Похибка відпрацювання траєкторії робочого органу промислового робота – це відхилення траєкторії промислового робота від заданої керуючої програмою.

Перелік технічних характеристик може доповнюватися в залежності від типу промислового робота та задач, які вони виконують. Наприклад, для мобільних роботів додаються такі характеристики як швидкість пересування, похибка позиціонування робота при переміщенні, тощо.

Контрольні запитання

1. Що представляє собою маніпулятор?
2. Чим відрізняється промисловий робот?
3. Як поділяють промислові роботи по степені досконалості і типам систем керування?
4. З чого складається механічна система промислового робота?
5. За якими ознаками класифікуються промислові роботи?
6. Які функції виконує система керування промислового робота?
7. Які основні технічні характеристики мають промислові роботи?
8. Чим відрізняються робочий простір, робоча зона та зона обслуговування?
9. Як визначають число ступенів рухливості промислового робота?
10. Які основні похибки з'являються при пересуванні ланок робота?

Глава 2. Структура та складові частини промислових роботів

2.1 Структура промислових роботів

Структура та складові частини промислових роботів залежать від сфери застосування, а також від типів та конструктивних особливостей [1, 2, 5,6]..

Згідно з ДСТУ 2879-94 промислові роботи можна також поділити на **стаціонарні** та **пересувні** або **мобільні** роботи.

Стаціонарний робот - автоматична машина, що складається з виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора, яка має кілька ступенів рухливості, і пристрою програмного управління. Такі роботи виробляються в підлоговому, підвісному і порталному виконанні.

Мобільний робот - автоматична машина, в якій є засоби пересування з автоматично керованими приводами. Мобільні роботи можуть мати різні засоби пересування, такі як **колісні**, **гусеничні** та **крокуючі** (існують також мобільні роботи, що повзують, плавають і літають, але вони як правило не використовуються для промислових завдань).

Незалежно від типу промислового робота вони мають схожу структуру (рис.2.1).

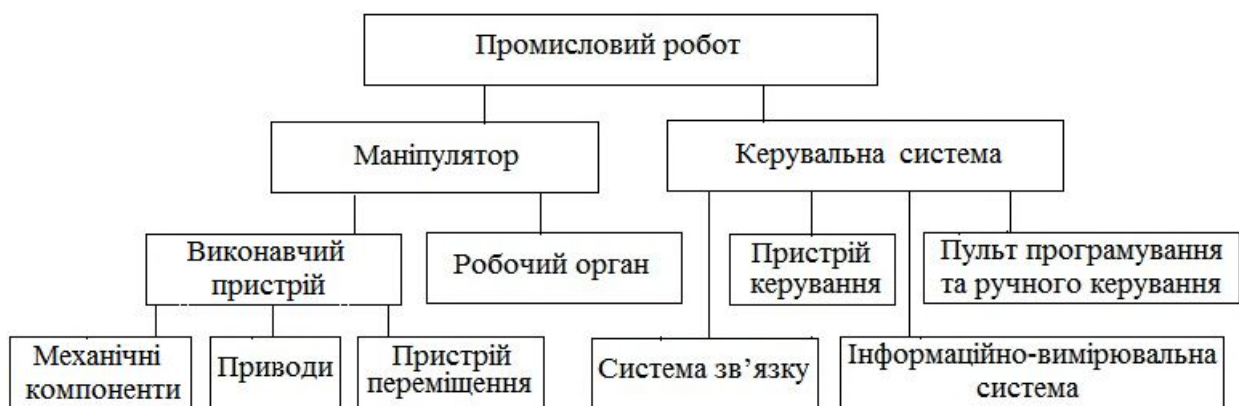


Рис. 2.1. Структура промислових роботів

Основними складовими частинами ПР є маніпулятор і керувальна система промислового робота. У свою чергу, кожна з цих частин включає ряд компонент. Тому загальна структура промислових роботів може мати у своєму складі такі основні компоненти.

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.

Виконавчий пристрій 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 різне число ступенів вільності.

Виконавчий пристрій, як правило, являє собою відкритий 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.

Виконавчий пристрій складається з механічних компонент та приводів, що здійснюють переміщення.

Робочий орган промислового робота – це складова частина промислового робота, яка разом з виконавчим пристроєм призначена для безпосереднього виконання технологічних операцій і (або) допоміжних переходів.

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. Для вирішення задач позиційного та контурного керування використовують регульовані приводи.

Функції мобільності роботів виконують пристрої переміщення.

Захоплювальні пристрої 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.

Захоплювальні пристрої можуть також виконувати функції монтажних інструментів (тиски, ключі та ін.)

До захоплювальних пристроїв ставляться певні вимоги: загального характеру і спеціальні, зв'язані з конкретними умовами праці.

До числа обов'язкових вимог відносяться: надійність захвату і утримання об'єкту, стабільність базування, недопустимість пошкоджень або руйнування об'єктів, міцність деталей захватних пристроїв.

Спеціальні вимоги: можливість захвату і базування деталей в широкому діапазоні (маси, розмірів і форми), легкість і швидкість заміни елементів захватних пристроїв, необхідність автоматичної зміни зусиль утримання об'єкта в залежності від його маси.

Приводи

Вибір типу привода залежить від функціонального призначення промислового робота, умов експлуатації, вантажопідйомності, динамічних характеристик і виду системи керування.

Класифікація приводів:

1. В залежності від виду енергії, яка використовується для руху робочого механізму привода, визначають такі приводи:
 - 1) пневматичні;
 - 2) гідравлічні;
 - 3) електромеханічні;
 - 4) комбіновані.
2. По способу відліку координат:
 - 1) з відносним відліком координат — по приростам (кроковий двигун);
 - 2) з абсолютним відліком координат (електропривод з зворотнім зв'язком).

Керувальна система промислового робота призначена для формування і видачі керувальних дій виконавчому пристрою відповідно до керувальної програми.

Керувальна система включає сам пристрій керування, який здійснює програмне керування з можливістю перепрограмування інформаційно-вимірювальну систему, що визначає внутрішній стан робота та стан зовнішнього середовища, систему зв'язку, що здійснює зв'язок з іншими пристроями робототехнічних систем, пульт програмування та ручного керування, за допомогою якого здійснюється функції програмування для роботи в автоматичному режимі та ручного керування, що використовується для налагодження робота та здійснення режиму навчання.

2.2. Основні типи промислових роботів

За конструктивними особливостями можна виділити, наприклад, такі промислові роботи, які мають свої особливості структури.

1. Підлогові промислові роботи.
2. Підвісні промислові роботи.
3. Спеціальні промислові роботи.
4. Мобільні промислові роботи:
5. Промислові роботи агрегатно-модульного типу.

Підлогові промислові роботи

Підлогові промислові роботи є найпростішими роботами, оскільки мають лише маніпуляційну систему та пристрій керування. Переміщення робочого органу здійснюється тільки за допомогою маніпулятора, який жорстко встановлений на підлозі.

У разі потреби використовують засоби переміщення робота, що встановлюють на підлозі (рис. 2.2).

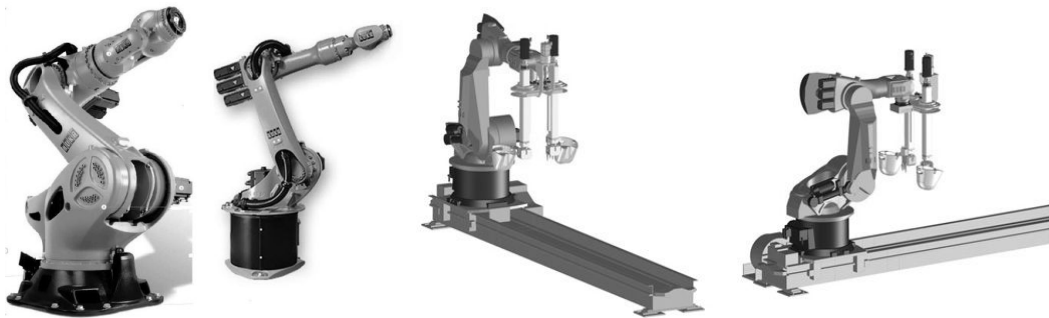


Рис. 2.2. Підлогові промислові роботи

Підвісні промислові роботи

Підвісні роботи (рис. 2.3), як правило, працюють в прямокутній системі координат, тобто мають два основних руху - уздовж осі (осей) порталу (рух каретки) і в напрямку, перпендикулярному осі порталу (висування руки по вертикалі або під кутом до вертикалі); в циліндричній полярній системі координат, тобто мають три основних руху - уздовж вертикальної осі порталу, поворот руки навколо горизонтальної осі (хитання руки) і висунення руки; в циліндричній кутковій системі координат, тобто мають три основних руху - уздовж осі порталу і хитання кожної з ланок шарнірної руки.

Також використовують підвісні промислові роботи тельферного типу, які переміщуються по монорейковому або двохрейковому шляху, підвішеному до перекриття цеху або до спеціальних стійок, при цьому монорельсовий шлях може бути як прямолінійним, так і овальним

Підвісні промислові роботи бувають різних виконань. Крім основних рухів, що визначають систему координат, підвісний робот може виконувати наступні рухи, що здійснюють орієнтацію: обертання кисті з загарбним пристроєм навколо осі руки; поворот кисті навколо осі (однієї або двох), перпендикулярній осі руки.



Рис. 2.3. Підвісні роботи

Спеціальні промислові роботи

За ступенем спеціалізації промислові роботи можна поділити на:
спеціальні, що виконують певну технологічну операцію або обслуговують конкретну модель основного технологічного обладнання;

спеціалізовані (цільові), що виконують технологічні операції одного виду (збірка, зварювання і т.д.) або обслуговують широку номенклатуру моделей основного технологічного обладнання, об'єднаних спільністю маніпуляційних дій;

багатоцільові, що виконують різні основні і допоміжні операції.

На рис.2.4 наведені робот DXR 250 компанії Husqvarna (а), який був створений для знешкодження будівельних споруд та реабілітаційний робот RapidView фірми ProKASRO, призначений для проведення фрезерувальних робіт у трубопроводах (б).



Рис. 2.4. Спеціальні промислові роботи

Мобільні промислові роботи

Мобільні роботи (рис. 2.5) можна поділити на виробничі, транспортні та спеціальні.

Виробничі мобільні роботи найчастіше мають маніпулятор з виконавчим пристроєм, яким може бути захоплюючий пристрій або різні технологічні пристрої, наприклад, зварювальний пристрій, пристрій для різання, фарбування тощо. Такі роботи використовуються у різних технологічних процесах, де технологічне обладнання або об'єкти треба переміщувати на досить великих площах по різних траєкторіям переміщення.

Виробничі мобільні роботи можна поділити на маніпуляційні та технологічні мобільні роботи.

Транспортні мобільні роботи призначені для автоматизованого транспортування об'єктів, а також для використання у різних транспортних системах.

Спеціальні мобільні роботи можуть виконувати функції контролю та збору інформації, спостереження тощо.

Мобільні роботи можуть бути повністю автономними, або працювати разом з оператором в інтерактивному режимі.

Прикладом автономних роботів можуть бути транспортні роботи, що обслуговують склади.

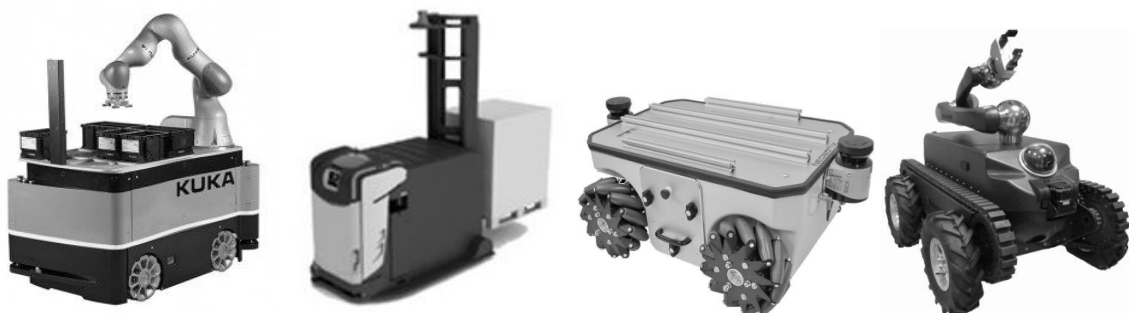


Рис. 2.5. Мобільні роботи

Промислові роботи агрегатно-модульного типу

Агрегатно-модульний принцип передбачає створення ПР на базі уніфікованих вузлів, або модулів. Цей метод має такі переваги:

- можливість побудови спеціальних і спеціалізованих роботів для конкретної технологічної операції, що не володіють надмірністю функцій і тому більш дешево в порівнянні з універсальними роботами;
- скорочення часу і трудомісткості проектування спеціальних роботів, тому що вони створюються на базі уніфікованих вузлів, номенклатура яких може поповнюватися;
- підвищення надійності внаслідок того, що до нього входять уніфіковані вузли і відсутності надмірності;
- здешевлення виробництва роботів внаслідок обмеженої номенклатури деталей і вузлів і, отже, підвищення серійності випуску;
- поліпшення умов експлуатації та ремонту роботів, внаслідок зменшення різноманітності конструкцій вузлів і деталей;
- скорочення термінів підготовки обслуговуючого персоналу.

Разом з тим агрегатно-модульний принцип має певні недоліки: відмова в деяких випадках від більш вигідних конструктивних рішень на користь менш вигідних, але відповідних принципом агрегатного побудови; збільшення габаритів і маси конструкції; збільшення числа стиків, що підвищує трудомісткість складання роботів, знижує жорсткість і точність.

Існують різні форми реалізації принципу агрегатного побудови роботів з уніфікованих вузлів, що виконують певні функції. Можна виділити наступні основні принципи класифікації при побудові груп роботів: вид системи координат, спосіб установки робота в РТК, спеціалізація, число ступенів рухливості, вантажопідйомність, тип системи управління.

За спеціалізацією і компонованні агрегатно-модульні роботи можуть бути умовно розділені на дві групи:

- агрегування на базі однієї принципової компоновальної схеми (однотипні роботи); конкретні виконання роботів розрізняються розмірами і вантажопідйомністю, а також характером комплектацій (системами управління, додатковими модулями і т.п.);
- агрегування, що дає можливість отримувати кілька різних компоновальних схем (різноманітні роботи), в тому числі розрізняються видом системи координат, формою і розмірами робочих зон і іншими ознаками.

За характером технічних показників агрегатно-модульні роботи можуть бути розділені на три групи: з незмінними значеннями основних технічних показників, з обмеженим діапазоном і з широким діапазоном основних технічних показників.

За типом системи управління розрізняють роботи, що комплектуються системами управління одного типу, різних типів.

Уніфікований вузол робота - складальна одиниця ПР з уніфікованими приєднувальними розмірами і параметрами зовнішнього сполучення.

Агрегат ПР - сукупність деталей і вузлів, що утворюють механізм, призначений для виконання рухів по одній ступеня рухливості, що реалізуються за допомогою приєднується до нього приводу, з уніфікованими місцями кріплення, в тому числі кріплення приводів. У деяких випадках агрегат може включати в себе редуктор, передавальний механізм або його частину.

Різновидом агрегатно-модульного принципу побудови роботів є модульний принцип. В цьому випадку роботи проектують на базі функціональних модулів, що включають всі необхідні механізми, приводи, датчики зворотного зв'язку, енергетичні та інформаційні комунікації, необхідні для роботи модуля.

Виконавчий модуль - реалізує рух робота по одній ступеня рухливості, включає в себе агрегат, двигун, редуктор, датчики зворотного зв'язку, уніфіковані приєднувальні розміри і параметри зовнішнього сполучення з ланцюгами живлення та управління.

Модуль-привод перетворює команди, що надходять від пристрою управління, в необхідні зусилля або крутний момент. Включає в себе двигун, редуктор, датчики зворотного зв'язку і пристрій управління приводом, що забезпечують необхідні руху ланок механізмів.

Модуль пристрої управління - складальна одиниця з уніфікованими приєднувальними розмірами, що підключається в загальну схему через уніфіковані інтерфейси і виконує будь-які задані функції (наприклад, процесор, група плат сполучення з каналом зовнішньої інформації). В останні роки в робототехніці починають застосовувати мехатронні модулі руху і інтелектуальні мехатронні модулі.

Мехатронні модуль руху (ММР) - конструктивно і функціонально самостійний виріб, що включає в себе керований двигун, механічне та інформаційний пристрій. До складу ММД входить вбудоване інформаційний пристрій, що включає датчики зворотного зв'язку і інформації, а також електронні блоки для обробки і перетворення сигналів.

Інтелектуальний Мехатронні модуль (ІММ) - конструктивно і функціонально самостійний виріб, побудоване шляхом синергетичної інтеграції рухової механічної, інформаційної, електричної і керуючої частин. У порівнянні з ММР в конструкцію ІММ додатково вбудовуються керуючі і електронні пристрої: цифрові обчислювальні пристрої, електронні силові перетворювачі, комп'ютерні пристрої сполучення і зв'язку.

Прикладом такого підходу є промислові роботи фірми Кука (рис. 2.6). Ці роботи мають модульну структуру.

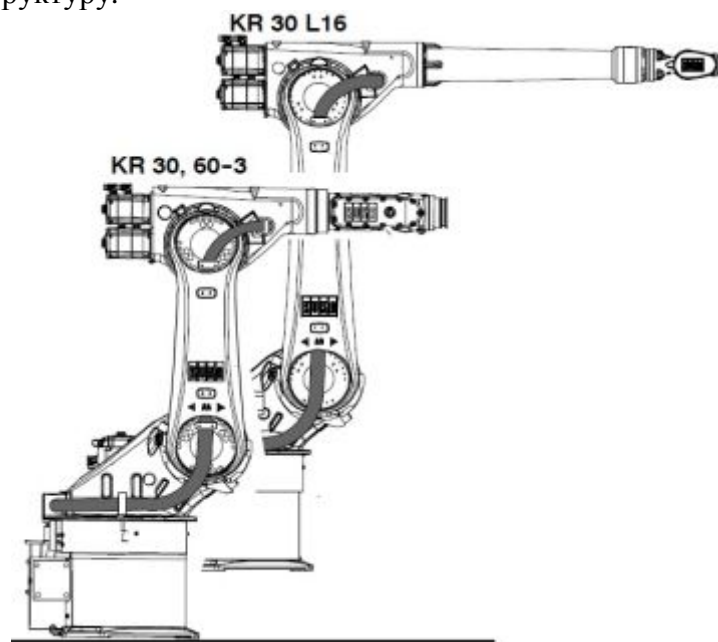


Рис.2. 6. Промислові роботи фірми Кука

На рис. 2.7. наведені ланки, з яких складається промисловий робот фірми Кука, а саме, карусель (рис. 2.7, а), балансир (рис. 2.7, б) та маніпулятор (рис. 2.7, в). Різні варіанти цих ланок дозволяють створювати різні за своїми параметрами роботи.

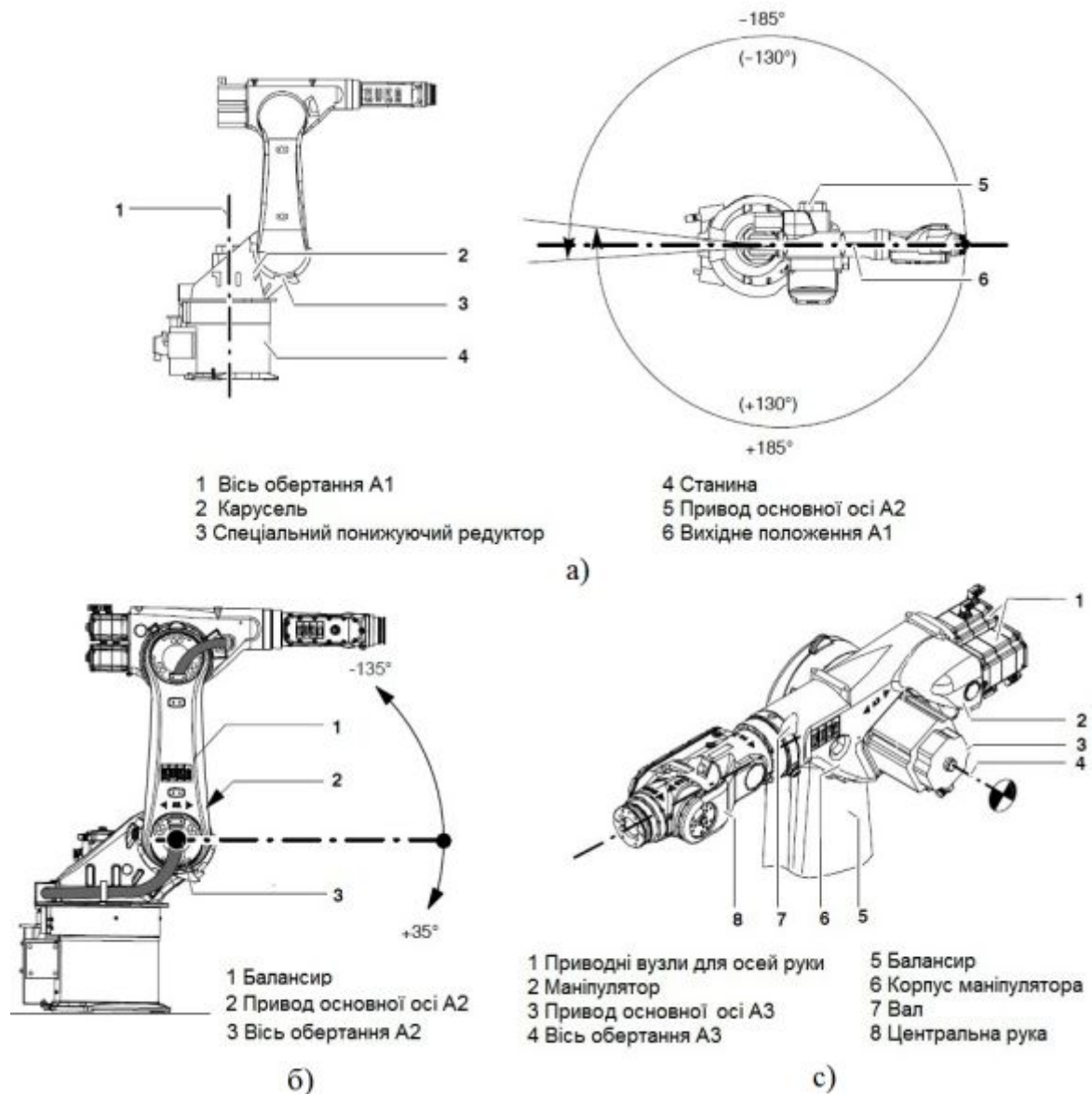


Рис. 2.7. Ланки промислового робота фірми Кука

2.3 Механізми маніпуляційних роботів

Для відтворення просторового руху захоплювача у загальному випадку маніпулятор повинен мати шість ступенів вільності, які можна реалізувати за допомогою кінематичного ланцюга з сімома ланками, які є виключно обертовими парами.

Якщо ж потрібно відтворювати просторову траєкторію лише однієї точки захвату, то необхідне число ступенів вільності зменшується до трьох, тобто з'являються надлишкові ступені вільності. Надлишкові ступені вільності дають змогу оптимізувати кінематичні, динамічні, енергетичні та інші критерії якості процесу маніпулювання. Надлишкові (зайві) ступені вільності називають також маневреністю маніпулятора, яка є важливою характеристикою маніпулятора. Збільшення числа ступенів маневреності маніпулятора розширює його можливості при виконанні складних рухів: збільшує робочий простір, зменшує мертві зони, розширює варіантність вибору траєкторій рухів у стиснених умовах.

Відрізняють такі системи координат руки маніпулятора: прямокутну, циліндричну, сферичну, кутову (ангулярну), іншу (рис. 2.8).

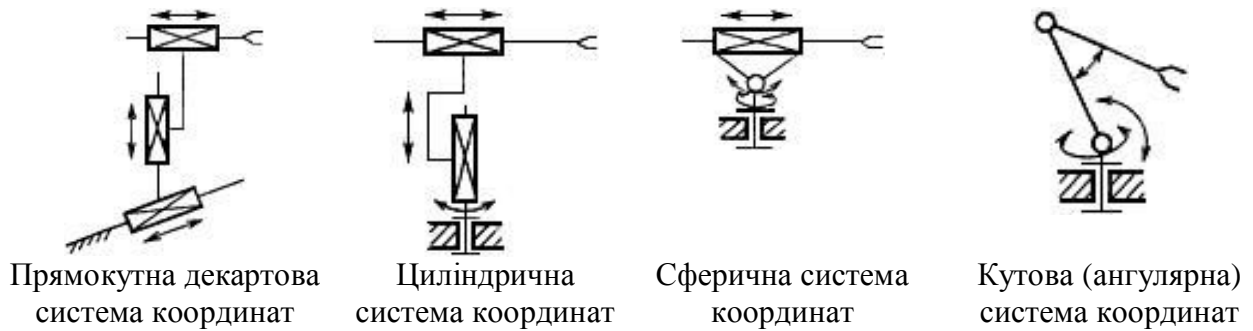


Рис. 2.8. Види систем координат

Структура механізмів маніпуляційних роботів

Механізмом називають механічну систему, призначену для отримання необхідного руху одного або декількох тіл. Основними елементами механізму є ланки і кінематичні пари.

Ланкою називають одне або кілька жорстко з'єднаних твердих тіл, що входять до складу механізму. Ланки бувають простими, що складаються з одного твердого тіла, і складовими, що складаються з декількох твердих тіл, жорстко з'єднаних між собою.

Кінематичною парою називають з'єднання двох суміжних ланок, що допускає їх відносний рух. Ланки можуть стикатися поверхнями, лініями і точками. Якщо зіткнення ланок відбувається в точці або по лінії, то кінематична пара називається вищою, якщо по поверхні, то нижчою.

Кінематична пара може бути плоскою, якщо відносний рух зчленованих ланок можливий лише в паралельних площинах, або просторовою, якщо відносний рух зчленованих ланок можливий в будь-якому напрямку.

Кінематичні пари класифікують за кількістю умов зв'язків, що накладаються на відносний рух двох суміжних ланок, або за кількістю ступенів свободи.

Вільне тіло в просторі має шість ступенів свободи: три поступальних рухи в напрямках осей прямокутної просторової системи координат XYZ , а також три обертальних рухи щодо цих осей.

Якщо одну ланку перетворити в стійку, тобто жорстко зв'язати з нерухомою системою координат $X_0Y_0Z_0$, то для другої ланки отримаємо число ступенів свободи

$$W = 6 - U,$$

де U - число зв'язків, що накладаються кінематичною парою на відносний рух її ланок.

При $U = 0$ пара відсутня, оскільки відсутні зв'язки між ланками. При $U = 6$ відносного руху не буде, так як вони утворюють одну ланку.

Тому число умов зв'язків може перебувати в межах від 1 до 5. Відповідно до цього всі кінематичні пари ділять на п'ять класів по числу умов зв'язку.

Приклади кінематичних пар, що застосовуються в механізмах маніпуляційних роботів, наведені на рис. 2.9.

Кінематичні пари першого і другого класів маніпуляційних пристроїв роботів застосування не знаходять через те, що вони дозволяють розімкнути кінематичний ланцюг, що є недопустимим.

Кінематична пара третього класу являє собою кульовий шарнір, який має три ступені свободи - обертання щодо кожної з осей просторової прямокутної системи координат XYZ .

Кінематична пара четвертого класу може бути реалізована або обертанням щодо однієї з осей зазначеної системи координат і поступальним переміщенням вздовж іншої осі, або обертанням щодо двох взаємно перпендикулярних осей (кульовий шарнір з пальцем).

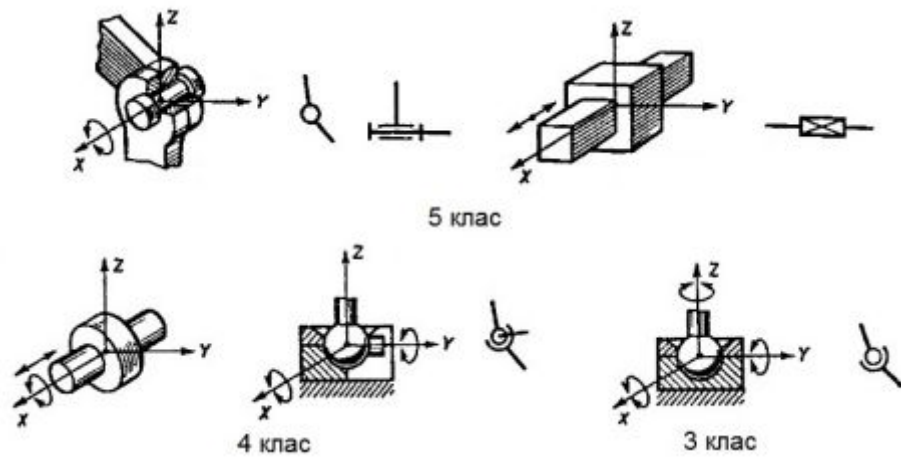


Рис. 2.9. Приклади кінематичних пар

Кінематична пара п'ятого класу дозволяє мати ланкам, які вона зчленовує, лише одне відносний рух: обертальний або поступальний.

Пари четвертого та третього класів еквівалентно замінюють комбінацією двох або трьох пар п'ятого класу (рис. 2.10), тобто кінематичним з'єднанням - кінематичним ланцюгом, що конструктивно замінює у виконавчому механізмі кінематичну пару.

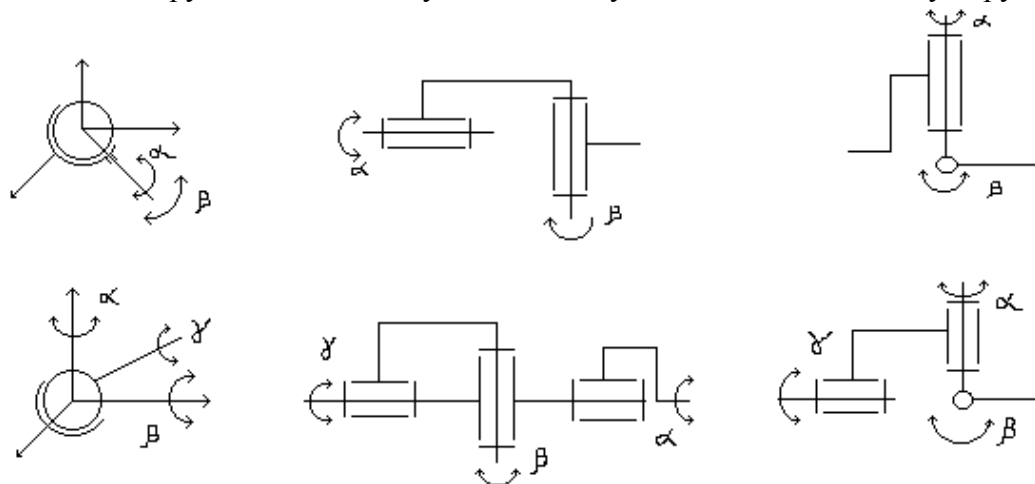


Рис. 2.10 Варіанти заміни кінематичних пар вищого класу нижчими

Система ланок, пов'язаних між собою кінематичними парами, називається кінематичним ланцюгом. Залежно від виду руху ланок кінематичні ланцюги поділяють на плоскі, коли ланки рухаються в одній або декількох паралельних площинах, і просторові, коли ланки рухаються в просторі.

Ланка, що прийнята за нерухому, називається основою (стійкою). Ланка, яка здійснює рух, що перетворюється виконавчим механізмом в необхідні рухи інших ланок, називається вхідним. Ланка, яка вчиняє рух, для виконання якого призначений виконавчий механізм, називається вихідним (кінцевим, останнім).

Максимальне число вхідних ланок дорівнює числу ступенів рухливості виконавчого механізму.

Ланки маніпулятора з'єднуються одна з одною за допомогою кінематичних пар п'ятого порядку (за класифікацією теорії механізмів і машин), обертальних і поступальних. Кожна ланка має своє найменування. Так, з нерухомою основою пов'язана колона, з колоною пов'язана каретка, з кареткою - рука, з рукою - кисть, з кистю - захват (рис.2.11). Ці ланки одна з одною утворюють кінематичні пари п'ятого класу, що мають по одній ступені рухливості. Кожна кінематична пара отримує рух від керованого приводу.

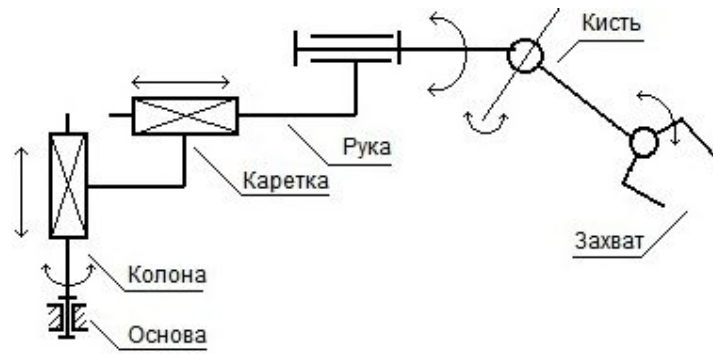


Рис. 2.11. Кінематичний ланцюг

На рис .2.12 наведена кінематична схема та механізми переміщення 6-вісного маніпулятора.

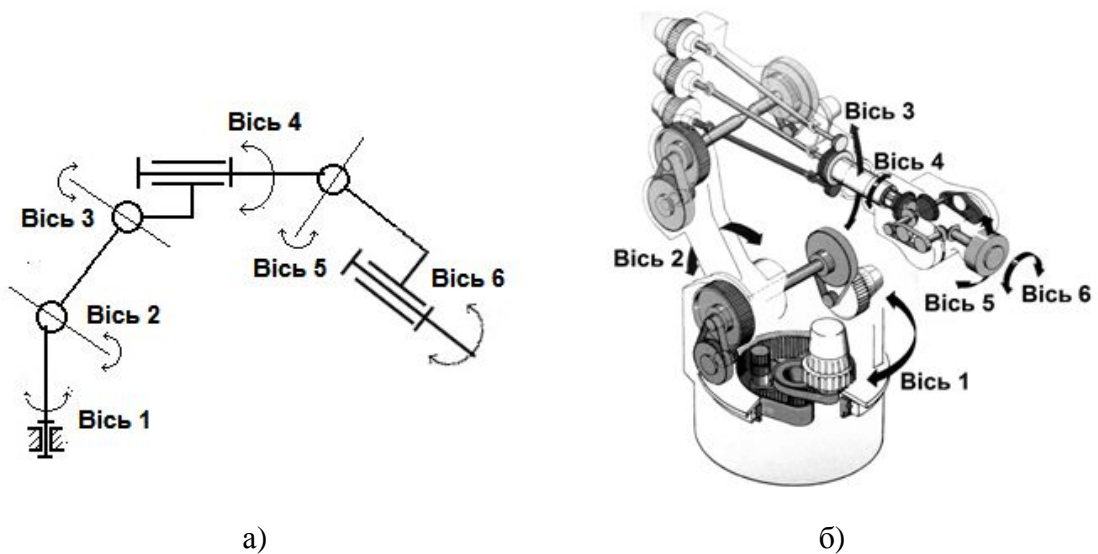


Рис .2.12. Кінематична схема (а) та механізми переміщення (б) 6-вісного маніпулятора

Цей рисунок показує зв'язок між структурою механізму маніпулятора та його кінематичною схемою.

Контрольні запитання

1. Що представляє собою структура промислового робота?
2. Які функції виконує робочий орган?
3. Які функції виконує керувальна система промислового робота?
4. Як поділяють промислові роботи за конструктивними особливостями?
5. Для чого використовують підвісні роботи?
6. Для чого використовують спеціальні роботи?
7. Які основні системи координат має рука маніпулятора?
8. Чим відрізняються механізм і ланка маніпулятора?
9. Що таке кінематична пара?
10. Які кінематичні пари найчастіше використовують промислові роботи?

Глава 3. Пряма та зворотна задачі кінематики маніпулятора промислових роботів

3.1. Кінематика маніпуляційних роботів

Кінематичний аналіз маніпуляторів - початковий етап проектування робототехнічних систем, що дозволяє потім перейти до дослідження динаміки та синтезу управління рухом маніпуляторів [6, 7,8, 9]..

З цією метою механіка цілеспрямованого руху передбачає вирішення прямої і зворотної задач кінематики.

Пряма задача: визначення переміщення, швидкості і прискорення об'єкта маніпулювання при заданих переміщеннях, швидкостях і прискореннях приводів в кінематичних парах (визначення положення і орієнтації захоплення в обраній системі координат за заданим значенням узагальнених координат маніпулятора, однозначно визначає його положення як кінематичної системи).

Рішення прямої задачі кінематики завжди однозначно і може бути отримано для будь-якого числа ланок, складових маніпулятор.

Зворотна задача - визначення необхідних переміщень, швидкостей і прискорень в кінематичних парах по заданому переміщенню, швидкості і прискорення об'єкта маніпулювання (визначення значенні узагальнених координат за заданим станом захоплення).

У загальному випадку ця задача не є однозначною і має багато рішень.

3.2. Структурний синтез маніпуляторів

Маніпулятор, як правило, призначений для виконання багатьох різноманітних рухів, мета яких може змінюватися не тільки при переході до іншого виду робіт, але і при зміні зовнішніх умов. Іншими словами, маніпулятор є багатоцільова система.

Залежно від поставленої мети маніпулятор повинен забезпечувати різне число ступенів свободи захоплення,

Наприклад, для відтворення просторового руху захоплення в загальному випадку маніпулятор повинен мати 6 ступенів свободи.

Якщо ж треба відтворити просторову траєкторію тільки однієї точки захоплення, то необхідне число ступенів свободи зменшується до трьох, тобто з'являються надлишкові ступеня свободи. Ця надмірність може бути використана для поліпшення якісних показників вирішення основного завдання (швидкодії, мінімуму витрати енергії і т.д.).

Отже, число ступенів свободи маніпулятора, як багатоцільовий системи, має вибиратися відповідно до тієї метою, яка вимагає максимальної рухливості захоплення.

Після вибору числа ступенів свободи маніпулятора встановлюються можливі варіанти його структурної схеми, що відрізняються числом ланок, числом кінематичних пар різної рухливості і їх розташуванням. При цьому отримуємо значно число таких варіантів.

При структурному синтезі маніпуляторів з числом ступенів свободи 6 і більше всіх можливих варіанти можна отримати тільки з використанням ЕОМ.

При порівнянні варіантів структурної схеми маніпулятора використовуються коефіцієнти, що характеризують можливість і зручність виконання різноманітних типових операцій, для яких призначений маніпулятор.

3.3. Приклад прямої та зворотної задачі кінематики

Пряма задача - це обчислення координат (X, Y, Z) робочого органу маніпулятора по його кінематичній схемі і заданої орієнтації $(A_1, A_2 \dots A_n)$ його ланок (n - число ступенів свободи маніпулятора, A - кути повороту).

Зворотна задача - це обчислення кутів $(A_1, A_2 \dots A_n)$ по заданому положенню (X, Y, Z) робочого органу і знову ж відомою схемою його кінематики.

Таким чином, рішення прямої задачі визначає - де буде знаходитися робочий орган маніпулятора, при заданих кутах його суглобів, а зворотна задача, навпаки, говорить: як

потрібно повернути суглоби маніпулятора, щоб його робочий орган встановився в задане положення.

Пряма задача використовується, наприклад, для визначення форми деталі за допомогою щупа в системах ЧПУ, для чого використовують спеціальні вимірювальні маніпулятори (рис. 3.1).

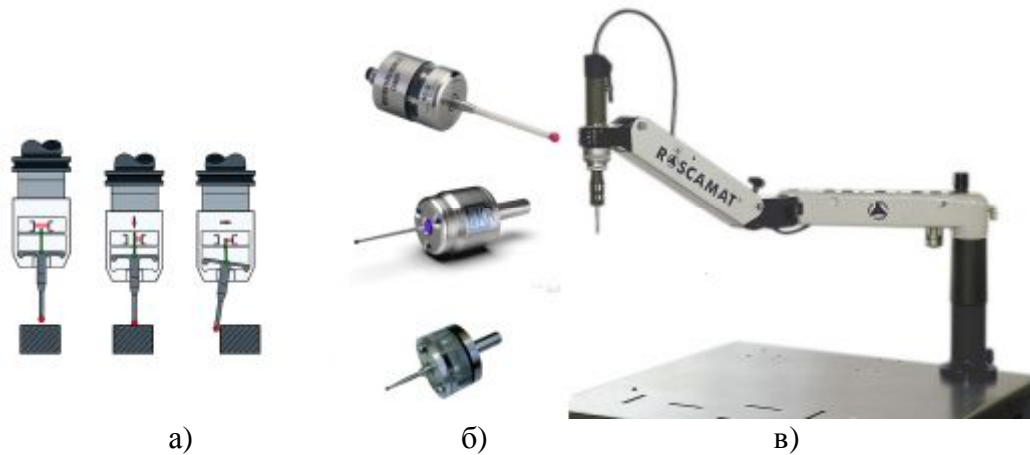


Рис. 3.1. Вимірювальний маніпулятор, визначення форми деталі за допомогою щупа (а), щупи (б), вимірювальний маніпулятор (в)

Очевидно, що більш поширеною і важливою є саме зворотна задача кінематики.

Але потрібно мати на увазі, що ця задача рідко може бути вирішена однозначно.

Справа в тім, що хоча для кутів ($A_1, A_2 \dots A_n$) завжди існує єдине положення (X, Y, Z) робочого органу, але це не означає, що для положення (X, Y, Z) знайдеться така ж єдина комбінація кутів ($A_1, A_2 \dots A_n$).

Скоріш за все, досягти заданого положення (X, Y, Z) можливо і при іншій комбінації кутів ($A_1, A_2 \dots A_n$).

При аналітичному вирішенні зворотної задачі, ця неоднозначність проявляється в явному вигляді (наприклад, через квадратний корінь).

Для спрощення аналізу розглянемо, як вирішуються пряма і зворотна задачі кінематики на прикладі маніпулятора з двома суглобами.

Розглянемо приклад прямої задачі кінематики (рис. 3.2).

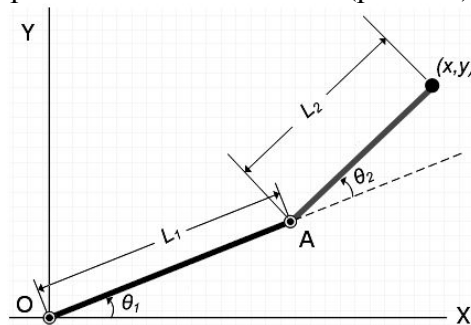


Рис. 3.2. Приклад прямої задачі кінематики

У нас є маніпулятор, здатний працювати тільки в одній площині і має два суглоба.

Перший суглоб L_1 закріплений на підставі і повернений на кут Q_1 .

Другий суглоб L_2 , кріпиться до кінця першого суглоба і повернений щодо нього на кут Q_2 .

Робочий орган маніпулятора знаходиться на кінці другого суглоба.

Пряма задача кінематики полягає в знаходженні координат робочого органу (x, y) по заданих L_1, L_2, Q_1, Q_2 .

L_1 , і L_2 - це, відповідно, довжини плеча і ліктя маніпулятора; визначені конструкцією маніпулятора.

Ця задача має таке рішення:

Маємо дві системи відліку - перша, пов'язана з точкою кріплення плеча L_1 - O , а друга - з початком координат в точці кріплення ліктя - A .

Знайдемо зміщення другої системи щодо першої (координати точки A в системі відліку O):

$$X_A = L_1 \cdot \cos(Q_1),$$

$$Y_A = L_1 \cdot \sin(Q_1).$$

Координати (x, y) в системі відліку ліктя:

$$x'' = L_2 \cdot \cos(Q_2),$$

$$y'' = L_2 \cdot \sin(Q_2).$$

Згідно рис. 2.3 видно, що в системі O , лікоть L_2 повернений щодо плеча на Q_1+Q_2 :

$$x' = L_2 \cdot \cos(Q_1+Q_2),$$

$$y' = L_2 \cdot \sin(Q_1+Q_2).$$

Таким чином отримаємо:

$$x = X_A + x' = L_1 \cdot \cos(Q_1) + L_2 \cdot \cos(Q_1+Q_2),$$

$$y = Y_A + y' = L_1 \cdot \sin(Q_1) + L_2 \cdot \sin(Q_1+Q_2).$$

Розглянемо приклад зворотної задачі кінематики (рис. 3.3).

Той же рисунок, але тепер потрібно знайти такі кути Q_1 і Q_2 , які дозволять маніпулятору із плечем L_1 і ліктем L_2 помістити робочий орган в задану точку (x, y)

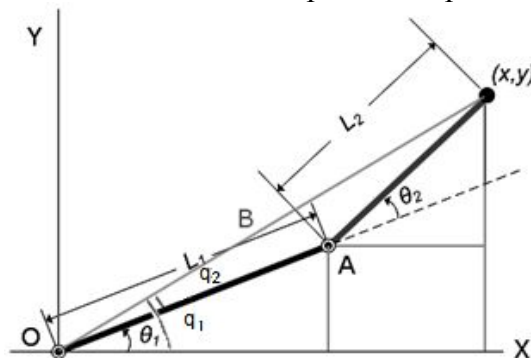


Рис. 3.3. Приклад зворотної задачі кінематики

Проведемо пряму B , що сполучає початок координат O із заданою точкою (x, y) .

$$B^2 = x^2 + y^2,$$

$$x = B \cdot \cos(q_1),$$

$$y = B \cdot \sin(q_1),$$

q_1 - кут між віссю OX і прямий B ,

q_2 - кут між прямою B і плечем L_1 .

Звідси:

$$Q_1 = q_1 - q_2,$$

$$q_1 = \arccos(x/B) \text{ або } q_1 = \arctg(y/x).$$

q_2 знаходимо за допомогою теореми косинусів, згідно з якою для плоского трикутника зі сторонами a, b, c і кутом α , протилежним стороні a , справедливо співвідношення:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos(\alpha).$$

За теоремою косинусів маємо:

$$L_2^2 = B^2 + L_1^2 - 2 \cdot B \cdot L_1 \cdot \cos(q_2),$$

$$\Rightarrow q_2 = \arccos((L_1^2 - L_2^2 + B^2) / 2 \cdot B \cdot L_1),$$

$$Q_1 = q_1 - q_2 = \arccos(x/B) - \arccos((L_1^2 - L_2^2 + B^2) / 2 \cdot B \cdot L_1).$$

Згідно тій же теоремі косинусів знайдемо кут Q_2 .

Як видно із рис. 2.7, кут Q_2 дорівнює 180 - кут OAx

$$B^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \cos(\pi - Q_2)$$

$$Q_2 = \pi - \arccos((L_1^2 + L_2^2 - B^2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2)$$

Очевидно, що руку можна розташувати і по-іншому (рис. 3.4.):

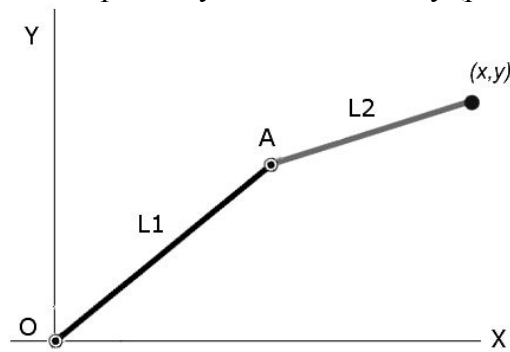


Рис. 3.4. Інше розташування руки

Розглянемо приклад використання зворотної задачі кінематики для визначення параметрів керування маніпулятором з паралельним переміщенням робочого органу на основі пантографу (рис. 3.5). Маніпулятор має два суглоба, що здатні працювати тільки в одній площині. Переміщення суглобів здійснюється шляхом повороту окремих ланок на кути φ_1 та φ_2 .

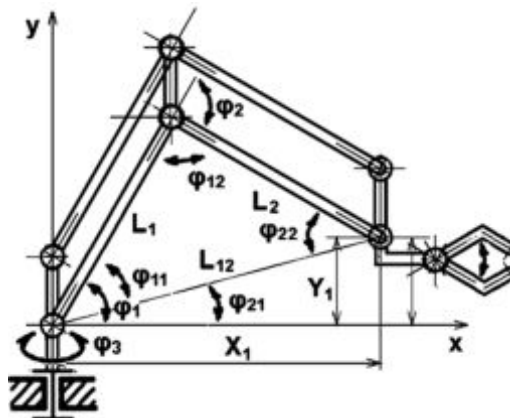


Рис. 3.5. Маніпулятор з паралельним переміщенням робочого органу на основі пантографу

Переміщення у тривимірному просторі здійснюється за рахунок обертання маніпулятора на кут φ_3 відносно осі y . Тому розглянемо переміщення маніпулятора в одній площині (рис. 3.6).

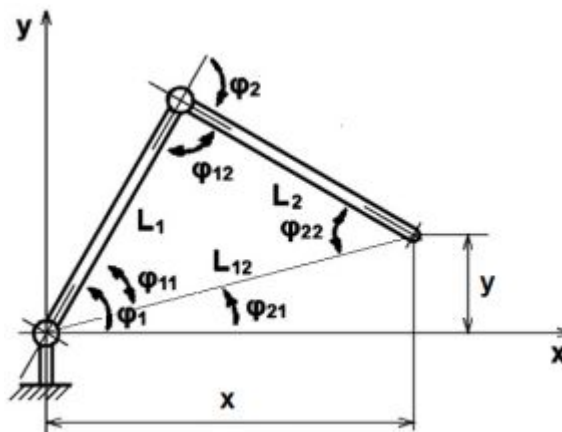


Рис. 3.6. Переміщення маніпулятора в одній площині

Перший суглоб L_1 закріплений на підставі і повернений на кут φ_1 .

Другий суглоб L_2 , кріпиться до кінця першого суглоба і повернений щодо нього на кут φ_2 .

Робочий орган маніпулятора знаходиться на кінці другого суглоба.

Треба знайти такі кути φ_1 і φ_2 , які дозволять маніпулятору із плечем L_1 і ліктем L_2 помістити робочий орган в задану точку (x, y) , що можна зробити за допомогою зворотної задачі кінематики.

Проведемо пряму L_{12} , що сполучає початок координат O із заданою точкою (x, y) .

$$L_{12}^2 = x^2 + y^2,$$

звідси маємо

$$L_{12} = \sqrt{x^2 + y^2},$$

На рис. 3.6 видно, що

$$\varphi_1 = \varphi_{11} + \varphi_{21}.$$

де φ_{11} - кут між прямими L_1 та L_{12} ,

φ_{21} - кут між віссю OX і прямий L_{12} .

φ_{21} знаходимо, виходячи з того, що

$$x = L_{12} \cdot \cos(\varphi_{21}), \text{ або}$$

$$y = L_{12} \cdot \sin(\varphi_{21}),$$

Звідси маємо:

$$\varphi_{21} = \arccos(x / L_{12}) \text{ або } \varphi_{21} = \arctg(y/x).$$

φ_{11} знаходимо за допомогою теореми косинусів, згідно з якою для плоского трикутника зі сторонами a, b, c і кутом α , протилежним стороні a , справедливо співвідношення:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos(\alpha).$$

За теоремою косинусів маємо:

$$L_2^2 = L_{12}^2 + L_1^2 - 2 \cdot L_{12} \cdot L_1 \cdot \cos(\varphi_{11}),$$

звідси маємо

$$\varphi_{11} = \arccos((L_1^2 - L_2^2 + L_{12}^2) / 2 \cdot L_{12} \cdot L_1),$$

$$\varphi_1 = \varphi_{11} + \varphi_{21} = \arccos(x / L_{12}) + \arccos((L_1^2 - L_2^2 + L_{12}^2) / 2 \cdot L_{12} \cdot L_1).$$

Знайдемо кут φ_2 .

Як видно із рис. 3.6, кут φ_2 дорівнює

$$\varphi_2 = \pi - \varphi_{12}.$$

Згідно тій же теоремі косинусів маємо

$$L_{12}^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \cos(\pi - \varphi_2),$$

$$\varphi_2 = \pi - \arccos((L_1^2 + L_2^2 - L_{12}^2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2).$$

Для більш повного підходу до опису та подання розташування ланок маніпулятора (виконавчих механізмів робота) відносно заданої абсолютної системи координат застосовують матричну і векторну алгебру.

При цьому пряма задача кінематики зводиться до визначення матриці перетворення, що встановлює зв'язок між абсолютною і пов'язаною системами координат. Для опису обертального руху пов'язаної системи відліку щодо абсолютної використовується матриця повороту (обертання) розмірністю 3×3 .

Для обліку поступального руху використовується матриця однорідного перетворення розмірністю 4×4 .

Зворотній завдання кінематики по заданій матриці положення і орієнтації захвата маніпулятора і відомим параметрам його ланок і зчленувань визначає параметри маніпулятора, що забезпечують задане положення захвата.

Завдання до лабораторної роботи

Знайти кути φ_1 і φ_2 для маніпулятора із плечем L_1 і ліктем L_2 , що здійснюють переміщення робочого органу в задану точку (x, y) для таких варіантів:

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L_1 , мм	60	80	90	65	75	85	95	105	110	90
L_2 , мм	55	75	80	65	70	85	90	100	100	80
x , мм	100	110	90	105	100	110	90	105	110	90
y , мм	50	60	65	70	75	80	75	65	70	60

Приклад розв'язання задач з теми заняття

Для маніпулятора, що наведений на рис. 3.6 знайти такі кути φ_1 і φ_2 , які дозволять маніпулятору із плечем L_1 і ліктем L_2 помістити робочий орган в задану точку (x, y) .

Вихідні дані:

$L_1 = 100$ мм, $L_2 = 100$ мм, $x = 100$ мм, $y = 50$ мм,

Знаходимо

$$L_{12} = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{12500} = 112 \text{ мм.}$$

Отримаємо значення кутів в радіанах:

$$\varphi_1 = \arccos(x/L_{12}) + \arccos((L_1^2 - L_2^2 + L_{12}^2) / 2 \cdot L_{12} \cdot L_1) = \arccos 0,88 + \arccos 0,56 = 0,4949 + 0,9764 = 1,4713 = 84^\circ.$$

$$\varphi_2 = \pi - \arccos((L_1^2 + L_2^2 - L_{12}^2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2) = 3,14 - \arccos 0,375 = 3,1416 - 1,1864 = 1,9552 = 112^\circ.$$

Або в градусах

$$\varphi_1 = 84^\circ,$$

$$\varphi_2 = 112^\circ.$$

На рис. 3.7 наведений результат обчислень. Зміщення результату від заданої позиції визначається помилкою округлення.

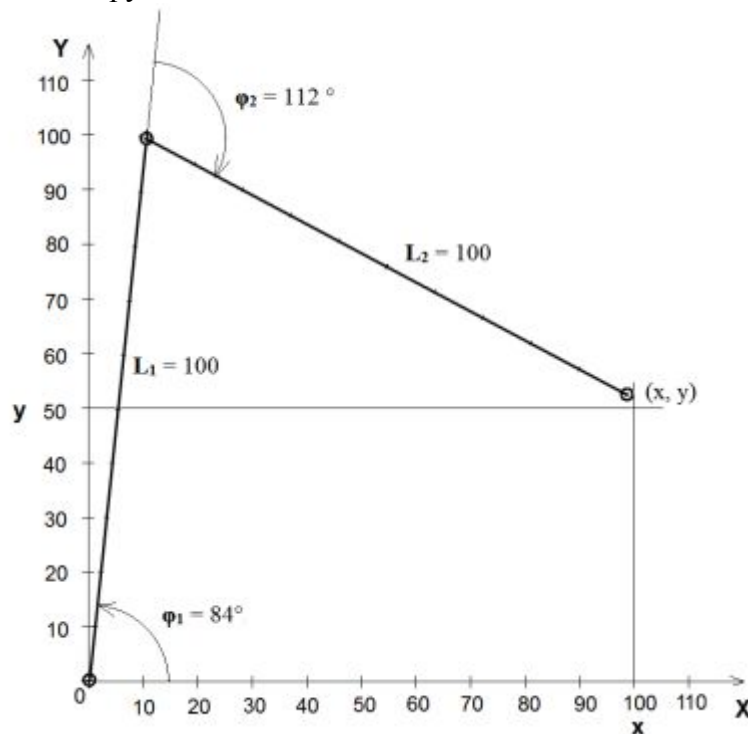


Рис. 3.7. Результат обчислень

Контрольні запитання

1. Які задачі вирішує кінематичний аналіз маніпуляторів?
2. Що вирішується за допомогою прямої задачі кінематики?
3. Що вирішується за допомогою зворотної задачі кінематики?
4. Які задачі вирішує структурний аналіз маніпуляторів?
5. Як знайти координати робочого органу для маніпулятора з двома суглобам в одній площині?
6. За якими даними вирішується задача знаходження координат робочого органу?
7. Що таке теорема косинусів?
8. Скільки рішень має зворотна задача маніпулятора з двома суглобами?
9. Чому у наведеному прикладі не можна використати інше рішення вказаної задачі?
10. Для чого використовують матричну та векторну алгебру?

Глава 4. Захоплювальні пристрої промислових роботів

4.1. Призначення та види захоплювальних пристроїв

Захоплювальним пристроєм (ЗП) ПР називають його робочий орган, призначений для захоплення та утримання предмета виробництва або технологічної оснастки, який називають об'єктом [10, 12].. Можна виділити такі типи захоплювальних пристроїв (ГОСТ 26063—84): механічні, вакуумні, магнітні та інші (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Основні типи захоплювальних пристроїв

Загальним поняттям для захоплювальних пристроїв усіх видів є **робочий елемент**, що вступає безпосередньо в контакт із об'єктом. Наприклад, для магнітних захоплювачів робочими елементами є елементи магнітної системи, до яких притягуються об'єкти певного матеріалу, для вакуумних – контактуючі з об'єктами спеціальні присмоктувачі, вакуум для яких створюється через розрідження повітря.

За принципом утримання об'єктів робочими елементами ПР пристрої захоплення поділяють на механічні, вакуумні, магнітні та інші.

Механічними називають захоплювальні пристрої, в яких утримання об'єкта здійснюється під дією реакцій у точках (зонах) контакту із робочими елементами, які створюються двигуном або власною вагою об'єкта. Механічні захоплювачі поділяють на захоплювачі та захоплювані підтримуючі пристрої.

Захоплювачем називають механічний захоплювальний пристрій, який являє собою механізм, що утримує об'єкт шляхом його затискування робочими елементами при їх переміщенні двигуном.

Підтримуючими називають механічні захоплювальні пристрої, що не мають рухомих ланок і являють собою опори, на яких об'єкт утримується під дією сил тяжіння (ковші для захоплення, транспортування та розливання рідкого металу, гаки, штирі, призматичні опорні елементи, лопатки та інші).

Вакуумними називають захоплювальні пристрої, що утримують об'єкт шляхом розрідження повітря в замкненій порожнині робочого елемента – присмоктувачі. Розрізняють активні вакуумні захоплювачі, в яких розріджене повітря створюється примусово за допомогою вакуумних насосів або ежекційних приладів, та пасивні, в яких розрідження повітря створюється за рахунок його витискання при деформуванні робочих елементів.

Залежно від методу створення вакууму у внутрішній порожнині присмоктувача розрізняють ежекторні, насосні та безнасосні вакуумні захоплювачі. В останньому випадку вакуум створюється тільки через деформацію присмоктувального елемента при його контакті з базовою поверхнею виробу.

Магнітними називають захоплювачі, що утримують об'єкт при дії магнітних сил, утворених постійним магнітом, або електромагнітом.

У порівнянні з вакуумними вони простіші за конструкцією, володіють тривалішими термінами служби, швидкістю захоплювання виробів і силою притягання на одиницю площі поверхні, але можливість їх використання для виробів тільки із магнітних матеріалів звужує галузь їх застосування. До інших недоліків відносять залишковий магнетизм, захоплювання сторонніх частинок (стружка), здатних пошкодити поверхню захоплюваного виробу.

До інших можна віднести, наприклад, струміневі захоплювальні пристрої.

Струміневими називають пристрої, які в якості робочого агента використовують стиснене повітря. Окремі силові елементи струміневої техніки використовують при автоматизації контрольних операцій, складальних процесів (орієнтація заготовок), у пристроях транспортування виробів, живильних механізмах верстатів та ін.

За **способом заміни** захоплювальні пристрої поділяють на **змінні вручну** та **автоматичною заміною**. Незмінні захоплювальні пристрої, встановлені за допомогою нероз'ємних з'єднань, як правило, не використовують. Вузол кріплення захоплювального пристрою до руки маніпулятора називають механічним інтерфейсом.

За характером кріплення до руки ПР усі ЗП можна поділити на такі групи.

Незмінні ЗП – пристрої, які є невід'ємною частиною конструкції робота, відповідно, їх заміна не передбачена.

Змінні ЗП – пристрої, які являють собою самостійні вузли з базовими поверхнями для кріплення до робота. При цьому їх кріплення не передбачає швидкої заміни (наприклад, установка з допомогою гвинтів).

Швидкозмінні ЗП – це пристрої, у котрих конструктивне виконання базових поверхонь для кріплення ЗП до робота забезпечує його швидку заміну (наприклад, виконання у вигляді байонетного замка).

Придатні до автоматичної зміни ЗП – це пристрої конструкція базових поверхонь яких забезпечує можливість автоматичного закріплення на руці.

За **способом утримання об'єктів** ЗП поділяють на **підтримуючі**, **схоплювальні** і **утримуючі**.

Підтримуючі захоплювальні пристрої, які для утримання об'єкта використовують його опорну поверхню, різного виду виступаючі частини об'єкта або наявні у його корпусі отвори. До таких пристроїв відносять, наприклад, гачки, петлі, вилки та лопатки, котрі не затискають заготовок.

Схоплювальні пристрої утримують об'єкти завдяки кінематичній дії робочих елементів (губки, пальці, кліщі і т.п.) з допомогою сил тертя та затискних зусиль. Захоплювальні пристрої цього активного типу поділяються на дві групи: механічні (кліщі, затискачі, жорсткі пальці) і з еластичними робочими камерами, що деформуються при нагнітанні всередину стисненого повітря або рідини.

Утримуючі захоплювачі забезпечують силову дію на об'єкт завдяки використанню різноманітних фізичних ефектів. Найпоширеніші вакуумні, струменеві й магнітні захоплювальні пристрої. Зустрічаються захоплювальні пристрої, що використовують ефект електростатичного притягання, адгезії, або захоплювачі з липкими накладками, а також пасивні, котрі не мають рухомих робочих елементів.

За **характером керування** ЗП поділяють на такі групи.

Некеровані ЗП – пристрої з постійними магнітами, струменеві або з вакуумними присмоктувачами без примусового розрідження. Для зняття об'єкта з магнітних ЗП потрібно зусилля більше, ніж для його утримання.

Командні ЗП керуються тільки командами на захоплювання або відпускання об'єкта. До цієї групи відносять ЗП з пружинним приводом, які спрацьовують через певний такт. Розтискаються і затискаються губки пружинних ЗП завдяки взаємодії їх з об'єктом маніпулювання чи елементами зовнішнього обладнання (аналогічно до механізмів, що використовуються в деяких конструкціях кулькових авторучок).

Жорсткопрограмовані ЗП – керуються пристроями керування промислових роботів з фіксованою програмою. Величина переміщення губок, взаємне розміщення робочих

елементів, зусилля затиску в таких ЗП можуть змінюватися залежно від заданої керуючої програми або під дією і дією допоміжних технологічних пристосувань.

Адаптивні ЗП – це програмовані та оснащені різноманітними давачами сприйняття зовнішньої інформації (визначення форми поверхні і маси об'єкта, зусилля затиску, наявності проковзування об'єкта відносно робочих елементів ЗП і т.п.) пристрої.

4.2. Основні експлуатаційні показники захоплювальних пристроїв

Основними експлуатаційними показниками захоплювальних пристроїв є зусилля захоплювання, час захоплювання, час відпускання, характерні розміри об'єкта, який захоплюється (мінімальний, максимальний).

Технічні характеристики складаються з таких показників.

1. Номінальна вантажопідйомність, кг.
2. Зусилля захоплювання, H .
3. Граничні значення прикладених сил і моментів, H або H_m (вказуються граничні значення прикладених сил і моментів за трьома осями прямокутної системи координат захоплювального пристрою).
4. Час захоплювання, c .
5. Час відпускання, c .
6. Середнє напруження на відмову, год.
7. Маса, кг.
8. Габаритні розміри, m .
9. Експлуатаційні показники захоплювачів.
 - Кінематична схема.
 - Зусилля на вихідній ланці привода, H .
 - Максимальне переміщення вихідної ланки привода, mm .
 - Тиск робочого тіла привода, $MПа$.
 - Напруга живлення, B .
10. Експлуатаційні показники вакуумних захоплювальних пристроїв.
 - Розміри контактної площі присмоктувача, m .
 - Номінальний тиск у порожнині присоски, $Mпа$.
11. Експлуатаційні показники магнітних захоплювальних пристроїв.
 - Кількість ампер-витків.
 - Розміри площі контакту, m^2 .
 - Напруга живлення, B .
12. Експлуатаційні показники струменевих захоплювальних пристроїв.
 - Кількість сопел на торці захоплювача.
 - Розміри сопла присмоктувача, mm .
 - Напруга живлення, $Mпа$.

Основними технічними характеристиками захоплювальних пристроїв усіх типів є: номінальна вантажопідйомність, зусилля захоплювання, гранично допустимі значення прикладених сил та моментів уздовж осей системи координат захоплювача, час захоплювання та час відпускання, маса, габаритні розміри і показники надійності (рис.4.2).

Номінальною вантажопідйомністю захоплювального пристрою називають найбільше допустиме для даного захоплювача значення маси об'єктів, що захоплюються. При оснащенні таким захоплювачем ПР конкретної моделі реальна маса об'єкта, що утримується, не повинна перевищувати корисної вантажопідйомності ПР, тобто того найбільшого значення маси об'єкта, при якому гарантуються його захоплювання, утримання та забезпечення встановлених значень експлуатаційних характеристик ПР. Для захоплювального пристрою номінальна вантажопідйомність є обмежуючим показником, її визначають найбільшою масою об'єкта, за значенням якої для різноманітних режимів експлуатації виконують розрахунки конструкцій на міцність і жорсткість. Очевидно, що значення маси об'єкта не повинно перевищувати значення номінальної вантажопідйомності ПР.

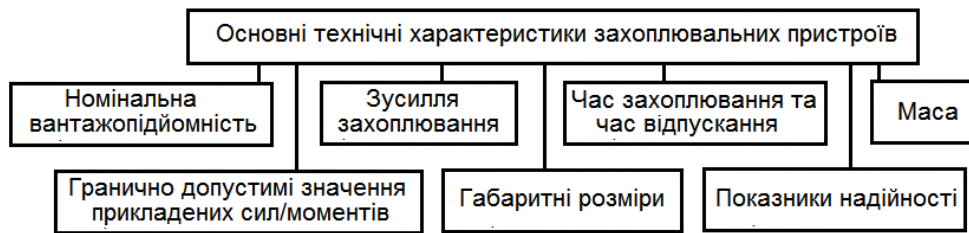


Рис. 4.2. Основні технічні характеристики захоплювальних пристроїв

Зусилля захоплення – це сила впливу робочих елементів на об'єкт. У захоплювачах зусилля захоплення створюється приводом, що переміщує робочі елементи аж до затискування ними об'єкта. Зусилля захоплення має найпростіший зміст для струменевих, вакуумних і магнітних захоплювальних пристроїв. Це – сила притягання. Для більшості схем захоплювачів поняття зусилля захоплення потребує детальнішого визначення (зусилля у точках контакту залежать від форми предмета та величини розкриття захоплювача), тому паспортне значення зусилля захоплення є досить наближеним. Для модульних захоплювачів зі змінними механізмами передачі зусилля захоплення визначається для симетричних схем із вказівкою величини переміщення робочих елементів.

Гранично допустимими значеннями прикладених сил/моментів називають найбільші значення центрально прикладених до об'єкта (на початку системи координат захоплювача) сили/моменту, при яких об'єкт утримується захоплювальним пристроєм. Прикладені сили/моменти створюються діючими на об'єкт силами тяжіння, інерції, силами взаємодії з іншими предметами та оснащенням. До прикладених сил не відносять зусилля захоплення та реакції в точках контакту об'єкта з робочими елементами.

Часом захоплення називають час від подачі приладом керування сигналу на захоплювач до моменту завершення процесу, коли об'єкт займає стійке положення рівноваги в захоплювачі, а зусилля захоплення сягає свого встановленого значення.

Часом відпускання називають час від подачі приладом керування сигналу на відпускання до моменту завершення даного процесу.

4.3. Складові частини захоплювальних пристроїв та їх призначення

Захоплювальні пристрої поділяють на наступні складові частини: з'єднувальні елементи, двигуни (або джерела утворення переміщень та зусиль), механізми передавання зусиль і перетворення рухів, кінцеві ланки механізмів, робочі елементи, накладки або вставки (рис. 4.3).

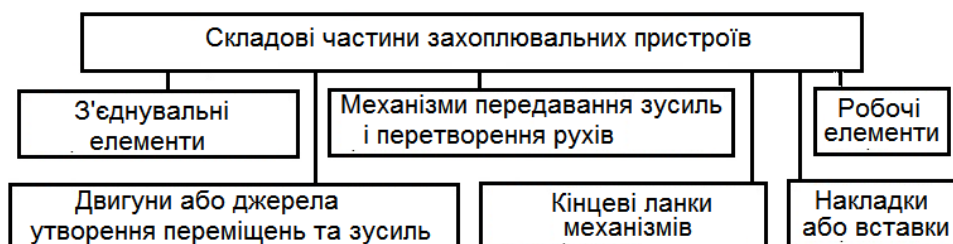


Рис. 4.3. Складові частини захоплювальних пристроїв

У конкретних випадках деякі з перерахованих складників можуть або бути відсутні, або об'єднуватися з суміжними складовими.

З'єднувальні елементи вставляють між з'єднувальним вузлом руки маніпулятора й основою захоплювача. Використання з'єднувальних елементів дозволяє змінювати відносне положення та конфігурацію робочої зони маніпулятора найпростішими способами. Наявність наборів з'єднувальних елементів дозволяє оперативно налагоджувати ПР на

робочому місці, позбавляючись необхідності проектування та виготовлення таких елементів для конкретного робочого місця.

З'єднувальні елементи можуть бути нерегульованими і регульованими (перезакріплюючими).

Нерегульовані з'єднувальні елементи мають незмінну конфігурацію, при їхньому використанні положення основи захоплювача відносно руки маніпулятора ПР цілком визначене. Параметрами нерегульованих з'єднувальних елементів є відстані між площинами з'єднань, міжосьові відстані та кути між осями.

Регульовані з'єднувальні елементи складаються з двох або кількох частин, які можна з'єднувати і закріплювати в різноманітних положеннях заданого діапазону. При цьому можна задавати або лінійні переміщення, або обертання (по одній або двох осях), або спільно те й інше.

Двигуни ЗП за функціональними можливостями утворення переміщень робочих елементів захоплювачів їх зручно поділити на три групи: з необмеженим переміщенням вихідної ланки (електродвигуни), з обмеженим переміщенням вихідної ланки (пнеumoциліндри і неповноповоротні пневмодвигуни), з малим переміщенням вихідної ланки (мембранні двигуни).

Двигуни з необмеженим переміщенням вихідної ланки доцільно застосовувати в захоплювачах, призначених для захоплення великогабаритних об'єктів, у яких відстань між поверхнями захоплення може змінюватися в широких межах.

Двигуни з обмеженим переміщенням використовують у більшості захоплювачів.

Двигуни з малими переміщеннями переважно є простими і надійними, але знаходять застосування здебільшого тільки у вузькодіапазонних захоплювачах, призначених для захоплення об'єктів одних й тих ж розмірів.

Основне функціональне призначення **механізмів передавання** захоплювачів полягає в передаванні руху та зусилля з вихідної ланки двигуна на робочі елементи.

Кінцеві ланки механізму передавання, на яких кріплять робочі елементи, часто виконують змінними. Від їхнього вибору залежать передавальне число механізму захоплювача в цілому та діапазон розкриття захоплювача.

Більшість захоплювачів оснащуються змінними **робочими елементами**. Для можливості захоплення й утримання об'єктів різноманітної форми та для запасу несучої спроможності важливою є форма поверхонь робочих елементів.

Накладки це складова частина захоплювача, які кріплять до робочих елементів. Відзначимо, що вибором матеріалу з підвищеним коефіцієнтом тертя для накладок може бути істотно підвищена несуча спроможність захоплювача без всяких змін інших частин. Накладками з теплоізолюючих матеріалів може бути знижене нагрівання механізму при роботі з гарячими заготовками.

4.4. Конструкції захоплювальних пристроїв

Механічні захоплювальні пристрої

Механічні захоплювальні пристрої найчастіше використовують як засоби технологічного оснащення маніпуляторів ПР для виконання операцій транспортування, завантаження, складання тощо. Принципова відмінність механічних ЗП полягає у методі затискування деталей, який зводиться до створення затримуючих сил тертя між базовими поверхнями деталі й робочими губками захоплювача, тобто сил, які виникають внаслідок надання цим губкам зусиль затискування від привода.

У загальному випадку механічні ЗП складаються з привода, механізму передавання приводного зусилля і захоплювальних елементів. За видом використовуваного привода їх поділяють на електромеханічні, пневматичні, гідравлічні та комбіновані; за типом механізмів передавання приводного зусилля: безважільні, важільні, клинові, рейкові; за видом захоплювальних елементів: із плоскими та фігурними губками, пальцеві, голкові; за видом руху губок: із лінійним і кутовим переміщенням губок.

Розрахунок механічних захоплювальних пристроїв передбачає визначення сил, що діють у місцях контакту об'єкта захоплення та губок, зусиль привода, контактних навантажень, характеристик міцності їх елементів.

Однією з характерних особливостей багатьох виробів є висока чутливість до механічних впливів через низькі характеристики міцності, які зумовлені використанням крихких матеріалів, таких, як скло, кераміка, прес-порошки, слюда та інші, а також особливостями конструкцій виробів: мала товщина стінок, поверхні з високим класом точності; тонкошарові покриття та інші.

Некеровані ЗП - конструкції, виконані за типом пінцета, пружних розрізних валиків і втулок (цанг) або кліщів з однією і двома рухомими губками, на які впливають пружини (рис. 4.4, а). Робочі елементи таких ЗП розпрямляються при контакті із заготовлею, тому поверхні деталі або затискних елементів можуть бути пошкоджені.

Визволення об'єкта - примусове, із застосуванням додаткових пристроїв. Використовуються в умовах масового виробництва при маніпулюванні з об'єктами невеликої маси і розмірів.

Командні ЗП зі стопорними механізмами - автономні пристрої з чергуванням циклів затиснення і розтиснення деталей, які не потребують спеціальних команд від системи управління і підведення енергії. Деталь утримується пружинами за рахунок ефекту самозатягування або замикаючої дії губок. Як правило, подібні ЗП можуть працювати тільки при вертикальному розташуванні.

На рис. 4.4, б представлені схеми командного ЗП із стопорними механізмами для схоплення валів або фланців по зовнішню поверхню.

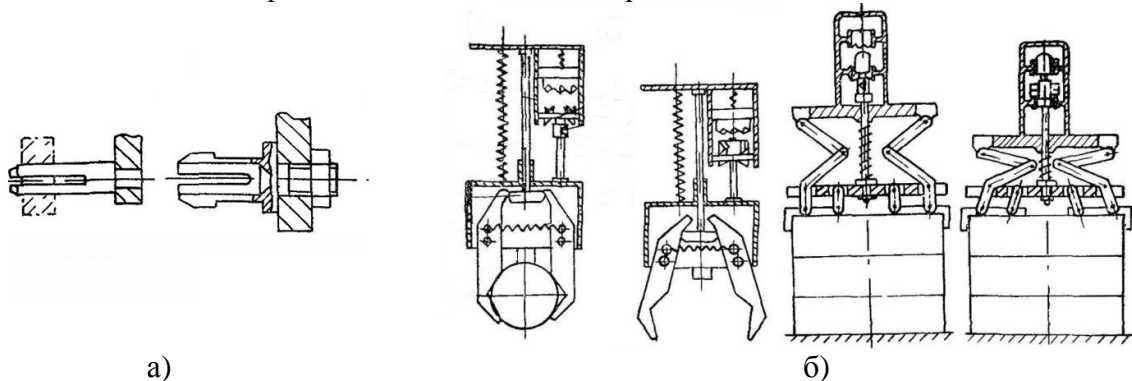


Рис. 4.4. Схеми некерованого (а) та командного (б) ЗУ

Розрахунок конструктивних параметрів механічних ЗП виконують за такою методикою [5].

1. Визначають мінімальне зусилля затискування, необхідне для втримання заготовки або деталі в захоплювачі. При виборі розрахункової системи виходять з найбільш несприятливого положення захоплювача, тобто положення, при якому під дією всіх прикладених сил (інерційних, дотичних і сил тяжіння) можливий зрив деталі з затискних губок. Затримуючими силами є сили тертя, що залежать від коефіцієнта тертя матеріалу деталі й затискних губок, а також дотичні зусилля, що виникають у місцях дотику деталі з захоплювачем під впливом зусиль затискування.

2. Розраховують зусилля привода захоплювача з урахуванням мінімального зусилля затискування та коефіцієнта його запасу відносно вибраної кінематичної схеми підсилювально-передавального механізму ЗП. При виборі передавального механізму слід враховувати допустимі розміри і вантажопідйомність ЗП для конкретної моделі робота, необхідність плоскопаралельного або обертового руху губок захоплювача, а також тип привода й конструкцію руки маніпулятора.

3. Щоб уникнути пошкодження базових поверхонь деталей, виконують перевірочний розрахунок за дотичними напругами. Якщо значення конкретної напруги у місцях дотику

губок захоплювача з деталлю перевищує допустиме для конкретного матеріалу деталі, то зменшити діючу напругу можна, збільшивши ширину губок ЗП.

4. На заключному етапі розрахунку ЗП вибирають або розраховують параметри двигуна для його привода.

Електромагнітні захоплювальні пристрої

Електромагнітні захоплювальні пристрої переважно використовують для оснащення маніпуляторів ПР, які обслуговують обладнання листоштампувального виробництва. Їх перевагами є простота конструкції та нескладність виготовлення. Однак електромагнітні ЗП придатні тільки для деталей, які намагнічуються.

Електромагнітні ЗП часто компонують зі невеликих електромагнітів, які встановлюють на загальній рамі. Такі пристрої за звичай застосовують для перенесення фасонних, круглих, ребристих і решітчастих поверхонь, захопити котрі вакуумними або іншими ЗП важко або неможливо.

Іноді застосовують ЗП з постійними магнітами, але в цьому випадку необхідні пристрої для втримання деталі на позиції розвантаження або оснащення ЗП спеціальними скидачами.

Підйомні електромагніти (рис. 4.5) складаються з корпусу 3, в середині якого розміщені котушки магніту 2, захищені від пошкоджень листом 1 з марганцевистої сталі або латуні.

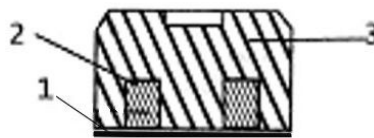


Рис. 4.5. Елементи електромагнітних захватних пристроїв:

Особливості електромагнітних ЗП:

- придатні тільки для матеріалів, що намагнічуються;
- можлива велика сила протягування на одиницю поверхні;
- висока точність базування завдяки жорсткості сердечника;
- супроводжується остаточним магнетизмом, що викликає небезпеку забруднення та ушкодження поверхонь деталі й захватного пристрою;
- швидкість захоплення деталі;
- простота конструкції: котушки і сердечники може легко виготовити споживач;
- котушки нагріваються, але конструкція довговічна.

Вакуумні захоплювальні пристрої

До вакуумних ЗП належать такі пристрої, які утримують деталь завдяки силі притягання, що виникає внаслідок різниці атмосферного й залишкового тисків у порожнині, утвореної присмоктувачем і поверхнею об'єкта (заготовки, деталі, виробу). Затискування об'єктів маніпулювання в вакуумних ЗП здійснюється силою атмосферного тиску.

Створення вакууму забезпечується за допомогою вакуум-насосу або з допомогою ежекторів. Другий спосіб внаслідок своєї простоти більш розповсюджений у робототехніці. За допомогою вакуумних ЗП можливе захоплення як плоских, так і сферичних об'єктів.

Залежно від способу утворення вакууму у внутрішній порожнині присосу розрізняють ежекторні, насосні та безнасосні вакуумні ЗП. В останньому випадку вакуум створюється тільки через деформацію присмоктувача при його контакті з базовою поверхнею виробу. Для більшої надійності роботи такі ЗП додатково оснащують зворотним клапаном, який спрацьовує у напрямку витікання повітря з присмоктувача.

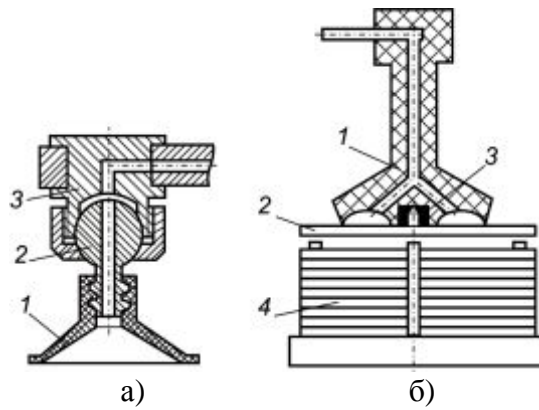


Рис. 4.6. Вакуумні ЗП

Вакуумний захоплювальний пристрій, зображений на рис.4.6 а, має еластичний присмоктувач 1, закріплену на кульковій опорі 2, що дозволяє задавати завдяки їй будь-які кутові положення відносно корпусу 3, закріпленого на руці маніпулятора. Для закріплення об'єктів великих габаритних розмірів і ваги ЗП обладнують кількома присмоктувачами.

Виконання присмоктувачів повністю з еластичного матеріалу (гуми або полімерів) не дозволяє здійснювати точне позиціонування через їхню пружну деформацію під дією ваги захопленого об'єкта.

Загальний недолік вакуумних ЗП – низька надійність закріплення забруднених мастилом об'єктів, що, як правило, має місце при механічній обробці. При переміщенні таких об'єктів доводиться обмежувати швидкість маніпулювання через їх інерційне зміщення (зсув) відносно присосу, що негативно відображається на продуктивності й точності виконання технологічних операцій.

На рис.4.6 б зображено вакуумний захоплювач 1 для плоских деталей 2, обладнаний індуктором 3, що забезпечує надійне відділення плоскої деталі від стопи 4 навіть у випадку їх злипання через наявність масла. Коли захоплювач із притягнутими деталями піднімається над стопою, на індуктор подається імпульс струму тривалістю, необхідною для проникнення магнітного поля на товщину однієї деталі, під дією якого проходить відділення злиплених деталей від стопи.

Антропоморфні захоплюючі пристрої

Сучасні промислові роботи найчастіше використовують на гнучких ділянках виробництва, де потребується швидке переналагодження обладнання, тому вони забезпечуються універсальними затискними захоплюючими пристроями, такими як кліщові та плоско паралельні (рис. 4.7, а).

Найбільш універсальними є антропоморфні захоплюючі пристрої, що повторюють рухи кисті руки людини (рис. 4.7, б).

На рис. 4.8 показаний захоплювальний пристрій з трьома пальцями BarrettHand фірми Barrett Technology.

Захоплювальний пристрій складається з трьох пальців, з яких один нерухомий, а два інших обертаються навколо долоні. Пальці мають по два суглоба.

Конструкція пальців зроблена таким чином, що при зупинці першого суглоба крутний момент передається на другий суглоб. Зупинка другого суглоба відбувається завдяки тактильному датчику.

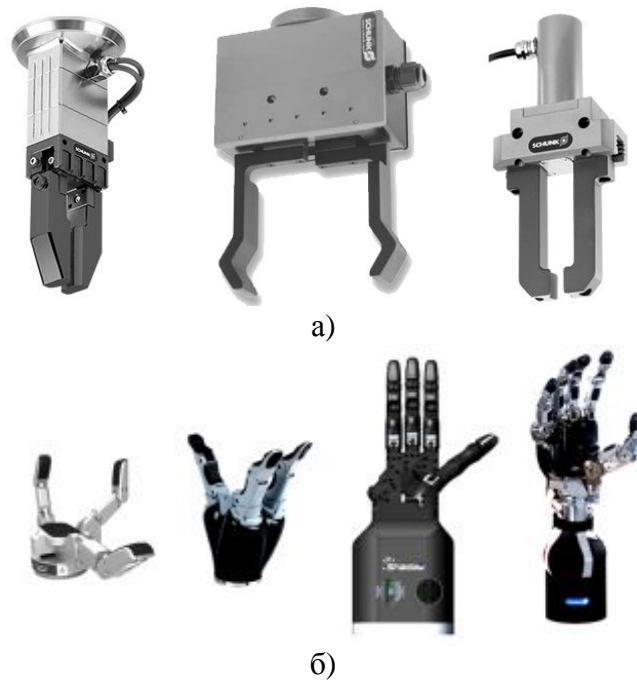


Рис. 4.7. Механічні (а) та антропоморфні (б) захоплювальні пристрої

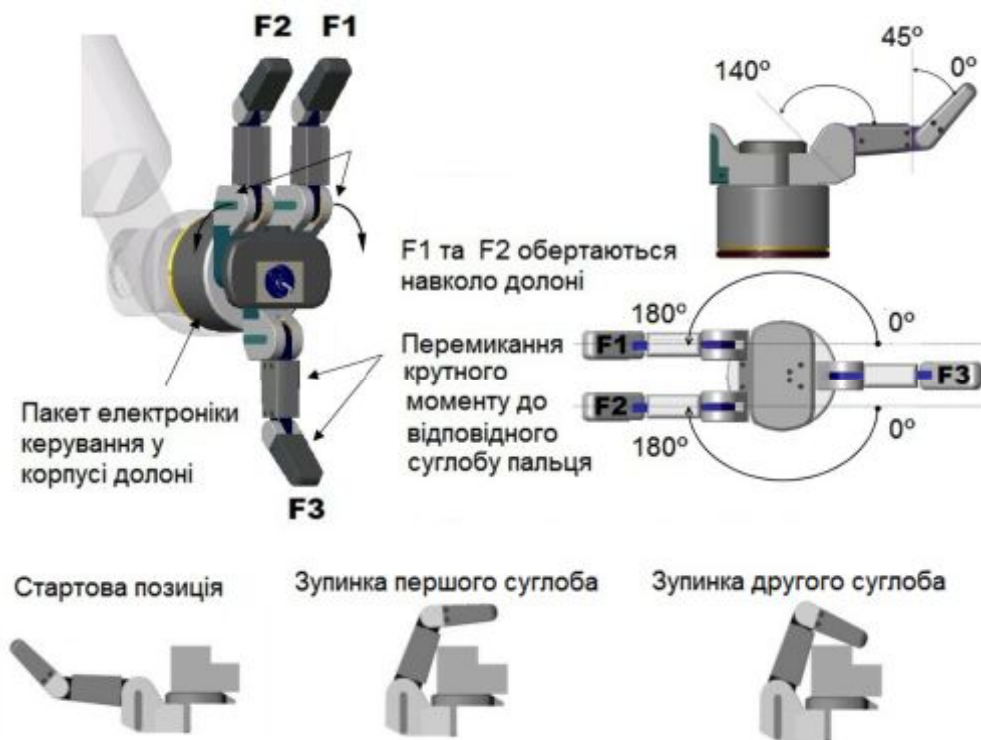


Рис. 4.8. Захоплювальний пристрій з трьома пальцями BarrettHand

Транспортні роботи призначені для автоматизованого транспортування об'єктів, а також для використання у різних транспортних системах. Для встановлення вантажу на транспортний робот можуть використовуватись навантажувачі, що встановлюються на самому роботі, наприклад, транспортні роботи з вилочними захоплюючими пристроями та підйомом вантажу за рахунок підйому транспортуючих пристроїв.

Вилочні захоплювальні пристрої

Вилочний захоплювальний пристрій використовується на автоматичних навантажувачах (рис. 4.9, а).

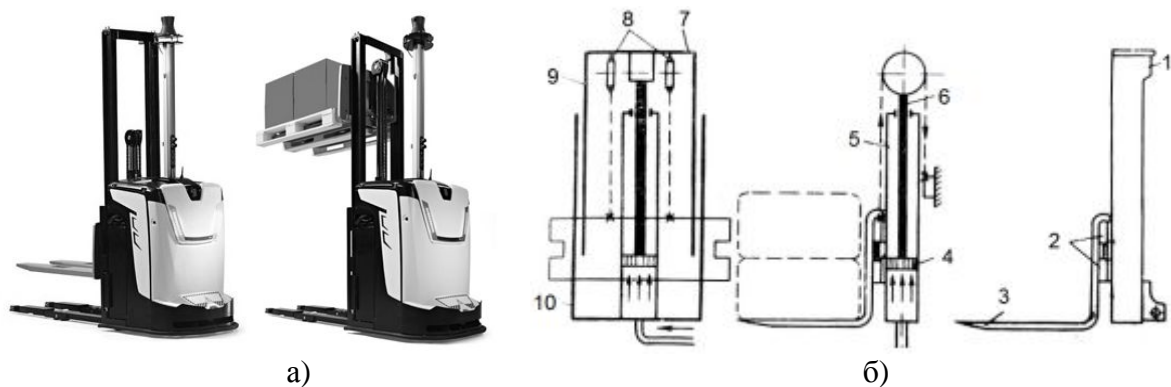


Рис. 4.9. Автоматичний навантажувач з вилочним захоплювальним пристроєм (а) та схема дії вантажопідйомного пристрою навантажувачів (б)

Такі мобільні роботи призначені для встановлення та зняття вантажу з стелажів на складах. Вантаж при цьому знаходиться на стандартних палетах.

Для підйому вилочного захоплювача найчастіше використовують гідравлічні приводи.

На рис. 4.9, б наведена схема вантажопідйомного пристрою навантажувачів, де: 1 - рама; 2 - направляючі вантажної каретки; 3 – вилочний захоплювач; 4 – поршень підйому; 5 - гідроциліндр підйому; 6 - шток; 7 - поперечина; 8 - зірочки; 9 - внутрішні стойки (рухливі); 10 - зовнішні стойки (нерухомі)

При встановленні палет на стелаж часто використовують телескопічні висувні захоплювальні пристрої (рис. 4.10).

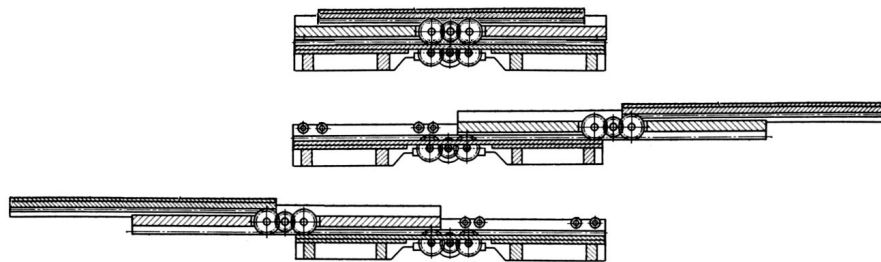


Рис. 4.10. Телескопічний висувний захоплювальний пристрій

Для встановлення вантажу також використовують підйомні засоби. При цьому вантаж треба встановлювати на відповідні опори.

На рис. 4.11 наведений транспортний робот для переміщення вантажу на палетах, що складається з двох направляючих, які переміщуються синхронно за допомогою системи локальної навігації.

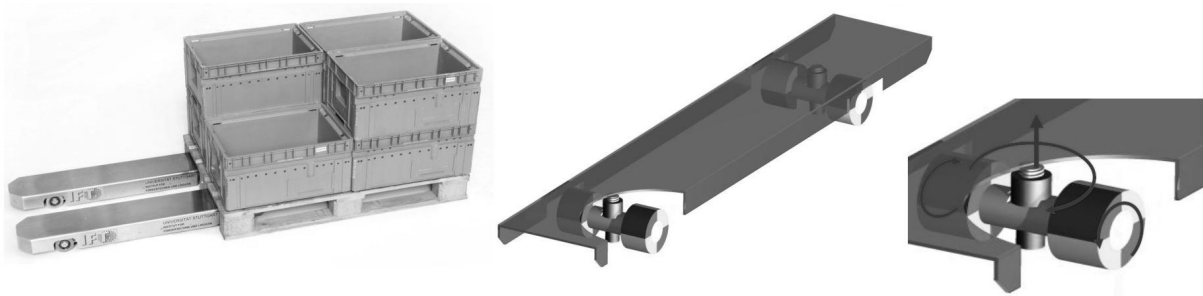


Рис. 4.11. Транспортний робот для переміщення вантажу на палетах

Контрольні запитання

1. Назвіть основні типи захоплювальних пристроїв?
2. На які групи поділяють захоплювальні пристрої за принципом утримання об'єктів?
3. На які групи поділяють захоплювальні пристрої за характером керування?
4. Назвіть основні показники захоплювальних пристроїв?
5. Назвіть основні технічні характеристики пристроїв?
6. З чого складаються захоплювальні пристрої?
7. Для чого використовують з'єднувальні елементи?
8. Чим відрізняються механічні захоплювальні пристрої?
9. Чим відрізняються електромагнітні захоплювальні пристрої?
10. Чим відрізняються вакуумні захоплювальні пристрої?

Глава 5. Основні типи систем керування промислових роботів

5.1. Основні типи систем керування промислових роботів

У даний час створено багато різноманітних пристроїв керування промисловими роботами, починаючи від найпростіших електромеханічних і закінчуючи дуже складними у функціональному відношенні з використанням обчислювальних пристроїв на основі мікропроцесорної техніки [11, 18]..

Слід зазначити, що при розробці, створенні та застосуванні пристроїв керування промислових роботів та робототехнічних комплексів виникають усі традиційні вимоги, запропоновані до пристроїв керування іншими виробничими процесами та устаткуванням, як, наприклад, до пристроїв керування верстатами з числовим програмним керуванням. Зокрема, це стосується надійності, швидкодії, обсягу пам'яті, елементно-конструктивної бази і вартості.

Основою систем керування промислових роботів є сучасна обчислювальна техніка, яка виконує функції керування за допомогою програм і уявляє собою пристрій комп'ютерного керування. Самі промислові роботи, які включають електромеханічні та електронні компоненти, належать до так званих мехатронних систем. Мехатроніка об'єднує системи з комп'ютерним керуванням рухом машин та складних пристроїв переміщення у просторі. Ці системи включають в себе окремі модулі переміщення робочих органів і мають загальні засоби проектування.

Як і усі обчислювальні пристрої системи комп'ютерного керування складаються з апаратних та програмних компонент. Основою апаратних компонент сучасних обчислювальних пристроїв є мікропроцесорна техніка, яка дала можливість здійснювати складні алгоритми керування на досить простих пристроях. Програмні компоненти вирішують два основних завдання: програмування робота та виконання програми, яка керує виконавчими пристроями.

Програми складаються з послідовності окремих дій, для виконання яких використовується набір команд процесорного пристрою. Комп'ютерні системи керування мають деякі особливості, які відрізняють їх від персональних комп'ютерів. Персональні комп'ютери спілкуються з оператором, тому їх пристрої вводу-виводу призначені для обробки текстової та графічної інформації. Програмне забезпечення персональних комп'ютерів виконує складні операції з великою кількістю обчислювальних процедур і тому вони потребують великих розмірів пам'яті та високої швидкості роботи процесора. Системи керування спілкуються з технологічними процесами, де більшість вхідних та вихідних сигналів мають тільки два стана і можуть бути подані у двійковому вигляді. Алгоритм керування таких систем включає в основному логічні операції, які не потребують великих розмірів пам'яті. Крім того програма керуючих систем проектується один раз і подальше не змінюється, а її виконання потребує участі оператора лише у зв'язку з керуванням технологічного процесу.

Розглянемо основні типи систем керування промислових роботів.

За принципом керування роботи розділяються на програмні (1 генерація), адаптивні (2 генерація) і інтелектні (3 генерація).

Програмне керування промислового робота (1 генерація) це автоматичне керування виконавчим пристроєм промислового робота за заздалегідь введеною керувальною програмою.

Розрізняють такі типи систем програмного керування (рис. 5.1):

- системи з цикловим керуванням,
- системи з позиційним керуванням,
- системи з контурним керуванням.

Циклове керування промисловим роботом це керування виконавчим пристроєм промислового робота, за якого здійснюється програмування послідовності виконання його рухів.

Позиційне керування промисловим роботом це керування виконавчим пристроєм промислового робота, за якого рух його робочого органа відбувається по заданих точках позиціонування без контролю траєкторії руху між ними.

Контурне керування це керування виконавчим пристроєм промислового робота, за якого рух його робочого органа відбувається по заданій траєкторії з установленим розподілом у часі значень швидкості.

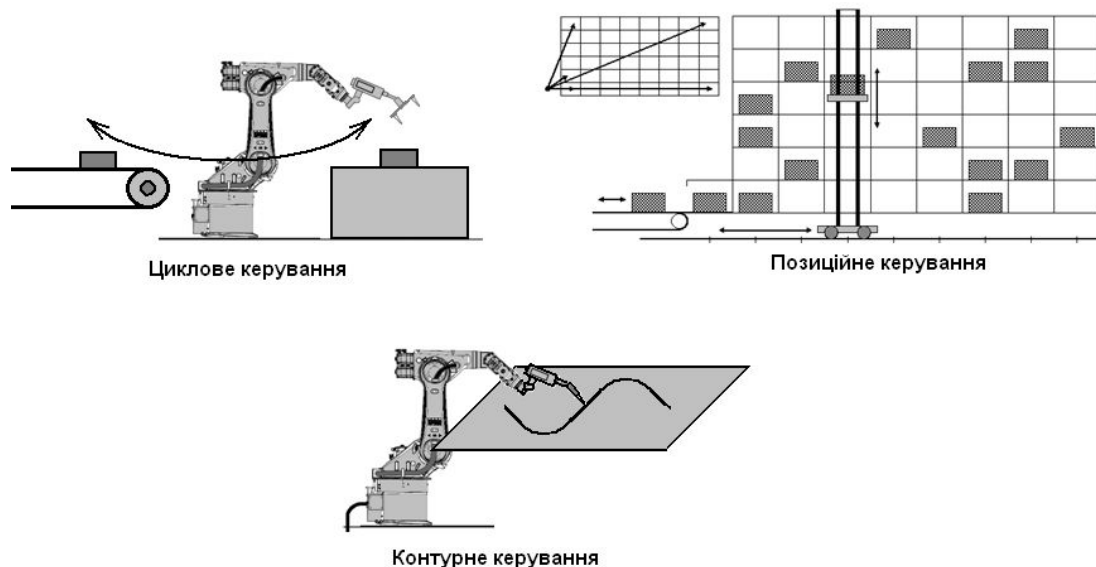


Рис. 5.1. Системи програмного керування

Адаптивне керування промисловим роботом (2 генерація) це керування виконавчим пристроєм промислового робота автоматичною зміною керувальної програми у функції від контрольованих параметрів стану зовнішнього середовища (рис. 5.2).

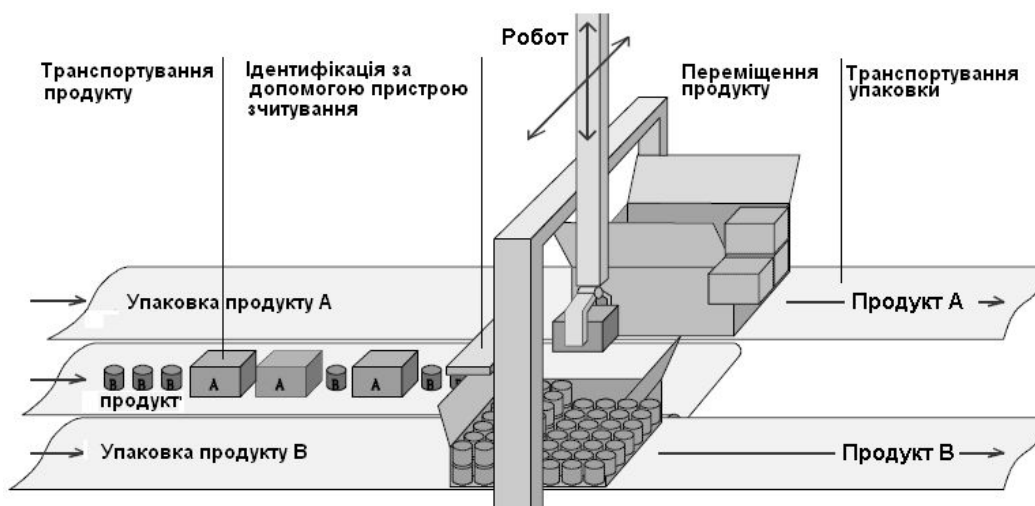


Рис. 5.2. Адаптивний робот

Штучний інтелект промислового робота (3 генерація) забезпечує здатність промислового робота сприймати і логічно оцінювати навколишні обставини і визначити рухи, необхідні для досягнення заданої мети роботи. Сьогодні такі роботи знаходяться у стадії розробки. На рис. 5.3 наведений робот-андроїд ASIMO фірми Хонда, який має деякі ознаки штучного інтелекту. Так він може визначати рухомі об'єкти, жести та оточення, а також впізнавати звуки та обличчя.

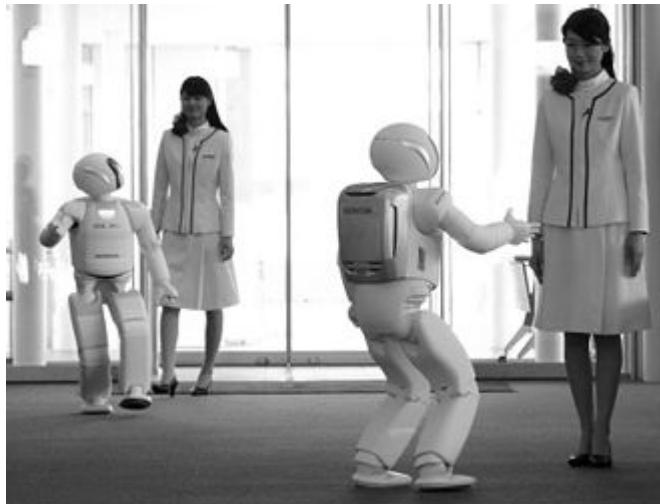


Рис. 5.3. Робот-андроїд ASIMO фірми Хонда

5.2. Рівні керування промисловими роботами

Однією із ознак, що визначає вимоги до системи керування промислових роботів та робототехнічних комплексів за функціональними можливостями та складності системи керування, є рівень керування (рис. 5.4).

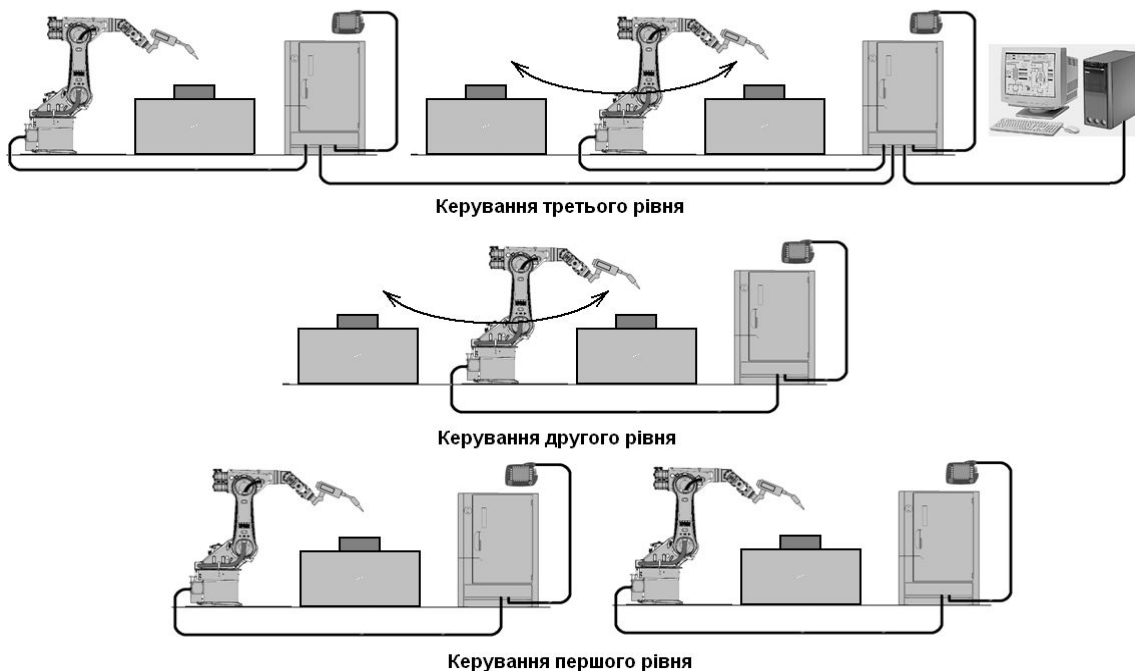


Рис. 5.4. Рівні керування

Керування 1-го рівня. Кожну одиницю технологічного устаткування доповнюють відповідним промисловим роботом, що виконує прості циклічні операції - установку в устаткування заготівель, зняття деталей і т.д. Цей рівень являє собою керування окремим роботом або найпростішим роботизованим комплексом.

Керування 2-го рівня. Технологічно об'єднану групу устаткування обслуговує стаціонарний або рухливий промисловий робот, що здійснює установку та заміну деталей, виконуючи інші допоміжні операції (вимір, контроль і т.д.); при цьому поведіння промислових роботів визначається запитами від одиниці устаткування та умовами виконання програми обслуговування. Цей рівень забезпечує керування роботизованим

технологічним комплексом середньої та високої складності.

Керування 3-го рівня. Високий ступінь автоматизації на основі групового керування устаткуванням і роботами від розподіленої системи керування та центральної електронної обчислювальної машини, що вирішує також задачі диспетчеризації, керування складом, транспортними засобами і т.д. Цей рівень здійснює керування гнучкою виробничою системою.

За кількістю сумісно керованих роботів система керування поділяються на системи **індивідуального та групового керування**. В перших кожний з промислових роботів має систему локального керування (конструктивно виконується у вигляді шафи керування), призначену для координації дій окремих функціональних елементів промислових роботів один з одним і з обслуговуванням технологічним обладнанням, подавальними та відвідними транспортними системами, з якими взаємодіє промисловий робот. При цьому виникає потреба в створенні додаткових засобів для узгодження фізичної природи сигналів і їх абсолютних значень, які використовують у систем керування роботами, з іншим устаткуванням, яке входить до складу робототехнічної системи.

Групове керування промисловим роботом це керування кількома промисловими роботами, здійснюване координуванням їхніх керувальних програм. При груповому керуванні промислових роботів, яке може бути централізованим, децентралізованим і комбінованим, здійснюється синхронізоване керування групою промислових роботів і технологічного обладнання від одного керуючого пристрою. Кожний робот при цьому може мати свою локальну систему керування (шафу), яка є нижнім рівнем керування (децентралізованим).

За характером участі в керуванні людини-оператора системи керування роботами поділяються на **автоматичні й автоматизовані**. Перші забезпечують будь-який режим роботи промислових роботів без участі людини (наприклад, керування за програмою). Найчастіше вдаються до автоматизованих систем керування, а з метою зниження навантажень на людину-оператора в процесі керування, підвищення швидкості прийняття рішень і зменшення можливості виникнення похибок — до інтерактивних (людино-машинних) систем.

Склад обчислювального пристрою, який виконує алгоритм керування промисловими роботами може значно відрізнятись в залежності від типу системи керування та генерації робота.

Найпростішими є системи **циклового керування**, бо вони виконують у загальному випадку двійкові логічні операції.

Більш складними є системи **позиційного та контурного керування**, бо вони потребують додаткове оброблення числових даних. Таки системи керування можна віднести до класу систем **числового програмного управління (ЧПУ)**.

Найскладнішими є системи адаптивного та інтелектного керування, бо вони повинні виконувати складні алгоритми обробки великої кількості даних.

Системи керування 2 та 3 рівня можуть мати в своєму складі декілька різних по своїм можливостям та структурі локальних систем керування, зв'язаних одне з іншим за допомогою локальних обчислювальних мереж.

Сучасні складні керуючі пристрої, якими є пристрої керування промисловими робототехнічними комплексами, будуються по модульному принципу. Це дає можливість будувати таку систему керування, яка має структуру та параметри відповідно з алгоритмом керування, що виконується.

5.3. Системи керування універсальних та спеціалізованих промислових роботів

В залежності від задач, що вирішуються, можуть використовуватись універсальні або спеціалізовані промислові роботи.

Універсальні промислові роботи призначені для виконання визначених завдань і мають систему керування, що входить у склад робота. Така система керування призначена для керування самим роботом та обладнанням, що входить до складу цього робота,

наприклад, робочими органами (рис. 5.5).



Рис. 5.5. Універсальний промисловий робот

Сучасні пристрої керування промислових роботів будуються по модульному принципу, що дає можливість будувати таку систему керування, яка має структуру та параметри відповідно з визначеним алгоритмом керування.

При використанні роботів у складі технологічного обладнання для здійснення функцій простого переміщення виробів універсальні роботи найчастіше мають надлишкові здатності, що впливає на їх вартість. Тому у складі технологічного обладнання часто використовують спеціалізовані роботи, керування якими здійснює система керування, що здійснює керування усього технологічного обладнання.

Найбільш поширеними для вирішення таких задач є системи керування на основі програмованих логічних контролерів, які найчастіше мають умонтовані функції керування рухом.

Другим прикладом спеціалізованих промислових роботів є автономні мобільні роботи (рис.5.6), які мають автономну систему керування, яка здійснює переміщення маніпулятора та самого робота з різними засобами переміщення (колісні, гусеничні або крокуючі мобільні роботи).

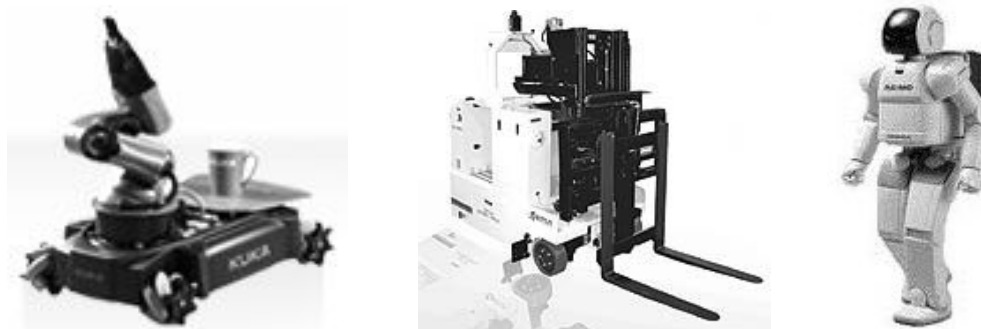


Рис. 5.6. Мобільні роботи

Крім того системи керування мобільних роботів вирішують задачі навігації, які здійснюють орієнтацію робота та його переміщення по вказаному маршруту. Для керування такими роботами найчастіше використовують мікроконтролери на основі мікропроцесорної техніки, а також додаткові пристрої у вигляді датчиків внутрішньої та зовнішньої інформації, та регульованих приводів.

Контрольні запитання

1. Що є основою сучасних систем керування промислових роботів?

2. З яких компонент складаються системи комп'ютерного керування?
3. Як розділяються роботи за принципом керування?
4. Які функції виконує програмне керування промислового робота?
5. На які типи розрізняють системи програмного керування?
6. У чому полягає адаптивне керування?
7. Що визначає рівень керування робототехнічних комплексів?
8. Як розрізняють пристрої керування за типом сигналів?
9. За яким принципом будуються сучасні складні керуючі пристрої?
10. Чим відрізняються автоматичні та автоматизовані роботи?

Глава 6. Структура і склад керувальної системи промислового робота

6.1. Узагальнена структура автоматичних роботів

Керувальна система промислового робота це система, призначена для формування і видавання керувальних дій маніпулятора відповідно до керувальної програми

і яка складається з пристрою керування та систем інформаційно-виміральної, технічного зору, тактильної та зв'язку [3].

Керувальний пристрій автооператора (промислового робота) це пристрій для формування і видавання керувальних дій виконавчому пристрою відповідно до керувальної програми.

Керувальна програма це системна програма, що реалізує набір функцій керування, до якого включають керування ресурсами та взаємодію з зовнішнім середовищем системи оброблення інформації, відновлення роботи системи після виявлення неполадок в технічних засобах.

Таким чином керувальна система промислового робота складається з апаратних компонент – керувального пристрою, та програмних компонент – керувальної програми.

В наш час створено багато різноманітних спеціалізованих пристроїв керування промисловими роботами. Але з розвитком комп'ютерних засобів керування значно зросли можливості промислових контролерів широкого призначення. Сучасні промислові контролери мають функції логічного керування та позиціонування, що дає можливість використовувати їх для керування маніпуляторами та промисловими роботами. Тому в залежності від рівня керування робототехнічних систем та комплексів склад пристрою або системи керування може значно змінюватися. Керування промисловим роботом може здійснюватися спеціалізованим пристроєм керування або системою керування, яка виконує увесь алгоритм керування робототехнічного комплексу.

Спеціалізовані пристрої керування використовуються як правило в універсальних роботах. Програмне забезпечення таких роботів включає функції, які забезпечують переміщення робочого органа за заданими траєкторіями з автоматичним визначення переміщення по окремих осях. До складу пристрою керування входить також ручний програматор, за допомогою котрого складається програма керування та здійснюється керування роботом у ручному режимі. Зовнішній вигляд такого робота може мати, наприклад, такий вигляд (рис. 6.1,а).

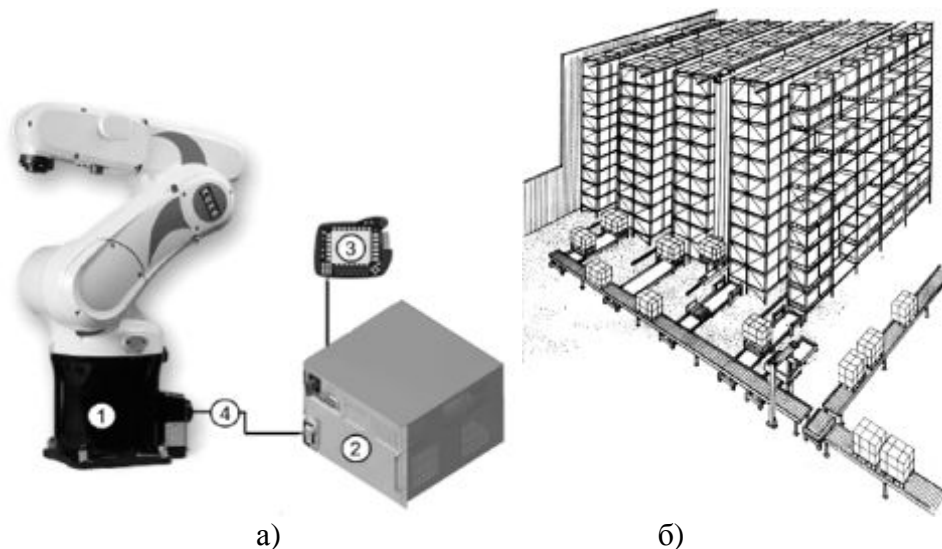


Рис.6.1. Зовнішній вигляд робототехнічних систем

- а) - універсальний автоматичний робот: 1 – механічні компоненти, датчики, виконавчі пристрої, 2 – шафа керування, 3 – ручний програматор, 4 кабелі
б) - автоматизована транспортно-складська система

Для тих випадків, коли відносно простий робот є частиною складного робототехнічного комплексу, наприклад, автоматизованої транспортно-складської системи, використовуються універсальні системи керування, а саме, промислові контролери широкого призначення (рис. 6.1,б). Система керування здійснює у цьому випадку керування всією системою, а керування роботів є складовою частиною всієї програми.

Незалежно від того яка система керування використовується, узагальнена структура автоматичних роботів може бути подана у вигляді рис. 6.2, та розглянута як узагальнена структура машин з комп'ютерним керуванням, орієнтованих на завдання автоматизованого машинобудування [4].

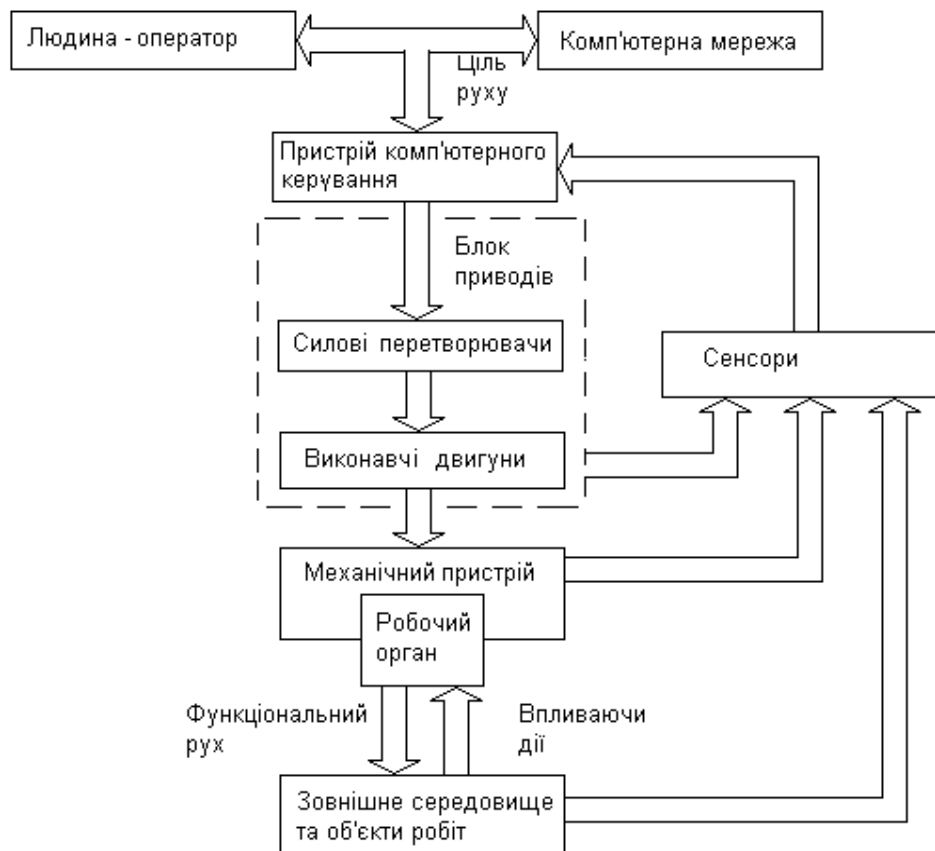


Рис.6.2. Узагальнена структура автоматичних роботів

6.2. Склад керувальної системи промислового робота

Система керування, яка обслуговує механічні пристрої з робочим органом, включає такі функціональні елементи: пристрій комп'ютерного (програмного) керування, блок приводів з силовими перетворювачами та виконавчими двигунами, набір сенсорів, які створюють інформаційну систему робота. Системи керування вищого рівня.

В залежності від завдань, які вирішуються, пристрій комп'ютерного керування може бути спеціалізованим пристроєм, призначеним для керування роботами, або універсальним програмованим логічним контролером. Для налагодження робота можна використовувати окремий пульт керування (пульт оператора), який є складовою частиною пристрою керування, за допомогою якого складається програма керування роботом.

Блок приводів, крім силових перетворювачів може включати окремі пристрої керування двигунами, які забезпечують необхідні режими роботи двигунів. Число приводів маніпулятора робота відповідає числу його ступенів рухливості.

Сенсори, включаючи датчики положення промислового робота і технологічного устаткування служать для введення інформації в систему керування про фактичне положення цих об'єктів. Устрій цих датчиків і призначення переданої ними інформації, характер використання її в системі керування залежать від типу систем, розглянутих нижче.

У найпростіших роботах деякі елементи даної схеми можуть бути відсутні. У більш складних роботах, навпаки, з'являються додаткові елементи. Може змінюватися і компонування всієї схеми. Побудова системи керування промислового робота, її зв'язку з керуванням технологічним обладнанням і програмне забезпечення системи грають

вирішальну роль у наданні роботі необхідних якостей. Саме відповідною побудовою системи керування і робочих програм можна домогтися усунення впливу несприятливих факторів при роботі механізмів робота, домогтися високої точності позиціонування, повільності рухів, швидкодії, відсутності коливань при зупинках тощо. Наприклад модуль аварійного блокування спрацьовує по сигналах датчиків положення промислового робота і технологічного обладнання у випадку, якщо з'являється неприпустиме відхилення від заданої програми дій або виникають які-небудь інші несправності.

З точки зору функціонального зазначення у сучасних промислових роботів можна відокремити керування маніпуляційною системою та системою переміщення (рис. 6.3).

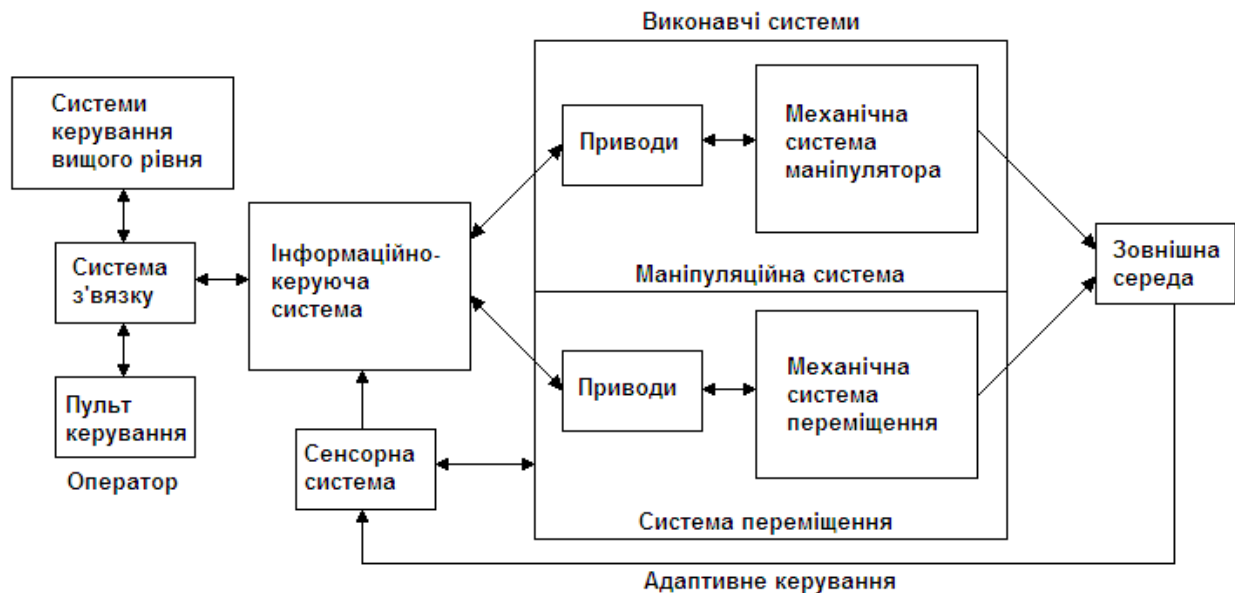


Рис. 6.3. Функціональна схема сучасного робота

Система керування може бути централізованою та децентралізованою або розподіленою.

Централізована система керування має один процесорний модуль, який виконує усі функції керування і може бути виконана у вигляді компактного блоку або за модульним принципом. Окремі так звані функціональні модулі можуть мати умонтований процесор, що дає можливість виконувати свої функції незалежно від процесорного модуля, який здійснює тільки загальне керування таким модулем. Такими модулями можуть бути модулі позиціонування та регулювання. Централізована система керування виконується у вигляді моноблоку або розташовується у одній шафі керування.

Централізована система керування може мати децентралізовані модулі, які підключаються за допомогою локальної обчислювальної мережі і окремі її модулі (децентралізована периферія) можуть бути віддалені від процесорного модуля на декілька сотен метрів (в залежності від локальної мережі).

Децентралізована або розподілена система керування складається з декількох систем керування, які об'єднуються у єдину систему керування за допомогою локальних мереж.

6.3. Рівні ієрархії системи керування рухом промислового робота

Розрізняють п'ять рівнів ієрархії, з яких складаються системи керування рухом промислового робота (рис. 6.4).

На нижньому рівні (**рівень I - виконавча система приводів** робота) реалізується керування окремими функціональними ступенями його рухомості. Характеристики цього рівня визначають динамічні та точнісні властивості промислового робота. Тому цей рівень називається виконавчим. На цьому рівні система керування роботами є сукупністю

слідкуючих систем (приводів) кожного ступеня рухомості, причому робочі механізми робота на цьому рівні керування утворюють його механічну систему.

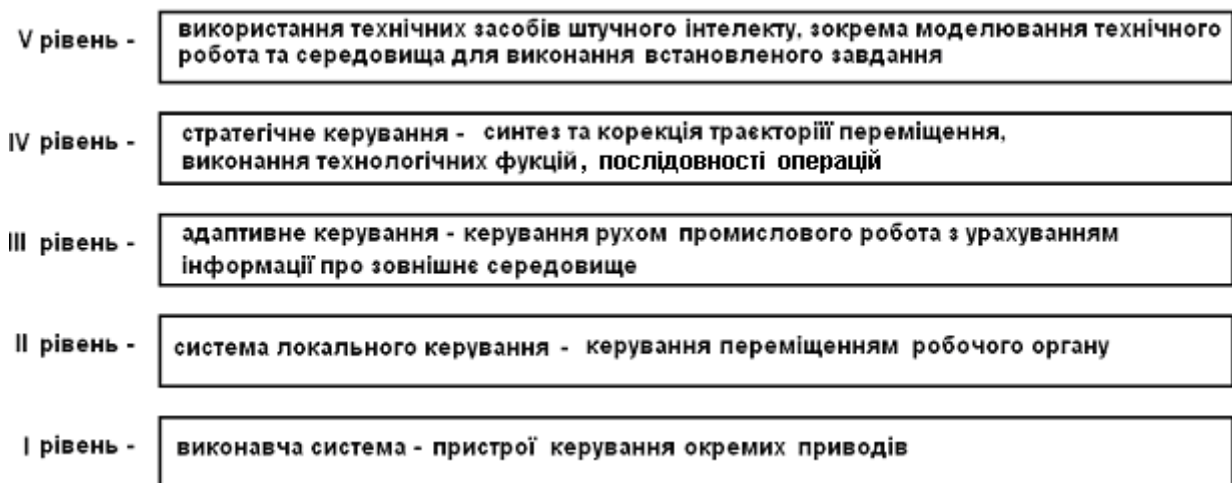


Рис. 6.4. Рівні ієрархії системи керування рухом промислового робота

На нижньому рівні (**рівень I - виконавча система приводів** робота) реалізується керування окремими функціональними ступенями його рухомості. Характеристики цього рівня визначають властивості динаміки та точності промислового робота. Тому цей рівень називається виконавчим. На цьому рівні система керування роботами є сукупністю слідкуючих систем (приводів) кожного ступеня рухомості, причому робочі механізми робота на цьому рівні керування утворюють його механічну систему МС.

Виконавчий рівень системи керування роботом має внутрішні зв'язки за швидкістю, положенням, моментами (зусиллями) та іншими параметрами, що забезпечує динамічні та статичні характеристики кожного із ступенів його рухомості з урахуванням пружності механічних ланок, тертя, люфтів механічної системи в цілому. На цьому рівні забезпечується плавність переміщення робочого органу робота за допомогою необхідних характеристик розгону й гальмування з урахуванням інерційних факторів та обмежень за точністю позиціонування.

Рівень II — це **система локального керування рухом** промислового робота, куди входять **розрахунок керуючих дій та реалізація програмного керування приводами для забезпечення траєкторії переміщення робочого органу робота**. На цьому рівні здійснюються перерахунок координат цілі з тривимірного простору, в якому задається переміщення робочого органу роботів, у простір характеристичних координат.

Другий (локальний) рівень керування рухом промислового робота **прийнято також називати тактичним**. У загальному випадку на цьому рівні можуть розв'язуватись такі задачі: планування елементарних рухів робочого органу промислового робота; розподіл цих рухів на узгоджені рухи приводів кожного із ступенів рухомості механічної системи робота. Задачі тактичного рівня забезпечуються керуючими командами верхніх рівнів керування рухом промислового робота, а також результатами обробки необхідної інформації, що надходить з нижчого виконавчого рівня, тобто від робочих механізмів.

На **рівні III синтезується керування рухом промислового робота з урахуванням інформації про зовнішнє середовище**. На цьому рівні вносять корекцію в жорстке програмування з урахуванням стану зовнішнього середовища та самого робота на підставі інформації, що надходить від відповідних пристроїв надання йому чутливості. Як і на рівні II, тут також реалізуються алгоритми виконання елементарних типових операцій, у зв'язку з чим ряд керуючих дій з рівня III може безпосередньо надходити на рівень I, обминаючи рівень II. Тому за характером реалізації технологічних операцій рівні II та III можна об'єднати в рівень синтезу елементарних типових операцій.

Таким чином, **на рівні III реалізується принцип адаптивного керування**.

Рівень IV, який називається **стратегічним**, використовується якщо потрібно задавати керуючі програми промислового робота у вигляді найменувань або послідовностей виконуваних операцій. На цьому рівні синтезуються закінчені складні дії, пов'язані з досягненням кінцевої конкретної мети (наприклад, зварювання виробу). Для цього виконується роздроблення операції як мети керування на ряд технологічних переходів, які реалізуються на нижньому рівні керування рухом промислового робота (наприклад, орієнтування зварювальної головки, формування режимів відносного переміщення робочого органа, розрахунок траєкторії переміщення, контроль якості зварного шва).

При цьому синтез і корекція траєкторії переміщення робочого органа можуть виконуватись як перед початком роботи промислового робота, так і при його експлуатації.

Найвищий, **рівень V** системи керування рухом робота **містить технічні засоби штучного інтелекту, зокрема засоби сприйняття обстановки та моделювання середовища** в тій чи іншій формі. Задачами цього рівня керування рухом промислового робота є аналіз інформації, що надходить у вигляді завдання від людини-оператора, а також обробка даних від засобів збирання інформації про зовнішнє середовище та результати його моделювання, завдяки чому можна планувати дії промислового робота з урахуванням прогнозування зміни стану середовища..

Крім спеціальних функцій, які має виконувати промисловий робот, на рівні V керування його рухом забезпечуються також умови функціонування всіх підсистем робота, а саме, маніпуляційної, інформативної, систем керування їх окремих елементів, самовдосконалення алгоритму роботи.

Це гарантується завдяки централізованому контролю підсистем промислового робота у вигляді програмних тестів, а спілкування з людиною-оператором здійснюється в діалоговому режимі обмеженою природною мовою.

Практично в системах керування роботами функції рівнів можуть змішуватись завдяки широким можливостям сучасних процесорів, тому ієрархія керування рухом промислового робота в певній мірі є умовною.

Програмне забезпечення сучасних систем керування складається з програмного забезпечення проектування керувальної програми та програмного забезпечення виконання керувальної програми, а у складі промислового робота розрізняють **засоби проектування** та **засоби виконання** керувальної програми.

Проектування керувальної програми здійснюється за допомогою спеціалізованого пристроя керування або універсального обчислювального пристроя (наприклад, персонального комп'ютера), який виконує функції системи проектування. Засоби проектування можуть не входити до складу системи керування, а використовуватись тільки при проектуванні та налагодженні програми.

Засоби виконання забезпечують роботу промислового робота у різних режимах (ручний, автоматичний, покрокове виконання програми, тощо), що здійснюють налагодження робота, встановлення вихідних параметрів, спрощених засобів створення та налагодження керувальної програми, а також її виконання за допомогою пульта керування, що входить у склад системи керування.

Таким чином **програмування промислового робота** це розроблення, введення і налагодження керувальної програми промислового робота.

Реалізація різних рівней системи керування залежить від типу промислових роботів.

Склад обладнання на різних рівнях ієрархії системи керування промислових роботів на основі програмованих логічних контролерів (комплексна система керування) наведений на рис. 6.4.

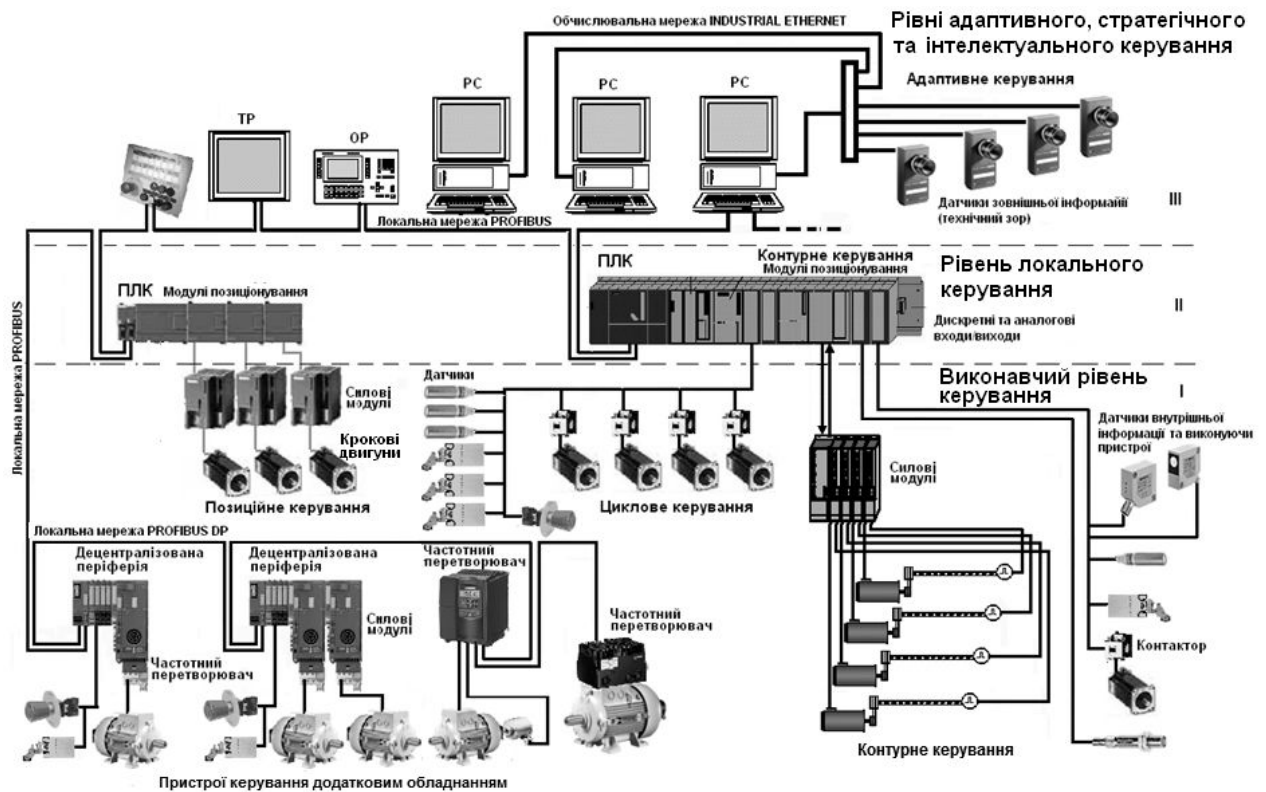


Рис. 6.4. Склад обладнання на різних рівнях ієрархії системи керування промислових роботів на основі програмованих логічних контролерів

6.4. Засоби програмування промислових роботів

Застосовуються різноманітні засоби програмування систем керування промислових роботів (рис. 6.5).

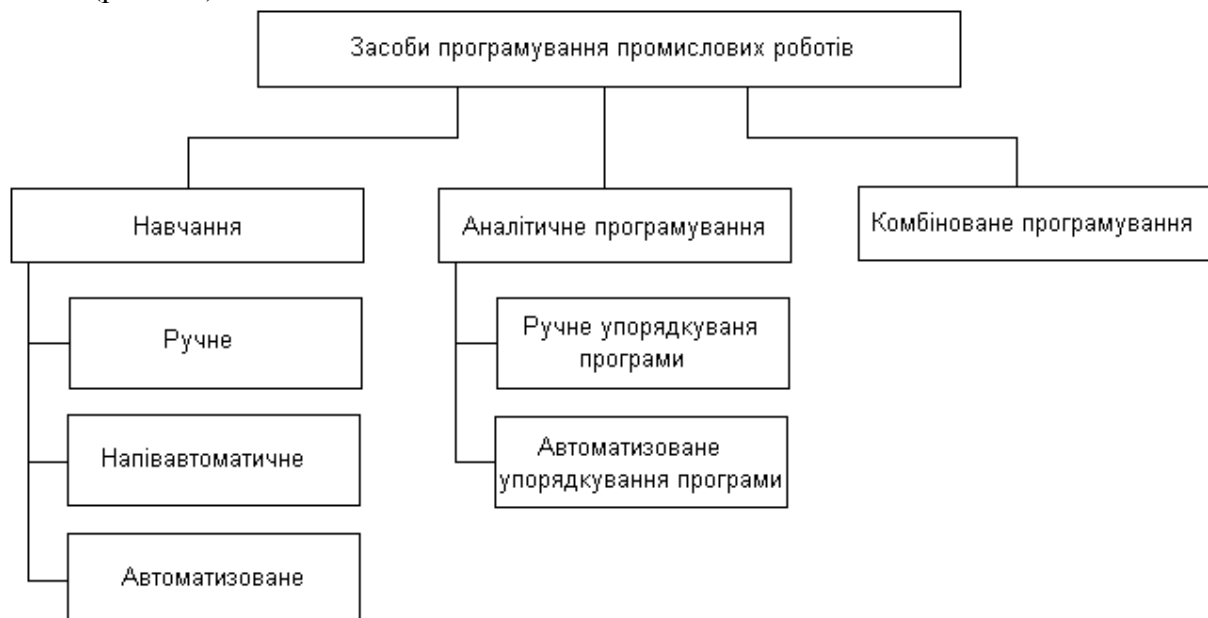


Рис. 6.5. Засоби програмування промислових роботів

Аналітичне програмування промислового робота – це програмування промислового робота, за якого керувальну програму складають на основі розрахунку, а потім заносять до керувального пристрою.

Аналітичне програмування, здійснюване розрахунковим шляхом, (offline-

програмування) відрізняється тим, що спочатку провадиться розрахунок програми, потім вона вноситься в запам'ятовуючий пристрій обчислювального пристрою робота. Таким чином може бути закладене декілька програм для виконання різноманітних технологічних операцій, а перепрограмування дії робота здійснюється шляхом переключення програм. Математичне забезпечення таких систем може бути дуже складним.

Навчання промислового робота – це програмування промислового робота, за якого складання і введення програми здійснює людина оператор за допомогою попереднього руху робочого органа з занесенням до керувального пристрою значень параметрів цього руху у вигляді керувальної програми.

Програмування шляхом навчання (online-програмування) провадиться людиною-оператором за допомогою пристрою пульта керування у ручному режимі (метод Teach-In), або за допомогою безпосереднього механічного переміщення кінця маніпулятора рукою людини (метод Playback). Це переміщення, яке повинно відповідати ходу потрібній маніпуляційній операції, автоматично перетворюється в програму и записується в пам'ять керувального пристрою. Відповідно до цієї програми робот автоматично може неодноразово повторювати запрограмовані рухи у потрібному темпі.

Розглянемо можливість реалізації навчання роботів за допомогою апаратно-програмного комплексу Arduino на прикладі маніпулятора з трьома осями. Більш детально апаратно-програмний комплекс Arduino буде розглянутий далі.

Для переміщення суглобів маніпулятора використовуються сервоприводи, що забезпечують поворот валу від 0 до 180°. Спрощена кінематична схема маніпулятора та схема його підключення до контролера Arduino наведені на рис. 6.6.

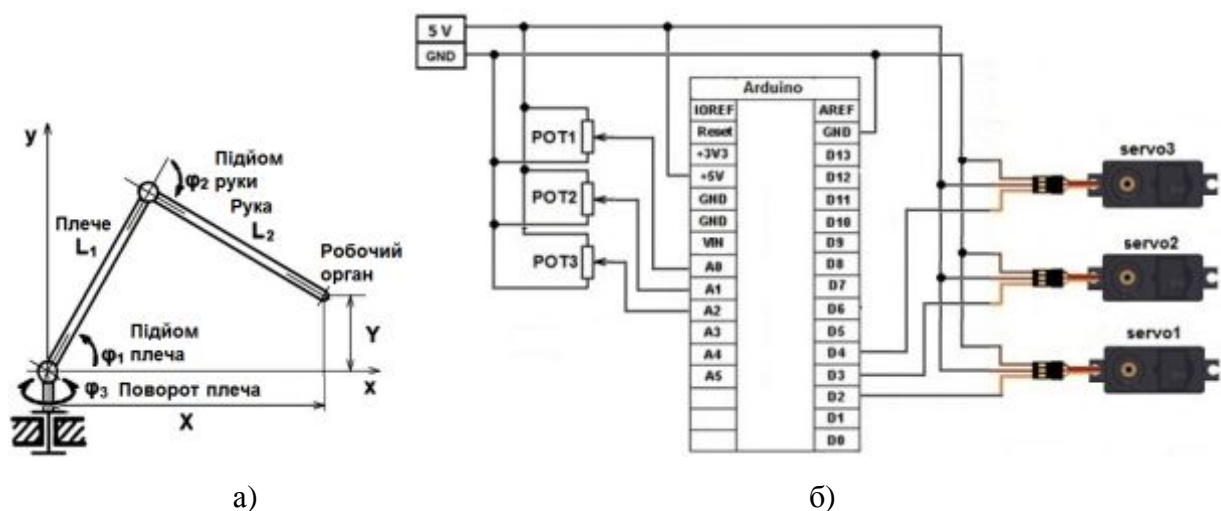


Рис. 6.6. Кінематична схема маніпулятора з трьома осями (а) та схема його підключення до контролера Arduino (б)

Керування сервоприводом здійснюється за допомогою команди

```
servo1.write(angle);
```

де `servo1` - позначення сервопривода,

`angle` - встановлює кут від 0 до 180, на який повинен повернутися сервопривод.

Керування сервоприводами у ручному режимі здійснюється за допомогою потенціометрів POT1, POT2, POT3, що підключені відповідно до аналогових входів A0, A1 та A2. Потенціометри POT1, POT2, POT3 здійснюють керування сервоприводами `servo1`, `servo2`, `servo3`, що здійснюють поворот суглобів маніпулятора відповідно на кути ϕ_1 , ϕ_2 та ϕ_3 (рис. 6.6,а). Оскільки аналогові входи видають значення від 0 до 1023, треба здійснити зміну масштабу, щоб отримати значення від 0 до 180.

Для визначення значень для керування приводами, отриманих з потенціометрів,

використовується функція виводу даних керування на дисплей (рис. 6.7).

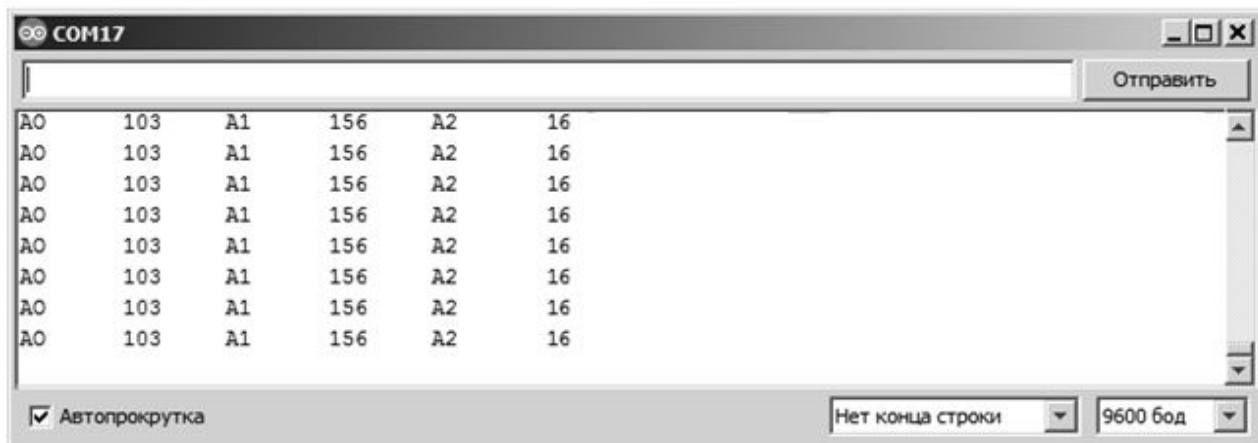


Рис. 6.7. Значення сигналів керування приводами

Програмування з використанням навчання може виконуватись таким чином.

У ручному режимі суглоби маніпулятора послідовно встановлюються у положення, що відповідають переміщенню маніпулятора. Значення кутів повороту суглобів для вихідного, кожного послідовного та кінцевого положення фіксуються та записуються в програму, що здійснює необхідні переміщення маніпулятора. У разі циклового керування вихідне та кінцеве положення однакові.

Режими роботи систем керування роботів.

Системи керування роботами мають різні режими роботи, а саме автоматичний, коли виконується введена програма, та ручний, коли за допомогою пульта оператор може здійснювати окремі переміщення робочого органу робота. Ручний режим використовується для навчання, або для налагодження робота. При налагодженні робота використовується також режим покрокового виконання програми.

У загальному випадку для функціонування робота необхідна інформація про послідовність виконання кроків програми, геометрична інформація про просторове положення окремих ступенів рухливості і про час виконання окремих кроків програми та окремих керуючих команд. Тому керуюча програма в системі керування робота організована у визначену структуру, що утримує зазначену інформацію про положення, послідовності і часу.

Залежно від типу привода відпрацювання руху промислового робота може бути як неперервним (контурні системи керування), так і дискретним (позиційні системи керування). У першому випадку програма реалізується у вигляді неперервної траєкторії руху промислового робота, а в другому — послідовності його позицій, заданих програмою. Проте і при контурному керуванні рухом промислового робота програмують тільки опорні точки відтворюваної траєкторії, тоді як проміжні визначаються інтерполяцією за допомогою спеціальних функцій - лінійних і колових інтерполяторів, при цьому, на відміну від позиційного керування, задається максимально допустиме відхилення від заданої траєкторії. У цьому випадку робочого органа робота здійснюватимуть рух за згладженою кусково-неперервною траєкторією.

Таким чином, можна скористатись, по суті, позиційною системою керування рухом промислового робота з включенням до неї інтерполятора. Тоді процес навчання промислового робота з такою системою керування практично не відрізнятиметься від процесу його навчання з позиційною системою керування.

У тих випадках, коли по окремих ступенях рухомості промислового робота використовують різні системи керування (наприклад, контурну систему керування по основних координатах його руху та позиційну систему керування орієнтуванням робота під

час локальних переміщень), доцільним є застосування систем керування контурно-позиційного типу.

Наприклад, система керування роботів фірми KUKA, що використовують мова KRL, має команду переміщення від точки до точки з невизначеною траєкторією – команда PTP, команду переміщення по прямій – команда LIN, команду переміщення по колу (кругова траєкторія) – команда CIRC (рис. 6.8).

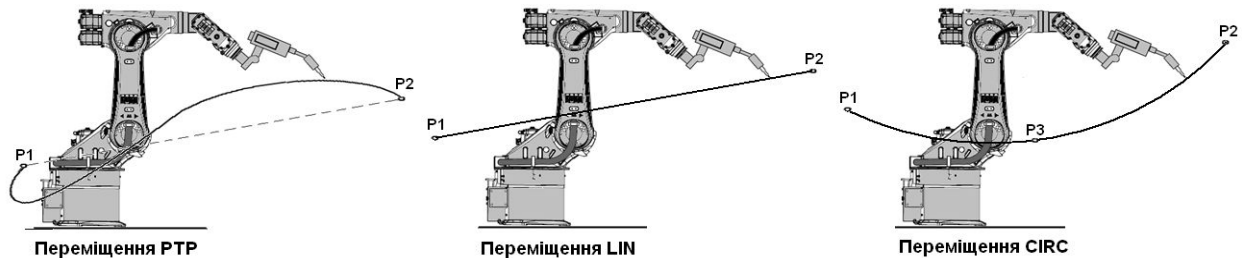


Рис. 6.8. Виконання команд переміщення від точки до точки PTP, переміщення прямою LIN та переміщення за круговою траєкторією CIRC

Переміщення від точки до точки (PTP): Робот виконує переміщення по найбільш швидкій траєкторії з початкової P1 до кінцевої точки P2. Найбільш швидка траєкторія, як правило, не є найбільш короткою траєкторією, а само не прямою. Якщо осі робота здійснюють обертальний рух, то криволінійні траєкторії можуть виконуватись швидше ніж прямі. Сама траєкторія у цьому випадку може бути непередбаченою.

Переміщення по прямій лінії (LIN): Робот виконує переміщення з визначеною швидкістю по прямій з початкової P1 до кінцевої точки P2.

Переміщення по дузі кола (CIRC): Робот виконує переміщення з визначеною швидкістю вздовж кругової траєкторії до кінцевої точки. Кругова траєкторія визначається початковою P1, допоміжною P3 та кінцевою точкою P2.

Окремо ці команди можуть виконувати циклове або позиційне керування, а разом – контурне керування.

У систем адаптивного керування структура чи параметри можуть автоматично змінюватися для зберегання якості керування або для його вдосконалення при накопиченні досвіду. Адаптивні системи керування забезпечують оптимальні умови взаємодії системи «робот - об'єкт — середовище».

До найбільш удосконалених належать системи керування із штучним інтелектом, які забезпечують автономне функціонування промислового робота відповідно до мети, сформульованої у загальному вигляді, в умовах неупорядкованого середовища. Такі системи вдосконалюють алгоритм своєї роботи на підставі даних про стан зовнішнього середовища, будують динамічну модель зовнішнього світу з урахуванням перспективи її розвитку, за результатами прогнозування виробляють план дії.

Функції програмного забезпечення у залежності від рівня інтелекту робота можуть включати: докладний аналіз завдання; розбивка його на окремі задачі та елементарні дії; планування прямування робочого органа для реалізації цих дій; визначення послідовності точок позиціонування, обхід яких дозволить відтворити бажану траєкторію і, нарешті, перетворення координат точок позиціонування робочого органа в необхідні положення по окремим осям маніпулятора і формування команд керування приводами.

Важливої з погляду організації взаємодії гнучких виробничих модулів, що використовуються у складі технологічних ліній та ділянок, є підтримка інформаційного обміну робота з верхнім стосовно нього рівнем керування.

Роботи у складі гнучких виробничих модулів можуть працювати цілком автономно, тоді на систему керування робота та її програмне забезпечення лягають функції координації дій з компонентами такого модуля.

При наявності каналу зв'язку робота з обчислювальним пристроєм верхнього рівня

та підтримки процесу обміну інформацією з обох сторін програмним забезпеченням, можна створити ієрархії рівнів керування з чітким поділом задач кожного рівня. У цьому випадку обчислювальний пристрій верхнього рівня бере на себе координацію дій усього устаткування гнучких виробничих систем, усунення можливості аварійних ситуацій, наприклад сутички маніпулятора з рухливими ділянками інших устроїв або сутички двох маніпуляторів, що оперують в одній зоні, діагностування устаткування та інші функції, які забезпечують роботу системи.

З іншого боку інформаційні системи та виконавчі пристрої роботів можуть мати у своєму складі системи керування на основі обчислювальних пристроїв і своє досить складне програмне забезпечення, наприклад це має місце у системах технічного зору, локаційних системах, програмованих електроприводах. Зв'язок з такими пристроями може здійснюватись по локальним мережам, а тому доступ до них можуть мати усі системи керування та обчислювальні пристрої, підключені до цієї мережі.

Завдання до лабораторної роботи

Для складання програми переміщення робочого органа маніпулятора, наведеного на рис. 6.6, з одного положення в інше – проміжне положення та назад з використання навчання визначити кути φ_1 , φ_2 та φ_3 для кожного з положень, занести отримані значення в програму та перевірити відповідність переміщення в автоматичному режимі даним, що були отримані при навчанні.

Програма виконує такі переміщення:
 підйом плеча та руки у проміжне положення;
 поворот плеча у проміжне положення;
 поворот плеча у кінцеве положення;
 опускання плеча та руки у кінцеве положення.

Приклад розв'язання задач з теми заняття

У ручному режимі були отримані наступні дані

	Підйом плеча φ_1	Підйом руки φ_2	Поворот плеча φ_3
Вихідне положення	45	90	45
Проміжне положення	65	70	135
Кінцеве положення	45	90	45

Фрагмент програми, що здійснює вказане переміщення, має такий вигляд:

```
void setup()
{
  ...
  servo1.write(45); //встановити вихідне положення підйому плеча
  servo2.write(90); //встановити вихідне положення підйому руки
  servo3.write(45); //встановити вихідне положення поворота плеча
  delay(1000); //затримка для здійснення переміщення
}

void loop() {
  servo1.write(65); //підняти плече
  servo2.write(70); //підняти руку
  delay(1000); //затримка для здійснення переміщення
  servo3.write(135); //повернути плече
  delay(1000); //затримка для здійснення переміщення
  servo2.write(90); //опустити руку
}
```



```
servo1.write(45);    //опустити плече  
delay(1000);        //затримка для здійснення переміщення  
servo3.write(45);    //повернути плече  
delay(1000);        //затримка для здійснення переміщення  
}
```

Контрольні запитання

1. Який вигляд має узагальнена структура автоматичних роботів?
2. Що створює інформаційну систему робота?
3. Як пристрій комп'ютерного керування спілкується з виконавчими двигунами?
4. Як розрізняють рівні ієрархії керування рухом промислового робота?
5. Які функції виконуються на виконавчому рівні керування роботом?
6. На якому рівні синтезується керування рухом промислового робота з урахуванням інформації про зовнішнє середовище?
7. Що здійснює стратегічний рівень керування?
8. У чому полягає навчання робота?
9. Як здійснюється аналітичне програмування?
10. Як можна здійснити навчання за допомогою апаратно-програмного комплексу Arduino?

Глава 7. Циклові системи керування

7.1. Основні функції системи циклового керування

Системи циклового керування мають мале число точок позиціонування, частіше усього вони тільки переключають напрямок прямування маніпулятора по кожному ступені рухливості [1, 2, 3].. Системи циклового керування є найпростішими системами керування промислових роботів. Система здійснює запрограмовану послідовність рухів, витримки часу при зупинках на упорі, видачу технологічних команд, відкриття і закриття захватного пристрою, які виконуються циклічно. На рис. 7.1 наведений цикловий робот, який виконує таку послідовність дій:

- 1) почати цикл - закрити захватний пристрій;
- 2) підняти руку;
- 3) повернути руку;
- 4) опустити руку;
- 5) відкрити захватний пристрій;
- 6) підняти руку;
- 7) повернути руку;
- 8) опустити руку;
- 9) почати новий цикл - закрити захватний пристрій і т.д.

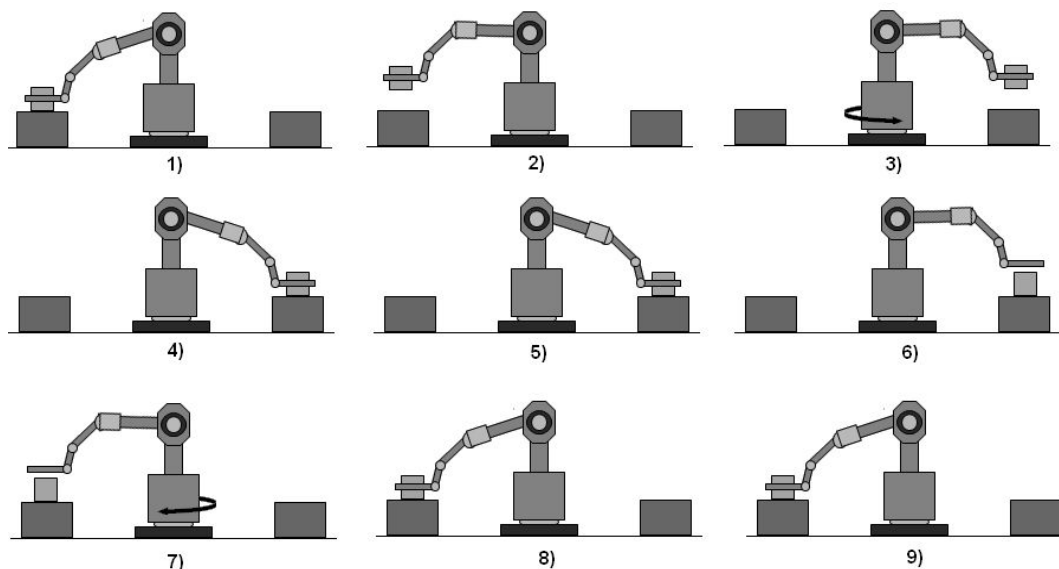


Рис. 7.1. Робот з цикловою системою керування.

У циклових системах роботи частіше усього постачаються швидкодіючими пневматичними приводами, які керуються дискретними сигналами. Таким чином, система циклового керування є дискретною з досить простою логікою функціонування, тому система відрізняється порівняно невеличкою ємністю програмоносія, простими алгоритмами керування, які виконують задану циклограму руху маніпулятора, та невеличкими габаритними розмірами і вартістю.

7.2. Реалізація циклового керування

В старих пристроях циклового керування використовувались пристрої з розподільним валом та кулачками на ньому (рис. 7.2). Розподільний вал з кулачками обертається, при цьому переміщуються штовхачі. Штовхачі, у свою чергу, впливають на електричні перемикачі, або пневмоклапани, які спочатку включають, а потім вимикають двигуни приводів. Пристрої керування з розподільним валом прості і надійні, але заміна програми вимагає перестановки кулачків, що досить складно. Близькі ідеї закладені в конструкції пристроїв управління у вигляді програматорів з кулачковими барабанами (вони називаються також командоапаратом). Замість кулачків на розподільчий вал насаджений

циліндричний барабан з прямокутною сіткою радіальних отворів. У будь-який отвір можна вставити штекер із спеціально профільованою гладкою головкою, яка представляє собою кулачок, що виступає над гладкою поверхнею барабана. Паралельно осі над барабаном жорстко кріпиться лінійка з перемикачами на такій відстані, щоб відповідні кулачки (головки штекерів) натискали на штирі перемикачів. Перепрограмування командоапаратів здійснюється перестановкою штекерів відповідно до заданої таблиці.

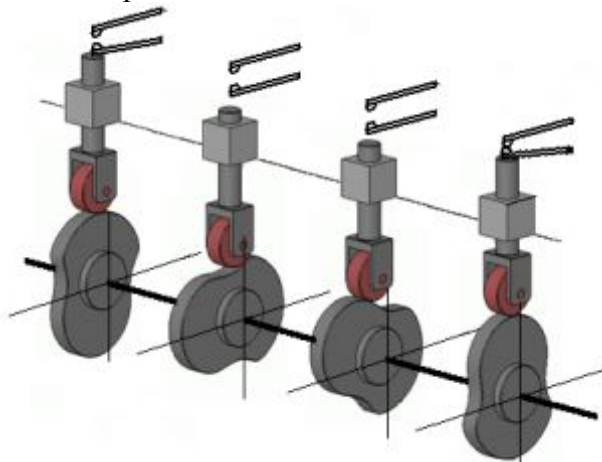
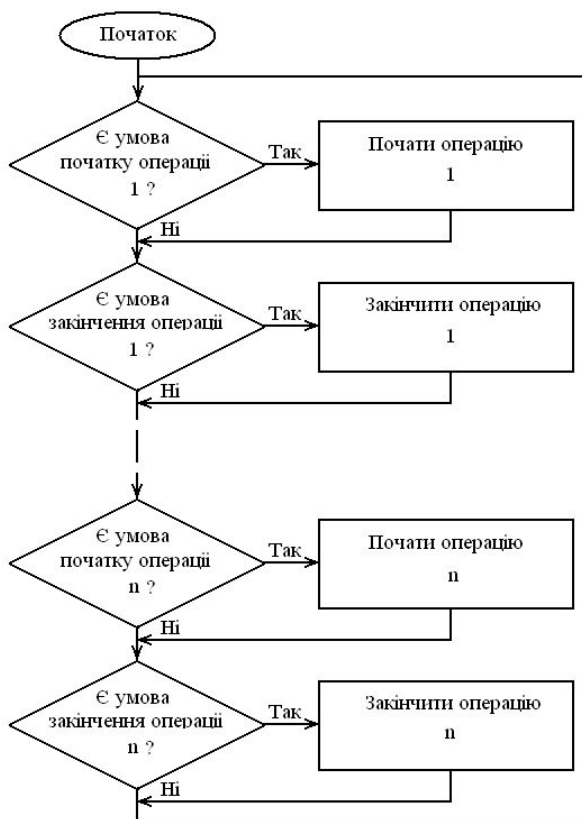


Рис. 7.2. Пристрій кулачкового керування

Недоліком таких пристроїв керування є обмежені можливості, тому сучасні циклові пристрої керування будуються на основі електронно-обчислювальних пристроїв. Алгоритм роботи таких пристроїв керування яких визначаються програмним забезпеченням та введеною програмою.

Узагальнена блок-схема алгоритму циклового керування має такий вигляд.



Початок програми

Якщо є умова початку операції 1, почати операцію 1,
якщо ні, перевірка наступної умови.

Якщо є умова закінчення операції 1,
закінчити операцію 1,
якщо ні, перевірка умови виконання наступної операції.

наступна операція ...

Якщо є умова початку останньої операції,
почати останню операцію,
якщо ні, перевірка наступної умови.

Якщо є умова закінчення останньої операції,
закінчити останню операцію
(встановити робот у вихідне положення),
якщо ні, повернутись на початок програми.

Для перепрограмування та встановлення режимів роботи використовуються пульти керування.

Оператор із пульта керування може ввести програму або задати режим роботи системи керування, наприклад: НАВЧАННЯ, КРОК, ЦИКЛ, АВТОМАТ, РУЧНЕ КЕРУВАННЯ. Крім того, на пульті оператора фіксується інформація про стан маніпулятора робота і його системи керування. Режим КРОК і ЦИКЛ означають, що оператор може викликати з пристрою пам'яті одну команду або весь цикл, причому робот відпрацьовує цю команду або весь цикл запрограмованого руху. Режим АВТОМАТ відповідає включенню системи на багатократне відпрацьовування програми в процесі автоматичної робочої дії робота. У ручному режимі оператор може самостійно керувати переміщенням робочого органа робота за допомогою пульта керування.

Як правило програма будується з кадрів, причому кожен кадр відповідає одному етапу переміщення. У більшості мов програмування зміст кадру записується таким чином: номер кадру, перевірка наявності сигналів у вхідних мережах із заданими номерами (сигналів датчиків), за наявності цих сигналів задається команда на виконання потрібного руху. У цикловому керуванні це може бути напрямок руху, або функція, наприклад, затримка або команда керування захватним пристроєм (відкрити чи закрити).

7.3. Приклади циклового керування

Для прикладу розглянемо циклову систему програмного керування промисловим роботом ЕЦПУ 6030.

Зовнішній вигляд пульта керування та програмоносія пристрою керування ЕЦПУ 6030 показаний на рис. 7.3. Пристрій керування має наступні режими роботи: АВТОМАТ, ЦИКЛ, КРОК, РУЧНЕ КЕРУВАННЯ. Програмоносій створено з позиційних перемикачів.

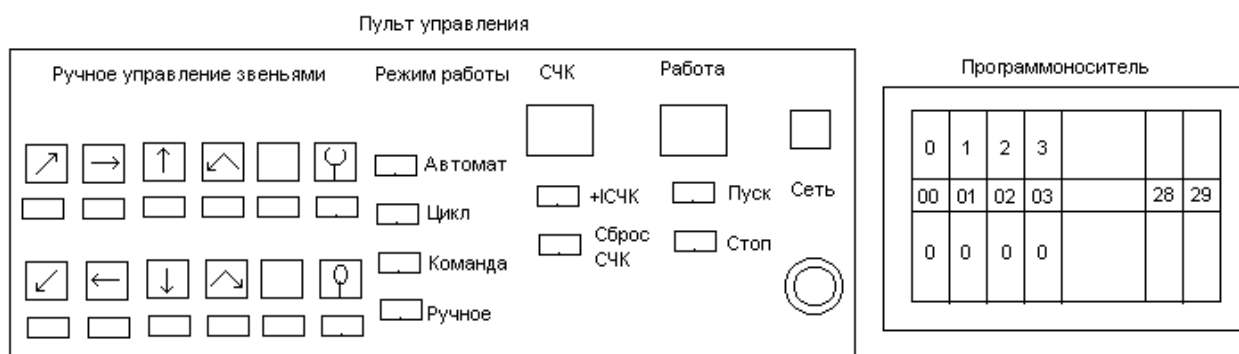
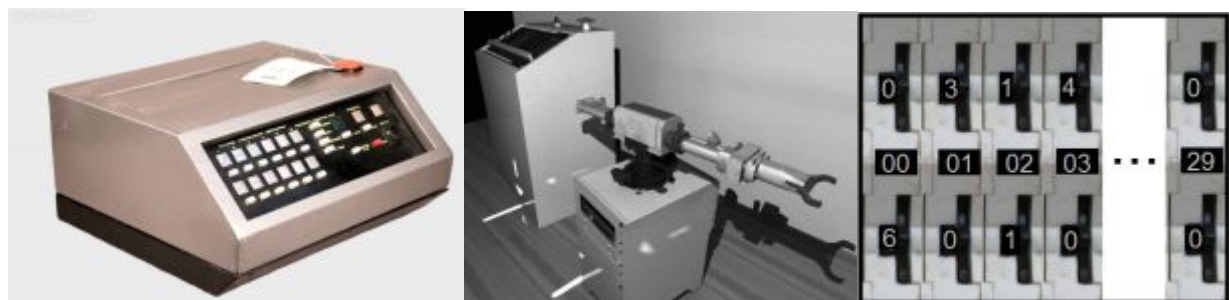


Рис. 7.3. Зовнішній вигляд пульта керування пристрою керування ЕЦПУ 6030.

В автоматичному режимі послідовно виконується програма, набрана на програмоносії. Програма набирається за допомогою багатопозиційних перемикачів програмоносія. Перемикачі поділені на кадри, які включають два перемикача - перемикач верхнього поля та перемикач нижнього поля. Програмоносій має 30 кадрів (від 00 до 29). Один кадр може вмістити дві команди, якщо вони знаходяться у різних полях.

Коди перемикача визначають команди керування роботом відповідно табл. 7.1.

Команди керування роботом

Позначення	Код кадру		Назва
	верхнє поле	нижнє поле	
	1	*	Рух уперед
	2	*	Рух назад
	3	*	Рух уверх
	4	*	Рух униз
	*	1	Поворот управо
	*	2	Поворот уліво
	5	*	Ротація схвату управо
	6	*	Ротація схвату уліво
	*	5	Схват відкрити
	*	6	Схват закрити
КП	0	0	Кінець програми

Команди здійснюють переміщення робочого органа (захватного пристрою), ротацію захватного пристрою та інші. За командою „КІНЕЦЬ ПРОГРАМИ” здійснюється перехід на початок програми, що забезпечує циклічне виконання програми. Символ * означає, що на цьому місці кадр може бути інша команда, наприклад, в одному кадрі можна встановити команди „РУХ УПЕРЕД” та „ПОВОРОТ УПРАВО”. Нуль (**0**) замість * означає відсутність команди у цьому полі.

Приклад програми, що виконує певну послідовність дій, показаний в табл. 7.2 у вигляді таблиці.

Таблиця 7.2

Приклад програми у вигляді таблиці

Номер кадру	Код кадру		Позначення
	верхнє поле	нижнє поле	
00	0	6	
01	3	1	 
02	1	0	
03	0	5	
...
12	0	0	КП
...
29

Циклове керування можназдійснити за допомогою програмованих логічних контролерів (ПЛК), оскільки програма в них повторюється циклічно. При цьому

використовуються різні логічні команди та команди пам'яті (RS-тригер), а послідовність виконання програми не змінюється.

Нижче наведений приклад програми циклового керування з використанням програмованого логічного контролера LOGO! для маніпулятора, кінематична схема та робоча зона його наведені на рис. 7.4.

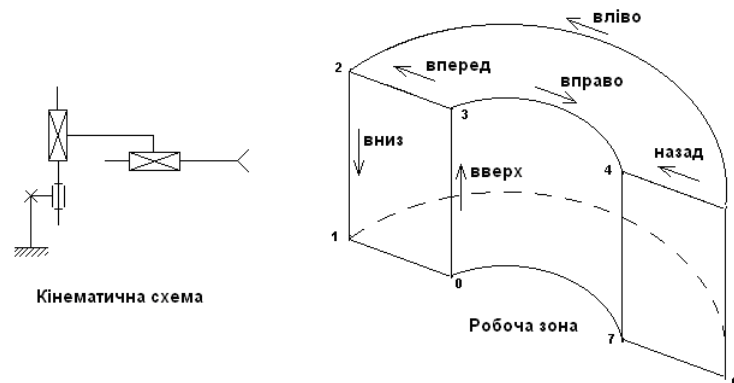


Рис. 7.4. Кінематична схема та робоча зона маніпулятора

Для приклада розглянемо програму, яка здійснює наведену послідовність переміщень та дій.

1. Закрити захватний пристрій.
2. Затримка 5 с.
3. Переміщення вгору та вправо.
4. Переміщення вперед.
5. Відкрити захватний пристрій
6. Затримка 5 с.
7. Переміщення назад.
8. Переміщення вліво.
9. Переміщення вниз.
10. Повернення до пункту 1.

Закриття та відкривання захвату здійснюється шляхом переміщення до упору, тому для цього включається відповідний привод і здійснюється затримка 5 с.

Переміщення механізмів у напрямках вперед, назад, вгору, вниз, вправо, вліво здійснюється до спрацювання датчика кінцевого положення.

У даному випадку програма використовує наведені елементи та функції.

	вхід		інтервальне реле з запуском по фронту(таймер)
	вихід		функція визначення негативного фронту
	реле з блокуванням (RS-тригер) S - встановлення тригера в 1, R - скидання тригера в 0		функція визначення позитивного фронту

На рис. 7.5 наведена програма, яка циклічно виконує вказану послідовність переміщень. Ця програма створена за допомогою середи проектування LOGO!Soft-Comfort для ПЛК LOGO!

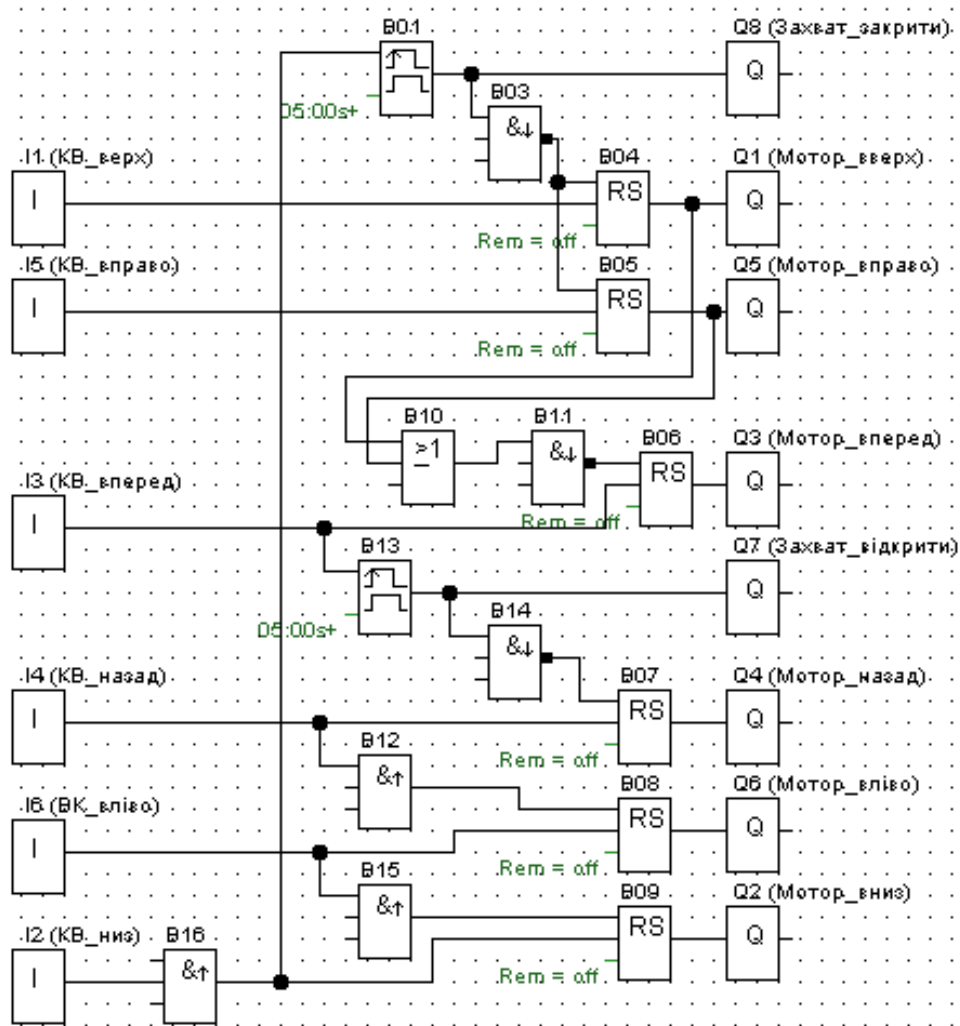


Рис. 7.6. Програма для ПЛК LOGO!, яка циклічно виконує послідовність переміщень

У пристроїв керування роботів на основі апаратно-програмного комплексу Arduino програма виконується циклічно, що дозволяє здійснювати циклове керування без використання додаткових функцій.

Приклад такої програми наведений у прикладі розв’язання задач попередньої глави, де розглянута програма керування маніпулятором з сервоприводами.

Завдання до лабораторної роботи

Згідно з варіантами переміщення маніпулятора, що наведені у табл. 7.3, скласти програму циклового керування з використанням програмованого логічного контролера LOGO! для маніпулятора, кінематична схема та робоча зона якого наведені на рис. 7.4.

Табл. 7.3.

	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4
Вихідне положення	0	1	7	6
1 переміщення	закрити захват	закрити захват	закрити захват	закрити захват
2 переміщення	вверх	вверх	вліво	вверх
3 переміщення	вперед	вправо	вперед	вліво
4 переміщення	відкрити захват	відкрити захват	відкрити захват	відкрити захват
5 переміщення	назад	вліво	назад	вправо
6 переміщення	вниз	назад	вліво	вниз

Приклад розв'язання задач з теми заняття

Приклад програми для ПЛК LOGO!, яка циклічно виконує послідовність переміщень, наведений на рис. 7.б.

Контрольні запитання

1. Які особливості мають системи циклового керування?
2. У чому полягає зміст циклового керування?
3. Які режим роботи мають системи циклового керування ?
4. Що означає РУЧНЕ КЕРУВАННЯ?
5. З чого складається блок-схема алгоритму?
6. Чому пристрій керування ЕЦПУ 6030 є цикловою системою керування?
7. Які команди виконує пристрій керування ЕЦПУ 6030?
8. Що означає кадр програми?
9. З чого складається програма у мові LOGO!Soft-Comfort ?
10. Які функції дають можливість здійснити послідовність рухів для ПЛК LOGO! ?

Глава 8. Позиційні системи керування

8.1. Основні функції системи позиційного керування

Системи позиційного керування забезпечують переміщення робочого органа по заданих точках позиціонування, які можуть змінюватися [1, 2, 3]..

Системи позиційного керування здійснюють не тільки найпростіші елементи переміщення предметів від точки навантаження до точки розвантаження або навпаки, але і більш складні, які можливі при позиційній системі керування промислового робота з великою кількістю точок позиціонування. Точність позиціонування таких систем теж може значно відрізнятись. Тому складність системи позиціонування може бути суттєво різною.

На рис. 8.1 наведені приклади використання позиційного керування у складського робота та робота для точкового зварювання під час складання кузова автомобіля.

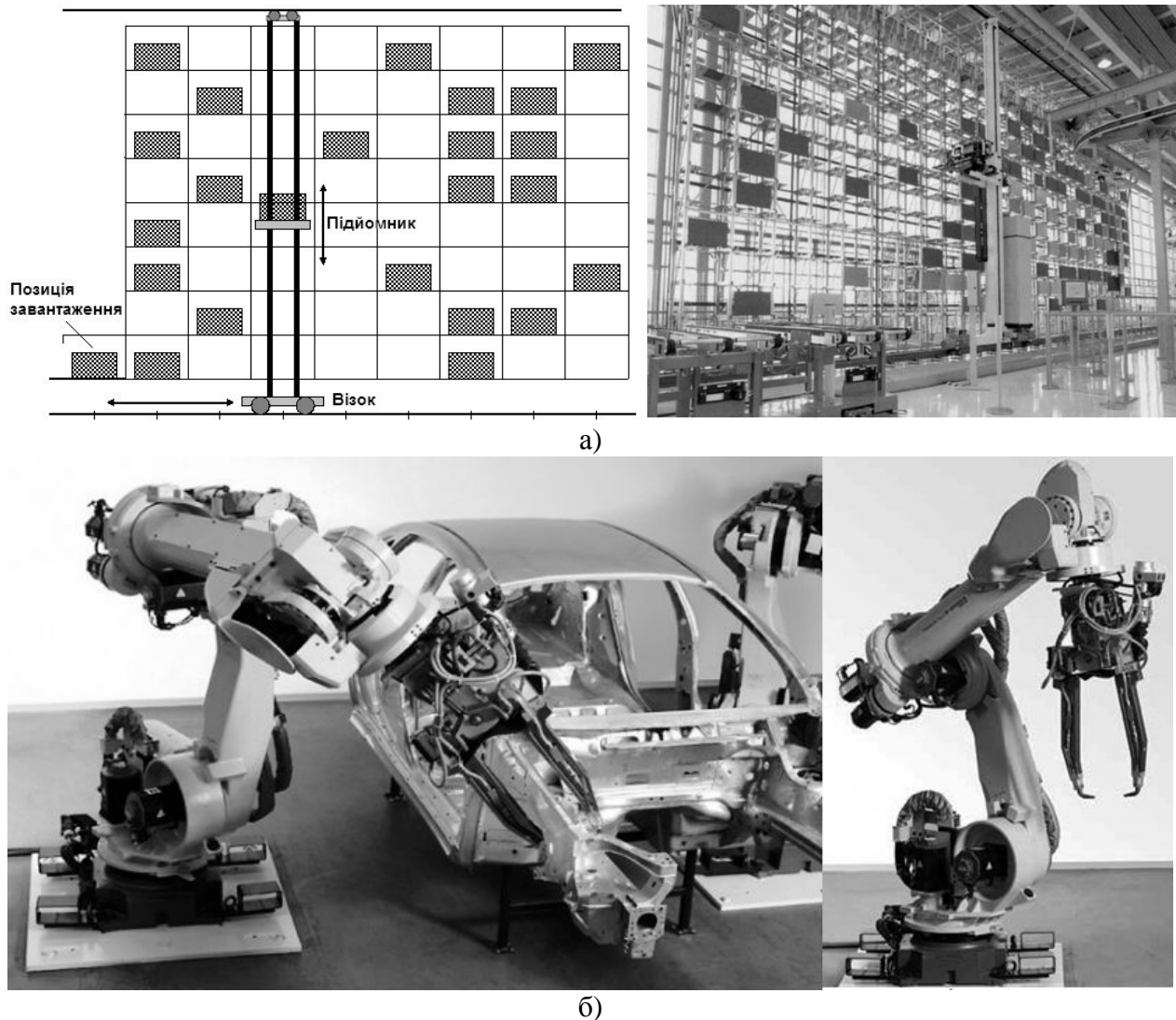


Рис. 8.1. Складський робот(а) та робот для точкового зварювання (б) з позиційною системою керування

У першому випадку здійснюються відносно прості переміщення за двома осями вздовж стелажу при точності позиціонування декілька сантиметрів, що визначається розмірами палети, на яку встановлюється вантаж, та комірки, в яку встановлюється палета (рис. 8.1,а).

У другому випадку зварювальний апарат переміщується у тривимірному просторі зі зміною його орієнтації при точності позиціонування в долі міліметра.

8.2 Реалізація позиційного керування

Використання в програмі переміщення робочого органу робота великої кількості точок дозволяє робити рух від точки до точки з малою дискретністю. При цьому для забезпечення потрібної точності позиціонування застосовуються замкнуті системи керування з датчиками зворотного зв'язку по положенню. Датчики можна встановити на осі двигуна або безпосередньо на шляху переміщення. Одним з найбільш простих варіантів є використання для позиціонування індуктивних або оптичних датчиків (рис. 8.2).

Індуктивні датчик переміщується вздовж металевих елементів, які впливають на датчик і формують імпульси на його виході. Система керування, для якої встановлений шлях переміщення між двома імпульсами, підраховує кількість імпульсів під час переміщення і таким чином визначає загальний шлях переміщення. Ці датчики можна використовувати для позиціонування як при лінійному (рис. 8.2 а,б), так і круговому переміщенні (рис. 8.2 в, г).

Загальний шлях переміщення визначається як кількість імпульсів на виході датчика (рис. 4.8 д), помножена на шлях переміщення між двома імпульсами. Частота проходження імпульсів може досягти десятків кілогерц, тому у складі системи керування повинні бути швидкодіючі лічильники. На рис. рис. 4.8 є наведений приклад позиціонування горизонтального та вертикального переміщення стелажного робота-штабелера

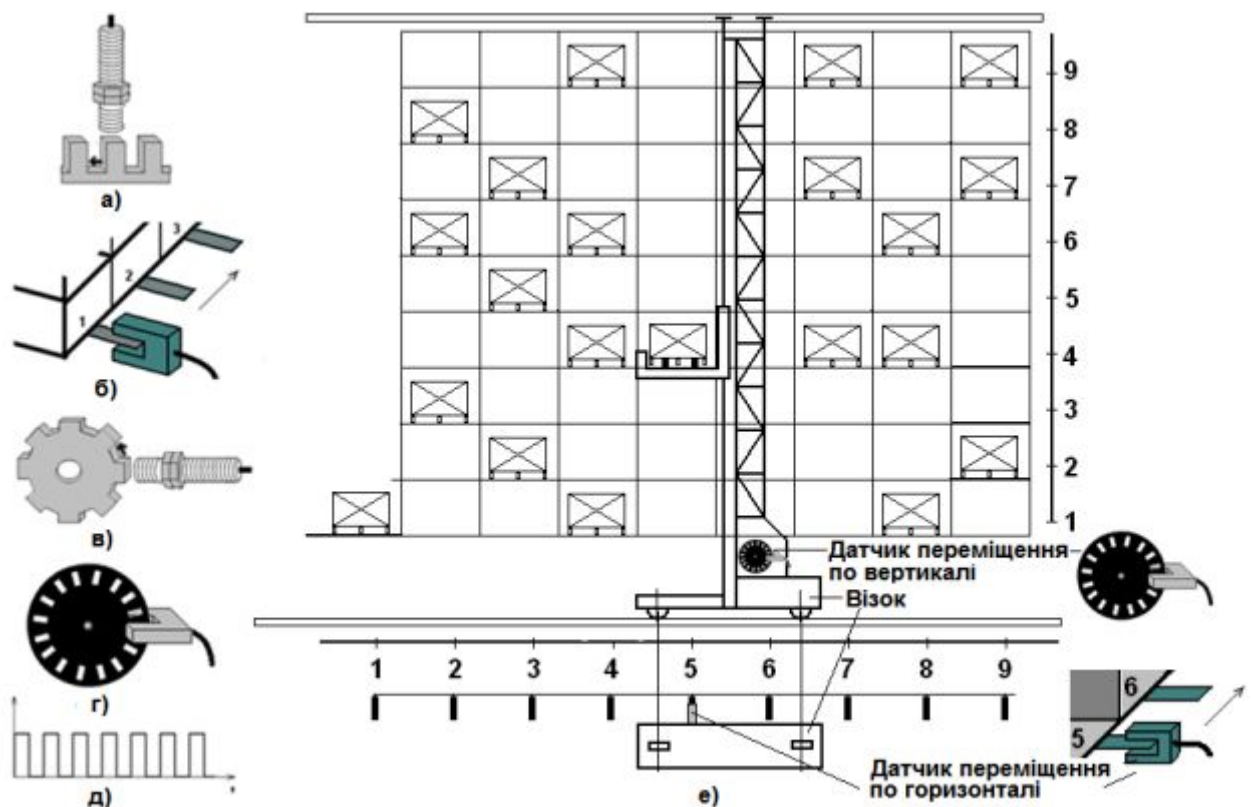


Рис. 8.2. Використання індуктивних та оптичних датчиків для позиціонування:

Для більш точного позиціонування використовуються фотоімпульсні датчики, які можуть видавати десятки тисяч позицій на одне обертання (детальніше фотоімпульсні датчики будуть розглянуті далі), і також можуть використовуватись для позиціонування як при лінійному (рис. 8.3 а), так і круговому переміщенні (рис. 8.3 б). (рис. 8.3).

Недоліком імпульсних датчиків є необхідність встановлювати датчики в 0 для кожного вихідного положення при кожному включенні системи керування.

Цього недоліку не мають абсолютні датчики, які видають значення лінійного або кутового переміщення у вигляді двійкового коду. Багатообертові абсолютні датчики дають можливість визначити переміщення на досить великих відстанях.

Позиційна система керування робота може утримувати бібліотеку заздалегідь підготовлених функцій, що визначають дії окремих компонент робота, наприклад, датчиків, виконавчих пристроїв. Це дає можливість спростити програму та скоротити час програмування робота при переналагодженні робота у разі внесення змін у технологічний процес. Крім того, такі функції можуть створюватись для додаткових операцій, таких як керування робочими органами, контроль та сортування виробів, забезпечення роботи ділянки при окремих несправностях тощо.

У загальному випадку для функціонування робота необхідна інформація про послідовність виконання кроків програми, геометрична інформація про просторове положення окремих ступенів рухливості і про час виконання окремих кроків програми та окремих керуючих команд.

Положення точок у просторі визначається вектором, і тому програма при позиційному керуванні рухом промислового робота задає послідовність окремих складових векторів, які заносяться в запам'ятовуючі пристрої або безпосередньо оператором, або під час навчання робота. Команди при такій організації керування рухом промислового робота відображають сукупність даних про координату точки, орієнтацію робочого органа та характер технологічної операції в точках позиціонування.

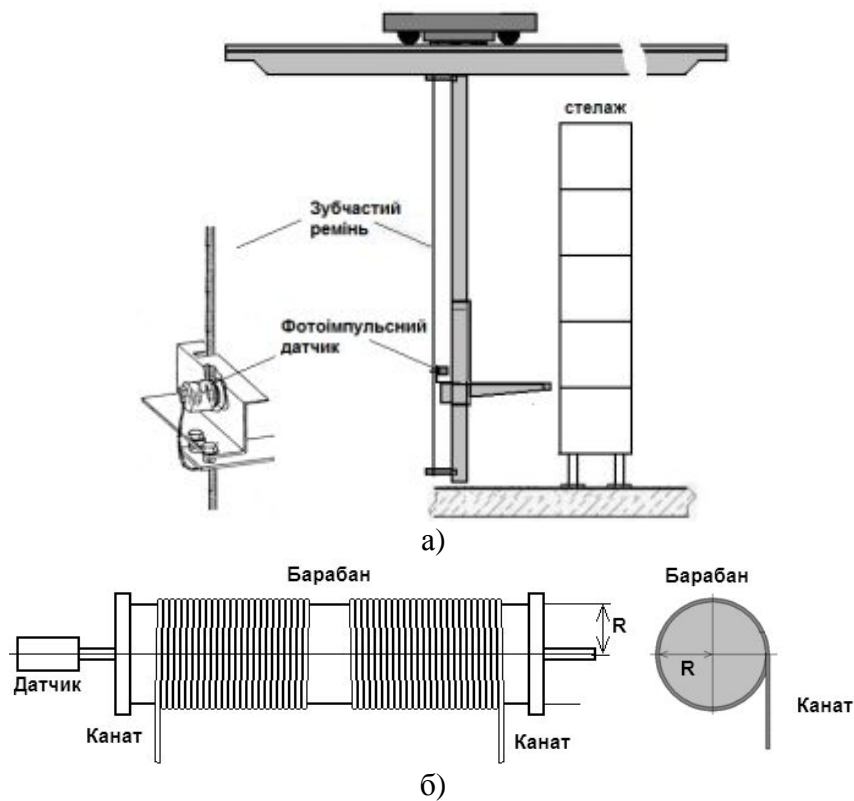


Рис. 8.3. Використання фотоімпульсних датчиків для лінійного (а) та кругового (б) позиціонування

Програма, яка здійснює позиційне керування може змінюватися, як, наприклад, для робота що обслуговує склад, може кожний раз встановлювати нову позицію переміщення.

Для зварювального робота, наприклад, при виготовленні кузова автомобіля, кількість точок зварювання може бути досить великою (рис. 8.4). При цьому треба також вирішувати задачу перетворення координат положення зварювального апарата в кути повороту суглобів (зворотна задача кінематики).

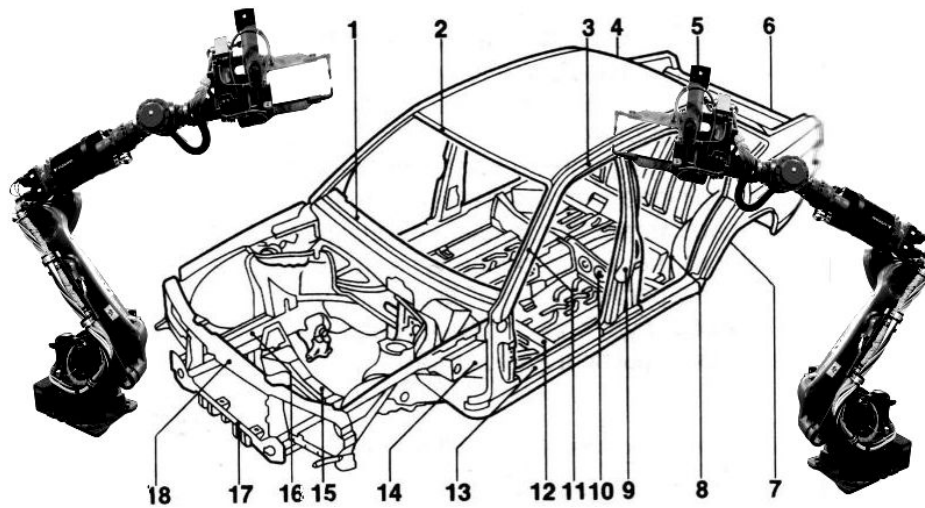


Рис. 8.4. Зварювальні роботи при виговленні кузова автомобіля

Позиції зварювання та порядок виконання команд встановлюється при аналітичному програмуванні або навчанні такого робота і не змінюється в разі багаторазового повторення одного й того ж циклу.

При одноразовому переміщенні за декілька осями відрізняють просте та синхронне позиціонування (рис. 8.5).

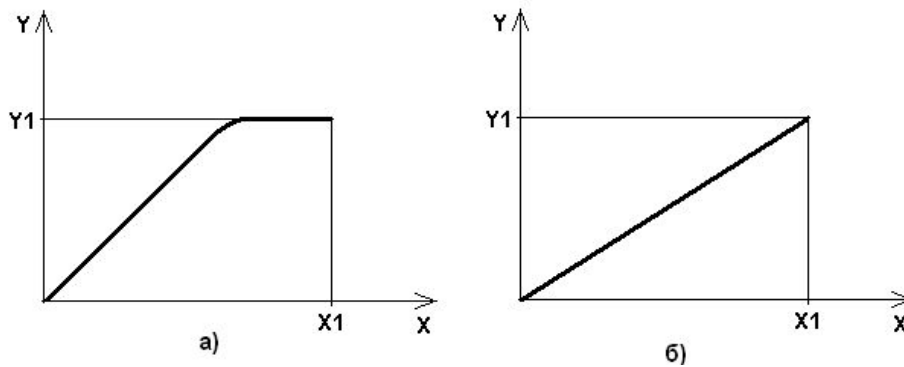


Рис. 8.5. Просте а) та синхронне б) позиціонування

У першому випадку (рис. 8.4, а) швидкості переміщення по кожній з осей не погоджуються і зупинка різних приводів здійснюється у різні моменти. При синхронному позиціонуванні (рис. 8.4, б) швидкості переміщення по кожній з осей керуються таким чином, що зупинка різних приводів здійснюється одноразово, тому траєкторії переміщення робочого органу буде прямою лінією.

8.3 Приклади позиційного керування

Система керування роботів фірми KUKA, що використовують мова KRL, для позиційного керування може використовувати команду переміщення від точки до точки з невизначеною траєкторією – команда RTP (просте позиціонування) та команду переміщення по прямій – команда LIN (синхронне позиціонування). При цьому для маніпуляторі з радіальними осями траєкторія пересування від точки P1 до точки P2 за допомогою команди RTP може бути досить складною (рис. 8.6).

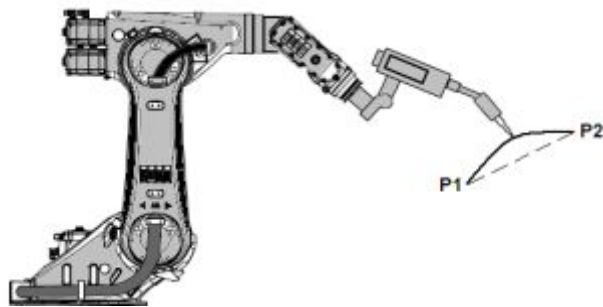
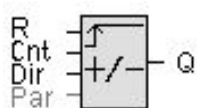


Рис. 8.6. Траскторія пересування від точки P1 до точки P2 при виконанні команді РТР

Програмовані логічні контролери у разі здійснення позиціонування за допомогою датчиків, які видають при переміщенні послідовність імпульсів, використовують для підрахунку кількості імпульсів функції лічильників.

Нижче наведений приклад програми позиційного керування з використанням програмованого логічного контролера LOGO! для переміщення по двом координатам налогічно тому, як показано на рис. 8.2 б.

Додатково до розглянутих у попередній главі функцій для позиціонування використовується функція реверсивного лічильника



R – скидання лічильника у вихідне положення 0,

Cnt – вхід, що здійснює підрахування кількості імпульсів,

Dir – напрямок руху: 0 – вперед, 1 – назад,

Par – значення лічильника при досягненні якого вихід переходить у стан 1.

Програма здійснює таку послідовність переміщень та дій.

По сигналу Пуск скидаються лічильники та вмикаються двигуни переміщення (Мотор_1 та Мотор_2).

У ході переміщення лічильники B01 та B02 підраховують імпульси, що поступають з датчиків Датчик_1 та Датчик_2. Коли кількість підрахованих імпульсів відповідного датчика досягає встановленого значення лічильник видає сигнал на зупинку двигунів.

На рис. 8.6 наведена програма для ПЛК LOGO!, яка циклічно виконує таке позиційне переміщення.

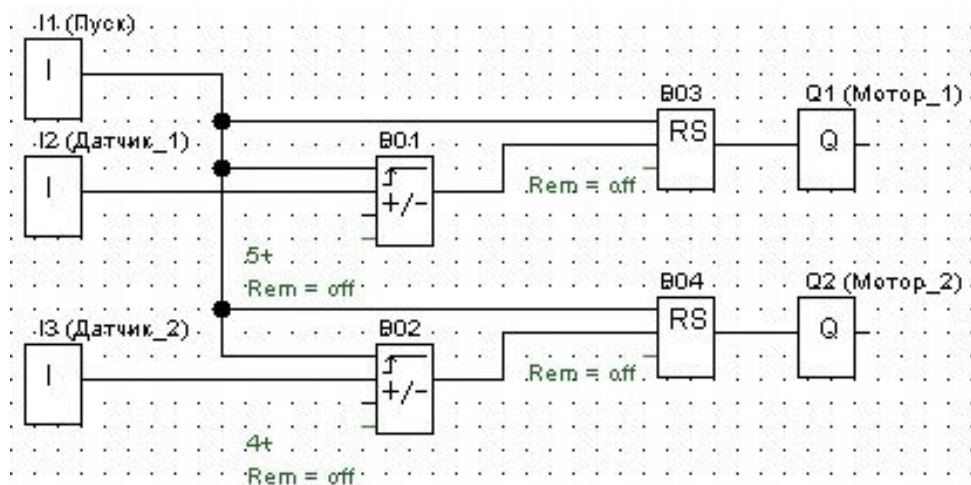


Рис. 8.6. Програма позиційного переміщення для ПЛК LOGO!

Однією з важливих задач позиційного керування є забезпечення потрібної точності позиціонування. Для рішення цієї задачі використовуються приводи, які забезпечують

можливість зміни швидкості переміщення робочого органа. При цьому рух спочатку виконується з максимально можливою швидкістю. При досягненні точки грубого позиціонування швидкість переміщення змінюється на повільну, що дає можливість забезпечити точне позиціонування.

Для зміни швидкості двигуна використовуються багатополюсні двигуни змінного струму. Зміна швидкості у таких двигунів здійснюється за допомогою переключення полюсів. Для плавної зміни швидкості використовуються частотні перетворювачі, які дозволяють змінювати швидкість по наданому закону. Частотні перетворювачі мають вмонтований пристрій керування, за допомогою якого можна змінювати параметри двигуна (швидкість, момент обертання, час розгону та гальмування та інші).

На рис. 8.7 зображено пристрій позиціонування за допомогою двигуна з змінною швидкістю.

Для підвищення точності позиціонування використовуються датчики зворотного зв'язку, наприклад, ротаційні та лінійні фотоімпульсні датчики, або абсолютні датчики. Такий пристрій позиціонування має у своєму складі пристрій керування, силову частину, яка формує сигнал для двигуна, та у загальному випадку датчик швидкості, для керування двигуном, та датчик положення для позиціонування.

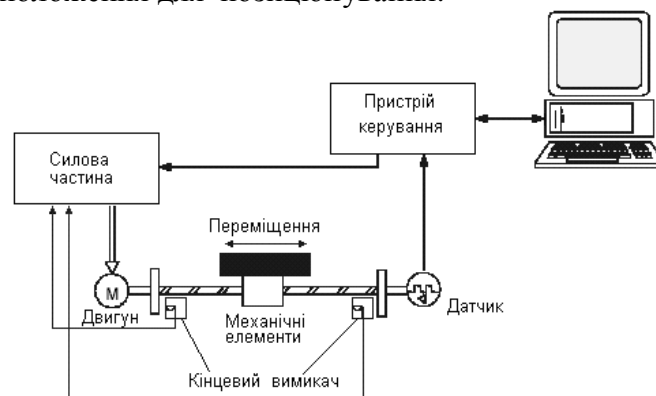


Рис. 8.7. Пристрій позиціонування

При використанні імпульсних датчиків пристрій керування підраховує кількість імпульсів за допомогою лічильника і таким чином визначає положення. Лічильник повинен рахувати у двох напрямках (на збільшення або на зменшення) для визначення положення при пересуванні у двох напрямках (у залежності від напрямку переміщення значення лічильника збільшується або зменшується). Цикл переміщення у такому випадку може складатися з розгону, швидкого переміщення, у точці грубого позиціонування переключення на повільну швидкість, та зупинку у точці точного позиціонування (рис. 8.8).

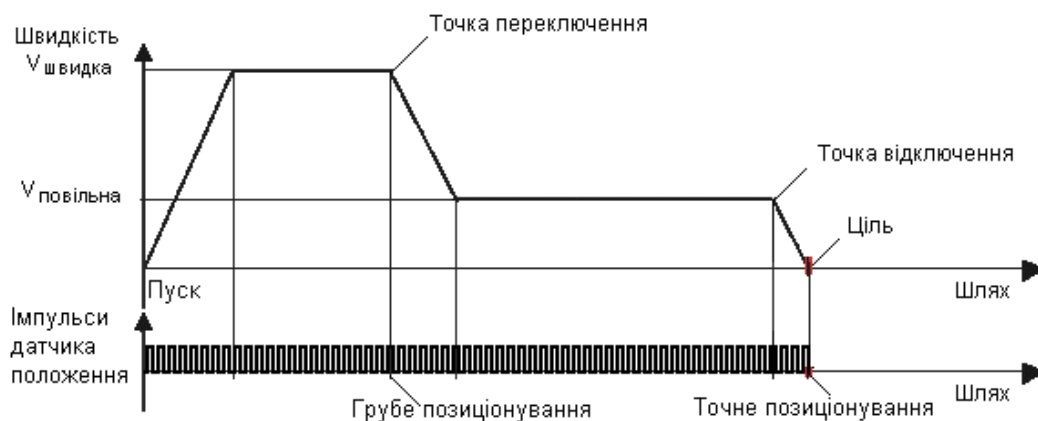


Рис. 8.8. Позиціонування за допомогою керування швидкості двигуна

Для позиціонування без датчиків зворотного зв'язку можна використовувати крокові

двигуни, в яких переміщення залежить від числа поданих імпульсів, а швидкість обертання від періоду проходження імпульсів. Принцип роботи крокових двигунів буде розглянуто далі.

У складі програмованих контролерів використовуються функціональні модулі позиціонування (рис. 8.9), які самостійно вирішують позиціонування, а процесорний модуль тільки задає потрібні параметри.

Пристрій керування таких модулів може мати два датчики зворотного зв'язку – швидкості та положення, що дає можливість забезпечити високу точність позиціонування. Крім того ці модулі можуть мати декілька каналів позиціонування.

Для програмування таких модулів часто використовуються інтерактивні засоби, які працюють у діалоговому режимі та здійснюють програмування шляхом встановлення потрібних параметрів, таких як координати початкової точки, швидкість переміщення, координати кінцевої точки, закони розгону та гальмування та інші.



Рис. 8.9. Багатоканальний функціональний модуль позиціонування

Для вирішення задач позиційного керування широко використовуються крокові двигуни, кут обертання яких визначається кількістю імпульсів, що подаються на нього (більш детально крокові двигуни будуть розглянуті далі).

Завдання до лабораторної роботи

Згідно з варіантами позицій переміщення, що наведені у табл. 7.3, скласти програму позиційного керування з використанням програмованого логічного контролера LOGO! для маніпулятора, кінематична схема та робоча зона якого наведені на рис. 7.4.

Табл. 8.1.

	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
1 позиція	10	8	15	4	7	12
2 позиція	8	10	4	8	10	5

Приклад розв'язання задач з теми заняття

Приклад програми позиційного керування для ПЛК LOGO!, наведений на рис. 8.6.

Контрольні запитання

1. Яке переміщення робочого органа забезпечують системи позиційного керування?
2. Як визначається положення точок у просторі вектором при позиційному керуванні?
3. Які засоби використовують для забезпечення потрібної точності позиціонування?
4. У чому відрізняються просте та синхронне позиціонування?
5. Для чого використовуються приводи, які забезпечують можливість зміни швидкості переміщення робочого органа?

6. Навіщо використовуються датчики зворотного зв'язку?
7. Які функції використовують програмовані логічні контролери для позиційного курування з використанням імпульсних датчиків?
8. Як підвищити точність позиціонування за допомогою керування швидкості двигуна?
9. Чому для позиціонування без датчиків зворотного зв'язку можна використовувати крокові двигуни?
10. Наведіть приклади використання позиційного керування.

Глава 9. Контурні системи керування

9.1. Основні функції системи контурного керування

Системи контурного керування забезпечують переміщення робочого органа по заданій траєкторії [1, 2, 3]..

Особливості систем контурного керування. Для здійснення руху робочого органа по безупинній траєкторії необхідно забезпечити синхронне та узгоджене відпрацювання заданих траєкторій усіма ступенями рухливості маніпулятора. Рівномірний і безупинний рух захватного пристрою або спеціального інструмента робота необхідно, наприклад, при автоматизації таких операцій, як плазмова різка, фарбування, дугове зварювання (рис. 9.1), а також для складних складальних операцій.

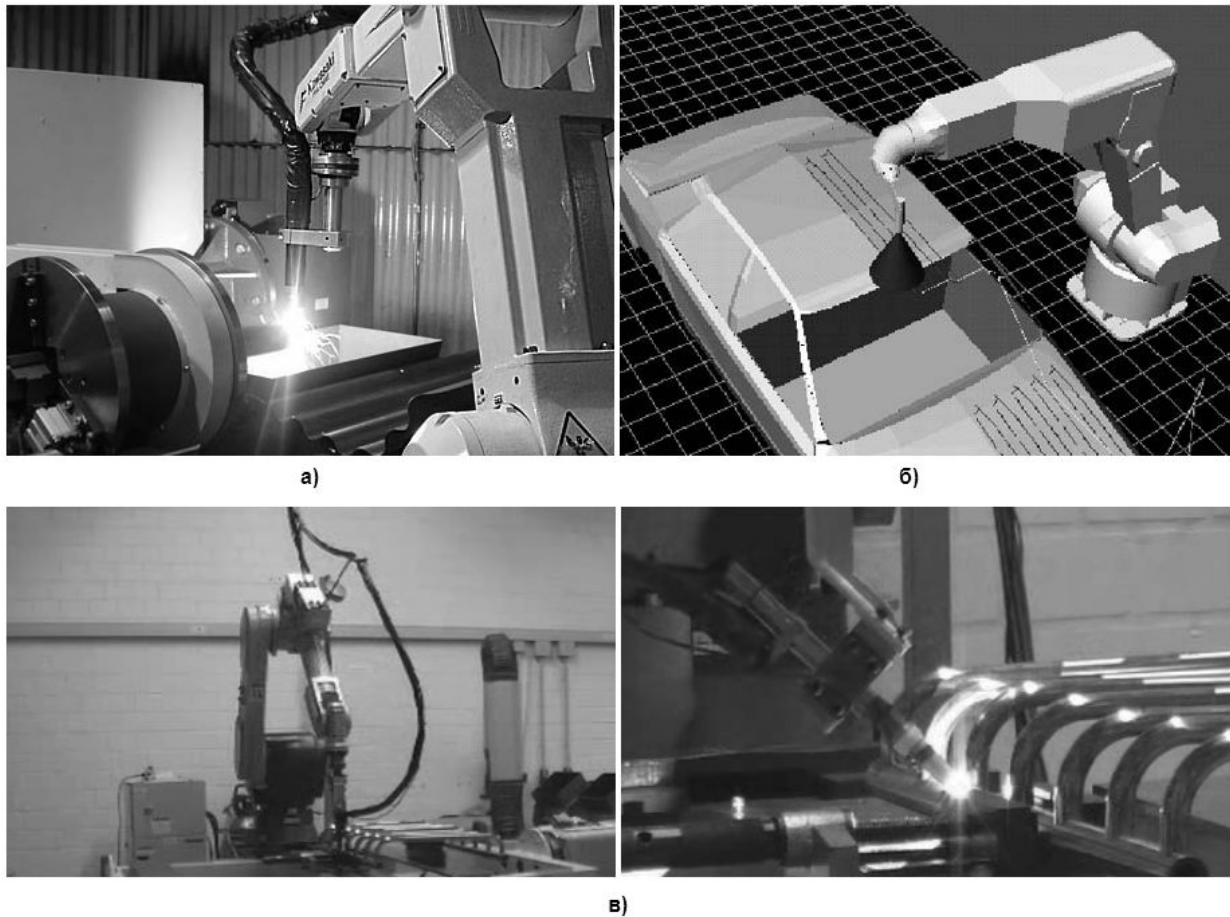


Рис. 9.1. Використання контурного керування для автоматизації таких операцій, як плазмова різка (а), фарбування (б), дугове зварювання (в)

9.2. Реалізація контурного керування

Існує два основних засоби побудови пристроїв контурного керування роботами. Перший із них заснований на записі в пам'ять системи інформації про зміну положення кожного ступеня рухливості в часу, тобто у вигляді готової для відпрацювання приводом безупинної траєкторії, як це робиться при багатоточковій позиційній системі керування промислового робота, де фіксування в програмі великого числа точок дозволяє робити рух від точки до точки з малою дискретністю. Другий засіб полягає в записі кінцевого числа координат точок, що належать бажаній траєкторії руху захватного пристрою або робочого інструмента робота, із наступною генерацією безупинної траєкторії, що з'єднає ці точки, шляхом виконання інтерполяції по заданому законі.

Якщо в першому випадку в керуючий пристрій виконує прості обчислювальні операції, але потрібен запам'ятовуючий пристрій із величезним обсягом пам'яті, то в другому - обсяг пам'яті невеликий, але в пристрій керування доводиться включати функції інтерполяції.

Характерною рисою роботів із контурною системою керування є, як правило, наявність у кожному ступені рухливості маніпулятора слідкуючого приводу, що стежить по

положенню.

У деяких електромеханічних роботах із контурною системою керування, коли привід по кожному ступені рухливості будується за принципом слідкуючої системи, ставляться аналогові датчики зворотної зв'язок (наприклад, потенціометр і тахогенератор). Внаслідок цього доводиться вводити в систему аналого-цифрові перетворювачі. Значно велика ефективність системи по швидкодії, точності і повільності рухів маніпулятора досягається при установці імпульсних або кодових датчиків зворотної зв'язок. Тоді з керуванням від ЕОМ утворюється чисто цифрова система керування приводами.

Системи контурного керування, розглянуті нижче, можуть функціонувати також і в режимах синхронного позиційного керування, що й знайшло широке практичне використання.

9.3 Приклади контурного керування

В сучасних системах контурного керування часто використовуються системи числового програмного управління (ЧПУ), призначені для верстатів та обробляючих центрів.

Системи числового програмного управління складаються з панелі оператора та пристрою комп'ютерного керування, які виконують функції переміщення робочого органа по заданому шляху, програмованого логічного контролера, що виконує функції керування додатковими пристроями, керовані електроприводи, які керують електродвигунами за вказівками головного пристрою комп'ютерного керування.

Для переміщення по контуру використовуються різні засоби інтерполяції, такі як лінійна, колова та інші.

Програмування переміщення здійснюється за допомогою так званої системи G-команд. Програма складається з кадрів, в яких як правило включені команди для зазначення параметрів одного переміщення, наприклад, функція руху (прискорений, лінійна чи кругова інтерполяція і т.д.), координати кінцевої точки руху, швидкість переміщення тощо.

В командах може використовувати абсолютне або відносне зазначення розміру. У першому разі усі розміри зазначаються відносно початкової точки координат. У другому – відносно положення робочого органа на початок виконання команди.

Деякі команди переміщення наведені у табл. 9.1.

Таблиця 9.1

Команда	Зазначення
G0 X... Y... Z...	прискорений рух до точки X... Y... Z... (найбільш можлива швидкість)
G1 X... Y... Z... F...	лінійна інтерполяція до точки X... Y... Z... (F... задана швидкість переміщення мм/хв)
G2 X... Y... Z... CR=...	колова інтерполяція за годинниковою стрілкою до точки X... Y... Z... з радіусом CR=...
G3 X... Y... Z... CR=...	колова інтерполяція проти годинникової стрілки до точки X... Y... Z... з радіусом CR=...
G90	абсолютне зазначення розміру
G91	відносне зазначення розміру

Для приклада розглянемо програму, яка виконує таку послідовність дій:

- швидке переміщення в початкову позицію $X=10, Y=10$,
- лінійне переміщення у позицію $X=60, Y=50$ при заданій швидкості 500 мм/хв,
- переміщення за допомогою колової інтерполяції у позицію $X=110, Y=30$ із радіусом $CR=30$.

Траєкторія, яка здійснює таке переміщення наведена на рис. 9.2.

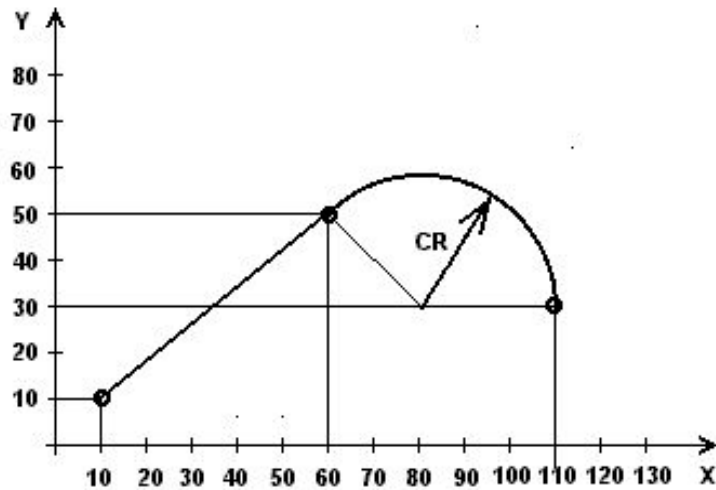


Рис. 9.2. Траєкторія переміщення з лінійною та коловою інтерполяцією

Відповідна програма має такий вигляд:

```

N10 G0 G90 X10 Y10
N20 G1 X60 Y50 F500
N30 G2 X110 Y30 CR=30

```

Крім лінійної та колової інтерполяції використовують поліноміальну та сплайн-інтерполяції. За допомогою сплайн-інтерполяції послідовність точок можна з'єднати гладкими кривими. Є три види сплайнів (рис. 9.3).

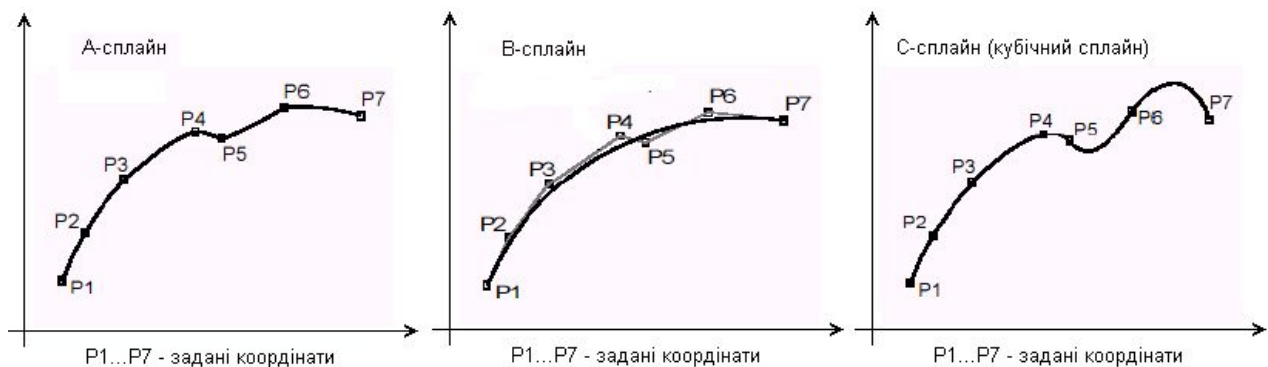


Рис.9.3. Сплайн-інтерполяція

А-сплайн проходить з безперервною кривою точно через опорні (задані) точки (поліном 3-го порядку). Він не викликає небажаних коливань, але не стійкий до кривизни в опорних точках.

В-сплайн. У цьому випадку крива проходить найбільш близько до опорних точок які є лише "контрольними точками". (за вибором поліноми 1-го, 2-го або 3-го порядку).

С-сплайн (кубічний сплайн) на відзнаку від А-сплайна стійкий до кривизни в опорних точках, але схильний до несподіваних коливань. Він використовується тоді, коли криву можна описати аналітично та є найбільш відомим сплайном. Використовуються поліноми 3-го порядку.

Схожий підхід до програмування мають системи керування роботами. Наприклад, система керування KR C2 фірми KUKA використовує мова програмування KRL, програма

якого має структуру, наведену на рис. 9.4, де можуть бути запрограмовані переміщення від точки до точки (PTP), лінійне переміщення (LIN), кругове переміщення (CIRC).

```
1 DEF my_program( )
2 INI
3
4 PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT
...
8 LIN point_5 CONT Vel= 2 m/s CPDAT1 Tool[3] Base[4]
...
14 PTP point_1 CONT Vel= 100 % PDAT1 Tool[3] Base[4]
...
20 PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT
21
22 END
```

Рис. 9.4. Структура мови програмування KRL

Для контурного керування використовуються команди лінійного (LIN) та кругового переміщення (CIRC) з вихідної точки P до точки переміщення P1. Для кругового переміщення треба задати додаткову точку P2, яка дозволяє визначити радіус дуги (рис. 9.5).

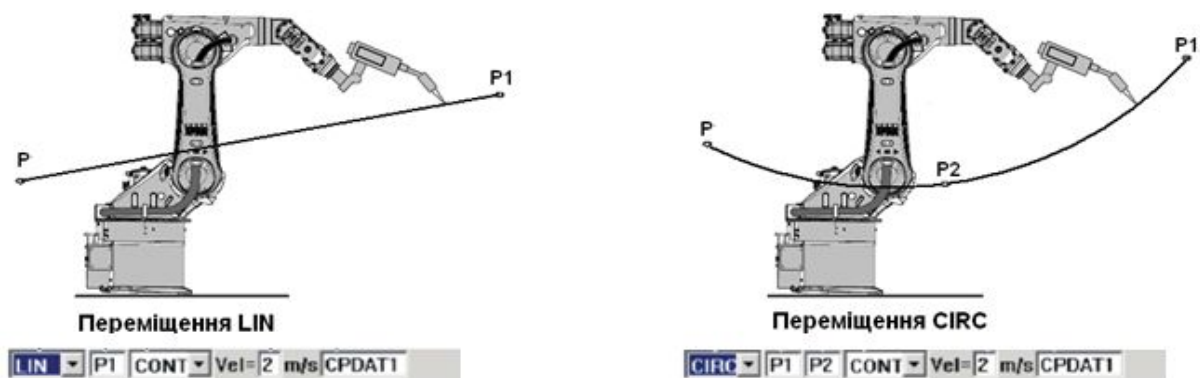


Рис. 9.5. Команди лінійного переміщення (LIN) та кругового переміщення (CIRC)

Програмне забезпечення таких пристроїв контурного керування включає різні системи проектування програм переміщення, від мови програмування за допомогою G-команд до програм, які за допомогою засобів багатомірної графіки дають можливість отримати зображення траєкторії переміщення, на основі якого автоматично складається програма керування. У ході проектування є можливість автоматичного контролю знаходження робочого органу в межах робочої зони, яка дозволяє уникнути можливих помилок програми. У ході керування роботою робота програма забезпечує також заходи безпеки для оператора.

Для здійснення контурного переміщення потрібна досить складна система керування виконавчими двигунами, яка може включати компоненти згідно з рис. 9.6, а саме панель оператора, за допомогою якої здійснюється програмування аналітичним методом або методом навчання, пристрій контурного керування, який перетворює переміщення робочого органу у просторі в переміщення по осях маніпулятора та подає відповідні керуючі сигнали на пристрої керування двигунами. Пристрої керування двигунами за допомогою датчиків зворотного зв'язку та слідкуючої системи здійснюють переміщення робочого органу згідно заданої траєкторії.

Прості пристрої керування двигунами здійснюють керування по одній осі та виконують лише позиційне керування з визначеною швидкістю. Керування пересуванням

робочого органу по заданій траєкторії у цьому разі виконую пристрій керування вищого рівня.

Багатоканальні пристрої керування здатні вирішувати завдання контурного керування з використанням різних засобів інтерполяції. Приклад такої системи на основі ЧПУ показаний на рис. 9.7.



Рис. 9.6. Система контурного керування

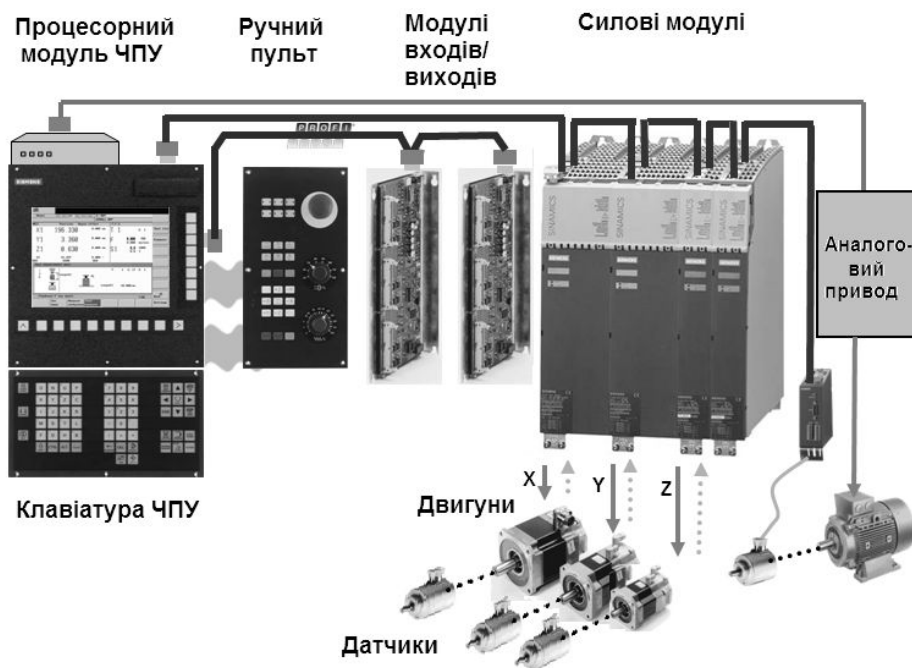


Рис. 9.7. Приклад системи контурного керування на основі ЧПУ

Так системи ЧПУ SINUMERIK фірми Siemens часто використовують для вирішення різних задач контурного керування промислових роботів.

На рис. 9.8. наведені приклади використання системи SINUMERIK для циклового переміщення по вказаній траєкторії (а), для переміщення по вказаній траєкторії зі зміною кінцевої позиції (б), для переміщення по вказаній траєкторії з урахуванням зношення інструменту, а також для переміщення по вказаній траєкторії з використанням одного робота для різних задач (г).

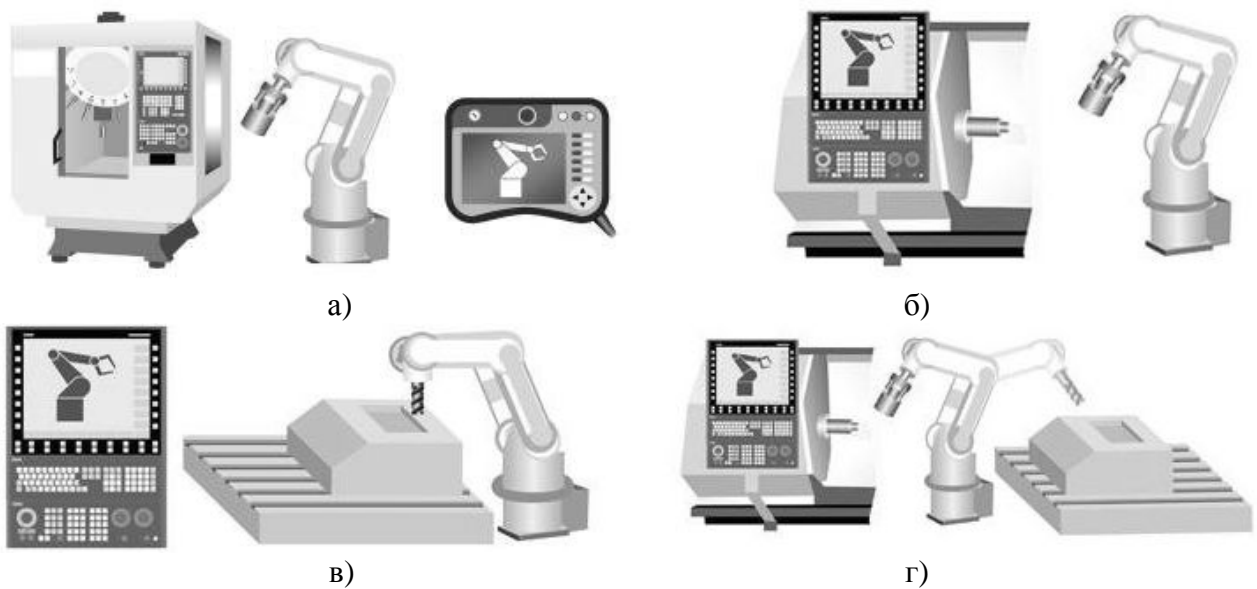


Рис. 9.8. Приклади використання системи SINUMERIK

Завдання до лабораторної роботи

Скласти програму переміщення по траєкторії, яка наведена на рис.9.8, за допомогою системи G-команд.

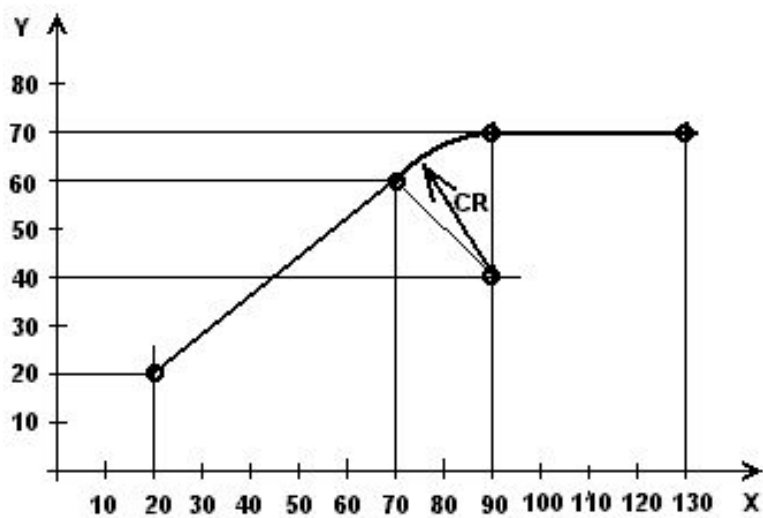


Рис. 9.8. Траєкторія переміщення

Приклад розв'язання задач з теми заняття

Вище був приведений приклад програми для траєкторії переміщення, що наведена на рис. 9.2

Контрольні запитання

1. Що забезпечують системи контурного керування?

2. У чому полягають особливості систем контурного керування?
3. Які засоби використовуються для побудови пристроїв контурного керування роботами?
4. Які засоби інтерполяції використовуються для переміщення по контуру?
5. У чому полягає програмування переміщення за допомогою системи G-команд?
6. За якою командою здійснюється лінійне переміщення?
7. За якою командою здійснюється переміщення за допомогою колової інтерполяції?
8. У чому полягає інтерполяція за допомогою сплайнів?
9. Як виглядає система ЧПУ, яка може виконувати контурне керування?
10. Які модулі програмованих логічних контролерів можуть здійснювати контурне керування?

Глава 10. Адаптивні системи керування та інформаційні системи промислових роботів

10.1. Основні властивості адаптивних систем

Адаптація (акомодація) є основною реакцією живого організму, що забезпечує йому можливість виживання. Вона означає пристосування організму до мінливих зовнішніх і внутрішніх умов. Реалізація цього принципу в технічних системах, як-то у робототехніці іноді просто необхідна. Поняття адаптації або адаптивності у техніці носить дуже широкий характер та, на жаль, немає точного визначення адаптивної системи, тому спробуємо пояснити зміст цього терміна такими міркуваннями.

Як відомо, за допомогою розімкнутого керування без зворотного зв'язку можна виключити вплив на вихідні параметри об'єкта деяких передбачених зовнішніх дій за умовою, що характеристики окремих компонент і елементів системи керування достатньо прості і їхні властивості не змінюються [1, 2, 5, 6]..

Ліквідувати непередбачений зовнішній вплив на поведінку об'єкта можливо в рамках традиційної теорії керування. Для цього необхідно використовувати принцип зворотного зв'язку, тобто організувати замкнуту систему керування, властивості всіх елементів якої покладаються відомими і не змінюються в часу. Іноді може допускатися дрейф деяких характеристик, але в дуже незначних межах. Проте на практиці часто зустрічаються такі об'єкти керування, параметри яких змінюються в широких межах під дією зовнішніх причин із часом і в силу властивостей самого об'єкта. У декілька разів може змінюватися момент інерції маніпулятора в складеному положенні стосовно цілком витягнутого; тертя в опорах двигунів у процесі забруднення і старіння мастила і багато інших характеристик. У той же час при керуванні складними об'єктами - гнучкими виробничими модулями, лініями або ділянками, що складаються з багатьох одиниць устаткування, кількість зовнішніх і внутрішніх чинників, що впливають на їхню роботу, різко зростає. Серед них можуть бути помилка позиціонування заготівель або навіть їхня відсутність у потрібний момент, знос обробного інструмента, відхилення стику зварюваних деталей від заданої траєкторії руху електрода зварювального автомата, вихід із ладу однієї з компонент гнучкої виробничої системи і інші подібні фактори, що потребують адаптації керуючої системи, тобто самонастроювання і пристосування до реальних умов експлуатації. Реакція системи керування виявляється в зміні структури, параметрів, а іноді й алгоритму дій так, щоб гарантувати досягнення поставленої цілі.

Існують загальні властивості, що характеризують процес адаптації:

- вихідні параметри об'єкта регулювання і характеристики впливаючих факторів знаходяться під постійним контролем і керуванням за допомогою пристроїв, що додатково включаються до складу керуючої системи;
- поведінка об'єкта, що спостерігається, описується деяким показником якості, що оцінює в кількісній формі характер протікання процесу керування;
- відхилення показника якості за межі допуску спричиняє за собою автоматичне налагодження параметрів регулятора або заміну алгоритму керування, результатом яких є досягнення бажаного показника якості або реалізації поставленої цілі.

Описані властивості характерні всім адаптивним системам керування, що завжди є системами зі зворотною зв'язок.

10.2. Рівні адаптації робототехнічних систем

У залежності від цілі керування адаптивні системи в робототехніці можна умовно розділити на такі рівні.

Перший рівень характеризується спроможністю самонастроювання параметрів регулятора на основі інформації про стан об'єкта, що знаходиться під впливом зовнішнього середовища (рис. 10.1, а).

Оцінка стана об'єкта може здійснюватися або прямим виміром необхідних параметрів, або шляхом їхньої ідентифікації. У останньому випадку на об'єкт подаються визначені спробні керуючі впливи, фіксується його реакція і на підставі аналізу поведінки

об'єкта дається оцінка апріорно невідомим або змінливим параметрам. Характерним прикладом цього рівня адаптації робототехнічної системи може служити регулятор, що управляє замкнутим по положенню електрогідравлічним приводом маніпулятора підводного апарата. Особливість експлуатації підводних роботів полягає в необхідності підтримки на заданому рівні статичних і динамічних параметрів гідроприводів у широкому діапазоні температур і тисків навколишнього середовища. Температура прошарків води може значно відрізнятись, що може призвести до зміни грузькості робочої рідини і, як слідство, до дрейфу характеристик приводу. Усунути це неприємне явище спроможна адаптивна система керування, що ідентифікує зміну характеристик і забезпечує відповідне самонастроювання параметрів регулятора.

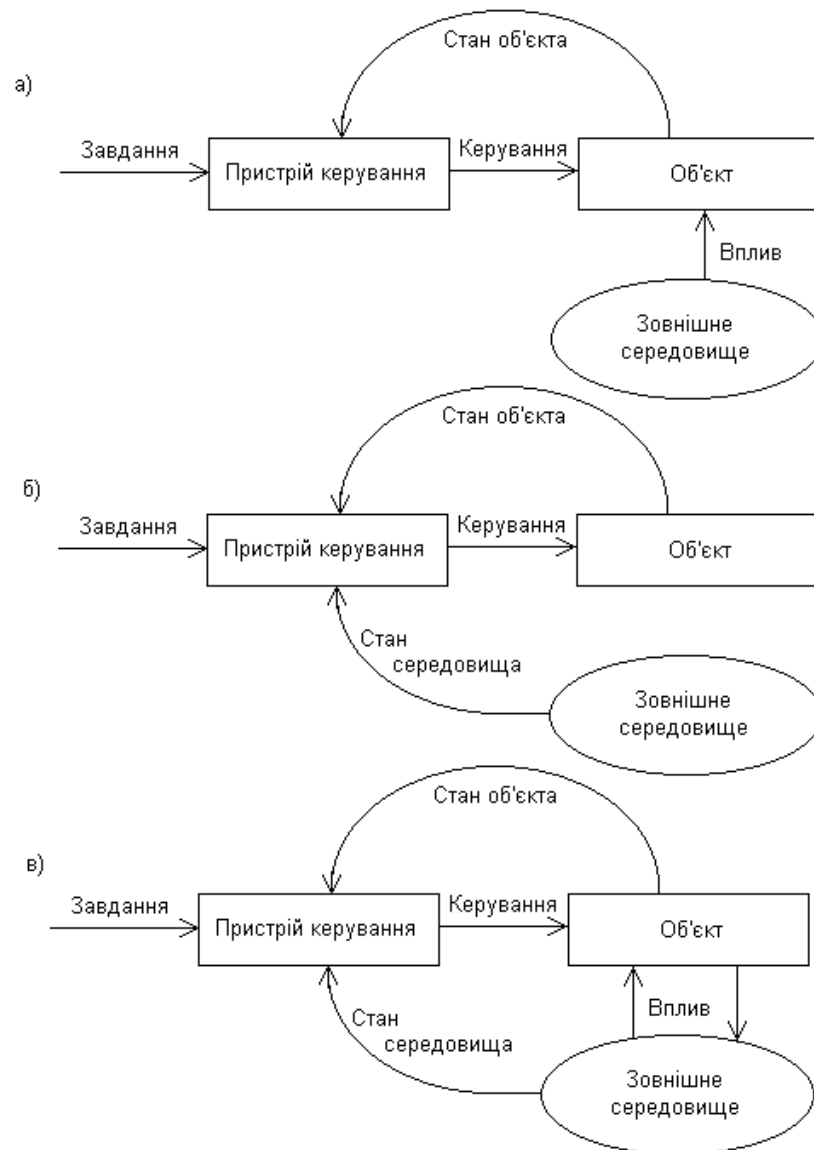


Рис. 10.1. Рівні адаптації робототехнічних систем

Для другого рівня адаптації робототехнічних систем характерно включення до складу керуючого пристрою додаткових інформаційних засобів, що забезпечують збір і опрацювання даних про стан зовнішнього середовища (рис. 10.1, б). На підставі аналізу змін зовнішнього середовища здійснюється корекція керуючої програми робота, що дозволяє в нових умовах досягти поставленої цілі. Хоча на цьому рівні адаптації корекція програмних дій допускається лише в невеличких межах, можна одержати значний ефект від застосування таких адаптивних систем керування.

Для третього рівня адаптивного керування робототехнічними системами поняття

цілі витікає з вимоги реалізації максимальної продуктивності при забезпеченні відсутності браку. Для цього рівня адаптації характерні розвинуті засоби для збору інформації про зовнішнє середовище, самодіагностування, а, можливо, і самостійного ремонту компонент керованої виробничої системи (рис. 10.1, в).

Так, наприклад, однією зі складних із погляду автоматизації є операція абразивного зачищення лиття, особливості якої полягають у криволінійності форми виливків, відсутності на них базових поверхонь, що можна було б прийняти за початок відліку для наступних точних переміщень і знос абразивного інструмента, тому виконати абразивне зачищення або шліфування виробів, використовуючи робота з програмним керуванням, практично неможливо. Рішення цієї задачі можна знайти тільки в класі адаптивних систем, доповнивши керуючий пристрій робота засобами для контролю якості опрацювання поверхні вилівка, датчиками сил різання і зносу абразивного інструмента.

Обов'язковою умовою функціонування адаптивного робота є зв'язок з зовнішнім середовищем. При цьому треба вирішувати задачу забезпечення робота системою чуттєвості, яка складається з датчиків зовнішньої інформації. Таким чином система керування адаптивним роботом повинна мати у своєму складі розвинуту інформаційно-вимірювальну систему, яка складається з датчиків зовнішньої та внутрішньої інформації.

Згідно з ДСТУ 2879-94 інформаційно-вимірювальна система промислового робота це система, що забезпечує сприйняття та оброблення інформації про зовнішнє середовище, в якому функціонує робот, і внутрішньої інформації про стан вузлів, механізмів та систем робота.

10.3. Інформаційні системи промислових роботів

Класифікація інформаційних систем промислових роботів наведена на рис. 10.2.

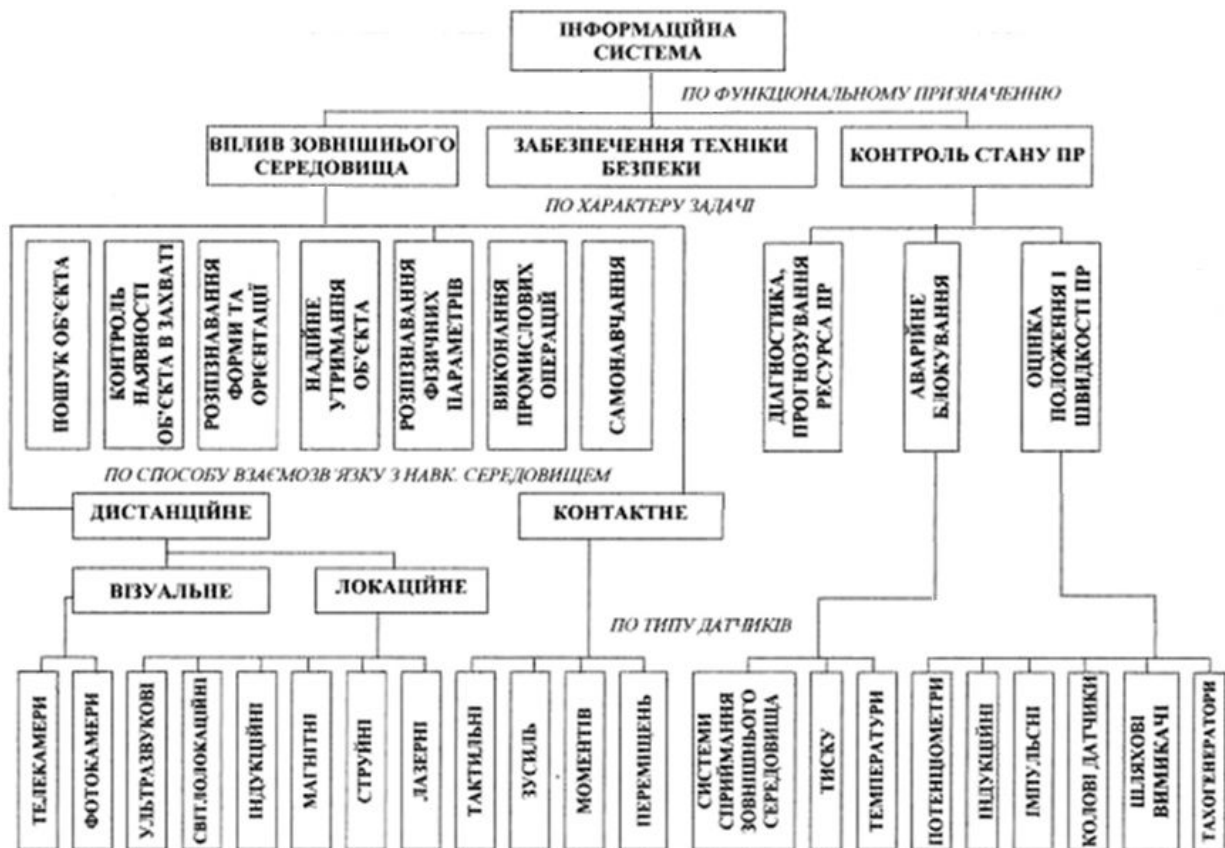


Рис. 10.2. Класифікація інформаційних систем промислових роботів

Інформаційні системи промислових роботів складаються з датчиків зовнішньої та

внутрішньої інформації.

Датчиком називають пристрій, що служить для перетворення контрольованої або регульованої величини у вихідний сигнал, зручний для дистанційної передачі або для вводу у пристрій керування. Датчик дає первинну інформацію про параметри процесу.

Інформаційні системи роботів по функціональному призначенню можна розділити умовно на дві групи: датчики стану маніпулятора (датчики внутрішньої інформації) та системи чуттєвості (датчики зовнішньої інформації).

Датчики стану маніпулятора зазначені для вимірювання параметрів переміщення робочого органа та окремих його компонент або для отримання іншої інформації про внутрішній стан робота. До датчиків внутрішньої інформації можна віднести датчики положення, датчики швидкості, датчики обертового моменту тощо.

Системи чуттєвості зазначені для збору інформації про зовнішнє середовище та включають датчики контактного типу, до яких можна віднести силомоментні та тактильні датчики, та датчики безконтактного типу, до яких можна віднести системи технічного зору та локаційні датчики.

У робототехнічних системах широке використання знайшли так звані кінестетичні датчики. Кінестетична функція забезпечує узгоджені рухи опорно-рухового апарату людини, тому до кінестетичних датчиків можна віднести датчики, які пов'язані з вирішуванням задач контролю лінійних та кутових переміщень та забезпечення заданої швидкості руху. По типу вхідного впливу кінестетичні датчики можна поділити на три групи: 1) датчики положення та переміщення, 2) датчики швидкості, 3) датчики зусиль та акселерометри.

Умовність запропонованої розбивки інформаційних систем роботів по їхньому функціональному призначенню пояснюється тим фактом, що як одна, так і друга група пристроїв у ряді випадків можуть бути використані для одержання інформації, що звичайно збирають датчики другої групи інформаційних систем. Наприклад, використовуючи тільки дані про величини моментів у шарнірах маніпулятора, обмірюваних за допомогою датчиків стану, можна оцінити вагу вантажу, затиснутого захоплюючим пристроєм, або визначити величини і напрямку діючих на нього зовнішніх сил, для виміру котрих звичайно на маніпуляторах установлюють спеціальні силомоментні системи чуттєвості.

Основним елементом датчика, який сприймає вимірювану величину і перетворює її в іншу, є чутливий елемент. Найчастіше вихідною величиною є електричний сигнал, який тим чи іншим шляхом можна одержати з переважно неелектричного технологічного параметра або параметра зовнішнього середовища. За принципом одержання вихідного сигналу є дві групи датчиків: пасивні (параметричні) та активні (генераторні). Перші під дією вхідного сигналу змінюють свій параметр, другі створюють інший вид енергії, яка залежить від вхідного сигналу.

За взаємодією з об'єктом вимірювання можна виділити контактні та безконтактні датчики.

За характером вихідного сигналу датчики поділяють на два види:

аналогові датчики з неперервними вихідними сигналами, в яких цей сигнал (напруга, сила струму, частота і т.п.) пов'язаний неперервною функціональною залежністю з вимірюваною величиною, при цьому мірою вимірюваного параметра є величина вихідного сигналу;

дискретні датчики з дискретними вихідними сигналами, в яких при плавній зміні вимірюваної величини вихідний сигнал змінюється стрибкоподібно та може приймати, наприклад, лише два значення.

Основною характеристикою аналогового датчика є залежність вихідної величини Y від вхідної величини X , яка може бути лінійною або нелінійною. Для лінійної характеристики відношення $Y / X = K$ називається коефіцієнтом передачі або чутливістю датчика. Якщо характеристика датчика нелінійна, то користуються відношенням $\Delta Y / \Delta X = S$. Статична характеристика датчика показує залежність зміни вихідної величини від

зміни вхідної величини в усталеному режимі (рис. 10.3, а).

Динамічна характеристика показує перехідний процес вихідної величини $y = f(t)$ при стрибкоподібній зміні вхідної величини (рис. 10.3, б).

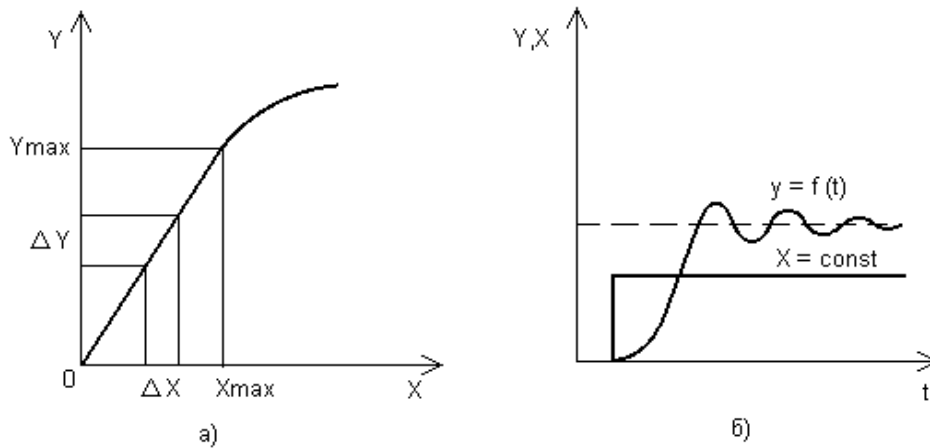


Рис. 10.3. Статична (а) та динамічна (б) характеристики датчика

Інерційність датчика – це величина, що характеризує динамічні властивості датчика і вказує, наскільки швидко його вихідна величина починає відповідати вхідній.

Сучасні датчики дають вихідні сигнали в уніфікованій формі, наприклад, аналоговий вихідний сигнал у вигляді електричного струму може мати значення $\pm 5, \pm 10, \pm 20, 4 - 20$ мА, а вихідний сигнал у вигляді напруги може мати значення $\pm 0,05, \pm 0,1, \pm 0,25, \pm 0,5, \pm 1,0, \pm 5, \pm 10$ В. Якщо вихідний сигнал датчика не відповідає цим вимогам (наприклад, тензодатчики або термопари), то використовують нормуючі пристрої, які дають вихідні сигнали в уніфікованій формі.

Дискретні датчики мають вихідні сигнали, які приймають два значення, що умовно називають „0” та „1”. Для сигналу „1” використовують значення постійної напруги 24 В, або змінної напруги 110/220 В.

У наш час є можливість використовувати у складі датчика мікропроцесорні пристрої, які дозволяють робити досить складну обробку сигналів та перетворення їх у форму, придатну для передавання інформації за допомогою мереж зв'язку у послідовному коді. Це дозволяє значно спростити лінії, які передають дані, та значно зменшити кількість входів пристрою керування (рис. 10.4).

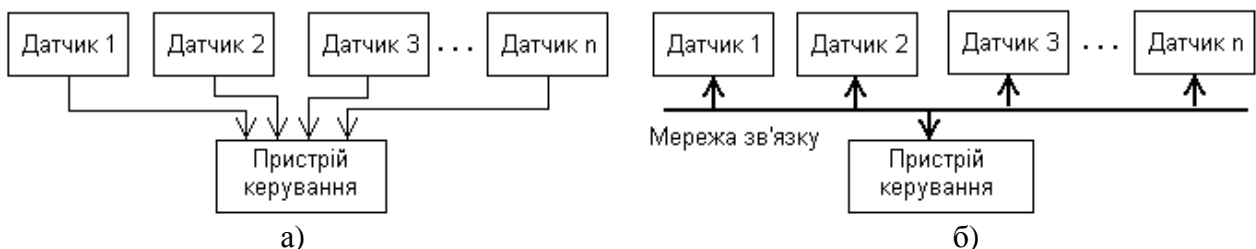


Рис. 10.4. Засоби підключення датчиків: а – до сигнальних входів, б – до мережі зв'язку

Одним з таких інтерфейсів для підключення датчиків та виконуючих пристроїв, так званий AS-і, є комунікаційною системою, зазначену для використання на самому нижчому рівні промислових автоматизованих систем – на рівні керування процесом. AS-інтерфейс дозволяє замість розвинутої мережі з'єднувальних кабелів використати один кабель AS-інтерфейсу. За допомогою цього AS-і кабелю та пристрою підключення звичайні датчики

можна з'єднати з керуючим пристроєм. Цей кабель має дві жили та призначений для одночасової передачі сигналів та напруги живлення.

До одного кабелю AS-інтерфейсу можна підключити до 124 датчиків та виконуючих пристроїв. Просте підключення до кабелю здійснюється шляхом проколювання ізоляції кабелю за допомогою гострих контактів на пристрої підключення.

Системи чутливості або датчики зовнішньої інформації на відміну від датчиків внутрішньої інформації повинні виконувати складні алгоритми обробки сигналів і тому мають у своєму складі досить складні обчислювальні пристрої, які працюють незалежно від системи керування роботом, здійснюючи лише функції обміну даними. До таких систем можна віднести, наприклад, системи технічного зору та локаційні датчики.

10.4. Приклади адаптивного керування

Прикладом адаптивного керування може бути зміна мети переміщення об'єкту в залежності від його властивостей, а саме кольору, ваги, форми, тощо. Ці властивості визначають відповідні датчики зовнішньої інформації. У даному випадку це можуть бути датчики різного рівня складності, досить прості, що визначають кольори об'єкту (оптичний датчик визначення кольору), або його вагу (датчик визначення ваги), а також складні, що складаються з відеокамери та системи обробки зображення для визначення форми об'єкту.

На рис. 10.5 наведений приклад адаптивного керування промисловим роботом, що здійснює сортування вантажу за кольором, який визначає оптичний датчик.

У залежності від кольору вантажу встановлюється значення позиційного переміщення робота для встановлення вантажу на відповідний конвеєр.

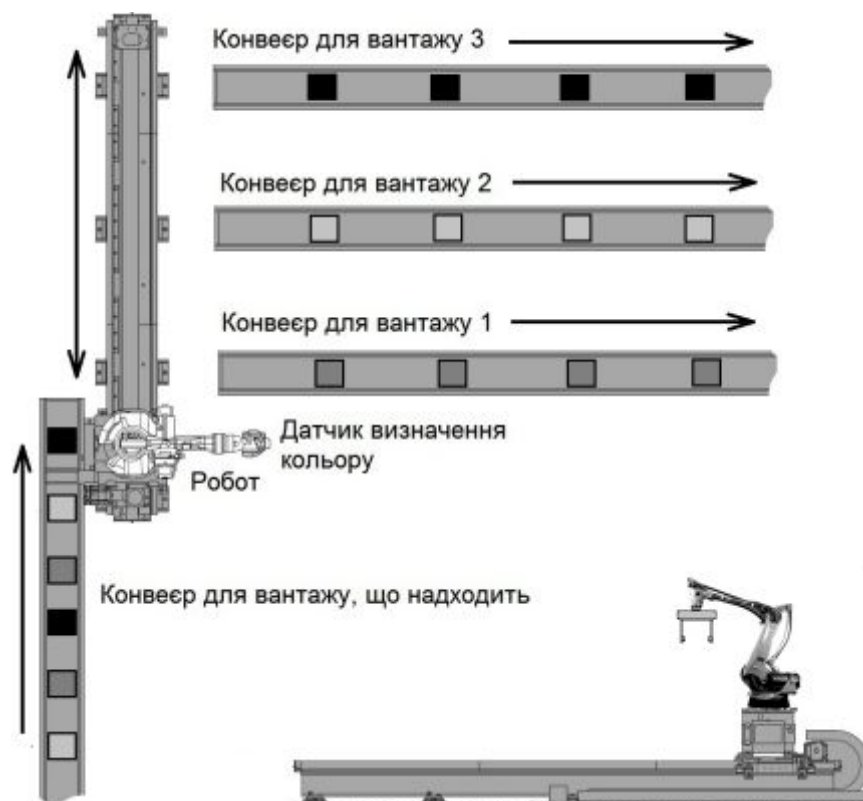


Рис. 10.5. Приклад адаптивного керування промисловим роботом, що здійснює сортування вантажу за вагою

На рис. 10.6 наведені приклади мобільних роботів, що здійснюють пошук визначених об'єктів, а також складання виробів з окремих деталей. Адаптивність таких роботів забезпечує технічний зір з системою обробки зображення.

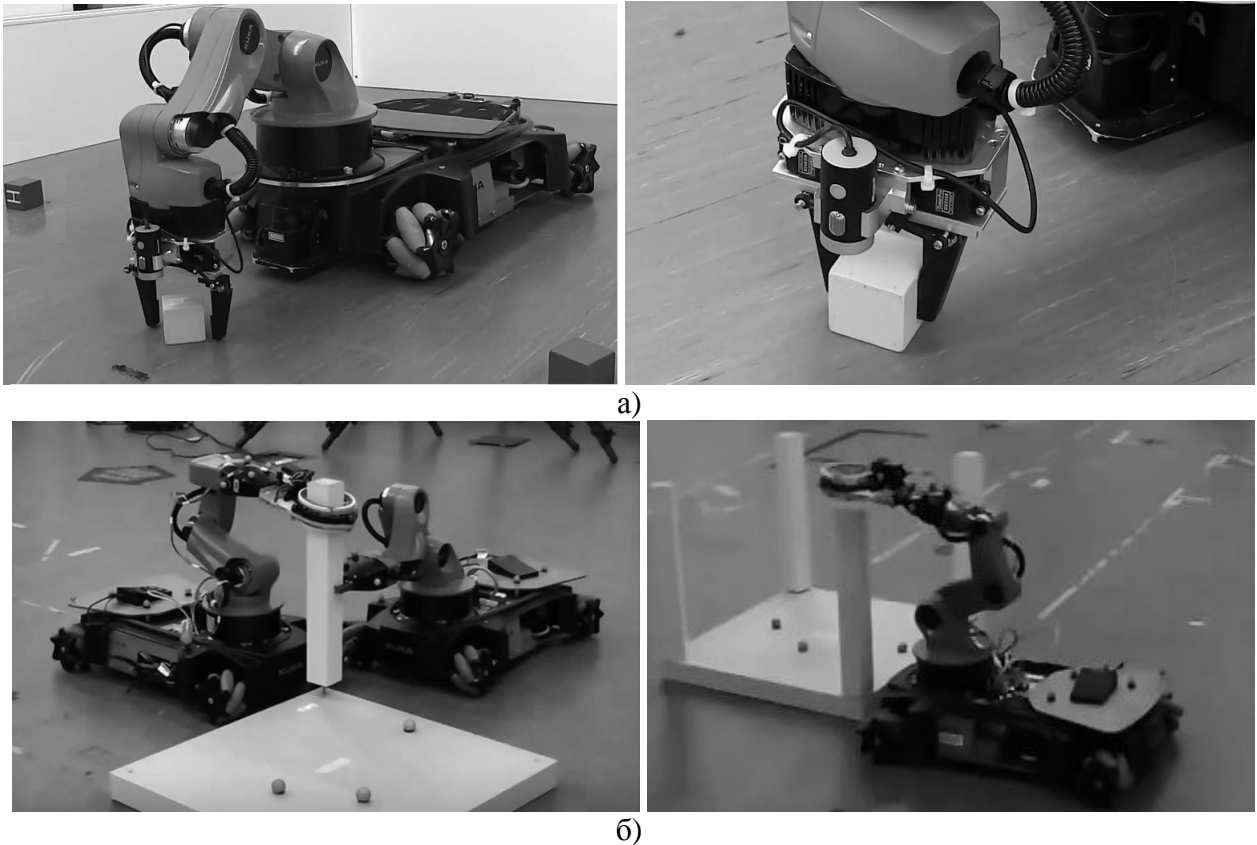


Рис. 10.6. Приклади адаптивних мобільних роботів, що здійснюють пошук визначених об'єктів (а), а також складання виробів з окремих деталей (б)

Контрольні запитання

1. Що забезпечують системи адаптивного керування?
2. У чому полягають особливості систем адаптивного керування?
3. На які рівні можна умовно розділити адаптивні системи в робототехніці у залежності від цілі керування?
4. З чого складаються інформаційні системи промислових роботів?
5. Який пристрій називають датчиком?
6. Як можна розділити інформаційні системи роботів по функціональному призначенню?
7. Чим відрізняються аналогові та дискретні датчики?
8. Що таке коефіцієнт передачі датчика?
9. Що характеризує динамічні характеристики датчика?
10. Навіщо у складі датчика використовуються мікропроцесорні пристрої?

Глава 11. Датчики внутрішньої інформації

11.1. Контактні датчики положення

До датчиків внутрішньої інформації належать датчики положення, датчики

швидкості, датчики обертового моменту та датчики іншої інформації про внутрішній стан робота [13].

Використовуються контактні та безконтактні датчики положення рухомих об'єктів.

У найпростіших контактних датчиках механічне переміщення перетворюється в замкнений або розімкнений стан електричних контактів, які здійснюють релейний змін опоры у зовнішньому колі. До них належать кнопки та перемикачі (рис. 11.1), які здійснюють прості функції керування (наприклад, включення та зупинки пристрою) шляхові та кінцеві вимикачі або перемикачі, які використовуються у схемах автоматики для керування електроприводами або сигналізації положення механізмів.



Рис.11.1. Зовнішній вигляд кнопок та перемикачів та їх умовне позначення на електричній схемі

На рис. 11.2 наведено зовнішній вигляд контактної датчика та приклад його застосування для сигналізації кінцевого положення рухомої деталі механізму. Аналогічно може бути побудований шляховий датчик, який спрацьовує у проміжних пунктах переміщення деталі.

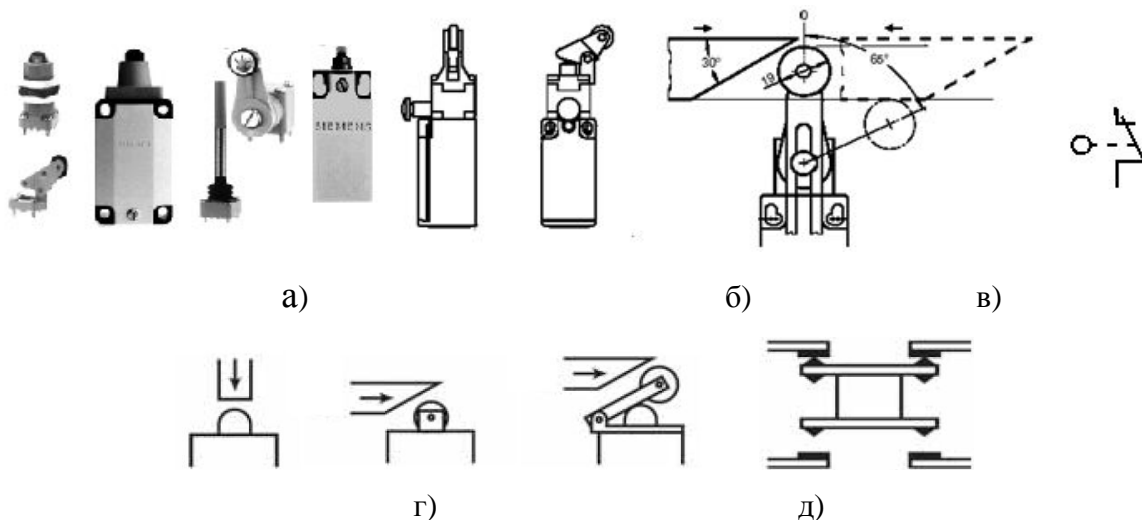


Рис.11.2. Зовнішній вигляд контактної датчика (а), приклад його застосування (б), умовне позначення на електричній схемі (в), варіанти спрацювання (г) та конструкція контактів (д)

Недоліками контактних датчиків є деренчання контактів, що може привести вести до помилкового опрацювання виконавчих пристроїв, значний і, крім того, змінний контактний опір, недовготривалість за рахунок підгоряння контактів тощо. Тому вони застосовуються в тих випадках, коли частота спрацювання невисока і є можливість працювати при низьких струмах.

На рис. 11.3 наведений приклад використання контактної датчика, що виконує функції кінцевого вимикача, для обмеження руху механізму переміщення по горизонталі та вертикалі промислового робота МП-20.

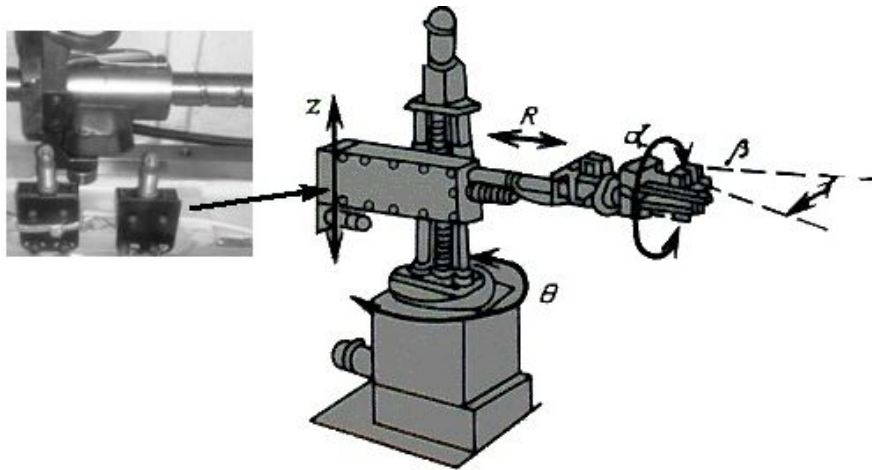


Рис. 11.3. Обмеження руху за допомогою контактного датчика

11.2. Безконтактні датчики положення

Безконтактні датчики за принципом роботи можна поділити на індуктивні, емкісні, оптичні та ультразвукові датчики.

У індуктивних датчиках (рис. 11.4) релейний сигнал створюється електронною схемою, яка приводиться в дію металевою пластинною, що кріпиться на рухомій деталі механізму, або самою деталлю. Ці датчики поділяються на дві групи: датчики із щілинними чутливими елементами та датчики з площинними чутливими елементами.

У датчиках із щілинними чутливими елементами першої групи (рис. 11.4, а) металева пластина (елемент впливання) проходить в щіліні між котушками чутливого елемента. В датчиках з площинними чутливими елементами щілина відсутня і елемент впливання проходить біля котушок на заданій відстані.

До складу таких датчиків входить генератор синусоїдальних коливань, які зриваються при проходженні екрану між котушками.

В датчиках з площинними чутливими елементами металевий елемент, що впливає на датчик, проходить біля котушок на заданій відстані. Зовнішній вигляд таких датчиків наведено на рис. 11.4, б.

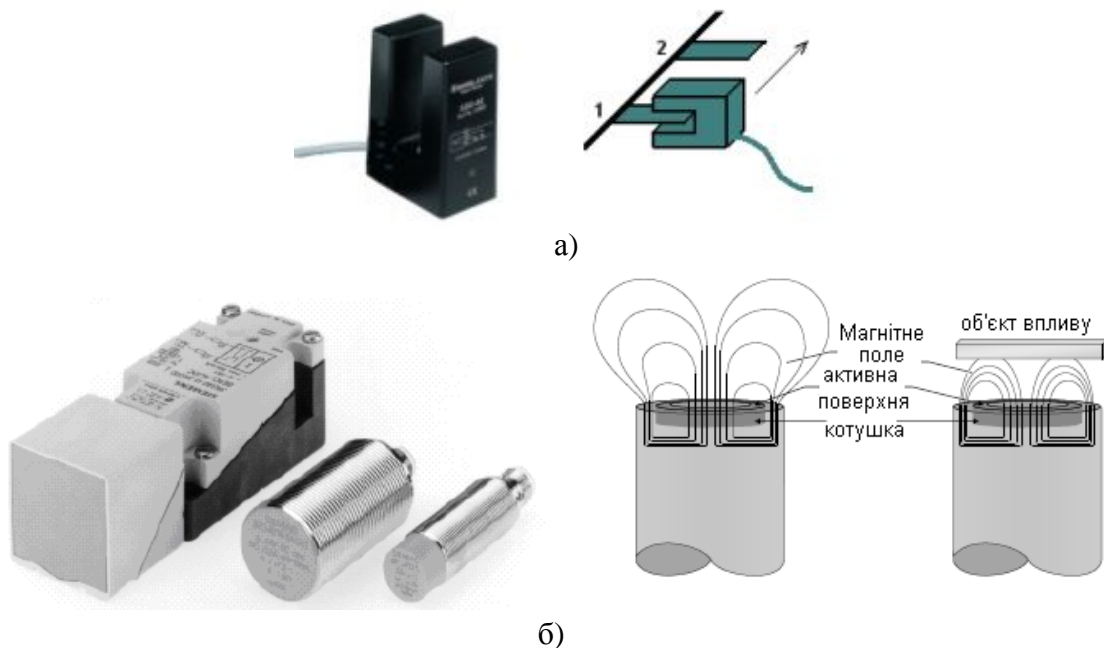


Рис. 11.4. Загальний вигляд безконтактного датчика з щілинним (а) та площинними (б) чутливими елементами

Відрізняють різні схеми підключення датчиків в залежності від типу та кількості вихідних сигналів. На рис. 11.5 наведені схеми двох- (а), трьох- (б) та чотирьохпроводного (в) підключення.

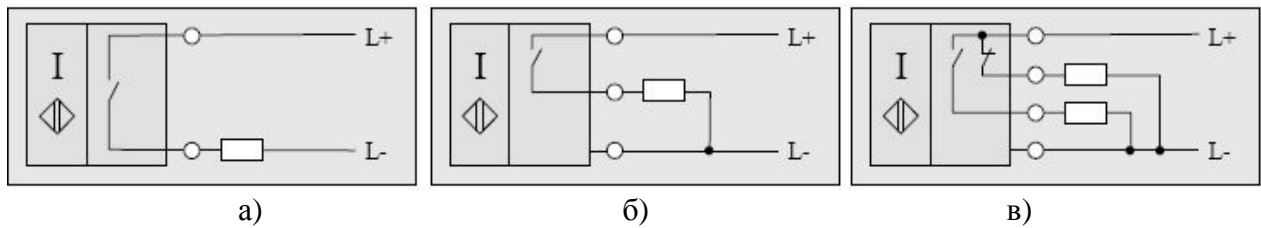


Рис. 11.5. Схеми двох- (а), трьох- (б) та чотирьохпроводного (в) підключення

Характеристика спрацювання індуктивного датчика показана на рис. 11.6. Ця характеристика дає можливість знайти найменшу довжину елемента впливання, яка визначає точність позиціонування, в залежності від швидкості проходження та відстані елемента впливання від поверхні датчика.

Максимальна швидкість проходження V_x , довжина елемента d , що впливає на датчик, і відстань S , на якому цей елемент проходить повз датчик, пов'язані такими співвідношеннями:

$$\Delta x \approx \frac{x_0(y_0 - S)}{y_0}; \quad V_x = \frac{2\Delta x + d}{t_s}; \quad d = V_x \cdot t_s - 2 \cdot \Delta x;$$

V_x – максимальна швидкість проходження, м/с;

Δx – відстань спрацювання, мм;

d – довжина елемента, що впливає на датчик, мм;

t_s – максимальний час спрацювання пристрою керування, мс (по умовчанням 150 мс).

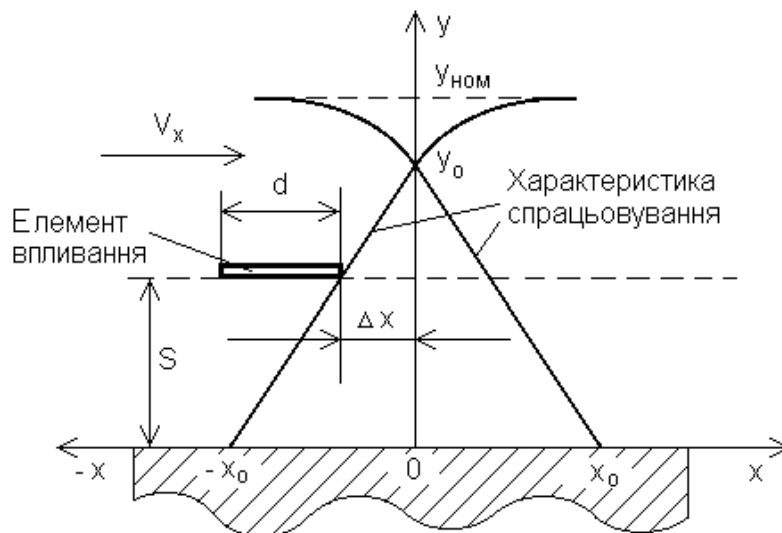


Рис. 11.6. Характеристика спрацювання індуктивного датчика

Ємкісні датчики відрізняються тим, що елемент, який впливає на датчик, не повинен обов'язково бути металевим.

Дію цих датчиків засновано на перетворенні вхідної величини у зміну ємності конденсатора (рис. 11.7).

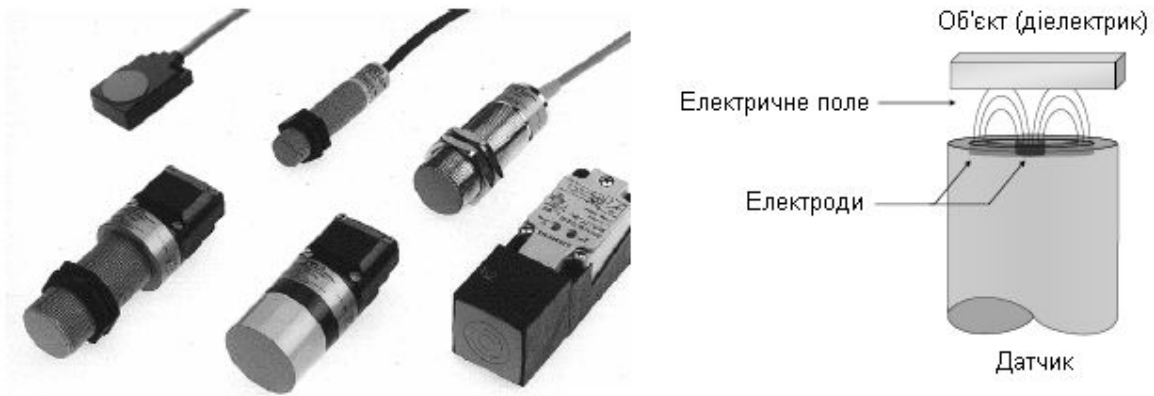


Рис. 11.7. Ємкісні датчики

В оптичних (фотоелектричних) датчиках зміна вихідного параметра (струм, напруга) відбувається залежно від зміни сили світла, яке падає на датчик. Оптичні датчики можуть працювати на відбивання (датчики відбиваючої дії) (рис. 11.8, а) на проходження (датчики однонаправленої дії) (рис. 11.8, б) або щілинні датчики (рис. 11.8, в).

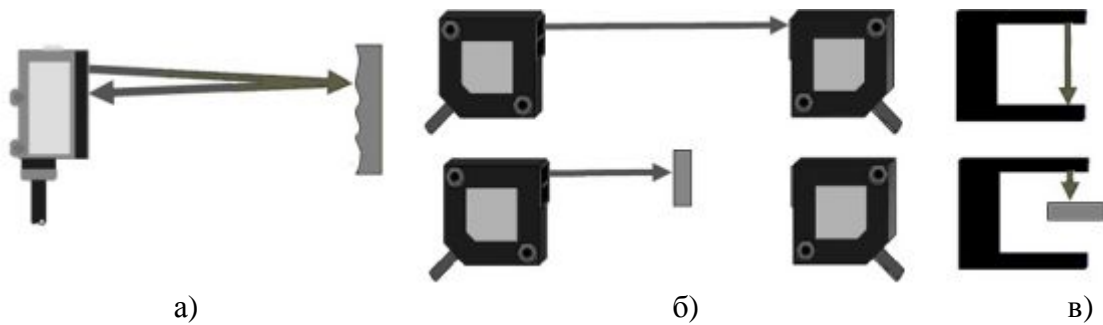


Рис. 11.8. Оптичні датчики відбиваючої дії (а), однонаправленої дії на проходження (б) та щілинні датчики (в)

В ультразвукових датчиках зміна вихідного параметра (струм, напруга) відбувається залежно від зміни ультразвуку, яке падає на приймач датчика. Ультразвукові датчики також можуть працювати на відбивання (датчики відбиваючої дії) (рис. 11.9, а) або на проходження (датчики однонаправленої дії) (рис. 11.9, б).

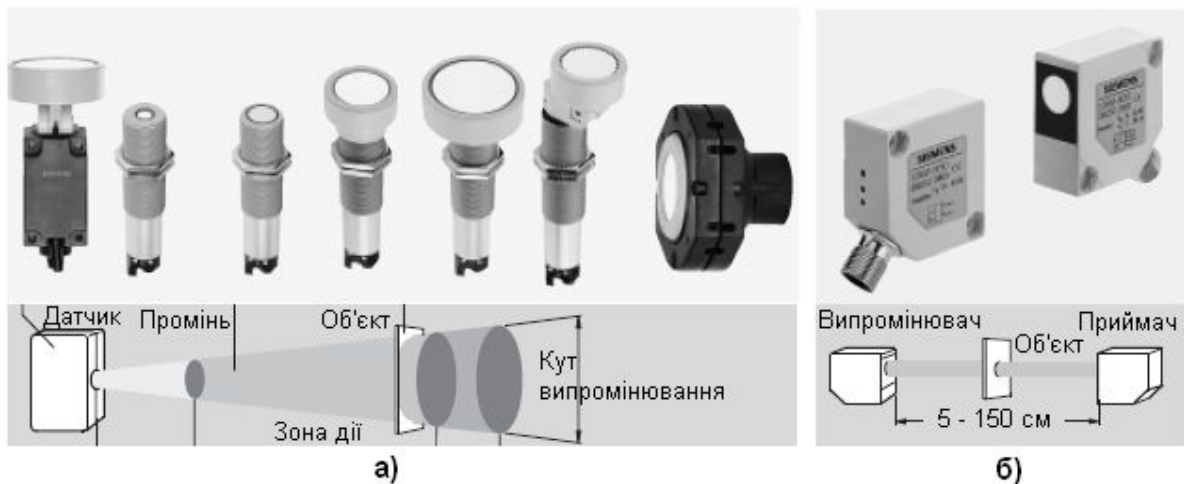


Рис. 11.9. Ультразвукові датчики на відбивання (датчики відбиваючої дії -а) та на проходження (датчики однонаправленої дії - б)

11.3. Датчики переміщення та швидкості

Індуктивні та оптичні датчики використовуються для визначення лінійного та кутового переміщення (рис. 11.10).

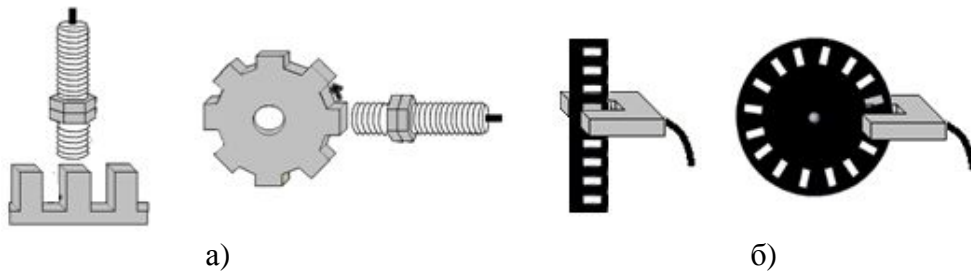


Рис. 11.10. Використання індуктивних (а) та оптичних (б) датчиків для визначення лінійного та кутового переміщення

На рис. 11.11 наведений приклад використання щілинного оптичного датчика для вирішування задач одометрії, а саме, вимірювання кута повороту колеса для визначення шляху переміщення.



Рис. 11.11. Використання щілинного оптичного датчика для вимірювання кута повороту колеса

Це вимірювання здійснюється так. Шлях l , що проходить колесо, що має діаметр d , за одне обертання дорівнює $l = \pi d$. Якщо кількість імпульсів за одне обертання колеса складає n_d , то відстань l_n , яку пройде колесо за n імпульсів дорівнює $l_n = \pi d n/n_d$.

Для вимірювання лінійних та кутових переміщень використовуються також резистивні (потенціометричні) датчики, датчики на обертових трансформаторах, сельсини, тахогенератори, фотоімпульсні датчики та інші.

Потенціометричні датчики дають змогу безпосередньо перетворювати лінійне або кутове переміщення повзунка в постійну напругу (рис. 11.12).

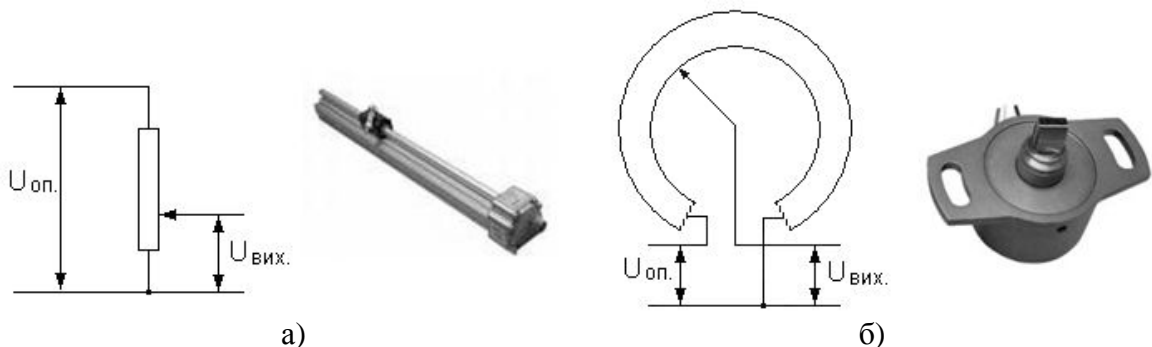


Рис. 11.12. Потенціометричні датчики лінійних (а) та кутових (б) переміщень

Обертові трансформатори, які використовуються, наприклад, у резольверах, це пристрої змінного струму, які перетворюють кут повороту ротора відносно статора в електричний сигнал (рис.11.13).

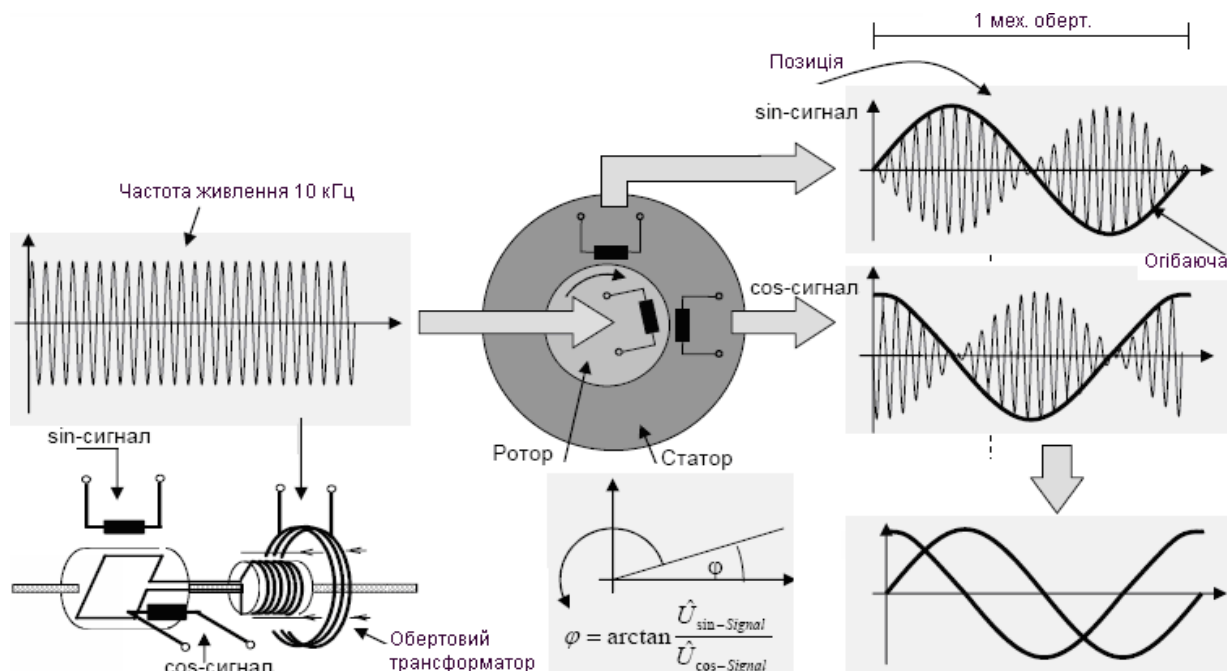


Рис. 11.13. Принцип дії резольвера

Принцип дії фотоімпульсних датчиків, які використовуються вимірювання переміщення та швидкості, базується на модуляції світлового потоку, який засвічує фотоелемент за допомогою диска або лінійки з отворами або з прозорими та непрозорими смугами (рис. 11.14).

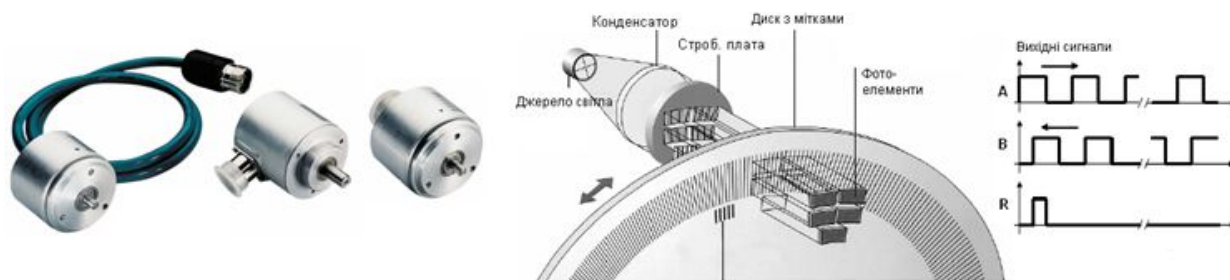


Рис. 11.14. Зовнішній вигляд та принцип роботи фотоімпульсних датчиків

Таки датчики дають до 6000 імпульсів за один оборот, що дозволяє вимірювати малі переміщення. Електронна система датчика формує дві послідовності імпульсів, які зсунуті відносно одна одної на $+90^\circ$ або -90° в залежності від напрямку переміщення. Завдяки цьому лічильники мають можливість визначити абсолютну позицію переміщення шляхом рахування імпульсів на збільшення або на зменшення. Швидкість вимірюється як кількість імпульсів за визначений час.

На рис. 11.15 наведений датчик лінійних переміщень, що працює за тим же принципом.

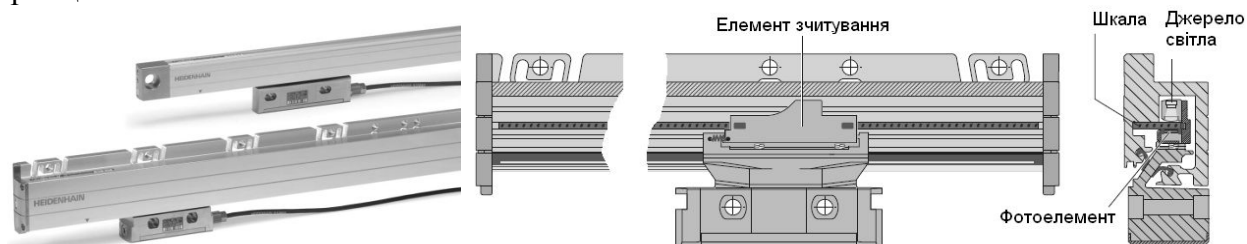


Рис. 11.15. Фотоімпульсний датчик лінійних переміщень

Для перетворення кутових та лінійних переміщень у цифровий код використовують абсолютні кодові датчики, основним вузлом яких є елемент у вигляді диска з кодовим рисунком. Зчитуючи код можна визначити кутове переміщення (рис. 11.16).

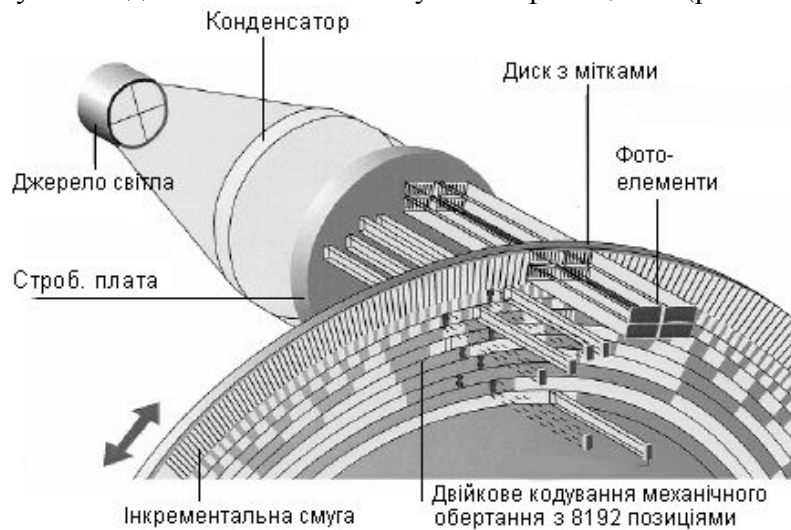


Рис. 11.16. Принцип роботи абсолютних датчиків

Швидкість переміщення визначається за допомогою датчиків переміщення як переміщення за визначений шлях.

Для вимірювання швидкості використовуються також тахогенератори постійного струму, які перетворюють значення швидкості (кількості обертів) в електричний сигнал (напругу).

Завдання до лабораторної роботи

Визначити кількість імпульсів, яку видає одометричний датчик для визначення вказаного шляху переміщення l , якщо відомі кількість імпульсів на одне обертання колеса n_{∂} та його діаметр d .

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8
Кількість імпульсів на одне обертання колеса, n_{∂}	16	24	32	64	8	16	24	32
Діаметр колеса, d , м	0,4	0,5	0,6	0,7	0,3	0,45	0,55	0,65
Шлях переміщення l_n , м	4	5	6	7	8	9	5,5	7.5

Приклад розв'язання задач з теми заняття

Шлях переміщення $l_n = 4,5$ м
 кількість імпульсів на одне обертання колеса, $n_{\partial} = 20$,
 діаметр колеса $d = 0,5$ м

Оскільки $l_n = \pi d n / n_{\partial}$, маємо

$$n = l_n n_{\partial} / (\pi d) = 4,5 \cdot 20 / (3,14 \cdot 0,5) = 57.$$

Контрольні запитання

1. Які датчики дають інформацію про внутрішній стан робота?
2. Які датчики використовуються для визначення положення рухомих об'єктів?
3. Як механічне переміщення перетворюється в електричний сигнал у контактних датчиках?
4. Як переміщення перетворюється в електричний сигнал у індуктивних датчиках?
5. Як визначити точність позиціонування індуктивних датчиків?
6. Як визначається кількість імпульсів, яку видає одометричний датчик для визначення вказаного шляху переміщення?
7. Які датчики використовуються для вимірювання лінійних та кутових переміщень?
8. У чому полягає принцип дії абсолютних датчиків?
9. У чому полягає принцип дії фотоімпульсних датчиків?
10. Які датчики використовуються для вимірювання швидкості переміщення?

Глава 12. Датчики зовнішньої інформації

12.1. Тактильні та силомоментні датчики

Датчики зовнішньої інформації або системи чуттєвості використовуються в адаптивних системах керування. Вони зазначені для збору інформації про зовнішнє середовище та включають датчики контактного типу, до яких можна віднести тактильні та силомоментні датчики, та датчики безконтактного типу, до яких можна віднести системи технічного зору та локаційні датчики [13].

Датчики контактного типу включають тактильні та силомоментні датчики.

Тактильна система промислового робота це система для здобування та оброблення інформації про положення предметів, їхню форму й фізичні властивості за даними контактного обстеження об'єкта.

Тактильні системи чуттєвості дозволяють роботу визначити положення точок торкання і виміряти контактні сили в кожній із них.

Прообразом тактильних систем послужило почуття дотику. Для отримання ефекту дотику можна використовувати матеріал, опір якого залежить від сили тиску. Якщо такий матеріал покрити з обох сторін поперечними та повздовжніми електропровідними смугами, то опір у перехресті смуг буде залежати від сили дотику (рис. 12.1, а). Послідовний опит цього опору у різних точках дає можливість визначити форму предмета (рис. 12.1, б).

Для формування зображення та аналізу тактильних образів використовують обчислювальні пристрої, які порівнюють отримане зображення предмета з образом еталона чи набору еталонів і таким чином визначають його параметри.

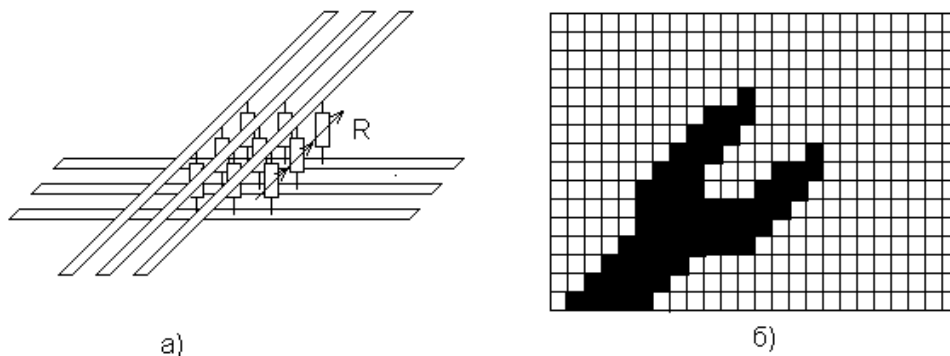


Рис. 12.1. Тактильна система

Силомоментні системи чуттєвості - це сенсорні пристрої, що забезпечують вимір компонент вектора сили і вектори моменту сил, що розвиваються роботом у процесі взаємодії з виробом у проекції на деяку систему координат.

Для вимірювання вектора сили використовується тензометричні або п'єзоелектричні датчики, які розташовані таким чином, щоб після обробки їх сигналів за допомогою обчислювального пристрою знайти компоненти вектора сили та визначити відповідну реакцію робочого органа.

На рис. 12.2 показано приклад використання силомоментної системи чуттєвості для позиціонування робочого органа при уставленні циліндра у круглий отвір. Обробляючи сигнали датчиків обчислювальний пристрій знаходить сили реакції, які з'являються при перекосі, та виправляє напрямлення руху робочого органа.

Таким чином як тактильні так і силомоментні датчики повинні мати у своєму складі пристрої керування, що здійснюють видачу та обробку даних, а також визначення необхідних параметрів. .

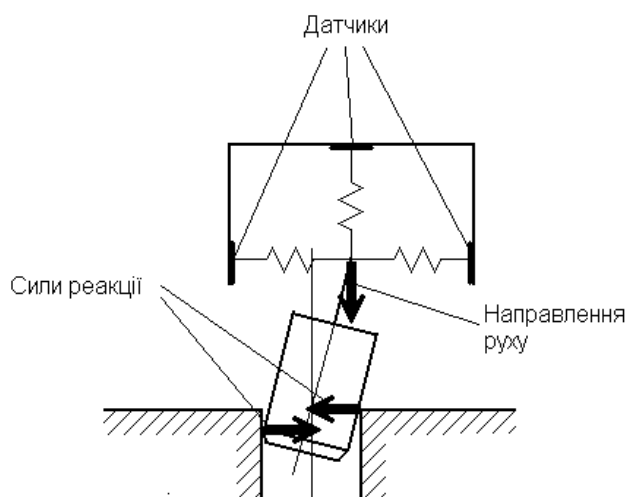


Рис. 12.2. Приклад використання силомоментної системи чуттєвості

До системи безконтактного типу можна віднести системи технічного зору та локаційні датчики. Серед систем чуттєвості найбільшою інформативною ємністю володіють системи технічного зору, що передають його керуючому пристрою по деяких оцінках від 80 до 90 % усієї необхідної для успішного функціонування інформації про властивості об'єкта маніпулювання і параметрах зовнішнього середовища.

12.3. Датчики відстані та локаційні системи чуттєвості

Локаційними системами чуттєвості називаються сенсорні пристрої, що дозволяють роботу, використовуючи принципи пасивної або активної локації, виявляти рухливі і нерухомі об'єкти, координати яких відомі з великою похибкою, визначати їхнє місце розташування, а також здійснювати наведення і захоплення цих об'єктів.

При пасивній локації датчики уловлюють випромінювання об'єкта та визначають його координати. Для активного режиму виміру характерно, що локаційна система містить у собі крім приймачів випромінювання ще і джерело сигналів, що посилюються в напрямку місцеперебування об'єкта. Відбиті хвилі реєструються приймачами.

Таким чином, принцип дії більшості сучасних локаційних систем базується на випромінюванні і прийомі акустичних або електромагнітних хвиль у припущенні, що швидкість поширення цих хвиль до перешкоди й назад відома з достатньою точністю та практично не змінюється протягом періоду виміру дистанції.

Локаційна, наприклад, ультразвукова система чуттєвості працює таким способом (рис. 12.3).

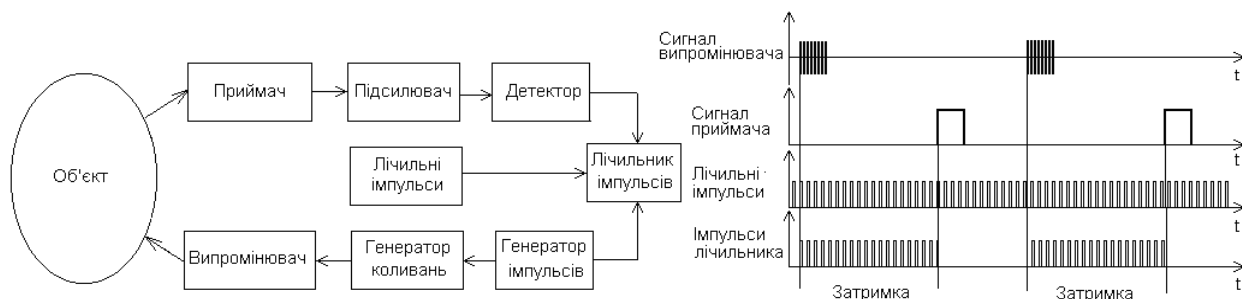


Рис. 12.3. Локаційна система чуттєвості

Випромінювач передає в навколишнє середовище пачки ультразвукових коливань, частота яких відповідає робочій частоті генератора коливань і в більшості випадків знаходиться в діапазоні 40-100 кГц. Одночасно за допомогою генератора імпульсів у момент часу, що відповідає передньому фронту випроміненого в простір сигналу,

запускаються вимірювач часу локаційні системи, у якості яких виступає лічильник імпульсів. Ультразвуковий сигнал, відбиваючись від перешкоди, потрапляє в приймач випромінювання, де перетворюється з акустичної в електричну форму, посилюється й відфільтровується від перешкод. Цей сигнал зупиняє процес лічби. Прийняті сигнали запізнюються стосовно випромінюваних на час їхньої проходження до перешкоди й назад. Тому число імпульсів, накопичене в лічильнику за цей період, буде пропорційно подвоєній відстані до об'єкта.

У наш час ультразвукові датчики використовуються для рішення різних задач, зокрема для вимірювання переміщення об'єкта. Зовнішній вигляд ультразвукових датчиків з аналоговим виходом наведено на рис. 12.4. Ці датчики можуть вимірювати відстань від 6 до 10 м та мають аналоговий сигнал на виході у вигляді струму (4 – 20 мА) або напруги (0 – 10 В). На рис. 12.5 наведений принцип дії цих датчиків.



Рис. 12.4. Ультразвукові датчики з аналоговим виходом

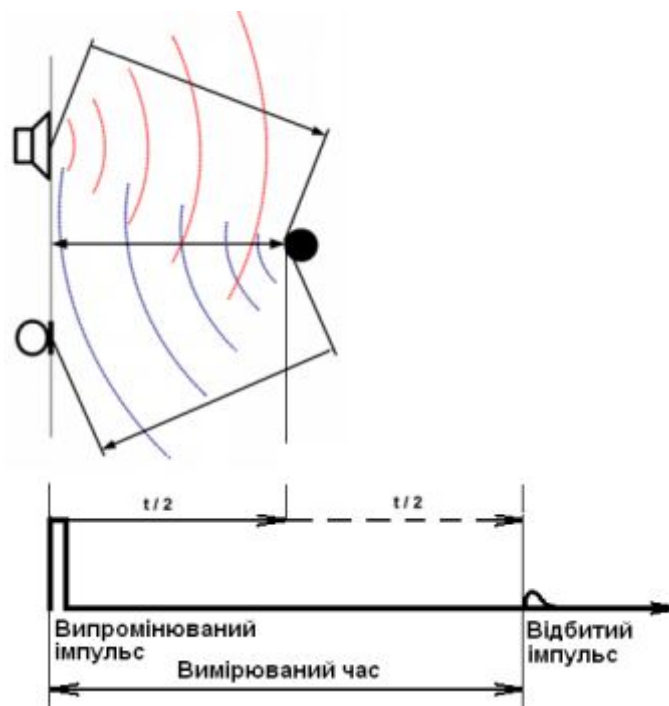


Рис. 12.5. Принцип дії ультразвукових датчиків з аналоговим виходом

Ультразвукові датчики використовуються як датчики внутрішньої так і зовнішньої інформації.

Інфрачервоні датчики відстані

Інфрачервоні датчики визначають відстань до об'єкту за допомогою методів триангуляції (рис. 12.6).



Рис.12.6. Інфрачервоний датчик фірми SHARP GP2Y0A710K0F

Імпульс світла в інфрачервоному діапазоні випромінюється і відбивається назад від перешкоди (або не відбивається). Кут падіння світлового променя, який повертається, залежить від відстані до перешкоди. Відбитий промінь попадає на позиційно чутливий елемент (*position-sensitive detector*, PSD), опір якого залежить від місця розташування падаючого на PSD променя.

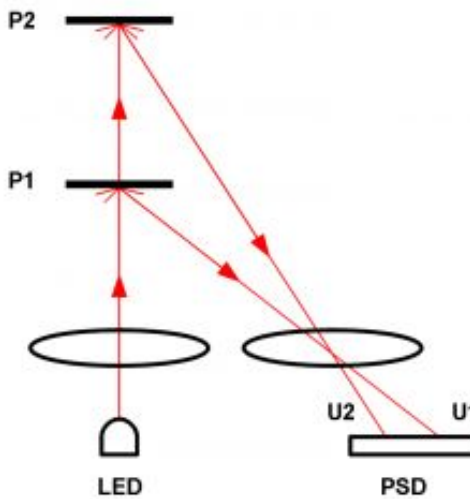
Вимірюючи цей опір можна обчислити відстань до об'єкту. Схема роботи датчика зображена на рис. 12.7.

Рис.12.7. Схема роботи датчика

Відстань до об'єкту ультразвукових датчиків, відстань від 100 до 550 см.

Для вимірювання і оптичні (лазерні) датчики в

Оптичні датчики мають роздільну здатність (1 мм заснований на вимірюванні спеціальної відбиває мітки, При цьому вириховують я Як джерело випромінювання використовуються інфрачервоні світлодіоди, або інфрачервоні та червоні лазерні світлодіоди.



моною триангуляції

ик, приблизна така, як у GP2Y0A710K0F вимірює

станціях використовують

о 130 - 150 м) і високу їх безконтактних датчиків ню, що відбивається від середньо від самого об'єкта. юби вимірювання відстані.

На рис.12.8 наведені лазерні датчики вимірювання відстані фірми SICK DME 3000 (а) з діапазоном вимірювання 0,1...8 м та точністю ± 5 мм, DMT (б) з діапазоном вимірювання 0,1...155 м та точністю ± 7 мм.



а)



б)

Рис.12.8. Лазерні датчики вимірювання відстані фірми SICK

Радарний датчик відстані фірми TR-Electronic LE-200 забезпечують можливість вимірювання відстаней до 240 м з точністю ± 2 мм і виведення даних за допомогою інтерфейсу локальної шини або промислової шини Ethernet. Розташовані в пристрої лазерні

діоди направляють модульований світловий промінь, який відбивається від відбивача з рівною поверхнею і знову надходить на детектор в пристрої.

Відстань розраховується по різниці фаз між відправленим і прийнятим світловим променем.

Принцип дії радарного датчика наведений на рис. 12.9.

Для орієнтації автоматичних транспортних засобів та мобільних роботів використовують скануючі лазерні датчики, за допомогою яких можна визначити розташування об'єктів навколо робота. Ці датчики включають лазерний датчик відстані та засіб обертання датчика.

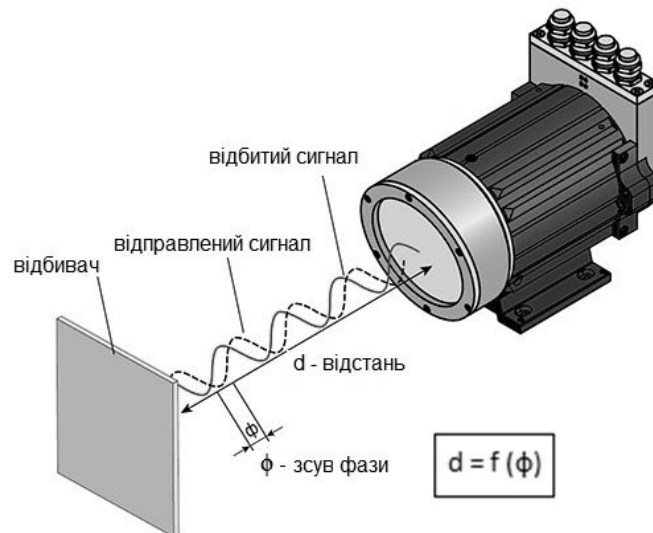


Рис. 12.9. Принцип дії радарного датчика

Датчик проводить періодичне вимірювання відстані, фіксує отримані значення і відповідний кут повороту датчика. Отримана інформація у цифровому вигляді передається на пристрій керування.

На рис 12.10 наведені скануючі датчики фірми SICK LSM151 з робочою зоною 50 м, кутом огляду 270° з роздільною здатністю 0,25° - 0,5°, частотою сканування 25 -50 Гц і точністю вимірювання ±30 мм, та LD-OEM з робочою зоною 0,5 - 250 м, кутом огляду 360° з роздільною здатністю 0,125° - 1,5°, частотою сканування 5 -15 Гц і точністю вимірювання ±38 мм, що можуть використовуватися для визначення перешкод мобільних роботів (в).





в)

Рис 12.10. Скануючи датчики фірми SICK

12.3. Системи технічного зору

Системами технічного зору називають системи для здобування та оброблення інформації про зовнішнє середовище (просторове розміщення технологічного устаткування, об'єктів маніпулювання й технологічного оброблення та перешкод у робочій зоні робота).

Системи технічного зору забезпечують одержання зображення робочої сцени, його перетворення, аналіз, опрацювання за допомогою обчислювального пристрою або мікропроцесора і передачу результатів вимірів керуючому пристрою робота або обчислювальному пристрою вищестоящого рівня керування.

Для визначення окремих параметрів зображення об'єкта, наприклад, кольору можна використовувати оптичні датчики.

Сучасні системи технічного зору використовують засоби цифрового промислового телебачення з додатковою обробкою зображень за допомогою обчислювальних пристроїв. Зовнішній вигляд та спрощена структурна схема таких систем наведена на рис. 12.11

Освітлювач задає потрібний рівень освітлення об'єкт. Вихідні параметри системи технічного зору: інтенсивність випромінювання S та колір (довжина хвилі λ випромінювання), частота f , фаза ϕ .

Приймач формує зображення об'єкта та перетворює його у послідовність аналогових або цифрових сигналів сканування зображення. Інтерфейс перетворює ці сигнали у форму, яка пригідна для обробки на обчислювальному пристрої.

Після обробки зображення та виявлення потрібних даних цифрові сигнали за допомогою вихідного інтерфейсу поступають на виконуючий пристрій.

Завдяки обчислювальному пристрою системи технічного зору можуть вирішувати широке коло завдань від визначення форми, кольору та інших оптичних властивостей об'єкту до орієнтації робота у просторі.



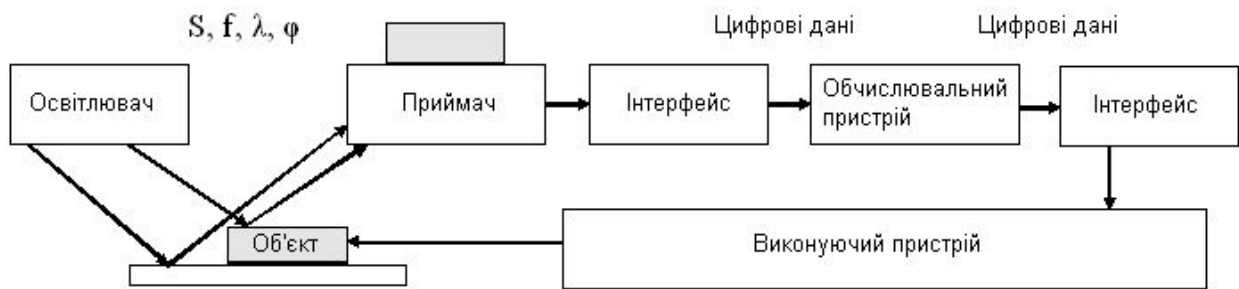


Рис. 12.11. Системи технічного зору

На рис. 12.12 наведений приклад використання технічного зору для виявлення бракованих деталей.

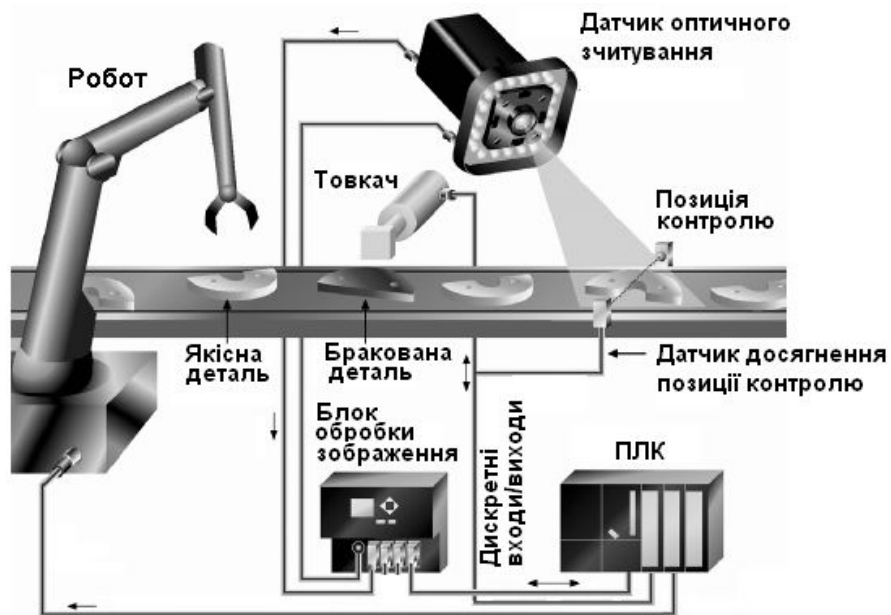


Рис. 12.12. Використання технічного зору для виявлення бракованих деталей

Сучасні промислові роботи широко використовують засоби машинного зору для вирішення задач локальної та глобальної навігації, для ідентифікації об'єктів, а також визначення їх параметрів та положення. Основним елементом таких систем є промислові відеокамери, які дозволяють отримати високу якість зображення, так, наприклад, кольорові промислові відеокамери Vaumer серії LXC забезпечують роздільну здатність 20 Мп (5120 x 3840) та швидкість зйомки 32 к/с (рис. 12.13).



Рис. 12.13. Промислові відеокамери

Обробка зображень такої якості потребує досить потужних обчислювальних пристроїв та складних обчислювальних алгоритмів ідентифікації та визначення параметрів об'єктів.

Відеокамери використовують також для вирішення відносно простих задач. На рис. 12.14 наведений приклад використання відеокамери для переміщення по траєкторії (маршрутослідкування).



Рис. 12.14. Використання відеокамери для переміщення по траєкторії

Для розрахунку напрямлення переміщення використовуються вимірювальні смуги D1 – D5. Перевагою такого керування є можливість переміщення з максимальною швидкістю за рахунок передбачення зміни напрямку руху, коли треба зменшувати швидкість.

Відеокамеру можна використовувати для визначення відстані до об'єкту, коли це важко зробити датчиками вимірювання відстані завдяки великій кількості об'єктів.

При цьому система ідентифікації знаходить необхідний об'єкт, після чого визначається відстань до нього. Використання систем стереоскопічного зору дозволяє досить просто вирішити цю задачу, але відрізняється високою вартістю, оскільки потребує використання двох камер та відповідної обробки зображення.

Завдання до лабораторної роботи

Визначити відстань до об'єкта за допомогою ультразвукового датчика HC-SR04 (рис. 12.15), що підключений до контролера Arduino Nano, в міліметрах. Сигнали датчика Trig та Echo підключені відповідно, до виводів 9 та 8.

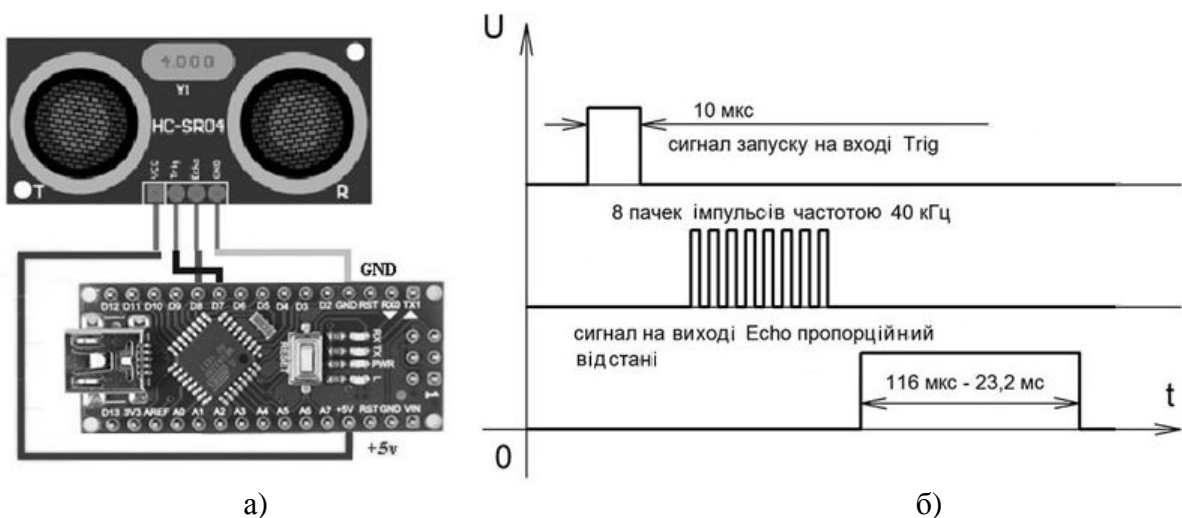


Рис. 12.15. Підключення ультразвукового датчика до контролера Arduino Nano (а) та діаграми його роботи (б)

Варіант		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Виводи, до яких підключений датчик	Trig	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10
	Echo	3	5	7	9	11	3	5	7	9	11
Відстань, см		25	20	30	35	40	45	30	25	20	35

Приклад розв'язання задач з теми заняття

У наведеному нижче скетчі проводиться опитування ультразвукового датчика, що видає відстань до об'єкту в сантиметрах. При дистанції менше ніж 30 сантиметрів включається світлодіод, що підключений до виводу 13 контролера.

```

sketch_echo
#define Trig 9          // сигнал запуску
#define Echo 8         // відбитий сигнал
#define ledPin 13
void setup()
{
  pinMode(Trig, OUTPUT); // вихід
  pinMode(Echo, INPUT);  // вхід
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}
unsigned int impulseTime=0;
unsigned int distance_sm=0;
void loop()
{
  digitalWrite(Trig, HIGH);
  /* Подаємо імпульс на вхід trig */
  delayMicroseconds(10); // що дорівнює 10 мікросекунд
  digitalWrite(Trig, LOW); // відключаємо
  impulseTime=pulseIn(Echo, HIGH); // визначаємо тривалість імпульсу
  distance_sm=impulseTime/58; // Перераховуємо в сантиметри
  if (distance_sm<30) // Якщо відстань менше ніж 30 сантиметрів
  {
    digitalWrite(ledPin, HIGH); // включаємо світлодіод
  }
  else
  {
    digitalWrite(ledPin, LOW); // у протилежному випадку виключаємо
  }
  delay(100); // період між імпульсами
  /* чекаємо 0,1 секунди, Наступний імпульс може бути відправлений тільки після
  зникнення відбитого попереднього імпульсу. Рекомендований період між імпульсами
  повинен бути не менше 50 мс.*/
}

```

Контрольні запитання

1. Які датчики використовуються для забезпечення адаптивності в системах керування?
2. Які типи датчиків включають контактні системи чуттєвості?

3. У чому полягає принцип роботи тактильних датчиків?
4. У чому полягає принцип роботи силомоментних датчиків?
5. Які типи датчиків включають безконтактні системи чуттєвості?
6. У чому полягає принцип роботи локаційних систем?
7. Яку відстань вимірюють сучасні ультразвукові датчики?
8. Яку відстань вимірюють сучасні лазерні датчики?
9. У чому полягає принцип роботи технічного зору?
10. Які задачі можуть вирішувати системи технічного зору?

Глава 13. Виконавчі пристрої робототехнічних систем

13.1. Основні типи приводів промислових роботів

Виконавчі пристрої робототехнічних систем можуть виконуватись з використанням пневматичних, гідравлічних та електричних приводів [1, 2, 4, 5, 16].

Пневматичні приводи використовують стиснене повітря. Це може бути надмірний тиск або вакуум. Пневматичні системи складаються з керуючого та енергетичного блоків. Керуючі блоки приймають та обробляють сигнали, а в енергетичному блоці за допомогою клапанів здійснюється керування виконавчими механізмами. Обов'язковим елементом пневматичних пристроїв є компресори та трубопроводи для виготовлення та передачі стисненого повітря. Швидкість переміщення за допомогою пневматичних циліндрів може досягати 3 м/с. Пневматичні двигуни можуть обертатися з швидкістю до 30 000 об/хв., а невеликі турбіни – до 450 000 об/хв.

Недоліком пневматичних приводів є нездатність створювати великі зусилля, оскільки робочий тиск звичайно не перевищує 10 бар.

Пристрої з надмірним тиском та вакуумні пристрої використовуються також в хватних пристроях.

Керування пневматичними виконавчими пристроями здійснюється за допомогою різних вентилів, розподільників, регуляторів витрачання та тиску та запірних клапанів. Для підключення пневматичних приводів до електронної системи керування використовуються електропневматичні керуючі пристрої з електромагнітним приводом.

Гідравлічні приводи використовують робочу рідину (масло) та застосовуються перш усього в важкому машинобудуванні. Гідравлічні приводи здатні передавати високі зусилля, вони можуть здійснювати швидкі переміщення з керуванням швидкості, тому використовуються для переміщення важких предметів. Але ці приводи також потребують гідравлічні насоси та трубопроводи.

Керування гідравлічними виконавчими пристроями також здійснюється за допомогою різних вентилів, розподільників та регуляторів витрачання та тиску, а для підключення гідравлічних приводів до електронної системи керування використовуються керуючі пристрої з електромагнітним приводом.

Таким чином з боку системи керування при використанні пневматичних та гідравлічних виконавчих пристроїв дискретні керуючі сигнали подаються на електромагнітні приводи, а саме, на котушку індуктивності. Для здійснення пропорційного регулювання тиску використовуються аналогові сигнали. Аналоговий вихід задає тиск, а сигнал датчика тиску поступає на аналоговий вхід, і таким чином замикає контур регулювання.

У сучасних системах керування переміщенням часто використовуються електроприводи, а саме електродвигуни постійного струму, синхронні та асинхронні двигуни змінного струму, а також крокові двигуни.

13.2. Приводи без регулювання швидкості

Якщо швидкість обертання двигуна не змінюється, то його підключення здійснюється за допомогою реле, контакторів та пускачів, які мають електромагнітний керуючий пристрій.

На рис. 13.1 наведений зовнішній вигляд контакторів різної потужності (від 0,04 до 150 кВт) та електрична схема.

Головні контакти використовуються для підключення двигуна, а допоміжні контакти можуть використовуватись для різних блокіровок та релейного керування.

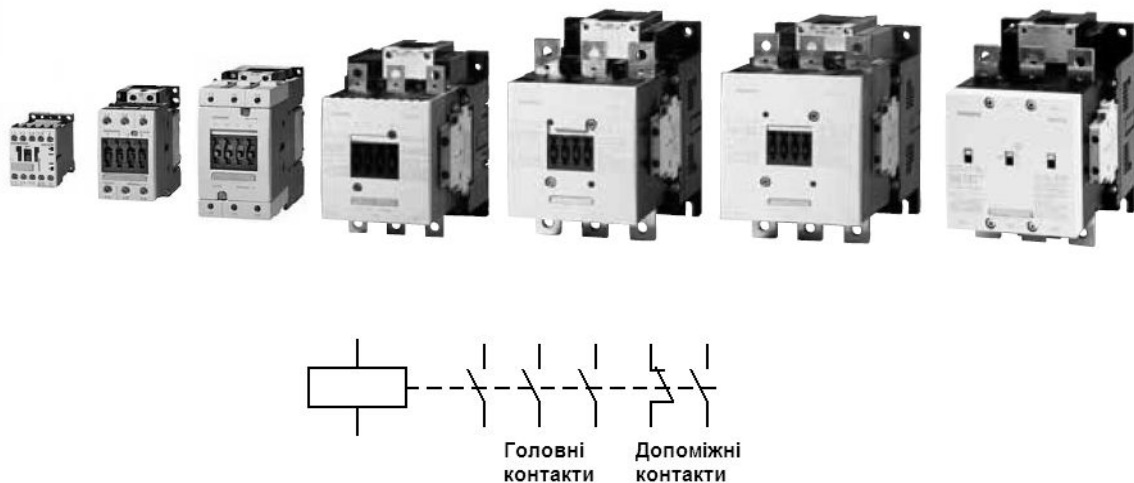


Рис. 13.1. Зовнішній вигляд та електрична схема контакторів

На рис. 13.2 наведена схема підключення двигуна. Вмикач S1 за допомогою реле K1 вмикає контактор K10, яке у свою чергу підключає двигун змінного струму M1 до трифазної мережі живлення. Реле може бути підключено до звичайного вмикача, як у даному випадку, або на дискретний вихід пристрою керування.

Недоліком такої схеми є неможливість регулювання швидкістю обертання двигуна.

Для позиційного керування треба мати можливість регулювати швидкість обертання двигуна за допомогою пристрою керування. Для цього використовуються реостатне керування двигунів з фазним ротором або переключення числа полюсів у багатополюсних двигунів.

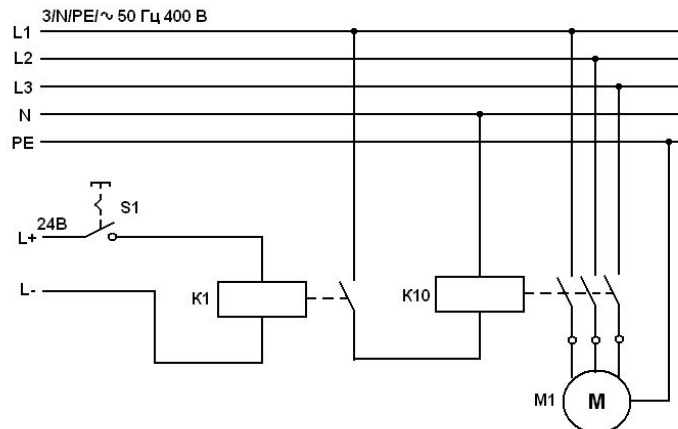


Рис. 13.2. Схема підключення двигуна змінного струму за допомогою вмикача S1, реле K1 та контактора K10

При підключенні до мережі живлення двигун споживає значно більшу потужність, ніж у стаціонарному режимі. Простим засобом зменшення потужності при включенні є переключення зірка – трикутник. На початку роботи двигун працює за схемою зірка та споживає в три рази менший струм, ніж після переключення до схеми трикутника (рис. 13.3).

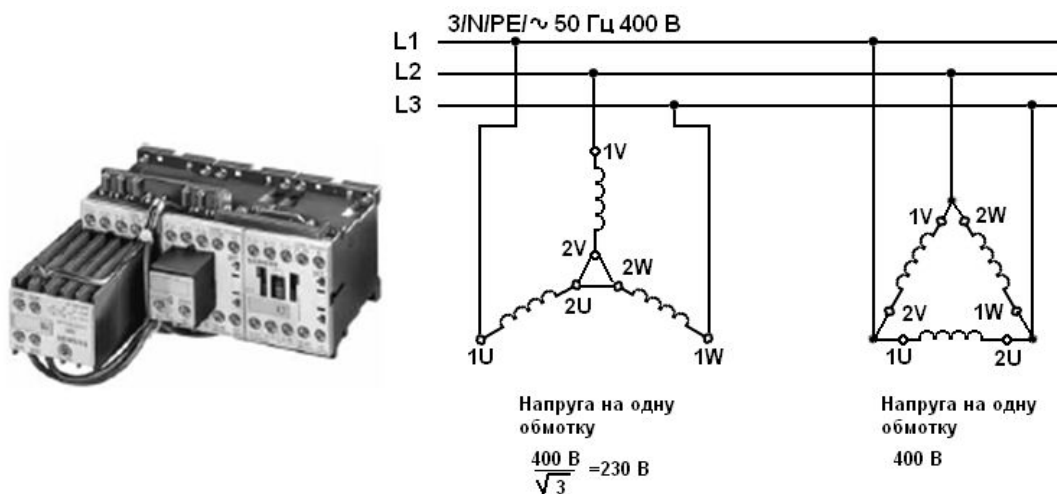


Рис. 13.3. Схема зміни потужності при включенні двигуна за допомогою переключення зірка – трикутник

13.3. Регульовані приводи

Двигуни постійного струму

Найбільш простими в управлінні є двигуни **постійного струму**. Застосування в робототехнічних системах електродвигунів постійного струму обумовлено такими їх перевагами як: лінійність характеристик, широкий діапазон регулювання швидкості, достатня перевантажувальна здатність, рівномірне обертання на низьких швидкостях. Крім того двигуни постійного струму використовують в мобільних роботах, оскільки живлення в них здійснюється за допомогою акумуляторів.

Регулювання швидкості двигуна здійснюється шляхом зміни напруги, що подається на якір. Сучасні системи використовують для регулювання швидкістю обертання широтно-

імпульсну модуляцію (ШІМ). Вигляд сигналу з широтно-імпульсною модуляцією показаний на рис. 13.4.

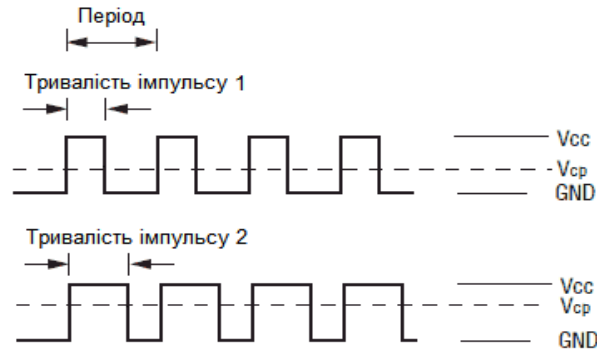


Рис. 13.4. Сигнал з широтно-імпульсною модуляцією

Усереднена напруга V_{cp} такого сигналу залежить від напруги живлення V_{cc} та коефіцієнта заповнення D , що визначається як відношення тривалості імпульсу τ до періоду повторення імпульсів T , я саме,

$$V_{cp} = V_{cc} \tau / T = V_{cc} D.$$

Тому керування напругою здійснюється шляхом зміни тривалості імпульсів.

Ротор двигуна, на який подається струм, являє собою індуктивність, то маємо таку залежність струму $i_L(t)$ та напруги $U_L(t)$, яка показує, що струм двигуна згладжує, тобто, усереднює імпульсну напругу, що подається на двигун.

$$i_L(t) = \int_0^t U_L(t) dt$$

Для керування напрямком обертання у двигунів постійного струму використовують Н-міст (рис. 13.5).

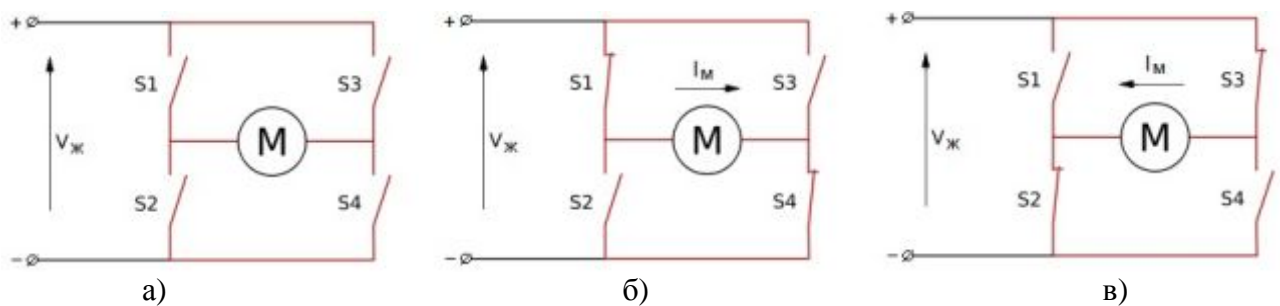


Рис. 13.5. Керування напрямком обертання двигунів постійного струму за допомогою Н-моста

Якщо замкнути ключі (контакти реле, транзистори, тиристри тощо) S1 та S4, двигун обертається в одну сторону (рис. 13.5, б), якщо замкнути ключі S2 та S3, двигун обертається в іншу сторону (рис. 13.5, в).

Спрощена транзисторна схема Н-моста виглядає так (рис. 13.6).

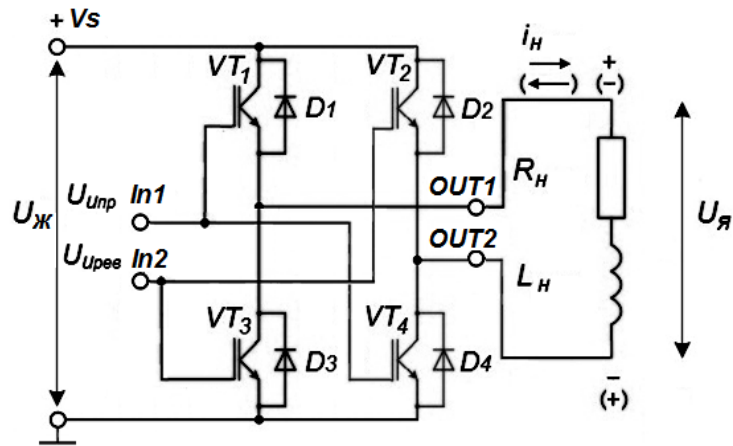


Рис. 13.6. H-міст на біполярних транзисторах

Сигнали на виходах OUT1 та OUT2 мають ті ж значення, що й на відповідних входах In1 та In2, тому включення обертання двигуна в одну сторону на вхід In1 високий рівень сигналу, а на вхід In2 низький, а для обертання в іншу сторону, навпаки.

Для регулювання швидкістю обертання двигуна використовують сигнал з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Цей сигнал можна подавати на вхід In1 або In2.

Двигуни змінного струму

Найбільш простим рішенням керування швидкістю обертання асинхронних двигунів змінного струму є використання багатополюсних двигунів. Зміна швидкості у таких двигунів здійснюється за допомогою переключення полюсів.

На рис. 13.7 зображено, як здійснюється переключення швидкості багатополюсних асинхронних двигунів за допомогою схеми Даландера. Контакттор К1 вмикає двигун за схемою трикутника на малу швидкість (1500 об/хв.), а контакттор К2 вмикає двигун за схемою зірки на велику швидкість (3000 об/хв.).

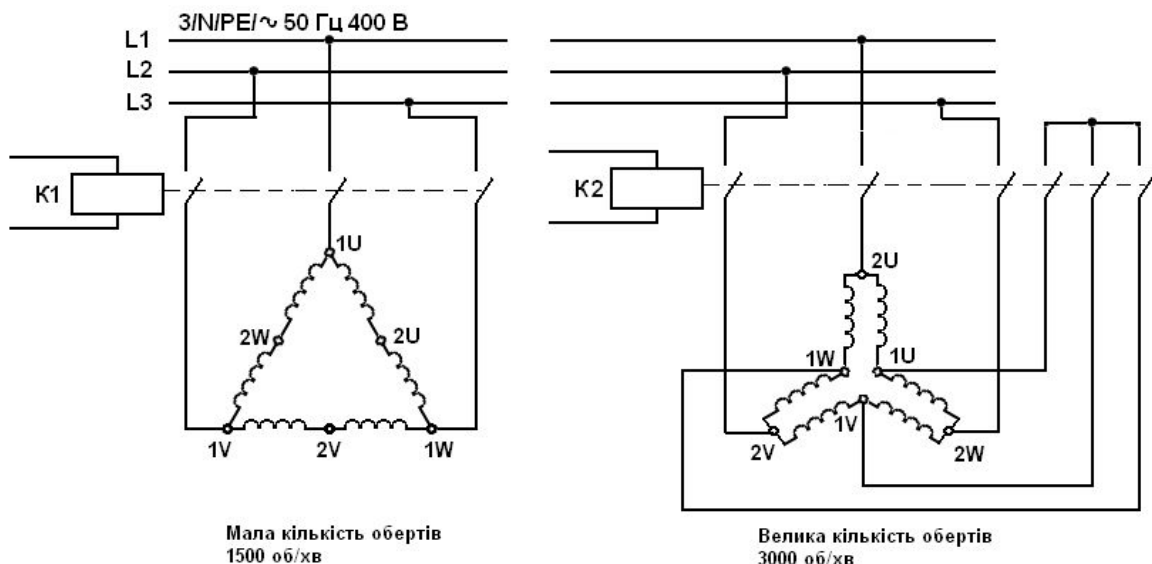


Рис. 13.7. Переключення швидкості багатополюсних асинхронних двигунів за схемою Даландера

Для керування швидкістю обертання двигунів змінного струму використовуються частотні перетворювачі, які змінюють частоту струму живлення в залежності від керуючих сигналів, наприклад, напруги на аналоговому вході (рис. 13.8).



Рис. 13.8. Частотні перетворювачі

Частотні перетворювачі використовуються для керування синхронними та асинхронними двигунами змінного струму в великому діапазоні потужностей (наприклад, частотні перетворювачі фірми Сименс працюють у діапазоні від 100 Вт до 50 мВт).

Частотні перетворювачі можуть мати різну конструкцію, наприклад, у вигляді моноблоків, або складатися з окремих модулів. На рис. 13.9 наведений частотний перетворювач фірми Сіменс SINAMICS G120, який має модульну структуру та складається з силового модуля, пристрою керування та операторської панелі.

Спрощена схема такого частотного перетворювача наведена на рис. 13.10. Вона має такі складові частини:

силовий модуль, який включає випрямляч, що перетворює змінний струм мережі у постійну напругу, проміжне коло у вигляді конденсатора, що згладжує пульсації випрямленої напруги, та перетворювач, що за допомогою ключових схем формує потрібну форму вихідного сигналу;

пристрій керування, який здійснює формування вихідного сигналу та програмне керування його параметрами за встановленими параметрами, наприклад, закон зміни вихідної напруги в залежності від частоти, задає швидкість розгону та гальмування тощо;

операторська панель, яка призначена для встановлення та перегляду параметрів перетворювача.



Рис. 13.9 Частотний перетворювач фірми Сіменс SINAMICS G120

Для зовнішнього керування пристрій керування має дискретні та аналогові входи та інтерфейси для підключення до локальної мережі.



Рис. 13.10. Спрощена схема частотного перетворювача

З метою досягнення високої економічності, особливо для потужних двигунів, керування швидкістю обертання електродвигунів здійснюється за допомогою так званої широтно-імпульсної модуляції. Робота широтно-імпульсних перетворювачів заснована на періодичному підключенні за допомогою ключа джерела постійної напруги до навантаження і шляхом зміни тривалості імпульсів за визначеним законом формує сигнал потрібної форми (рис. 13.11).

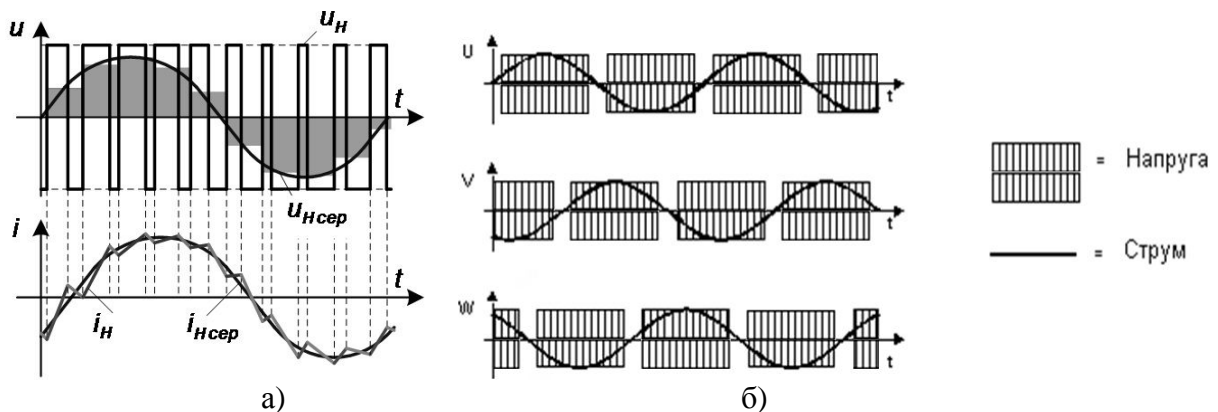


Рис. 13.11. Формування сигналу потрібної форми(а) та трифазної напруги (б) за допомогою широтно-імпульсної модуляції

Програмування частотного перетворювача здійснюється за допомогою встановлення великої кількості параметрів (декілька сотень). Ці параметри задають джерело встановлення частоти на виході перетворювача та джерело команд, закон керування (керування за вольт-частотною характеристикою або векторне керування), обмеження на частоту, струм, потужність, швидкість розгону та гальмування тощо.

Параметри встановлюються за допомогою операторської панелі.

Керування частотними перетворювачами здійснюється за допомогою встановлення значень різних параметрів, таких як тривалість розгону, встановлена частота на виході перетворювача, тривалість гальмування та інших. У самому простому випадку за

допомогою параметрів встановлюють тривалість розгону (P1120), тривалість гальмування (P1121) (керування за рампою). При знаходженні сигналу запуску частота на виході частотного перетворювача змінюється від нуля до встановленого значення з швидкістю, яка визначається тривалістю розгону. При знаходженні сигналу зупинки частота на виході частотного перетворювача змінюється від встановленого значення до нуля з швидкістю, яка визначається тривалістю гальмування (рис. 13.12).

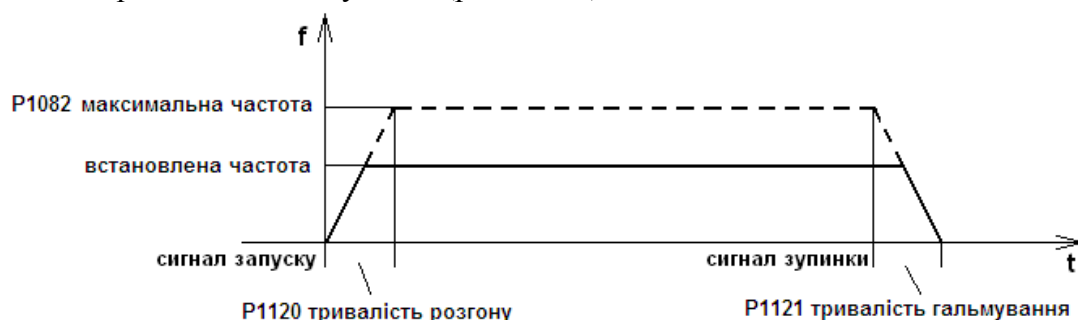


Рис. 13.12. Залежність частоти f від часу t на виході частотного перетворювача при знаходженні сигналів запуску та зупинки при керуванні за рампою

Частотні перетворювачі разом з синхронними двигунами та датчиками положення дозволяють забезпечити високу точність позиціонування та керування швидкістю під час переміщення, що дає можливість здійснити позиційне та контурне керування.

Параметри частотного перетворювача дають можливість виконувати досить складні функції, наприклад,

До складу команд можуть входити так звані функції VICO-технології. Ці функції дозволяють зв'язати входи частотного перетворювача з вільними блоками, командами та завданням перетворювача. Вільні блоки можуть включати блоки логічних операцій (І, АБО, виключне АБО), блоки затримки та пам'яті (RS- та D-тригери), математичні блоки (складання, віднімання, множення, ділення, зрівняння). На рис. 13.13 наведений приклад, на якому за допомогою вільних блоків виконується функція включення приводу за умовою наявності сигналів на входах DIN1 та DIN2 з затримкою 5 с.

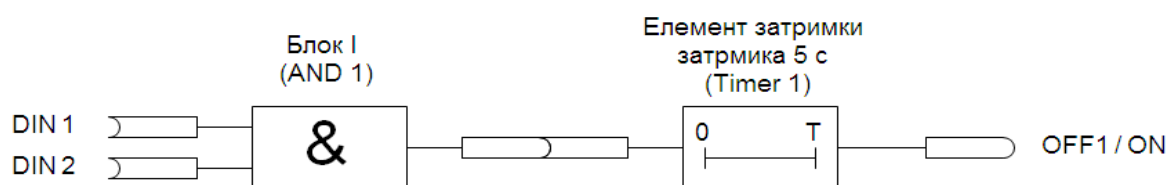


Рис. 13.13. Приклад функції включення приводу за умовою наявності сигналів на входах $DIN1$ та $DIN2$ з затримкою 5 с

На аналогових входах можна задавати головну та допоміжну частоту на виході частотного перетворювача, а фактична частота буде складатися з цих двох частот.

Таким чином функції VICO-технології дозволяють реалізовувати прості функції логічного керування, та формування завдань для частоти за допомогою датчиків, що дає можливість реалізувати відносно прості алгоритми керування, наприклад, циклового керування маніпулятором.

Більші можливості надають мотор-редуктори з умонтованими частотними перетворювачами, наприклад, мотор-редуктори Simodrive Posmo A фірми Siemens.

Відмінною рисою цих модулів є те, що вони представляють собою закінченим мехатронний пристрій, так як в них конструктивно можуть об'єднуватися керуючий пристрій, датчик швидкості, силової перетворювач, двигун і редуктор (рис. 13.14).

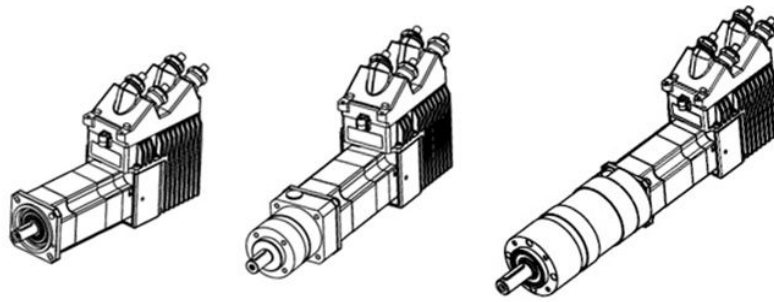


Рис. 13.14. Мотор-редуктори Simodrive Posmo A

За допомогою штекерної техніки здійснюється підключення цифрових входів і діагностичних сигналів, а також електричний зв'язок між двигуном і силовим перетворювачем.

Зв'язок з центральним пристроєм управління і іншими модулями здійснюється через стандартну шину "PROFIBUS".

Крокові двигуни

Високу точність позиціонування без датчиків зворотного зв'язку (швидкості або положення) можна здійснити за допомогою крокових двигунів.

Принцип роботи крокового двигуна заснований на використанні такої конструкції, при якій один вхідний імпульс повертає ротор на визначений кут. Імпульси поступають послідовно на різні обмотки, що забезпечує обертання з постійною швидкістю.

Спрощена схема уніполярного крокового двигуна наведена на рис. 13.15 а. На рис. 13.15 б показана послідовність подачі сигналів, яка потребується для обертання двигуна.

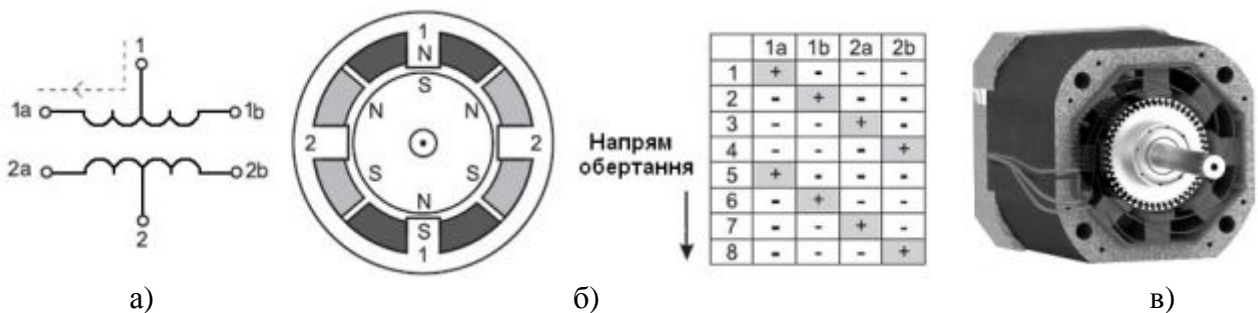


Рис. 13.15. Уніполярний кроковий двигун - спрощена схема (а), послідовність подачі сигналів (б), зовнішній вигляд (в)

Для керування кроковим двигуном потрібна схема, яка сформує послідовну видачу імпульсів на контакти 1а, 1б, 2а, 2б. Ці функції виконує силовий перетворювач, який забезпечує також потрібну напругу та струм на виході (рис. 13.16). Діоди на виходах перетворювача потрібні для замикання струму котушок двигуна при відключенні.

Змінюючи період проходження імпульсів можна змінювати швидкість обертання крокового двигуна по заданому закону. Позицію задає кількість імпульсів, які поступають на кроковий двигун.

Універсальні системи і пристрої керування мають умонтовані функції керування кроковими двигунами.

Наприклад, контролери з апаратно-програмного комплексу Arduino мають бібліотеки для керування кроковими двигунами, наприклад, бібліотека Stepper Library.

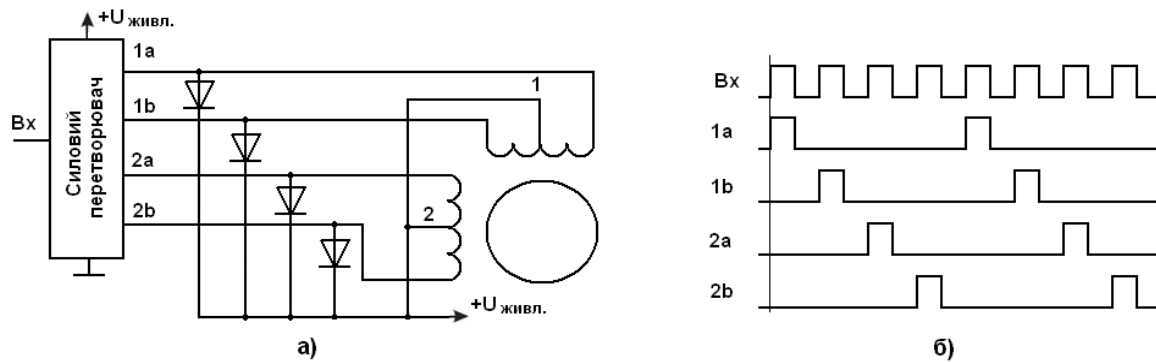


Рис. 13.16. Силовий перетворювач для крокового двигуна

Ця бібліотека має наступні функції.

Функція встановлення параметрів крокового двигуна:

`Stepper myStepper = Stepper(steps, pin1, pin2, pin3, pin4);`

де `myStepper` – ім'я крокового двигуна,

`steps` - кількість кроків на одне обертання,

`pin1, pin2, pin3, pin4` - виходи контролера, що використовуються для керування двигуном (у залежності від типу двигуна використовують два або чотири вихода).

Функція встановлення швидкості обертання двигуна `myStepper`:

`myStepper.setSpeed(speed);`

де `speed` - швидкість обертання у кількості обертів за хвилину.

Функція встановлення кількості кроків, на яке буде обертатися двигун `myStepper` (позначка – означає, що двигун буде обертатися в іншу сторону):

`myStepper.step(steps);`

де `steps` - кількість кроків.

Функції розподілення імпульсів між котушками при цьому виконує сам контролер, тому для керування кроковим двигуном здійснюється за допомогою драйвера L298N, який використовується також для підключення двигунів постійного струму.

На рис. 13.17 наведений приклад підключення крокового двигуна до контролера ArduinoMega за допомогою драйвера L298N, де використовується двигун, що має 200 кроків на оборот і може працювати з частотою обертання 60 об / хв.

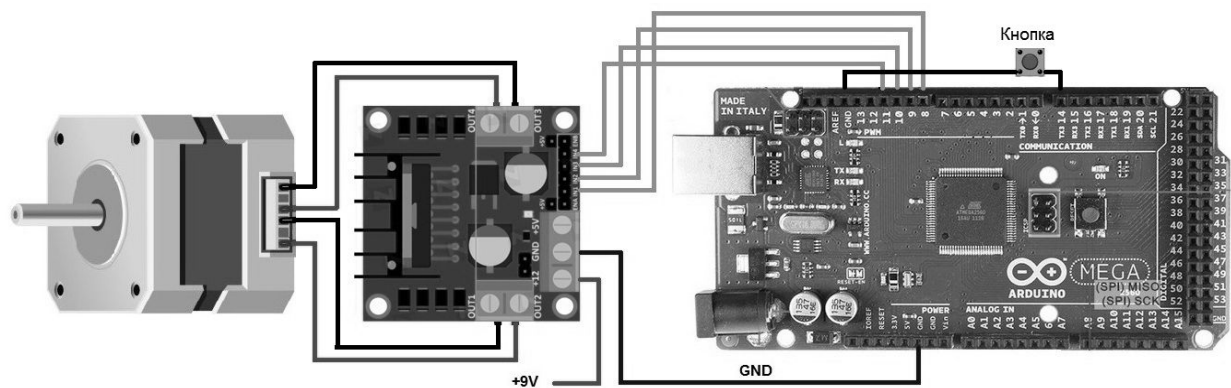


Рис13.17. Підключення крокового двигуна до контролера

Контакти модуля L298N IN1, IN2, IN3 и IN4 підключені до відповідних цифрових контактів D8, D9, D10 и D11 у режимі виходів на Arduino.

Далі наведений приклад програми, яка здійснює одне обертання в одну сторону та одне в іншу. Між циклами обертання затримка 0,5 с.

```

#include <Stepper.h> // підключення бібліотеки Stepper Library
const int stepsPerRevolution = 200; // кількість кроків на одне обертання
// підключення крокового двигуна до виходів 8 - 11:
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 8, 9, 10, 11);

void setup() {
  myStepper.setSpeed(60); // встановлення швидкості 60 об/хв.
}

void loop() {
  myStepper.step(stepsPerRevolution); // обертання в одну сторону на 200 кроків
  delay(500); // затримка 0,5 с
  myStepper.step(-stepsPerRevolution); // обертання в іншу сторону на 200 кроків
  delay(500); // затримка 0,5 с
}

```

Для кутових переміщень у визначеному діапазоні використовують **сервоприводи (серводвигуни)**, що здійснюють регульоване обертання у обмеженому значенні куту повороту, наприклад, від 0 до 180° або від 0 до 360° при точності встановлення кута менш ніж 0,5°.

На рис. 13.18 наведений робот HR-OS1 Humanoid фірми Trosses Robotics (а) з серводвигунами Dynamixel (б).

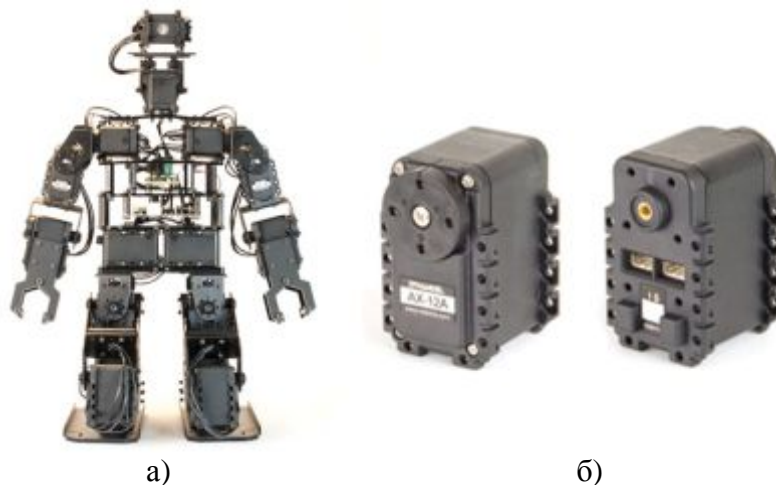


Рис. 13.18. Робот HR-OS1 Humanoid фірми Trosses Robotics (а) з серводвигунами Dynamixel (б)

На рис. 13.19 наведені складові частини серводвигуна.

Двигун постійного струму за допомогою редуктора повертає вихідний вал, на якому встановлений потенціометр.

При обертанні вихідного валу на виході потенціометра отримуємо напругу, пропорційну куту повороту валу.

Пристрій керування порівнює цю напругу з вказаною та зупиняє двигун, коли ці напруги порівнюються.

Для встановлення вказаної напруги використовується керуючий імпульсний сигнал з постійною частотою та змінною тривалістю імпульсів. Положення серводвигуна залежить від тривалості імпульсів.



Рис. 13.19. Складові частини серводвигуна

Приклад такого сигналу керування наведений на рис. 13.20.

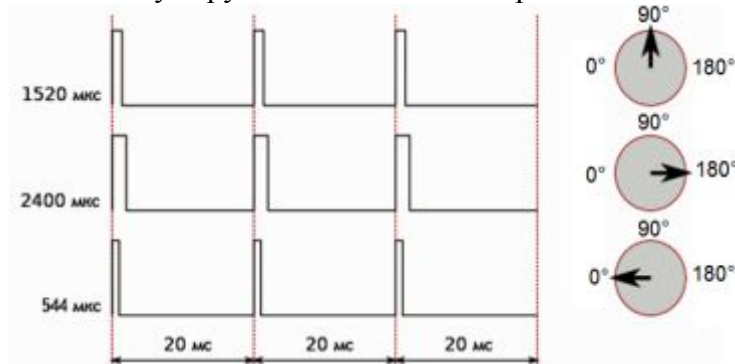


Рис. 13.20. Сигнали керування серводвигуном

Для керування сервоприводом апаратно-програмний комплекс Arduino використовує бібліотеку Servo, яка має наступні функції.

Функція підключення сервопривода до вказаного виходу контролера:

`servo.attach(pin)`

де `servo` - змінна типа `Servo`,

`pin` - номер виходу, який здійснює керування приводом.

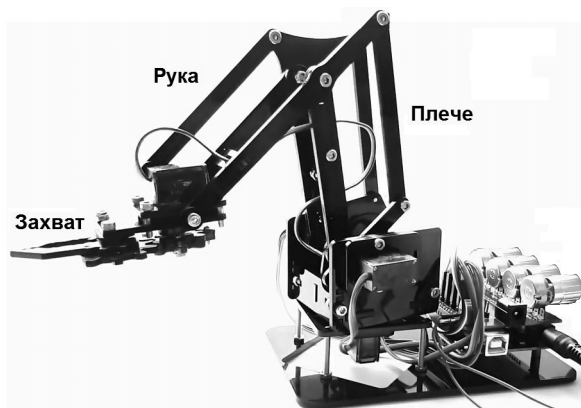
Функція повернення приводу на вказаний кут:

`servo.write(angle)`

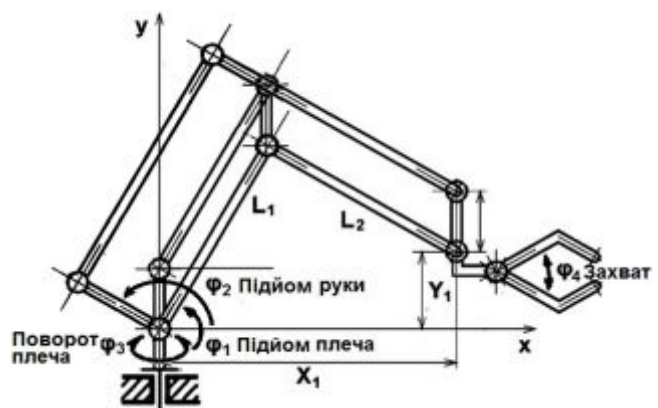
де `servo` - змінна типа `Servo`,

`angle` – кут повороту від 0 до 180, відповідає куту повороту в градусах.

На рис. 13.21 наведений зовнішній вигляд маніпулятора SNARM 4dof (а) та його спрощена кінематична схема (б).



а)



б)

Рис. 13.21. Маніпулятор SNARM 4dof (а) та його спрощена кінематична схема (б)

Для переміщення суглобів маніпулятора використовуються сервоприводи MG-90S, що забезпечують поворот валу від 0 до 180°.

Докладний опис маніпулятора SNARM 4dof та приклади програм ручного та автоматичного режимів наведені в додатку 1.

Завдання до лабораторної роботи

Для маніпулятора SNARM 4dof (рис. 13.20) скласти програму, що здійснює такі переміщення (значення кутів повороту сервоприводів для кожної позиції визначити у ручному режимі):

1. закрити захват,
2. підняти плече та руку,
3. повернути плече направо,
4. опустити плече та руку,
5. відкрити захват,
6. підняти плече та руку,
7. повернути плече наліво,
8. опустити плече та руку,

Приклад розв'язання задач з теми заняття

Приклад програми наведений у додатку 1.

Контрольні запитання

1. Які виконавчі пристрої використовуються в системах керування роботами?
2. Які функції виконують контактори?
3. Яким чином змінюється швидкість обертання двигунів постійного струму?
4. Яким чином змінюється швидкість обертання асинхронних двигунів?
5. За яким принципом працюють сучасні частотні перетворювачі?
6. Як здійснюється формування сигналу потрібної форми за допомогою широтно-імпульсної модуляції?
7. Як здійснюється керування кроковим двигуном?
8. Які засоби використовують для регулювання сервоприводів?
9. Як здійснюється регулювання швидкості обертання сервоприводів?
10. Як здійснюється позиціонування за допомогою сервоприводів?

Глава 14. Мікропроцесорні пристрої в системах керування робототехнічних систем

14.1. Системи керування на основі мікропроцесорної техніки

Сучасні пристрої та системи керування різного рівня будуються з використанням засобів програмного керування, що дає можливість здійснювати реалізацію алгоритму керування за допомогою комп'ютерної програми. Це дає можливість використовувати для керування універсальні пристрої, у яких зміна алгоритму керування здійснюється шляхом заміни програми або окремих її компонент [15, 18]..

Основою таких систем керування, як і сучасних обчислювальних систем різного рівня є мікропроцесорні пристрої, за допомогою яких здійснюється програмне керування.

Мікропроцесор - це функціонально закінчений цифровий пристрій, виконаний у вигляді однієї або декількох інтегральних електронних схем, призначений для виконання послідовності команд. Ця послідовність команд записана у запам'ятовуючий пристрій та утворює програму, яку виконує мікропроцесор.

Структура мікропроцесорних пристроїв визначена структурою обчислювальних пристроїв, яка наведена на рис. 14.1 та складається з центрального процесора, запам'ятовуючого пристрою, пристроїв уведення-виведення та системної магістралі. Системна магістраль об'єднує усі компоненти обчислювального пристрою та складається з шини адреси, шини даних та шини керування. Центральний процесор послідовно зчитує команди, з яких складається програма з запам'ятовуючого пристрою, та виконує їх.

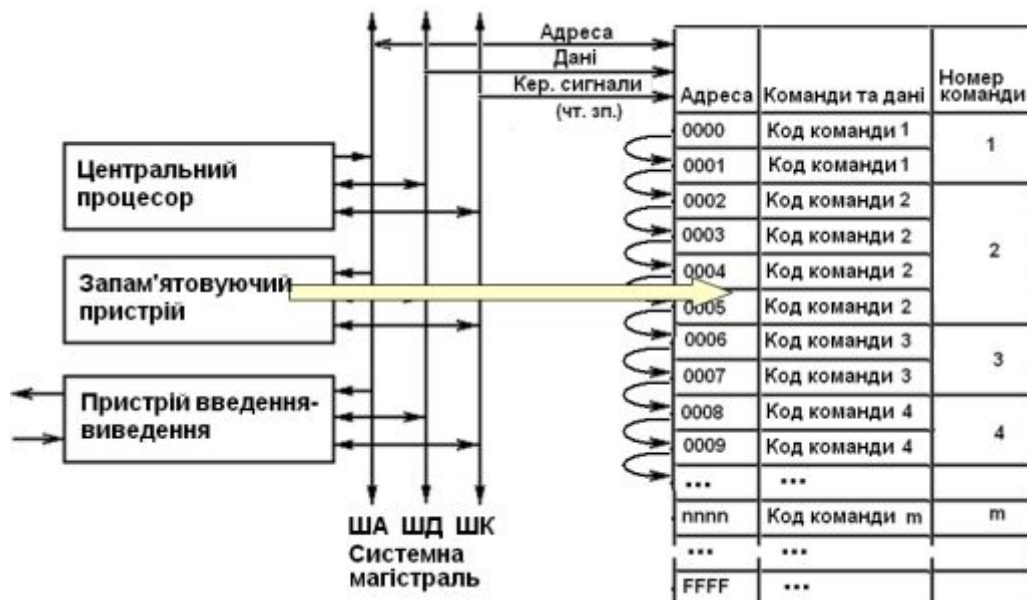


Рис. 14.1. Структура обчислювальних пристроїв

Мікропроцесорні пристрої являють собою обчислювальний пристрій з програмним керуванням, що складається з однієї або декількох мікросхем, та є основою сучасних обчислювальних комплексів та систем керування.

Мікропроцесорні пристрої поділяються на мікропроцесорні комплекти та однокристальні мікроконтролери.

Мікропроцесорні комплекти являють собою набір мікросхем, кожна з котрих є функціональним модулем обчислювального пристрою.

Однокристальні мікроконтролери мають на одному кристалі усі функціональні модулі обчислювального пристрою.

Мікропроцесорні комплекти використовують у складних обчислювальних комплексах, наприклад, у персональних комп'ютерах.

Однокристальні мікропроцесори найчастіше являються складовою частиною пристроїв різноманітної складності, що мають умонтовані системи керування, наприклад, сучасні датчики з програмною обробкою інформації, регульовані приводи, технологічне обладнання, побутова техніка тощо.

Мікропроцесорні пристрої можна поділити на універсальні, які мають досить великий набір функцій введення, виведення та обробки даних та можуть бути запрограмованими за допомогою засобів, що доступні для широкого кола користувачів (відкрита система), а також спеціалізовані, які мають структуру та програмне забезпечення, що призначено для виконання конкретних функцій, наприклад, керування побутовою технікою, технологічним обладнанням тощо. При цьому програмне забезпечення не доступно для користувачів (закрита система).

14.2. Структура керуючих систем на основі мікропроцесорної техніки

Обчислювальні пристрої являють собою багаторівневі системи з визначеною структурою кожного рівня. Тому визначаючи структуру обчислювального пристрою використовують термін архітектура.

Архітектура обчислювального пристрою це набір типів даних, системи команд, логічної побудови і характеристик кожного окремо взятого рівня.

Серед обчислювальних пристроїв, найбільшого поширення отримали два типи архітектури: принстонська (фон Неймана) і гарвардська. Обидві архітектури мають основні вузли обчислювальних пристроїв: центральний процесор, пам'ять та пристрої введення-виведення даних.

В принстонській архітектурі (рис. 14.1) програми і дані зберігаються в одному запам'ятовуючому пристрої, який забезпечує запис та зчитування даних (оперативний запам'ятовуючий пристрій). Це дає можливість швидкої зміни програми, яку потребують обчислювальні пристрої для реалізації складних алгоритмів обробки великої кількості даних. Завдяки цьому принстонська архітектура широко використовується в універсальних комп'ютерах різного рівня складності.

Гарвардська архітектура передбачає окремі запам'ятовуючі пристрої для програми у вигляді послідовності команд і даних (рис. 14.2).



Рис. 14.2. Гарвардська архітектура

Така архітектура найчастіше використовується у програмованих пристроях керування, оскільки програма в них зберігається довгий час без зміни, що дозволяє використовувати постійний запам'ятовуючий пристрій з можливістю перепрограмування.

Внутрішня структура обчислювального пристрою має справу з логічними сигналами, тому стан елементів процесора може приймати два значення і позначається як 0 або 1. Тому уся внутрішня інформація визначається як двійкова система числення, що має набір цифр 0 та 1.

Оскільки двійкова система числення не зручна для використання, для більш простого запису двійкових чисел використовується шістнадцятирична система числення, де цифри від 0 до 9 позначаються як у десятковій системі числення, а цифри від 10 до 15 як заголовні букви латинського алфавіту, а саме, 10 – А, 11 – В, 12 – С, 13 – D, 14 – Е, 15 - F.

Дискретні датчики використовують двійкові сигнали, які здійснюють також керування дискретними виконавчими пристроями, тому в програмному забезпеченні пристроїв керування часто використовується двійкова система числення для визначення даних, коли потребується здійснювати керування виконавчими пристроями за допомогою набору двійкових сигналів (наприклад, керуюче слово та слово стану у частотних перетворювачів).

В сучасних обчислювальних пристроях прийнята організація пам'яті, розмір якої визначається в байтах. Це означає, що кожний байт пам'яті має свою адресу. Обсяг пам'яті керуючих пристроїв складає від десятків кілобайтів до одиниць мегабайтів на відміну від персональних комп'ютерів, у яких вона складає одиниці гигабайтів. Це пов'язано з тим, пристрої керування, які працюють у автономному режимі не мають у своєму складі засобів обробки та виведення зображень з високою роздільною здатністю. У разі потреби виведення графічної інформації для оператора такі пристрої встановлюються додатково.

Система команд центрального процесора пристроїв керування включає додаткові логічні операції над двійковими числами, оскільки повинна обробляти дані для дискретних датчиків та виконавчих пристроїв.

Пристрої вводу-виводу, що забезпечують обмін даними між пристроєм керування та інформаційними, виконавчими та іншими додатковими пристроями, відрізняються режимами обміну інформацією. У загальному випадку такий обмін даними може здійснюватися в наступних режимах: програмному, переривання програми і прямого доступу до пам'яті.

Програмний режим самий простий і застосовується частіше усього. Обмін інформацією в цьому режимі здійснюється з ініціативи процесора, що одержав команду на

проведення обміну від керуючої програми. Найчастіше пристрої керування використовують циклічне виконання програми за час, що не перебільшує встановленого значення. Наприклад, у програмованих логічних контролерах тривалість циклу за замовченням не може перебільшувати 150 мс. Це обмежує швидкість пристроїв керування, тому у разі потреби може використовуватись режим з перериванням.

У режимі роботи з перериванням обмін даними відбувається з ініціативи зовнішнього пристрою. У випадку одержання сигналу переривання процесор припиняє виконання поточної програми і переходить на підпрограму обслуговування пристрою, який запитує переривання. Після завершення виконання підпрограми обслуговування процесор повертається до того кроку перерваної основної програми, на якому він зупинився, отримавши сигнал переривання.

Режим прямого доступу до пам'яті, який є самим швидким режимом передачі інформації між пам'яттю і зовнішніми носіями інформації, в пристроях керування використовується тільки тоді, коли використовуються складні алгоритми обробки даних, наприклад, зображення, які потребують величезних об'ємів пам'яті.

Сучасні системи керування часто використовують інформаційні та виконавчі пристрої, що мають свої пристрої керування використовують для обміну даними локальні обчислювальні мережі.

Системи керування робототехнічним обладнанням можуть значно відрізнитися в залежності від типу промислового робота та обладнання до складу якого він належить.

Так універсальні промислові роботи мають свою систему керування, що включає всі необхідні апаратні та програмні компоненти для проектування та виконання програми.

Для спеціалізованих роботів, що входять до складу технологічного обладнання, найчастіше використовуються універсальні системи керування, що здійснюють керування усім технологічним обладнанням, наприклад, комплексні системи керування на основі програмованих логічних контролерів.

Автономні мобільні роботи найчастіше використовують умонтовані пристрої керування на основі мікропроцесорної техніки, які будуть розглянуті далі.

14.3. Пристрої керування автономних роботів на основі мікропроцесорної техніки

Умонтовані пристрої керування найчастіше виконуються на основі однокристальних мікроконтролерів.

Однокристальний мікроконтролер це закінчений обчислювальний пристрій, що виконується у вигляді однієї мікросхеми, призначений в основному для вирішення завдань управління і часто мають вбудовані функції опитування різних датчиків (цифрові та аналогові входи) і видачі регульованих управляючих впливів (цифрові виходи або виходи з широтно-імпульсною модуляцією).

Як уже зазначалося, в пристроях керування найчастіше використовується гарвардська архітектура, оскільки мають обсяги програм значно менші, ніж в обчислювальних пристроях, та ці програми використовуються довгий час без змін.

Однокристальні мікроконтролери можуть бути універсальними та спеціалізованими.

Спеціалізовані однокристальні мікроконтролери призначені для виконання функцій керування та обробки даних визначених пристроїв. Користувач, як правило, не має доступу до програмного забезпечення таких пристроїв, а налагодження найчастіше здійснюється шляхом встановлення значень для різних параметрів. Спеціалізовані однокристальні мікроконтролери найчастіше потребують спеціальних апаратних та програмних засобів налагодження. Оскільки проектування та виготовлення мікросхем такого рівня відрізняється дуже високою вартістю, їх варто використовувати при великих обсягах виготовлення мікросхем.

Універсальні однокристальні мікроконтролери призначені для використання широким колом користувачів. При цьому користувач, як правило, самостійно розробляє апаратне та програмне забезпечення, тому для універсальних мікроконтролерів найчастіше

здійснюється за допомогою універсальних апаратних та програмних засобів проектування та налагодження. Як правило, такі засоби відрізняються низькою вартістю, або зовсім безкоштовні, а програмні засоби проектування доступні в Інтернеті.

Одним із найбільше широко застосовуваних представників цього класу є універсальний однокристальний мікроконтролер 8051 (ОМК 51), розроблений фірмою INTEL на початку 80-х років, і випускається з невеличкими змінами і доповненнями різними фірмами в наш час.

В даний час широко використовуються мікроконтролери фірми Atmel, наприклад, мікроконтролери AVR (рис. 14.3).



Рис. 14.3. Мікроконтролери AVR

Мікроконтролери AVR мають такі основні характеристики:

- 8-розрядний процесор з широким набором команд;
- до 100 двонапрямлених ліній введення-виведення;
- аналого-цифрові перетворювачі з роздільною здатністю 12 біт і до 2 млн вибірок в секунду;
- широкий набір комунікаційних функцій, включаючи можливість підключення USB;
- 16-бітові таймери / лічильники з каналами порівняння;
- функції переривання тощо.

Мікроконтролери AVR мають гарвардську архітектуру, при якій для програми і даних використовуються різні пристрої пам'яті.

Ці мікроконтролери є універсальними пристроями.

Для розробки програмного забезпечення однокристальних мікроконтролерів використовуються персональні комп'ютери, на яких встановлено спеціальні мови програмування.

Після розробки програми вона перетворюється в машинні коди і за допомогою спеціальних пристроїв програмування завантажується в пам'ять контролера, після чого він встановлюється на робочій платі.

Програмування мікроконтролерів зазвичай здійснюється на Асемблері або С, хоча існують компілятори для інших мов, використовуються також інтерпретатори Бейсіка і Фортю.

Для налагодження програм використовуються програмні симулятори у вигляді спеціальних програм для персональних комп'ютерів, що імітують роботу мікроконтролера у вигляді програмної моделі. Для налагодження апаратних компонент використовують схемні емулятори, що являють собою електронні пристрої, які імітують мікроконтролер. Ці емулятори можна підключити замість однокристального мікроконтролера до вбудованого пристрою та перевірити роботу програми.

У разі необхідності у вбудованих системах реалізації складних алгоритмів обробки даних, наприклад, обробки зображення у реальному часі, використовують так звані **Системи на кристалі** або **Системи на чипі** (від англ **System-on-a-chip**, або ще **SoC** чи **SOC**), що являють собою електронної схеми, які вміщують функціональні складові цілого пристрою (наприклад, комп'ютера) на одній мікросхемі. Якщо не вдається розмістити всі необхідні схеми на одному напівпровідниковому кристалі, то використовується схема із декількох кристалів, розміщених в одному корпусі (System in Package — SiP).

Прикладом такої системи на одному чипі є процесор BCM2835, що використовується в одноплатних комп'ютерах Raspberry.

Тактова частота процесора BCM2835 700 МГц. Він має вбудоване графічне ядро з підтримкою OpenGL (Open Graphics Library - відкрита графічна бібліотека для створення програмного забезпечення, що використовують двомірну і тривимірну комп'ютерну графіку), також є підтримка апаратного прискорення і FullHD-відео.

Процесор BCM2835 містить також ядро цифрового сигнального процесора - спеціалізований мікропроцесор, який призначений для цифрової обробки сигналів. Модулі оперативної пам'яті 256Мб / 512Мб розміщені на процесорі за технологією Package-on-Package (PoP) - установка один на одному.

Однокристалні мікроконтролери знайшли широке застосування для вирішення найрізноманітніших завдань управління, але, оскільки вони являють собою мікросхеми, то для проектування пристрої на їх основі та подальшого використання потребується цілий ряд додаткових засобів, включаючи друковану плату, де встановлюється мікросхема, пристрій програмування тощо. Тому цілий ряд фірм налагодив випуск мікроконтролерів у вигляді однієї друкованої плати з можливістю підключення додаткових модулів і здатних вирішувати велике коло завдань, в тому числі обробки даних, керування різними приладами, управління рухом, тощо.

Діапазон одноплатних мікроконтролерів простягається від простих систем логічного керування до мікрокомп'ютерів, здатних реалізовувати складні алгоритми, наприклад, обробку зображення у реальному часі.

Прикладом використання мікроконтролерів AVR може служити апаратно-програмний комплекс Arduino, який представляє собою набір засобів, пристосованих для побудови простих систем автоматики і робототехніки, орієнтований на непрофесійних користувачів. Програмна частина складається з безкоштовної програмної оболонки для написання програм, їх компіляції і програмування апаратури. Апаратна частина являє собою набір готових пристроїв, виконаних у вигляді друкованих плат. Повністю відкрита архітектура системи дозволяє вільно копіювати або доповнювати пристрої Arduino.

Контролер Arduino Uno (рис. 14.4, а), побудований на ATmega328. Платформа має 14 цифрових входів / виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм USB, і кнопку скидання. Розмір плати $6,9 \times 5,3$ см.

Контролер Arduino Nano (рис. 14.4, б) побудований на ATmega328. Платформа має 14 цифрових входів / виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 8 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм Mini USB. Відмінною особливістю є малі розміри ($1,85 \times 4,2$ см), що дозволяють вбудовувати контролер в портативні пристрої.

Контролер Arduino Mega 2560 (рис. 14.4, в) виконаний на основі мікроконтролера ATmega2560.

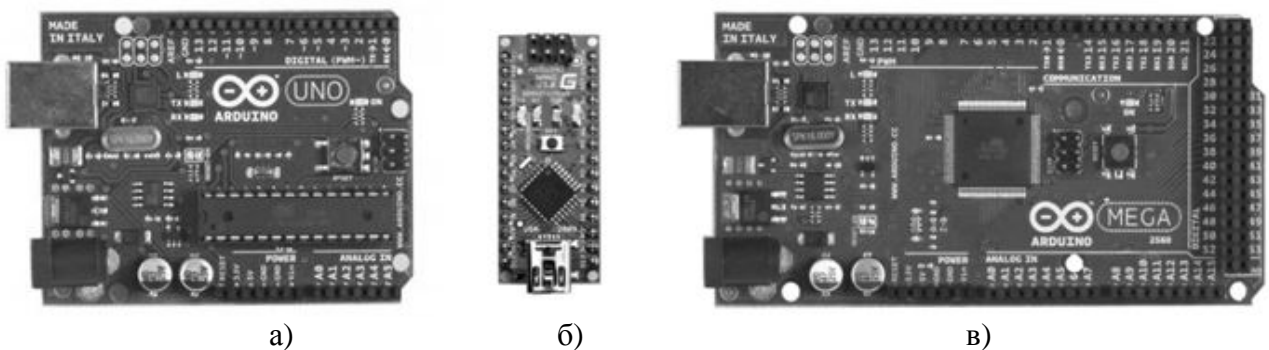


Рис. 14.4. Контролери Arduino Uno (а), Arduino Nano (б) та Arduino Mega 2560 (в)

У його склад входить: 54 цифрових входів / виходів (з яких 15 можуть використовуватися як виходи ШІМ), 16 аналогових входів, 4 апаратних приймально-передавачів для реалізації послідовних інтерфейсів UART, кварцовий генератор 16 МГц,

роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм ICSP для внутрішньосхемного програмування і кнопка скидання. Розмір плати $10,8 \times 5,3$ см.

Для реалізації складних алгоритмів обробки даних використовують одноплатний комп'ютер Raspberry Pi (рис. 14.5).

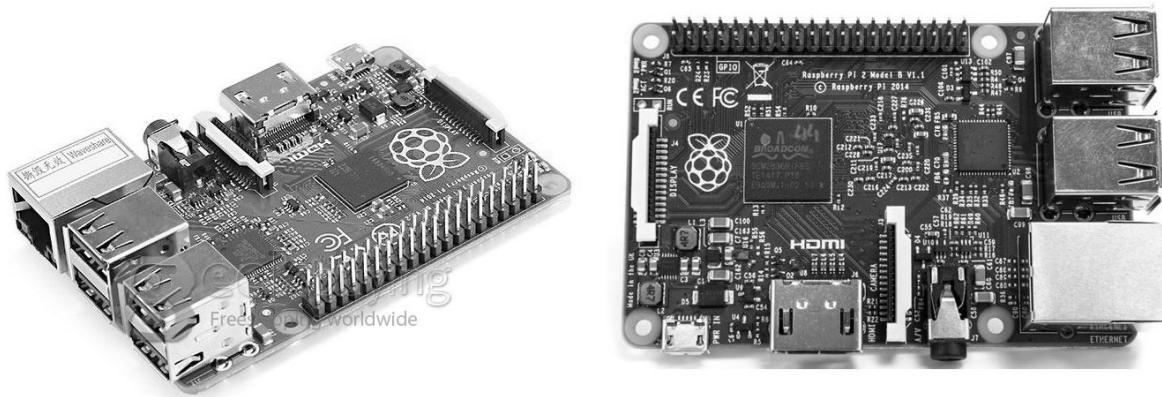


Рис. 14.5. Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi

Raspberry Pi побудований на системі-на-чипі (SoC) BCM2835, яка включає процесор із тактовою частотою 700 МГц, графічний процесор VideoCore IV, і 512 чи 256Мб оперативної пам'яті. Замість твердого диска використовується SD карта.

Така апаратна конфігурація дозволяє відтворювати відео формату H.264 з роздільною здатністю 1080р.

Найбільш поширена мова програмування для Raspberry Pi — Python.

14.4. Приклади використання мікроконтролерів в робототехнічних пристроях

В наш час існує досить велика кількість мікроконтролерів та мікрокомп'ютерів, що використовуються в робототехнічних пристроях. Розглянемо можливості таких контролерів на прикладі апаратно-програмного комплексу Arduino (рис. 15.6).

До складу апаратно-програмного комплексу Arduino крім великої кількості контролерів (наприклад такі, що наведені на рис. 14.4) є додаткові пристрої, що дають можливість створювати різні робототехнічні пристрої від маніпуляторів до автономних мобільних роботів. До таких додаткових пристроїв належать різні інформаційні пристрої, наприклад, датчики положення, відстані, швидкості, орієнтації, ваги, виконавчі пристрої, наприклад, драйвери двигунів постійного струму та крокових двигунів, сервоприводи, дистанційні пульти керування, інтерфейси для встановлення бездротового зв'язку (Bluetooth, WiFi) тощо.



Рис. 15.6. Апаратно-програмного комплексу Arduino

На рис. 14.7 наведені маніпулятори з сервоприводами

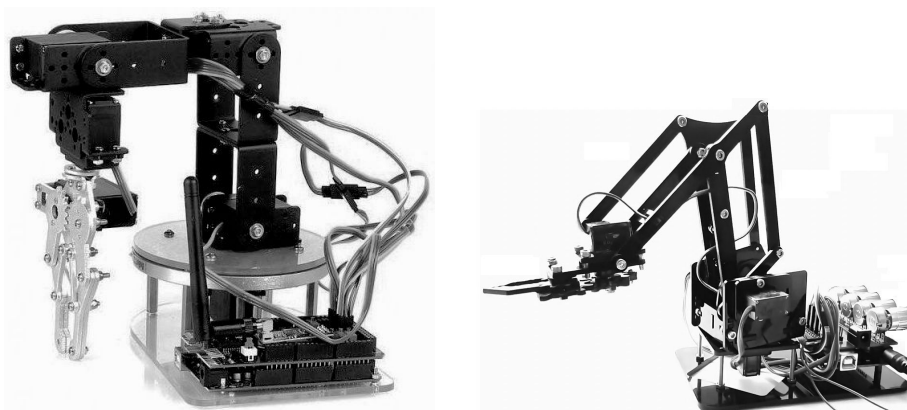


Рис. 14.7. Маніпулятори з сервоприводами

На рис.14.8 наведений мобільний робот з маніпулятором та відеокамерою (Xiao R DIY Smart Robot Wifi Video Control Tank with Camera Gimbal Compatible with Arduino 2560), який дає можливість дистанційного керування та спостереження за допомогою комп'ютера або мобільного телефона.

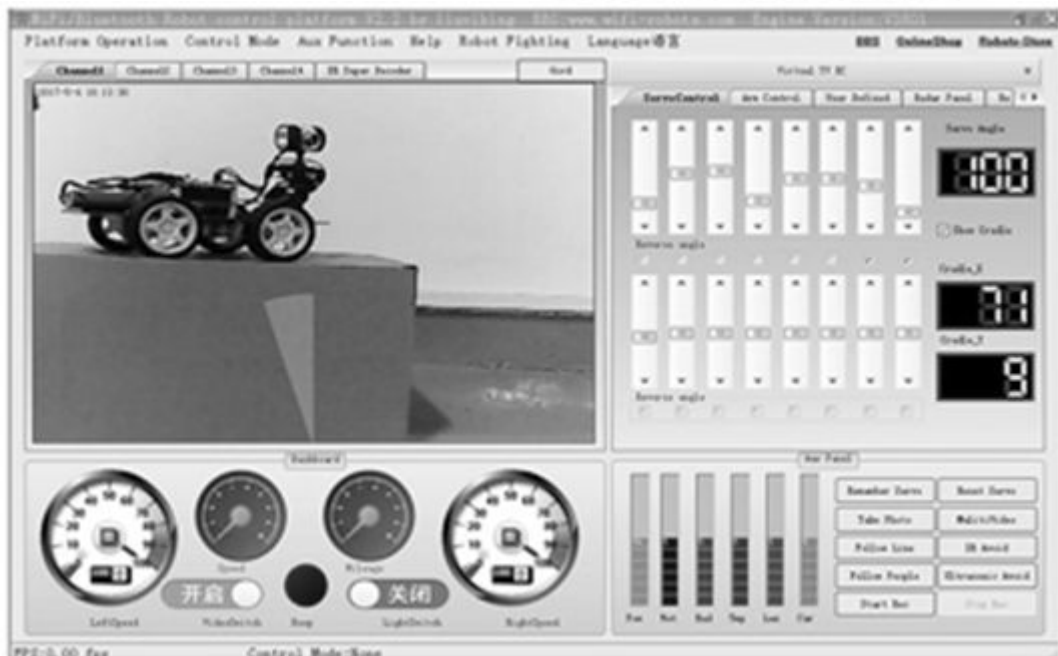
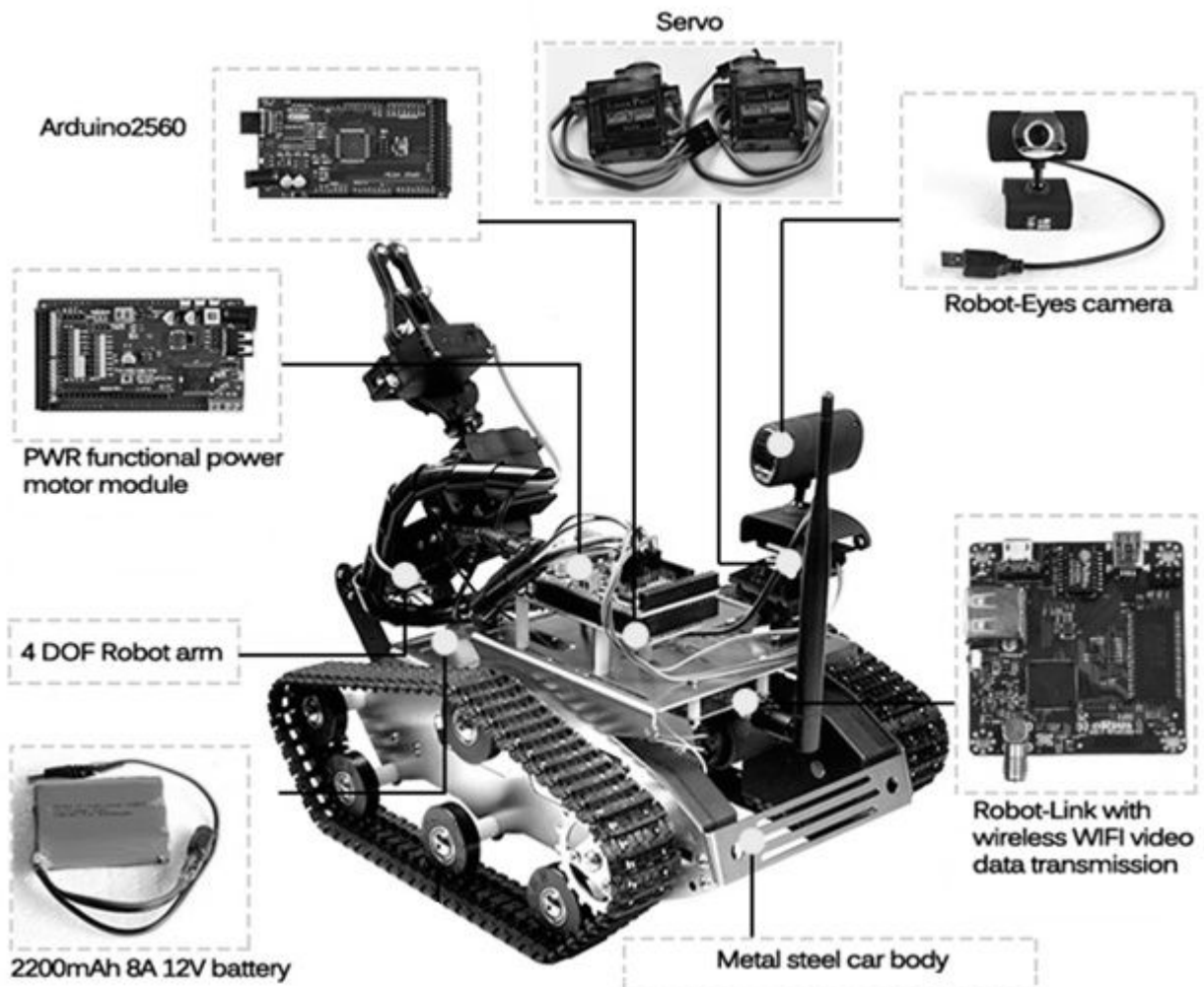


Рис.14.8. Мобільний робот з маніпулятором та відеокамерою

Контрольні запитання

1. Які функції виконує мікропроцесорна система?
2. Чому розрізняють мікропроцесорні комплекти й однокристальні мікроконтролери?

3. Як виглядає структура обчислювальних пристроїв?
4. Які групи команд включає система команд мікропроцесорних пристроїв?
5. Як визначається внутрішня інформація обчислювальних пристроїв?
6. У чому полягає різниця між двійковими, десятковими та шістнадцятковими числами?
7. Які функції виконує запам'ятовуючим пристрій?
8. Як використовують оперативну та постійну пам'ять?
9. Що забезпечують пристрої вводу-виводу?
10. Які режими роботи пристроїв вводу-виводу найчастіше використовують у пристроях керування?

Глава 15. Програмне забезпечення та засоби проектування мікропроцесорних систем керування

15.1. Особливості програмного забезпечення систем керування

Програмне забезпечення простих пристроїв керування, наприклад, вмонтованих пристроїв керування, зроблених на основі однокристальних мікроконтролерів, розробляється один раз і записується у програмну пам'ять мікроконтролера. При використанні такого пристрою керування споживач не має можливості самостійно змінювати програму. Таке програмне забезпечення має відносно просту структуру і для його розробки

використовуються такі мови програмування як, наприклад, Асемблер і С, встановлені на персональних комп'ютерах [14, 15].

Керуючи пристрої сучасних роботів, а також керуючи пристрої широкого призначення, такі як програмовані логічні контролери, мають досить складне програмне забезпечення, яке складається з системного та прикладного програмного забезпечення. Системне програмне забезпечення є невідмінною частиною пристрою керування і здійснює такі системні функції, як робота системи в загалом, функції діагностики, функції забезпечення зв'язку з іншими пристроями та з пристроєм програмування тощо. Прикладне програмне забезпечення розробляється споживачем за допомогою додаткових програмних засобів проектування і здійснює необхідний алгоритм керування.

В автономних мікропроцесорних пристроях керування системне програмне забезпечення здійснює функціонування самого пристрою, наприклад, функції завантаження програми за допомогою стандартних інтерфейсів (найчастіше USB).

Відміна керуючих пристроїв від персональних комп'ютерів накладає вимоги до структури обчислювальних пристроїв, які лежать у їх основі. Так програмне забезпечення персональних комп'ютерів знаходиться у зовнішній пам'яті, а у керуючих пристроїв у внутрішньої пам'яті. Пристрої вводу-виводу керуючих пристроїв призначені для підключення дискретних та аналогових сигналів, кількість яких може досягати сотні та тисячі у складних систем керування. Спілкування з оператором може здійснюватись за допомогою простих пристроїв (на основі кнопок та світлових індикаторів), або так званих операторських панелей та операторських станцій (спеціалізовані пристрої для вводу та виводу даних або промислові персональні комп'ютери).

В системах керування на відміну від персональних комп'ютерів розрізняють систему проектування та систему виконання. Система проектування виконує функції проектування апаратних та програмних компонент, а також налагодження системи керування та її діагностику при роботі. Спроекована програма завантажується у систему виконання, яка виконує програму і реалізує алгоритм керування. Програмне забезпечення систем керування також складається з двох основних частин: програмне забезпечення для проектування програми керування за потрібним алгоритмом, та програмне забезпечення, яке здійснює виконання розробленої програми керування.

У загальному випадку для розробки програмного забезпечення використовуються різні мови програмування.

Існують мови програмування двох рівнів.

Мови програмування низького рівня, коли програма представляється в машинному коді, або на мові, у якого машинні коди команд замінюються умовними позначеннями. Система команд у таких мов повторює систему команд центрального процесора, тому вони називаються машинно-орієнтованими мовами.

Мови програмування високого рівня, коли система команд орієнтована на рішення різноманітних прикладних задач, наприклад, математична обробка даних, рішення економічних задач, обробка зображень, рішення задач керування та інших. Такі мови називаються проблемно-орієнтованими мовами.

При програмуванні на мові високого рівня частіше усього використовуються два підходи.

У першому випадку за допомогою програми-редактора складається вихідний текст програми у вигляді текстового файлу, що представляє собою послідовність виконуваних операцій. Після цього за допомогою програми компілятора провадиться перетворення вихідного тексту в машинні коди, що потім можуть завантажуватися в пам'ять обчислювального пристрою і виконуватися центральним процесором.

В другому випадку команда інтерпретатор перетворить кожний оператор програми в машинний код і відразу його виконує. Таким чином, перетворення вихідної програми в машинний код необхідно робити щораз при її виконанні. Це призводить до збільшення часу виконання програми, але спрощує її налагодження.

В мовах програмування сучасних систем керування широко використовуються графічні форми представлення програми, наприклад, у вигляді контактного або функціонального плану (релейно-контактна та функціональна схеми).

Для пристроїв з визначеним призначенням програмування найчастіше здійснюється у діалоговому режимі шляхом вибору або встановлення параметрів у діалоговому режимі, так, наприклад, у частотних перетворювачів налагодження здійснюється шляхом встановлення параметрів.

Серед програмного забезпечення, яке здійснює виконання розробленої програми керування розрізняється системне і прикладне програмне забезпечення.

Системне програмне забезпечення забезпечує взаємодію обчислювального пристрою і зовнішнього середовища, наприклад, взаємодія з оператором обчислювального пристрою або взаємодія з керованим процесом. Системне програмне забезпечення поставляється разом із обчислювальним пристроєм і є його складовою частиною. Розробка системного програмного забезпечення потребує спеціальної підготовки і здійснюється системними програмістами.

Прикладне програмне забезпечення розробляється у залежності від конкретного застосування обчислювального пристрою за допомогою мов програмування. Розробка прикладного програмного забезпечення систем керування, як правило, не потребує високого рівня підготовки в області обчислювальної техніки і може здійснюватися спеціалістами в даній прикладній області.

Операційні системи забезпечують роботу обчислювальних пристроїв та являються важливою частиною системного програмного забезпечення.

Кожна програма незалежно від мови програмування має бути перетворена у програму, команди якої відповідають командам центрального процесора, поданим у двійковому коді. Це зв'язано з тим, що програма, яку виконує процесор, знаходиться у пам'яті у двійковому коді (так звані машинні коди). Користуватись машинними кодами незручно, тому замість машинних кодів використовуються символічні позначення.

15.2. Засоби програмування однокристальних мікроконтролерів

Для програмування простих мікропроцесорних пристроїв використовуються мови програмування, що дають можливість створювати оптимальні за розміром програми, які максимально використовують можливості процесора. До таких мов належать Асемблер і С.

Мова Асемблер використовується як мова системного програмування, або для складання програм відносно простих пристроїв керування, наприклад, на основі однокристальних мікроконтролерів.

У мові Асемблер команди відповідають командам центрального процесора. Тому ця мова є машинно-орієнтованою мовою, та має багато варіантів у залежності від типу процесора. Але ця мова максимально використовує можливості та особливості конкретного процесора, тому використовується як мова системного програмування, або для програмування простих пристроїв керування. Для спрощення програмування сама програма створюється на персональному комп'ютері, де складається з символічного позначення окремих команд за допомогою текстового редактора. Після завершення складання та перевірки програми, вона перетворюється у двійковий код та завантажується у пам'ять пристрою керування.

Програмне забезпечення, за допомогою якого створюється програма для мікропроцесорної системи на мові Асемблер має назву Асемблер, та має усі компоненти, що потрібні для складання програми, перевірки, компоновки, та перетворення в машинний код.

Текст програми на Асемблері складається як послідовність команд у визначеному форматі, коли кожна команда являє собою рядок з чотирьох конструкцій (чотири поля):

МІТКА : ОПЕРАЦІЯ ОПЕРАНДИ ;КОМЕНТАР

Мітка являє собою символічне ім'я адреси пам'яті, де зберігається відзначена команда або операнд. Операція являє собою символічне позначення команди або псевдокоманди мови Асемблер. Псевдокоманди не мають аналогів у системі команд центрального процесора та виконують додаткові функції, наприклад, встановлення початкової адреси програми. У полі операнду визначаються дані, що приймають участь у команді. Операнд може бути заданий безпосередньо у вигляді числа або у вигляді його адреси. Коментар використовується для пояснення виконуваних команд.

Перевагою мови Асемблер є можливість створення оптимальних програм з точки зору кількості команд та використання можливостей процесора.

Недоліком мови Асемблер є залежність набору команд цієї мови від типу процесора, що призводить до великої різниці між варіантами цієї мови.

Для написання прикладного програмного забезпечення мікропроцесорних систем часто використовується універсальна мова С. Ця мова була розроблена у 1972 році Денісом Рітчі у Bell Telephone Laboratories з метою написання операційної системи UNIX і спочатку використовувалась для системного програмного забезпечення. Але пізніше мова С стала однією з найбільш популярних у світі мовою програмування завдяки кількості вже написаного нею програмного забезпечення, доступності завдяки вільним ліцензіям, та кількості програмістів, котрі її використовують. Версії компіляторів для мови С існують для багатьох операційних систем та процесорів. С здійснила великий вплив на інші мови програмування, особливо на С++, яку спочатку проектували як розширення для С, а також на Java та С#.

З деякими особливостями, які полегшують новачкам написання першої працюючої програми, мова програмування С++ використовується для мікроконтролерів, що можуть використовуватися в робототехніці, наприклад в Arduino.

Програми, написані для Arduino називають скетчі (від англ. Sketch) і зберігаються в файлах з розширенням ipn. Ці файли перед компіляцією обробляються препроцесором Ардуіно. Також існує можливість створювати і підключати до проекту стандартні файли С++.

Обов'язкову в С++ функцію main () препроцесор Arduino створює сам, вставляючи туди необхідні дії.

В тексті своєї програми (скетчу) програміст може використовувати стандартні бібліотеки.

Менеджер проекту Arduino IDE має нестандартний механізм додавання бібліотек. Бібліотеки у вигляді вихідних текстів на стандартному С++ додаються в спеціальну папку в робочому каталозі IDE. При цьому назва бібліотеки буде додано до списку бібліотек в меню IDE. Програміст зазначає потрібні бібліотеки і вони вносяться до списку компіляції.

Arduino IDE не пропонує ніяких налаштувань компілятора і мінімізує інші настройки, що спрощує початок роботи для новачків і зменшує ризик виникнення помилок.

Найпростіша Arduino-програма складається з двох функцій:

- setup (): функція викликається одноразово при старті мікроконтролера.
- loop (): функція викликається після setup () в нескінченному циклі весь час роботи мікроконтролера.

Нижче наведено повний текст однієї з найпростіших програм (скетчу) миготіння світлодіодом, підключеного до виходу 13 Arduino, з періодом 2 секунди, де для управління дискретним виходом використовується функція digitalWrite (). Ця функція має два аргументи: номер виходу, на який виводиться дискретний сигнал, і значення сигналів HIGH (високий рівень) або LOW (низький рівень).

```
void setup() {
  pinMode (13, OUTPUT); // Зазначення контакту 13 як вихід
}
```

```

void loop() {
  digitalWrite (13, HIGH);      // Вмикання контакту 13, параметр HIGH
  delay(1000);                 // Затримка на 1000 мс –1 секунда
  digitalWrite (13, LOW);     // Вимикання контакту 13, параметр LOW
  delay(1000);                 // Затримка на 1000 мс – 1 секунда
}

```

Всі використовувані в прикладі функції є бібліотечними. У комплекті Arduino IDE є велика кількість прикладів програм.

Нижче наведено приклад програми управління виходом ШІМ (контакт 9) за допомогою функції analogWrite (). Ця функція має два аргументи: номер виходу, на який виводиться сигнал з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), і число в діапазоні від 0 до 255, яке задає пропорційну тривалість імпульсу ШІМ та у даній програмі змінює рівень світіння світлодіода.

```

const int LED=9;              // Контакт 9 для підключення світлодіода
void setup() {
  pinMode (LED, OUTPUT);     // Зазначення контакту 9 як вихід
}
void loop() {
  for (int i=0; i<256; i++)   // Цикл збільшення яскравості
  {
    analogWrite(LED,i);      // Видача сигналу на світлодіод
    delay(100);              // Затримка на 100 мс – 0,1 секунди
  }
  for (int i=255; i>=0; i--)  // Цикл зменшення яскравості
  {
    analogWrite(LED,i);      // Видача сигналу на світлодіод
    delay(100);              // Затримка на 100 мс – 0,1 секунди
  }
}

```

Наведений приклад показує, як можна, наприклад, здійснити регулювання швидкості двигуна постійного струму

15.3. Приклади використання однокристальних мікроконтролерів в робототехнічних пристроях

Розглянемо можливості мікроконтролерів для створення програм керування роботами з використанням мови Асемблер.

Для видачі двійкових керуючих сигналів на порти, наприклад, для керування двигунами, можуть використовуватися команди установки заданого бита в "1"

SETB bit

і скидання заданого бита в "0"

CLR bit,

де bit - пряма адреса бита, для якого виконується дана команда.

Для окремих ліній портів вводу-виводу прийняте таке позначення:

Pn.i

n - номер порту, n = 0...3;

i - номер лінії порту, i = 0...7.

У такий засіб видача сигналу "1" або "0" на задану лінію здійснюється за допомогою однієї команди, наприклад, команда

SETB P2.3

встановлює в "1" вихід P2.3.

Опитування двійкового датчика на замикання і розмикання може здійснитися за допомогою команд умовного переходу з перевіркою заданого бита на задане значення, як-то:

JB bit,L1 - перехід на мітку L1, якщо значення bit дорівнює "1";
 JNB bit,L2 - перехід на мітку L2, якщо значення bit дорівнює "0".

За допомогою цих команд досить просто зробити програму циклового керування роботом в одному напрямку, яка складається з послідовності наступних дій:

включити двигун переміщення;
 опитати кінцевий датчик, якщо датчик не спрацював, повторити опитування, якщо спрацював, перейти до наступної команди;
 виключити двигун переміщення.

Програма, яка виконує цю послідовність дій має вигляд:

```

SETB P1.1           ;включити двигун переміщення
L1:  JNB  P2.1, L1   ;опитати кінцевий датчик, якщо датчик не
                    ;спрацював, повторити опитування,
                    ;якщо спрацював, перейти до наступної команди
                    CLR P1.1           ;виключити двигун переміщення
  
```

Переміщення по іншим напрямкам (осям) вирізняється тільки лініями вводу та виводу, до яких підключені двигуни переміщення та кінцеві датчики.

Для простого позиційного керування роботом можна використати, наприклад, датчик із щілинним чутливим елементом, який видає сигнал при проходженні металевої пластини через щілину. Позиціонування здійснюється підрахуванням числа імпульсів при проходженні датчика вздовж осі з пластинами (рис. 15.1).

При необхідності підрахування числа подій може бути використаний програмний лічильник. При цьому у визначений регістр записується задане число циклів, і його вміст зменшується на одиницю в кожному наступному циклі доти, поки воно не стане рівним нулю. Цю операцію можна здійснити за допомогою команди:

DJNZ Ri, L1 - зменшити на "1" значення регістра Ri, та перейти на мітку L1, якщо його значення не дорівнює "0".

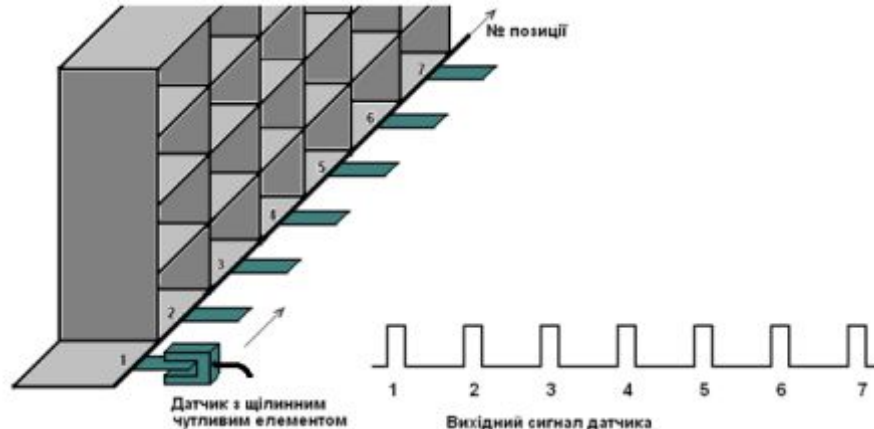


Рис. 15.1. Позиційне керування за допомогою індуктивного датчика з щілинним чутливим елементом

При проходженні металевої пластини через щілину формується імпульс, тому треба використовувати програму опитування імпульсних сигналів, яка відрізняється тим, що необхідно виявити не тільки факт появи, але й закінчення імпульсу. У прикладі приведена програма опитування позитивного імпульсу ("0"->"1"->"0"), що фіксує момент переходу з "1" у "0" (задній фронт):

Програма позиційного керування для переходу на позицію 6 має вигляд:

```

MOV R4, # 6         ;записати номер позиції у регістр R4 ;(число 6)
L1:  SETB P1.1       ;включити двигун переміщення
L2:  JNB  P2.1,L2    ;чекання початку імпульсу на вході
                    ;P2.1=1
  
```

L3: JB P2. 1,L3 ;чекання кінця імпульсу на вході P1.3=0
 DNZ R4,L1 ;зменшити на "1" значення регістра R4,
 ;та перейти на мітку L2, якщо його значення не
 ;дорівнює "0";
 CLR P1.1 ;виключити двигун переміщення

Розглянемо приклад простої програми маршрутослідкування.

На рис. 15.2 наведений візок, який здійснює маршрутослідкування за допомогою двох оптичних датчиків.

Візок має два привода – правий та лівий та два оптичних датчика – справа та зліва від смуги вказівника маршруту. У вихідному положенні оптичні датчики знаходяться справа та зліва від смуги вказівника маршруту (датчики не спрацьовують) і включені обидві двигуна (візок переміщується прямо). Якщо на смугу попадає лівий датчик, то він спрацьовує та здійснюється поворот вправо (зупиняється лівий двигун), а якщо на смугу попадає правий датчик, то здійснюється поворот вліво (зупиняється правий двигун).

Зупинка візка здійснюється за допомогою кнопки "СТОП".

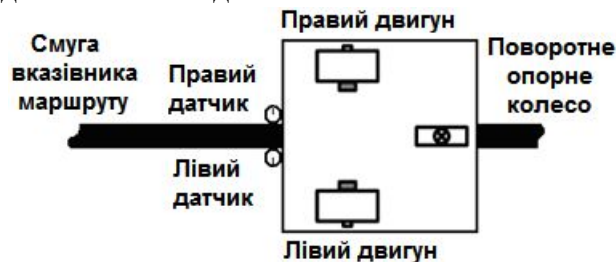


Рис. 15.2. Візок з маршрутослідкуванням за допомогою двох оптичних датчиків

Датчики та приводи підключені до ОМК таким чином:

P2. 0 – кнопка "СТОП"
 P2. 1 – правий датчик
 P2. 2 – лівий датчик
 P1. 1 – правий двигун
 P1. 2 – лівий двигун

У цьому разі програма маршрутослідкування має вигляд:

L1: JNB P2. 1,L2 ;якщо не спрацював правий датчик
 ;P2.1=0, перехід на L2
 SETB P1.2 ;якщо спрацював правий датчик
 ;P2.1=1, здійснити поворот вправо
 ;а саме включити лівий двигун
 CLR P1.1 ;та виключити правий двигун
 L2: JNB P2. 2,L2 ;якщо не спрацював лівий датчик
 ;P2.2=0, перехід на L3
 SETB P1.1 ;якщо спрацював лівий датчик
 ;P2.1=1, здійснити поворот вліво,
 ;а саме включити правий двигун
 CLR P1.2 ;та виключити лівий двигун
 L3: SETB P1.1 ; якщо не спрацював жодний датчик,
 ;здійснити рух прямо, а саме
 ;включити правий двигун
 SETB P1.2 ;та включити лівий двигун
 L3: JNB P2. 0,L1 ;якщо не натиснута кнопка "СТОП"

```

CLR P1.1 ;повернення на L1 (продовження руху)
;якщо натиснута кнопка "СТОП"
;то зупинити рух, а саме
CLR P1.2 ; виключити правий двигун
;та виключити лівий двигун

```

Розглянемо можливості мікроконтролерів для створення програм керування роботами з використанням мови C++ на прикладі контролерів Arduino.

Для дослідження принципів керування використовується макет колісного мобільного робота з кроковими двигунами та інфрачервоними датчиками маршрутослідкування та перешкод.

На рис. 15.3 наведені зовнішній вигляд (а) та схема (б) підключення макета колісного мобільного робота з інфрачервоними датчиками перешкод до контролера Arduino UNO.

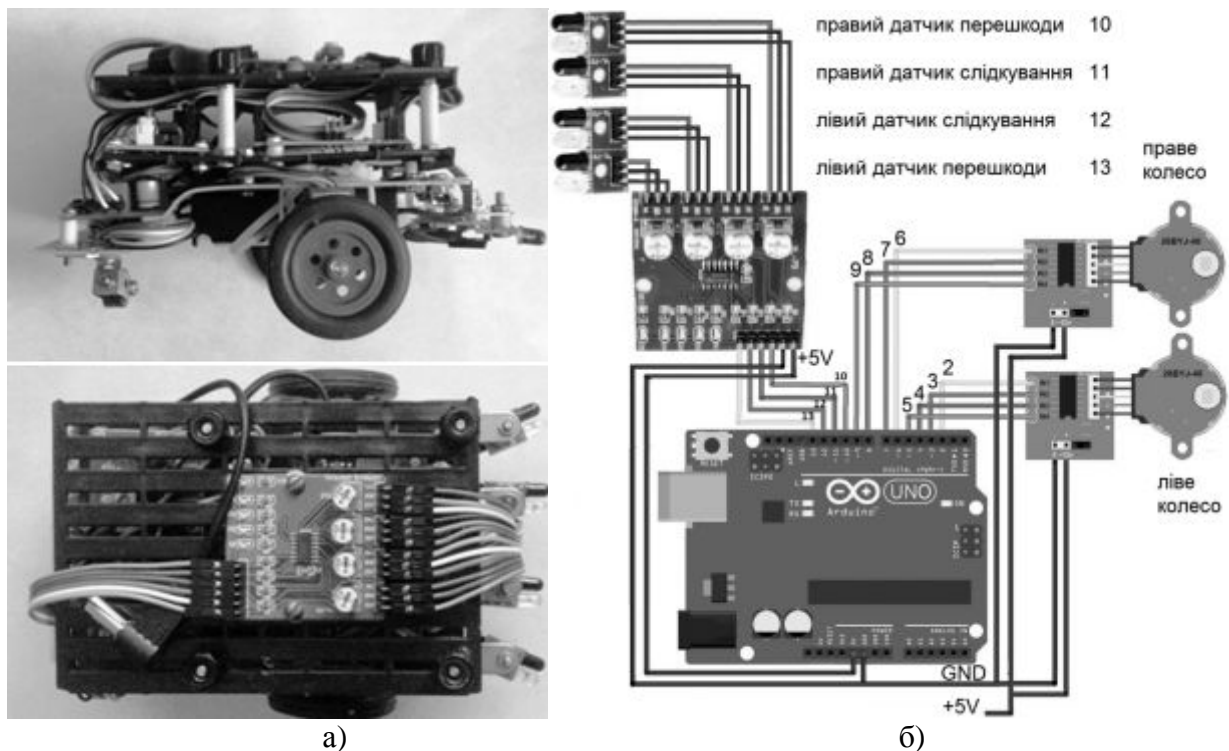


Рис. 15.3. Схема макета колісного мобільного робота з кроковими двигунами та інфрачервоними датчиками

Програма забезпечує переміщення мобільного робота вздовж чорної смуги на білому фоні. При наявності перешкоди мобільний робот зупиняється, поки не зникне перешкода.

Якщо інфрачервоний датчик на білому полі (є відбитий сигнал), отримаємо сигнал 0 (LOW).

Якщо інфрачервоний датчик на чорному полі (нема відбитого сигналу), отримаємо сигнал 1 (HIGH).

Виходи датчиків перешкоди: 1(HIGH) – нема відбитого сигналу, 0 (LOW)– є відбитий сигнал.

```

demo_uno_2_step_weg_block
#include <Stepper.h>
int pos1 =1;
int pos2 =1;
int speed = 0;

```

```

#define din1 10 //правий датчик перешкоди
#define din2 11 //правий датчик слідкування
#define din3 12 //лівий датчик слідкування
#define din4 13 //лівий датчик перешкоди
// Ініціалізація с послідовністю виводів IN1-IN3-IN2-IN4
// для використання Stepper1 с 28BYJ-48 - ліве колесо
Stepper stepper1(64, 2, 4, 3, 5);
// для використання Stepper2 с 28BYJ-48 - праве колесо
Stepper stepper2(64, 6, 8, 7, 9);
void setup() {
pinMode (din1, INPUT);
pinMode (din2, INPUT);
pinMode (din3, INPUT);
pinMode (din4, INPUT);
stepper1.setSpeed(500);
stepper2.setSpeed(500);
}
void loop() {
if (digitalRead(din1)== HIGH && digitalRead(din4) == HIGH) // якщо немає перешкоди, їдемо
{ // якщо обидва датчика не на смужці
if (digitalRead(din2)==LOW && digitalRead(din3)==LOW) { //то рух прямо
stepper1.step(pos1);
stepper2.step(-pos2);
}
if (digitalRead(din2)==LOW && digitalRead(din3)==HIGH) //якщо правий датчик на смужці
{
stepper1.step(pos1); //то поворот направо
}
if (digitalRead(din2)==HIGH && digitalRead(din3)==LOW) // якщо лівий датчик на смужці
{
stepper2.step(-pos2); //то поворот наліво
}
}
}
}

```

Завдання до лабораторної роботи

Доповнити наведену вище програму переміщення мобільного робота вздовж чорної смуги на білому фоні для макета колісного мобільного робота з кроковими двигунами та інфрачервоними датчиками зупинкою у разі, коли обидві датчики знаходяться на чорній смугі (помітка зупинки робота на рис. 15.4).

Приклад розв'язання задач з теми заняття

Приклад програми маршрутослідкування наведений вище.

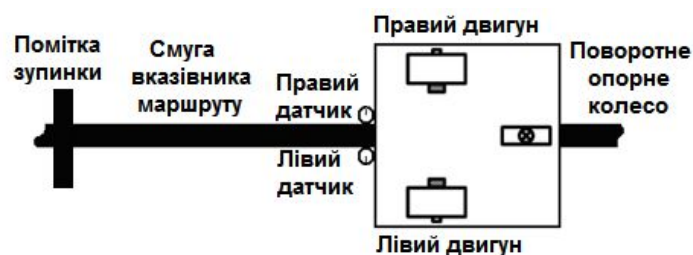


Рис. 15.4. Маршрутослідкування з поміткою зупинки робота

Контрольні запитання

1. З яких частин складається програмне забезпечення систем керування?
2. Чим відрізняються мови програмування високого та низького рівня?
3. Коли використовується мова Асемблер?
4. Коли використовується мова C++?
5. Яка команда Асемблера для ОМК 51 використовується для керування двигунами?
6. Яка команда Асемблера для ОМК 51 використовується для визначення позиції при позиційному керуванні?
7. З яких функцій складається найпростіша Arduino-програма?
8. Як здійснюється маршрутування за допомогою двох оптичних датчиків?
9. Як здійснюється визначення перешкод за допомогою оптичних (інфрачервоних) датчиків?
10. Як здійснюється керування кроковим двигуном?

Глава 16. Системи керування універсальних промислових роботів, структура і склад, апаратні та програмні компоненти

16.1. Типи універсальних промислових роботів

У залежності від виконуваних функцій промислові роботи ПР поділяються на виробничі (технологічні), підйомно-транспортні (допоміжні) та універсальні.

Виробничий ПР призначений для безпосередньої участі в технологічному процесі як виробляє або обробної машини і виконує основні технологічні операції - гнуття, зварювання, фарбування, збірку і т.п.

Підйомно-транспортний ПР призначений для обслуговування основного технологічного обладнання і виконує такі допоміжні операції: транспортування, установку і зняття заготовок, деталей, інструменту та пристосувань; очищення баз деталей і устаткування; транспортно-складські операції.

Універсальний ПР може виконувати функції як підйомно-транспортного, так і виробничого ПР.

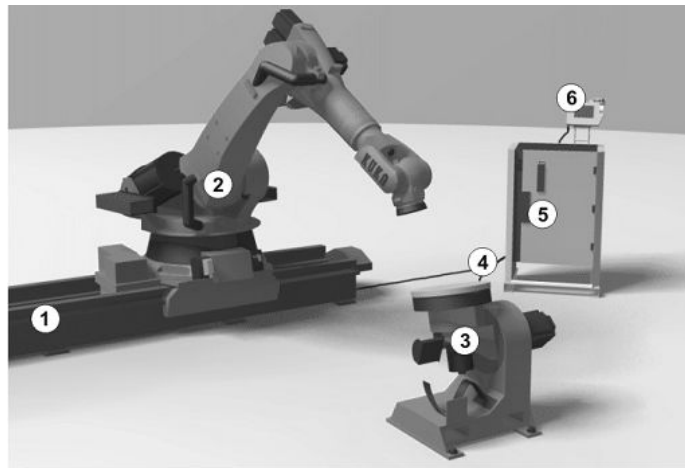
Розглянемо, як будується система керування універсальних роботів на прикладі роботів фірми KUKA (рис. 16.1).



Рис. 16.1. Універсальні роботи фірми KUKA

16.2. Роботи фірми KUKA

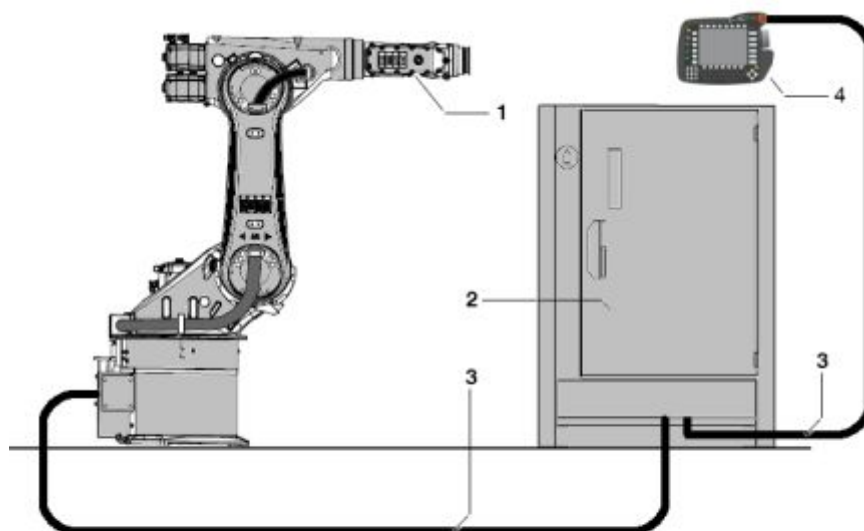
Робототехнічні системи фірми KUKA у загальному випаді можуть мати такі компоненти: робот, шафа з системою керування роботом, ручний програматор, з'єднувальні кабелі, додаткові осі, наприклад, лінійний блок, поворотний стіл, пристрій позиціонування, програмне забезпечення (рис.16.2).



- | | |
|----------------------------|-------------------------------|
| 1. Лінійний блок | 4. З'єднувальні кабелі |
| 2. Робот | 5. Система управління роботом |
| 3. Пристрій позиціонування | 6. Ручний програматор |

Рис. 162.2 Загальний вигляд робототехнічної системи

Невід'ємними складовими частинами самого робота є його механічна частина, шафа керування, з'єднувальні кабелі та ручний програматор (рис. 16.3).



- | |
|-----------------------------|
| 1. Механічна частина робота |
| 2. Шафа керування |
| 3. З'єднувальні кабелі |
| 4. Ручний програматор |

Рис. 16.3. Складові частини робота

Програмне забезпечення системи керування дозволяє здійснювати такі функції:

- введення робототехнічної системи в дію,
- калібрування та юстирування робота,
- програмування,
- технічне обслуговування.

Оскільки виконання різних функцій потребує різного рівня підготовки обслуговуючого персоналу, то рекомендується такий розподіл обов'язків: виконання програми та встановлення режимів роботи здійснює оператор, калібрування, юстирування та програмування здійснює програміст, а технічне обслуговування та ремонт здійснює системний інтегратор.

Програмування та обслуговування робота здійснюється за допомогою пульта ручного керування (ручний програматор), зовнішній вигляд якого наведений на рис. 16.4.

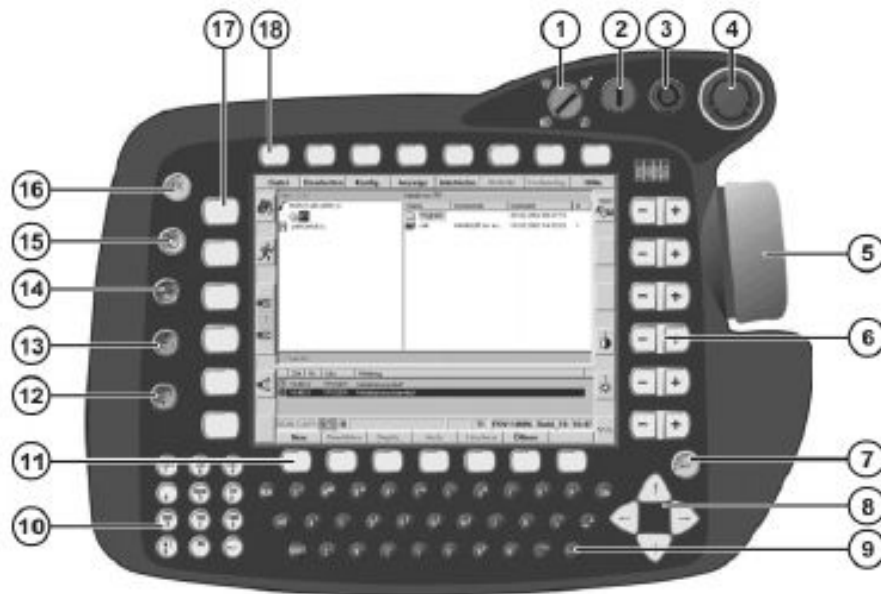


Рис. 16.4. Зовнішній вигляд ручного програматора

Пульт має такі органи керування:

- | | | | |
|---|--------------------------|----|---------------------------|
| 1 | Перемикач режимів роботи | 10 | Блок цифрових клавіш |
| 2 | Приводи ВКЛ | 11 | Клавіші, що програмуються |
| 3 | Приводи ВИКЛ | 12 | Клавіша зворотного пуску |
| 4 | Аварійна кнопка | 13 | Клавіша пуску |
| 5 | Миша | 14 | Клавіша СТОП |
| 6 | Клавіші стану | 15 | Клавіша вибору вікна |
| 7 | Клавіші введення | 16 | Клавіша ESC |
| 8 | Клавіші курсору | 17 | Клавіші стану |
| 9 | Клавіатура | 18 | Клавіші меню |

Перемикач режимів роботи встановлює такі режими:

- 1 T2 режим тестування 2 (вручну, висока швидкість)
- 2 AUT без системи керування верхнього рівня (автоматика)
- 3 AUT EXT з системою керування верхнього рівня (зовнішня автоматика)
- 4 T1 режим тестування 1 (вручну, знижена швидкість)

Для програмування робота використовуються різні системи координат (рис. 16.5). При введенні в дію здійснюється перевірка машинних даних за допомогою пункту меню "дані робота".

Потім обов'язково проводиться юстування робота для забезпечення можливості переміщення в прямокутних координатах та підведення в запрограмовану позицію. Потрібність юстування зв'язана з відмінністю точності позицій у окремих роботів одного типу.

За допомогою міток юстування робот встановлюється у вихідне положення, для чого кожна вісь переміщується так, щоб мітки юстування збіглися (рис. 16.6).

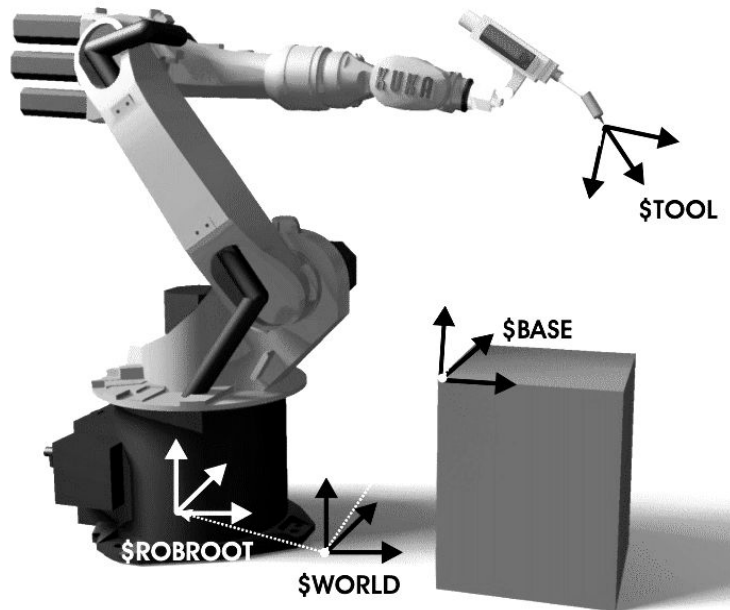


Рис. 16.5. Системи координат робота

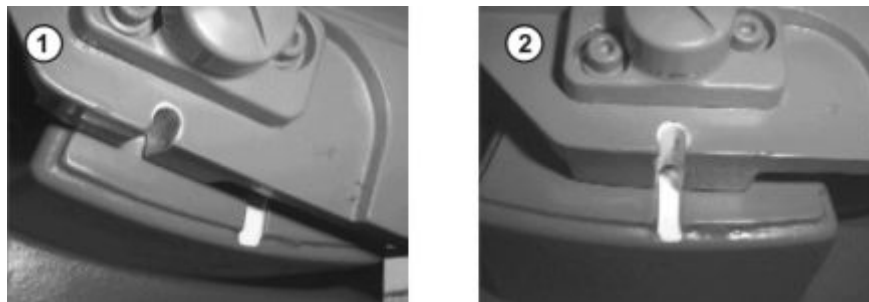


Рис. 16.6. Встановлення вихідного положення для юстування

Юстування здійснюється за допомогою вимірювальної головки, або стрілочного індикатора шляхом встановлення міток юстирування (рис.16.7)



Рис. 16.7. Юстування за допомогою контактної вимірювальної головки або стрілочного індикатора

При встановленні робочого органа або інструмента за допомогою ручного програматора треба провести калібрування для присвоєння інструменту чи робочому органу прямокутної системи координат з початковою точкою заданою оператором. При калібруванні інструменту оператор присвоює інструменту, закріпленому на інсталяційному фланці, прямокутну систему координат (систему координат TOOL). Початок системи координат TOOL розташований в точці, визначеній користувачем. Вона називається TCP (Tool Center Point). Як правило, TCP задається в робочій точці інструменту. Прямокутна

система координат **TOOL** розташована в робочій точці інструменту. Вихідною точкою системи координат **TOOL** є центр фланця. (У цьому випадку вона називається системою координат **FLANGE**.) При калібруванні система координат **TOOL** переміщається користувачем в робочу точку інструменту.

Принцип калібрування робочого органу наведений на рис. 16.8:

X, Y, Z – вихідна точка системи координат робочого органу **TOOL** по відношенню до системи координат робота **FLANGE**

A, B, C – орієнтація системи координат робочого органу **TOOL** по відношенню до системи координат робота **FLANGE**.

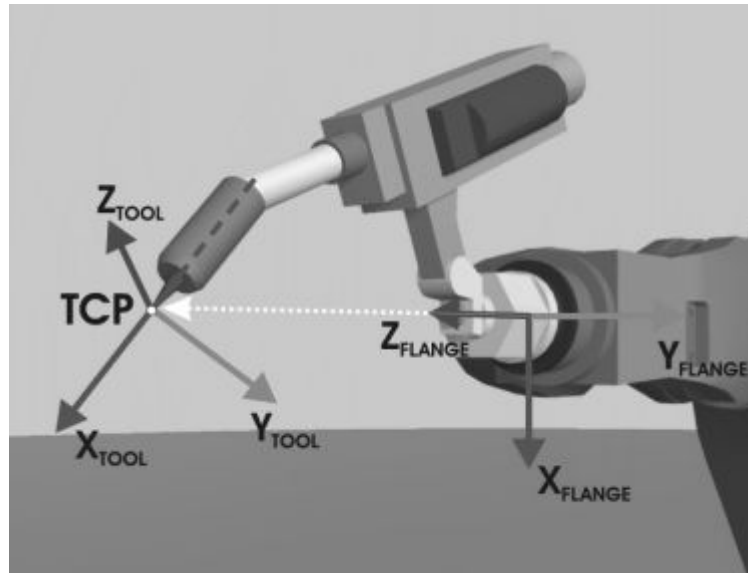


Рис. 16.8. Принцип калібрування робочого органу

Визначення орієнтації також може здійснюватися різними засобами. На рис. 16.9 наведений приклад визначення орієнтації для робочого органу за допомогою методу ABC 2 точки.

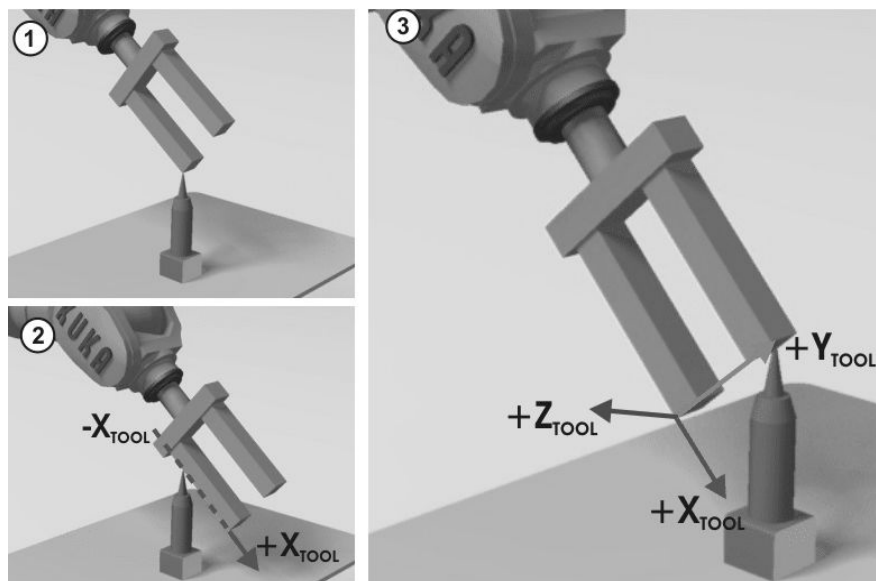


Рис. 16.9. Визначення орієнтації для робочого органу за допомогою методу ABC 2 точки

16.3. Програмування роботів фірми KUKA за допомогою мови KRL

Для програмування та виконання програми використовується функція керування програмами. Адміністративне керування програмами та усіма системними файлами здійснюється за допомогою навігатора, який відображає структуру каталогів та перелік файлів у каталозі.

Для створення нової програми треба натиснути програмовану клавішу "Нова", вибрати потрібну маску для програми, після чого відкривається редактор програми.

Для програмування роботів фірми KUKA використовується мова програмування KRL, за допомогою якої можна створити програми з усіма типами програмного керування, а саме циклового, позиційного та контурного керування.

Для цього у програмі можуть бути запрограмовані такі переміщення:

- переміщення від точки до точки (PTP),
- лінійне переміщення (LIN),
- кругове переміщення (CIRC).

Мова програмування KRL має структуру у вигляді послідовності кадрів (рис. 16.10). Перша команда руху в програмі KRL повинна містити однозначне визначення вихідного положення. Ця умова виконується в позиції HOME, яка введена в систему керування роботом за замовчуванням.

```

1 DEF my_program( )
2  INI
3
4  PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT
5  ...
8  LIN point_5 CONT Vel= 2 m/s CPDAT1 Tool[3] Base[4]
9  ...
14 PTP point_1 CONT Vel= 100 % PDAT1 Tool[3] Base[4]
15 ...
20 PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT
21
22 END

```

Рядок	Опис
1	Рядок DEF показує ім'я програми.
2	Рядок INI містить в собі ініціалізації для внутрішніх змінних та параметрів.
4	Позиція HOME
8	Переміщення LIN
14	Переміщення PTP

Рис. 16.10. Структура програми системи керування KR C2 фірми KUKA

Для команд, які часто використовуються, є вмонтовані формуляри, що спрощують складання програми. При використанні формулярів введення команди здійснюється шляхом вибору необхідних параметрів у меню маски.

Далі наведені формуляри для команд переміщення.

Формуляр переміщення від точки до точки (PTP) наведений на рис. 16.11.



Рис. 16.11. Формуляр переміщення від точки до точки (PTP)

Поз.	Опис	Діапазон значень
1	Вигляд переміщення	PTP, LIN, CIRC
2	Ім'я кінцевої точки	" Ім'я"
3	CONT: згладжування кінцевої точки пусто: точний підхід до кінцевої точки	CONT
4	Швидкість	0% ... 100%
5	Ім'я запису даних переміщення. Система автоматично задає ім'я.	" Ім'я"

Формуляр лінійного переміщення (LIN) наведений на рис. 16.12.



Рис. 16.12. Формуляр лінійного переміщення (LIN)

Поз.	Опис	Діапазон значень
1	Вигляд переміщення	PTP, LIN, CIRC
2	Ім'я кінцевої точки	" Ім'я"
3	CONT: згладжування кінцевої точки пусто: точний підхід до кінцевої точки	CONT
4	Швидкість	0% ... 100%
5	Ім'я запису даних переміщення. Система автоматично задає ім'я.	" Ім'я"

Формуляр кругового переміщення (CIRC) наведений на рис. 16.13.

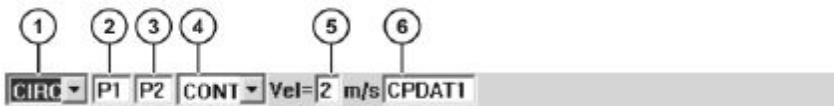


Рис. 16.13. Формуляр кругового переміщення (CIRC)

Поз.	Опис	Діапазон значень
1	Вигляд переміщення	PTP, LIN, CIRC
2	Ім'я допоміжної точки	" Ім'я"
3	Ім'я кінцевої точки	" Ім'я"
4	CONT: згладжування кінцевої точки пусто: точний підхід до кінцевої точки	CONT
5	Швидкість	0% ... 100%
6	Ім'я запису даних переміщення. Система автоматично задає ім'я.	" Ім'я"

Початковою точкою переміщення завжди є кінцева точка попереднього переміщення.

Згладжування використовується для здійснення плавного руху. Це робиться за допомогою параметра CONT. Приклади згладжування для переміщень LIN (а) та CIRC (б), наведений на рис. 16.14.

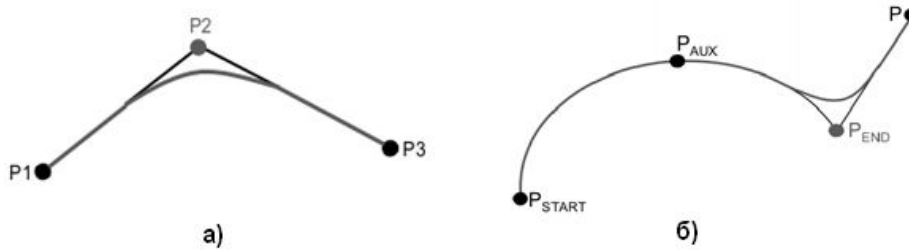


Рис. 16.14. Приклади згладжування для переміщень: а) LIN, б) CIRC

Переміщення LIN та CIRC можна об'єднати також поняттям "переміщення CP" (Continuous Path).

На рис 16.15 наведена програма та відповідна траєкторія переміщення, де згладжені точка запуску переміщення та цільова точка.

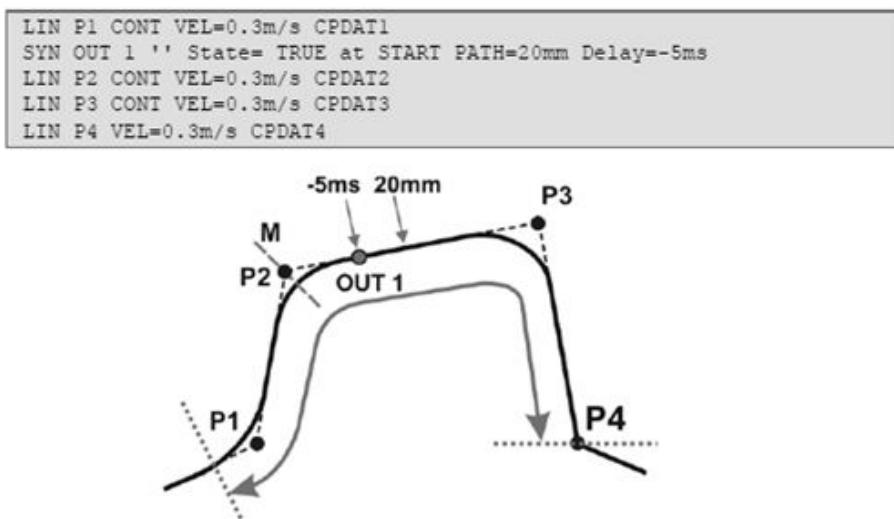


Рис. 16.15. Програма та траєкторія переміщення з згладженими точками запуску переміщення та цільової точки

Після створення програми є можливість її перевірки у тестовому режимі з високою та зниженою швидкістю.

Для керування захватним пристроєм, який має тільки два положення (відкритий та закритий) можна використати формуляр цифрового виходу OUT. Ця команда встановлює значення для цифрового виходу (0 - FALSE або 1 - TRUE).

Формуляр встановлення цифрового виходу (OUT) наведений на рис. 16.16.



Рис. 16.16. Формуляр встановлення цифрового виходу (OUT)

Поз.	Опис	Діапазон значень
1	Номер виходу	1 ... 4096
2	Якщо вихід має ім'я, то воно відображається	"Ім'я"
3	Стан, у який переключасться вихід	TRUE, FALSE
4	CONT: обробка у попередній процедурі (пусто): обробка з зупинкою попередньої процедури	CONT, (пусто)

Для очікування відкриття або закриття захватного пристрою можна використати команду затримки WAIT.

Формуляр затримки (WAIT) наведений на рис. 16.17.

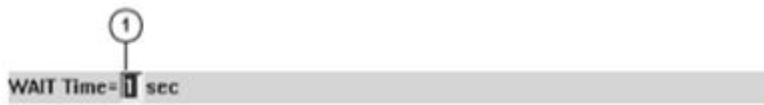


Рис. 16.17. Формуляр затримки (WAIT)

Поз.	Опис	Діапазон значень
1	Час очікування	≥ 0 сек

На рис. 16.16 наведений приклад використання роботів фірми KUKA у автомобільній промисловості.

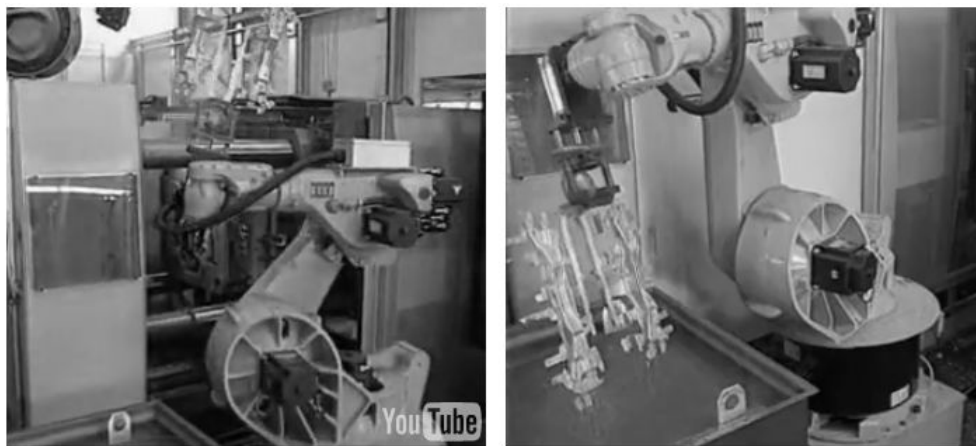


Рис. 16.16. Приклад використання роботів фірми KUKA у автомобільній промисловості

16.4. Роботи фірми ABB та програмний комплекс RobotStudio

Сьогодні компанія ABB пропонує найширший спектр промислових роботів з першокласним програмним забезпеченням і розвинуеною мережею сервісного обслуговування по всьому світу.



Рис. 16.17. Роботи фірми ABB

Свої рішення компанія ABB пропонує у вигляді готових продуктів: промислові роботи (6-ти осьові , 4-х осьові)

- спеціальне обладнання та інструменти,
- поворотні столи та позиціонери,
- рухливі платформи,
- контролери ,
- 2D-3D системи технічного зору ,
- зварювальне обладнання ,
- обладнання для фарбування.

Програмне забезпечення має засоби для моделювання робототехнічних комплексів

- офф-лайн і он-лайн програмування,
- моделювання динамічних об'єктів виробництва і роботів ,
- опрацювання рішень ,
- розрахунок і оптимізація часу циклу.

Спеціальне програмне забезпечення дозволяє вирішувати такі задачі:

- процеси точкового зварювання;
- процеси зварки;
- обробка пластику;
- ливарне і пресове виробництво;
- збірка, упаковка.

Компанія АВВ постачає комплексні системи для автомобільної промисловості, а саме:

- пресові лінії;
- зварювання кузовів автомобілів;
- фарбувальні лінії;
- лінії складання двигунів і трансмісій.

Програмування роботів фірми АВВ здійснюється за допомогою програмного комплексу RobotStudio

RobotStudio це комп'ютерна програма для моделювання в автономному режимі програмування і моделювання окремих компонентів роботів.

RobotStudio дозволяє працювати з контролером офф-лайн, який є віртуальним контролером IRC5, виконується локально на вашому комп'ютері. Цей контролер офлайн позначається як віртуальний контролер (VC). RobotStudio також дозволяє працювати з реальним фізичним контролером IRC5, який називають реальним контролером. Коли RobotStudio використовується з реальними контролерами, це називають режимом реального часу.

При роботі без підключення до реального контролеру, або, будучи підключений до віртуального контролеру, RobotStudio працює в автономному режимі.

RobotStudio пропонує наступні варіанти установки:

- повна;
- користувальницькі, що дозволяють користувачам налаштувати зміст і шляхи;
- мінімальна, що дозволяє запускати RobotStudio тільки в онлайн-режимі.

RobotStudio дозволяє здійснити створення системи за планом (рис. 16.18), моделювання окремих механізмів (рис. 16.19), а також моделювання обладнання та зовнішнього середовища (рис. 16.20).

Після створення моделі за допомогою редактора програми створюється сама програма (рис. 16.21).

Створена програма може бути налагоджена за допомогою функції Debugging (рис. 16.22).

У ході налагодження програми можна здійснити запис відео та знімки екрану (рис. 16.23).

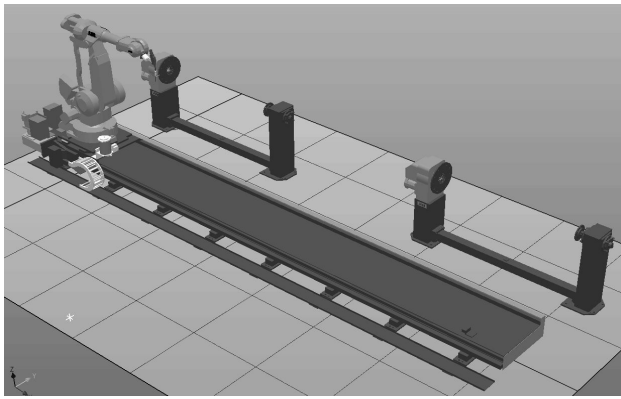


Рис.16.18. Створення системи за планом

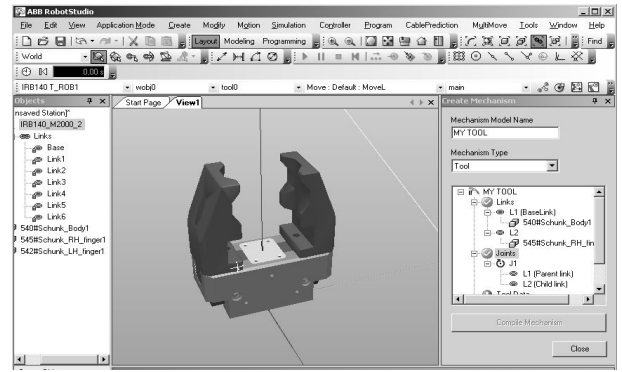


Рис.16.19. Моделювання окремих механізмів

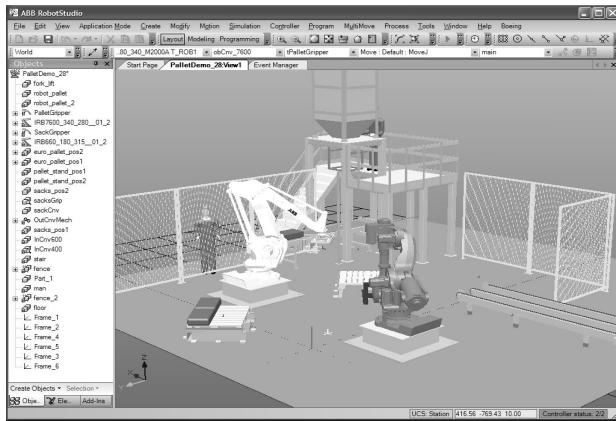


Рис.16.20. Моделювання обладнання та зовнішнього середовища

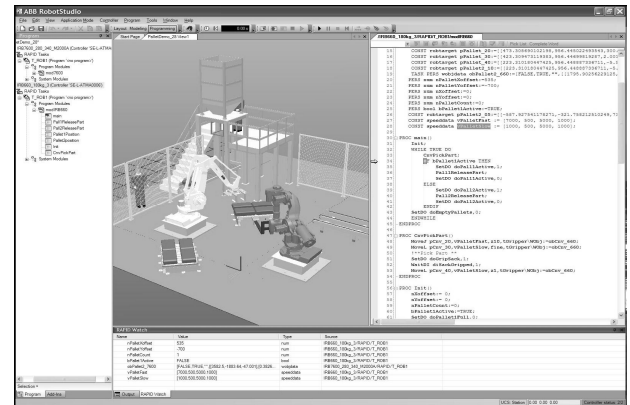


Рис. 16.21. Редактор програми

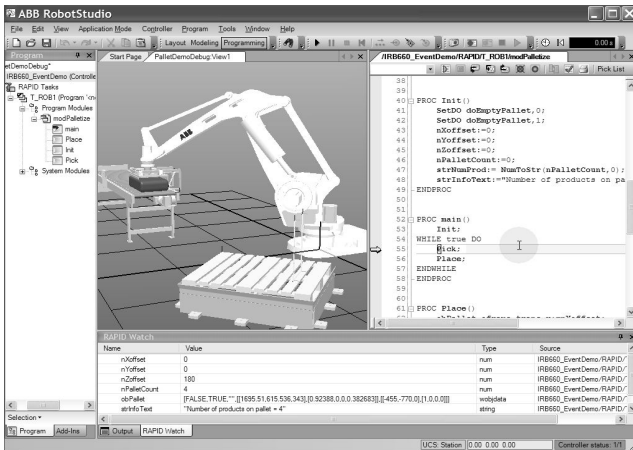


Рис. 16.22. Налаштування програми за допомогою функції Debugging

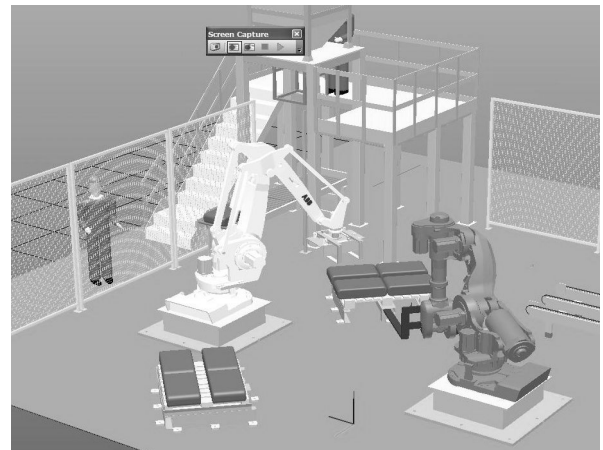


Рис. 16.23. Запис відео та знімки екрану

Контрольні запитання

1. З яких частин складається структура універсальних промислових роботів?
2. Які функції виконує ручний програматор?
3. Чим відрізняються режими T1 та T2?
4. Для чого здійснюється калібрування робочого органу?
5. Які переміщення є у складі команд?
6. Для чого використовуються так звані формуляри?
7. Які параметри мають усі формуляри переміщення?
8. Який додатковий параметр має формуляр кругового переміщення (CIRC)?
9. Як здійснюється згладжування для переміщень?
10. Які функції можна здійснити за допомогою програмного комплексу RobotStudio?

Глава 17. Програмні засоби для програмування роботів LABVIEW та MICROSOFT ROBOTICS DEVELOPER STUDIO

17.1. Програмні засоби для програмування роботів LABVIEW

Універсальним засобом програмування робототехнічних пристроїв є програмна середовище LabVIEW, яка здійснює програмування у графічному вигляді та має вмонтовані засоби для програмування пристроїв на основі Mindstorms NXT.

Детальний виклад питань програмування в програмному середовищі LabVIEW наведено в [17]. Всі дії програмування зводяться до простої побудови структурної схеми в інтерактивній графічній системі з набором усіх необхідних бібліотечних образів, з яких збираються об'єкти, звані Віртуальними Інструментами (VI), завдяки чому LabVIEW став одним з найпопулярніших у світі програмних продуктів для систем збору даних, їх аналізу, обробки і візуалізації.

Кожна програма складається з фронтальної панелі та блок-діаграми (рис. 17.1).

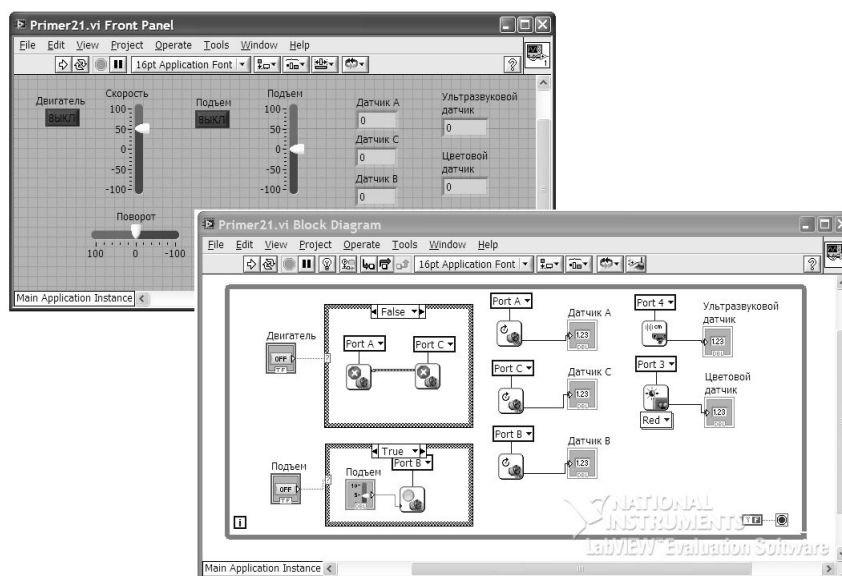


Рис. 17.1. Фронтальна панель (зліва) та блок-діаграма (справа)

Фронтальна панель - це місце, де створюється інтерфейс користувача, на ній можна встановити елементи введення і відображення даних. Фронтальна панель дозволяє забезпечити інтерактивну роботу проектованого пристрою, тобто дає можливість задавати потрібні параметри за допомогою елементів введення даних і управління, а також відображати необхідну інформацію, як в числовому, так і в графічному поданні безпосередньо на екрані комп'ютера. Фронтальна панель створюється за допомогою палітри елементів (Controls) (рис.17.2).

Ці елементи можуть бути засобами введення даних (елементи управління) або засобами відображення даних (елементами відображення).

До елементів управління відносяться кнопки, перемикачі, повзунки та інші елементи введення.

До елементів відображення відносяться індикатори, графіки, цифрові табло, світлодіоди і т.д.

Елементи, що створюються на фронтальній панелі, відразу відображаються на блок-діаграмі і є елементами програми. Вони не можуть бути вилучені на блок-діаграмі.

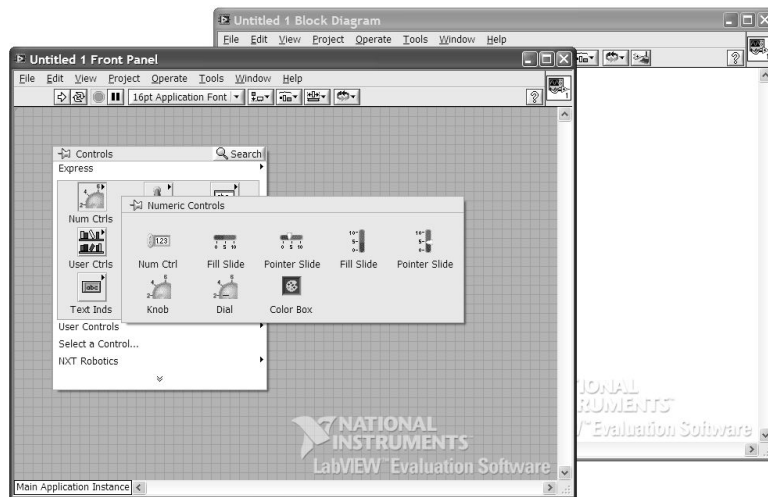


Рис. 17.2. Палітра елементів фронтальної панелі

На рис. 17.3 показаний порядок встановлення властивостей елементів фронтальної панелі. При натисканні правою кнопкою миши відкривається спливаюче меню, де треба вибрати пункт **Properties**. Після цього відкривається вікно для встановлення властивостей вибраного елемента.

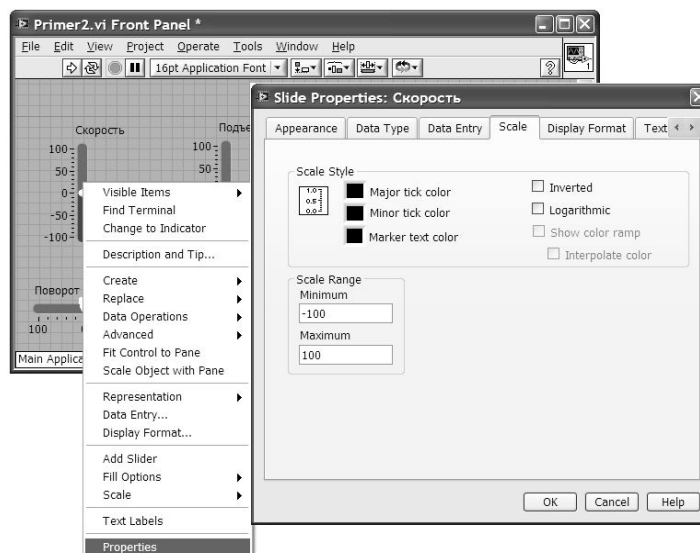


Рис. 17.3. Порядок встановлення властивостей елементів фронтальної панелі

Блок-діаграма - це місце, де створюється програма у вигляді графічного представлення функцій та VI. Блок-діаграма складається з блоків, які реалізують окремі функції, що виконуються програмою. Для вибору блоків використовується палітра функцій (Functions) (рис. 17.4), на якій можна вибрати піктограми різних елементів програми, зокрема, структур програмування, арифметичних і логічних операцій і т.д. Властивості елементів блок-діаграми встановлюються аналогічно властивостям елементів фронтальної панелі.

Програми LabVIEW можуть виконуватися в двох режимах: прямому і віддаленому. У прямому режимі блок NXT підключений до комп'ютера через USB або Bluetooth, і програма виконується на комп'ютері. Таким чином, блок NXT використовується як периферійний пристрій. У віддаленому режимі програма, створена на комп'ютері, після компіляції завантажується в блок NXT та виконується з нього в будь-який час в

автономному режимі. При цьому вже немає необхідності в підключенні блоку NXT до комп'ютера.

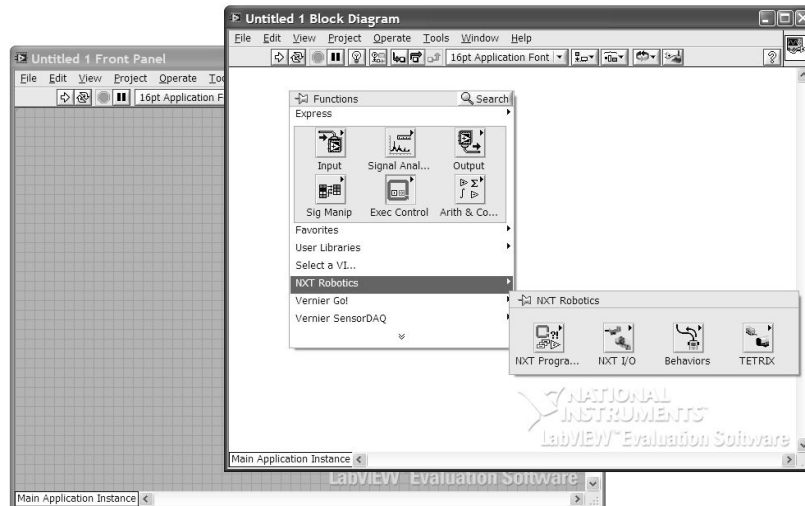


Рис. 17.4. Палітра функцій блок-діаграми

Для прикладу розглянемо, як можна створити програму переміщення по контуру. В LabVIEW кольоровий датчик можна переключити на вимірювання освітленості. У цьому випадку вихідним параметром буде інтенсивність освітлення і для керування можна використати пропорційне регулювання.

Визначимо значення рівнів для білого та чорного кольорів (наприклад, 50 та 30). Значення порогу, що визначає кордон між білим і чорним, прийемо рівним середньому арифметичному від цих значень, тобто 40. Позначимо потужність двигуна А M_A , а потужність двигуна С M_C . Поточне значення світлового датчика позначимо L . Керування будемо здійснювати за формулою:

$$M_A = 30 - 2 \cdot (40 - L);$$

$$M_C = 30 + 2 \cdot (40 - L).$$

Якщо значення інтенсивності освітленості дорівнює 40, то множники в дужках рівні, і двигуни А і С здійснюють рух в одному напрямку з однаковою швидкістю (потужність 30). Якщо інтенсивність освітленості менше 40, то відповідно зменшується швидкість (потужність) двигуна А і збільшується швидкість двигуна С, а якщо інтенсивність освітленості більше 40, то навпаки. Таким чином радіус повороту буде залежати від ступеня відхилення від середнього значення освітленості і переміщення буде більш плавним.

На рис. 17.5 наведена програма, яка здійснює алгоритм керування за вказаною формулою.

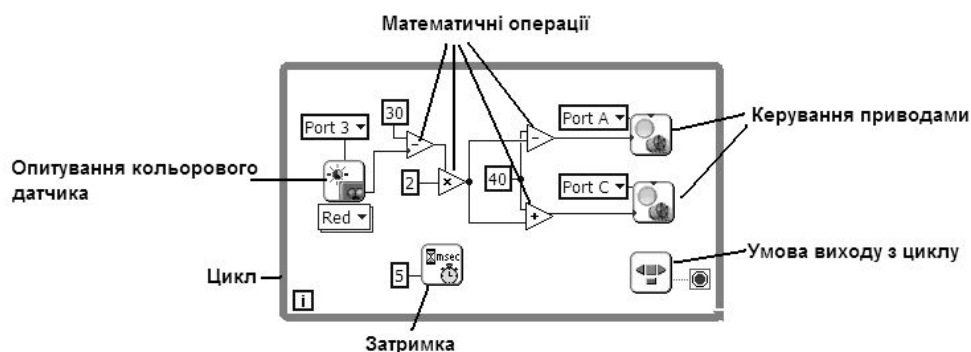


Рис. 17.5. Програма, яка здійснює алгоритм пропорційного керування при переміщенні по контуру

Розглянемо, як можна здійснити керування переміщенням транспортного робота з вилочним навантажувачем, що здійснює автоматичне визначення відстані до вантажу (рис. 17.6).

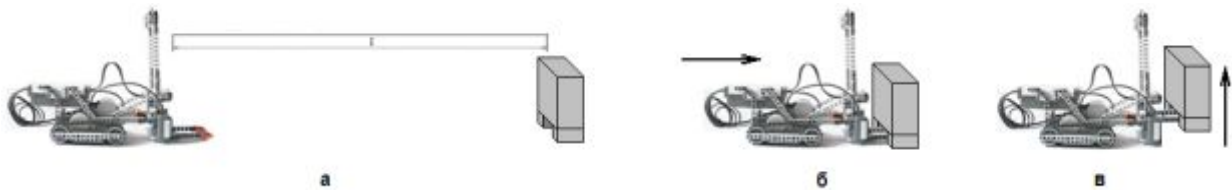


Рис. 17.6. Переміщення транспортного робота з автоматичним визначенням відстані до вантажу

На рис. 17.7 наведена програма, де транспортний робот визначає відстань до вантажу, переміщується до нього та здійснює підйом вантажу.

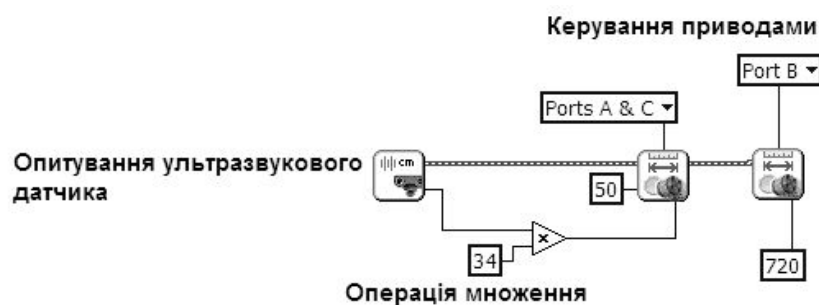


Рис. 17.7. Програма переміщення транспортного робота з визначенням відстані до вантажу

Наявність різноманітних елементів дає можливість створювати досить складні програми керування з різними способами програмного керування, а елементи для роботи з датчиками зовнішньої інформації дозволяють реалізувати адаптивне керування.

Програмна середа LabVIEW використовувалась для створення програмного забезпечення марсохода Sojourner (рис. 17.8).

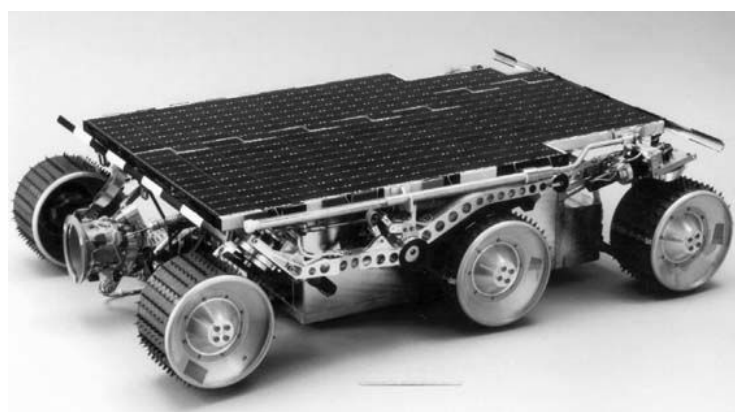


Рис. 17.8. Марсоход Sojourner

17.2. Програмні засоби MICROSOFT ROBOTICS DEVELOPER STUDIO

Корпорація Microsoft випустила фінальну версію програмного забезпечення, призначеного для створення програмної начинки роботів і різних роботизованих механізмів - Microsoft Robotics Developer Studio 2008.

Цей програмний продукт поширюється софт в трьох варіантах: Standart Edition для професійних розробників, Academic Edition для навчальних закладів та Express Edition для

індивідуальних розробників. Версію Express Edition можна безкоштовно завантажити з сайту Microsoft.

Microsoft Robotics Studio - це система, спеціально створена для розробки програмного забезпечення для роботів, причому, в основному, для «конструкторів» роботів (заготовок з модулів, які можна перепрограмувати в залежності від завдання, яке треба вирішити) - таких як iRobot Create, LEGO Mindstorm, і т.д.

Microsoft RDS 2008 включає в себе спеціальну програмну модель для створення програм керування, а також набір візуальних та симуляційних інструментів, які можуть знадобитись при складанні програмного забезпечення для роботів.

Компоненти Robotics Studio інтегруються в середу розробки Visual Studio, який має два основних модуля. Це модулі - Visual Programming Language (VPL, візуальна мова програмування) та Visual Simulation Environment (VSE, симуляційна середа).

Мова VPL забезпечує можливість програмування роботів візуальними методами. Діаграми VPL кодуються за допомогою XML-схем і дають можливість створення повністю візуальної мови програмування (рис. 17.9).

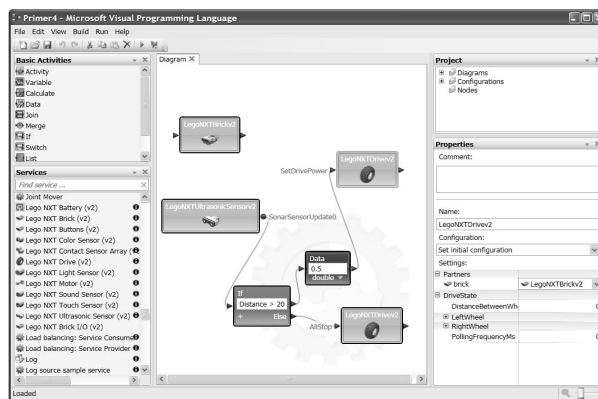


Рис. 17.9. Приклад програми, створеної за допомогою візуальної мови програмування VPL

Ця програма задає як блок підключення контролер NXT, опитує ультразвуковий датчик, і, якщо відстань до об'єкта перевищує 20 см, включає двигуни переміщення на 0,5 від максимальної потужності. У протилежному випадку (відстань до об'єкта менш ніж 20 см) двигуни зупиняються.

Другий важливий модуль Robotics Studio це симуляційне середовище VSE, яке представляє собою графічну 3D-модель, що відображає дії роботів, а також об'єкти, які оточують ці роботи (рис. 17.10).

VSE включає можливість запису та повторного відтворення симуляції.

Крім того, проєктанти можуть виконувати симуляції у різних віртуальних умовах - в умовах закритого приміщення або відкритого простору.

VSE має також можливість експорту з різних CAD-програм, наприклад, SolidWorks 3D.

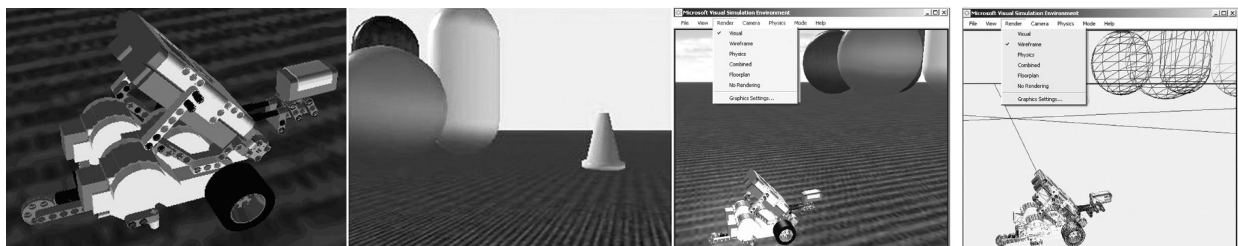


Рис. 17.10. Створення моделі робота та зовнішньої середи

Robotics Studio також дає можливість створювати досить складні програми керування з різними способами програмного керування, а наявність блоків для роботи з датчиками зовнішньої інформації, наприклад, блока для роботи з VEB-камерою, дозволяють реалізувати адаптивне керування на основі обробки зображення.

Прикладом використання середі MICROSOFT ROBOTICS DEVELOPER STUDIO є робот-пилосос Roomba, розроблений компанією iRobot, що являє собою роботизований пристрій для прибирання квартири (рис. 17.11).



Рис. 17.11. Робот-пилосос Roomba

MICROSOFT ROBOTICS DEVELOPER STUDIO підтримує також таких виробників роботів, як CoroWare CoroBot, iRobot Create, KUKA Robotics, Robosoft's robots, Aldebaran Robotics Nao та інших (рис. 17.12).



Рис. 17.12. Роботи фірм CoroWare CoroBot та iRobot Create

Контрольні запитання

1. З яких частин складається програма в LabVIEW?
2. Які елементи використовуються у фронтальній панелі?
3. Які елементи використовуються у блок-діаграмі?
4. Де встановлюються елементи керування та відображення?
5. В яких режимах можуть виконуватися програми LabVIEW?
6. Які інтерфейси використовуються для підключення Mindstorms NXT?
7. З яких основних компонентів складається програмне забезпечення Microsoft Robotics Developer Studio?
8. Як створюється програма за допомогою модуля VPL?
9. Як завантажити програму з модуля VPL в робот на основі Mindstorms NXT?
10. Що дозволяє зробити симуляційне середовище VSE?

Глава 18. Робототехнічні комплекси на основі програмованих логічних контролерів

18.1. Програмовані логічні контролери, структура та склад

Складні робототехнічні комплекси потребують розвинутих систем керування, які здатні вирішувати як завдання керування маніпуляторами, так і інші задачі, наприклад, керування транспортними пристроями, різним технологічним обладнанням і т.д. При цьому рівень складності вирішуваних завдань може змінюватися в дуже великому діапазоні - від найпростіших систем циклового керування до складних систем керування гнучкими виробничими дільницями і цехами. Одним з основних вимог до систем програмного керування в цьому випадку є можливість адаптації під конкретні задачі і спроможність об'єднання локальних систем керування в єдину автоматизовану систему керування виробництвом. Прикладом такого комплексу є, наприклад, автоматизована транспортно-складська система (рис. 18.1), яка має у своєму складі декілька автоматизованих кранів-штабелерів, конвеєрів, поворотних столів та інше обладнання, для яких треба здійснювати загальне узгоджене керування.

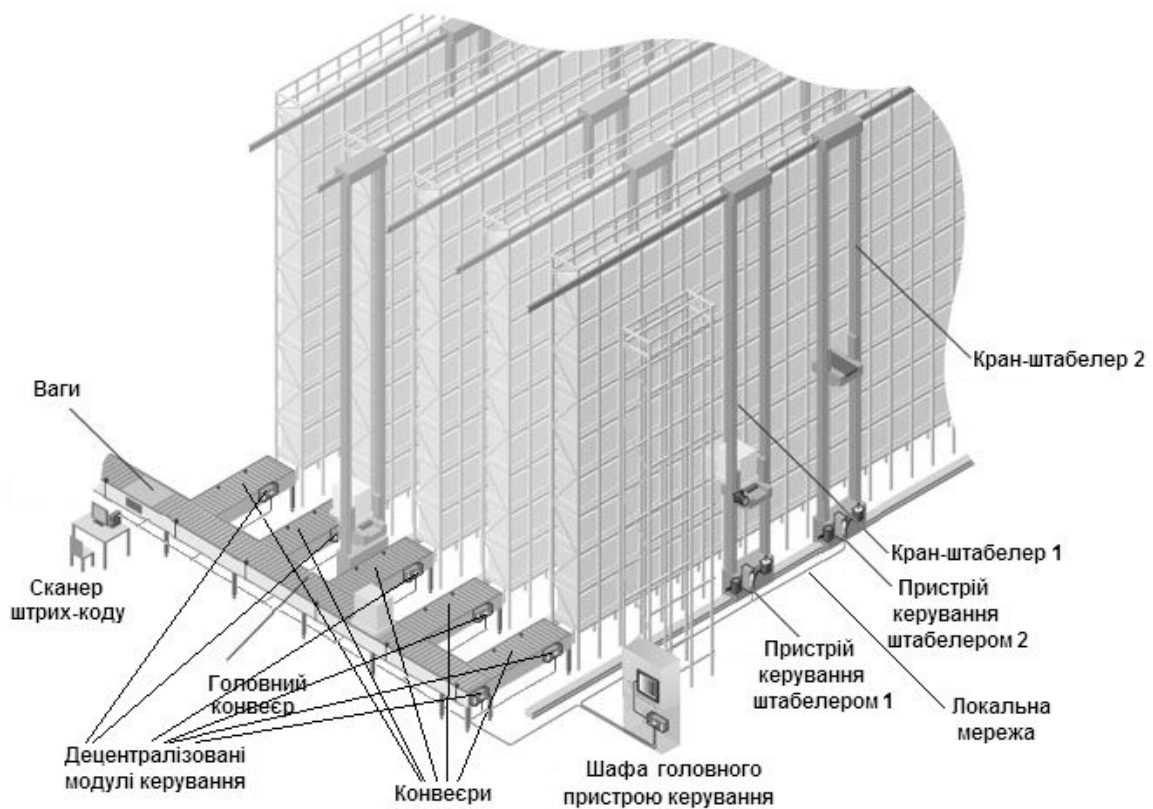


Рис. 18.1. Автоматизована транспортно-складська система

Сучасні системи програмного керування частіше усього будуються на основі програмованих контролерів широкого призначення [18]. Такі системи керування включають, як правило, системи автоматизації для вирішення питань керування різного рівня та побудовані по модульному принципу. До складу таких систем входять програмовані логічні контролери різних рівнів складності, пристрої керування та відображення, промислові обчислювальні мережі, за допомогою яких усі компоненти об'єднуються у єдину систему, периферійні пристрої, які працюють під керуванням контролерів і дають можливість створювати розподілені системи керування (рис. 18.2). Крім цього потребуються засоби проектування, в якості яких використовуються персональні комп'ютери, та відповідне програмне забезпечення.

Програмовані контролери поділяються на системи керування низького, середнього та високого рівня. Системи керування низького рівня вирішують прості задачі керування.

Кількість вхідних та вихідних сигналів у таких систем не перевищує двох – трьох сотень. Системи керування середнього рівня вирішують більш складні задачі керування. Кількість вхідних та вихідних сигналів у таких систем не перевищує одну – дві тисячі. Системи керування високого рівня вирішують найбільш складні задачі керування. Кількість вхідних та вихідних сигналів у таких систем може досягати десятки тисяч.

Системи керування низького рівня будуються як компактні контролери та мають вигляд окремого пристрою, який включає процесор та умонтовані входи та виходи. Вони здатні самостійно вирішувати прості задачі керування. До таких систем керування можна віднести, наприклад, контролери фірми Сименс LOGO! та SIMATIC S7-1200.

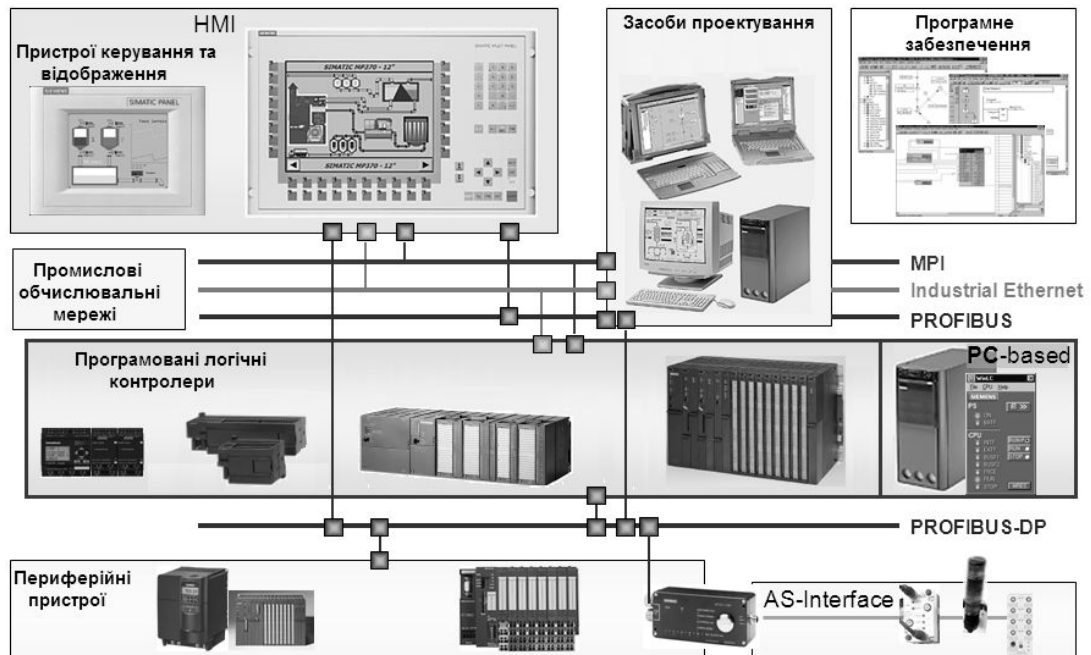


Рис. 18.2. Склад промислових систем автоматизації

Програмовані контролери поділяються на системи керування низького, середнього та високого рівня. Системи керування низького рівня вирішують прості задачі керування. Кількість вхідних та вихідних сигналів у таких систем не перевищує двох – трьох сотень. Системи керування середнього рівня вирішують більш складні задачі керування. Кількість вхідних та вихідних сигналів у таких систем не перевищує одну – дві тисячі. Системи керування високого рівня вирішують найбільш складні задачі керування. Кількість вхідних та вихідних сигналів у таких систем може досягати десятки тисяч.

Системи керування низького рівня будуються як компактні контролери та мають вигляд окремого пристрою, який включає процесор та умонтовані входи та виходи. Вони здатні самостійно вирішувати прості задачі керування. До таких систем керування можна віднести, наприклад, контролери фірми Сименс LOGO! та SIMATIC S7-1200.

Контролери LOGO! представляють собою самий простий керування, який ще називають інтелектуальною клемою. LOGO! - це універсальний логічний модуль, який має компактну або модульну структуру (рис. 18.3). Компактна структура має вмонтовані цифрові входи та виходи. Вони можуть мати 6 входів та 4 виходи. Модульна структура має дає можливість за потребою підключати додаткові модулі, які збільшують кількість входів та виходів. Крім того є модулі аналогових входів (2 входу 0 -10 В, або 0 -20 мА) та комунікаційні модулі, за допомогою яких можна підключитися до локальних мереж.



Рис. 18.3. Контролер LOGO! з додатковими модулями та сумісною операторською панеллю

Важливою відзнакою логічного модуля LOGO! є можливість програмування за допомогою вмонтованого дисплея (панелі індикації) та кнопок без додаткових програмуючих пристроїв.

Більш комфортне програмування здійснює програмний продукт LOGO!Soft Comfort, за допомогою якого можна скласти програму у графічному редакторі (контактна та функціональна форма представлення програми), перевірити її на програмному симуляторі (програмній моделі), а потім завантажити в контролер для виконання.

Контролери LOGO! використовують для зовсім простих завдань, наприклад, керування конвеєрами, простими цикловими роботами, підйомниками тощо.

Для більш складних задач на нижньому рівні використовуються компактні програмовані логічні контролери (ПЛК), наприклад, SIMATIC S7-1200 (рис. 18.4, а) та сумісні з ними операторські панелі (рис. 18.4, б).



Рис. 18.4. ПЛК SIMATIC S7-1200

Процесорні модулі ПЛК SIMATIC S7-1200 мають вмонтовані входи та виходи, кількість яких залежить від типу процесорного модуля, і таким чином являють собою компактні ПЛК. У разі потреби до процесорних модулів підключаються допоміжні модулі, а саме, модулі дискретних та аналогових входів та виходів, функціональні модулі та комунікаційні модулі. До складу функціональних модулів входять модулі позиціонування та модулі зважування.

Перевагою таких ПЛК є наявність вмонтованих функцій керування рухом та регулювання (більш повно програмне забезпечення ПЛК буде розглянуто далі).

Системи автоматизації середнього та високого рівня будуються по модульному принципу, наприклад, програмований логічний контролер S7-300 (рис. 18.5), у склад якого входять компактні процесорні модулі з умонтованими входами та виходами, а також стандартні процесорні модулі з додатковими модулями.

Ця система складається з центрального (процесорного) модуля, блока живлення, і різноманітних модулів вхідних та вихідних сигналів (сигнальні модулі). Зв'язок

центрального і периферійних модулів здійснюється за допомогою системної шини (системний з'єднувач), що забезпечує передачу адрес, даних і керуючих сигналів.



Рис. 18.5. ПЛК SIMATIC S7-300 - компактні процесорні модулі (а), стандартні процесорні модулі з додатковими модулями (б)

У разі потреби може використовуватися побудова системи автоматизації з декількома рядами (носіями модулів). При цьому використовуються спеціальні інтерфейсні модулі підключення ІМ (рис. 18.6).

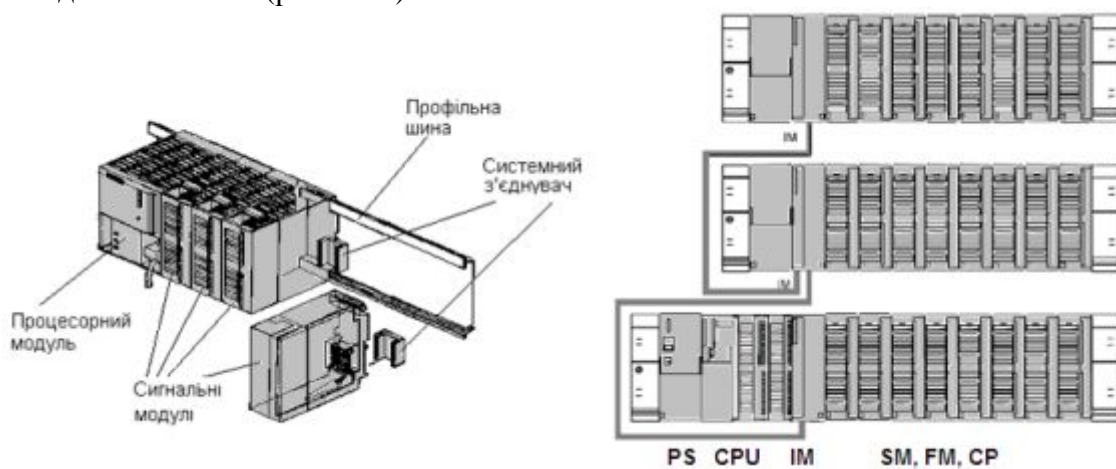


Рис.18.6 Програмований логічний контролер S7-300, побудований за модульним принципом

Апаратні і програмні компоненти системи керування для задач середнього і високого рівня складності крім простих сигнальних модулів мають інтелектуальні функціональні модулі, здатні самостійно вирішувати задачі регулювання, позиціонування, дозування і т.д. (рис. 18.7).



Рис. 18.7. Модулі програманих логічних контролерів

Існують такі типи модулів:

- блоки живлення (PS), які здійснюють функції живлення усієї системи перетворюючи напругу з мережі у потрібні постійні напруги;
- процесорні модулі (CPU);
- сигнальні модулі (SM), що забезпечують підключення цифрових і аналогових вхідних та вихідних сигналів;
- функціональні (інтелектуальні) модулі (FM), що виконують визначені функції незалежно від процесорного модуля, наприклад модулі позиціонування і регулювання;
- комунікаційні процесори (CP), що здійснюють зв'язок системи керування з іншими пристроями, у тому числі з операторськими станціями і промисловими мережами;
- інтерфейсні модулі (IM), що забезпечують зв'язок між окремими рядами у випадку багаторядної побудови системи автоматизації;
- модулі імітації та діагностики.

Кожен модуль має декілька варіантів, що дозволяє вибрати оптимальну за можливостями та вартістю конфігурацію системи керування.

Блоки живлення відрізняються за максимальним струмом споживання.

Процесорні модулі представляють собою завершений обчислювальний пристрій з процесором, пам'яттю, та пристроями введення-виведення. Сімейство пристроїв керування як правило має набір процесорних модулів з різними можливостями програмного забезпечення, швидкодії, розміру пам'яті та можливостями підключення до мереж зв'язку. Це дозволяє вибрати оптимальне рішення для реалізації заданого алгоритму керування.

Структура процесорних модулів відрізняється від структури персональних комп'ютерів. Вони потребують значно менші обсяги пам'яті, тому програма зберігається не у зовнішніх носіях, а у постійній пам'яті (як правило це пам'ять з електричним перезаписом – FLASH пам'ять). Та частина програми, яка виконується та дані зберігаються у оперативній пам'яті. Ця пам'ять теж значно менша, ніж у персональних комп'ютерів. Пристрої введення-виведення призначені для підключення додаткових модулів за допомогою системної магістралі, та зовнішніх пристроїв за допомогою локальних мереж, наприклад, програмуючого пристрою, або іншого контролера.

Компактні процесорні модулі мають вмонтовані входи та виходи для підключення дискретних та аналогових сигналів, а також можуть виконувати додаткові технологічні функції, наприклад, обслуговування сигналів переривання, функції швидкодіючих лічильників, вимірювання частоти, функції позиціонування та регулювання тощо.

Сигнальні модулі поділяються на дискретні та аналогові модулі вхідних та вихідних сигналів. Дискретні модулі вхідних сигналів використовують сигнали постійного струму 24 В та змінного струму 120/220 В. Дискретні модулі вихідних сигналів дозволяють використовувати такі ж самі сигнали, але з різним струмом навантаження (0,5, 1, 2, 4 А). Крім того вони відрізняються кількістю входів (8, 16, 32, 64) та виходів (4, 8, 16, 32). Аналогові модулю мають різні вхідні та вихідні сигнали: напругу, струм, опір. Модулі дискретних та аналогових входів та виходів можуть забезпечити гальванічну розв'язку по входах та виходах.

Функціональні модулі відрізняються як функціями (лік, позиціонування і регулювання) так і кількістю каналів. Лічильні модулі призначені для підрахунку імпульсів фотоімпульсних датчиків і вимірюють позицію або швидкість переміщення і можуть використовуватись для простих систем позиціонування роботів. Модулі позиціонування призначені для створення систем позиціонування з різними виконавчими пристроями та датчиками зворотного зв'язку для позиціонування з однією або багатьма (до 4) осями. Такі модулі можуть виконувати функції позиційного та контурного керування роботом з використанням різних методів лінійної та колової інтерполяції.

Модулі регулювання призначені для одно або багатоканального регулювання. Для цього використовуються ПД та ФАЗІ-регулятори.

Комунікаційні процесори здійснюють зв'язок системи керування з іншими пристроями по різних каналах зв'язку, наприклад, точка до точки, PROFIBUS та Industrial Ethernet.

Для тих випадків, коли технологічне обладнання розташоване на великій площі, використовується так звана децентралізована периферія (рис.18.8), яка складається з віддалених носіїв модулів та інтерфейсних модулів для зв'язку з процесорним модулем за допомогою локальних обчислювальних мереж (віддалення до 1 км) або бездротового зв'язку.

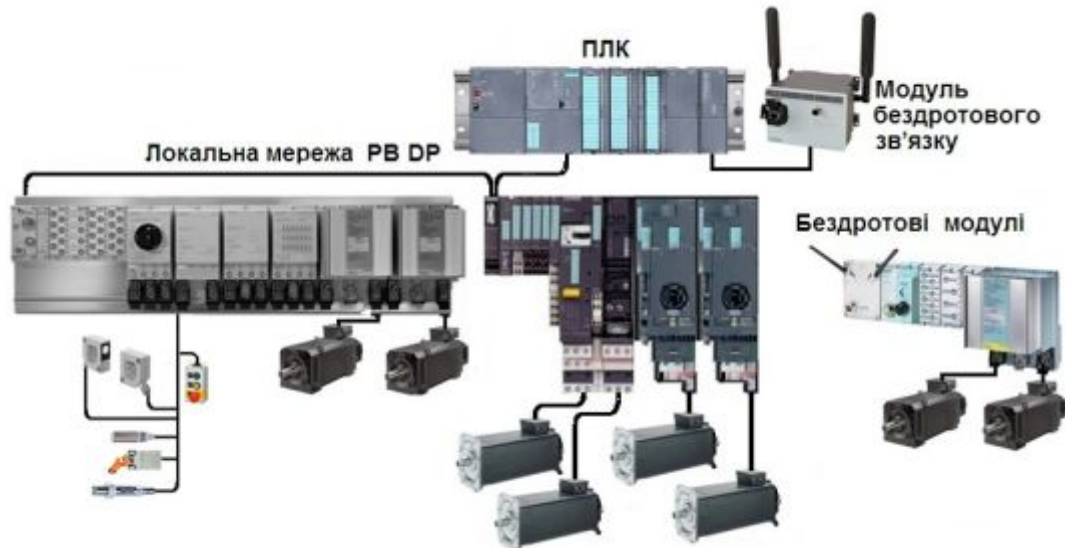


Рис. 18.8. Децентралізована периферія

Так, наприклад, станція розподіленого вводу-виводу SIMATIC ET 200S (рис. 18.9) має ступінь захисту IP 20 і може включати в свій склад:

- інтерфейсний модуль (звичайний або інтелектуальний);
- модулі вводу-виводу;
- технологічні модулі;
- силові модулі
- частотні перетворювачі.
-

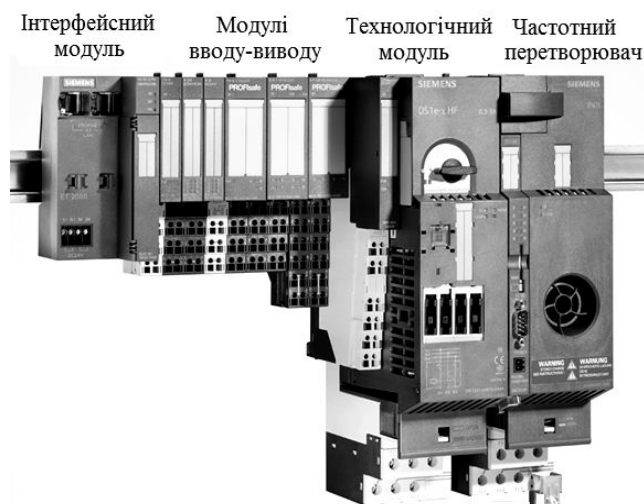


Рис. 18.9. Станція розподіленого вводу-виводу SIMATIC ET 200S

18.2. Приклади використання програмованих логічних контролерів в робототехнічних системах

На рис. 18.10 наведений приклад використання модуля позиційного керування з чотирма каналами для керування порталним роботом у складі системи керування технологічним обладнанням.

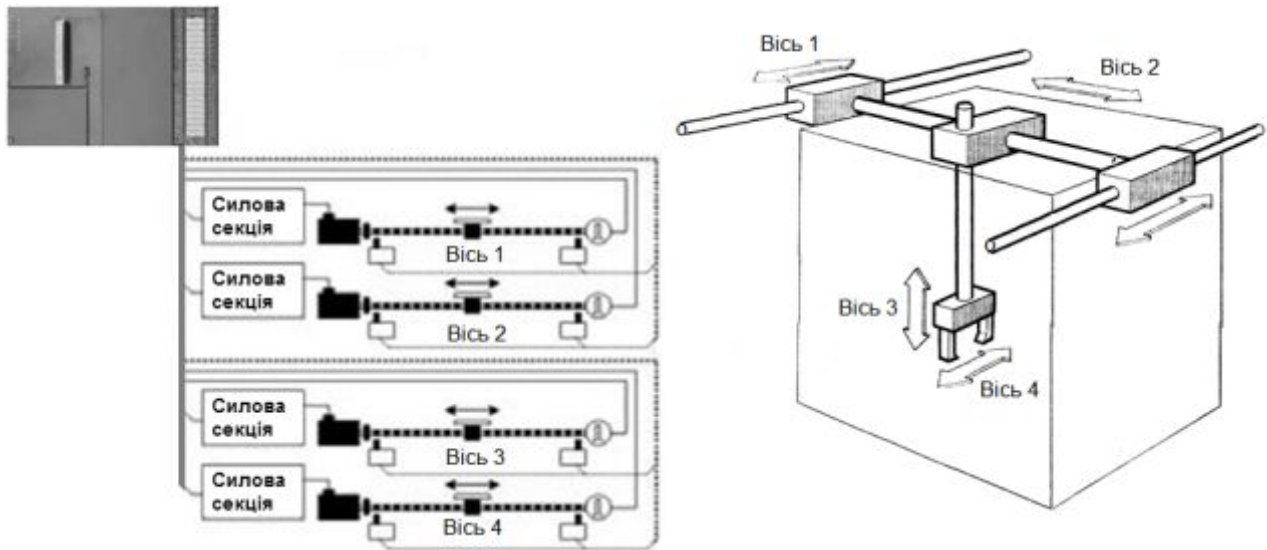


Рис. 18.10. Модуль позиційного керування

Далі наведений приклад використання децентралізованої периферії в автоматизованій складській системі, яка включає мостовий штабелер та два конвеєри (рис.18.11).

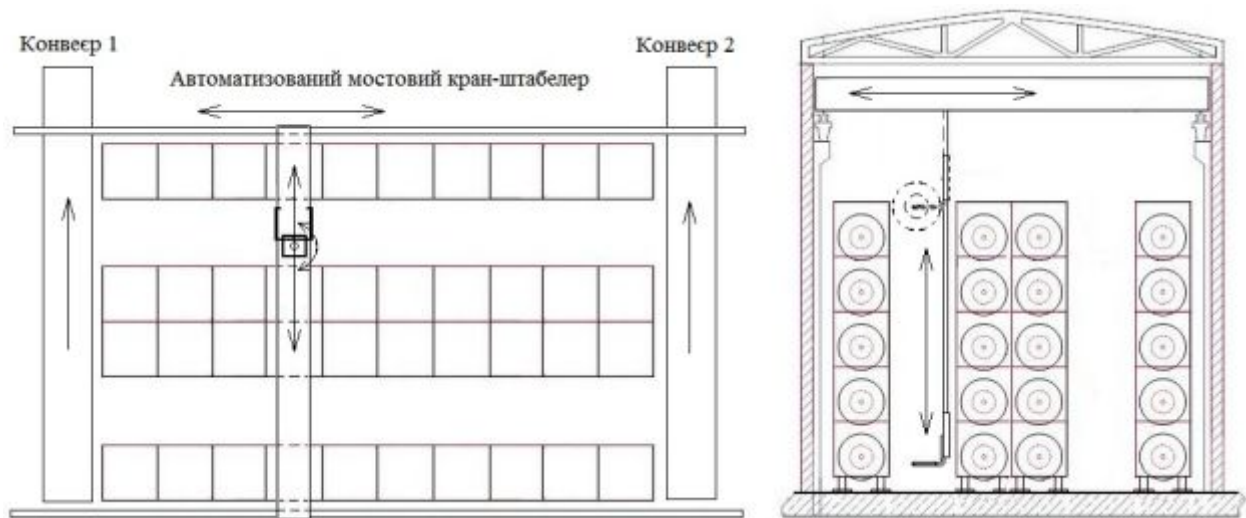


Рис. 18.11. Автоматизована складська система

На рис. 18.12 наведена структура такої системи керування. Електроприводи здійснюють переміщення моста, переміщення по вертикалі, горизонталі та поворот колони, а також рух конвеєрів.

Загальне керування виконує контролер. За допомогою сенсорної операторської панелі оператор задає позицію переміщення та спостерігає за роботою системи.

Оскільки усі приводи переміщень знаходяться далеко один від одного, то для керування використовуються модулі децентралізованої периферії (ДП1 - ДП6).

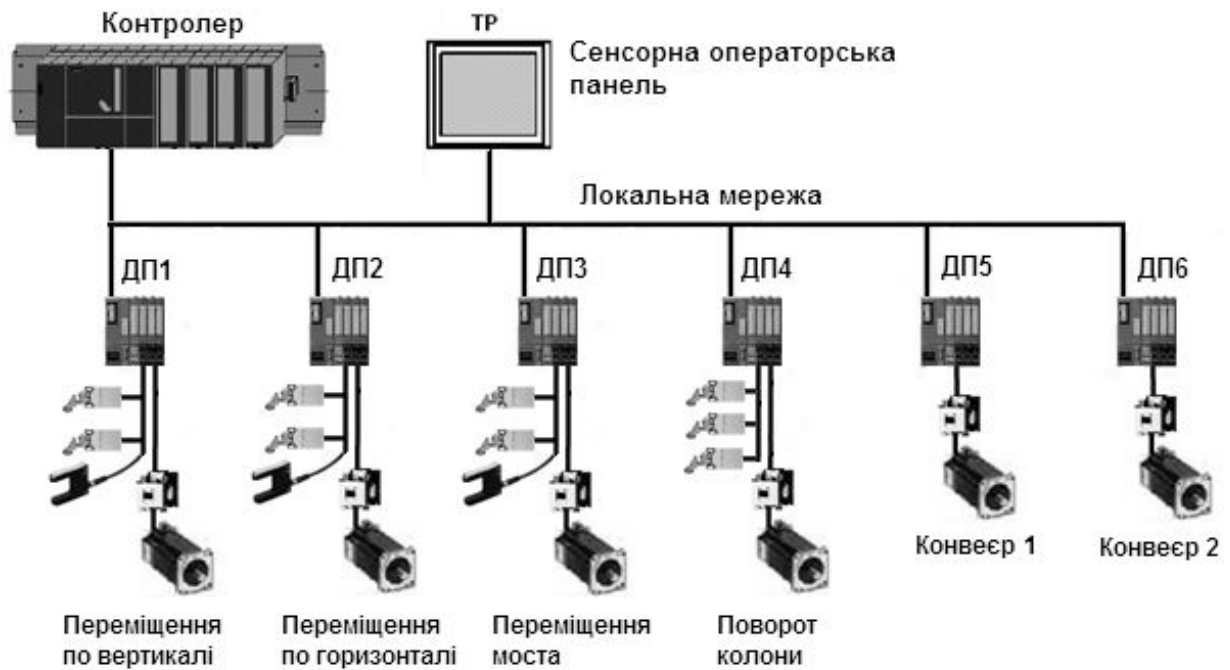


Рис. 18.12. Приклад використання децентралізованої периферії

У випадках неможливості використовувати локальні мережі з дротяним зв'язком є можливість застосувати бездротову розподілену систему з передачею сигналів, наприклад, від децентралізованої периферії до процесора по радіоканалу використовуючи системи бездротового зв'язку.

На рис. 18.13 наведений приклад використання бездротового зв'язку для керування візками автоматизованої транспортно-складської системи.

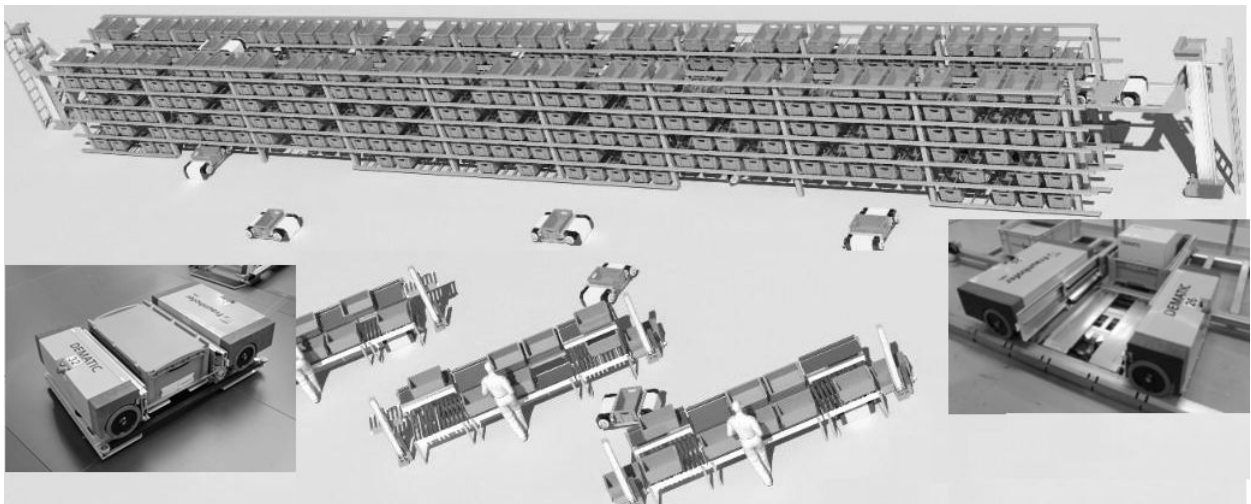


Рис. 15.13. Використання бездротового зв'язку для керування візками автоматизованої транспортно-складської системи

Наявність широкого спектра систем візуалізації й обслуговування, зокрема операторських панелей, забезпечує ефективну взаємодію систем керування та оператора, а відкриті засоби комунікації дозволяють об'єднати локальні системи керування окремими технологічними процесами в єдину гнучку комплексну систему керування виробництвом.

Контрольні запитання

1. Чим відрізняються пристрої керування на основі промислових контролерів?
2. Які будуються системи автоматизації низького рівня керування?
3. Які будуються системи автоматизації середнього та високого рівня керування?
4. Які типи модулів використовують модульні системи керування?
5. Які функції виконують сигнальні модулі?
6. Які функції виконують функціональні модулі?
7. Які модулі можуть вирішувати функції позиційного та контурного керування?
8. Які функції виконують комунікаційні процесори?
9. Які функції виконує децентралізована периферія?
10. Які робототехнічні пристрої використовують системи бездротового зв'язку?

Глава 19. Програмування робототехнічних комплексів на основі програмованих логічних контролерів

19.1. Програмне забезпечення програмованих логічних контролерів

У процесі проектування та використання засобів автоматизації можна відокремити два етапи. На першому етапі програмісти створюють програму, яка реалізує алгоритм керування. Засоби проектування повинні працювати в інтерактивному (діалоговому) режимі та мати досить складне програмне забезпечення, а для перевірки програми на цьому етапі широко використовуються методи програмного моделювання. Це пред'являє досить високі вимоги до засобів проектування, які як правило виконуються на основі персональних комп'ютерів. Після створення програми вона завантажується у пристрій автоматизації, після чого настає другий етап. На цьому етапі пристрій автоматизації працює в автоматичному режимі, а дії оператора обмежуються функціями керування, введення окремих параметрів та спостереженням за ходом виконання технологічного процесу. Використання засобів проектування на цьому етапі потребується лише в окремих випадках, а саме для пошуку несправностей та помилок, або для зміни програми. Пристрій автоматизації не потребує вимог, які необхідні на етапі керування. Це зв'язано з тим, що програми програмованих контролерів обробляють логічну та числову інформацію, та не мають потреби обробляти зображення, що потребує великі обсяги пам'яті та високу швидкість процесора. Саме тому програмні та апаратні компоненти промислових систем керування поділяються на засоби проектування та засоби виконання. Засоби виконання, які були розглянуті у попередньому розділі, являють собою програмовані логічні контролери (ПЛК) [14, 16].

Засоби проектування (програмуючі пристрої) будуються як правило на основі персональних комп'ютерів. Вони можуть бути спеціалізованими (рис. 19.1, а) та у вигляді персональних комп'ютерів з додатковим обладнанням (рис. 19.1, б), як переносними, так і в настільному виконанні. Програмуючі пристрої здатні вирішувати задачі від упорядкування і налагодження програми з використанням мови програмування до проектування всієї системи керування.

Програмне забезпечення для проектування промислових систем керування об'єднує засоби проектування апаратних компонент системи автоматизації шляхом визначення її конфігурації та установки параметрів окремих модулів системи, програмування та налагодження самої програми, а також засоби пошуку несправностей та помилок у процесі експлуатації.



Рис. 19.1. Програмуючі пристрої спеціалізовані (а) та на основі персональних комп'ютерів з додатковим обладнанням (б)

Таким чином сучасне програмне забезпечення програмованих логічних контролерів крім задач програмування вирішує також усі задачі проектування систем автоматизації та її обслуговування..

Програмне забезпечення систем автоматизації розробляють на основі вимог стандарту ІЕС 1131-3. Урахування цих вимог спрощує вивчення мов програмування. Графічна об'єктно-орієнтована структура мов програмування істотно скорочує час проектування. Промислове програмне забезпечення уніфіковане та має спільне використання даних. Доступ до цих даних здійснюється з усіх інструментальних засобів та інших програм. Це скорочує час розробки та знижує можливість виникнення помилок при запровадженні даних.

Уніфікована система інструментальних засобів означає, що для кожної фази виконання проекту можуть бути використані комфортні функції, які дозволяють вибрати конфігурацію апаратури, задавати параметри її настроювання, розробляти програмне забезпечення і документацію, виконувати наладку, запуск і обслуговування системи керування. Системна платформа промислового програмного забезпечення відкрита для комп'ютерів, використання котрих істотно підвищує продуктивність системи.

Усі інструментальні засоби працюють під керуванням операційної системи Windows. Оскільки усі дані проекту завантажуються в центральну базу даних, то забезпечується доступ до усього необхідним даним із будь-яких інструментальних засобів. Проблемно-орієнтовані інструментальні засоби дають можливість бути легко настроєні на використання в різноманітних галузях. Частина програми можуть використовуватися багаторазово, а готові до використання частини програми можуть бути збережені в бібліотеках і використовуватися в наступних проектах. Проект може бути розбитий на складові частини, розробка яких може виконуватися паралельно. Умонтовані діагностичні функції дозволяють скоротити час простою системи і втрати, пов'язані з простоєм.

Промислове програмне забезпечення має модульну структуру. Інструментальні засоби можуть використовуватися незалежно друг від друга. Необхідність їхнього застосування визначається тільки характером задач автоматизації. Програми підрозділяються на системні і прикладні. Системні програми являють собою сукупність усіх команд і умов для реалізації внутрішніх робочих функцій пристрою керування. Прикладні програми являють собою сукупність команд і умов для опрацювання сигналів і надання впливу на керований процес відповідно до задачі керування. Процесор контролера виконує команди послідовно друг за другом.

Програмні компоненти включають засоби складання, налагодження і тестування програм за допомогою програмуючого пристрою.

Контролери різного рівня мають різне програмне забезпечення для проектування, складність якого визначається рівнем задач, що вирішує контролер, при цьому контролери найнижчого рівня з обмеженими можливостями часто мають умонтовані засоби програмування. На рис. 19.2 показано, як у логічного модуля LOGO! здійснюється спрощене програмування за допомогою вмонтованого дисплея (панелі індикації) та кнопок без додаткових програмуючих пристроїв.



Рис. 19.2. Програмування логічного модуля LOGO! за допомогою вмонтованого дисплея

Для більш комфортного програмування використовується програмний продукт LOGO!Soft Comfort (рис. 19.3), за допомогою якого можна скласти програму у графічному редакторі (контактна та функціональна форма представлення програми), перевірити її на програмному симуляторі (програмній моделі), а потім завантажити в контролер для виконання. Набір функцій цього контролера обмежується логічними функціями, а також різними функціями часу та ліку.

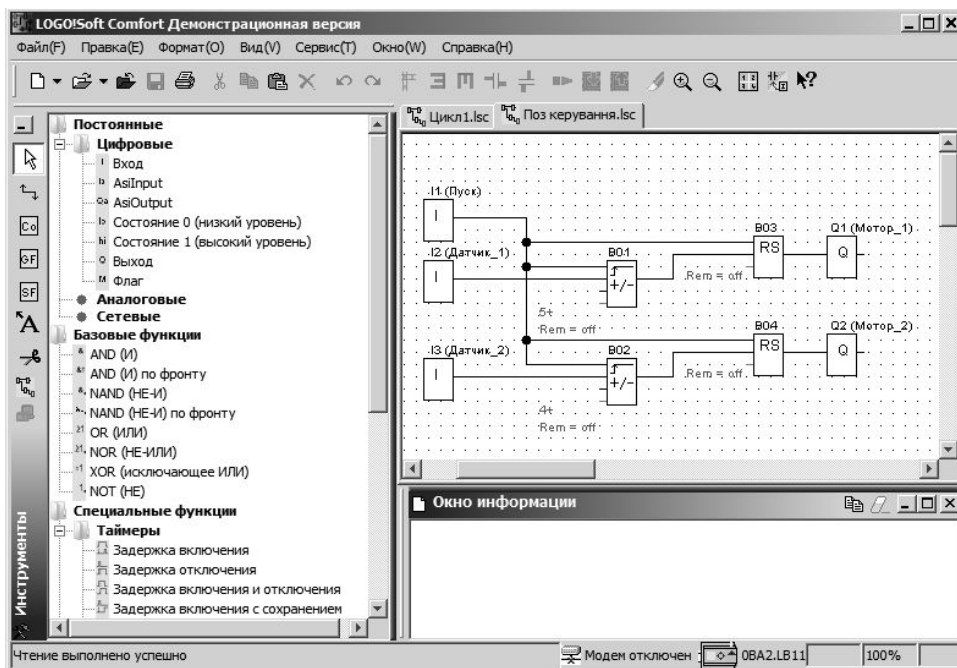


Рис. 19.3. Програмний продукт LOGO!Soft Comfort для програмування LOGO!

У главах 7 та 8 на рис. 7.5 та рис. 8.6 наведені приклад програм для контролерів LOGO!, які циклічно виконують послідовне та позиційне переміщення.

Для програмування контролерів SIMATIC S7-1200 використовуються програмне забезпечення STEP 7 Basic (рис. 19.4).

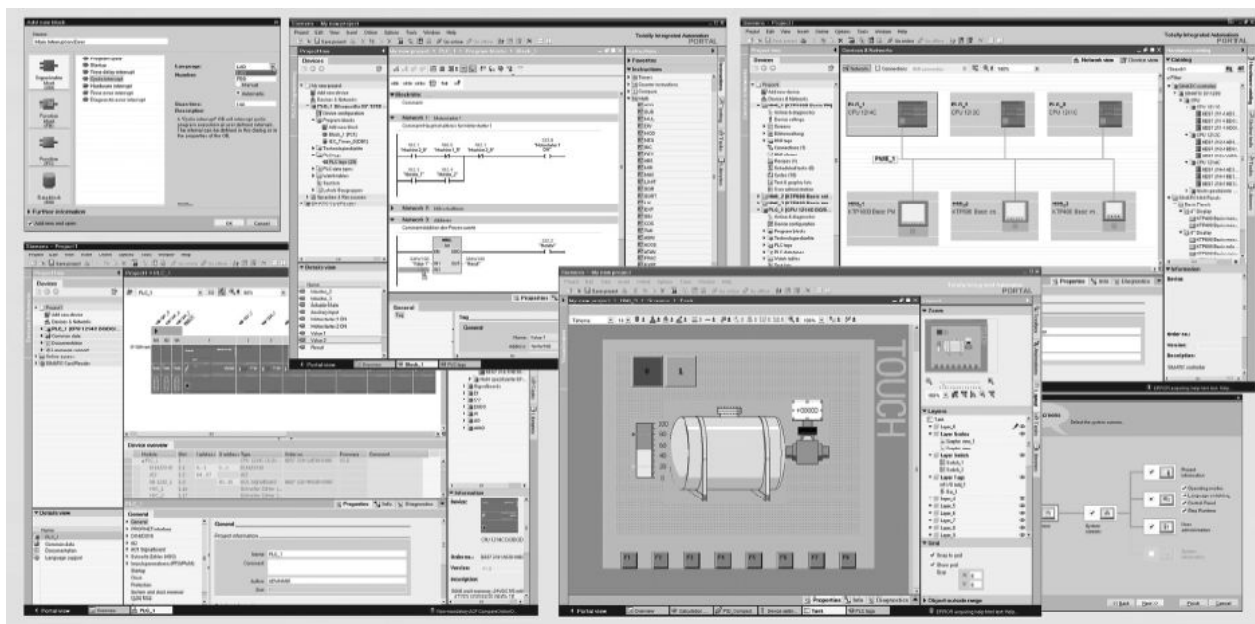


Рис 19.4. STEP 7 Basic для SIMATIC S7-1200

Це програмне забезпечення включає різні пакети програмування ПЛК S7-1200, а також пакети, що дозволяють виконувати проектування базових панелей операторів SIMATIC, які призначені для S7-1200.

Це програмне забезпечення здійснює підтримку усіх стадій розробки проекту автоматизації, а саме:

- визначення конфігурації та налагодження параметрів апаратури;
- визначення конфігурації систем промислового зв'язку;
- програмування на мовах LAD (Ladder Diagram) та FBD (Function Block Diagram);
- визначення конфігурації базових панелей операторів SIMATIC;
- тестування, виконання пусконаладжувальних робіт і обслуговування.

Програмне забезпечення для проектування контролерів середнього та високого рівня включають засоби для проектування апаратних та програмних компонент, а також для налагодження системи та пошуку помилок та несправностей.

Для прикладу розглянемо програмний пакет STEP7, призначений для проектування, програмування та обслуговування контролерів середнього та високого рівня фірми Сименс SIMATIC S7-300 та SIMATIC S7-400. Цей пакет має модульну структуру та складається з базового пакету, який виконує основні дії, та додаткових пакетів, які інтегруються в базовий пакет при необхідності, наприклад, пакети для проектування операторських панелей, або виконавчих пристроїв. Для наглядного відображення структури проекту та простого переходу від однієї програми до другої використовується SIMATIC Manager (рис.19.5). Проект складається з однієї або декількох станцій (ПЛК) (у кожній станції є папка з програмними блоками), а також додаткових компонент, у даному випадку це частотний перетворювач та операторська панель, за допомогою який можна перейти до відповідних програм.

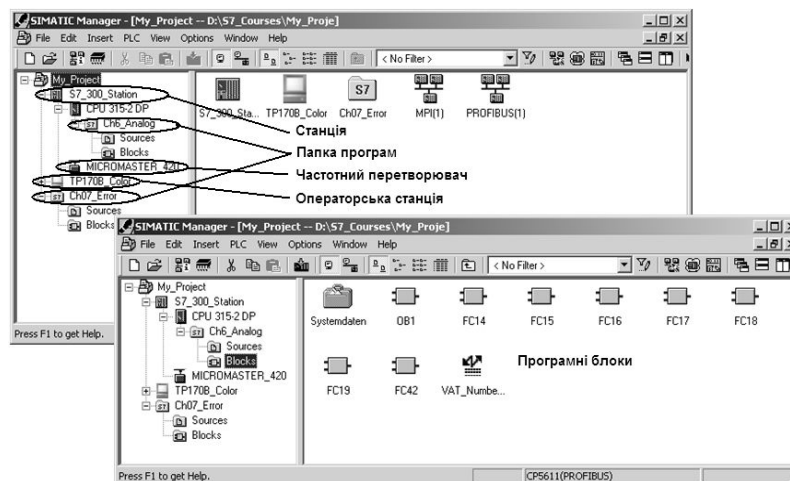


Рис.19.5. SIMATIC Manager

Для проектування апаратних компонент треба перейти до інструменту конфігурації (відкрити об'єкт "Станція"), після чого відкривається вікно конфігурації (рис. 19.6, а). Проектування здійснюється шляхом вибору відповідних модулів з каталогу. На початку треба вибрати носії модулів (RACK), а потім самі модулі. Для кожного модуля можна відкрити вікно його налагодження.

На рис. 19.6, б показано вікно налагодження аналогового модулю, де можна вибрати тип вхідного сигналу (напруга, струм, опір, термодатчики, термопари), а також відповідний діапазон і додаткові параметри.

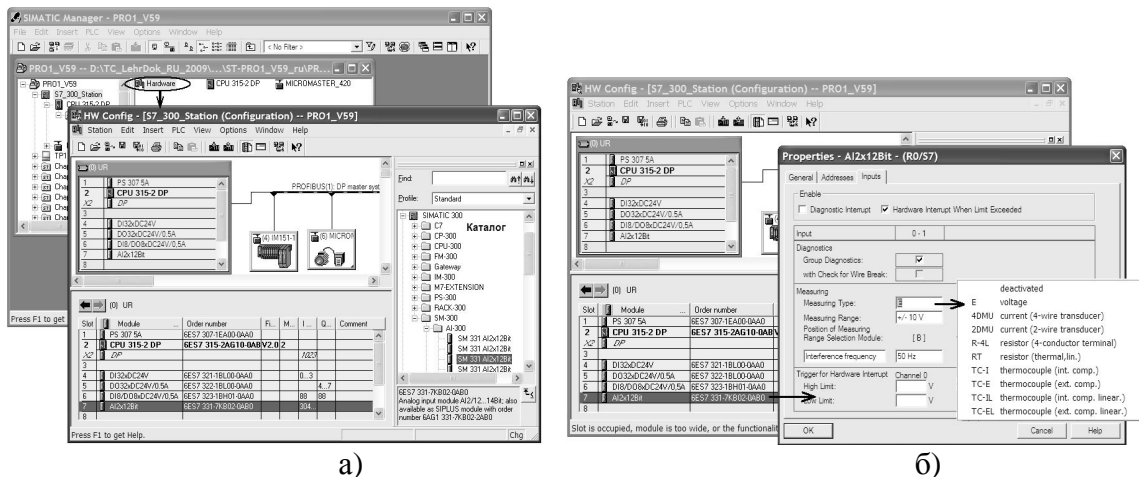


Рис. 19.6. Вікна конфігурації та налагодження аналогового модулю

Після компіляції отриманої конфігурації у папку програм відповідної станції поміщається системний блок Systemdaten, в якому знаходяться усі встановлені параметри. Після завантаження програм у ПЛК центральний процесор передає ці параметри у відповідні модулі.

Після того як визначена конфігурація станції можна переходити до створення програм. Така послідовність визначається тим, що при встановленні конфігурації входам та виходам модулів присвоюються адреси, які використовуються у програмі.

У мовах програмування промислових контролерів розрізняють блоки, що містять команди для обробки сигналів (організаційні блоки, функції та функціональні блоки), а також блоки, у яких зберігаються дані (блоки даних).

Організаційні блоки (OB) визначають режим роботи контролера, до яких належать циклове виконання програми, переривання програми за зовнішніми сигналами, переривання програми за часом та переривання для обробки помилок. Функції (FC) та функціональні блоки (FB) вміщують окремі програмні модулі, у яких можна задавати параметри. Функціональні блоки мають ще можливість запам'ятовувати дані для подальшої обробки у додаткових блоках даних (DB).

У ході виконання програми ПЛК не має доступу до вхідних та вихідних сигналів. На початку циклу проводиться опит вхідних сигналів та запис їх значень у пам'яті відображення входів. При кінці циклу з пам'яті відображення виходів проводиться запис значень сигналів на виходи. Структура програми та її виконання зображена на рис. 19.7.

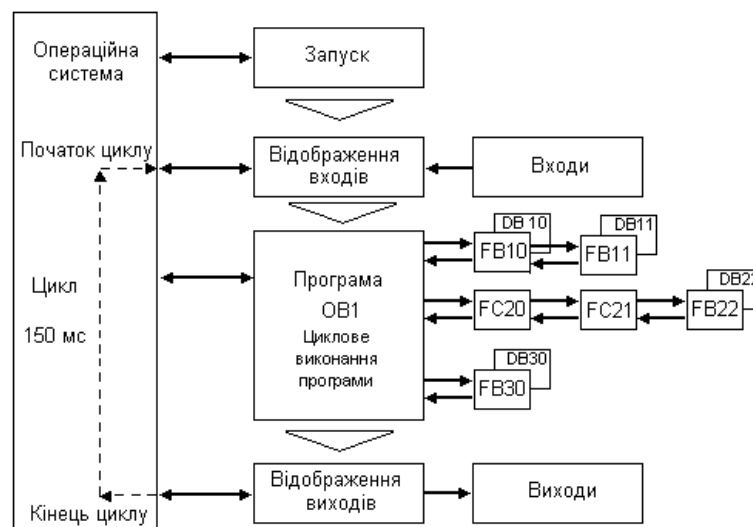


Рис. 19.7. Структура програми та її виконання

Процесор ПЛК виконує команди послідовно друг за другом. Після виконання останньої команди процесор починає виконувати першу команду. Виконання команд періодично повторюється, тому процесор реалізує циклічне виконання програми. Час, необхідний для одноразового виконання всіх команд, називається часом циклу. Процесор контролює тривалість циклу і, якщо вона перевищує деяку задану величину (по умовчанням 150 мс), переводить ПЛК у стан “STOP”.

При складанні програми може використовуватися лінійне або структурне програмування.

При лінійному програмуванні програма складається тільки з одного блока, що містить усі команди. Процесор виконує окремі команди цього блока послідовно.

При структурному програмуванні програма ділиться на декілька блоків, що послідовно викликаються з організаційного блока.

Існують такі основні форми представлення програми при програмуванні промислових контролерів:

- представлення у вигляді контактної плану (релейно-контактна схема),
- представлення у вигляді функціонального плану (функціональна схема),
- представлення у вигляді послідовності команд.

На рис. 19.8 наведені ці форми представлення програми для виконання функцій наведеної принципової електричної схеми.

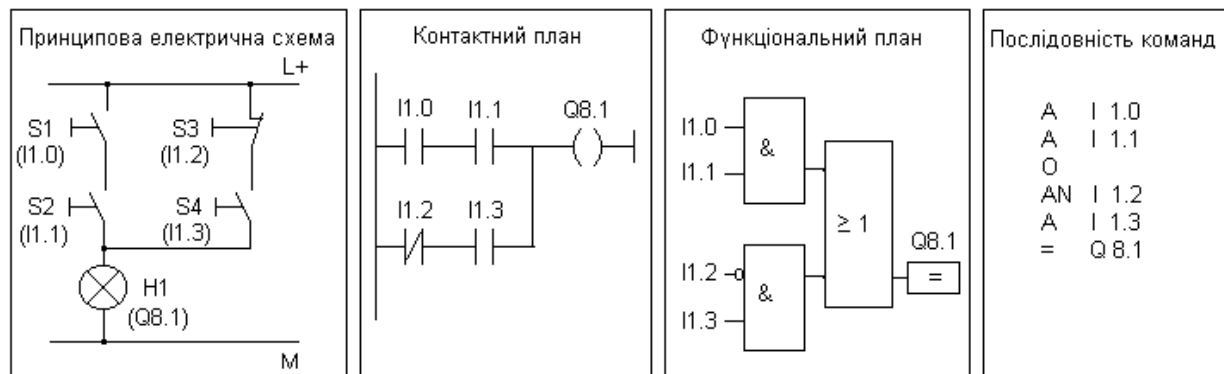


Рис. 19.8. Форми представлення програми при програмуванні ПЛК

Контактний план або релейно-контактна схема як би моделює роботу пристрою керування з використанням засобів релейної автоматики, представляючи його у вигляді принципової електричної схеми.

Функціональний план або функціональна схема дозволяє наочно описати функції керування у вигляді схеми, що складається з окремих функціональних елементів.

Послідовність команд представляє програму у вигляді послідовності умовного позначення команд процесора.

Релейно-контактні і функціональні схеми дають зручне для оператора графічне уявлення алгоритму керування і не вимагають високого рівня підготовки у галузі обчислювальної техніки.

Представлення у вигляді послідовності команд найбільше близько до внутрішнього відображення керуючої програми в пристрої керування, тому воно найбільш часто використовується для системного програмування.

Сучасні програмовані логічні контролери (ПЛК) мають, крім логічних команд над двійковими числами, функції ліку (лічильники), часу (таймери) та функції математичної та логічної обробки чисел у різних форматах.

Для створення програм використовуються програмні редактори (рис. 19.9). Для контактної та функціональної планів у складі редактора є каталог команд, тому

програмування здійснюється шляхом вибору відповідної команди та встановленням її у необхідне місце програми.

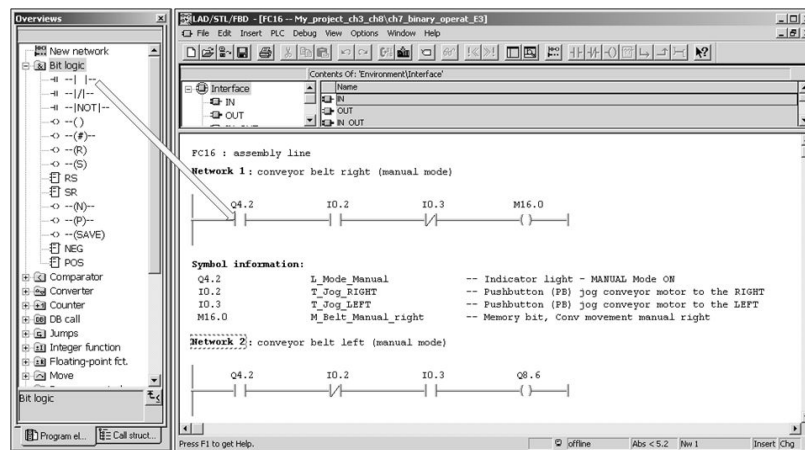


Рис. 19.9. Програмний редактор для створення програми у вигляді контактної схеми

Для керування двигунами використовується SR тригер, вихід якого встановлюється в “1”, коли сигнал на вході S дорівнює “1”, та скидається у “0”, коли сигнал на вході R дорівнює “1”. Переміщення починається, коли натиснута кнопка “ПУСК” SB1. Після цього включається двигун першого переміщення KM1. Переміщення здійснюється, поки не спрацює кінцевий датчик першого переміщення SQ1 або не натиснута кнопка “СТОП” SB2. Кінцевий датчик першого переміщення SQ1 виключає двигун першого переміщення KM1 та включає двигун другого переміщення KM2. Кінцевий датчик другого переміщення SQ2 виключає двигун другого переміщення KM2 та припиняє рух.

Програмний блок створений у вигляді контактної схеми. Він складається з схем, які визначають одну операцію (наприклад переміщення).

Крім операцій над двійковими сигналами програмовані контролери мають функції з числами. До цих операцій належать лічильники, таймери, функції порівняння, арифметичні функції.

Лічильники призначені для обліку вхідних імпульсних сигналів. Вони можуть лічити у прямому та зворотному напрямку.

Таймери виконують функції часу шляхом затримки сигналу або формування імпульсу певної тривалості.

Існують різні таймери, наприклад, таймери з затримкою включення, імпульсні таймери та таймери з затримкою виключення.

Функції порівняння порівнюють два числа IN1 та IN2, та в разі здійснення порівняння видають сигнал “1”, у протилежному випадку видають сигнал “0”. Виконуються такі порівняння: $IN1 == IN2$, $IN1 <> IN2$, $IN1 > IN2$, $IN1 < IN2$, $IN1 >= IN2$, $IN1 <= IN2$.

Арифметичні функції виконують операції складання (ADD), віднімання (SUB), множення (MUL) та ділення (DIV) чисел у різних форматах.

Для створення системних програм, наприклад програм, які описують детальну роботу окремих модулів системи, використовується розширений набір команд, що включає додаткові функції.

19.2. Засоби налагодження та обслуговування програмованих логічних контролерів

Однією з важливіших задач при створенні систем керування є її налагодження та пошук помилок як на стадії проектування так і у період експлуатації. ПЛК SIMATIC S7 мають великий набір засобів для вирішення цієї задачі.

На етапі складення програми для її перевірки досить складно використовувати апаратні компоненти системи автоматизації, тому є можливість перевірки програми за допомогою програмної моделі ПЛК S7-PLCSIM.

Це так званий симулятор, в якому можна визначити усі змінні реального ПЛК, такі як входи, виходи, пам'ять, таймери, лічильники, та моделювати різні режими роботи ПЛК, наприклад, режими запуску, переривання, реакцію на помилки тощо (рис. 19.10).

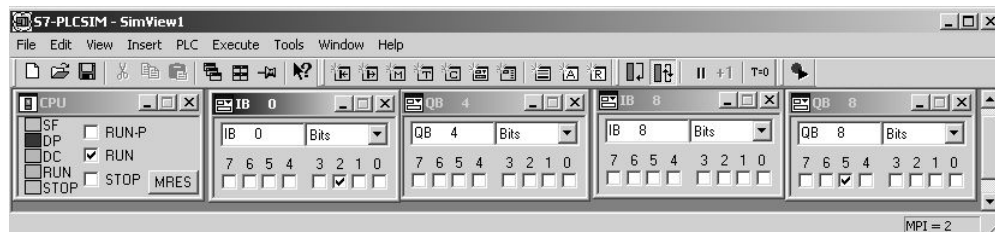


Рис. 19.10. Симулятор для ПЛК S7-PLCSIM

В симулятор можна завантажити програму та конфігурацію ПЛК, запустити її та простежити за реакцією ПЛК, а саме, як вона реагує на зміну входніх змінних, що імітує сигнали датчиків, або як змінюється внутрішній стан ПЛК у часі, якщо працюють таймери і т.д.

Крім цього є можливість перевірити стан змінних у самої програми незалежно від того, виконується вона у симуляторі, чи у реальному ПЛК. Першою такою можливістю є перевірка стану програми або тестування програми (рис. 19.11).

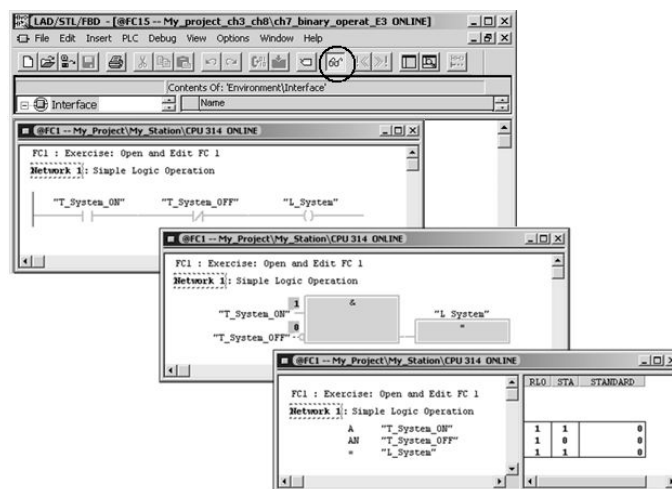


Рис. 19.11. Тестування програми

Для цього треба підключити пристрій програмування до ПЛК, або запустити стимулятор, завантажити програму, перевести ПЛК у режим RUN (робота), відкрити відповідний блок програми у редакторі, натиснути кнопку "окуляри" на панелі команд. Після цього для контактного та функціонального планів стан двійкових змінних буде визначений кольором – зелений для стану 1, та синій для стану 0. Числові змінні надаються у вигляді чисел з заданою формою відображення. Для послідовності команд усі змінні надаються у вигляді чисел.

Друга можливість перевірки стану змінних надається у таблиці перегляду та модифікації змінних (рис. 19.12). У таблицю треба занести усі змінні з програми, стан яких треба переглядати. Ця таблиця дає можливість змінювати існуючі дані з метою перевірки їх впливу на виконання програми.

	Address	Symbol	Symbol comment	Display format	Status value	Modify value
1	Q 4.2	"L_MAN"	Manual Mode of Operation Light	BOOL	false	
2	Q 4.3	"L_AUTO"	Automatic Mode of Operation Light	BOOL	false	
3	I 0.2	"T_Jog_RT"	Jog Conveyor Right, Momentary Contact	BOOL	false	
4	I 0.3	"T_Jog_LT"	Jog Conveyor Left, Momentary Contact	BOOL	false	
5	Q 8.5	"K_RT"	Run Conveyor Right	BOOL	false	
6	Q 8.6	"K_LT"	Run Conveyor Left	BOOL	false	
7	IW 2	"TW_BCD"	BCD Push Buttons - Input Word	HEX	W#16#1021	

Рис. 19.12. Таблиця перегляду та модифікації змінних програми

На стадії налагодження програми для складних систем автоматизації такі таблиці доцільно скласти окремо для всіх вузлів системи, які можна налагоджувати окремо.

Операційна система ПЛК у кожному циклі перевіряє правильність виконання програми та наявність апаратних та програмних помилок. У складі організаційних блоків є блоки переривання за помилкою, які можна ввести в програму. Якщо операційна система знаходить таку помилку, вона викликає відповідний організаційний блок помилки. У разі відсутності такого блоку процесор переходить у стан "СТОП".

Організаційні блоки відповідають досить великому класу помилок, наприклад, у разі виникнення програмної помилки викликається організаційний блок OB121. Для більш детального визначення причин виникнення помилок у тимчасових змінних організаційних блоків міститься код помилки. Наприклад, на рис 19.13 наведений приклад OB121, у якому перевіряється код помилки.

Name	Data Type	Address	Comment
OB121_EV_CLASS	Byte	0.0	16#25, E...
OB121_SW_FLT	Byte	1.0	16#XX So...
OB121_PRIORITY	Byte	2.0	Priority...
OB121_OB_NUMBR	Byte	3.0	121 (Org...
OB121_BLK_TYPE	Byte	4.0	16#08/8A...
OB121_RESERVED_1	Byte	5.0	Reserved...

```

OB121 : "Programming Error"
Network 1 : Title:
    L   #OB121_SW_FLT
    L   B#16#21
    ==I
    BEC

Network 2 : Title:
    CALL SFC 46          STP          -- Change the
  
```

Рис. 19.13. Приклад OB121, у якому перевіряється код помилки

Якщо цей код дорівнює значенню W#16#21, то має місце помилка представлення числа у двійково-десятковому форматі та ця помилка ігнорується. Якщо має місце інша помилка, процесор зупиняється.

Після того, як помилка викликала зупинку процесора у разі відсутності відповідного організаційного блоку, є можливість визначити причину зупинки. Для цього треба відкрити вікно "**Module Information**". У цьому вікні є закладки, які несуть інформацію о причинах помилки, а також стану процесора на час зупини. Наприклад, на рис. 19.14 наведена закладка "**Diagnostic Buffer**" (діагностичний буфер), де зберігається інформація о причинах виникнення 10 останніх помилок, або інших подій, які визначає операційна система. Буфер представляється у вигляді таблиці, де визначаються час і дата виникнення події, а також опис цієї події. За допомогою кнопки **Open Block** можна відкрити програмний блок у місці, де виникла помилка.

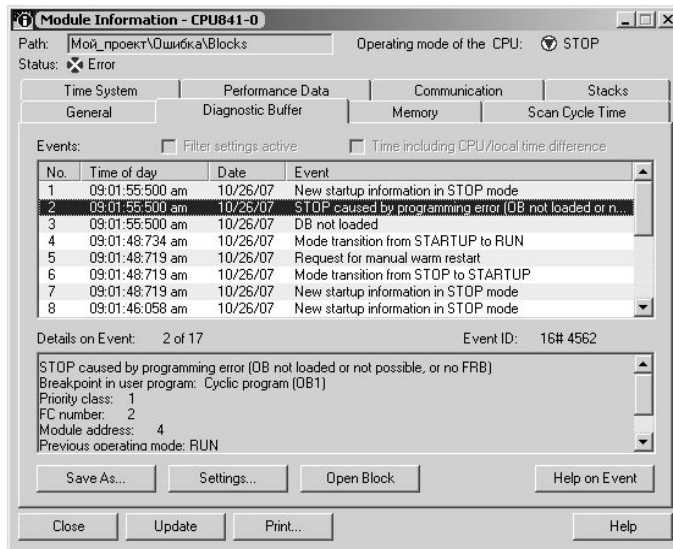


Рис. 19.14. Діагностичний буфер

Додаткову інформацію можна знайти в інших закладках, наприклад, інформацію про змінні у регістрах процесора, послідовність блоків, які викликані до появи помилки та інші. Крім цього є можливість за допомогою вікна конфігурації отримати інформацію о помилках, які виникають у модулях, наприклад, відсутність зовнішнього живлення у аналогових модулях, обрив дроту у модулів з діагностикою тощо. Але ця інформація може бути отримана тільки після зупинки процесора.

Якщо були викликані відповідні ОВ помилок, та процесор продовжує роботу, для визначення помилок треба в ОВ скласти програму, де буде запрограмована реакція на помилку, наприклад, видача повідомлення на операторську панель.

Для пошуку помилок у програмі призначена також інформація, яка міститься у так званих довідкових даних (рис. 19.15). До таких даних належать структура програми (рис. 19.15, а), таблиця перехресних посилань (рис. 19.15, б), перелік елементів входу, виходу, пам'яті, а також лічильників та таймерів, які використовуються у програмі (рис. 19.15, в).

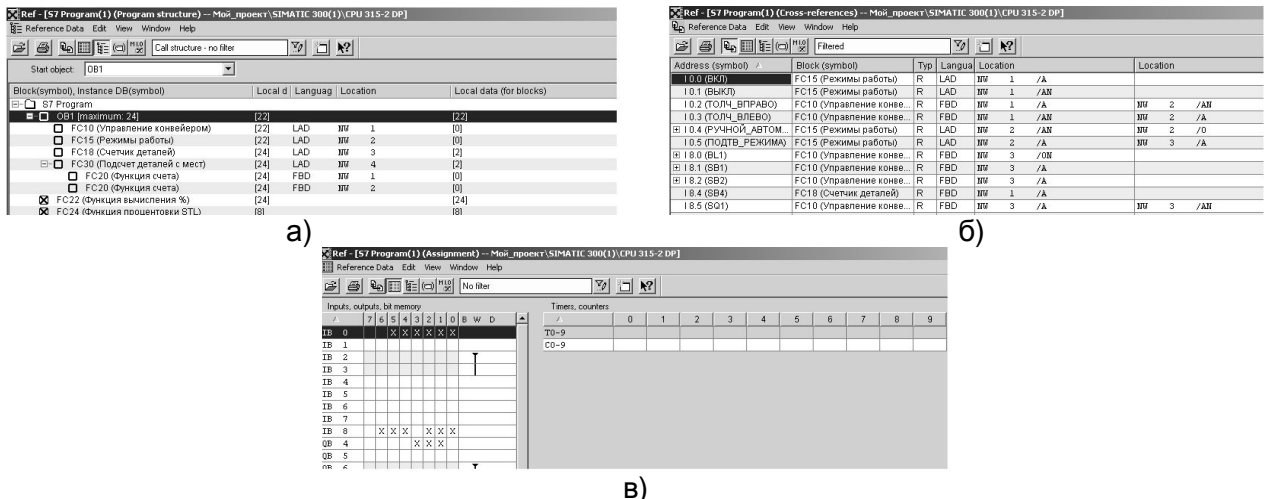


Рис. 19.15. Довідкові дані

Структура програми дозволяє знайти такі помилки, як наприклад, рекурсію, тобто ситуацію, коли блок викликає сам себе. Таблиця перехресних посилань дає інформацію про місце використання змінних у програмі. Типовою помилкою є, наприклад, багаторазовий запис інформації на вихід (дійсним буде тільки останній запис). З таблиці перехресних

посилань можна безпосередньо перейти до програми. Перелік елементів, які використовуються у програмі дає можливість знайти входи та виходи, про які забули при складанні програми, наприклад, входи для підключення блокувань, або виходи для підключення світових індикаторів. Також можна знайти звернення до пам'яті у різних форматах, наприклад, коли за одною адресою є звертання як до біта, байта, слова чи подвійного слова.

Вказані засоби пошуку помилок дають можливість знайти помилки, на яку реагує операційна система, або помилки які були внесені під час проектування, а також помилки датчиків. Але вони не дозволяють знайти помилки у деяких виконавчих пристроях, наприклад, у тих випадках коли під час виконання програми відсутня можливість визначення сигналу, яких подається на такий пристрій. У такому разі можна використати функцію керування виходами у стані "СТОП". За допомогою таблиці на вихід подаються різні сигнали та визначається реакція виконавчих пристроїв.

Крім цього можуть бути додаткові засоби пошуку помилок, які інтегруються у базову програму.

19.3. Приклади програмної реалізації алгоритмів керування робототехнічними системами

На рис. 19.16 наведено приклад програмного блоку послідовного виконання операцій, що використовується для циклового керування промислових роботів.

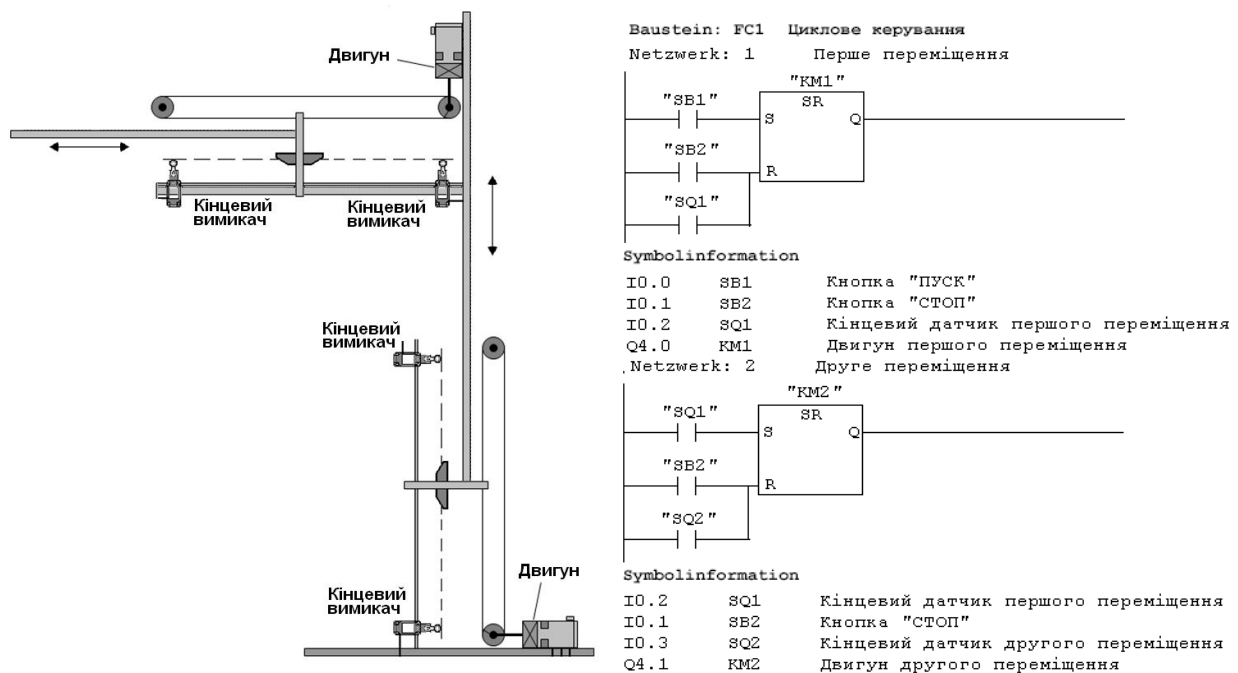


Рис. 19.16. Приклад програми циклового керування у вигляді контактної схеми

На рис. 19.17 наведено приклад стелажного роботу з позиційним керуванням.

На рис. 19.18 показана програма для переміщення робочого органу цього робота, яка складена за допомогою лічильників.

Переміщення починається, коли натиснута кнопка "ПУСК" SB1. Після цього у лічильники записуються початкові значення позицій (12 та 12), після чого вмикаються двигуни переміщень KM3 та KM4.

Переміщення здійснюються, поки лічильники не досягнуть значення "0", або не натиснута кнопка "СТОП" SB2, після чого двигуни вмикаються.

Програма складена у вигляді контактної схеми.

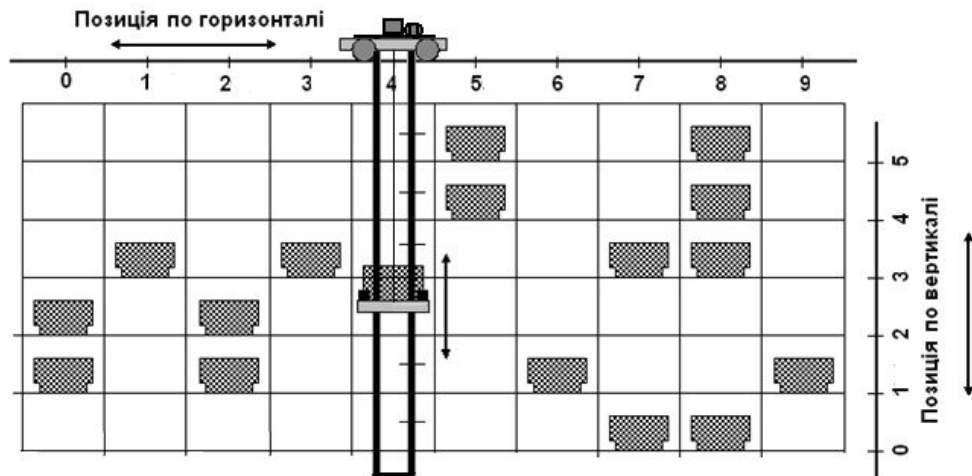
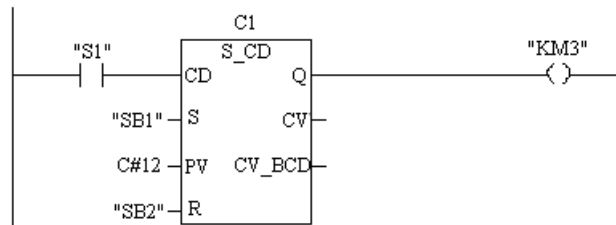


Рис. 19.17. Стелажний робот з позиційним керування

Baustein: FC2 Позиційне керування

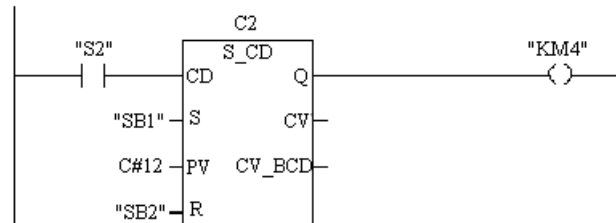
Netzwerk: 1 Переміщення по першому напрямку



Symbolinformation

I0.4 S1 Імпульсний датчик першого напрямку
 I0.0 SB1 Кнопка "ПУСК"
 I0.1 SB2 Кнопка "СТОП"
 Q4.2 KM3 Двигун першого напрямку

Netzwerk: 2 Переміщення по другому напрямку



Symbolinformation

I0.5 S2 Імпульсний датчик другого напрямку
 I0.0 SB1 Кнопка "ПУСК"
 I0.1 SB2 Кнопка "СТОП"
 Q4.3 KM4 Двигун другого напрямку

Рис. 19.18. Приклад програми позиційного керування у вигляді контактної схеми

У складі блоків є так звані функції та функціональні блоки. Особливістю таких блоків є можливість використовувати замість фактичних параметрів (входів, виходів, пам'яті) формальні параметри у вигляді позначень.

При виклику функції або функціонального блока замість формальних параметрів треба підставити фактичні параметри (рис. 19.19). Це дає можливість при необхідності створити додаткові функції та використовувати їх у програмі.

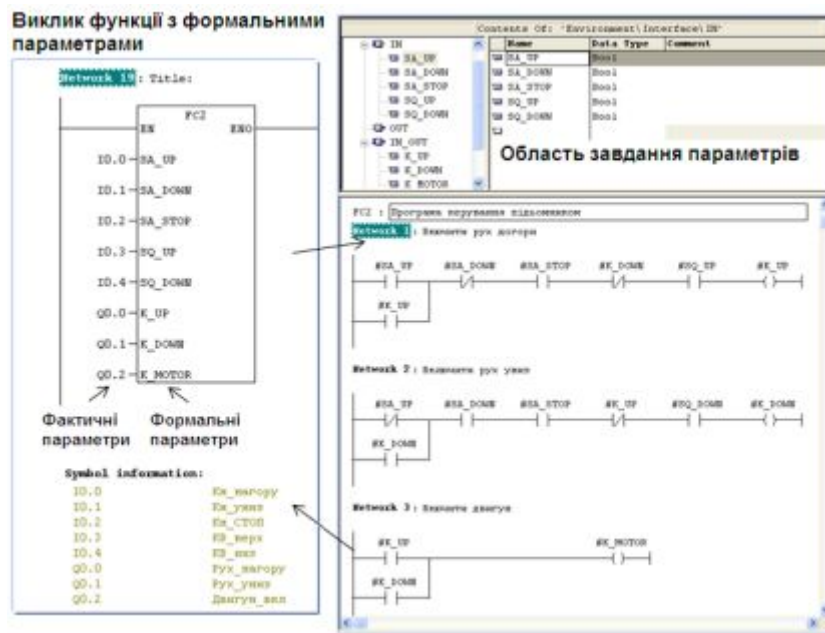


Рис. 19.19. Виклик функції з формальними параметрами

У складі мови програмування є велика бібліотека стандартних та системних функцій, наприклад, функцій для обміну даними у локальних мережах.

Контрольні запитання

1. Яку структуру має промислове програмне забезпечення?
2. Що означає циклічне виконання програми?
3. Для чого використовують організаційні блоки, функції та функціональні блоки?
4. Які основні форми представлення програми існують при програмуванні промислових контролерів?
5. Яка група команд виконує функції пам'яті?
6. Які функції виконує лічильник і таймери?
7. Які функції виконує стимулятор S7-PLCSIM?
8. Яку інформацію дає режим тестування?
9. Як визначати помилки за допомогою організаційних блоків?
10. Які дані містить діагностичний буфер та вікно "Module Information"?

Глава 20. Комплексні системи керування робототехнічними комплексами

20.1. Структура комплексних систем керування

В даний час широко використовуються комплексні системи керування виробництвом [14, 16], що включають локальні системи керування на основі промислових контролерів, та промислових мереж, що об'єднують окремі локальні системи керування, до складу яких крім систем керування робототехнічними пристроями входять системи керування іншим технологічним обладнанням, в єдину комплексну систему, де верхній рівень керування реалізується за допомогою промислових комп'ютерів (рис. 20.1).

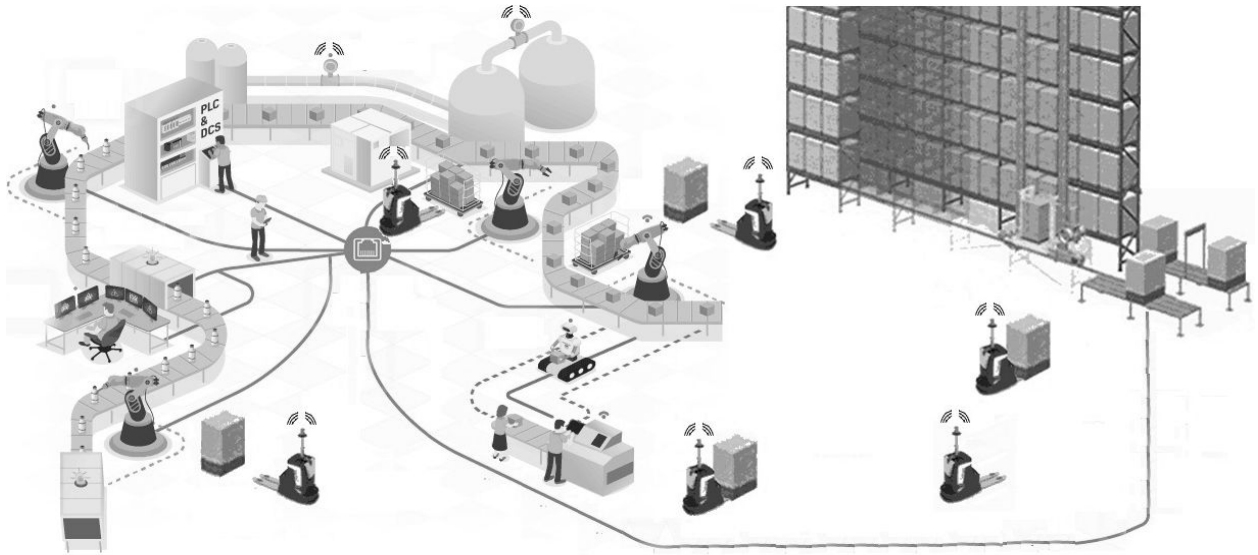


Рис. 20.1. Комплексна система керування виробництвом

Такий підхід, заснований на модульному принципі, дозволяє забезпечити гнучкість системи, забезпечує можливість швидкої адаптації при зміні параметрів технологічних процесів. Наявність широкого набору програм для проектування, програмування і налагодження системи значно скорочує обсяг робіт при проектуванні і переустаткуванні системи.

Фірми, які виробляють широке коло обладнання для систем автоматизації, здійснюють комплексний підхід, заснований на використанні принципу комплексних систем автоматизації (Totally Integrated Automation - T.I.A.). Основою цього принципу є повна сумісність апаратних і програмних засобів, які використовуються для вирішення задач автоматизації різного рівня, та інтеграція усіх програмних засобів у єдине програмне середовище.

Широке використання промислових роботів, а також іншого обладнання з пристроями, в яких треба керувати переміщенням окремих елементів, наприклад, у підйомно-транспортному та робототехнічному обладнанні, привело до створення такого класу пристроїв, як **Motion-Control** (керування переміщенням).

Керування переміщенням є складовою частиною до так званих мехатронних систем, які об'єднують механічні, електронні та інформаційні компоненти сучасного технологічного обладнання.

Взагалі електронна та інформаційна складова мехатронних систем об'єднує системи логічного керування, системи керування рухом машин та складних пристроїв переміщення у просторі, а також технологічні системи керування, зокрема системи регулювання.

Однією з задач сучасних програмованих контролерів є керування переміщенням, як складова частина комп'ютерного керування, тому вони мають у своєму складі умонтовані засоби керування переміщенням, такі як модулі керування двигунами та модулі позиціонування, які здатні виконувати функції позиційного та контурного керування. Ці

функціональні модулі можуть працювати незалежно від процесорного модуля, бо мають свій процесор, який працює за власною програмою. Процесорний модуль контролера у цьому разі здійснює лише загальне керування.

Крім цього передбачена можливість спільного використання ПЛК та електроприводів, у тому числі з частотними перетворювачами. ПЛК може здійснювати керування приводами не тільки шляхом підключення до дискретних та аналогових входів, а також за допомогою локальних мереж. Це дає можливість не тільки керувати приводами, а у разі потреби змінювати його параметри.

Другою важливою частиною комплексних систем автоматизації є пристрої керування та відображення, за допомогою яких оператор має можливість здійснювати контроль стану обладнання, а в разі потреби втручатися в його роботу, наприклад, для введення нових завдань, переключення режимів роботи, або проведення профілактичних робіт та ремонту. Пристрої керування та відображення (НМІ – людино-машинний інтерфейс) можуть складатися з операторських панелей та операторських станцій. Перші являють собою спеціальні прилади, призначенні для відображення та обміну інформацією з ПЛК, другі будуються на основі персональних комп'ютерів. Для проектування таких систем потребується окреме програмне забезпечення, яке також може інтегруватися у базове програмне забезпечення проектування ПЛК, або бути його складовою частиною.

20.2. Склад комплексних систем керування

Приклад складу комплексної системи керування наведений на рис. 20.2.

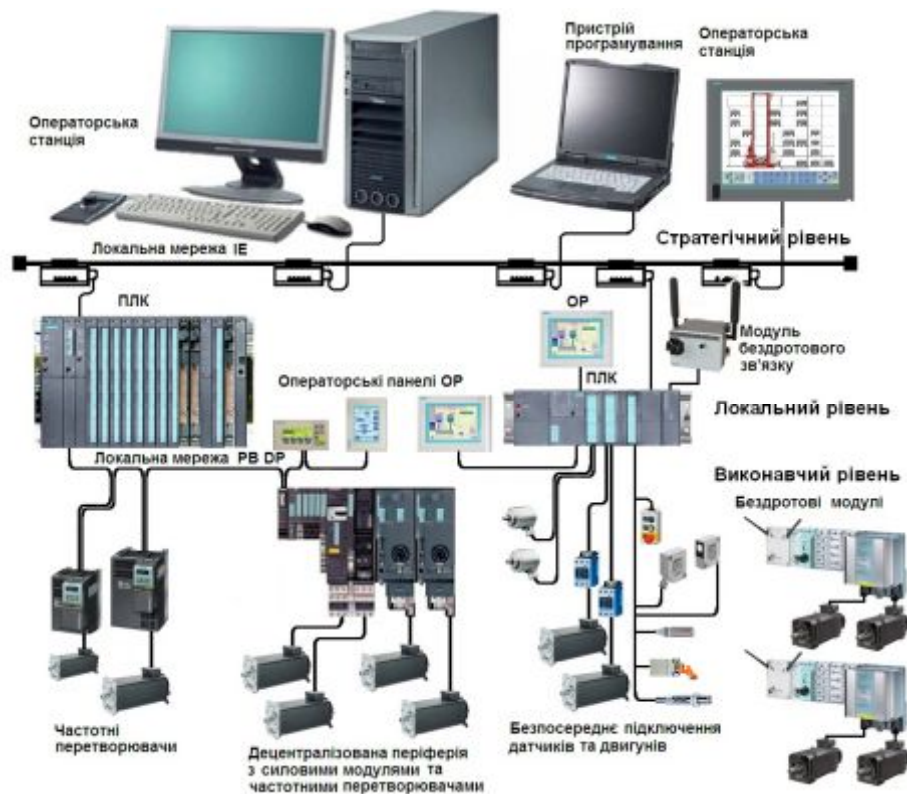


Рис. 20.2. Приклад комплексної системи керування

Ця система включає локальні системи керування для задач різного рівня складності з різноманітними виконавчими пристроями. Можливість підключення систем комп'ютерного керування до різних засобів комунікації та обчислювальних мереж дозволяє об'єднати локальні системи керування окремими технологічними процесами в єдину гнучку комплексну систему керування виробництвом.

Комплексні системи керування реалізують різні рівні керування. На виконавчому рівні здійснюється керування окремими компонентами різних пристроїв, що входять до складу технологічного обладнання, наприклад, окремими механізмами переміщення роботів, підйомно-транспортного обладнання тощо.

На локальному рівні здійснюється узгоджене керування різними виконавчими пристроями технологічного обладнання, наприклад, переміщення робочого органу роботів.

На стратегічному рівні здійснюється узгоджене керування різним технологічним обладнанням, наприклад, технологічними установками, що виробляють продукцію, та пристроями, що здійснюють переміщення вихідних матеріалів та готової продукції та її упаковку, а саме, різними транспортними пристроями, включаючи промислові роботи.

Треба також відзначити, що окремі локальні пристрої керування також мають багаторівневу структуру, як це було показано раніше на прикладі системи керування роботами.

Розглянемо окремі компоненти комплексної системи керування на прикладі засобів автоматизації, що випускає фірма SIEMENS.

Основу цієї системи є програмовані логічні контролери, за допомогою яких здійснюються усі алгоритми керування. У складі системи може бути декілька ПЛК в залежності від кількості задач, що вирішуються. Розглянемо засоби керування переміщенням, що використовуються у складі ПЛК. Так ПЛК SIMATIC S7-300 має такі модулі керування переміщенням:

- модулі лічильників, які призначені для використання з фотоімпульсними датчиками переміщення та здатні вирішувати прості задачі позиціонування;
- різні модулі позиціонування, які здатні вирішувати задачі від позиційного до контурного керування;
- модулі керування кроковими двигунами.

Наприклад, модуль FM353 здійснює керування одним кроковим двигуном, модуль позиціонування FM357-2 має чотири канали та здійснює позиційне або контурне керування кроковими чи серводвигунами. Цей модуль має також 4 вимірювальних входів для підключення датчиків положення

Для забезпечення потрібної потужності використовуються силові модулі для крокових двигунів та для серводвигунів, які мають можливість працювати з датчиками зворотного зв'язку для керування швидкістю обертання двигуна, а також для абсолютного позиціонування (фотоімпульсні, кодові та інші датчики).

Для забезпечення локального керування окремих приводів використовуються модулі децентралізованої периферії, які підключаються до основного контролера за допомогою локальної мережі. Пристрої децентралізованої периферії можуть мати у своєму складі дискретні та аналогові модулі вхідних та вихідних сигналів, модулі керування пневмоприводами (пневматичний модуль), силові модулі та перетворювачі частоти для керування електродвигунами. Ці пристрої керування двигунами керуються безпосередньо з процесорного модуля.

Для автономних частотних перетворювачів також є можливість керування від ПЛК. Для цього у конфігурацію ПЛК треба ввести відповідний частотний перетворювач. Стандартні частотні перетворювачі вже встановлені у каталог конфігуратора. Для відсутніх можна інтегрувати відповідне програмне забезпечення.

На рис. 20.3 наведений приклад конфігурації пристрою керування на основі контролера SIMATIC S7-300, CPU 314C-DP, який може керувати додатковими пристроями через локальну мережу PROFIBUS. Система керування включає ПЛК, та частотний перетворювач MICROMASTER 420, який підключений до ПЛК за допомогою локальної мережі PROFIBUS.

ПЛК розглядає частотні перетворювачі як свої адреси слів для виходів та виходів (два слова входів та два слова виходів). За адресою першого слова виходів (у цьому прикладі QW 56) у частотний перетворювач можна записати керуюче слово, за адресою

другого слова виходів (у цьому прикладі QW 58) можна записати завдання для вихідної частоти частотного перетворювача. За адресою першого слова входів (у цьому прикладі IW 56) можна прочитати слово стану частотного перетворювача, за адресою другого слова входів (у цьому прикладі IW 58) можна прочитати фактичне значення вихідної частоти частотного перетворювача.

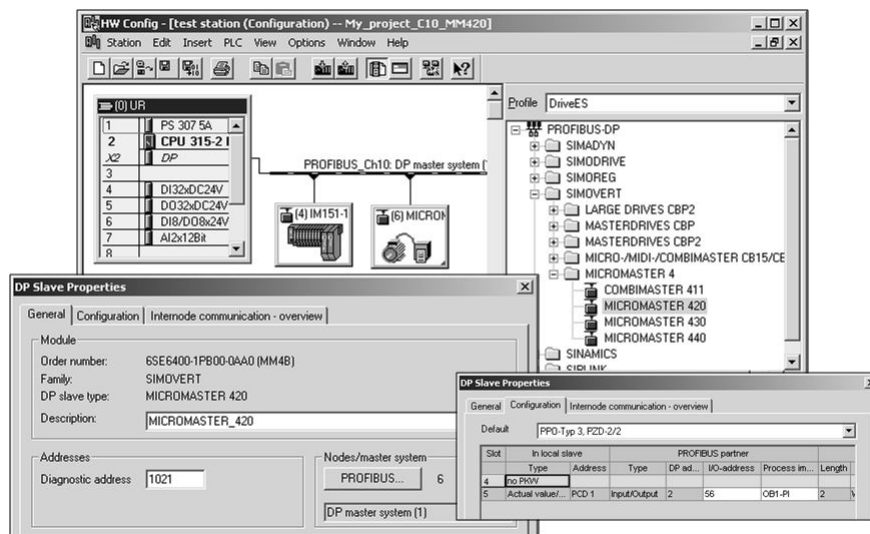


Рис. 20.3. Конфігурація ПЛК з частотним перетворювачем MICROMASTER 420

Керуюче слово дозволяє включати та виключати перетворювач (біт 0 = 1 ON / = 0 OFF1), змінити напрямок обертання (біт 11 = 1 реверс), керувати від контролера (біт 10 = 1 керування від контролера). У табл. 20.1 наведені коди керуючого слова для різних команд: включення (прямий напрямок руху), включення + реверс (зворотний напрямок руху), виключення.

Табл. 20.1.

Керуюче слово частотного перетворювача

Включити Hex 047F	Включити + реверс Hex 0C7F	Виключити Hex 047E	Біт	Значення
F	F	E	0	0 ON/OFF1 1= вкл., 0 = викл.
1	1	1	1	OFF2
1	1	1	2	OFF3
1	1	1	3	дозвіл імпульсів
7	7	7	4	дозвіл генератора розгону
1	1	1	5	запуск генератора розгону
1	1	1	6	дозвіл завдання
0	0	0	7	підтвердження помилки
4	C	4	8	поштовх управо
1	1	1	9	поштовх уліво
0	1	0	10	керування від ПЛК
0	1	0	11	реверс
0	0	0	12	...
0	0	0	13	моторпотенціометр більше
0	0	0	14	моторпотенціометр менше
0	0	0	15	біт 0 слова керування

У табл. 20.2 наведені завдання для різних вихідних частот у шістнадцятиричному (Hex), та десятковому (Dec) форматах.

Табл. 18.2.

Приклади значення завдань для різних вихідних частот

Значення завдання для вихідної частоти, Hex	Значення завдання для вихідної частоти, Dec	Фактичне значення вихідної частоти, Гц
4000	16384	50
3000	12288	37,5
2000	8192	25
1500	5376	16,41
1000	4096	12,5
500	1280	3,91

На рис. 20.4 наведений приклад програми керування частотним перетворювачем. Схема 1 за допомогою кнопки на вході I1.0 включає частотний перетворювач (записує код 47F у керуюче слово), схема 2 за допомогою кнопки вимикає частотний перетворювач (записує код 47E у керуюче слово), сигнал на аналоговому вході ПЛК за адресою PIW304 задає частоту на виході частотного перетворювача.

Аналогічно можна підключати інші пристрої які мають відповідний інтерфейс та можуть бути інтегрованими у конфігурацію, наприклад, абсолютні датчики положення.

Важливою складовою частиною комп'ютерного керування є людино-машинний інтерфейс (НМІ), що складається з операторської станції або панелі та спеціального програмного забезпечення для керування і моніторингу (відображення технологічного процесу та його параметрів).

Значне місце в таких системах займають комп'ютерні пристрої відображення інформації і керування, за допомогою яких оператор одержує інформацію про хід технологічного процесу і вводить необхідну додаткову інформацію або команди для керування системою. Наявність широкого спектра систем візуалізації й обслуговування, зокрема символічних та графічних операторських панелей ОП та промислових персональних комп'ютерів, забезпечує ефективну взаємодію систем керування та оператора (рис. 18.6).

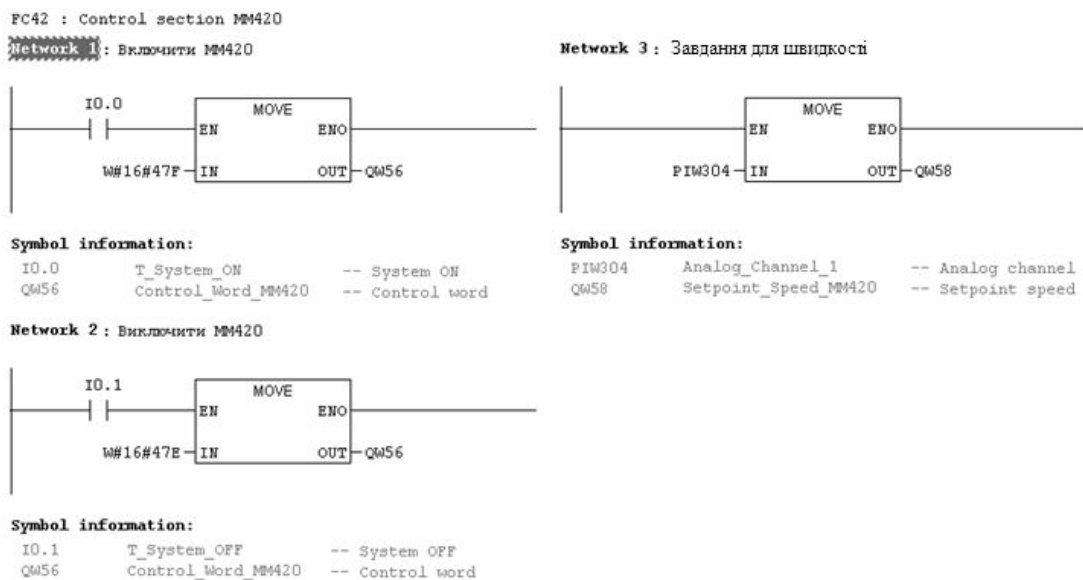


Рис. 20.4. Приклад програми керування частотним перетворювачем

Для розробки комп'ютерних пристрої відображення інформації і керування використовується додаткове програмне забезпечення, за допомогою якого створюється ціла

система зображень та повідомлень, що дають повне зображення керованого процесу або пристрою та інформацію о значеннях різних параметрів у числовому або графічному вигляді (рис. 20.5).

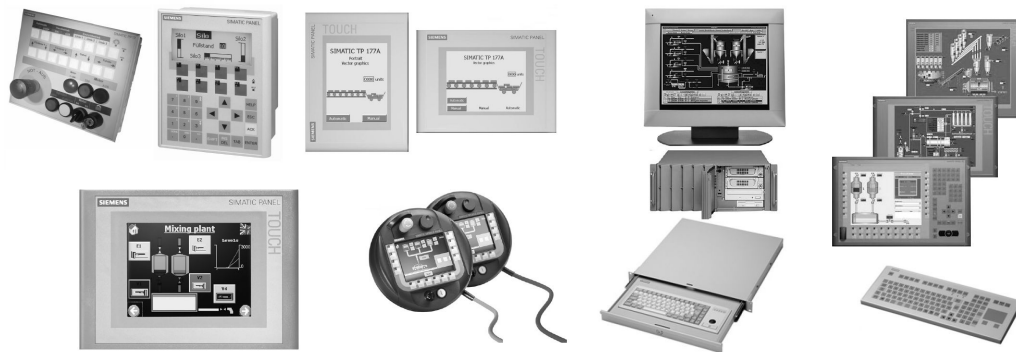


Рис. 20.5. Комп'ютерні пристрої відображення інформації і керування

Крім того створюються різні графічні засоби введення даних. У разі використання персональних комп'ютерів програмне забезпечення складається з системи проектування та системи виконання, за допомогою якої персональний комп'ютер перетворюється на операторську станцію.

На рис. 20.6 показана середа проектування для операторських панелей та операторських станцій **WinCC flexible**, яка складається з структури проекту, області проектування, де відкриваються елементи структури, вікна властивостей елементів області проектування, вікна інструментів, за допомогою яких здійснюється проектування, та вікна виводу, в яке виводяться повідомлення про хід проектування, а також приклади встановлення на екрані полів вводу-виводу (зліва), та кнопок (справа) з вікна інструментів, та встановлення їх властивостей.

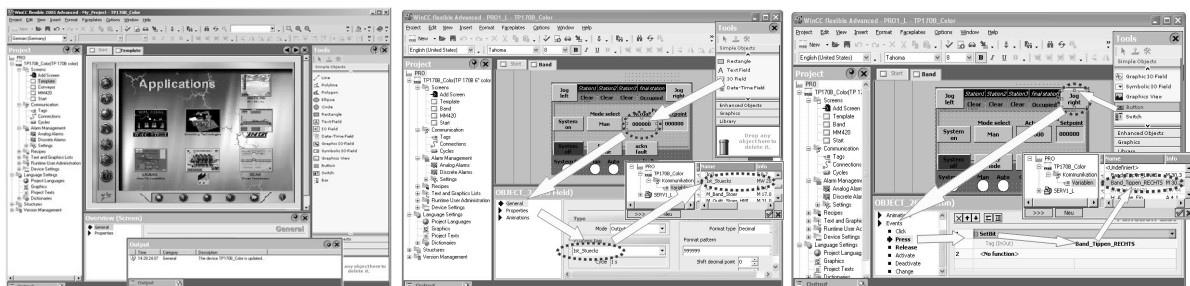


Рис. 20.6. Середа проектування для операторських панелей та операторських станцій WinCC flexible та приклади встановлення на екрані полів вводу-виводу та кнопок

На рис. 20.7 наведений приклад зображення технологічного обладнання з полями графічного представлення даних у вигляді графіку та стрілочного індикатору.

У разі виникнення якої-небудь події є можливість виводити на екран відповідні повідомлення. Розрізняють дискретні, аналогові повідомлення, повідомлення за номером та системні повідомлення. Дискретні повідомлення з'являються, коли відповідний біт пам'яті встановлюється в 1. Аналогові повідомлення пов'язані з виходом числових значень у пам'яті ПЛК за встановлені межі.

Ці повідомлення видає операторська панель шляхом періодичного опитування відповідних змінних у ПЛК. Повідомлення за номером ініціює ПЛК. У разі виникнення події він надсилає відповідний номер, за яким операторська панель видає повідомлення. Системні повідомлення може надсилати панель та ПЛК (рис. 20.8).

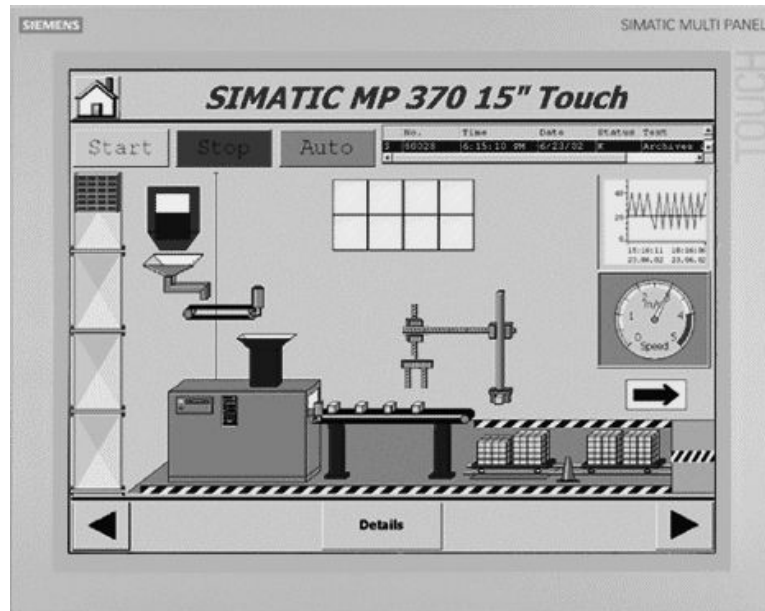


Рис. 20.7. Приклад зображення технологічного обладнання

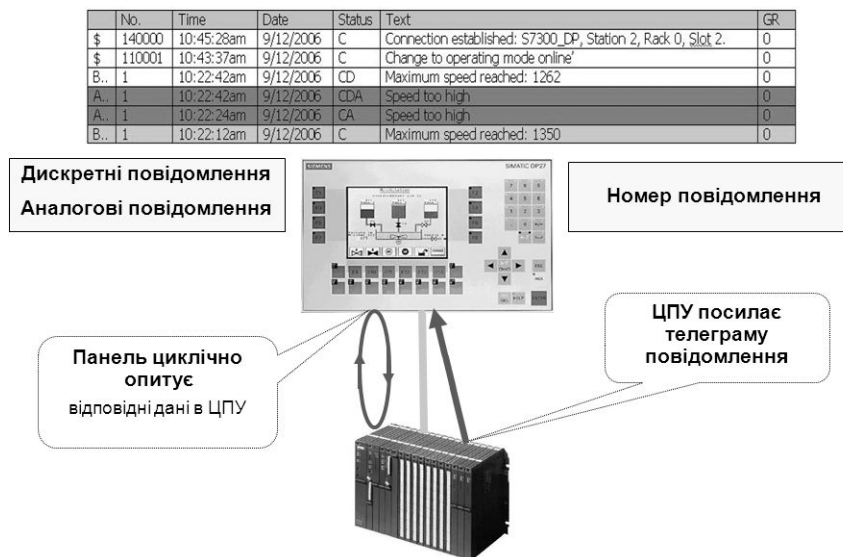


Рис. 20.8. Типи повідомлень у пристроях відображення

Пристрої відображення також дають можливість робити архіви значень процесу та повідомлень для збереження їх у самому пристрої або у комп'ютері верхнього рівня керування. Для документування значень процесу та повідомлень використовується система звітів.

20.3. Приклади використання комплексних систем керування в робототехнічних комплексах

На рис. 20.9 наведена автоматизована складська система Dematic Multishuttle, в якій використовуються транспортні роботи, що переміщують вантаж вздовж стелажу на кожному рівні. Переміщення роботів між рівнями здійснюють підйомники, а для доставки вантажу на склад використовуються конвеєри.

Керування таким складом здійснює комплексна система керування, яка використовує децентралізовану периферію з дротовим та бездротовим зв'язком.

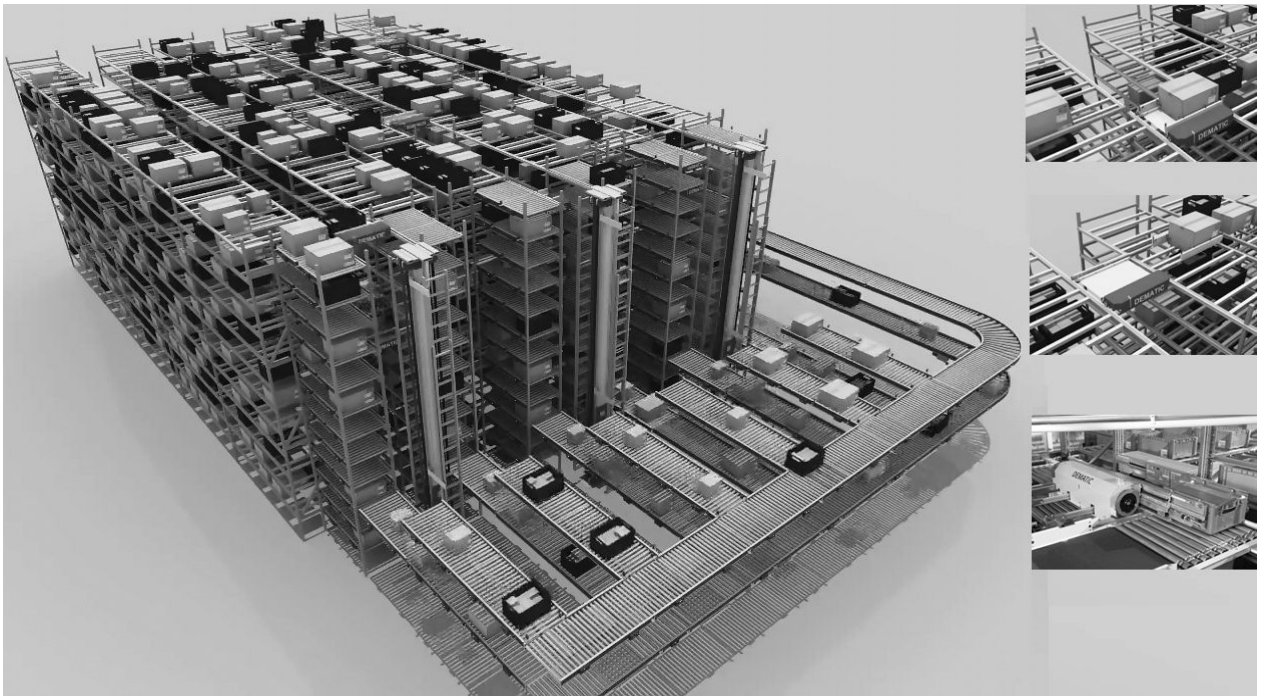


Рис. 20.9. Автоматизована складська система Dematic Multishuttle

Прикладом комплексної системи керування може служити також система PCS7 фірми Сіменс, яка дозволяє вирішувати задачі керування на всіх рівнях, починаючи з польового рівня, на якому знаходяться датчики, інформаційні та виконавчі пристрої, а також на рівнях систем автоматизації, оперативного керування та управління підприємством у цілому.

Ця система включає всі апаратні та програмні засоби проектування та дозволяє робити комплексні проекти складних систем керування. Існують рішення цієї системи для автоматизованих виробництв у різних галузях.

Контрольні запитання

1. Які компоненти включає комплексна система комп'ютерного керування?
2. Які функції виконують локальні обчислювальні мережі?
3. Які компоненти включає система керування переміщенням?
4. Які модулі промислових контролерів використовуються для керування переміщенням?
5. Як здійснюється програмування частотних перетворювачів?
6. Як здійснюється керування частотним перетворювачем за допомогою ПЛК?
7. Як використовується керуюче слово для керування частотним перетворювачем?
8. Які функції виконують засоби візуалізації?
9. Які апаратні та програмні засоби використовуються для реалізації систем візуалізації?
10. Які типи повідомлень використовують у пристроях відображення?

Глава 21. Автономні мобільні роботи

21.1. Основні типи автономними мобільними роботами

Автономні мобільні роботи (АМР) – це автоматичні машини, які мають засоби пересування з автоматично керованими приводами [18].

Виходячи з механізму переміщення мобільні роботи можуть бути колісними, крокуючими і гусеничними. Існують також мобільні роботи, що переміщуються по різних поверхнях, у повітрі, а також у воді та під водою (рис.21.1).



Рис. 21.1. Автономні мобільні роботи

Мобільні роботи можна поділити на **виробничі, транспортні та спеціальні**.

Виробничі мобільні роботи як правило мають маніпулятор з виконавчим пристроєм, яким може бути захоплюючий пристрій або різні технологічні пристрої, наприклад, зварювальний пристрій, пристрій для різання, фарбування тощо. Такі роботи використовуються у різних технологічних процесах, де технологічне обладнання або об'єкти треба переміщувати на досить великих площах по різних траєкторіям переміщення.

Виробничі мобільні роботи в свою чергу можна поділити на маніпуляційні та технологічні мобільні роботи.

Маніпуляційні мобільні роботи мають маніпулятор з виконавчим пристроєм.

Маніпуляційні мобільні роботи мають один чи декілька маніпуляторів з виконавчими пристроями.

Фірма Kuka випускає мобільні роботи з маніпуляторами у великому діапазоні вантажопідйомності.

Так, наприклад, універсальний дослідницький мобільний робот youBot фірми Kuka з вантажопідйомністю до 20 кг має у своєму складі всепрямовану мобільну платформу, що може переміщуватися у будь-якому напрямку завдяки Mecanum-коласам, на яку можна встановити один або два маніпулятори з 5 ступенями свободи та захоплюючий пристрій з двома пальцями (рис. 21.2).



Рис. 21.2. Універсальний мобільний робот фірми Kuka youBot

Робот має такі технічні характеристики: вантажопідйомність платформи: до 20 кг; розміри: 580 x 380 x 140 (LxVxH); вага: 20 кг; швидкість переміщення: до 0,8 м/с; вантажопідйомність маніпулятора: до 0,5 кг.

Додатково можна встановити скануючі лазерні датчики (Hokuyo URG-04LX-UG01) та звичайну (Microsoft Lifecam 720p) або стереоскопічну (ASUS Xtion PRO LIVE) камеру (рис. 21.3).



Рис. 21.3. Мобільні роботи youBot з додатковими датчиками

Мобільний робот фірми youBot для використання як промисловий робот та робот для обслуговування. Він, наприклад, може виконувати такі функції, як пошук, визначення та переміщення об'єктів; маркування шляхом нанесення позначень; проведення монтажних робіт; обслуговування обладнання.

При цьому може бути забезпечено взаємодію маніпуляторів на одному роботі, або кількох роботів (рис. 21.4).

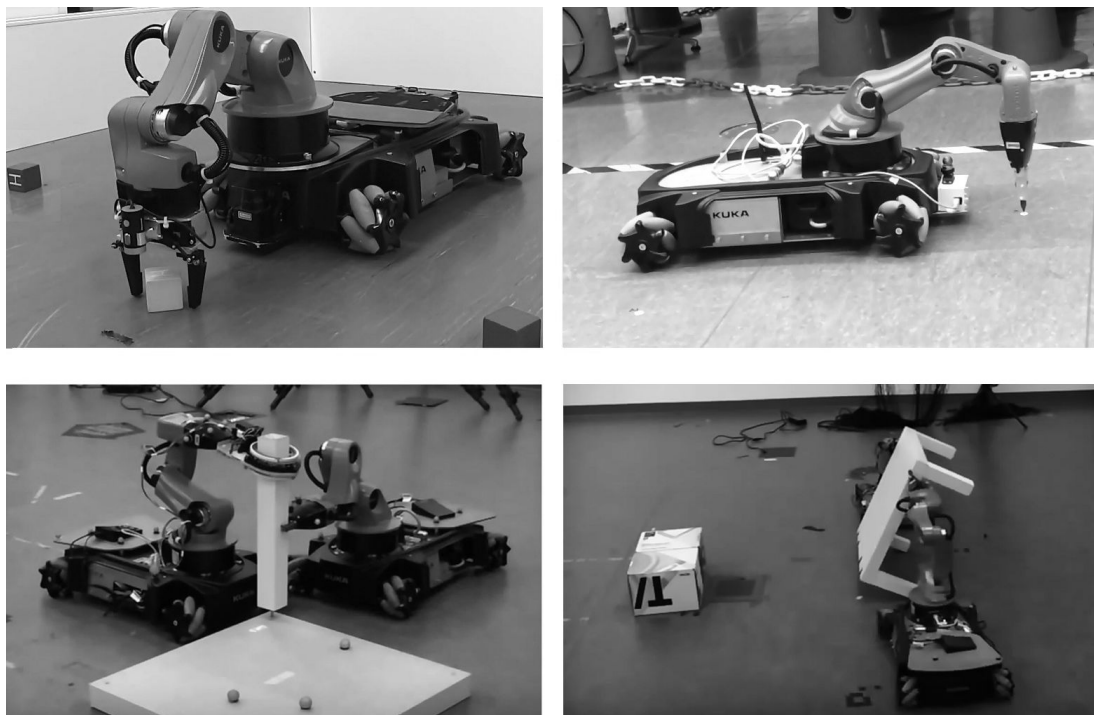
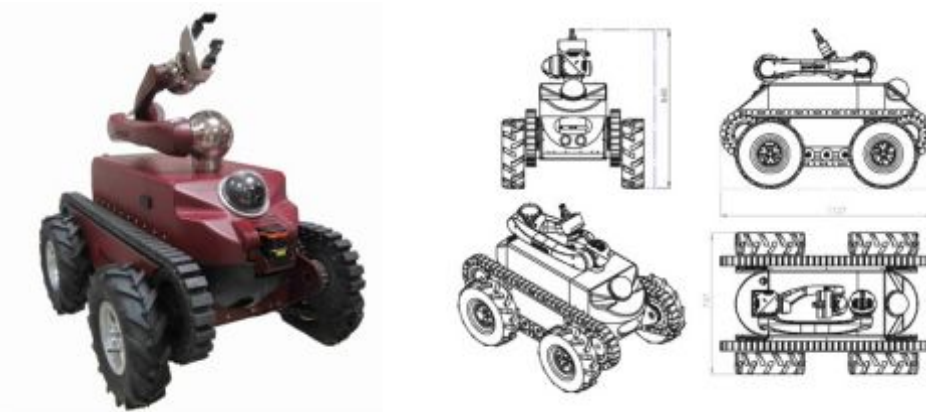


Рис. 21.4. Приклади використання мобільного робота youBot

Мобільні роботи G-Ball, G-WAM створені на основі мобільної платформи Guardian з колісним та гусеничним засобами переміщення (рис. 21.5, а), а мобільний робот X-WAM на основі всепрямованої мобільної платформи Summit X (рис. 21.5, б). На них можуть встановлюватися різні маніпулятори, що дає можливість використовувати роботи для переміщення різних об'єктів як у приміщенні так і зовні.

Ці роботи можуть виконувати як технологічні так і транспортні функції.



а)



б)

Рис. 21.5. Мобільні роботи G-Ball (а) та G-WAM (б)

Технологічні АМР мають на собі додаткове технологічне обладнання і складаються з маніпуляційної системи з технологічних оснащенням або захоплюючим пристроєм та засобів переміщення.

Прикладом такого робота може бути мобільний робот KUKA moiros (рис. 21.6) складається з мобільної платформи omniMove, консольного робота KR QUANTEC, системи керування KR C4, навігаційного програмного забезпечення та акумуляторних батарей, що забезпечують автономну роботу робота.

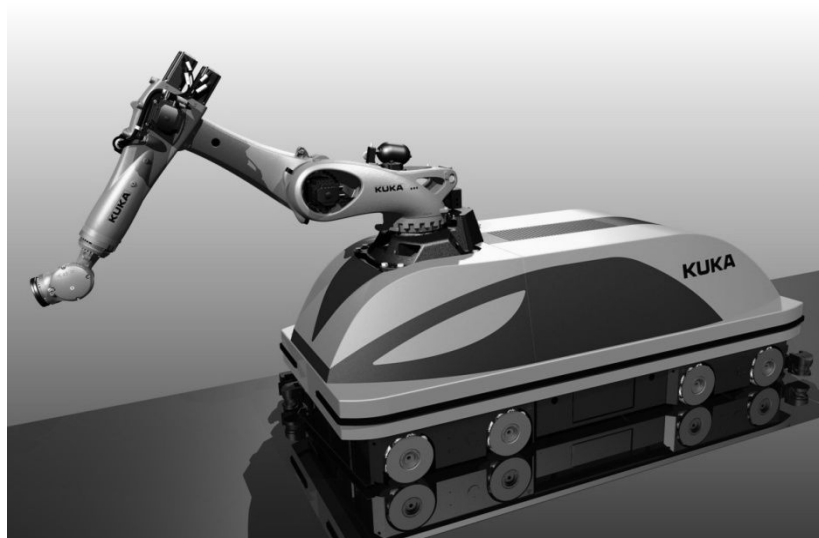


Рис. 21.6. Мобільний робот KUKA moiros

Мобільний робот KUKA moiros має такі технічні характеристики: автономне живлення складається з акумуляторних батарей ємністю 20 кВт·год, що забезпечує

безперервну роботу більше 8 годин; вертикальна робоча зона перевищує 5 м; маніпулятор може переносити об'єкти вагою до 120 кг; автономна навігація забезпечує точність позиціонування до ± 5 мм; відносне положення об'єктів здійснюється за допомогою лазерного вимірювача відстані; оточення визначає лазерний сканер; для зв'язку мобільного робота з системою керування та іншими об'єктами використовується промислова мережа W-LAN.

Цей робот можна використовувати для обробки та обслуговування досить великих об'єктів.

На рис. 21.7 наведений приклад використання мобільного робота KUKA moiros для обробки поверхні.



Рис. 21.7. Використання мобільного робота KUKA moiros для обробки поверхні

Транспортні АМР призначені для автоматизованого транспортування об'єктів та складаються з засобів переміщення вантажу (наприклад, візка) та засобів встановлення вантажу на візок (рис. 21.8).

Транспортні мобільні роботи призначені для автоматизованого транспортування об'єктів, а також для керування різними транспортними системами.



Рис. 21.8. Транспортні мобільні роботи

Транспортні мобільні роботи можуть мати набір пристроїв встановлення та зняття об'єктів, або виконувати тільки функції переміщення, при цьому використовуються додаткові пристрої навантаження та розвантаження

До транспортних роботів можна віднести також супутникову транспортну систему Dematic Multishuttle, яка мобільні роботи у вигляді візків, що переміщуються по рейкам, має додаткові візки, що забезпечують вільне переміщення супутників по території складу (рис.21.9).

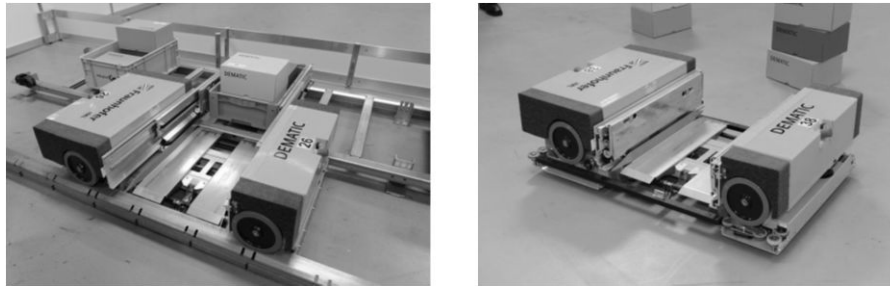


Рис. 21.9. Мобільні роботи супутникової транспортної системи Dematic Multishuttle

На рис. 21.10 наведена мобільна платформа МР-500 з довільною траєкторією переміщення.

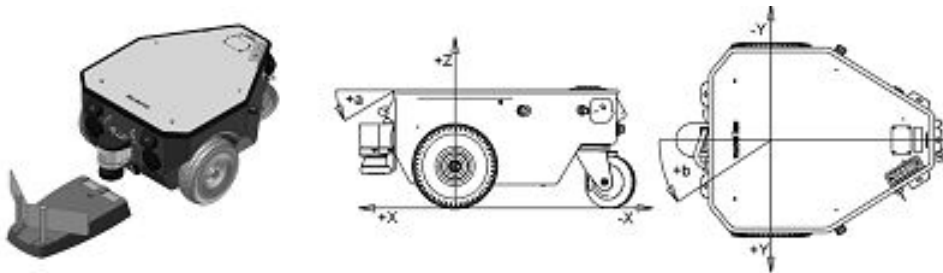


Рис. 21.10. Мобільна платформа МР-500

Цей мобільний робот був створений як компактна динамічна платформа, що може бути легко адаптована до виконання більшості промислових застосувань, в яких вона виконувати різні функції автоматичного транспорту. За потребою на ньому можна встановлювати пристрої для встановлення вантажу. На рисунку показаний пристрій для заряду акумуляторів.

За потребою МР-500 може бути адаптована до специфічних вимог замовника в залежності від того, які завдання він повинен виконувати.

Мобільна платформа МР-500 має такі технічні характеристики: вантажопідйомність: 80 кг; розміри: 814 x 592 x 361 (LxVxH); вага: ~70 кг; швидкість переміщення: <1,5 м/с;

комплект батарей: 24 В / 50 А-год; час роботи: ~ 10 годин; умонтовані датчики: лазерний

сканер Sick S300, 5 ультразвукових датчиків (за потребою); бортовий обчислювальний пристрій: Mini-ITX-System.

Мобільна платформа МРО-500 (рис. 21.11) є всепрямованим транспортним роботом, що може переміщуватися у будь-якому напрямку завдяки Mecanum-коласам. Це дозволяє реалізувати досить складні траєкторії переміщення в обмежених просторах.

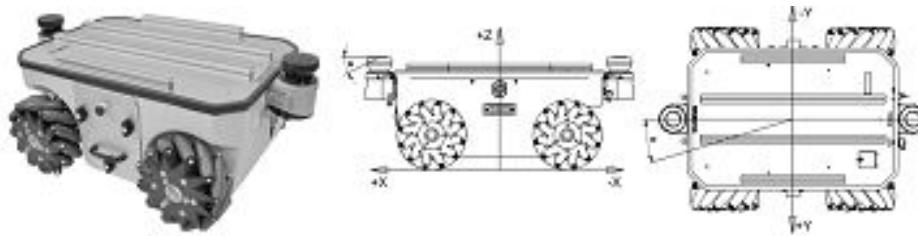


Рис. 21.11. Мобільна платформа МРО-500

Мобільна платформа МРО-500 має такі технічні характеристики: вантажопідйомність: до 150 кг; розміри: 986 x 662 x 409 (LxVxH); вага: ~80 кг; швидкість

переміщення: <0,8 м/с; комплект батарей: 24 В / 50 А·год; час роботи: ~ 10 годин, ~ 3 км;

установлені датчики: 1 – 2 лазерних сканерів Sick S300, 8 ультразвукових датчиків (за потребою); бортовий обчислювальний пристрій: Mini-ITX-System.

Спеціальні мобільні роботи можуть виконувати функції контролю та збору інформації, спостереження тощо.

Так, наприклад, мобільний патрульний робот "Трал Патруль", наведений на рис. 21.12, використовують для спостереження за допомогою відеокамер..



Рис. 21.12. Мобільний робот для спостереження "Трал Патруль"

Мобільні роботи Сервосіла "Інженер" (рис. 21.13) призначені для застосування в наступних областях:

- освіта та наукові дослідження;
- служби порятунку;
- пожежні служби;
- небезпечні виробництва;
- інженерні та експлуатаційні служби;

- експлуатація тунелів і шахт.

Мобільний робот простий у використанні і не вимагає особливих навичок або освіти для експлуатації.

Управління роботом здійснюється за допомогою окулярів віртуальної реальності і джойстика. В окуляри проектується зображення, отримане з камер робота, а джойстик використовується для управління рухом робота, а також для управління маніпулятором типу "рука".

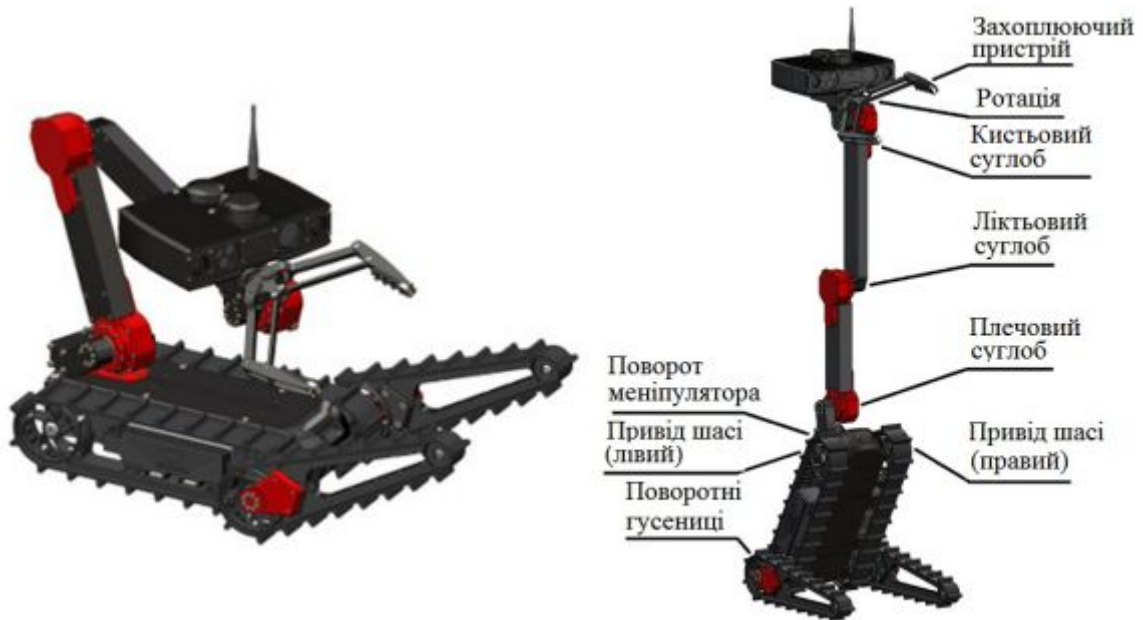


Рис. 21.13. Мобільний робот Сервосіла "Інженер"

Українська компанія ELEKS розробила безпілотний танк ET-1 (рис. 21.14), призначений для забезпечення безпеки українських солдатів. З його допомогою можна евакуювати поранених, вести розвідку в місцях, недоступних людині.



Рис. 21.14. Безпілотний танк ET-1

21.2. Структура і склад автономних мобільних роботів

Структура мобільних роботів залежить від тих задач, що вирішує робот, але незалежно від задач, що вирішуються, можна виділити такі основні компоненти структури мобільного робота (рис. 21.15).

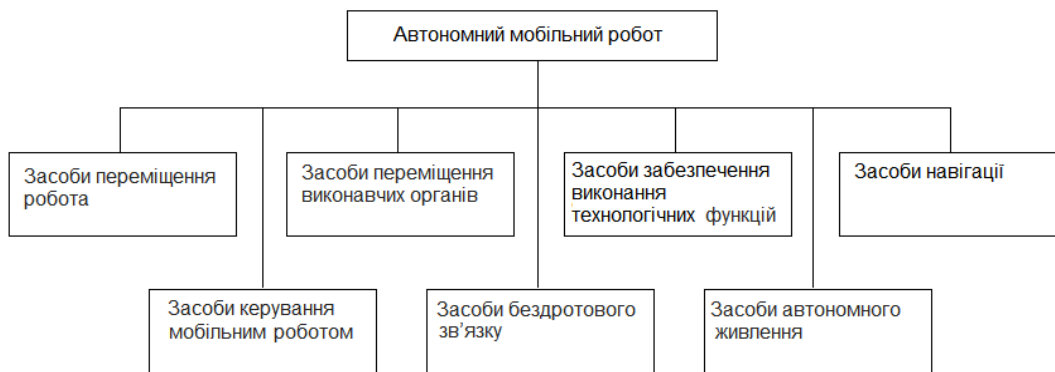


Рис. 21.15. Структура автономного мобільного робота

Засоби переміщення робота, які забезпечують переміщення мобільного робота по визначеній траєкторії або до визначеного положення (траєкторія переміщення при цьому може змінюватися згідно з обставин).

Ці засоби включають як приводи органів пересування, так і засоби навігації робота, що забезпечують переміщення робота по визначеній траєкторії.

Засоби переміщення виконавчих органів, які забезпечують їх переміщення з визначеною точністю позиціонування.

Ці засоби включають приводи переміщення виконавчих органів та засоби позиціонування.

Засоби, що забезпечують виконання технологічних функцій. До цих засобів можна віднести захоплюючі пристрої, зварювальні пристрої, пристрої для різання, фарбування тощо.

Засоби керування мобільним роботом. Ці засоби забезпечують як керування самим мобільним роботом, так і його окремими компонентами.

У залежності від складності задач, що вирішує робот, можуть використовуватися централізовані або розподілені системи керування.

Сучасні приводи та системи навігації можуть мати свої системи керування, тому потрібно забезпечити взаємодію усіх систем керування, що забезпечують роботу мобільного робота за допомогою локальних мереж зв'язку.

Засоби навігації Ці засоби забезпечують функцію орієнтування робота у тривимірному світі і функцію прокладення раціональних маршрутів для переміщення робота.

Система навігації може бути реалізована на основі системи керування з використання датчиків зовнішньої інформації або як окрема система, що працює разом з системою керування.

Засоби бездротового зв'язку. Мобільні роботи можуть працювати автономно, але завжди треба забезпечити їх зв'язок з системами керування вищого рівня або з оператором для отримання чергового завдання. Це вирішується за допомогою систем бездротового зв'язку та локальних мереж на їх основі.

Засоби автономного живлення. Важливою задачею у мобільних роботів є забезпечення її автономної роботи.

Найчастіше у мобільних роботів використовуються електроприводи, тому там потрібні автономні джерела електричного струму, наприклад, акумулятори, іоністори або сонячні батареї.

Така структура мобільного робота є досить умовною, оскільки сучасні системи керування можуть бути розподіленими, а саме, окремі компоненти можуть мати свої системи керування, які об'єднуються у загальну систему керування за допомогою локальних мереж.

У залежності від конкретного зазначення мобільного робота ця структура може

змінюватися.

Наприклад, з точки зору функціонального зазначення у сучасних маніпуляційних мобільних роботів можна відокремити керування маніпуляційною системою та системою переміщення (рис. 21.16).

При використанні простих засобів навігації ці функції може виконувати основний пристрій керування.

При застосуванні глобальної навігації може виникнути необхідність застосування спеціальних систем навігації, які мають свої досить складні системи керування та обробки інформації, таких як лазерні системи навігації, системи навігації на основі GPS, тощо.

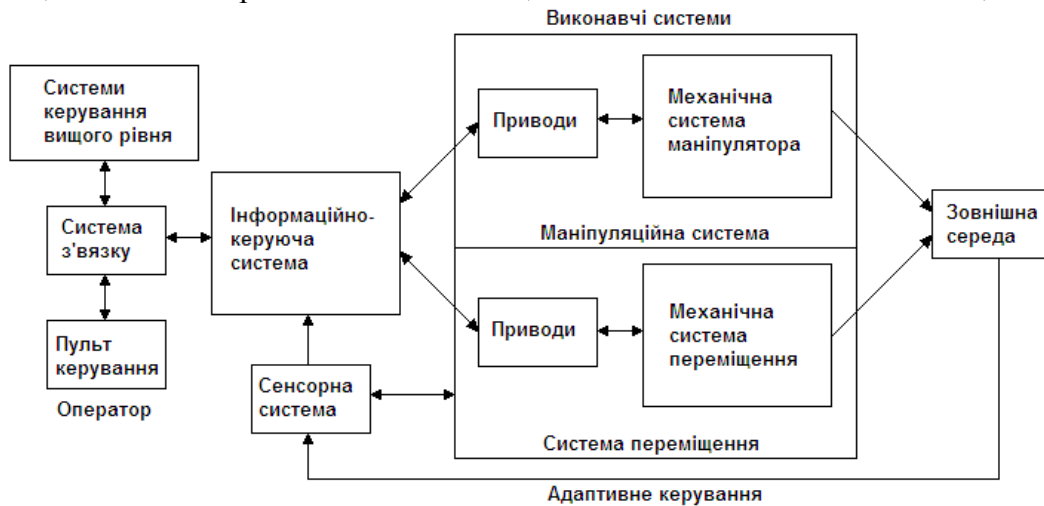


Рис. . 21.16. Функціональна схема маніпуляційного мобільного робота

Автономний мобільний робот має такі складні частини:

Виконавчі органи, до яких належать засоби переміщення самого робота (ходова частина), засоби переміщення маніпулятора та інші пристрої, за допомогою яких робот може впливати на предмети оточення (наприклад, технологічне обладнання для зварювання, нанесення фарби тощо).

Важливою задачею, яку вирішують виконавчі органи є позиціонування як самого робота так і його технологічного обладнання: маніпулятора та пристроїв для виконання потрібних технологічних операцій.

Тому за своєю структурою це можуть бути складні технічні пристрої, що мають у своєму складі сервоприводи, мехатронні частини, датчики, пристрої обробки даних та керування.

Засоби живлення є важливою частиною виконавчих пристроїв АМР, оскільки вони виконують свої функції в автономному режимі.

АМР можуть мати зовнішнє та внутрішнє живлення.

У першому випадку потрібні контактні (дротові) або безконтактні (індуктивні) засоби передачі електроенергії до робота. Недоліком таких систем живлення є можливість переміщення тільки вздовж засобів передачі електроенергії.

У другому випадку джерела енергії встановлюються на самому роботі. При використанні на відкритому повітрі це можуть бути двигуни на дизельному або бензиновому паливі або електродвигуни. У разі достатнього освітлення

Можна використовувати сонячні батареї.

У закритих приміщеннях використовуються лише електродвигуни. Для живлення двигунів у цьому разі використовують акумуляторні батареї.

В останні часи починають використовувати джерела електричного струму на основі іоністорів (супер-конденсаторів). Ємність іоністорів може мати десятки – сотні фарад при номінальній напрузі 2-4 вольт.

Недоліком іоністорів є мала енергія у порівнянні з акумуляторами, перевагою – висока швидкість заряду.

Датчики — це пристрої, які дозволяють отримати інформацію про внутрішній стан робота (наприклад, датчики положення, орієнтації, швидкості) та стан навколишнього середовища (наприклад, системи технічного зору, слуху, дотику, датчики відстаней та інші датчики зовнішньої інформації).

Система керування приймає інформацію від датчиків і на основі її обробки управляє виконавчими органами. Це реалізується **програмними засобами**.

У найпростішому випадку використовуються пристрої керування на основі однокристальних мікроконтролерів. Такі пристрої керування мають умонтовані засоби керування рухом, а саме, канали вхідних сигналів для отримання інформації з імпульсних датчиків положення та канали вихідних сигналів у вигляді широтно-імпульсної модуляції, що використовуються для керування двигунами.

Система навігації — здійснює функцію орієнтування робота у тривимірному світі і функцію прокладення раціональних маршрутів для переміщення робота. Система навігації може бути реалізована на основі системи керування з використанням датчиків зовнішньої інформації або як окрема система, що працює разом з системою керування.

Для визначення місця положення та орієнтації візка АМР застосовують різні методи навігації, починаючи від простих засобів маршрутостеження на основі індуктивних і оптичних датчиків, закінчуючи системами навігації з використанням орієнтації по маякам на основі радіо та оптичних засобів. Використовуються також засоби GPS навігації.

Розрізняють такі системи навігації: **персональні** – позиціонування окремих частин робота та визначення їх положення відносно зовнішніх предметів, що актуально для маніпуляторів, що переміщують предмети між зовнішніми об'єктами; **локальні** – визначення координат відносно деякої (за звичай стартової) точки, що актуально при переміщенні у визначених приміщеннях, наприклад, на технологічних ділянках або у складах; **глобальні** - визначення абсолютних координат робота при переміщенні за допомогою зовнішніх засобів навігації (наприклад GPS), що актуально при переміщенні по довгим маршрутам.

Системи персональної навігації засновані на використанні датчиків положення окремих частин робота та датчиків для визначення положення зовнішніх об'єктів відносно робота.

Системи локальної навігації заснована на отриманні інформації з датчиків, що знаходяться на самому роботі. До таких систем можна віднести, наприклад, системи маршрутослідкування з використанням та індуктивних датчиків, що використовують вказівники маршруту у вигляді дроту, по якому протікає струм, оптичних датчиків, що використовують вказівники маршруту у вигляді кольорових смуг, та ідентифікатори на шляху пересування робота (рис. 21.17).



Провідник як вказівник траєкторії



Оптичний датчик як вказівник траєкторії



Ідентифікатори як вказівники траєкторії

Рис. 21.17. Системи локальної навігації

Системи глобальної навігації (рис. 21.18) засновані на створенні мапи або плану місцевості, де переміщується робот та визначення положення робота на цьому плану. Ця інформація використовується для визначення траєкторії переміщення робота.



Рис. 21.18. Системи глобальної навігації

Для визначення положення робота використовують різні засоби, наприклад, лазерні системи, системи супутникової навігації GPS, системи радіоуправління.

Контрольні запитання

1. З яких основних компонент складається структура мобільного робота?
2. Як виглядає структура узагальненої машини з комп'ютерним керуванням руху?
3. Як виглядає функціональна схема маніпуляційного мобільного робота?
4. Які виконавчі пристрої використовують для переміщення робота?
5. Які датчики використовують для отримання внутрішньої та зовнішньої інформації?
6. Які засоби використовують для виконання технологічних функцій?
7. Які засоби використовують для керування мобільним роботом?
8. Які засоби використовують для навігації мобільних роботів?
9. Які засоби використовують для бездротового зв'язку?
10. Які засоби використовують для автономного живлення?

Глава 22. Колісні мобільні роботи

22.1. Основні типи колісних роботів

У мобільних колісних роботах застосовують різні поєднання ведучих, рульових, опорних та ведучих рульових коліс, що дає можливість створити як голономні, так і неголономні мобільні роботи. Як було зазначено вище, неголономні мобільні роботи для зміни напрямку руху потребують здійснити поворот, а голономні - можуть переміщуватися у будь-якому напрямку без розвороту [18].

На рис. 22.1 наведені основні типи коліс, які застосовуються у промислових мобільних роботах:

- (а) ведуче колесо (один ступень свободи), що обертається навколо колісної осі;
- (б) ведуче або опорне поворотне (рульове) колесо (два ступеня свободи), що обертається навколо колісної осі і точкою дотику з поверхнею;
- (в) поворотне (флюгерне) колесо (два ступеня свободи), що обертається навколо осі, яка зміщена відносно точки дотику з поверхнею;
- (г, д) шведське колесо (три ступені свободи), що обертається навколо (ведучої) колісної осі, навколо осей роликів і навколо точки дотику. Ролики можуть бути розміщені двома різними способами, а саме, повернені на 90° (рис. 22.1, г) і 45° (рис. 22.1, д);
- (е) кульове або сферичне колесо.

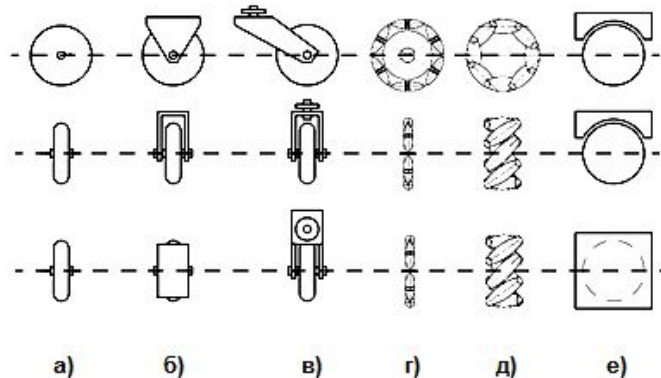


Рис. 22.1. Основні типи коліс, що застосовуються у промислових мобільних роботах

Всі ці типи коліс сильно відрізняються своєю кінематикою і тому значно впливають на всю кінематику мобільного робота.

Ведуче колесо і поворотне колесо мають основну вісь обертання і, таким чином, є строго спрямованими. Для руху в іншому напрямку, колесо має бути спочатку розгорнуто вздовж вертикальної осі. Поворотне колесо, яке обертається навколо зміщеної осі, відрізняється тим, що вихідне зусилля буде рухати шасі під час руління.

Шведське колесо (Swedish wheel, Mecanum wheel) або колесо Ілона було створено шведською компанією Mecanum AB в 1973 році. Конструкція таких коліс дозволяє обертатися на місці при мінімальній силі тертя і низькому обертальному моменті. Ці колеса дають можливість здійснювати рух у будь-якому напрямку без повороту колеса (рис. 22.2).



Рис. 22.2. Шведські колеса з роликами, що повернені на 90° і 45°

По-справжньому всепрямованим колесом, є сферичне колесо, яке сконструйоване таким чином, що воно може активно обертатися в будь-якому напрямку. Одним з механізмів реалізації такої сферичної конструкції є активні приводні ролики, які спираються на верхню поверхню сфери і передають зусилля для обертання. Недоліком таких коліс є складність технічної реалізації (рис. 22.3).



Рис. 22.3. Сферичні колеса

Надалі будемо використовувати позначення коліс, що наведені на рис. 22.4, а саме, поворотний опорний (флюгерний) колісний модуль (рис. 22.4, а), не поворотний опорний колісний модуль (рис. 22.4, б), рульовий колісний модуль (рис. 22.4, в), ведуче колесо (рис. 22.4, г), ведучий рульовий колісний модуль (рис. 22.4, д), всепрямоване ведуче колесо (рис. 22.4, е).

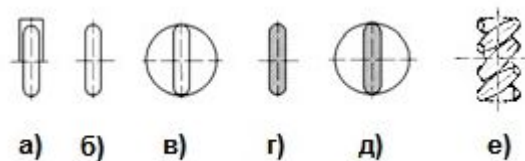


Рис 224. Позначення коліс

На рис. 22.5 наведені найбільш поширені кінематичні схеми мобільних роботів, такі як з двома ведучими колесами та рульовим колесом (рис. 22.5, а), з двома неповоротними опорними колесами та ведучим рульовим колесом - трицикл (рис. 22.5, б), з двома диференціальними ведучими колесами та поворотним опорним (флюгерним) колесом (рис. 22.5, в), з чотирма диференціальними ведучими колесами – візок з бортовим розворотом (рис. 22.5, г), з чотирма рульовими ведучими колесами (д), з чотирма всепрямованими ведучими колесами (рис. 22.5, е). Схеми (а) та (б) здійснюють поворот завдяки рульовому колесу. Схеми (в) та (г) здійснюють поворот завдяки різниці швидкості обертання коліс, що знаходяться по різних сторонах візка. Схеми (д) та (е) здійснюють всепрямоване переміщення.

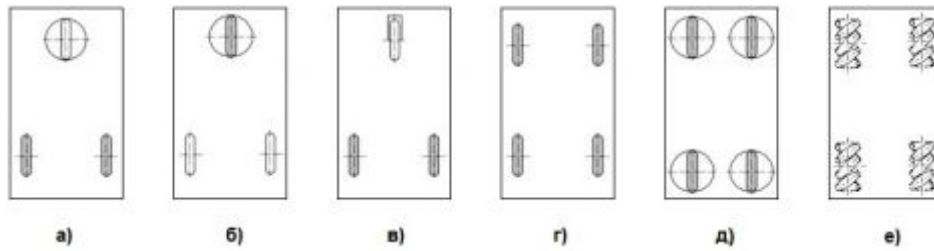


Рис. 22.5. Кінематичні схеми мобільних роботів

На рис. 22.6 наведені приклади колісних мобільних роботів, а саме, навантажувач с приводом типа трицикл (рис. 22.,6,а), навантажувач с диференційним приводом (рис. 10.6,в), мобільний робот з чотирма всеспрямованими ведучими колесами (рис. 22..6, с).



Рис. 22.6. Приклади колісних мобільних роботів

Кінематична модель трициклу (рис. 22.5, б). Такий тип триколісного роботів має два неповоротних опорних колеса та ведуче (приводне) рульове колесо з двома моторами — один для руху, інший для руління.

Переміщення по прямій здійснюється, коли рульове колесо знаходиться у тому ж напрямку, як і опорні колеса (рис. 22.7). Якщо швидкість переміщення робота V , то за час Δt відстань, яка буде пройдена приводним колесом, дорівнює $l = V\Delta t$.

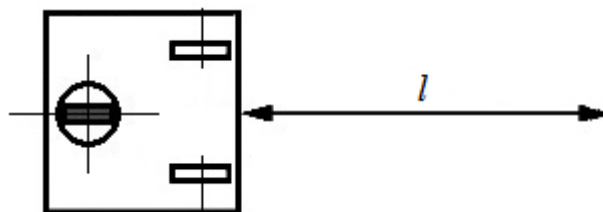


Рис. 22.7. Прямий рух триколісного робота

Розглянемо коловий рух триколісного робота (рис. 22.8).

За умови, що відсутня бічна пробуксовка коліс, пересічемо осі передніх і задніх коліс, щоб сформувати прямокутний трикутник, і в результаті отримаємо:

$$R = \frac{L}{\tan s} \quad (22.1)$$

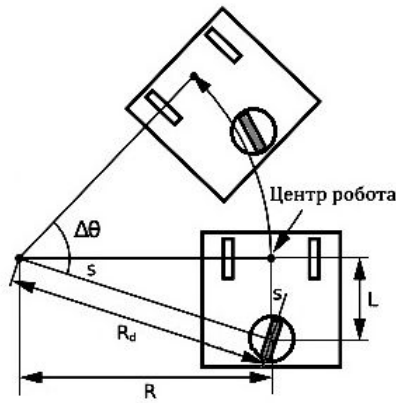


Рис. 22.8. Коловий рух триколісного робота

Визначимо радіус траєкторії, яку описує заднє рульове колесо:

$$R_d = \frac{L}{\sin s} \quad (22.2)$$

За час Δt відстань уздовж цієї дуги кола, яка буде пройдена приводним колесом, дорівнює $l = V\Delta t$, тому кут $\Delta\theta$, на який повернеться робот буде дорівнювати:

$$\Delta\theta = \frac{V\Delta t}{R_d} = \frac{V\Delta t \sin s}{L} = \frac{l \sin s}{L} \quad (22.3)$$

Для зменшення площі, що потрібна для розвороту робота доцільно здійснювати розворот з мінімальним радіусом. У цьому випадку рульове колесо повернено на 90° ($s = \pi/2$), а $R = R_d = L$ (рис. 22.9).

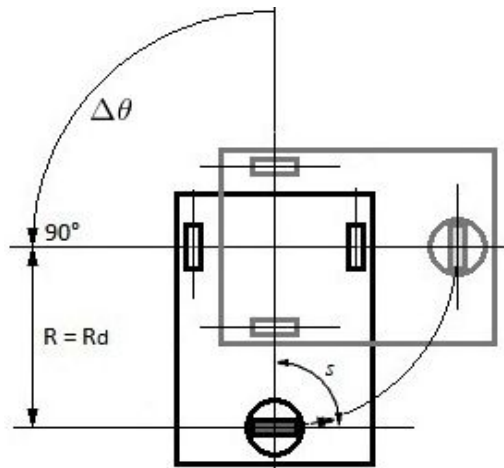


Рис. 22.9. Розворот з мінімальним радіусом

Кут $\Delta\theta$ (в радіанах), на який повернеться робот у цьому випадку буде дорівнювати:

$$\Delta\theta = \frac{V\Delta t}{L} = \frac{l}{L} \quad (22.4)$$

Таким чином, для повороту на кут $\Delta\theta$ заднє рульове колесо повинно пройти шлях l , що дорівнює $L \Delta\theta$.

Для повороту робота на 90° ($\Delta\theta = \pi/2$) заднє рульове колесо повинно пройти шлях l , що дорівнює

$$l = \frac{L\pi}{2} \quad (22.5)$$

Кінематична модель робота з диференційним приводом має два мотора, по одному на кожне колесо (рис. 22.10). Зміна напрямку руху здійснюється за рахунок різних швидкостей коліс. Крім того на траєкторію переміщення впливає відстань між колесами W .

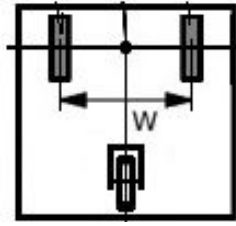


Рис. 22.10. Робот з диференційним приводом

Для прямолінійного руху колеса повинні обертатися з однаковими швидкостями. Для того, щоб робот розвернувся на місці, необхідно встановити швидкості однаковими по модулю, але спрямованими протилежно.

Інші комбінації швидкостей призводять до руху по дузі (рис. 22.11).

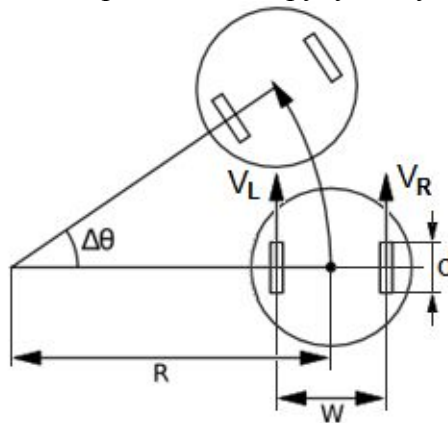


Рис. 22.11. Рух по дузі

Позначимо швидкості коліс (лінійні швидкості з якими вони переміщуються по поверхні) V_L та V_R , відповідно, для лівого і правого коліс і W відстань між колесами.

Прямолінійний рух, якщо $V_L = V_R$.

Розворот на місці, якщо $V_L = -V_R$.

Для того, щоб знайти радіус R переміщення по дузі розглянемо час переміщення Δt , протягом якого робот переміщується вздовж дузі кола на кут $\Delta\theta$.

При цьому:

радіус дузі лівого колеса дорівнює $R - W/2$, тому воно пройде шлях

$$l_L = V_L \Delta t = (R - W/2) \Delta\theta; \quad (22.6)$$

радіус дузі правого колеса дорівнює $R + W/2$, тому воно пройде шлях

$$l_R = V_R \Delta t = (R + W/2) \Delta\theta; \quad (22.7)$$

Дуга переміщення робота та обидві колісні дузі мають в основі один і той же кут $\Delta\theta$

$$\Delta\theta = \frac{V_L \Delta t}{R - \frac{W}{2}} = \frac{V_R \Delta t}{R + \frac{W}{2}} \quad (22.8)$$

Тому радіус дузі R , кут повороту $\Delta\theta$, швидкості переміщення лівого та правого коліс V_L, V_R та відстань між колесами W пов'язані такими залежностями

$$R = \frac{W(V_R + V_L)}{2(V_R - V_L)} \quad (22.9)$$

$$\Delta\theta = \frac{(V_R - V_L)\Delta t}{W} = \frac{l_R - l_L}{W} \quad (22.10)$$

Для переміщення по дузі з радіусом R (поворот наліво) швидкості переміщення коліс V_R та V_L пов'язані такою залежністю

$$V_R = V_L \frac{2R + W}{2R - W} \quad (22.11)$$

Таким чином, для переміщення по дузі з радіусом R незалежно від швидкості переміщення робота треба забезпечити таке відношення між швидкостями переміщення коліс V_R та V_L

$$\frac{V_R}{V_L} = \frac{2R + W}{2R - W} \quad (22.12)$$

22.2. Приводи колісних роботів

Для колісних та гусеничних рушіїв мобільних роботів найчастіше використовують регульовані електроприводи, які реалізуються на основі двигунів постійного струму, крокових двигунів та двигунів змінного струму. При цьому треба мати на увазі, що на мобільних роботах найчастіше встановлюють джерела постійного струму (акумулятори, іоністори або сонячні батареї) з напругою 12 В та 24 В.

Електродвигуни постійного струму.

Використання двигунів постійного струму в мобільних роботах пояснюється такими якостями, як високий пусковий, гальмівний та перевантажувальний моменти, порівняно висока швидкодія, що важливо при реверсуванні і гальмуванні, можливість широкого і плавного регулювання частоти обертання шляхом зміни напруги живлення.

Для вибору електродвигуна постійного струму для колісного робота необхідні такі вихідні дані: маса робота, крутний момент, швидкість, потужність.

Також необхідно підібрати діаметр коліс і визначити правильне передавальне число зубчастої передачі для розрахунку швидкості його руху.

Для того, щоб робот міг рухатися, необхідно, щоб крутний момент двигуна перевищував вагу робота (який виражається у Н / м).

Маса робота дорівнює m (кг), максимальна швидкість його переміщення v (м/с) при радіусі колеса рівному r (м).

При переміщенні по прямій на відстань d розрахуємо прискорення, необхідне для досягнення швидкості v .

Виходячи з того, що при розгоні кінцева швидкість визначається як

$$v^2 = v_0^2 + 2ad \quad (22.13)$$

де, d — відстань, яку пройшов робот, v_0 — його початкова швидкість (при старті з місця, $v_0 = 0$), v — швидкість робота, a — прискорення, отримаємо

$$a = \frac{v^2 + v_0^2}{2d}, \quad \text{або} \quad a = \frac{v^2}{2d} \quad \text{при } v_0 = 0 \quad (22.14)$$

Крутний момент, який необхідний для переміщення робота та отримання ним прискорення, необхідного для досягнення максимальної швидкості розраховується наступним чином:

$$M = J\varepsilon. \quad (22.15)$$

При рівномірному русі прискорення візка мобільного робота a і кутове прискорення колеса ε дорівнюють нулю. Крутний момент в цьому випадку строює тягове зусилля $F_{\text{тяги}} = M_k / R$ для подолання зусилля супротив руху візка. Але при прискоренні $a > 0$, зокрема розгону мобільного робота масою m_p , необхідно забезпечити кутовим прискоренням $\varepsilon = a/R$ колеса з моментом інерції J_k . Тому для розрахунку моменту необхідно врахувати і рух візка і забезпечення прискорення коліс.

Використовуючи принцип суперпозиції (рух колеса це сума двох рухів: прямолінійного разом із візком, та обертання навколо своєї осі), отримаємо.

Загальна формула крутного моменту:

$$M_k = n_{\text{прив}} F_{\text{тяги}} R + n J_k \varepsilon \quad (22.16)$$

або

$$M_k = n_{\text{прив}} m_p a R + n m_k R a \quad (22.17)$$

де $n_{\text{прив}}$ – кількість приводних (ведучих) коліс МР,
 n – загальна кількість коліс;
 R – радіус колеса, для обраних коліс;
 m_k – маса одного колеса, для обраних коліс.

Потужність двигуна $P_{\text{дв}}$ з урахуванням коефіцієнта корисної дії η та залежності між кутовою швидкістю ω та швидкістю переміщення v ($\omega = v / R$) дорівнює:

$$P_{\text{дв}} = \frac{M_k \omega}{\eta} = \frac{M_k v}{\eta R} \quad (22.18)$$

Регулювання швидкістю обертання здійснюється шляхом зміни напруги живлення. Сучасні системи використовують для цього широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ).

Оскільки двигуни постійного струму мають велику швидкість обертання та малий крутний момент, використовують різні редуктори, які часто є складною частиною двигуна (рис. 22.14).



планетарний мотор-редуктор

плоский циліндричний мотор-редуктор

черв'ячний мотор-редуктор

черв'ячний мотор-редуктор

Рис. 22.14. Двигуни з редукторами

Передаточне число таких мотор-редукторів може знаходитись у досить великих межах, що дає можливість вибрати двигуни з потрібною швидкістю обертання та крутним моментом. Наприклад мотор-редуктори постійного струму IG-32RGM з реверсивним колекторним двигуном потужністю 8 Вт та редуктором з планетарною та конічною передачею (рис. 22.15) мають такі характеристики (табл. 22.1). За потребою на двигуни встановлюють електромагнітне гальмо та датчик кута обертання на основі датчика Хола чи оптичного растрового датчика, що дозволяє вирішувати задачі одометрії.

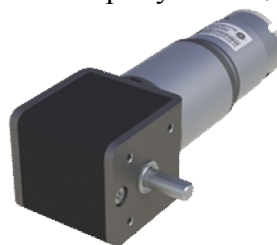


Рис. 22.15. Мотор-редуктор постійного струму IG-32RGM

Табл. 22.1.

Характеристики мотор-редукторів постійного струму IG-32RGM

Передат. число	1/5	1/14	1/19	1/27	1/35	1/51	1/71	1/100	1/139	1/189	1/264	1/516	1/721	1/939
Живлення 12В (03 Тип)														

Момент, кгс*см	0.4	0.9	1.2	1.7	2.3	2.8	3.9	5.4	7.6	8.3	11.6	12	12	12
Швидкість, об/хв.	1140	430	310	220	170	116	83	60	43	31.5	23.5	13	9.6	7.2
Живлення 24В (04 Тип)														
Момент, кгс*см	0.47	1.1	1.5	2.1	2.7	3.3	4.6	6.4	9	9.8	12	12	12	12
Швидкість, об/хв.	1170	445	320	229	176	120	87	62	44.5	34	25	13	9.8	7.2

Фірми, що випускають обладнання для мобільних роботів, мають зазвичай сервоприводи постійного струму з умонтованими системами керування швидкістю обертання та визначення куту обертання (засобів одометрії).

Високу точність позиціонування без датчиків зворотного зв'язку (швидкості або положення) можна здійснити за допомогою крокових двигунів.

Принцип роботи крокового двигуна заснований на використанні такої конструкції, при якій один вхідний імпульс повертає ротор на визначений кут. Імпульси поступають послідовно на різні обмотки, що забезпечує обертання з постійною швидкістю.

Швидке зростання кількості модифікацій мобільних роботів привело до появи універсальних модулів, на основі котрих будуються сучасні мобільні роботи.

Так модуль повороту та переміщення Omni-Drive-Module Neobotix є інтегрований модуль, який включає в себе ведуче колесо, яке може додатково обертати і орієнтувати навколо своєї вертикальної осі. Транспортний засіб з такими модулями може бути всеспрямованим, але при цьому колеса повинні повертатися синхронно (рис. 22.18).

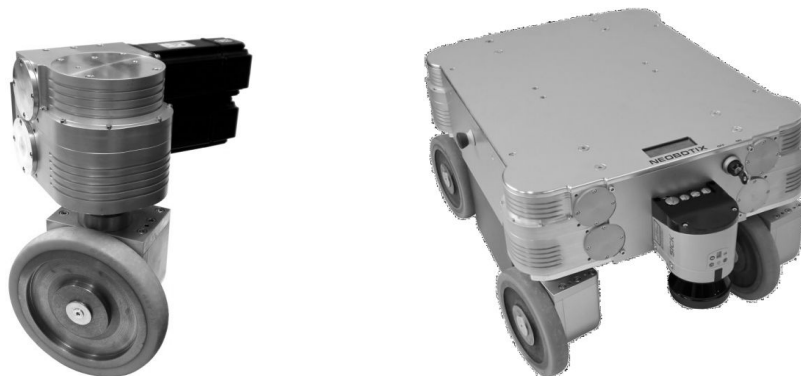


Рис. 22.18. Двовісний модуль повороту та переміщення Omni-Drive-Module Neobotix та мобільний робот MPO-700

Двовісні модулі вже використовуються на мобільних роботах, таких як, наприклад, Omni-directional robot MPO-700.

Завдання до лабораторної роботи

Скласти алгоритм та програму, що забезпечує переміщення колісного мобільного робота з диференціальним приводом на основі крокового двигуна по вказаним маршрутам.

Приводи мають такі параметри;

діаметр коліс – 45 мм;

відстань між колесами – 108 мм;

одне обертання колеса – 2048 кроків.

Варіант 1. Переміщення по прямій лінії вперед на 10 см, розворот на 45° правим колесом, переміщення по прямій лінії вперед на 10 см, розворот на 45° лівим колесом.

Варіант 2. Переміщення по прямій лінії вперед на 20 см, розворот на 90° правим колесом, переміщення по прямій лінії вперед на 10 см, розворот на 90° лівим колесом.

Варіант 3. Переміщення по прямій лінії вперед на 15 см, розворот на 45° правим колесом, переміщення по прямій лінії вперед на 10 см, розворот на 90° лівим колесом.

Варіант 4. Переміщення по прямій лінії вперед на 20 см, розворот на 45° лівим колесом, переміщення по прямій лінії вперед на 15 см, розворот на 45° правим колесом.

Варіант 5. Переміщення по прямій лінії вперед на 5 см, розворот на 30° правим колесом, переміщення по прямій лінії вперед на 25 см, розворот на 960° лівим колесом.

Приклад розв'язання задач з теми заняття

Приклад програми наведений у додатку 2.

Контрольні запитання

1. Які основні типи коліс, що застосовуються у промислових мобільних роботах?
2. Які кінематичні схеми мобільних роботів здійснюють всеспрямоване переміщення?
3. Як описати прямолінійний рух триколісного робота?
4. Як описати коловий рух триколісного робота?
5. Як описати розворот з мінімальним радіусом для триколісного робота?
6. Як описати прямолінійний рух робота з диференційним приводом?
7. Як описати коловий рух робота з диференційним приводом?
8. Як описати розворот на місці робота з диференційним приводом?
9. Які двигуни найчастіше використовують для мобільних роботів?
10. Які функції виконують мотор-редуктори?

Глава 23. Основні принципи проектування гусеничних мобільних роботів

22.1. Принципи проектування траєкторій переміщення гусеничних роботів

Процес повороту гусеничного транспортного засобу за характером взаємодії рушія з опорною поверхнею принципово відрізняється від процесу повороту колісного транспортного засобу [18].

Конструкція ходової частини гусеничного транспортного засобу виключає можливість його кінематичного повороту за рахунок одного лише перекошування опорних катків по гусениці. Опорні гілки гусениць, навантажені вагою транспортного засобу, отримують при повороті бічне переміщення по поверхні, долаючи вельми значні додаткові опору від сил тертя гусениць по поверхні і сил опору зрізу і загірбання ґрунту гусеницями. У результаті різко зростають опір руху гусеничного транспортного засобу при повороті і навантаження на його двигун.

Поворот гусеничного транспортного засобу здійснюється шляхом зміни швидкості перемотування гусениць. Поворот відбувається при відключенні від трансмісії тієї гусениці, в бік якої треба повернути транспортний засіб. Якщо треба зробити крутий поворот, відключену гусеницю пригальмовують і транспортний засіб повертається на місці.

Позначимо гусеницю з меншою швидкістю, гусениця, що відстає і надамо їй індекс 1, а гусеницю з більшою швидкістю - гусениця, що забігає і надамо їй індекс 2 (рис. 23.1).

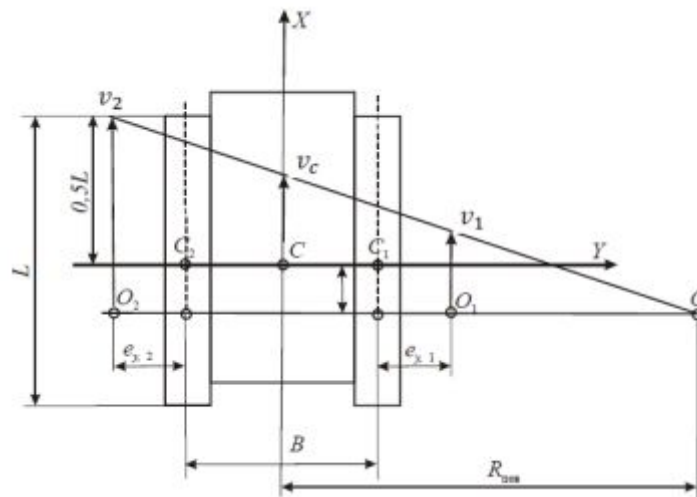


Рис. 23.1. Схема повороту гусеничного транспортного засобу

Транспортний засіб повертається щодо миттєвого центру повороту O . Центр повороту завжди лежить на лінії, перпендикулярній до поздовжньої площини транспортного засобу. При повороті транспортного засобу опорна гілка гусениці утворює з поверхнею неплоску фрикційну пару. Для спрощення явищ, що відбуваються при повороті, будемо вважати цю пару плоскою.

Гусениці при повороті пробуксовують або прослизують відносно поверхні. Тому на кожній площині фрикційної пари існує єдина точка, в якій відсутній ковзання або буксування. Положення кожної такої точки називається полюсом обертання гусениці.

Полюси обертання визначають кінематичний зв'язок між поверхнями, що труться, і діючими на них силами. При буксуванні і ковзанні гусениць відносно поверхні полюси обертання O_1 і O_2 (рис. 1) не збігаються з геометричними центрами гусениць C_1 і C_2 , а зміщуються на деякі відстані. Проекції цих відстаней на координатні осі X і Y називаються **ексцентриситетами полюсів обертання** ($e_x, e_{y,1}, e_{y,2}$). Вісь X системи координат збігається з напрямком поздовжньої осі симетрії машини, а вісь Y - перпендикулярна поздовжній осі транспортного засобу.

Точки O, O_1 і O_2 завжди лежать на одній прямій, перпендикулярній до поздовжньої площини транспортного засобу. Лінія, що з'єднує ці точки, називається **лінією центрів повороту**. У загальному випадку вона з'єднує центри тиску гусениць на поверхню і не збігається з поперечною віссю $C - X$, що проходить через середини опорних поверхонь гусениць.

Поворот гусеничного транспортного засобу характеризується також кутовою швидкістю повороту остова транспортного засобу ω_T і радіусом повороту $R_{пов}$. Радіус повороту $R_{пов}$ дорівнює відстані від центру повороту O до поздовжньої площини симетрії транспортного засобу. Кутову швидкість повороту транспортного засобу можна визначити формулою:

$$\omega_T = \frac{v_2 - v_1}{e_{y,2} + B + e_{y,1}}. \quad (23.1)$$

Довжина опорної гілки, що дорівнює відстані L між осями крайніх опорних катків, називається поздовжньою базою гусеничного транспортного засобу. Для спрощення аналізу явищ, що відбуваються при повороті, можна припустити, що поздовжня база транспортного засобу дорівнює довжині опорної поверхні гусениць.

У загальному випадку руху транспортного засобу по площині, що деформується, опорна гілка гусениці завжди більше поздовжньої бази транспортного засобу.

Відношення поздовжньої бази до поперечної бази B називається відносною опорною базою, яка є важливим геометричним параметром, що характеризує поворот гусеничного транспортного засобу.

Розглянемо спочатку спрощену схему повороту гусеничного транспортного засобу без буксування і ковзання гусениць. У цьому випадку миттєвий центр повороту O буде розташовуватися на поперечній осі, що проходить через центр мас (рис. 23.2).

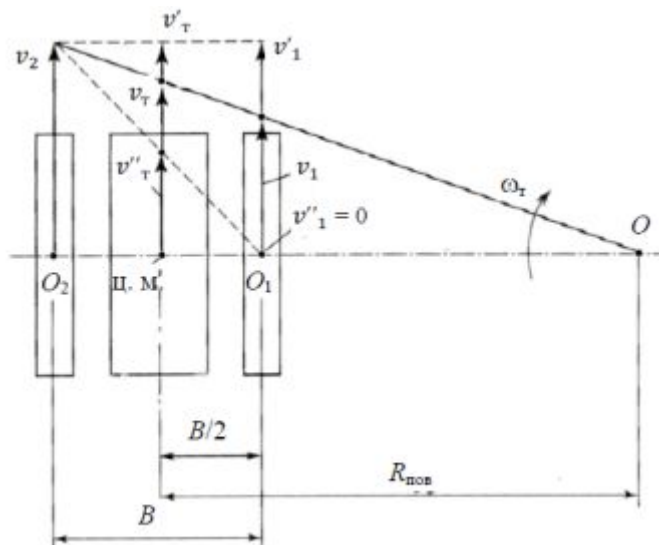


Рис. 23.2. План швидкостей при повороті гусеничного транспортного засобу з радіусом $R_{пов} > B/2$

При прямолінійному русі транспортного засобу швидкість його центру має дорівнює v'_T . З такою ж швидкістю рухаються права і ліва гусениці ($v_2 = v'_1 = v'_T$). Для здійснення правого повороту швидкість правої гусениці необхідно зменшити до значення v_1 . Швидкість лівої гусениці залишимо без змін. З'єднуючи кінці векторів швидкостей v_2 і v_1 прямою лінією на перетині її з поперечною віссю транспортного засобу $O_2 - O_1$ знаходимо миттєвий центр повороту O .

У точці O поступальна швидкість трактора дорівнює нулю. Щодо цієї точки трактор робить поворот по дузі кола з радіусом $R_{пов}$. Таким чином, рух гусениць транспортного засобу на повороті складається з двох рухів:

поступального руху зі швидкостями v_2 і v_1 , відповідно, гусениць, що забігають і відстають;

обертального руху цих гусениць навколо полюсів повороту O_2 і O_1 з кутовою швидкістю ω_T .

З подоби трикутників на плані швидкостей (рис. 4.2) знаходимо:

$$\frac{v_T}{R_{пов}} = \frac{v_2 - v_1}{B} \quad (23.2)$$

Оскільки швидкість центру має транспортного засобу $v_T = (v_2 + v_1)/2$, то після її підстановки в формулу (4.2), отримаємо

$$R_{пов} = \frac{B(v_2 + v_1)}{2(v_2 - v_1)} \quad (23.3)$$

Розглянемо кінематику повороту при буксуванні гусениць.

Радіус повороту транспортного засобу $R_{пов}$, що визначається по формулі (23.3), враховує лише теоретичні швидкості гусениць, що забігають v_2 і відстають v_1 (рис. 23.3).

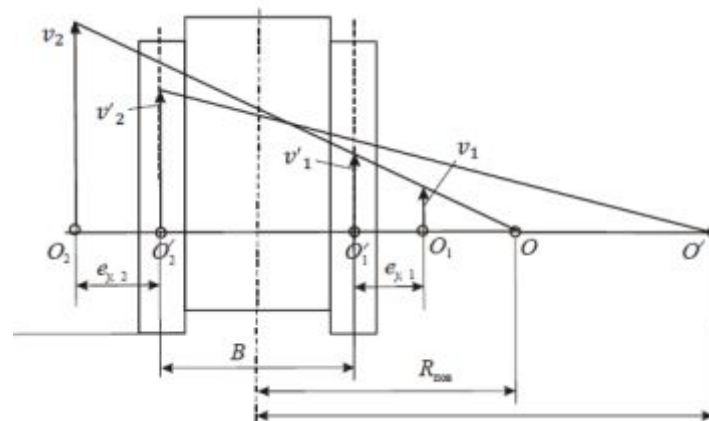


Рис. 23.3. Схема визначення радіуса повороту гусеничного транспортного засобу з урахуванням буксування гусениць

З'єднуючи кінці векторів швидкостей v_2 і v_1 прямою лінією, знаходимо миттєвий центр повороту транспортного засобу (точку O) на перетині цієї прямої з лінією центрів повороту $O_2 - O_1$.

Дійсні швидкості руху гусениць відрізняються від теоретичних внаслідок буксування і ковзання гусениць при русі транспортного засобу. Забігати гусениця, як правило, рухається з буксуванням, тому її реальна швидкість $v'_2 = v_2 (1 - \delta_2)$, де δ_2 – її коефіцієнт буксування.

При гальмуванні ведучого колеса відстаючої гусениці вона зазвичай починає прослизати щодо опорної поверхні, тому її швидкість зростає: $v'_1 = v_1 (1 + s)$, де s – коефіцієнт ковзання відстаючої гусениці.

Проводячи пряму лінію через кінці векторів реальних швидкостей v'_2 і v'_1 (рис. 4.5), отримуємо нове положення миттєвого центру повороту (точку O'). На рис. 4.5 видно, що буксування і проковзування гусениць призводить до збільшення радіуса повороту. Величину реального радіуса повороту $R_{\text{пов}} = R'_{\text{пов}}$ можна оцінити, замінивши у формулі (3) теоретичні швидкості v_2 і v_1 їх реальними значеннями можна $v'_2 = v_2 (1 - \delta_2)$ і $v'_1 = v_1 (1 + s)$:

$$R_{\text{пов}} = R'_{\text{пов}} = \frac{B}{2} \frac{v'_2 + v'_1}{v'_2 - v'_1} = \frac{B}{2} \frac{v_2 + v_1 - (v_2 \delta_2 - v_1 s)}{v_2 - v_1 - (v_2 \delta_2 + v_1 s)} \quad (23.4)$$

Оскільки $(v_2 \delta_2 + v_1 s) > (v_2 \delta_2 - v_1 s)$, то порівняння формул (3) і (4) показує, що $R_{\text{пов}} < R'_{\text{пов}}$.

У реальних умовах експлуатації можливі випадки руху транспортного засобу, коли відстаюча гусениця також рухається з буксуванням. Тоді її реальна швидкість стає менше теоретичної: $v'_1 = v_1 (1 - \delta_1)$, де δ_1 – коефіцієнт буксування відстаючої гусениці.

Вводячи в формулі (4) заміну: $\delta_1 = -s$, отримаємо:

$$R_{\text{пов}} = R''_{\text{пов}} = \frac{B}{2} \frac{v_2 + v_1 - (v_2 \delta_2 + v_1 \delta_1)}{v_2 - v_1 - (v_2 \delta_2 - v_1 \delta_1)} \quad (23.5)$$

Оскільки $(v_2 \delta_2 + v_1 \delta_1) > (v_2 \delta_2 - v_1 \delta_1)$, то $R''_{\text{пов}} < R_{\text{пов}}$. Отже, буксування відстаючої гусениці призводить до зменшення радіуса повороту транспортного засобу.

23.2. Приводи гусеничних роботів

Мобільний робот з гусеничним рушієм переміщається за рахунок сил тертя, що виникають між опорною поверхнею (грунтом) і гусеничним рушієм робота.

Гусеничний рушій складається з ведучого (тягового) колеса, відомих (опорних та підтримуючих) котків, гусениці та корпусу (рис. 23.4). Ведучий коток, з'єднаний за допомогою редуктора з двигуном, створює тягове зусилля за рахунок перемотування гусениць.

Велика площа дотику гусениць з грунтом дозволяє забезпечити низький середній тиск на грунт, завдяки чому досить відчутно зменшується занурення гусеничного рушія в грунт.



Рис. 23.4. Гусеничний рушій

Залежно від конфігурації гусеничного рушія можна також виділити кілька основних типів (табл. 23.1).

Найбільш типовими для гусеничних мобільних роботів є конструкції 1 і 2. Підвіски 4 і 6 застосовуються у випадках, коли необхідно забезпечити високу вантажопідйомність. Конструкції 3 і 5 відрізняються високою надійністю.

Робот, побудований за схемою 7 призначені для рішення особливих завдань, таких, як наприклад рух по замкнутому профілю труби, або подолання значних перешкод. На рис. 23.5 наведені приклади гусеничних мобільних роботів.



Рис. 23.5. Приклади гусеничних мобільних роботів

Таблиця 23.1.

Різні конфігурації рушіїв гусеничних систем.

	Назва	Опис	Схема
1	Проста	Містить два опорних катка, один або два з яких є провідними	
2	Двосекційна	Містить два опорні катка, один або два з яких є провідними і один додатковий каток, який може міняти положення щодо двох інших	
3	З одним натяжним катком, винесеним вперед	Містить два опорних катка та один натяжний каток, розташований в передній частині шасі	
4	З двома натяжними катками	Містить два опорних катка та два натяжних катка	
5	З одним натяжним катком (зворотна)	Містить два опорних катка та один натяжний каток, розташований в середній частині шасі	
6	З кількома опорними і натяжними катками	Має кілька опорних і кілька натяжних катків	
7	Зі складною структурою	Підвіска складається з декількох гусениць, спеціальним чином розташованих у просторі, що забезпечує можливість руху по поверхнях незвичайної конфігурації (круглі, нерівні поверхні)	

Рух гусеничного мобільного робота (рис. 23.6, г) схожий на рух колісних роботів з диференціальним приводом (рис. 23.6, а) та роботів з бортовим розворотом (чотирьохколісний та шестиколісний приводи), коли здійснюється регулювання швидкості одночасно для усіх коліс з одного боку (рис. 23.6, б, в).

Різниця полягає в тому, що для гусеничних та багатоколісних роботів (рис. 23.6, б, в, г) треба знайти миттєвий центр обертання (Instantaneous Center of Rotation - ICR), який визначає ось повороту робота в залежності від розподілення навантаження на гусеницю або колеса.

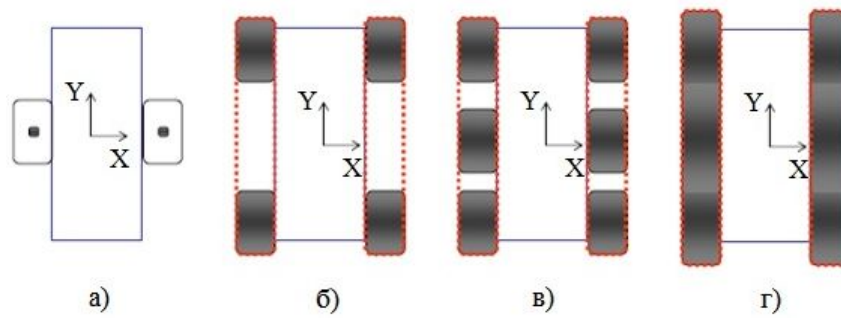


Рис. 23.6. Колісні та гусеничний мобільні роботи

Контрольні запитання

1. Які основні типи конфігурації гусеничного рушія, що застосовуються у промислових мобільних роботах?
2. Які конструкції гусеничних рушіїв є найбільш типовими для гусеничних мобільних роботів?
3. У чому полягає відмінність гусеничного та багатоколісного роботів від роботів з диференціальним приводом?
4. Як описати прямолінійний рух гусеничного робота?
5. Як описати коловий рух гусеничного робота?
6. Як описати розворот з мінімальним радіусом для гусеничного робота?
7. Як визначається миттєвий центр повороту?
8. Як знайти реальний радіус колового руху гусеничного робота?
9. Як описати розворот на місці гусеничного робота?
10. Чим відрізняється рух колісних роботів з диференціальним приводом та гусеничних роботів?

Глава 24. Основні принципи проектування крокуючих мобільних роботів

24.1. Принципи проектування траєкторій переміщення крокуючих роботів

Мобільний робот з двома ногами найчастіше використовується для створення людиноподібних роботів, тому їх рухи повторюють рухи людини [18].

Мобільні роботи з чотирма, шістьма та вісьмома ногами найчастіше використовується для створення твариноподібних роботів, тому їх рухи повторюють рухи тварин та комах.

Розглянемо кінематичну модель крокуючих роботів та вимоги до систем керування на прикладі роботів з двома та шістьма ногами.

Роботи з двома ногами, як вже було вказано, найчастіше виконують функції людиноподібних роботів.

Людина здатна до руху в трьох площинах: фронтальній, сагітальній і горизонтальній, тому розрізняють три осі тіла: сагітальну, вертикальну і фронтальну. Назвам осей відповідає назва площин: сагітальна, фронтальна і горизонтальна (поперечна) площині (рис. 24.1).

Розрізняють такі рухи:

- нахил вперед - назад, рух у сагітальній площині;
- нахил вправо - вліво, рух у фронтальній площині;
- поворот вправо – вліво, рух у поперечній площині.

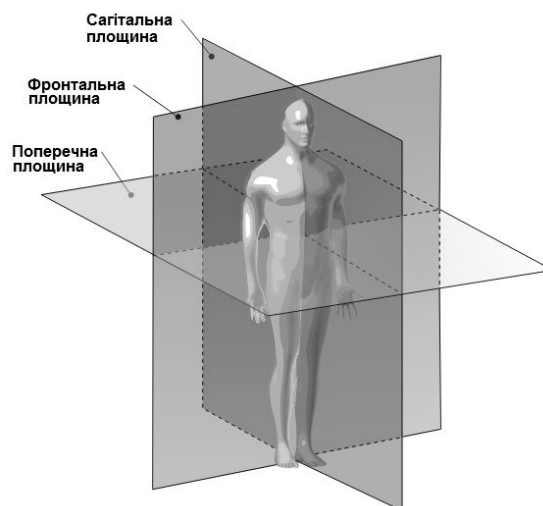


Рис. 24.1. Сагітальна, фронтальна і поперечна площині руху людини

Розглянемо, як здійснюється хода людиноподібних роботів (рис. 24.2). Під час ходи можна визначити одноопорний (рис. 24.2, а,в) та двохопорний (рис. 24.2, б) рух.

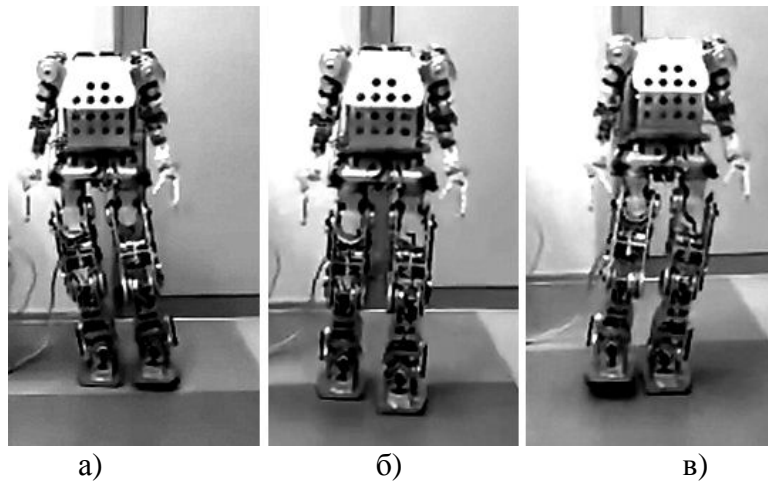


Рис. 24.2. Одноопорний (а,в) та двоопорний (б) рух

До початку руху центр ваги переміщується на першу ногу, після чого друга нога переміщується у напрямку руху. Потім центр ваги переміщується на другу ногу, після чого перша нога переміщується у напрямку руху.

Опорна циклограма руху може бути відображена діаграмою, наведеною на рис. 24.3. За її допомогою зручно проводити аналіз ритміки пересування.

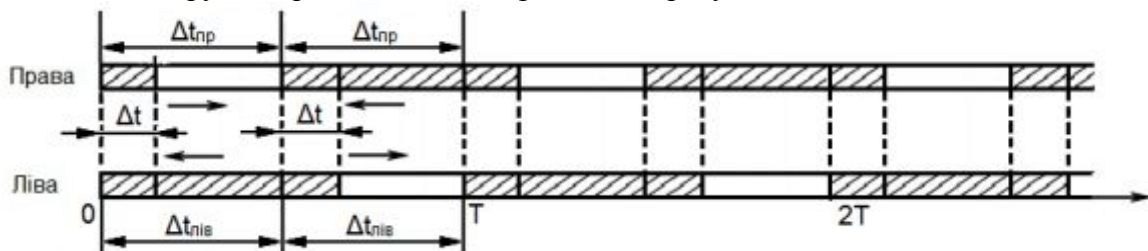


Рис. 24.3. Опорна циклограма руху

Найпростіші ритмічні рухи можна описати такими часовими параметрами:

T - період руху (через який послідовність рухів періодично повторюється),

$\Delta t_{пр}$, $\Delta t_{лів}$ – час між початком опори на першому ногу і початком опори на іншу,

Δt - час опори на обидві ноги,

$\Delta t_{пр} + \Delta t$, $\Delta t_{лів} + \Delta t$ – час опори на одну ногу.

Двонога хода здійснює пересування, при якому відбувається циклічна зміна одноопорного періодів (опори на одну з ніг і перенесення іншої ноги) і двоопорний періодів між ними (переміщення тіла з опорою на обидві ноги). На кожному наступному кроці махова нога стає опорною, а опорна стає маховою. На рис. 24.3 видно, що існує чотири фази ходьби У локомоціях людини фаза опори становить 58 ... 80% від тривалості одиночного кроку, а фаза переносу решта 42 ... 20%. Найімовірніше співвідношення при нормальній ходьбі становить 66% і 34% (або по 33 і 17 від повного рухового циклу).

Таким чином при переміщенні здійснюються такі рухи:

одноопорний рух - перенесення ноги спільно з рухом торсу при опорі на іншу ногу;

двоопорний - рух торса з опорою на обидві ноги.

На рис. 24.4 наведені фази циклу ходи (фази руху двоногого крокуючого робота).

У процесі ходи двоногого крокуючого робота відбувається послідовна зміна фаз (рис. 12.4):

А (одноопорна) права нога: переміщення корпусу і правої ноги з опорою на ліву ногу;

Б (двоопорна) права нога: перенесення тяжкості корпусу з лівої ноги на праву ногу з опорою на обидві ноги;

В (одноопорна) ліва нога: переміщення корпусу і лівої ноги з опорою на праву ногу;

Г (двоопорна) ліва нога: перенесення тяжкості корпусу з правої ноги на ліву ногу з

опорою на обидві ноги.

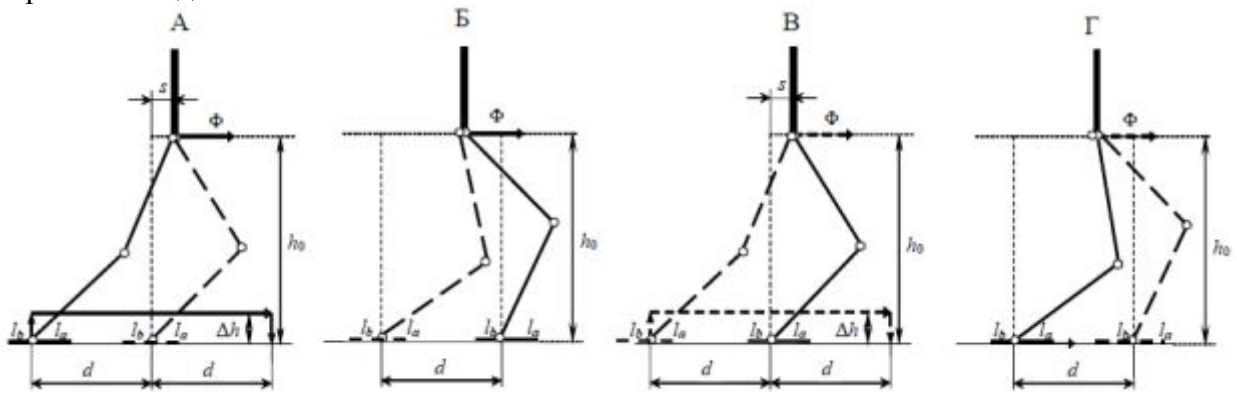


Рис. 24.4. Фази циклу ходи (фази руху двоногого крокуючого робота)

Принцип комфортабельності формується як оптимізаційне умова ходьби з наступним критерієм якості: рух двоногого механізму здійснюється так, щоб його центр мав відчувати найменше середнє прискорення, а саме прагнув до рівномірного і прямолінійного руху.

Перевагою крокуючих роботів є можливість пересуватися у складних умовах, наприклад, по нерівній та похилій площині або підніматися і спускатися по сходах (рис. 24.5.)

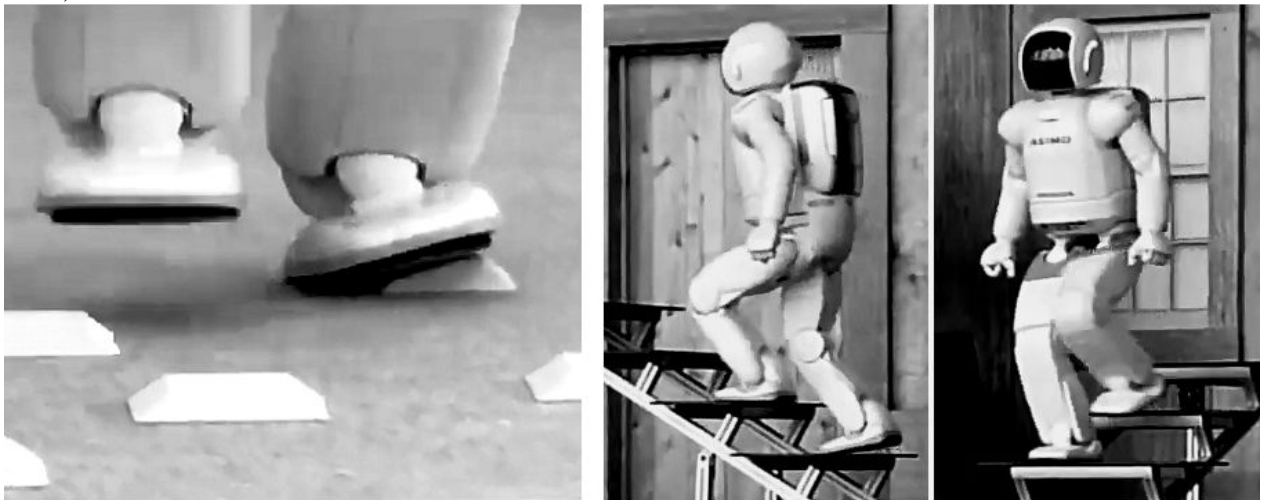


Рис. 24.5. Пересування у складних умовах

При цьому треба не тільки змінювати положення стопи, але й утримувати робот у такому стані, щоб центр ваги не вийшов за межі площі опори. Для забезпечення цього потрібно також здійснювати відповідний нахил корпусу робота відносно тазу, засобами що імітують роботу хребта людини.

Виходячи з необхідності забезпечення усіх рухів під час ходи узагальнена кінематична схема двоногого крокуючого робота може мати вигляд, наведений на рис. 24.6.

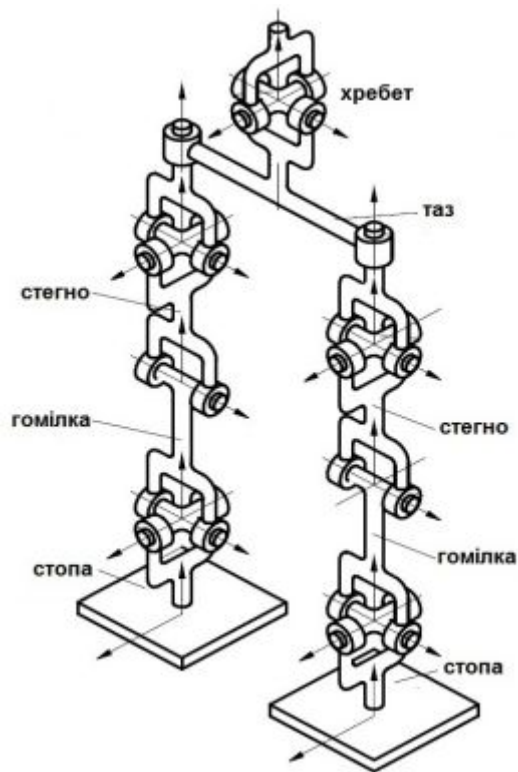


Рис. 24.6. Узагальнена кінематична схема двоногого крокуючого робота

Для реалізації цієї схеми потрібні 14 регульованих приводів кутового переміщення з датчиками положення (кута повороту), з них по 6 приводів на кожен ногу та 2 приводи для переміщення корпусу робота відносно тазу для підтримки рівноваги. Підтримання рівноваги забезпечують датчики акселерометри, що здійснюють функції вестибулярного апарату людини.

Мобільні роботи з чотирма, шістьма та вісьмома ногами найчастіше використовується для виконання транспортних функцій та переміщення у складних умовах. Наявність більшої кількості ніг ускладнює систему керування, яка повинна здійснювати узгоджене переміщення усіх ніг разом. З іншого боку така кількість ніг дає можливість одночасної опори на три і більше ніг, що спрощує систему утримання рівноваги, зводячи її до утримання потрібної орієнтації робота.

Розглянемо рух таких роботів на прикладі шестиногого робота, схематичне зображення якого наведено на рис. 24.7, а, а також номери ніг (рис. 24.7, б) та вихідне положення робота (рис. 24.7, в).

При переміщенні шестиногого робота використовується хода "трійка", тому що під час руху переставляються групи (трійки) ніг, що складаються з першої та останньої ніг з одного боку та середньої ноги з іншого боку. Таким чином для ходи "трійка" маємо дві групи ніг: 1, 4, 5 та 2, 3, 6.

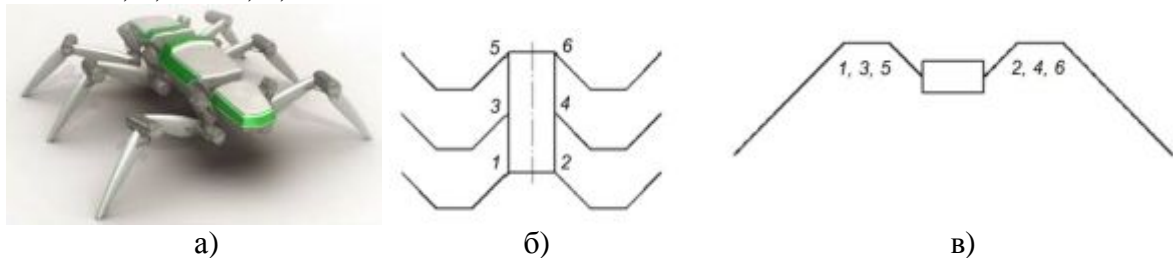


Рис. 24.7. Приклад шестиногого робота

Хода здійснюється зміною опорних ніг: ... → 1, 4, 5 → 2, 3, 6 → 1, 4, 5 → 2, 3, 6 →

...

На рис. 24.8 наведені фаза переносу та фаза опору. Пунктирна лінія позначає вихідне положення ніг, безперервна лінія - кінцеве.

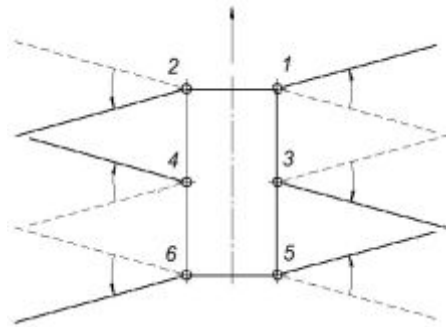


Рис. 24.8. Фаза переносу та фаза опору для ходи "трійка"

На рис. 24.9 наведені процес підйому (а) та опускання (б) ноги.

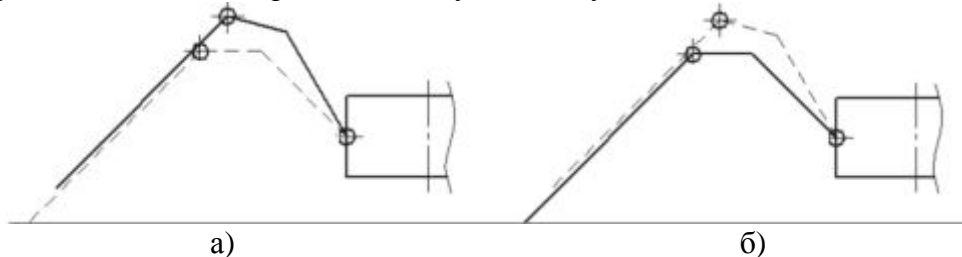


Рис. 24.9 . Процес підйому (а) та опускання (б) ноги.

Для реалізації переміщення робота ходою "трійка" можна використати таку послідовність дій.

1. Визначається послідовність зміни опори ніг (у даному випадку $\dots \rightarrow 1, 4, 5 \rightarrow 2, 3, 6 \rightarrow 1, 4, 5 \rightarrow 2, 3, 6 \rightarrow \dots$).

2. Визначається процес здійснення фази переносу та фази опору, а саме, які приводи використовуються для підйому та опускання ніг.

3. Визначення обмежень на зміну узагальнених координат.

4. Визначення часу виконання одного кроку T , виходячи з швидкості переміщення робота.

5. Розбиття часу T на кількість проміжок часу, що відповідають кількості ітерацій при визначенні зміни узагальнених координат під час руху.

6. Вибір прирощення узагальнених координат на кожній ітерації.

Така послідовність дій визначає алгоритм, який реалізує система керування робота для здійснення ходи.

Цей алгоритм значно ускладнюється, коли переміщення робота здійснюється по складній поверхні. Оскільки опорні ноги можуть знаходитись на різних рівнях, треба на стопах встановлювати датчики, що обмежують опускання ноги при торканні поверхні (наприклад, тактильні датчики або датчики механічних зусиль).

24.2. Приводи крокуючих роботів

Крокуючі рушії забезпечують найбільшу прохідність мобільних роботів, які використовуються в складних природних умовах і бездоріжжя. Вони здатні забезпечити стійкий підйом і спуск по нахилам і сходах. Для стійкого проходження складних форм рельєфу крокуючий робот повинен бути адаптивним, тобто володіти здатністю адаптації до зміни форми рельєфу поверхні. У наш час крокуючі мобільні роботи в основному виконують функції людиноподібних роботів (роботів-гуманоїдів або андроїдів) та транспортні функції.

Частіше усього використовують крокуючі мобільні роботи з двома, чотирма та шістьма ногами (рис. 24.10).

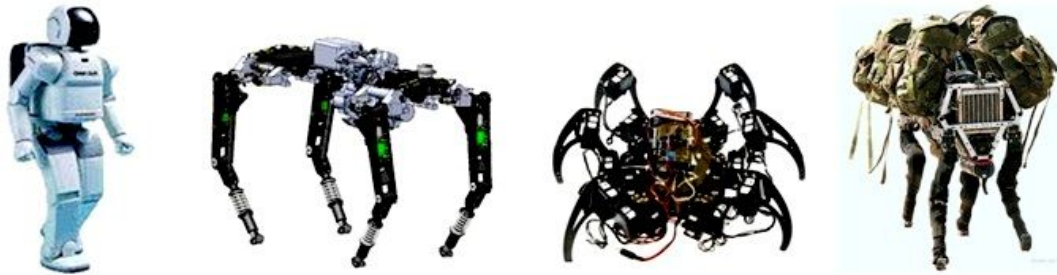


Рис. 24.10. Крокуючі мобільні роботи

Крокуючі роботи часто поділяють на антропоморфні (людиноподібні) та павукоподібні (чотирма, шістьома та вісьмома ногами) роботи.

Двоногі мобільні роботи в основному виконують функції людиноподібних роботів (роботів-гуманоїдів або андроїдів), мобільні роботи з двома, чотирма та шістьома ногами в основному виконують транспортні функції.

Крокуючі роботи для своїх рухів використовують приводи лінійного та кутового переміщення, що реалізуються на основі гідравлічних та електричних приводів.

На рис. 24.11 показані електричний (а) та гідравлічний (б) лінійні приводи (лінійні актуатори) для крокових рухів мобільних роботів.

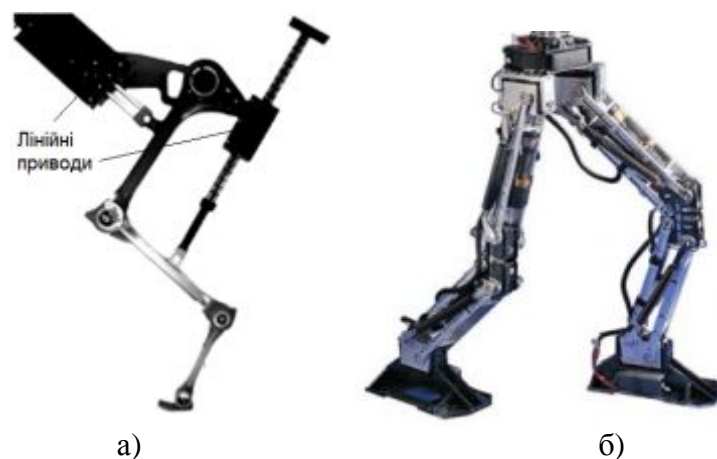


Рис. 24.11. Використання лінійних приводів для крокових рухів мобільних роботів

Принцип дії лінійного актуатора на основі електродвигунів наведений на рис 24.12.



Рис 24.12. Принцип дії лінійного актуатора на основі електродвигунів

Лінійний актуатор являє собою систему позиціонування, в основі якої лежить перетворення обертального моменту електродвигуна в поступальний рух штока. Як правило, такий пристрій включає в себе сам двигун, редуктор, датчик повороту ротора двигуна і кінцевий вимикач.

Довжина висунутою частини штока у типових лінійних актуаторів може мати значення від 50мм до 500мм. Швидкість руху штока до 50мм / с в залежності від навантаження. Прикладається лінійним приводом до об'єкта сила приймає значення 200Н до 10000Н в залежності від моделі.

Принцип дії гідравлічного лінійного актуатора наведений на рис 24.13.

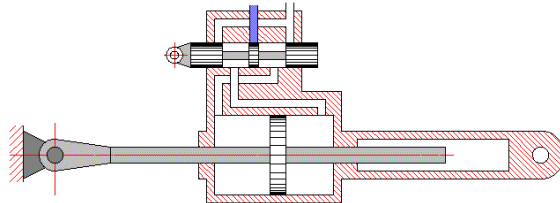


Рис 24.13. Принцип дії гідравлічного лінійного актуатора

Переваги гідроприводів:

- можливість одержання великих сил та обертальних моментів при порівняно малих розмірах та масі гідродвигунів;
- плавність рухів вихідних ланок;
- можливість безступінчастого регулювання швидкості у широкому діапазоні;
- мала інерційність;
- простота реалізації основних видів рухів: обертального, зворотно-поступального і зворотно-поворотного.

На жаль, гідравлічні приводи мають ряд недоліків, які ускладнюють їх використання в невеликих роботах:

- гідроприводи поступаються електричним у відстані транспортування енергії від джерела до споживача та швидкості передачі командних сигналів;
- у гідроприводах актуальним є питанням забезпечення герметичності порожнин, що знаходяться під тиском;
- чутливість до в'язкості робочої рідини, котра у свою чергу залежить від температури;
- нижчий к.к.д. у порівнянні з механічними передачами у приводах.

Виходячи з цього гідравлічні приводи застосовуються у транспортних мобільних роботах, наприклад, у військовому транспортному роботі BigDog, в якому використовуються лінійні гідроприводи для переміщення ніг (рис 24.14).



Робот BigDog



Гідропривод робота BigDog

Рис. 24.14. Військовий транспортний робот BigDog

Для крокових рушіїв відносно невеликих роботів, наприклад, **i-Sobot**, **Bioloid**, **Robonova** використовують сервоприводи, що здійснюють регульоване обертання у обмеженому значенні куту повороту, наприклад, від 0 до 300° при точності встановлення кута менш ніж 0,5° .

Складність апаратних компонент та алгоритму керування крокових роботів потребує досить складної системи керування, яка здатна виконувати усі функції у реальному часі. Кожна нога робота для кожного суглоба повинна мати регульований привод та датчик положення, які повинні здійснити визначений рух ноги, відповідно з рухом самого робота у встановленому напрямку або по встановленій траєкторії. Крім того у мобільного робота повинна бути система навігації, що встановлює положення робота и визначає траєкторію його переміщення.

При вирішенні відносно простих функцій двоногий мобільний робот може використовувати централізовану систему керування, оскільки сучасні мікроконтролери можуть мати досить велику кількість входів та виходів для підключенні приводів та датчиків. Так, наприклад, мікроконтролер Arduino Mega має 54 двійкових входів та виходів, 15 виходів з широтно-імпульсною модуляцією та 16 аналогових входів, що дає можливість безпосередньо керувати 15 приводами.

Для мобільних роботів з чотирма та більшою кількістю ніг загальна кількість регульованих приводів складає декілька десятків, тому у цьому випадку здається доцільним використання розподілених систем керування, де загальне керування здійснюють обчислювальні пристрої, здатні реалізувати досить складні алгоритми керування переміщенням робота, а керування окремими ланками виконують відносно прості або спеціалізовані мікроконтролери, які реалізують локальні системи керування. Взаємодія цих окремих систем керування здійснюється за допомогою локальних мереж, що забезпечують своєчасний обмін даними між усіма компонентами мережі.

Контрольні запитання

1. Які основні типи крокуючих роботів?
2. Які функції в основному виконують двоногі мобільні роботи?
3. Які функції в основному виконують мобільні роботи з двома, чотирма та шістьма ногами?
4. Як здійснюється хода людиноподібних роботів?
5. Чим відрізняються одноопорний та двоопорний рух?
6. Як виглядає узагальнена кінематична схема двоногого крокуючого робота?
7. Як здійснюється підтримання рівноваги двоногого робота?
8. Чим відрізняються роботи з чотирма, шістьма та вісьмома ногами від двоногих роботів?
9. Як здійснюється хода "трійка"?
10. Які основні компоненти повинна мати системи керування крокуючих роботів?

Література

1. Спыну Г.А. Промышленные роботы. Конструирование и применение: Учеб. пособие. / Спыну Г.А.- К.: 2-е изд., перераб. и доп. Выща шк.,1991. – 311 с. :ил.
2. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справочник. – 2-е изд.,перераб. и доп./ Козырев Ю.Г. – М.: Машиностроение, 1988. – 392 с., ил.
3. Маніпулятори, автооператори, роботи промислові та системи виробничі гнучкі. Терміни та визначення. ДСТУ 2879 – 94. – 31 с.
4. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: учеб. пособие / Ю.В.Подураев. – 2-е изд., стер. – М.: Машиностроение, 2007. – 256 с.
5. Цвіркун Л.І. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер ; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. –3-те вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.
6. Иванов А.А . Основы робототехники: учеб. пособие /А.А.Иванов; НГТУ им. Р.Е. Алексева. Нижний Новгород, 2011. – 200 с.
7. Робототехнические системы и комплексы: Учебное пособие для вузов / И.И. Мачульский, В.П. Запятой, Ю.П. Майоров и др.; Под. ред. И.И. Мачульского. М. Транспорт. 1999. 446 с.
8. Юревич Е.И. Основы робототехники. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.: ил.
9. Попов Е.П. Основы робототехники: Введение в специальность: Учебник / Попов Е.П., Письменный Г.В. – М.: Высш. шк., 1990. – 224 с.: ил.
10. Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник . – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. – 232с.
11. Проць Я.І., Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів./ Я.І. Проць, В.Б. Савків,О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 344с.

12. Козырев Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов: учебное пособие / Ю.Г.Козырев. – М.: КНОРУС, 2010. – 312 с.: ил.
13. Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. – 384 с.; ил. (Робототехника / под ред. С.Л.Зенкевича, А.С.Ющенко).
14. Гай В. Е. Microsoft ® Robotics Developer Studio. Программирование алгоритмов управления роботами/Гай В.Е.; М.: ЭКОМ Паблишерз, 2012. — 184 с.: ил.
15. Михайлов Є. П. Навчальний посібник з дисциплін «Електронні, мікропроцесорні та обчислювальні пристрої ГВС, ПТМ та ЛС» для студентів за фахом 131 – Прикладна механіка – спеціалізації – Мехатроніка та промислові роботи, Інженерія логістичних систем, 133 – Галузеве машинобудування – спеціалізація – Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні машини і обладнання / Укладач: Михайлов Є. П. Одеса: ОНПУ. – 171 с. Рег.ном. НПО9356 19.03.2018, №5682-РС-2018
16. Шмид Д. и др. Управляющие системы и автоматика / Д.Шмид, А.Бауман, Х.Кауфман, Б.Зиппель – М.: Техносфера, 2007. – 584 с., ил.
17. Трэвис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех – М.: ДМК Пресс; 2008. – 880 с
18. Михайлов Є. П. Навчальний посібник з дисципліни "Мобільні роботи"для студентів за фахом 131 - Прикладна механіка – спеціалізація - Мехатроніка та промислові роботи / Укладач: Михайлов Є. П. Одеса: ОНПУ. 2016, – 239 с. Укладач: Михайлов Є. П. Одеса: ОНПУ, 2016, – 239 с. Рег.ном. НПО7368 01.06.2016, №3765-РС-2016

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АМР	- автономний мобільний робот
ДО	- додаткове обладнання
ДП	- децентралізована периферія
ЗП	- захоплювальний пристрій
ОМК	- однокристальний мікроконтролер
ПЛК	- програмований логічний контролер
ПР	- промисловий робот
РТК	- робототехнічний комплекс
ТО	- технологічно обладнання
ЧПУ	- числове програмне управління
ШІМ	- широтно-імпульсна модуляція

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

А

автоматика, 91, 126, 142, 172, 222,
автооператор, 8, 51, 222,
адаптація, 4, 84-86, 158, 180, 218,
адреса, 124, 133, 134, 161, 171, 177, 182-
184,

Б

база, 11, 12, 18, 21, 34, 45, 140, 168, 170,
209,
байт, 124, 177,

бібліотека, 117, 126, 168, 179, 223,
біт, 125, 170, 177, 180, 183, 185,
блок, 22, 52, 53, 63, 66, 68, 109, 113-116,
140, 142, 152-157, 160, 162, 170-179,

В

виробництво, 7-13, 21, 34, 39-41, 149, 158,
165, 180, 181, 187, 193,
візуалізація, 152, 165, 184, 187,

Г

габарит, 13, 21, 36, 38, 41, 62,
гальма, 204, 205,
гальмування, 54, 74, 75, 114, 115, 208,
210,
генератор, 78, 87, 92, 95, 97, 100, 126, 127,
183,
гусениця, 6, 188, 189, 203, 208-213,

Д

датчик, 4, 5, 21, 22, 41, 49, 51, 52, 53, 64,
66, 70-76, 78, 81 86-109, 115, 116, 123-125,
128, 135-139, 154-157, 162, 170, 173, 177,
182, 184, 187, 189, 192, 193, 195-198, 205,
206, 207, 217-220, 229, 230.

двигун, 8, 18, 22, 34, 37, 38, 40, 52, 61, 62,
70, 73, 74, 75, 76, 78, 80, 81, 84, 109-121,
128, 134-139, 149, 154, 156, 173, 177, 180,
182, 196, 197, 203-208, 211, 219, 229,

диск, 96, 127,

дисципліна, 7, 222,

діагностика, 131, 162, 176,

діапазон, 18, 21, 38, 85, 100, 102, 111, 113,
118, 126, 134, 146-148, 158, 170, 188, 220,
225,

дослідження, 27, 137, 188, 193, 234,

доступ, 14, 60, 124, 125, 133, 168, 171, 184,
драйвер, 118, 128,

Е

електропривод, 18, 60, 78, 91, 109, 164,
181, 195, 203,

елемент, 9, 18, 24, 34-40, 44, 45, 48, 52-55,
59, 66, 69, 70, 84, 87, 92, 93, 96, 97, 102,
105, 109, 123, 135, 152, 153, 155, 157, 172,
176, 177, 180, 185,

З

завдання, 7, 27, 31, 32, 45, 52, 55, 59, 60, 67, 75, 81, 82, 97, 106, 115, 120, 138, 156, 158, 183, 184, 192, 195, 206,
задача, 27, 28, 29, 31, 33, 55, 71,
захоплювач, 23, 34, 35-41, 43,
зображення, 80, 89, 99, 104, 105, 106, 124, 126, 157, 167, 185, 186, 217,
зона, 8, 9, 13-16, 34, 66, 67, 75, 191,

I
інформація, 58, 64, 71, 103, 123, 130, 175, 176, 197,

К
керування, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 16, 18, 19, 30, 35, 37, 44-80, 81, 83, 84-93, 99, 103, 104, 106, 108-132, 134-47, 154-172, 173, 177, 178, 180-191, 195, 196-198, 205, 214, 217, 218, 220, 221, 223-226,
кінематика, 4, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 71, 199, 210,
класифікація, 4, 8, 9, 10, 11, 18, 21, 25, 86,
колесо, 95, 97, 138, 188, 192, 199-206, 210-212, 229, 230,
комплекс, 5, 11, 12, 15, 45-52, 55, 57, 61, 67, 117, 120, 122, 124-128, 148, 149, 151, 158, 165, 167, 180-182, 186, 187, 222,
компонування, 11, 53,
конструкція, 4, 11, 15, 21, 22, 28, 35-42, 91, 113, 116, 133, 199, 200, 206, 208, 211, 213,
крок, 5, 6, 17, 18, 49, 55, 58, 64, 71, 75, 76, 109, 116-118, 121, 124, 128, 137-139, 182, 188, 203, 206, 214-221, 229,

Л
ланка, 17, 22, 23-26, 36, 37, 38, 225,

М
маневреність, 23,
маніпулятор, 4, 7, 8, 9, 13-40, 41, 49, 51, 52, 57-62, 64, 66, 67, 72, 75, 77, 78, 80, 84, 85, 87, 116, 120, 127-129, 158, 188, 189, 191, 193, 196, 197, 222, 223, 225-227,
матриця, 31,
мережа, 48, 53, 60, 64, 80, 88, 110, 113, 124, 148, 158, 159, 162, 163, 165, 179, 180-182, 187, 191, 195, 221,
метод, 7, 11, 21, 34, 38, 39, 57, 80, 101, 144, 156, 162, 167, 197, 232,
механіка, 13, 29, 22
2,
мехатроніка, 45, 222,
мобільність, 5, 9, 10, 16-20, 43, 49, 89, 103, 111, 124, 128, 129, 137, 138, 148, 149, 188-196, 198-200, 203, 204, 206, 208, 211, 212, 214, 218, 219, 220, 222, 229,

модуль, 7, 19, 21, 22, 45, 48, 49, 53, 59, 75, 84, 113, 116, 118, 122, 126, 156, 158-164, 168, 170, 171, 176, 180-182, 197, 200, 202, 204, 206, 220,

модуляція, 96, 103, 111-115, 127, 136,

Н
напрямок, 7, 19, 24, 40, 62, 64, 66, 73, 74, 87, 96, 100, 106, 112, 136, 154, 179, 183, 188, 192, 199-202, 208, 215, 220, 225,
навчання, 18, 57, 58, 60, 64, 71, 80,

О
обладнання, 20, 35, 40, 41, 48, 49, 53, 56, 123, 124, 140, 149, 150, 158, 163, 164, 167, 180, 182, 186, 188, 189, 190, 196, 205,

П
поверхня, 18, 24, 34-40, 63, 86, 93, 103, 188, 191, 199-203, 208, 209, 210, 211, 218,
поворот, 19, 27, 30, 31, 38, 57, 58, 60, 65, 95, 103, 118-120, 136, 154, 158, 164, 199, 200-204, 208-211, 214, 217, 219, 220, 223.
позиціонування, 15, 16, 46, 51, 53, 54, 59, 69-75, 84, 93, 99, 115, 116, 135, 140, 160, 161, 162, 180, 182, 195, 197, 206, 219,
позначення, 57, 65, 91, 131-134, 172, 200, 223,

поняття, 34, 37, 84, 85, 147,

похибка, 15, 16, 100,

привод, 5, 8, 10, 13, 17-22, 27, 35-43, 49, 52, 54, 57-62, 66, 67, 72, 73, 77, 78, 85, 91, 92, 109, 111, 116, 118, 120, 123, 128, 136, 147, 164, 181, 182, 188, 195, 196, 200-205, 211, 212, 217-226, 229,

пристрій, 4, 5, 7, 8, 13, 15, 17-20, 22, 24, 34-49, 51, 52, 55, 56, 57, 60, 62-68, 72-75, 77, 78, 80, 81, 84-91, 93, 95, 99, 100, 103, 104, 106, 109, 110, 113, 116, 117, 119, 122-127, 130, 131, 140, 147, 148, 152, 157-163, 166-168, 170, 172, 174, 177, 180-188, 190-196, 198, 220, 222,

програма, 4, 5, 8, 9, 11, 15-18, 35, 36, 45, 46, 48, 51-68, 70-73, 75-80, 82, 85, 118, 120-127, 131-145, 147-162, 167-182, 184-187, 190, 196, 206, 224-226, 229,

простір, 8, 13-17, 23-25, 27, 30, 45, 54, 69, 71, 75, 80, 101, 104, 156, 180, 192, 212,

Р
рух, 4, 8-19, 21-25, 27, 31, 34, 37-39, 41, 45-49, 53-55, 57-66, 68, 70-78, 84, 87, 91-93, 99, 104, 126, 137, 138, 145, 146, 149, 154, 160, 164, 173, 180, 183, 193, 197-199, 201-204, 207, 208-221, 230,

С

система, 4-5, 7-12, 14-21, 23-29, 31, 34, 36, 37, 39, 42, 43, 45-50, 51-62, 64, 68, 69-72, 75, 77-78, 80-90, 96, 99-101, 105, 106, 109, 111, 117, 121-124, 126, 127, 130-133, 139-146, 149, 150, 152, 156, 158-160, 162-182, 184-187, 190-192, 195-197, 204, 205, 208, 212, 214, 217-221, 222,
 структура, 4, 5, 17, 24, 26, 51, 52, 59, 61, 80, 122, 123, 130, 145, 151, 158, 159, 162, 164, 168, 171, 176, 180, 194, 195, 198,
 ступінь, 9, 488, 163, 230,
 схема, 11, 12, 21, 22, 26, 27, 36, 37, 39, 43, 53, 57, 63, 66-68, 75, 91-93, 102, 104, 109-114-117, 120, 122, 125, 126, 132, 137, 152, 156, 172, 173, 184, 196, 198, 200, 207-212, 216, 217, 221, 223, 224, 229,
Т
 тест, 55, 142, 147, 168, 170, 174,
Ф
 функція, 55, 58-62, 64, 66-69, 71, 73, 75, 76-78, 86, 87, 90, 91, 100, 115-118, 120-126,

130-134, 139-141, 145, 149-151, 153, 154, 160-162, 166-181, 187-198, 207, 214, 217, 218, 220, 221, 223-225,

Х

характеристика, 7-9, 13, 15, 16, 18, 23, 36-39, 44, 54, 84-90, 93, 111, 115, 123, 125, 188, 191-193, 205,

Ц

цикл, 8, 16, 39, 45, 47, 48, 58, 59, 62-69, 72-74, 81, 116, 118, 124, 133-135, 145, 149, 158, 160, 169, 171, 172, 175, 177, 215,

Ш

швидкість, 4, 5, 8, 9, 13, 15, 16, 18, 27, 35, 40, 41, 45, 46, 48, 53, 54, 59, 62, 70, 72, 74-76, 78, 79, 81, 87, 88, 91, 93, 95-98, 100, 102, 105, 106, 109-118, 121, 123, 124, 128, 134, 142, 146, 147, 154, 162, 167, 180, 182, 188, 192, 193, 196, 200, 201-210, 212, 218-220, 226,

ДОДАТОК А

Маніпулятор SNARM 4dof

На рис. А.1 наведений зовнішній вигляд маніпулятора SNARM 4dof (а) та його спрощена кінематична схема (б).

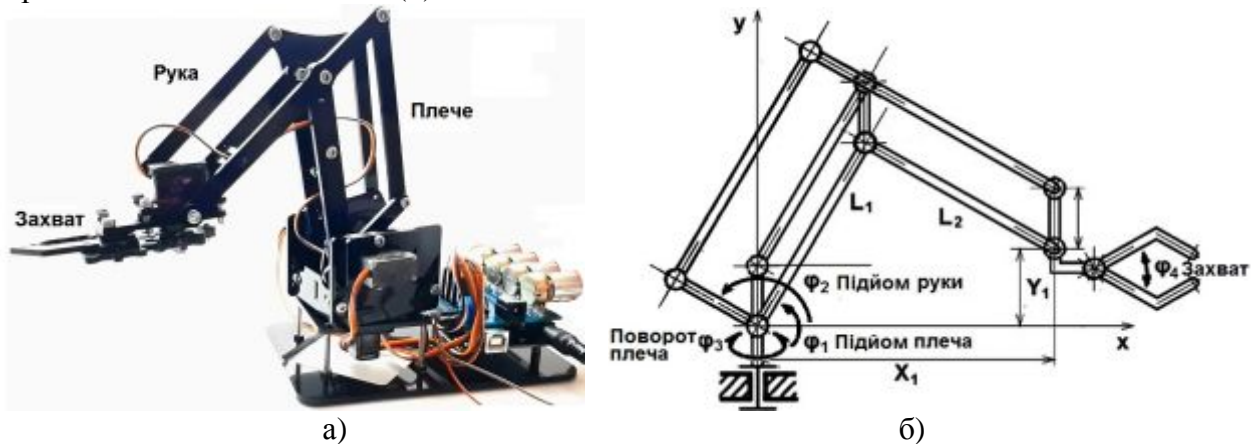


Рис. А.1. Маніпулятор SNARM 4dof

Для переміщення суглобів використовуються сервоприводи SG-90 (пластиковий редуктор) або MG-90S (металевий редуктор), що забезпечують поворот валу від 0 до 180° (рис. А.2).

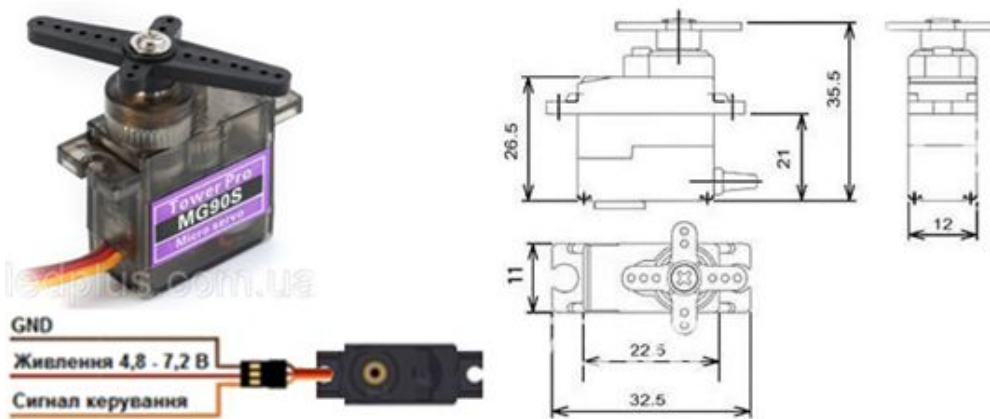


Рис. А.2. Сервопривод MG-90S

Сервоприводи SG-90 та MG-90S мають такі параметри:

- робоча напруга: 4,8-6 В;
- крутний момент: 1,9 (SG-90) та 2,2 (MG-90S) кг/см при 4,8В;
- 223, ість повороту (без навантаження): 0.11сек / 60град при 4,8 В.

Для керування маніпулятором використовуються контролери Arduino. При використанні контролерів Arduino для спрощення керування сервоприводом використовується бібліотека Servo, що дозволяє здійснити програмне керування сервоприводами.

Для кожного сервоприводу встановлюється змінна типу Servo, наприклад, Servo myservo;, де myservo позначення сервопривода.

Керування здійснюється такими функціями:

- attach() — підключає змінну кожного сервопривода до відповідного виходу (pin) контролера. Функція має такий синтаксис: myservo.attach(pin);
- write() — дає команду сервоприводу прийняти значення параметра. Функція має такий синтаксис: myservo.write(angle);, де angle може мати значення від 0 до 180, що відповідає куту, на який повинен повернутися сервопривод.

Приклад програми з використанням бібліотеки:

```
#include <Servo.h>           //підключення бібліотеки Servo
Servo myservo;              // встановлення змінної для сервопривода myservo
void setup()
{
  myservo.attach(9);        //підключення myservo до виходу 9
}
void loop()
{
  myservo.write(90);        // встановлюємо сервопривод у середнє положення
  delay(500);               // затримка 500 мс
  myservo.write(0);         // встановлюємо сервопривод у крайнє лїве положення
  delay(500);               // затримка 500 мс
  myservo.write(180);       // встановлюємо сервопривод у крайнє праве положення
  delay(500);               // затримка 500 мс
}
```

Для проведення дослідження роботи маніпулятора був розроблений макет що складається з маніпулятора SNARM 4dof, контролера Arduino Nano, та пульта керування в ручному режимі у вигляді 4 потенціометрів. Схема підключення маніпулятора до контролера Arduino Nano наведена на рис. А.3. Перемикач з трьома положеннями

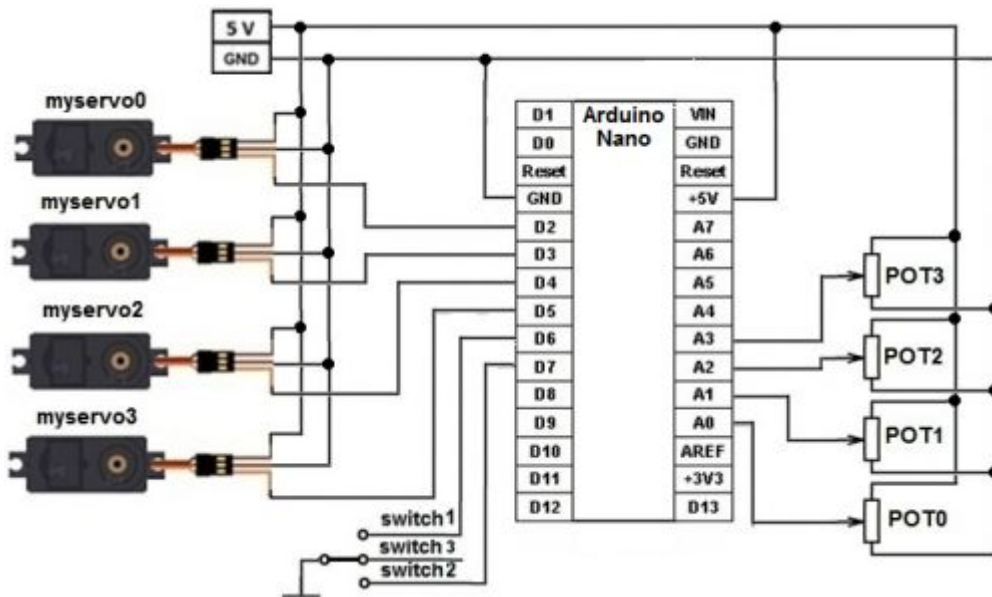


Рис. А.3. Схема підключення маніпулятора до контролера Arduino Nano

Оскільки для керування у ручному режимі використовуються потенціометри, що підключені до аналогових входів контролера, які видають значення від 0 до 1023, треба здійснити зміну масштабу, щоб отримати значення від 0 до 180.

Крім того для керування захватом треба подавати значення від 100 (захват відкритий) до 180 (захват закритий).

Для зчитування у змінну значення сигналу з аналогового входу pin використовується функція `analogRead()`. Функція має такий синтаксис: `value = analogRead(pin)`; де `value` – змінна.

Для зміни масштабу можна використати функцію пропорційного перетворення значень від одного діапазону до другого `map()` та функція обмеження діапазону `constrain()`.

Функція `map()` має такий синтаксис:

```
valNew = map(valOld, fromLow, fromHigh, toLow, toHigh);
```

якщо старе та нове значення змінюються в одному напрямку,

або

```
valNew = map(valOld, fromLow, fromHigh, toHigh, toLow);
```

якщо старе та нове значення змінюються в протилежних напрямках.

Таким чином змінна `valOld` з нижньою `fromLow` і верхньою `fromHigh` межами діапазону перетворюється у змінну `valNew` з нижньою `toLow` і верхньою `toHigh` межами діапазону або навпаки.

У разі потреби для обмеження значень змінної використовується функція `constrain()`.

Функція `constrain()` має такий синтаксис:

```
valNew = constrain(valOld, min, max);
```

`min` та `max` відповідно мінімальне та максимальне значення змінної `valNew`.

Далі наведений фрагмент програми ручного керування ланкою маніпулятора з сервоприводом `myservo0` за допомогою значення, що отримане з аналогового входу `POT0`.

```
// керування ланкою маніпулятора,
```

```
val0 = analogRead(POT0); //зчитування сигналу з аналогового входу
```

```
val0 = map(val0, 0, 1023, 0, 180); //перетворення масштабу
```

```
myservo0.write(val0); //запис сигналу керування до сервоприводу
```

Для перевірки значень для керування приводами, що отримали з потенціометрів, використовується функція виводу даних керування на дисплей, що має такий вигляд.

```
void setup() {
```



```

...
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
...
// значення для керування приводами
Serial.print("A0\t");//такстове повідомлення A0 та табуляція
Serial.print(val0); //значення змінної val0
Serial.print("\t"); //табуляція
Serial.print("A1\t");
Serial.print(val1);
Serial.print("\t");
Serial.print("A2\t");
Serial.print(val2);
Serial.print("\t");
Serial.print("A3\t");
Serial.println(val3); //значення змінної val5 та перенос строки
delay(100);
}

```

На дисплеї отримаємо значення у такому вигляді (рис. А.4)

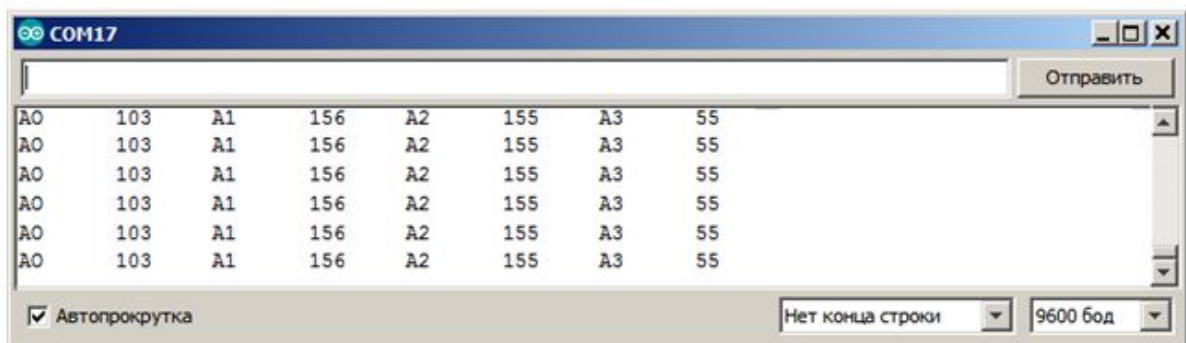


Рис. А.4. Значення сигналів керування приводами

Програма, що об'єднує ручний та автоматичний режими

Далі наведена програма, що об'єднує ручний та автоматичний режими. Вибір режиму роботи здійсню перемикач, що має три положення:

- switch 1 – ручний режим;
- switch 2 – автоматичний режим з цикловим керуванням маніпулятором;
- switch 3 – стан спокою (режими відключені).

Програма ручного керування маніпулятором здійснює керування суглобами за допомогою потенціометрів.

Програма циклового керування маніпулятором (автоматичний режим) здійснює такі переміщення:

1. закрити захват,
2. затримка 1,
3. підняти плече та руку,
4. затримка 1,
5. повернути плече направо,
6. затримка 1,
7. опустити плече та руку,
8. затримка 1,
9. відкрити захват,
10. затримка 1,
11. підняти плече та руку,

12. затримка 1,
13. повернути плече наліво,
14. затримка 1,
15. опустити плече та руку,
16. затримка 1.

Переміщення здійснюється з максимальною швидкістю.

Затримка 1 с після кожного переміщення встановлюється для завершення цього переміщення раніше, ніж почнеться наступне переміщення.

sketch_pot4_servo4_Serial_man_auto

```
#include <Servo.h>
Servo myservo0;
Servo myservo1;
Servo myservo2;
Servo myservo3;
int val0=0;
int val1=0;
int val2=0;
int val3=0;
#define POT0 0
#define POT1 1
#define POT2 2
#define POT3 3
#define switch1 6
#define switch2 7

void setup() {
  myservo0.attach(2); //поворот плеча
  myservo1.attach(3); //підйом плеча
  myservo2.attach(4); //підйом руки
  myservo3.attach(5); //захват
  //встановлення вихідного положення маніпулятора
  myservo0.write(90);
  myservo1.write(134);
  myservo2.write(56);
  myservo3.write(72);
  delay(1000);
  pinMode (switch1, INPUT);
  pinMode (switch2, INPUT);
  digitalWrite(switch1, HIGH);
  digitalWrite(switch2, HIGH);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  if (digitalRead(switch1) == LOW) //ручний режим
  {
    //поворот плеча
    val0 = analogRead(POT0);
    val0 = map(val0, 0, 1023, 180, 0);
    myservo0.write(val0);
```

```

//підйом плеча
val1 = analogRead(POT1);
val1 = map(val1, 0, 1023, 170, 30);
myservo1.write(val1);
//підйом руки
val2 = analogRead(POT2);
val2 = map(val2, 0, 1023, 35, 160);
myservo2.write(val2);
//захват
val3 = analogRead(POT3);
val3 = map(val3, 0, 1023, 80, 50);
myservo3.write(val3);
//вивід даних на монітор
Serial.print("A0\t");
Serial.print(val0);
Serial.print("\t");
Serial.print("A1\t");
Serial.print(val1);
Serial.print("\t");
Serial.print("A2\t");
Serial.print(val2);
Serial.print("\t");
Serial.print("A3\t");
Serial.println(val3);
delay(50);
}
else if (digitalRead(switch2) == LOW) //автоматичний режим
{
//2 закрити захват
myservo3.write(55); //захват
delay(1000);
//3 підняти руку
myservo1.write(71); //підйом плеча
myservo2.write(127); //підйом руки
delay(1000);
//4 повернути направо
myservo0.write(31); //поворот плеча
delay(1000);
//5 опустити руку
myservo1.write(134); //підйом плеча
myservo2.write(56); //підйом руки
delay(1000);
//6 відкрити захват
myservo3.write(72); //захват
delay(1000);
//7 підняти руку
myservo1.write(71); //підйом плеча
myservo2.write(127); //підйом руки
delay(1000);
//8 повернути наліво
myservo0.write(90); //поворот плеча
delay(1000);
//9 опустити руку - повернення у вихідне положення

```

```
myservo1.write(134); //підйом плеча  
myservo2.write(56); //підйом руки  
delay(1000);  
}  
}
```

ДОДАТОК В

Програма переміщення колісного мобільного робота з диференційним приводом

На рис. В.1 наведена схема підключення макета колісного мобільного робота з диференційним приводом на основі крокових двигунів до контролера Arduino UNO

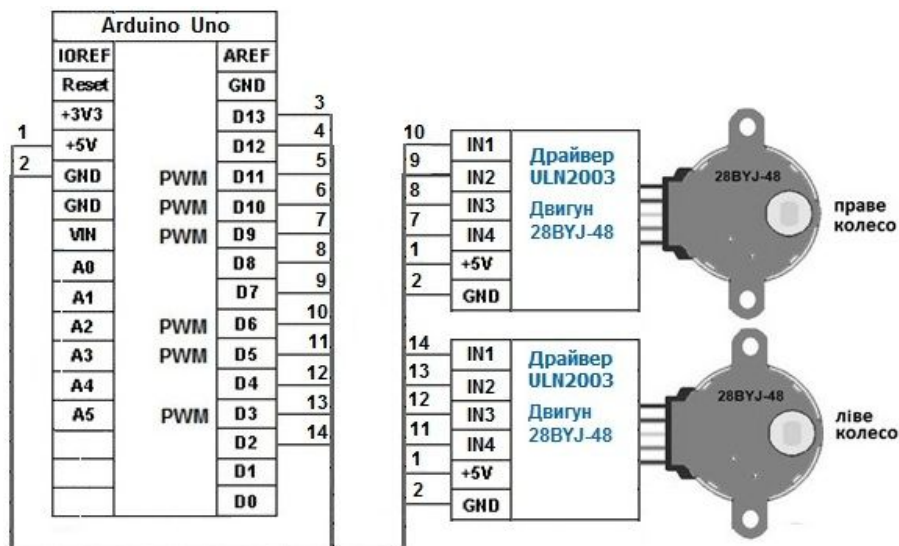


Рис. В.1. Схема підключення макета колісного мобільного робота з диференційним приводом на основі крокових двигунів до контролера Arduino UNO

Приводи мають такі параметри;
діаметр коліс – 45 мм;
відстань між колесами – 108 мм;
одне обертання колеса – 2048 кроків.

Програма забезпечує переміщення по прямій лінії вперед на 20 см, розворот на 90° місці правим колесом, переміщення по прямій лінії вперед на 10 см, розворот на 90° місці лівим колесом..

demo_uno_2_step_turn

```
#include <Stepper.h>
int pos1 =1;
int pos2 =1;
int speed = 0;
#define din1 10 //правий датчик перешкоди
#define din2 11 //правий датчик слідкування
#define din3 12 //лівий датчик слідкування
#define din4 13 //лівий датчик перешкоди
// Ініціалізація с послідовністю виводів IN1-IN3-IN2-IN4
// для використання Stepper1 с 28BYJ-48 - ліве колесо
Stepper stepper1(64, 2, 4, 3, 5);
// для використання Stepper2 с 28BYJ-48 - праве колесо
Stepper stepper2(64, 6, 8, 7, 9);
void setup() {
pinMode (din1, INPUT);
pinMode (din2, INPUT);
pinMode (din3, INPUT);
pinMode (din4, INPUT);
stepper1.setSpeed(500);
stepper2.setSpeed(500);
}
void loop() {
for (int i=1; i<=2048; i++)//рух вперед
{
```

```
stepper1.step(pos1);
stepper2.step(-pos2);
}
delay(2000);
for (int i=1; i<=2513; i++) //поворот одним колесом наліво вперед
{
stepper1.step(pos1); //праве колесо вперед
}
delay(2000);
for (int i=1; i<=1024; i++)//рух вперед
{
stepper1.step(pos1);
stepper2.step(-pos2);
}
delay(2000);
for (int i=1; i<=2513; i++) //поворот одним колесом направо вперед
{
stepper2.step(pos2); //ліве колесо вперед
}
delay(2000);
}
```