

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Кафедра “Підйомно-транспортного та робототехнічного
обладнання”

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

з дисципліни «Мехатроніка»

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Спеціальність – 131 ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

Освітня програма – *Інженерія логістичних систем,
Мехатроніка та промислові роботи*

Спеціальність – 133 ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Освітня програма – *Підйомно-транспортні, дорожні,
меліоративні машини і обладнання*

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Кафедра “Підйомно-транспортного та робототехнічного
обладнання”

Семенюк Володимир Федорович
Михайлов Євген Павлович

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

з дисципліні «Мехатроніка»

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Спеціальність – 131 ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

Освітні програми – *Інженерія логістичних систем,
Мехатроніка та промислові роботи*

Спеціальність – 133 ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Освітня програма – *Підйомно-транспортні, дорожні,
меліоративні машини і обладнання*

Затверджено
на засіданні вченої ради українсько-
німецького навчально-наукового інституту
Протокол № 4 від 28 грудня 2021 р.

ОДЕСА: ОП, 2021

Мехатроніка. Навчальний посібник для студентів бакалаврів, спеціальність: 131 - Прикладна механіка, освітні програми: Мехатроніка та промислові роботи, Інженерія логістичних систем, спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування, освітня програма: Підйомно-транспортні, дорожні, меліоративні машини і обладнання / Укл.: Семенюк В.Ф., Михайлов Є. П. Одеса: ОП, 2021. 130 с.

В навчальному посібнику розглянуті питання використання мехатронних систем у складі підйомно-транспортних машин, робототехнічних пристроїв та в обладнанні логістичних систем. Наведені механічні, інформаційні, виконавчі та керуючі пристрої мехатронних модулів та систем. Надані завдання до практичних занять та курсової роботи.

Укладачі:

Семенюк Володимир Федорович, професор кафедри підйомно-транспортного і робототехнічного обладнання

Михайлов Євген Павлович, доцент кафедри підйомно-транспортного і робототехнічного обладнання

Рецензенти:

Сидоренко Ігор Іванович, професор кафедри інформаційних технологій проектування в машинобудуванні

Чесноков Альберт Валерійович, директор ТОВ «Інвест Інжиніринг»

Зміст

Передмова.....	5
1. Основні поняття і визначення мехатроніки	6
1.1. Визначення та термінологія мехатроніки	6
1.2. Структура і принципи побудови мехатронних систем	7
1.3. Класифікація мехатронних модулів.....	9
2. Методи побудови мехатронних модулів і систем	11
2.1. Основи конструювання мехатронних систем	11
2.2. Метод виключення проміжних перетворювачів і інтерфейсів	13
2.3. Метод об'єднання елементів мехатронного модуля.....	16
2.4. Метод перенесення функціонального навантаження на інтелектуальні пристрої	17
3. Промислові мехатронні системи	19
3.1. Мехатронні системи у вантажопідійомних і робототехнічних пристроях	19
3.2. Мехатронні системи в транспортно-накопичувальних засобах.....	23
4. Мехатронні модулі переміщення. Перетворювачі лінійного руху	27
4.1. Рейкові передачі.....	27
4.2. Передача гвинт-гайка ковзання	28
4.3. Передача гвинт-гайка кочення.....	29
4.4. Диференційна і інтегральна передачі гвинт-гайка	29
4.5. Кривошипно-кулісні механізми	30
4.6. Кулачкові механізми	31
5. Мехатронні модулі. Перетворювачі обертального руху	33
5.1. Циліндричні та конічні зубчасті редуктори	33
5.2. Планетарні передачі	34
5.3. Хвильові зубчасті передачі	36
5.4. Передачі з гнучким зв'язком	37
6. Мехатронні модулі. Напрямні. Гальмівні пристрої	39
6.1. Напрямні.....	39
6.2. Гальмівні пристрої.....	41
6.3. Механізми для вибірки люфтів.....	43
7. Електроприводи	46
7.1. Узагальнена структура електроприводу	46
7.2. Електродвигуни мехатронних модулів	47
7.3. Мехатронні виконавчі елементи	52
8. Силові перетворювачі	54
8.1. Силові перетворювачі двигунів постійного струму	54
8.2. Силові перетворювачі двигунів змінного струму	56
8.3. Частотні перетворювачі	58
8.4. Силовий модуль крокових двигунів	60
9. Датчики внутрішньої інформації мехатронних пристроїв	63
9.1. Датчики положення	63
9.2. Датчики швидкості	67
10. Датчики зовнішньої інформації мехатронних пристроїв	68
10.1. Датчики технологічних параметрів	68
10.2. Датчики стану зовнішнього середовища	69
11. Структура мехатронних систем управління	74
11.1. Функції управління мехатронними системами	74
11.2. Ієрархія управління в мехатронних системах	76
12. Автономні пристрої керування мехатронних модулів	82
12.1. Універсальні мікропроцесори.....	82
12.2. Мікроконтролери	84

13. Промислові системи управління мехатронних модулями	91
13.1. Програмовані логічні контролери	91
13.2. Апаратні та програмні компоненти програмованих логічних контролерів	94
14. Пристрої керування рухом	100
14.1. Технологічні функції керування рухом	100
14.2. Пристрої керування рухом	102
15. Комплексні системи керування	106
15.1. Структура і склад комплексних систем керування	106
15.2. Компоненти комплексних систем керування.....	107
ЛІТЕРАТУРА.....	115
Тематика практичних занять	117
Тематика курсових робіт.....	118
Додаток 1.....	119
Додаток 2.....	125

Передмова

В умовах модернізації сучасних виробничих та логістичних систем в Україні пріоритетна увага має надаватися підготовці нової генерації фахівців, яка здатна оволодіти сучасними мехатронними засобами. Однією з передумов вирішення цього надзвичайно важливого і складного завдання є опанування фахівцями ґрунтовними знаннями, уміннями, навичками, ставленнями у питаннях проектування та застосування механічних, інформаційних, виконавчих та керуючих пристроїв мехатронних модулів та систем.

Курс "Мехатроніка" є важливою частиною підготовки бакалаврів до практичної діяльності, що розроблений на основі робочої навчальної програми з дисципліни "Мехатроніка" є нормативним документом Державного університету «Одеська політехніка», який розроблено кафедрою підйомно-транспортного та робототехнічного обладнання на основі освітньої програми підготовки відповідно до навчального плану першого (бакалаврського) рівня спеціальностей "Прикладна механіка" та "Галузеве машинобудування" денної форми навчання. Робочу навчальну програму укладено згідно з вимогами семестрової системи організації освітнього процесу в ОП. Програма визначає обсяги компетентностей, які повинен опанувати студент відповідно до освітньої програми, алгоритму вивчення навчального матеріалу дисципліни "Мехатроніка".

"Мехатроніка" є складовою частиною дисциплін циклу професійної підготовки нормативного блоку. Її вивчення передбачає розв'язання низки завдань фундаментальної професійної підготовки фахівців першого рівня, зокрема: опанування студентами питань побудови, основ проектування та застосування мехатронних пристроїв в сучасних робототехнічних системах та поширення їх знань за рахунок розгляду різних типів мехатронних пристроїв та їх компонент, що базуються на сучасних методах та методиках.

Мета вивчення дисципліни – забезпечити розвиток загальних та спеціальних компетентностей майбутніх бакалаврів, розвинути здатність використовувати отримані теоретичні знання з основ мехатроніки для вирішення професійних завдань з використання мехатронних пристроїв у складі підйомно-транспортних, робототехнічних та логістичних систем.

Завдання вивчення дисципліни: визначити механічні, електричні, електронні та програмні компоненти мехатронних систем; характеризувати компоненти мехатронних систем, на яких ґрунтуються різноманітні методи створення підйомно-транспортного та робототехнічного обладнання, що застосовують в логістичних системах; аналізувати різні технологічні схеми логістичних систем з використанням засобів мехатроніки, шляхи їх удосконалення та перспективні напрямки розвитку методів використання мехатронних систем; розвинути навички розрахунку основних параметрів мехатронних систем; сформулювати навички вибору раціональних методів та технологій використання мехатронних систем залежно від встановлених задач; навчити рекомендувати найприйнятніші технологічні рішення інтенсифікації процесу використання мехатронних систем з урахуванням їх ефективності та екологічної небезпечності.

Дисципліна "Мехатроніка" є однією з основних у системі підготовки бакалаврів. Вона узагальнює набуті студентами знання у галузі розрахунку та проектування мехатронних пристроїв поширює їх в напрямках, що базуються на сучасних моделях і методах.

В навчальному посібнику розглянуті питання використання мехатронних систем у складі робототехнічних пристроїв, підйомно-транспортних машин та в обладнанні логістичних систем. Наведені механічні, інформаційні, виконавчі та керуючі пристрої мехатронних модулів та систем. Надані завдання до практичних занять та курсової роботи та приклади розв'язання задач.

1. Основні поняття і визначення мехатроніки

1.1. Визначення та термінологія мехатроніки

Сучасний термін "Мехатроніка", згідно японських джерел, був введений фірмою Yaskawa Electric в 1969 році [1]. Ця назва отримана комбінацією термінів "МЕХАніка" і "елекТРОНІКА". Таке об'єднання в єдиному словосполученні означає інтеграцію знань у відповідних областях науки і техніки, яка дозволила створити умови для появи техніки нових поколінь і виробництва нових видів устаткування.

Аналогічним чином йшов розвиток електромеханіки як науки, що використовує досягнення електротехніки і механіки при створенні приводних виконавчих систем широкого призначення. Інтеграція електромеханіки і мікроелектроніки привела до появи комплектних інтегрованих мехатронних модулів руху робочих органів і вузлів машин, а також обладнання, що створюються на їх основі.

У Німеччині і в деяких інших країнах пристрої перетворення електричної енергії в механічну для приведення в рух робочих органів (виконавчих механізмів), починаючи з 30-х років минулого століття отримали назву «електричний привід» [2].

До початку 80-х років термін "Мехатроніка" в світовій технічній літературі використовується стосовно до сфери проектування машин з комп'ютерним управлінням рухом, інтегруючи досягнення в області електромеханіки, електроніки та систем комп'ютерного управління рухами машин і просторових механізмів.

У відомих визначеннях підкреслюється триєдина сутність мехатронних систем, в основу побудови яких покладено ідею глибокого взаємозв'язку механічних, електронних і комп'ютерних елементів. Тому найбільш поширеним графічним символом мехатроніки стали три пересічних кола [2, 3] (рис. 1.1).



Рис. 1.1 - Визначення терміна "Мехатронні системи"

Таким чином, системна інтеграція трьох зазначених видів елементів є необхідною умовою побудови мехатронної системи.

Oxford Illustrated Encyclopedia [4] пропонує наступне визначення: Мехатроніка - японський термін для опису технологій, що виникли на стику електротехніки, машинобудування і програмного забезпечення. Включає проектування, виробництво і вивчає функціонування машин з «розумною» поведінкою, тобто що діють за заданою програмою.

Сучасні тенденції розвитку промисловості обумовлюють такі трактування.

Мехатроніка - галузь науки і техніки, заснована на синергетичному об'єднанні вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними і комп'ютерними компонентами, що забезпечують проектування і виробництво якісно нових модулів, систем, машин і систем з інтелектуальним керуванням їх функціональними рухами [5]. Синергія (той, що діє, дія) — це сумарний ефект, який полягає у тому, що при взаємодії двох або більше факторів їхня дія суттєво переважає ефект кожного окремого компонента у вигляді простої їхньої суми.

Мехатроніка – це нова область науки і техніки, присвячена створенню й експлуатації машин та систем з комп'ютерним керуванням рухом, яка базується на знаннях у області механіки, електроніки та мікропроцесорної техніки, інформатики й комп'ютерного керування рухом машин та агрегатів [6].

Мехатроніка - галузь науки, присвячена аналізу виконавчих станів мехатронних об'єктів і функціональної взаємодії механічних, енергетичних та інформаційних процесів між ними і з зовнішнім середовищем, а також синтезу мехатронних об'єктів. З іншого боку, мехатроніка - область техніки, що забезпечує повний життєвий цикл мехатронного об'єкта.

На даний момент пропонується ієрархія термінів мехатроніки [2]. У цій ієрархії, термін «Мехатронний об'єкт» - це узагальнююче поняття, яке включає в себе мехатронну систему, агрегат, модуль або вузол.

До першого рівня відносять **мехатронні вузли** або **мехатронні модулі**. Мехатронний модуль - уніфікований мехатронний об'єкт, це автономний пристрій, призначений, як правило, для реалізації рухів по одній координаті. Прикладами мехатронних модулів служать частини верстатів - шпindelная бабка, поворотний стіл. Як модулі можуть виступати двигуни, редуктори тощо. Більш складні модулі (автономні приводи) - мотор-редуктор, мотор-колесо, мотор-шпindel, мотор-барабан і поворотний стіл. **Вузол** принципово відрізняється від **модуля** тим, що він не уніфікований.

Другий рівень - **агрегат (машина)**, що включає в себе кілька модулів, призначених для реалізації заданих рухів в умовах взаємодії із зовнішнім середовищем. Приклади агрегатів - промислові роботи, верстати з ЧПУ і т.д.

Третій рівень - **мехатронна система**, що складається з декількох агрегатів або агрегату і ряду окремих модулів, тобто з об'єктів однакових або різних нижчих рівнів. Система - сукупність компонентів, будь-яким чином пов'язаних між собою: підлеглих певному відношенню, залежно або згідно закономірності; діють як одне ціле. Вона повністю відповідає цьому визначенню як сукупність механічних, електронних і керуючих компонентів, що утворюють синергетичну єдність, що діє як одне ціле.

Приклади мехатронних систем - гнучкі виробничі системи або сучасні автономні роботи.

Термін «**пристрій**» застосовується як загальна назва для вузла (модуля), агрегату (машини). Термін «**прилад**» відноситься до вимірювальних і регулюючих пристроїв, призначених для отримання і перетворення інформації.

Надалі до вищого рівня мехатронного об'єкта можливо буде зарахувати **комплекс**, який об'єднує кілька систем, або систему і інші мехатронні об'єкти різних нижчих рівнів. Вважається, що в перспективі мехатронні машини і системи будуть об'єднуватися в комплекси на основі єдиних інтеграційних платформ.

1.2. Структура і принципи побудови мехатронних систем

Об'єктом дослідження в мехатроніці як науці є мехатронна система, до складу якої входять:

- механічний пристрій з перетворювачами руху і робочим органом;
- блок приводу (виконавчий електро-, пневмо- або гідропривід);
- інтелектуальний пристрій управління з локальною системою регулювання

виконавчим приводом і системою комплексної автоматизації.

На рис. 1.2 приведена узагальнена структура мехатронної системи [6]. Завданням мехатронної системи є перетворення інформації про цілі управління, що надходить з верхнього рівня від людини-оператора або пристрою керування верхнього рівня (як правило, на основі промислового комп'ютера), в цілеспрямований функціональний рух.

Сигнал завдання обробляється локальною системою автоматичного регулювання, посилюється і перетворюється в силовому електронному перетворювачі на сигнал, який впливає на виконавчий двигун. Виконавчий двигун спільно з перетворювачем руху і робочим органом здійснює заданий рух і виконує при цьому необхідну корисну роботу.

У процесі руху об'єкт з свого боку надає вплив на робочий орган. Прикладами таких впливів можуть служити сили опору металу під час його прокатки, сили різання для операцій механообробки, сила тяжіння при підйомі вантажу і т.п. Тому з метою забезпечення заданої якості руху необхідно мати інформацію про фактичний стан зовнішнього середовища, механічного пристрою, виконавчих двигунів і силових перетворювачів. Для отримання цієї інформації в мехатронних систем вводяться спеціальні датчики і інформаційні пристрої (інформаційна система).

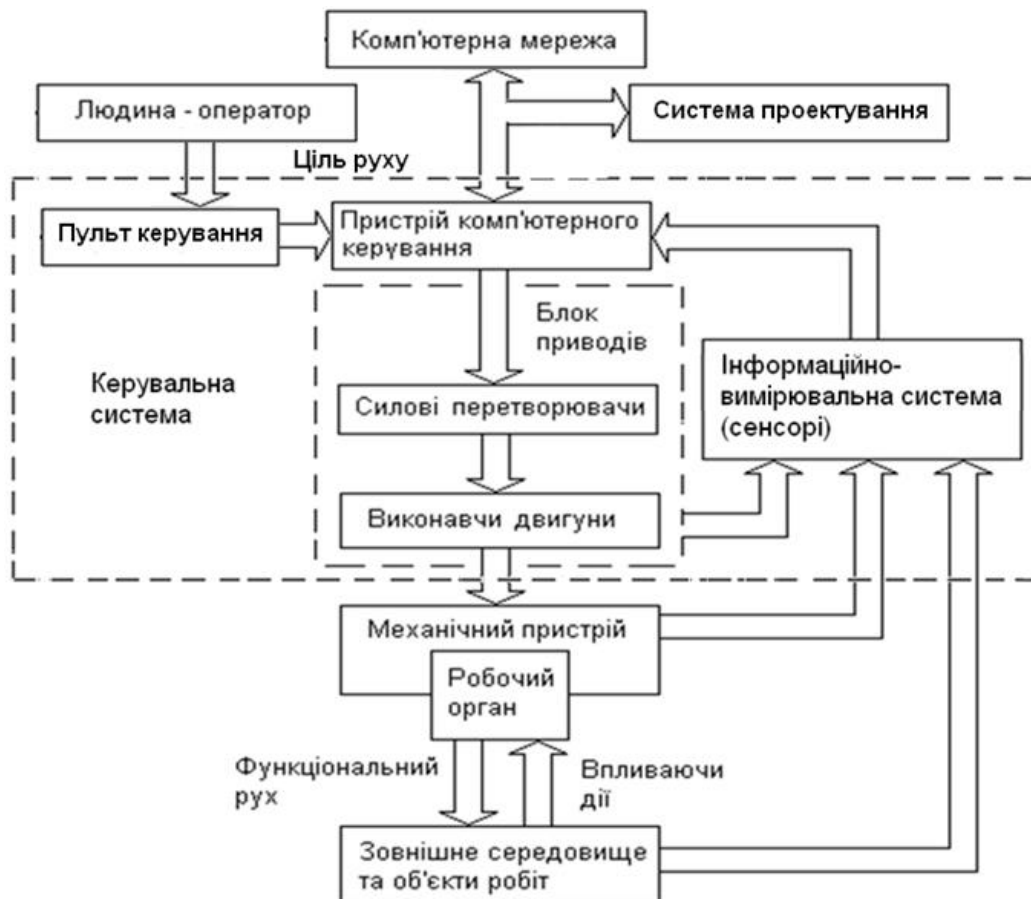


Рис. 1 2. Узагальнена структура мехатронної системи

У визначення мехатроніки під поняттям синергетичного об'єднання вузлів механіки, електротехніки, електроніки та інтелектуального управління закладено не просте з'єднання частин за допомогою механічних зчленувань і інтерфейсних блоків, а їх конструктивне вбудовування в мехатронні модулі. Тут під модулем розуміється функціональна частина системи, конструктивно виконана як самостійний виріб.

Об'єднання двох елементів системи дозволяє отримати мехатронні модулі 1-го покоління. Типовим прикладом таких модулів є мотор-редуктор, де редуктор і електродвигун випускаються як єдиний функціональний елемент. При цьому зчленування

двигуна і редуктора здійснюється без сполучної муфти шляхом закріплення вала двигуна в порожньому валу редуктора за допомогою шпонки. Прикладом мехатронного модуля 1-го покоління також є і сучасний перетворювач для живлення електродвигуна, в якому одночасно з силовою схемою вбудована система автоматичного регулювання координатами електропривода і технологічними координатами.

Мехатронні модулі 2-го покоління з'явилися в 80-х роках у зв'язку з розвитком електронних технологій, які дозволили створити мініатюрні датчики координат електроприводу. Об'єднання двигунів з інформаційними датчиками призвело до створення так званих мехатронних модулів руху, в яких досягнуто інтеграція вже трьох пристроїв різної фізичної природи: механічних, електричних та електронних.

Головною особливістю сучасного - 3-го етапу розвитку мехатроніки стало створення інтелектуальних мехатронних модулів, які є конструктивно і функціонально самостійними виробами з інтеграцією механічної, електротехнічної, електронної та інтелектуальної частин. У порівнянні з "Мехатронними модулями руху" (2-го покоління) в конструкцію інтелектуальних модулів руху вбудовується мікропроцесорні пристрої, що надає їм інтелектуальні властивості.

Перші зразки інтелектуальних мехатронних модулів з'явилися в середині 90-х років ХХ століття. Сьогодні вони випускаються рядом фірм вже серійно, і в останні роки їх частка на ринку швидко збільшується.

У сучасних інтелектуальних мехатронних модулях використовуються різні типи електродвигунів: обертового і лінійного руху, змінного і постійного струму, вентильні, крокові та інші. В якості перетворювачів руху застосовують зубчасті, гвинтові та інші передачі. Силкові електронні перетворювачі реалізуються як на основі тиристорів, так і на основі силових біполярних транзисторів з ізольованим затвором.

До складу модулів входять датчики положення, швидкості, струму і інші, що дають достатню інформацію про фактичний стан підсистем модуля і об'єкта в цілому.

Вбудовані керуючі контролери дозволяють отримувати автономні універсальні мехатронні модулі, що надійно функціонують та володіють інтелектуальними властивостями, а також дозволяють будувати на їх основі багатокординатні мехатронні системи з децентралізованим управлінням.

1.3. Класифікація мехатронних модулів

Згідно з галуззю застосування можна визначити такі мехатронні системи: промислові мехатронні системи; транспортні мехатронні системи; складські мехатронні системи; мехатронні системи у побуті; мехатронні системи у медицині; військові мехатронні системи; мехатронні системи спеціального призначення.

За способом управління мехатронні системи можна розрізнити як і робототехнічні пристрої, а саме:

- мехатронні системи з програмним управлінням, які працюють за задалегідь заданою жорсткою програмою (роботи першого покоління);
- мехатронні системи з адаптивним керуванням, які мають органи чуття і тому можуть працювати в задалегідь не регламентованих і мінливих умовах, наприклад, брати довільно розташовані предмети, обходити перешкоди і тощо (роботи другого покоління);
- мехатронні системи з інтелектуальним управлінням (з штучним інтелектом), які поряд з чуттєвістю мають систему обробки зовнішньої інформації, що забезпечує їм можливість інтелектуального поведінки, подібно поведінки людини в аналогічних ситуаціях (роботи третього покоління).

Управління рухом по окремим ступенях рухливості може бути безперервним (контурним) і дискретним (позиційним). В останньому випадку управління рухом

здійснюють, задаючи кінцеву послідовність точок і подальше переміщення по ним кроками від точки до точки. Найпростішим варіантом дискретного управління є цикловоє, при якому кількість точок позиціонування по кожній ступеня рухливості мінімально і найчастіше обмежена двома - початковою і кінцевою координатами.

На рис. 1.3 представлена класифікація мехатронних модулів за конструктивними ознаками [2].

У даній класифікації виділені ознаки, що досить повно характеризують конструкцію мехатронних модулів (рівень інтеграції, число ступенів рухливості і вид рухів), а також комплекс ознак (технічні характеристики), що визначає функціональні можливості модулів.

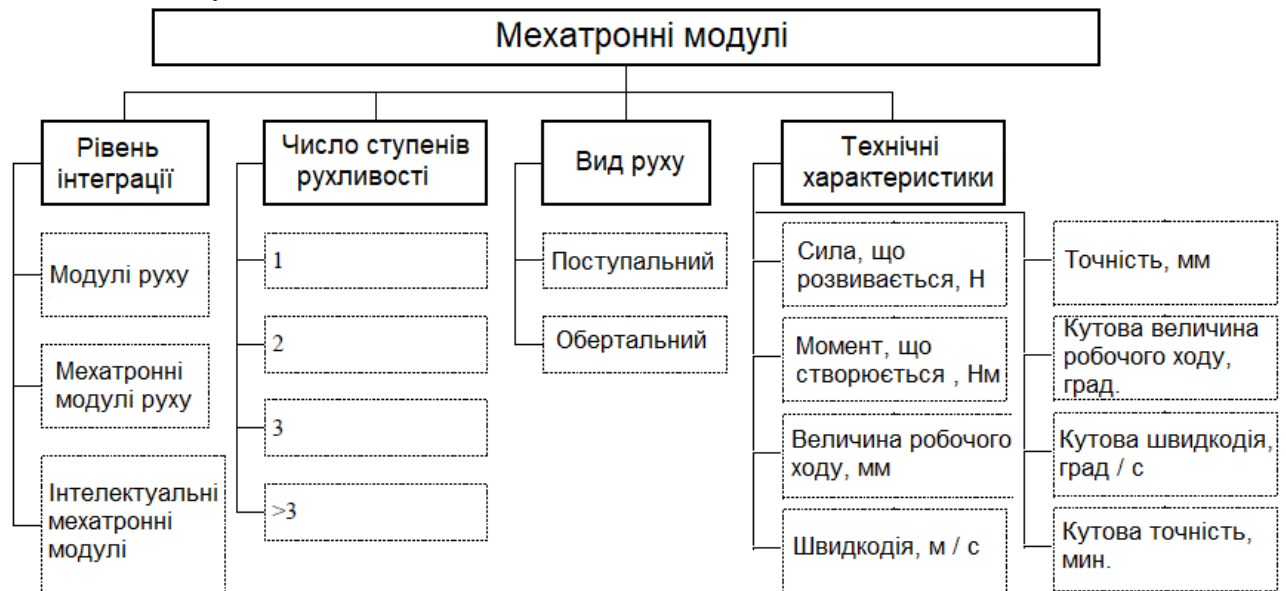


Рис. 1.3 - Класифікація мехатронних модулів

Класифікація мехатронних модулів передбачає за рівнем інтеграції: модулі руху, мехатронні модулі руху і інтелектуальні мехатронні модулі.

За кількістю ступенів рухливості: 1, 2, 3, більше, ніж 3.

По виду рухів - поступальні і обертальні.

Комплекс ознак технічних характеристик включає: силу, що розвивається і крутний момент; величину, швидкість і точність робочого ходу (лінійного і кутового).

Конкретні мехатронні модулі, згідно з поданою класифікацією, будуть розглянуті далі.

Контрольні питання

1. Пояснити, що таке мехатроніка?
2. Описати, з чого складаються мехатронні системи?
3. Назвати, на які рівні поділяються мехатронні пристрої?
4. Визначити, як виглядає узагальнена структура мехатронних систем?
5. Пояснити, чим відрізняються різні покоління мехатронних об'єктів?
6. Розкрити, у чому полягає класифікація мехатронних модулів за способом управління?
7. Розкрити, у чому полягає класифікація мехатронних модулів за конструктивними ознаками?

2. Методи побудови мехатронних модулів і систем

2.1. Основи конструювання мехатронних систем

Основою методів конструювання мехатронних пристроїв є інтеграція складових частин, яка визначається на етапі проектування і реалізується при виробництві та експлуатації мехатронних модулів і систем [6]. Інтеграція в межах мехатронного пристрою виконується за допомогою об'єднання компонентів і через інтеграцію обробки інформації.

На сучасному етапі розвитку мехатроніки актуальним є вирішення таких інтеграційних завдань:

- функціональна, структурна і конструктивна інтеграція елементів;
- апаратно-програмна інтеграція виконавчих і інтелектуальних елементів в мехатронних модулях;
- розробка та впровадження гібридних технологій виробництва інтегрованих модулів і машин;
- створення інформаційних середовищ для підтримки рішень міждисциплінарних мехатронних завдань;
- побудова математичних і комп'ютерних моделей мехатронних модулів і систем, що відображають їх інтеграційну специфіку;
- застосування інтеграційних підходів у організаційно-економічній діяльності підприємств, що випускають мехатронні вироби;
- міждисциплінарна підготовка фахівців, здатних до системної інтеграції в області мехатроніки.

Важливим місцем мехатронних модулів і машин є інтерфейс між складовими пристроями та елементами.

Поняття "інтерфейс" є ключовим для підходу до проектування мехатронних модулів і систем. В першу чергу відзначимо, що взаємодія основних пристроїв в мехатронній системі здійснюється не безпосередньо, а через деякі сполучні блоки. З фізичної та технічної точки зору пристрої можуть відрізнятися, але мати однакове функціональне призначення. Їх основна функція - це виконання енергетичного і інформаційного обміну між структурними елементами системи, що сполучаються.

Місце інтерфейсу в структурі мехатронної системи задається зв'язками з вхідними та вихідними пристроями. Технічні характеристики інтерфейсу визначаються способом і процедурою передачі (при необхідності - перетворення, зберігання і синхронізації) впливів, сигналів та інформації, а також апаратно-програмною реалізацією використовуваних каналів зв'язку.

Якщо блоки, як правило, випускаються спеціалізованими фірмами, то багато інтерфейсів розробляються і виготовляються самостійно користувачами. При проектуванні машини з комп'ютерним управлінням по трьох координатах, побудованих на традиційних приводах, для зв'язку основних пристроїв необхідно з'єднати близько 100 сигнальних і силових проводів. Досвід експлуатації комплексних машин і систем показує, що до 70% проблем їх функціонування пов'язані з надійністю зв'язків і з'єднань. Суть мехатронного підходу полягає в об'єднанні елементів в інтегровані модулі вже на етапах проектування і виготовлення, звільняючи кінцевого споживача від проблем при експлуатації мехатронної машини. Інтегровані мехатронні машини відрізняються підвищеною надійністю, стійкістю до несприятливих зовнішніх впливів, точністю виконання рухів, модульністю і компактністю конструкції. З точки зору споживача - це цілісні вироби, зручні при налаштуванні і програмуванні рухів. Інтегровані рішення економічно доцільні завдяки спрощенню сервісу машини та підвищенню її ремонтпридатності. Системи з глибоким ступенем інтеграції елементів мають і зворотний бік - такі машини є менш гнучкими (мають обмежені можливості для

модернізації та реконфігурації). Тому мехатронні модулі різного рівня інтеграції дозволяють виявляти раціональну структуру під конкретні завдання автоматизації.

Рішення "проблеми інтерфейсів" в мехатроніки можна трактувати як задачу мінімізації структурної складності мехатронної системи. Структурна складність комплексних систем в загальному випадку визначається кількістю елементів, що з'єднуються, числом і інтенсивністю їх взаємозв'язків. В основі даного підходу лежать три фундаментальні напрямки теорії системного проектування складних систем:

- функціонально-структурний аналіз і еволюційний синтез технічних систем;
- методологія паралельного проектування систем;
- структурний синтез і оптимізація технічних систем за критеріями складності;
- ключові положення названих напрямів.

Функціонально-структурний підхід базується на ідеї пріоритету функції системи над її структурною організацією. Завданням проектування є визначення такої структури, яка дозволить системі виконувати задані функціональні завдання з максимальною ефективністю за обраними критеріями якості. Основні положення цього методу розроблені стосовно завдань проектування інформаційно-керуючих комплексів і обчислювальних пристроїв.

Метод еволюційного синтезу передбачає знаходження раціональних рішень шляхом багатоетапної процедури оптимізації. Пошук варіантів виробляється з бази перспективних структурних рішень, яка відкрита для редагування (вдосконалення) і має ієрархічну структуру. Такий метод проектування дозволяє підвищити якість проекту і знизити вимоги до досвіду розробника.

Методологічною основою для розробки мехатронних систем служать методи паралельного проектування. При традиційному проектуванні розробка механічної, електронної, інформаційної та комп'ютерної частин ведеться послідовно і незалежно один від одного.

Завданнями системної інтеграції займається розробник системи управління. Його можливості обмежені, так як основні конструкторські рішення приймаються на попередніх етапах.

Обрані двигуни і механічні пристрої відносяться до незмінної частини, склад і характеристики якої не коригується при розробці електронної та керуючої частин.

Методологія паралельного проектування полягає в одночасному і взаємопов'язаному синтезі всіх пристроїв мехатронної системи.

Одна з процедур проектування інтегрованих мехатронних машин передбачає чотири взаємопов'язані етапи:

- 1) визначення функцій мехатронних модулів на основі аналізу вихідних вимог до мехатронної машини;
- 2) функціонально-структурний аналіз з метою вибору і формування структури всіх мехатронних модулів системи;
- 3) структурно-конструктивний аналіз, конструювання та формування моделі модулів системи;
- 4) планування й оптимізація функціональних рухів, розробка програм руху машини і її модулів.

Вихідні вимоги до мехатронним машинам, що визначають основні проектні рішення, формуються шляхом аналізу виконуваних технологічних операцій.

Рекомендації технологів, як правило, обмежуються вибором номінальних режимів руху машини. Проектування мехатронної системи можна поділити на такі етапи.

На першому етапі, як правило, задають вихідні дані, що включають інформацію про програмованих рухах і комплексі обмежень.

Вимоги до траєкторіях руху містять опис програмованих траєкторій робочого органу в просторі і допустиму похибку їх відпрацювання. Траєкторії робочого органу визначаються геометрією контурів і поверхонь об'єктів робіт.

На другому етапі проектування формується структура мехатронних модулів зі схемою енергетичних та інформаційних потоків.

На третьому етапі проводиться конструювання модулів і мехатронної машини в цілому. Застосовуючи процедури функціонально-структурного і структурно-конструктивного аналізу оцінюються проектні варіанти для забезпечення високого рівня інтеграції елементів. Завдання проектування, таким чином, полягає в знаходженні найкращого відповідності між заданою функцією і технічним виконанням.

Побудова функціональної, структурної та конструктивної моделей дозволяє застосовувати в мехатроніки методи і засоби автоматизованого аналізу, проектування і конструювання.

На заключному етапі даної процедури виконується планування й оптимізація функціональних рухів мехатронної машини. Результатом цього етапу є створення програм управління цими рухами.

2.2. Метод виключення проміжних перетворювачів і інтерфейсів

Застосування методу інтеграції забезпечує мінімізацію структурної складності мехатронних модулів шляхом виключення проміжних перетворювачів [6]. При проектуванні з традиційної структури виключають проміжні блоки і відповідні інтерфейси, зберігаючи функціональне перетворення, яке виконує мехатронним модулем в цілому, його вхідні і вихідні змінні. Метод реалізується, як правило, на другому етапі проектування мехатронних систем при синтезі структури модулів. Структурні рішення для мехатронних систем виявляються за допомогою методики функціонально-структурного аналізу проектних рішень. Відомі два основних підходи до побудови моделей складних технічних систем. Перший полягає в функціональному визначенні даної системи через її поведінку по відношенню до зовнішніх об'єктів і зовнішнього середовища. Другий підхід заснований на структурному представленні системи і зв'язків між її елементами. Дослідження і оптимізація взаємозв'язків між функцією і структурою системи лежить в основі функціонально-структурного підходу, який застосовують до завдань мехатроніки. Для методично коректного проектування необхідно розглянути функціональну організацію мехатронної системи. Функціональне уявлення з певними вхідними та вихідними змінними (модель типу "чорний ящик") представлено на рис. 2.1. Головна функціональна задача мехатронної системи полягає в перетворенні інформації про програму руху в кероване рух її кінцевої ланки.



Рис. 2.1 - Функціональне уявлення мехатронної системи

Програма руху задається комп'ютером або оператором. Керований рух здійснюється ланками механічного пристрою, причому кінцева ланка - робочий орган взаємодіє з зовнішнім середовищем. У процесі руху на механічній пристрій діють зовнішні сили з боку об'єктів робіт (наприклад, сили різання при шліфувальних і

фрезерних операціях, контактні сили і моменти при роботизованій збірці). Інформаційний зворотний зв'язок необхідний для оцінки в режимі реального часу поточного стану керованої системи і зовнішнього середовища.

Виділена основна функція не обов'язково є єдиною для мехатронних систем. Деякі додаткові функції, такі як: реконфігурація системи, обмін сигналами та інформацією з іншим технологічним обладнанням, самодіагностика, також повинні бути реалізовані для її ефективної і надійної роботи. Але саме виконання заданого функціонального руху є головною функцією, яка визначає поведінку мехатронної системи у зовнішньому середовищі.

Функціональне уявлення мехатронного модуля у формі "чорного ящика" (рис. 2.1) містить два інформаційних входи (програма руху та інформаційний зворотний зв'язок), додатковий механічний вхід (сили реакції зовнішнього середовища) і один вихід - цілеспрямований механічний рух. Отже, в загальному випадку функціональна схема мехатронного модуля може бути побудована як інформаційно-механічний перетворювач.

Фізична реалізація мехатронного інформаційно-механічного перетворення здійснюється шляхом використання електричних джерел енергії. Відповідна функціональна модель для сучасних мехатронних систем представлена на рис. 2.2.

Отримана функціональна модель в загальному випадку містить сім базових перетворювачів, пов'язаних енергетичними та інформаційними потоками.

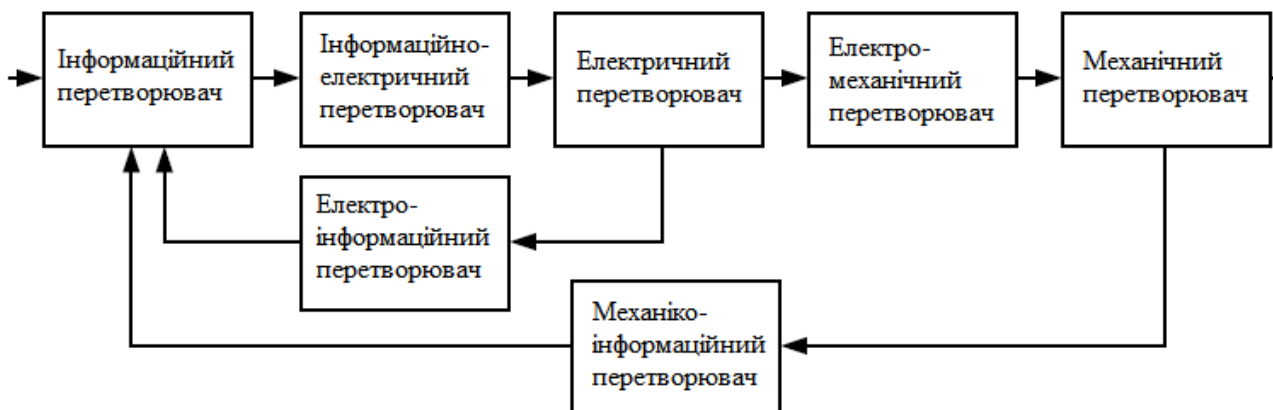


Рис. 2.2. Функціональна модель мехатронного модуля

Електрична енергія є тільки проміжною енергетичною формою між вхідною інформацією і вихідним механічним рухом.

Вибір фізичної природи проміжного перетворювача визначається можливостями технічної реалізації, вихідними вимогами і особливостями застосування.

Структурна модель мехатронного модуля відображає склад його елементів і зв'язку між ними. Структурні моделі можна графічно представити у вигляді блок-схем. В якості вихідної структури мехатронного модуля представлений традиційний електропривод з комп'ютерним управлінням (рис. 2.3).

У представленій структурній схемі виділяють керуючу і електромеханічну підсистеми. Наведена структурна модель електроприводу включає в себе такі наступні елементи:

- пристрій комп'ютерного управління рухом (інформаційне перетворення: обробка цифрових сигналів, цифрове регулювання, розрахунок керуючих впливів, обмін даними з периферійними пристроями);
- цифроаналоговий перетворювач (функція інформаційно-електричного перетворення);

- силовий перетворювач, як правило, складається з підсилювача потужності, широтно-імпульсного модулятора і трифазного інвертора (для асинхронних двигунів);
- керований електродвигун (електромеханічне перетворення);
- механічний пристрій (реалізує заданий керований рух, і робочий орган, що взаємодіє з зовнішніми об'єктами);
- пристрій зворотного зв'язку (дає інформацію про значеннях електричних напруг і струмів в силовому перетворювачі);
- датчики зворотного зв'язку (за станом механічних ланок і швидкості їхнього руху), що виконують функцію механіко-інформаційного перетворення;
- інтерфейсні пристрої I0-I8.



Рис. 2.3. Структура традиційного електроприводу з комп'ютерним управлінням

Залежно від фізичної природи вхідних і вихідних змінних інтерфейсні блоки можуть бути як механічними, так і інтелектуальними перетворювачами. Прикладами механічних інтерфейсів є передачі і трансмісії, що зв'язують механічний пристрій з двигуном (інтерфейс I4) і датчиками зворотного зв'язку I7, I8.

Інтелектуальні інтерфейси розташовані на входах і виходах пристрою комп'ютерного управління мехатронного модуля і призначені для його сполучення з наступними структурними елементами:

- комп'ютером верхнього рівня управління та іншими модулями мехатронної системи (інтерфейс I0);
- цифроаналоговим перетворювачем (інтерфейс I1) і далі з силовим перетворювачем модуля (I2);
- датчиками зворотного зв'язку (інтерфейс I8), який в разі застосування сенсорів з аналоговим вихідним сигналом будується на основі аналого-цифрового перетворювача;
- пристроями зворотного зв'язку для контролю рівня електричних струмів і напруг в силовому перетворювачі (інтерфейс I6).

У традиційній приводній техніці інтерфейси є сепаратними пристроями. Тому їх проектування, виготовлення і налагодження стають серйозною проблемою, особливо при вимогах надійного з'єднання нестандартних і спеціалізованих елементів різних виробників.

Порівняння функціональної моделі мехатронного модуля (рис. 2.2) і структурної моделі традиційного електроприводу (рис. 2.3), показує, що сумарна кількість основних і інтерфейсних блоків в структурі електроприводу значно перевищує число виконуваних функціональних перетворень. Ця обставина вказує на структурну надмірність традиційного електроприводу. Наявність надлишкових блоків призводить до зниження

надійності і точності технічної системи, погіршення її масогабаритних і вартісних показників.

Завданням функціонально-структурного аналізу є пошук мехатронних структур, що реалізують задані функціональні перетворення за допомогою мінімальної кількості структурних блоків. Представлені рішення засновані на спільному аналізі функціональної моделі мехатронного модуля і структури традиційного електроприводу.

Перспективні рішення на базі розглянутого методу інтеграції ґрунтуються на застосуванні гібридних виробничих технологій і нових конструкційних матеріалів, загальних для виконавчих і інтелектуальних компонентів.

2.3. Метод об'єднання елементів мехатронного модуля

Цей метод інтеграції полягає в апаратно-конструктивному поєднанні обраних елементів і інтерфейсів в єдиному корпусі [6]. Технологічною базою для даного методу інтеграції є гібридне складання вузлів і елементів. Апаратне і конструктивне об'єднання елементів в єдині модулі повинно супроводжуватися розробкою інтегрованого програмного забезпечення. Методичним підходом пошуку варіантів є розгляд інтерфейсних блоків на рис. 2.3 в якості локальних точок, де потенційно можлива інтеграція елементів. Для отримання високоінтегрованих модулів при проектуванні можна базуватися на кілька інтерфейсних точок одночасно.

Прикладами модулів руху можуть служити: мотор-редуктор, мотор-колесо, мотор-шпindel і мотор-барабан. До складу сучасних модулів руху крім двигунів і перетворювачів руху входять і інші види механічних пристроїв - гальмівні і люфтовибіраючі механізми, направляючі і перетворювачі руху. Так, мехатронний модуль фірми *Dunkermotoren* на базі асинхронного двигуна містить додатковий гальмівний пристрій. До модулів руху можна віднести також високооборотні мотор-шпинделі.

Головною особливістю сучасного етапу розвитку мехатроніки є створення принципово нового покоління модулів - інтелектуальних мехатронних модулів. У порівнянні з мехатронними модулями руху в їх конструкцію додатково вбудовуються комп'ютерні пристрої і силові електронні перетворювачі, що надає цим модулям інтелектуальні властивості і є їх головною відмітною ознакою. Інтелектуальні мехатронні модулі реалізують все сім функціональних перетворень, представлених на рис. 2.2. У цих модулях структурно-конструктивна інтеграція здійснюється за всіма інтерфейсними точками.

Вбудовування інтелектуальних пристроїв безпосередньо в мехатронний модуль породжує і ряд обмежень. До них слід віднести складність модернізації, збільшення масогабаритних показників модуля руху в порівнянні з приводами, де керуючі і електронні пристрої розташовані окремо.

На рис. 2.4 представлені інтелектуальні мехатронні модулі на прикладі модулів *Simodrive Posmo A* та *Simodrive Posmo SI* фірми *Siemens* [9], що включають електродвигун 1, механічний перетворювач 2 і силовий перетворювач 3.

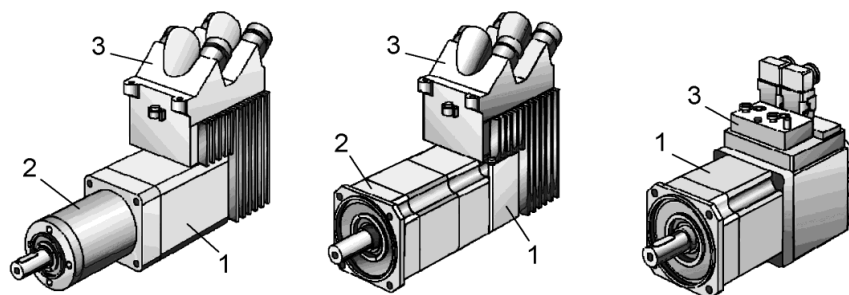


Рис. 2.4. Інтелектуальні мехатронні модулі фірми Siemens

2.4. Метод перенесення функціонального навантаження на інтелектуальні пристрої

На етапі проектування здійснюється розподіл функцій між структурними елементами мехатронної системи. Сучасна тенденція при побудові машин полягає в перенесенні функціонального навантаження від механічних вузлів до інтелектуальних (електронних, комп'ютерних та інформаційних) компонентів, відносно дешевих і дозволяючих легко змінювати програму під нове завдання. Використання даного методу інтеграції дозволяє мінімізувати механічну складність мехатронної системи.

Аналіз [6] показує, що ще на початку 90-х років ХХ століття переважна більшість функцій машини (більш 70%) реалізовувалося механічним шляхом. Однак сучасні механічні пристрої все частіше стають вузьким місцем в складних машинах. Це пояснюється їх недостатньою функціональною гнучкістю, наявністю тертя, люфтів і пружність в передачах, відносно високою вартістю виготовлення.

Тому в наступні десятиліття відбувалося поступове витіснення механічних вузлів спочатку електронними, а потім і комп'ютерними блоками. У мехатронних системах спрощуються механічні рішення, але використовуються складні інтелектуальні системи управління. В даний час обсяг функцій (а відповідно і вартість) розподілений між механічними, електронними та комп'ютерними компонентами практично рівномірно. При цьому частка комп'ютерної частини зростає, і є всі підстави прогнозувати збереження цієї тенденції на майбутнє.

Мехатронний підхід передбачає не доповнення, а заміщення функцій, традиційно виконуваних механічними елементами системи, електронними та комп'ютерними блоками. Якщо одна і та ж функція може бути реалізована пристроями різної фізичної природи, то при розробці системи необхідно враховувати технологічні і організаційно-економічні критерії.

На рис. 2.5 наведені всенаправлені мобільні роботи, один з яких обертається за рахунок наявності коліс з механізмом повороту, а інший з конструкцією коліс, що дозволяють здійснювати переміщення у різні напрямки шляхом роздільного встановлення швидкості коліс (шведські колеса).

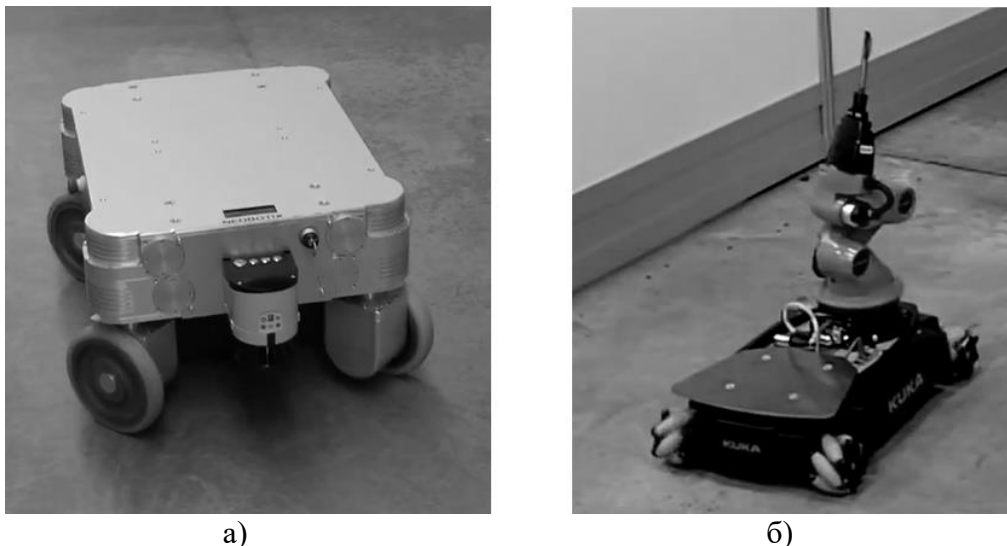


Рис. 2.5. Всенаправлені мобільні роботи з поворотними (а) та шведськими (б) колесами

На рис. 2.6 наведена залежність напрямку руху візка з колесами Mecanum від напрямку обертання коліс.

Головна перевага цієї конструкції в тому, що, хоча обертання колеса працює тільки уздовж однієї головної осі, можна змінювати напрямок руху системи, встановленої на ці

колеса, змінюючи тільки швидкості обертання інших коліс, і колесо може рухатися з дуже невеликим тертям уздовж безлічі можливих траєкторій, а не тільки вперед і назад.

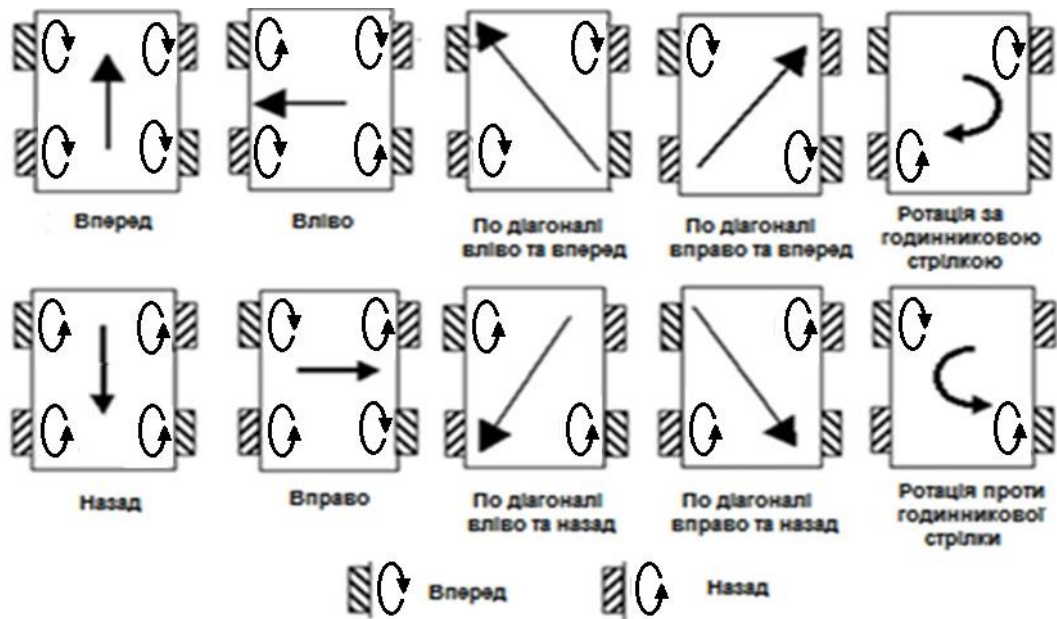


Рис. 2.6. Залежність напрямку руху візка з колесами Mecanum від напрямку обертання коліс

Контрольні питання

1. Пояснити, чим відрізняються основи конструювання мехатронних систем?
2. Описати, на які етапи поділяється проектування мехатронних систем?
3. Назвати, у чому полягає метод виключення проміжних перетворювачів і інтерфейсів?
4. Розкрити, у чому полягає метод проміжних перетворювачів і інтерфейсів?
7. Розкрити, у чому полягає метод об'єднання елементів мехатронного модуля?

3. Промислові мехатронні системи

3.1. Мехатронні системи у вантажопідйомних і робототехнічних пристроях

Мехатронні пристрої знаходять широке використання у вантажопідйомних пристроях, оскільки елементи цих пристроїв здійснюють багато переміщень. Тому в них застосовують сучасні пристрої керування рухом.

Розглянемо вирощання мехатронних пристроїв на прикладі портального крана [7] (рис. 3.1).

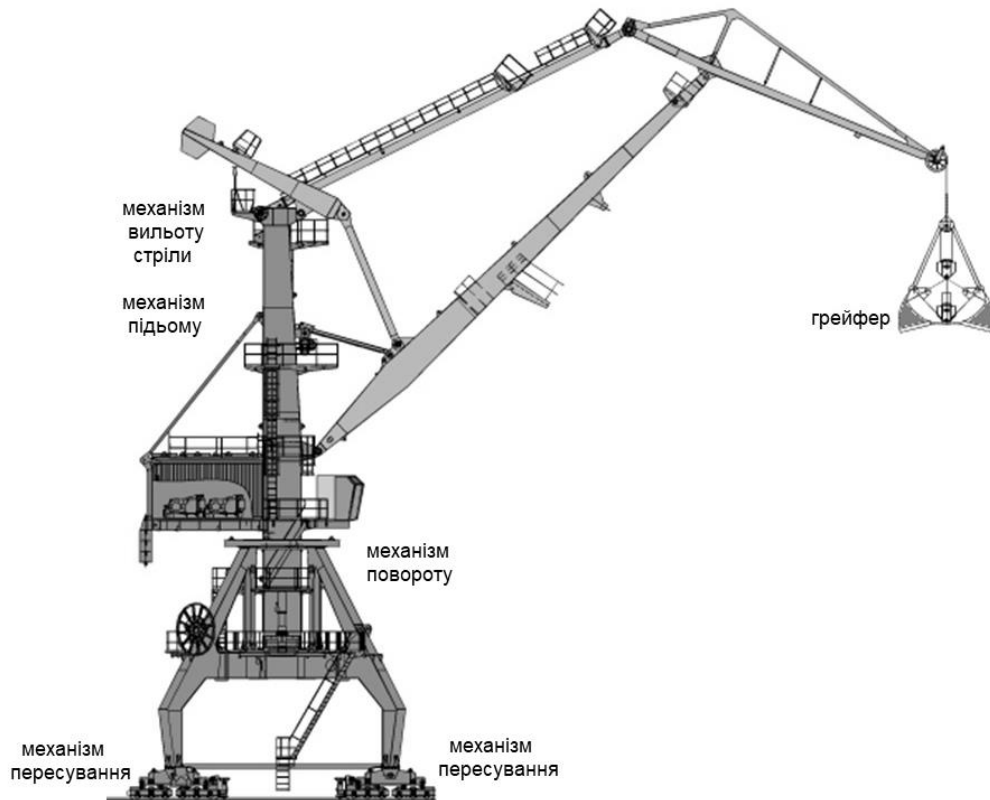


Рис. 3.1. Портальний кран

Кран призначений для перевантаження штучних і навалочних вантажів при проведенні вантажно-розвантажувальних робіт та складається з порталу, встановленого на чотири ходові візки і поворотної частини. Кожний ходовий візок має свій привід і забезпечені рейковими захватами, що оберігають кран в неробочому стані від уgonу вітром.

На верхню частину порталу спирається поворотна частина крана, що включає: колону, машинне приміщення, кабінку управління, шарнірно-зчленовану стрілову систему. На поворотній частині розміщені механізми: підйому, повороту та зміни вильоту стріли, а також пристрої та прилади, що забезпечують роботу механізмів крана і управління ними.

Стрілова система складається з стріли, хобота, відтягнення і коромисла, з'єднаних між собою шарнірно. До коромисла кріпиться противага, призначена для урівноваження стрілової системи.

Зміна вильоту стріли здійснюється рейковим механізмом, привод якого розташований на колоні.

Поворот крана здійснюється двома приводами, розташованими в нижній частині колони. Опорно-поворотний пристрій складається з опори колони, розташованої в нижній її частині і поворотних ковзанок, що спираються на рейкове коло, яке укріплене на порталі. Механізм підйому виконаний у вигляді двохбарabanної лебідки і призначений для роботи як з гаковою підвіскою, так і з грейфером.

Щоб уникнути перевантаження крана в механізмі підйому є обмежувач вантажопідйомності. Для обмеження підйому вантажу по висоті встановлені кінцеві вимикачі.

Для грейферної лебідки і механізму повороту встановлено по два ідентичних двигуна з системою керування, що базується на використанні частотно-регульованих приводів, яка застосовує активні блоки живлення та рекуперації енергії.

Двигуни вантажних лебідок, механізмів повороту (один з двох) і зміни вильоту стріли оснащені імпульсними датчиками положення, за допомогою яких здійснюється замкнений контур управління швидкістю даних двигунів. Імпульсні датчики положення встановлені також на обох двигунах лебідок, одному з двигунів повороту і двигуні вильоту стріли.

Управління всіх двигунів (за винятком механізму пересування) – векторне, замкнуте по швидкості. Приводи лебідок та механізму зміни вильоту стріли – індивідуальні, приводи механізму повороту і механізму пересування - групові.

Двигуни механізму пересування крана управляються від одного інвертора (частотного перетворювача) в режимі разомкнутого управління швидкістю.

Структура та основні компоненти автоматизованої системи керування порталного крана наведені на рис. 3.2.

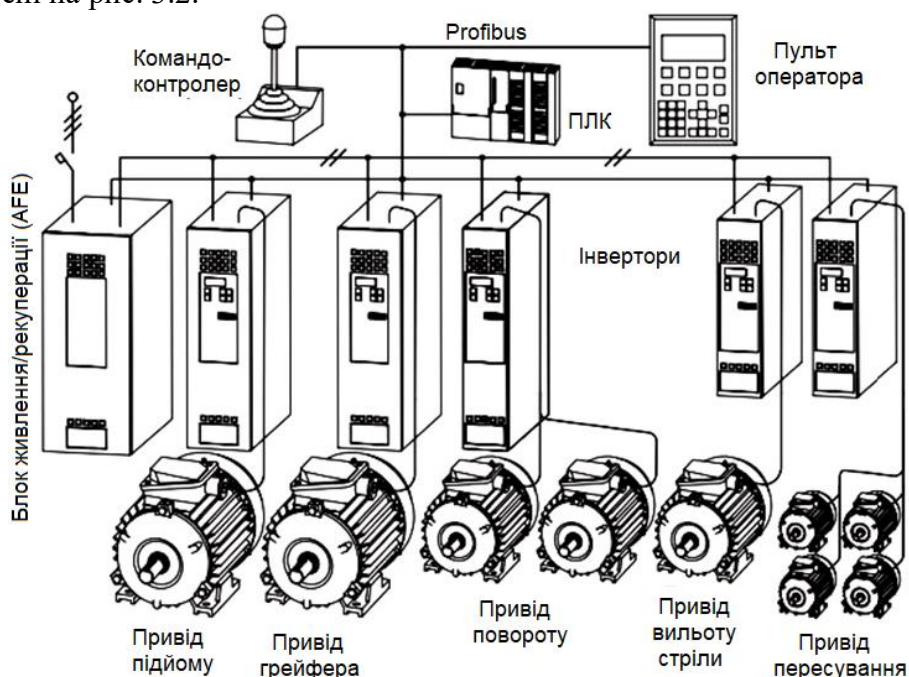


Рис. 3.2. Структура та основні компоненти автоматизованої системи керування порталного крана

Цей приклад показує, що у таких пристроях використовуються різні по складності і функціональним можливостям мехатронні модулі, які разом створюють мехатронну систему.

На рис. 3.3 наведені складові частини мехатронного модуля механізму підйому.

До цього механізму входять:

- програмований логічний контролер (ПЛК) S7-300,
- частотний перетворювач, керування яким здійснюється від ПЛК по локальній мережі Profibus-DP,
- електродвигун,
- редуктор та барабан, на який намотується канат.

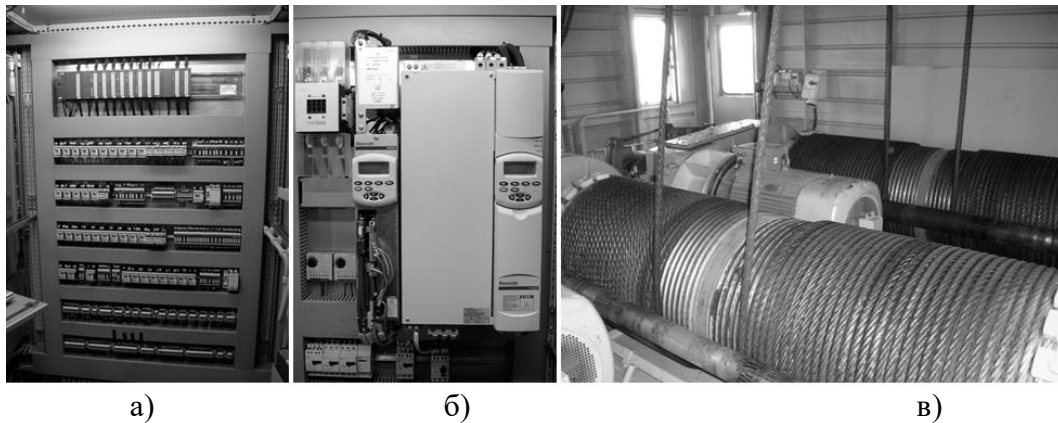


Рис. 3.3. Складові частини мехатронного модуля механізму підйому: а) програмований логічний контролер, б) частотний перетворювач, в) електродвигун, редуктор та барабан.

Найбільш широке використання мехатронні пристрої знайшли в робототехнічних системах, що по суті є мехатронними пристроями. При цьому мехатронні пристрої є складовою частиною усіх поколінь роботів а саме, роботів з програмним управлінням (роботи першого покоління); роботів з адаптивним керуванням (роботи другого покоління); роботів з інтелектуальним управлінням (з штучним інтелектом) (роботи третього покоління) (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Роботи як мехатронні пристрої: а - роботи з програмним; б - роботи з адаптивним керуванням; в - роботи з інтелектуальним управлінням

Робот являє собою автоматичний пристрій, створений за принципом живого організму.

Діючи за заздалегідь закладеною програмою і отримуючи інформацію про зовнішній світ від датчиків (аналогів органів чуття живих організмів), робот самостійно здійснює виробничі та інші операції, що зазвичай виконуються людиною (або тваринами).

При цьому робот може мати зв'язок з оператором (отримувати від нього команди) та іншими пристроями у складі робототехнічного комплексу, або діяти автономно.

Основною відзнакою усіх роботів є можливість самостійно виконувати визначені дії у тривимірному просторі шляхом переміщення виконавчого пристрою згідно з закладеною програмою.

Сучасні роботи складаються з механічних пристроїв, різних виконавчих двигунів та сенсорів (інформаційних систем), що забезпечують необхідну швидкість і точність переміщення робочого органа та самого робота, пристроїв керування двигунами з силовими перетворювачами та програмованого пристрою керування, який виконує весь алгоритм керування роботом.

Структура роботів повністю аналогічна структурі мехатронних систем, оскільки складається з мехатронних пристроїв та мехатронних модулів.

Прикладом мехатронних модулів роботів можуть бути пристрої переміщення окремих ланок.

На рис 3.5 наведені модулі переміщення механізму підйому та повороту руки (а), а також механізмів самої руки (б).

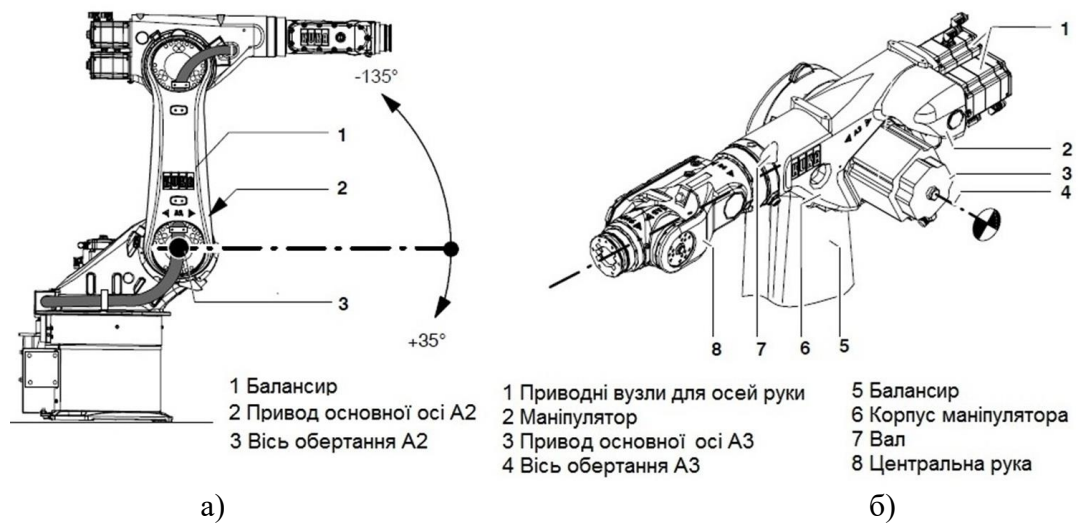
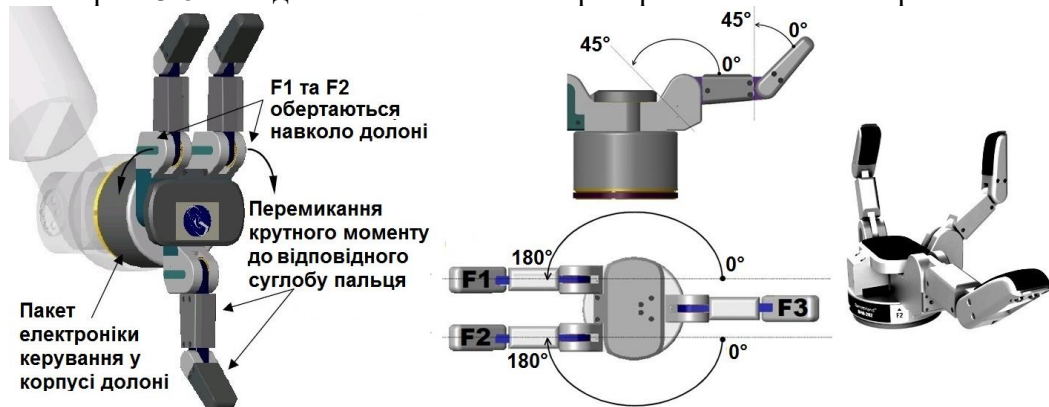


Рис. 3.5. Модулі переміщення механізму підйому та повороту руки (а) та механізмів самої руки (б)

До мехатронних модулів можна віднести такі складні компоненти як захоплюючі пристрої. На рис. 3.6 наведений захоплюючий пристрій Barrett Hand з трьома пальцями.



Прикладом мехатронних модулів роботів можуть бути пристрої обслуговування верстатів з числовим програмним керуванням, що здійснюють встановлення та заміну інструментів, а також встановлення заготовки і зняття готової деталі (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Робот для встановлення заготовки і зняття готової деталі верстата з ЧПУ

На рис. 3.8 наведений адаптивна мехатронна система у вигляді мобільного робота, який здійснює пошук та ідентифікацію об'єктів за допомогою відеосистеми.

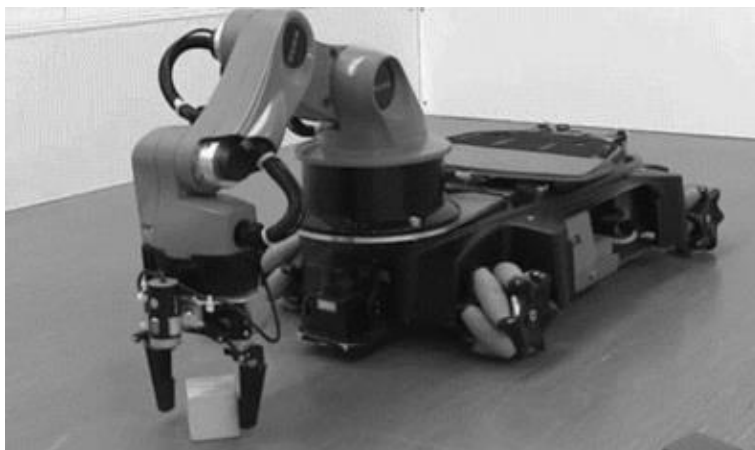


Рис. 3.8. Адаптивна мехатронна система у вигляді мобільного робота

Основною відзнакою усіх роботів є можливість самостійно виконувати визначені дії у тривимірному просторі шляхом переміщення виконавчого пристрою згідно з закладеною програмою. Приклад такого робота фірми Boston Dynamics наведений на рис. 3.9.

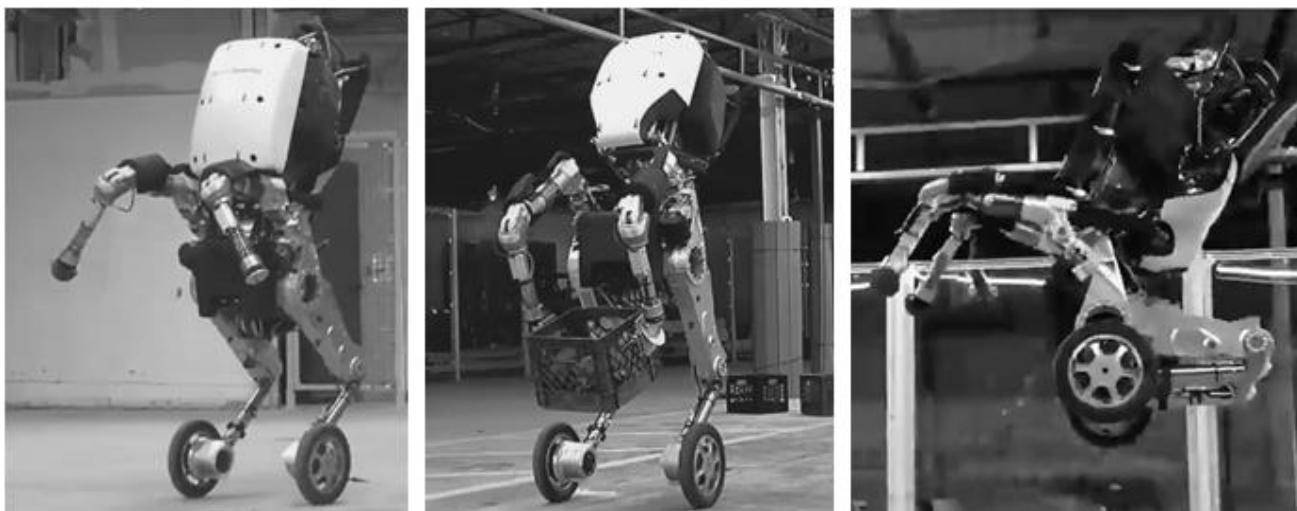


Рис. 3.9. Робот фірми Boston Dynamics

3.2. Мехатронні системи в транспортно-накопичувальних засобах

В даний час для керування транспортно-накопичувальними засобами широко використовуються мехатронні системи на основі багаторівневих комплексних систем керування, які складаються з мехатронних модулів з комп'ютерними пристроями керування [8].

На рис. 3.10 наведений приклад мехатронної системи керування автоматизованим складом, а на рис. 3.11 мехатронні машини та модулі, до яких належать пристрої керування штабелерами, децентралізовані модулі керування конвеєрами, головний пристрій керування, до якого за допомогою локальних мереж підключені модулі керування конвеєрами та інші пристрої керування.

Система керування в цьому випадку здійснює керування як мехатронними пристроями (кранами-штабелерами та конвеєрами), так і додатковим обладнанням, наприклад, вагами та сканерами штрих-коду.

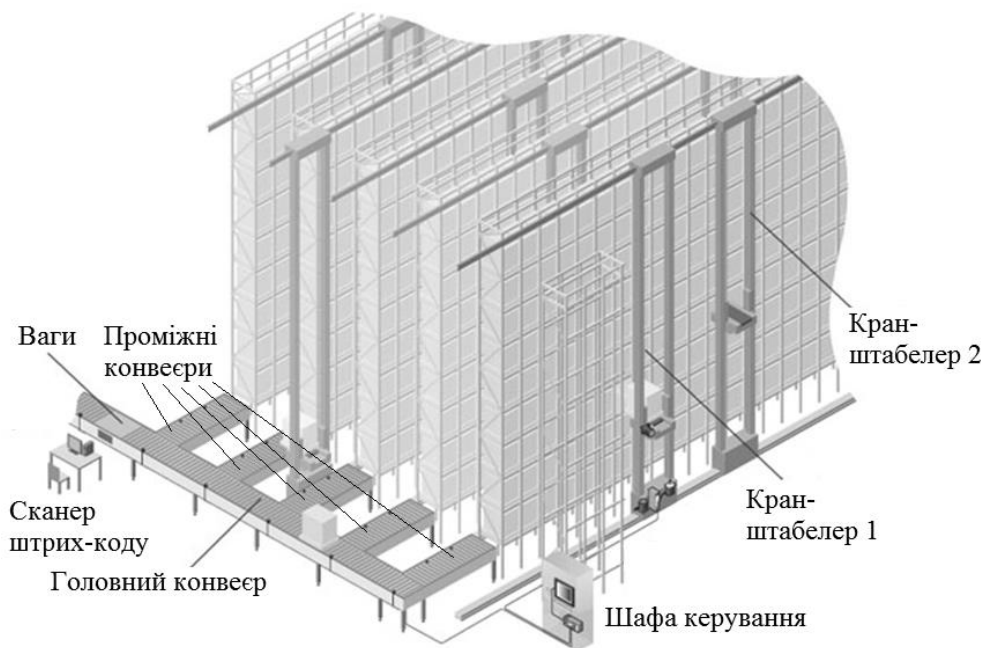


Рис. 3.10. Мехатронна система керування складом

Мехатронна система супутникових стелажних складів представляє собою стелажний склад (рис. 3.11), де переміщення вантажів усередині стелажу здійснюється за допомогою спеціальних супутникових візків з автоматичним керуванням (рис. 3.12). Візки, що представляють собою автономні мехатронні модулі, переміщуються всередині каналів стелажів на одному рівні по рейкам. Переміщення між рівнями здійснює підйомник.

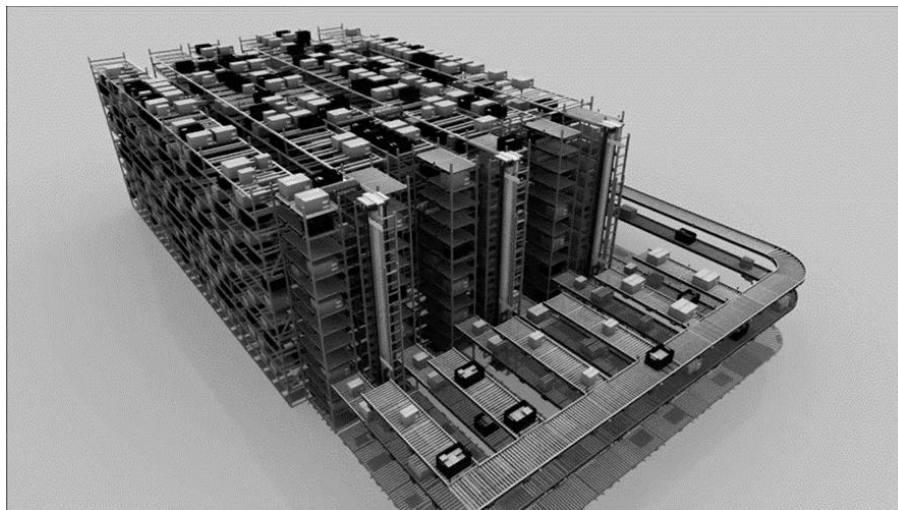


Рис. 3.11. Супутниковий стелажний склад



Рис. 3.12. Супутникові візки з автоматичним керуванням

Локальна мережа, що об'єднує автономні модулі системи, реалізується за допомогою бездротових засобів зв'язку.

До мехатронних систем можна віднести автоматично керовані транспортні засоби, так звані AGV (Automated Guided Vehicles) [8], які здатні здійснювати переміщення вантажів різної ваги (рис. 3.13).



Рис. 3.13. AGV

Найважливішою ланкою в автоматизації процесів на складі та виробництві є конвеєри (рис. 3.14), оскільки вони оптимізують, розподіляють і прискорюють потоки товарів і тари.



а) б)

Рис.3.14. Конвеєрне обладнання

У складах найбільш поширені такі конвеєрні системи:

- конвеєри для коробок або контейнерів (штучних вантажів) (рис. 3.14,а),
- конвеєри для палет,
- конвеєри для переміщення сипких та кускових вантажів (рис. 3.14,б),
- електричні підвісні конвеєри.

Конвеєрне обладнання для коробок або контейнерів (для легких вантажів) не просто виконує функцію транспортування вантажів. Конвеєрна система може з'єднувати один з одним різні процеси, автоматично переміщати вантажі в певному напрямку, забезпечувати проміжне зберігання їх до тих пір, поки вони не знадобляться для подальшої обробки.

Особливістю конвеєрних систем є потреба керувати обладнанням на великій площі, тому для них широко використовують розподілені системи керування та контролери з децентралізованою периферією.

На складах широко використовують сортувальники і сортувальні системи (рис. 3.15).

Ці системи оснащені розширеними засобами управління, що підтримує також візуалізацію та функціональне управління підсистем для з'єднання, подачі на сортувальник і сортування товару.

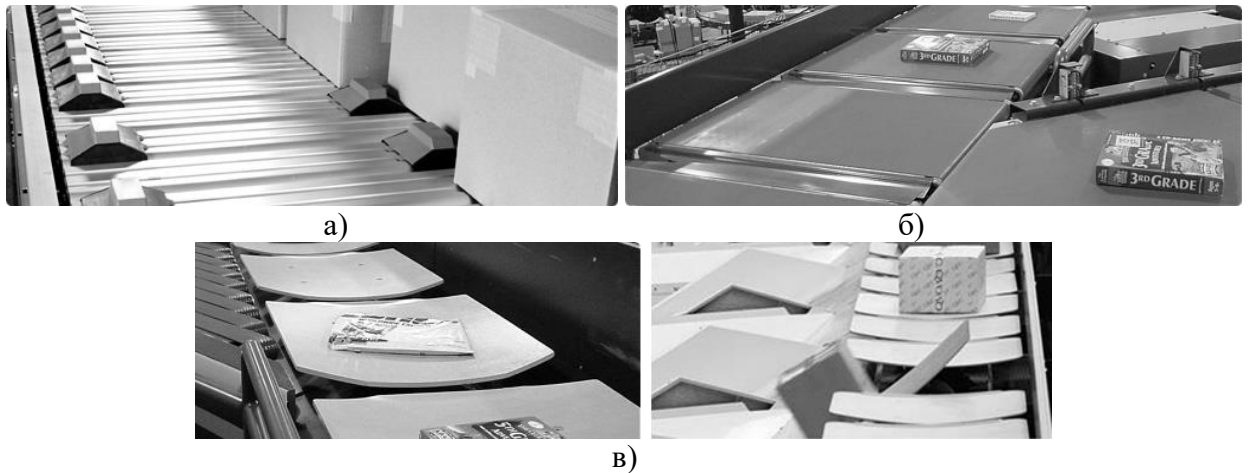


Рис. 3.15. Сортувальна система: а - лінійний сортувальник, б - сортувальник з поперечними стрічками, в - сортувальники із лотками, що нахиляються

Оскільки такі системи здійснюють крім переміщення та сортування функцію обліку товару, то в них використовують комплексні системи керування, які крім пристроїв керування рухом мають системи відображення та керування, а також системи накопичення та збереження інформації про асортимент та кількість різного товару.

Контрольні питання

1. Пояснити, чим відрізняються мехатронні системи у вантажопідійомних і робототехнічних пристроях?
2. Описати, як вирішується задача точного позиціонування всіх механізмів крана?
3. Назвати, які види захистів закладені в інверторах?
4. Розкрити, як уникнути перевантаження крана?
5. Розкрити, які задачі вирішують мехатронні системи в транспортно-накопичувальних засобах?

4. Мехатронні модулі переміщення. Перетворювачі лінійного руху

4.1. Рейкові передачі

Передача руху від двигуна до вихідної ланки мехатронного модуля може бути забезпечена за допомогою різних перетворювачів руху (передач), структура і конструктивні особливості яких залежать від типу двигуна, виду переміщення вихідної ланки і їх розташування (компонування) [2, 10].

Перетворювачі руху призначені для перетворення одного виду руху в інше, узгодження швидкостей і моментів, що обертають двигуна і вихідної ланки. Для перетворення руху використовують гвинтові, рейкові, ланцюгові, тросові передачі, а також передачі зубчастим ременем, мальтійські механізми та ін. Так як електродвигуни в основному високооборотні, а робочі швидкості вихідних ланок мехатронних модулів порівняно невеликі, то для узгодження швидкостей використовують понижуючі передачі (редуктори): зубчасті циліндричні і конічні, черв'ячні, планетарні і хвильові. Тип перетворювача руху вибирають, виходячи зі складності його конструкції, коефіцієнта корисної дії, люфту в передачі, габаритних розмірів і маси, властивостей самоторможения, жорсткості, зручності компонування, технологічності, довговічності, вартості і т. П. Вибір перетворювача руху істотно впливає на характеристики мехатронного модуля.

Так рейкова передача призначена для перетворення обертального руху шестерні в поступальний рух рейки і, навпаки, поступального руху рейки в обертальний рух шестерні.

Основними ланками рейкової передачі є шестерня і зубчаста рейка (рис. 4.1).

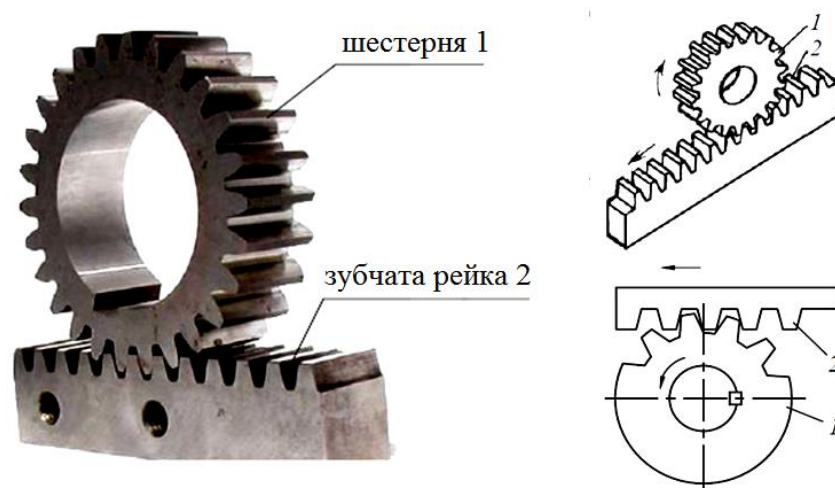


Рис. 4.1. Рейкова передача

Швидкість (мм/хв) поступального руху зубчастого колеса визначається за формулою

$$V = n \cdot \pi \cdot m \cdot z.$$

Переміщення рейки за одне обертання колеса

$$S = \pi \cdot m \cdot z,$$

де n – частота обертання колеса, хв^{-1} ;

m – модуль, мм;

z – число зубів колеса.

$$m = p / \pi,$$

де p – крок зубів

Для усунення шкідливого впливу зазорів в відповідальних зубчастих передачах (наприклад, в передачі, що зв'язує рейкове зубчасте колесо з датчиком) застосовують

пружинні компенсатори.

Таке зубчасте колесо складається з двох дисків (2 і 3) з зубчастими вінцями (рис. 4.2).

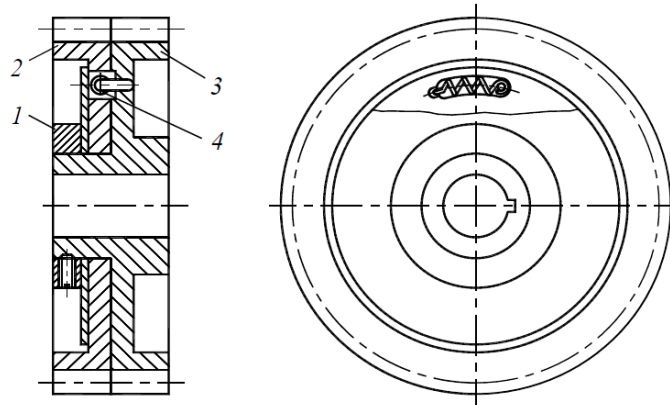


Рис. 4.2. Зубчаста передача з пружинними компенсаторами

Диск 2 сидить на ступиці диска 3 і утримується від осьового зсуву стопорним кільцем 1. Під дією пружини 4 диск 2 прагне повернутися щодо диска 3.

У результаті цього зазор між зубами веденого і складеного коліс повністю усувається.

4.2. Передача гвинт-гайка ковзання

Передача гвинт-гайка ковзання [2, 10] служить для перетворення обертального в поступальний рух, а іноді і для перетворення поступального в обертальний рух (при використанні многозаходної гвинтової пари).

Передача складається з гвинта і гайки, як показано на рис. 4.3.

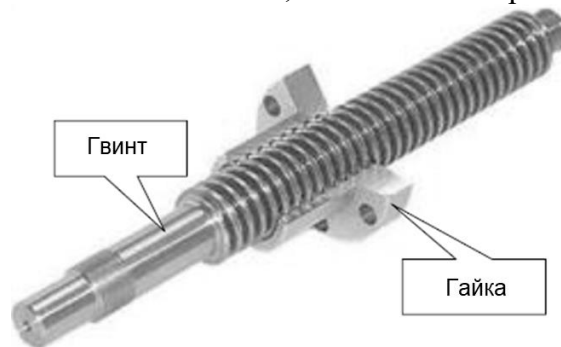


Рис.4.3 - Передача гвинт-гайка ковзання

Передача відрізняється простотою конструкції і виготовлення, компактністю при високій здатності навантаження, високою надійністю, плавністю і безшумністю, можливістю забезпечення переміщень з великою точністю і виграшем в силі.

Недоліками передачі є: обов'язкова наявність зазорів (люфтів), підвищений знос різьби і низький ККД через велику коефіцієнта тертя-ковзання.

Передавальне відношення передачі гвинт-гайка визначається як,

$$j = \frac{\omega_1}{V_2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 10^3}{p \cdot k}$$

звідки лінійну швидкість гвинта (гайки) V_2 можна розрахувати за залежністю

$$V_2 = \omega_1 \cdot \frac{p \cdot k}{2 \cdot \pi \cdot 10^3}$$

де p - крок різьби, мм; k - число заходів різьби.

Загальною перевагою передач гвинт-гайка є висока точність переміщень, мала металосмність.

Недоліком - низький ККД в передачах ковзання і складність виготовлення передач кочення.

4.3. Передача гвинт-гайка кочення

Передача гвинт-гайка кочення [2, 10] (кульково-гвинтова передача) призначена для перетворення обертального руха в поступальний, і навпаки, поступального руха в обертальний (при забезпеченні відсутності самогальмування).

Вона характеризується високим ККД (0,9 ... 0,95), малим коефіцієнтом тертя-кочення, невеликим зносом, високою точністю ходу, довговічністю, можливістю повного усунення зазорів, високою чутливістю до мікропереміщення, можливістю роботи без мастила.

Недоліками передачі є: досить складна технологія виготовлення, висока вартість, знижений демпфірування і необхідність захисту від пилу.

У гвинтових кулькових парах між робочими гвинтовими поверхнями гвинта і гайки (іноді вкладиша) поміщені сталеві кульки, як показано на рис. 4.4.

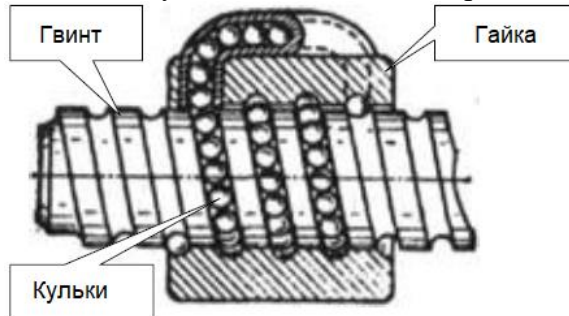


Рис. 4.4 - Гвинтові кулькова пара

Для забезпечення безперервної циркуляції кульок кінці робочої частини гвинтової поверхні з'єднані поворотним каналом.

Поворотний канал може являти собою отвір, просвердлений в тілі гайки і з'єднує початок першого витка з кінцем останнього витка різьби (рис. 4.2), зігнутою трубкою, кінці якої вставлені в отвори гайки, просвердлені по дотичній до поверхні різьби, спеціальний вкладиш, який направляє кульки з западин одного витка через виступ різьби гвинта в западину сусіднього витка. Вкладиш вставляють у вікно гайки.

У більшості випадків в гайці застосовують 3, 4 або 6 вікон, розташованих відповідно під кутом 120, 90 або 60 градусів.

4.4. Диференціальна і інтегральна передачі гвинт-гайка

Диференціальна передача гвинт-гайка [2, 10, 11] складається з гвинта, що має дві різьбові ділянки з різьбами, що мають різний хід (P_{h1} P_{h2}), і одного напрямку гвинтової лінії (правого або лівого), гайки і стійки, як показано на рис. 4.5 ($P_{h1} < P_{h2}$).

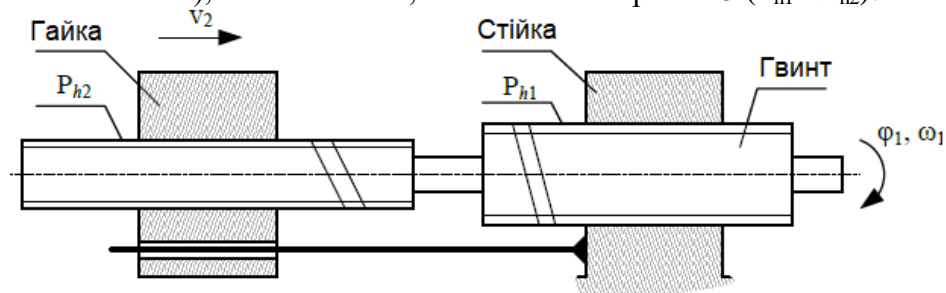


Рис. 4.5. Диференціальна передача гвинт-гайка

При обертанні гвинта гайка робить поступальний результуючий рух: переносний рух разом з гвинтом щодо стійки і рух щодо гвинта (див. рис. 4.4). Напрямок та величина переміщень гайки залежить від співвідношення ходів різьб P_{h1} , P_{h2} (у однозаходному різьбленні крок P і хід P_h однакові, а у многозаходному:

$$P_h = n \cdot P,$$

де n - число заходів різьби).

Диференціальна передача гвинт-гайка дозволяє отримати: при перетворенні обертового руху в поступальний - малі лінійні переміщення та швидкості гайки при великих кутових переміщеннях і швидкостях гвинта, при перетворенні поступального руху в обертальний - великі кутові переміщення і швидкості гвинта при малих переміщеннях і швидкостях гайки (має місце обмеження по куту самогальмування).

Крок P_{h2} різьблення гвинта і гайки і інші параметри передачі визначають аналогічно гвинтовим передачам ковзання і кочення.

Інтегральна передача гвинт-гайка влаштована аналогічно диференціальній передачі, але має протилежні напрямки гвинтовий лінії на двох різьбових ділянках гвинта.

4.5. Кривошипно-кулісні механізми

Кривошипно-шатунний механізм (рис. 4.6) при рівномірному обертальному русі кривошипа O_1A забезпечує прямолінійний зворотно-поступальний рух повзуна B зі змінною швидкістю [11].



Рис. 4.6. Кривошипно-шатунний механізм

Подвійний кривошипно-рейковий механізм (рис. 4.7) застосовується в зубодовбальних верстатах для повідомлення зворотно-поступального руху штоселю з долбляком. При обертанні кривошипа K_n шатун-рейка призводить в зворотно-обертальний рух рейкове зубчасте колесо z_1 , вал II і зубчасте колесо z_2 . Колесо z_2 зворотно-качательним рухом надає прямолінійний поступальний рух робочому органу PO .

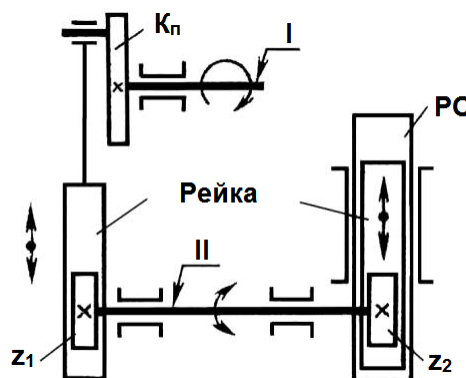


Рис. 4.7. Подвійний кривошипно-рейковий механізм

Кулісні механізми (рис. 4.8) використовуються в приводах головного руху довбальних і поперечно-стругальних верстатів, вони можуть бути з хитною (а) або обертальною (б) кулісою.

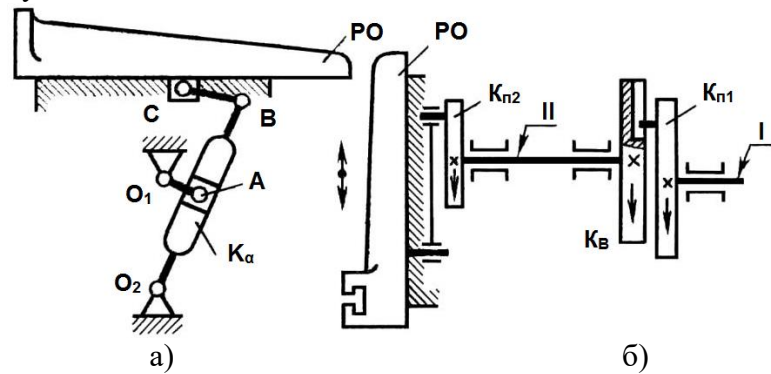


Рис. 4.8. Кулісні механізми

Швидкість повзуна кривошипно-кулісних механізмів - величина змінна, при розрахунках використовують середню швидкість робочого ходу. Частота руху повзуна при заданій швидкості робочого ходу і довжині ходу визначається з рівняння

$$n_{\text{дв.х}} = \frac{500V_{\text{ср}}}{L},$$

де L - довжина ходу, мм

Змінюючи довжину кривошипа O_1A , регулюють довжину ходу робочого органу PO .

У кулісному механізмі з кулісою, що обертається, (рис. б) палець кривошипу $KП_1$ входить в радіальний паз куліси, що обертається, $Kβ$, закріпленої на валу II. Кривошип $KП_2$ за допомогою шатуна з'єднується з робочим органом. При рівномірному обертанні вала I, внаслідок зміщення осей валів I і II, вал II отримує нерівномірне обертання, що забезпечує більш рівномірну швидкість руху робочого органу PO на заданій ділянці шляху.

4.6. Кулачкові механізми

Кулачкові механізми [11] знаходять застосування в якості тягових пристроїв приводу верстатів-автоматів головним чином в тих випадках, коли їх одночасно використовують як программоноситель (рис. 4.9).

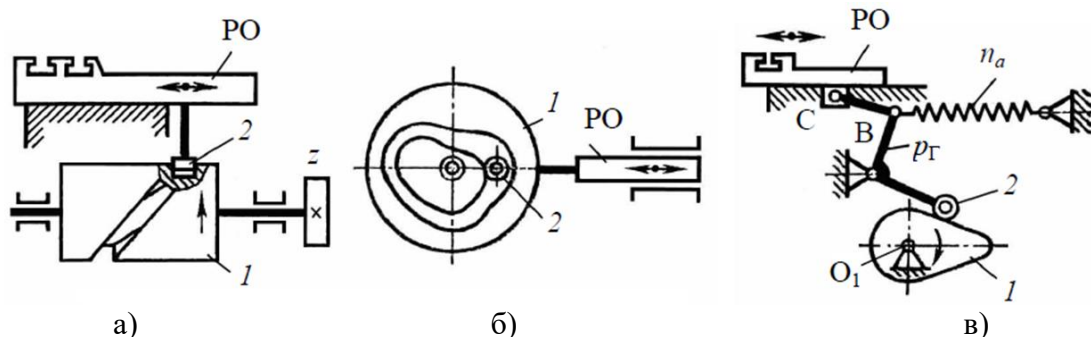


Рис. 4.9. Кулачкові механізми

Область застосування кулачкових механізмів обмежується величиною ходу по допустимим габаритам кулачка.

Найбільшого поширення набули плоскі кулачкові механізми, якими легко здійснювати різноманітні функції управління при порівняльній компактності і простій конструкції.

Використовують механізми з **циліндричними кулачками барабанного типу, торцевого типу або дискового кулачка**

У механізмах з **циліндричними кулачками барабанного типу** (рис. 4.8, а) або **торцевого типу** (рис. 4.8, б) провідною ланкою є кулачок 1 з пазом, по якому переміщається ролик штовхача 2.

Максимальна довжина ходу (по кривій кулачка) для барабанних кулачків складає до 300 мм, для дискових плоских кулачків - 100 - 120 мм.

Принцип роботи **дискового кулачка** (рис. 4.8, в) полягає в тому, що кулачок 1 рівномірно обертається від приводу навколо осі O_1 .

По поверхні профільного кулачка обкатується ролик 2 з важільним механізмом, що закінчується повзуном С, пов'язаним з робочим органом РО.

Ролик 2 здійснює рух, що гойдає відповідно до профілю кулачка і через важільний механізм і повзун С передає зворотно-поступальний рух робочому органу РО.

Контрольні питання

1. Пояснити, як працюють рейкові передачі?
2. Описати, як працює передача гвинт-гайка кочення та гвинт-гайка ковзання?
3. Описати, як працює диференційна і передачі гвинт-гайка?
4. Розкрити, як працює кривошипно-шатунний механізм?
5. Пояснити, як працюють кулачкові механізми?

5. Мехатронні модулі. Перетворювачі обертового руху

5.1. Циліндричні та конічні зубчасті редуктори

Найбільш поширеними перетворювачами руху є зубчасті передачі - механізми, що передають або перетворюють рух за допомогою зачеплення зі зміною кутових швидкостей і моментів [2, 10, 11].

Такі передачі застосовують для перетворення обертового руху між валами з паралельними (рис. 5.1, а-б) та пересіченими (рис. 5.1, в-г) осями (рис. 5.1).

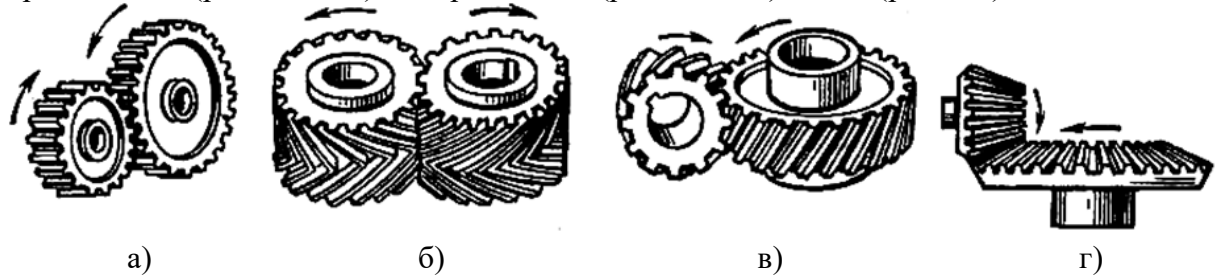


Рис. 5.1. Зубчасті передачі

Основні види зубчастих передач (рис. 5.2): а - циліндрична з прямими зубами; б - циліндрична з косими зубами; в - циліндрична з шевронними зубами; г - циліндрична внутрішнього зачеплення з прямими зубами; д - конічна з прямими зубами; е - конічна з тангенціальними зубами; ж - конічна з круговими зубами.

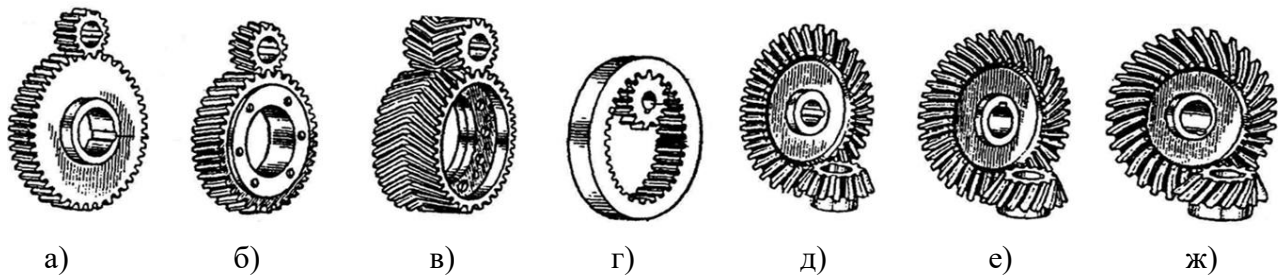


Рис. 5.2. Основні види зубчастих передач

Кінематична схема циліндричної і конічної передач наведені на рис. 5.3.

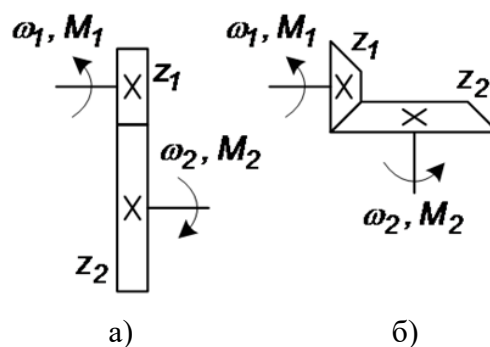


Рис. 5.3. Кінематична схема циліндричної (а) і конічної (б) передач

Передавальне співвідношення може бути знайдено з співвідношення числа зубів вхідний z_1 і вихідний z_2 шестерень

$$j = \frac{z_2}{z_1}$$

Основними характеристиками механічних передач є потужності на валах P_1 і P_2 (Вт), кутові швидкості ω_1 і ω_2 (1/с), або частота обертання n_1 і n_2 (1/хв), моменти сил M_1 і

M_2 в Н·м, передавальне співвідношення j і к.к.д. η .

Залежності, що описують взаємозв'язок основних характеристик зубчастих передач мають вигляд

$$j = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}, \quad \omega_2 = \frac{\omega_1}{j}, \quad n_2 = \frac{n_1}{j},$$

$$\omega_{1(2)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{1(2)}}{60} \approx 0,1047 \cdot n_{1(2)}, \quad \eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad P_2 = \eta \cdot P_1,$$

$$P_1 = M_1 \cdot \omega_1, \quad P_2 = M_2 \cdot \omega_2, \quad \frac{M_2}{M_1} = j \cdot \eta.$$

Циліндричні редуктори використовуються для передавання обертального руху між паралельними або співвісними валами за допомогою циліндричних зубчастих передач (рис. 5.4).

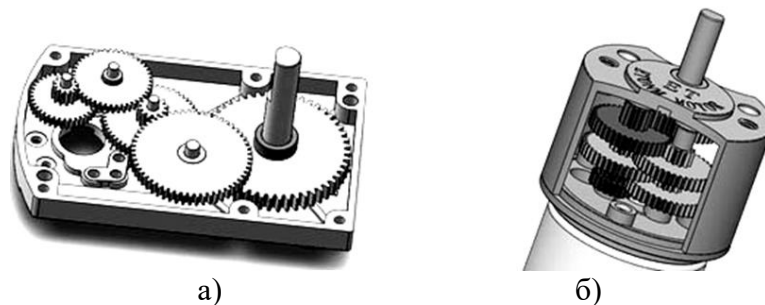


Рис. 5. 4. Циліндричні редуктори: а - плоский циліндричний редуктор, б - круглий циліндричний редуктор

Вони мають високий ККД (0,94...0,98 на один ступінь) і великий ресурс роботи (36000...50000 год).

Можуть використовуватись у швидкохідних машинах (частота обертання вхідного вала 60 с^{-1} а у спеціальних редукторів до 200 с^{-1}).

Недоліки цих редукторів: підвищені вібрації, що знижуються використанням косозубих та шевронних передач, великі габарити при великих передатних відношеннях.

5.2. Планетарні передачі

Планетарними називають передачі, що містять зубчасті колеса, осі яких рухливі, як показано на рис. 5.5. Рух цих коліс схоже з рухом планет і тому їх називають планетарними або сателітами [2, 10, 11].

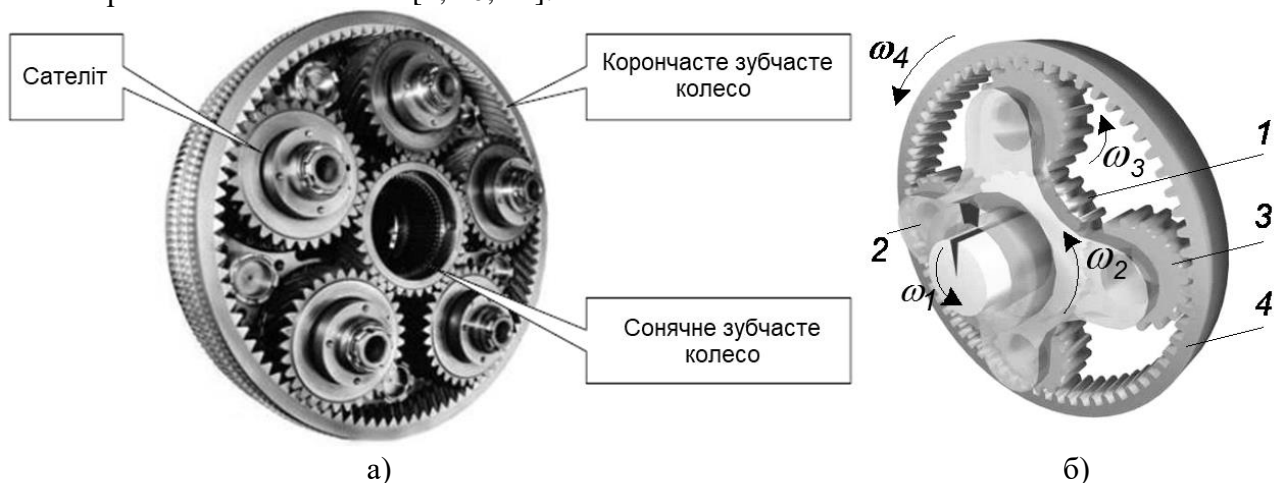


Рис. 5.5 - Планетарна передача

Найпростіша планетарна передача складається з центрального сонячного зубчастого колеса із зовнішніми зубами, центрального корончатого зубчастого колеса з внутрішніми зубами, сателітів із зовнішніми зубами, які входять в зачеплення одночасно з сонячним і корончатим колесами, і водила, на якому розташовані осі сателітів (рис. 5.5, а).

На рис. 5.5, б приведена схема планетарної передачі. Планетарними називають зубчасті передачі, в яких геометрична вісь хоча б однієї шестерні рухлива.

Основними елементами планетарної передачі є:

- сонячна шестерня 1 (знаходиться в центрі);
- водило 2, жорстко фіксує один щодо одного осі декількох планетарних шестерень однакового розміру 3 (сателітів), що знаходяться в зачепленні з сонячною шестірнею;
- кільцева шестерня (корончатє зубчастє колесо) 4 (епіцикл), що має внутрішнє зачеплення з планетарними шестернями.

При використанні планетарної передачі в якості редуктора один з трьох її основних елементів фіксується нерухомо, інший елемент використовується як провідний, а третій - в якості веденого.

У разі, коли водило 2 зафіксовано ($\omega_2 = 0$), а потужність підводиться через сонячну шестерню 1, планетарні шестерні 3 будуть обертатися на місці зі швидкістю, яка визначається відношенням числа їх зубів щодо сонячної шестірні

$$\omega_3 = \omega_1 \cdot \frac{Z_1}{Z_3}$$

Обертання планетарних шестерень 3 передається кільцевої шестірні 4.

Якщо кільцева шестерня має Z_4 зубів, то вона буде обертатися зі швидкістю

$$\omega_4 = \omega_3 \cdot \frac{Z_3}{Z_4}$$

Якщо водило заблоковано, то загальне передавальне відношення системи дорівнюватиме

$$j = \frac{\omega_1}{\omega_4} = \frac{Z_1}{Z_4}$$

У разі, якщо закріплена кільцева шестерня ($\omega_4 = 0$), а потужність підводиться до водила, то передавальне відношення на сонячну шестерню буде більше одиниці і складе

$$j = \frac{\omega_2}{\omega_1} = 1 + \frac{Z_4}{Z_1}$$

Перевагами планетарних передач в порівнянні зі звичайними циліндричними або конічними передачами є менші габарити і маса.

Недоліками - підвищена точність виготовлення, більше число підшипників кочення.

Найпростіша планетарна передача складається з центрального сонячного зубчастого колеса із зовнішніми зубами, центрального корончатого зубчастого колеса з внутрішніми зубами, сателітів із зовнішніми зубами, які входять в зачеплення одночасно з сонячним і корончатим колесами, і водила, на якому розташовані осі сателітів.

У сучасних мехатронних модулях планетарні зубчасті передачі знаходять широке застосування завдяки їх компактності і малої маси, реалізації великих передавальних відносин, малого навантаження на опори, великого коефіцієнта корисної дії, високої кінематичної точності, жорсткості і надійності.

При проектуванні планетарних зубчастих передач слід враховувати і їхні недоліки: конструктивну складність, підвищені вимоги до точності виготовлення і монтажу, зниження коефіцієнта корисної дії при збільшенні передавального відношення.

Залежно від порядку накладення зв'язків на ланки планетарні передачі можуть використовуватися як для підсумовування декількох обертальних рухів, так і для їх поділу між декількома відомими валами.

5.3. Хвильові зубчасті передачі

Робота хвильової передачі заснована на принципі перетворення параметрів руху внаслідок хвильового деформування одного з ланок механізму [2, 10, 11]. Цей принцип вперше був запропонований для фрикційної передачі з електромагнітним генератором хвиль, а потім в для зубчастої передачі з механічним генератором хвиль. З точки зору кінематики вона являє собою планетарну передачу, у якій одне з коліс виконано у вигляді гнучкого вінця.

Хвильова зубчаста передача складається з гнучкого зубчастого колеса із зовнішніми зубами, жорсткого зубчастого колеса з внутрішніми зубами і генератором хвиль (рис. 5.6).

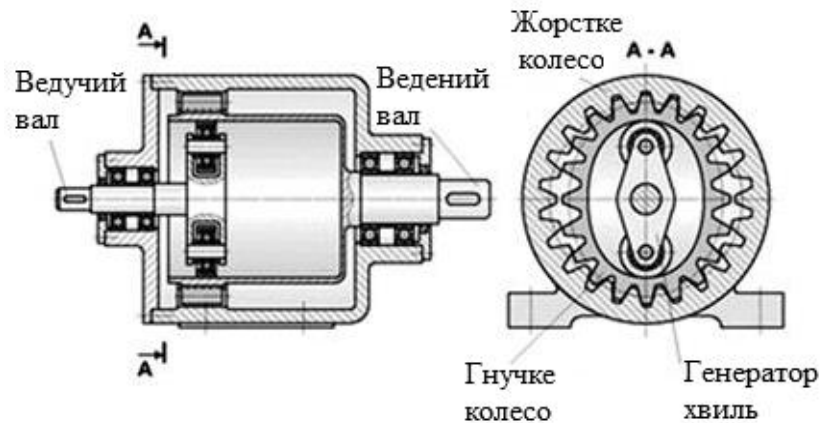


Рис. 5.6. Хвильова зубчаста передача

Принцип роботи хвильової зубчастої передачі проілюстрований на рис.5.7.

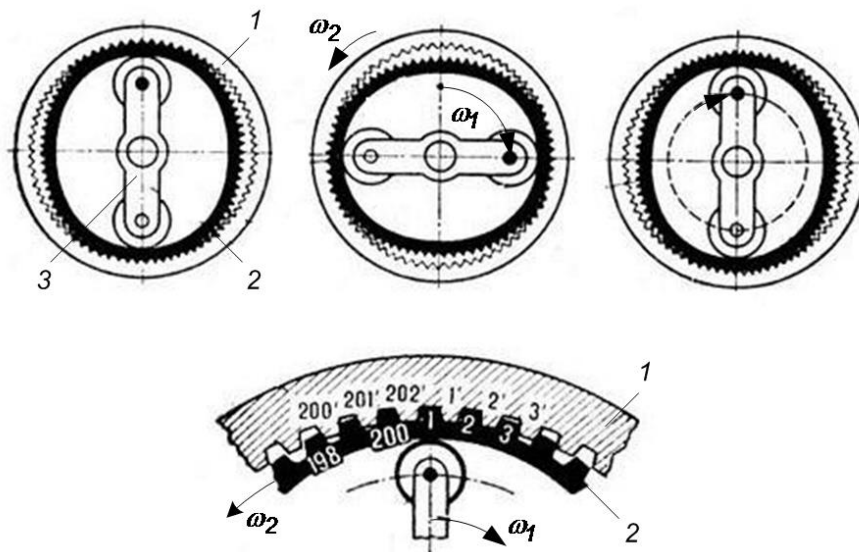


Рис. 5.7. Принцип роботи хвильової зубчастої передачі. 1 - жорстке колесо, 2 - гнучке колесо, 3 - генератор хвиль

Наприклад, при числі зубів гнучкого колеса 200, а нерухомого елемента - 202 і двохвильовий передачі (два виступи на генераторі хвиль) при обертанні генератора за годинниковою стрілкою перший зуб гнучкого колеса буде входити в першу западину жорсткого, другий в другу і т.д. до двохсотого зуба і двохсотий западини.

На наступному обороті перший зуб гнучкого колеса увійде у двісті першу западину, другий - у двісті другу, а третій - в першу западину жорсткого колеса. Таким чином, за один повний оберт генератора хвиль гнучке колесо зміститься щодо жорсткого всього на 2 зуба.

Передавальне співвідношення хвильової передачі від вала генератора хвиль до вала гнучкого колеса дорівнює

$$j = \frac{Z_2}{Z_1 - Z_2}$$

де Z_1 , Z_2 відповідно число зубів жорсткого і гнучкого зубчастих коліс.

Недоліками хвильових передач є: обмеження по частотах обертання ведучого вала генератора хвиль при великих діаметрах коліс (щоб уникнути високої окружної швидкості генератора), дрібні модулі зубів коліс, менша крутильна жорсткість гнучкого колеса порівняно зі звичайною зубчастою передачею.

Хвильові передачі можуть працювати в якості редуктора (ККД 80 ... 90%) і мультиплікатора (ККД 60 ... 70%). У першому випадку провідною ланкою є генератор хвиль, у другому - вал гнучкого або жорсткого колеса.

5.4. Передачі з гнучким зв'язком

Передачі з гнучким зв'язком призначені для передачі обертального руху і перетворення поступального в обертальний рух і навпаки обертального в поступальний рух [2, 10, 11].

До передач з гнучким зв'язком відносять ремінну, ланцюгову, тросову передачі і передачу сталеву стрічкою.

Деякі приклади передач обертального руху представлені на рис. 5.8.

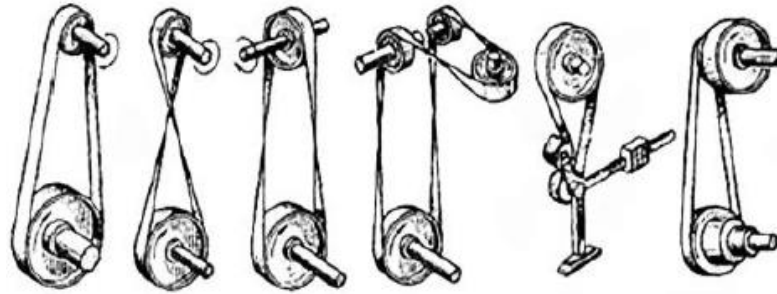


Рис. 5.8. Передачі з гнучким зв'язком

Ремінна передача (рис. 5.9) складається з ведучого 1 і веденого 2 шківів і надягнутого на них ремня 3.

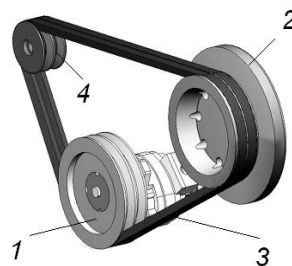


Рис. 5.9. Ремінна передача

До складу механізму можуть також входити натягач 4 і огорожа (на рисунку не показана).

Передавальне відношення визначається відношенням діаметрів веденого d_2 і ведучого d_1 шківів і, як правило, з урахуванням пружного ковзання ременя по шківах ξ , яке зазвичай приймають на рівні $\xi = 0,01 \dots 0,02$

$$j = \frac{d_1}{d_2 \cdot (1 - \xi)}$$

Основними перевагами ремінної передачі є: можливість роботи з високими швидкостями, плавність і малошумність роботи, простота конструкції і низька вартість.

Недоліками ремінної передачі є: значні сили, що діють на вали і опори, мінливість передавальної відносини, малий термін служби ременів.

Контрольні питання

1. Пояснити, як працюють циліндричні та конічні зубчасті редуктори?
2. Описати, як працюють планетарні передачі?
3. Описати, як працюють хвильові зубчасті передачі?
4. Описати, як працюють передачі з гнучким зв'язком?
5. Розкрити, які недоліки є у різних перетворювачів обертального руху?

6. Мехатронні модулі. Напрявні. Гальмівні пристрої

6.1. Напрявні

Напрявними називають конструктивні елементи пристрою, що забезпечують заданий відносний рух елементів механізму [2].

У мехатронних модулях в основному застосовують напрямні для поступального руху. Їх використовують при необхідності здійснення переміщення однієї деталі щодо іншої із заданою точністю.

До тих, що направляють висувають такі вимоги: забезпечення плавності переміщення, малі сили тертя, великий ресурс роботи, зносостійкість, здатність до переміщення в широкому температурному діапазоні.

Залежно від виду тертя розрізняють напрямні з тертям ковзання і кочення. Вибір типу напрямних і конструктивних схем залежить від їх призначення, а також від вимог до точності напрямки переміщення, що допускається навантаження, значень сил тертя, вартості виготовлення.

Напрявні з тертям ковзання і кочення за характером (виду) сприйманого навантаження розрізняють відкриті і закриті.

До відкритих відносять напрямні, у яких для замикання силового ланцюга використовують додаткові притискні зусилля (маса рухомої деталі, зусилля плоскою або спіральної пружини, мембрани).

Закритими є напрямні, у яких рухомий вузол має одну ступінь свободи (замикання силового ланцюга забезпечується конструктивним виконанням).

Напрявні в залежності від форми виконання робочих поверхонь ділять на циліндричні, призматичні (наприклад, типу «ластівчин хвіст»), Н, П-і Т-образні.

За конструктивним виконанням напрямні з тертям ковзання простіше напрямних з тертям кочення і менше їх за габаритними розмірами. При відповідному виборі матеріалів вони відчувають незначний вплив температурних перепадів. Основний їх недолік - відносно великі втрати на тертя.

Приклад, конструктивної схеми призматической відкритої напрямної з тертям ковзання наведено на рис. 6.1 б, де по циліндричним напрямних, закріпленим на нерухомому підставі, переміщається каретка з призматичними робочими поверхнями. Схеми напрямних закритого типу наведені на рис. 6.1 а, в, г.

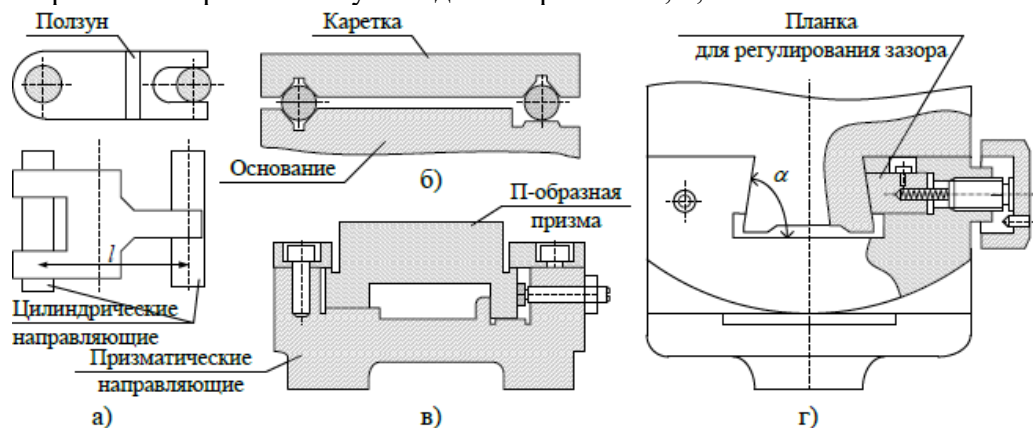


Рис. 6.1. Напрявні з тертям ковзання

На схемі (рис. 6.1, а) по циліндричним напрямних переміщається повзун з циліндричною і плоскою робочими поверхнями; по прямокутним призматичним напрямним (рис. 6.1, в) переміщається П-образна призма; по призматичним напрямним типу «ластівчин хвіст» з кутом профілю = 45 - 60° переміщається призма. Для призматичних напрямних типу «ластівчин хвіст» пред'являються підвищені вимоги до точності складання та регулювання для запобігання перекосу деталей і відповідно

можливого заїдання напрямних. У призматичних напрямних застосовують призми трапецеїдального, прямокутного або трикутного перетину. Регулювання зазорів в напрямних виробляють за допомогою планок або «сухариків» (рис. 6.1, г)

Напрявні з тертям кочення застосовують в тих випадках, коли потрібно забезпечити легкість і плавність руху. У порівнянні з направляючими тертяковзання ці напрямні мають менші втрати на тертя, більш довговічні, мало чутливі до перепадів температури.

Напрявні з тертям кочення за формою тіл кочення ділять на кулькові і роликові (циліндричні і конічні). Для утримання кульок або роликів на певній відстані один від одного застосовують сепаратори, виготовлені з латуні або текстоліту. Можливе застосування стандартних кулькових або роликових підшипників.

Суттєвими чинниками, що негативний вплив на роботу направляючих з тертям кочення, є зазори між сполученими з тілами кочення поверхнями каретки і підстави. У відкритих напрямних зазори вибираються автоматично (саморегулюються), а в закритих потрібно їх регулювання.

На рис. 6.2 приведена конструктивна схема закритою кульковою направляючої з сепараторами, в якій регулювання зазору між кульками і кареткою проводять за допомогою переміщення однієї або двох планок з подальшим їх закріпленням гвинтами.

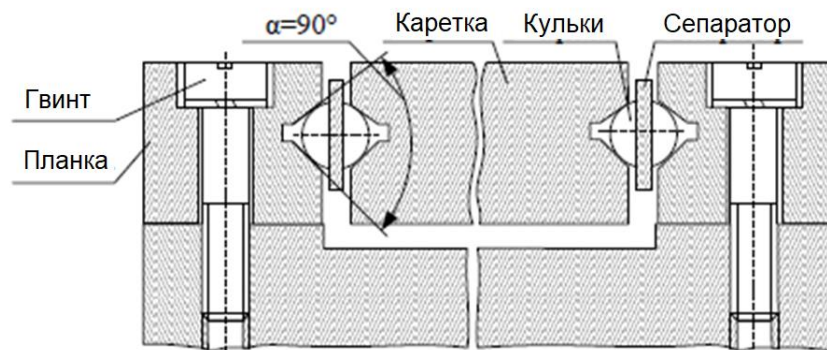


Рис. 6.2. Конструктивна схема закритою кульковою направляючої з сепараторами

У роликових напрямних основною деталлю є ролик, який перекочується по циліндричній або плоскій поверхні. В якості роликів іноді використовують стандартні радіальні підшипники.

Для забезпечення контакту всіх роликів з направляючими повинно бути передбачено спеціальне регулювання, варіанти якого показаний на рис. 6.3.

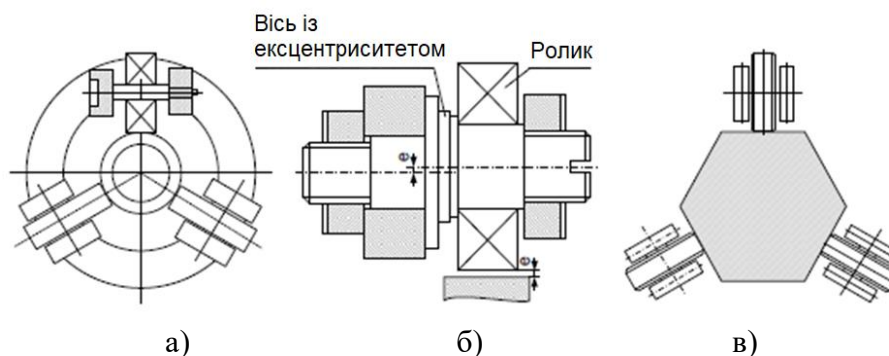


Рис. 6.3. Варіанти спеціального регулювання

Для напрямних, представлених на рис. 6.3, в ролики з ексцентричними осями необов'язкові, так як кожен ролик закріплений в окремій державці. Регулювання здійснюють переміщенням державок.

На рис. 6.4, а, б, в наведені конструктивні схеми роликів напрямних закритого типу.

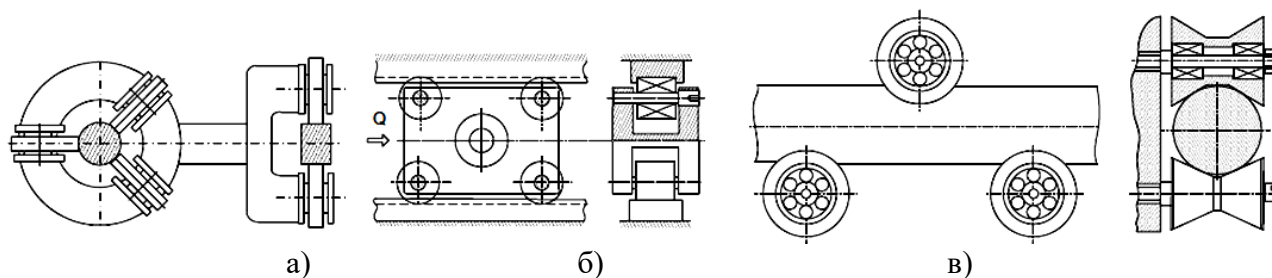


Рис. 6.4. Конструктивні схеми роликів напрямних закритого типу

Останнім часом застосовують більш економічні кулькові напрямні лінійного переміщення, які зменшують габаритні розміри конструкції, масу і загальну вартість мехатронного модуля.

6.2. Гальмівні пристрої

Гальмівними називають пристрої, якими постачають мехатронні модулі, для зменшення швидкості рухомого ланки, зупинки і фіксації його в певній позиції.

Залежно від природи сил гальмування гальмівні пристрої ділять на механічні, гідравлічні, пневматичні, електричні і комбіновані. Механічні гальмівні пристрої - пружинні, гумові, еластомерні, інерційні і фрикційні. Гідравлічні - пристрої дросельного регулювання. Пневматичні - можуть бути напірними і вакуумними.

До електричних відносять електромагнітні, індукційні і гістерезисна, а також порошкові гальмівні пристрої з сухим і рідким наповнювачем фрикційного і дросельного типів. Комбіновані - включають в себе два або більше типів пристроїв (наприклад, пневмогідравлические або пружинно-пневматичні).

До всіх типів гальмівних пристроїв висувають такі основні вимоги: забезпечення заданого закону гальмування; ненаголошений останов і фіксація рухливих елементів в точках позиціонування; висока надійність і довговічність конструкції; високу швидкодію; простота і компактність конструкції; стабільність характеристик при зміні умов роботи; мала чутливість до зміни температури, вологості, що гальмується маси, швидкості; можливість налаштування і доступність регулювання; зручність огляду та обслуговування; низька вартість, мінімальні габарити і маса.

У механічних гальмівних пристроях силу опору руху рухомого ланки створюють деформацією робочих елементів (пружин) або тертям (фрикційні). В якості пружних елементів найбільш часто застосовують циліндричні пружини стиснення, рідше - розтягування. Поширення отримали гумові та гумово пружні елементи різної конфігурації, а також пенополиуретановие пружні елементи.

Основними робочими елементами фрикційних гальмівних пристроїв є пари тертя обертального або поступального типів.

Прикладами найпростіших гальмівних пристроїв можуть служити одна або кілька циліндричних пружин, які встановлюють безпосередньо між функціональною ланкою і упорами паралельно осі його руху або оформляють у вигляді окремого конструктивного вузла.

Циліндричні пружини допускають великі деформації, зберігають свої характеристики під впливом тривалої статичної навантаження, витримують значні температурні впливи, мають малий демпфуванням, але можуть виникати труднощі при регулюванні (настройці) силовий характеристики, оскільки початкове підтискання призводить до виникнення стрибка навантаження на гальмування маси.

Гумові гальмівні пристрої складаються з послідовно встановлених гумових втулок, розділених металевими шайбами. За конструкцією гумові втулки можуть працювати на

стиск або зрушення. Втулки, що працюють на стиск, мають невелику піддатливість, але значною здатністю навантаження, втулки зсуву - навпаки великий піддатливістю і порівняно малої здатністю навантаження.

Резинометалличні гальмівні пристрої володіють високою надійністю, простий конструкцією і технологією виготовлення, зручністю обслуговування і великою енергоємністю.

Недоліки - чутливість до зміни температури і вологості, наявність великої сили віддачі.

Фрикційні гальмівні пристрої використовують для гальмування, позиціонування і утримання (фіксації) функціональних ланок. Вони дозволяють перетворити більшу частину кінетичної енергії в теплову, яка розсіюється в навколишньому середовищі.

За конструкцією фрикційні гальмівні пристрої діляться на автономні поступального і обертального руху, вбудовані в пневмо- або гідродвигун, керовані і некеровані, нормально замкнуті і розімкнуті, одно- і двосторонньої дії. Як правило, одна з ланок фрикційної пари кріпиться до корпусу або іншого вузла, щодо якого здійснюється гальмування.

На рис. 6.5 представлені приклади фрикційних гальмівних пристроїв.

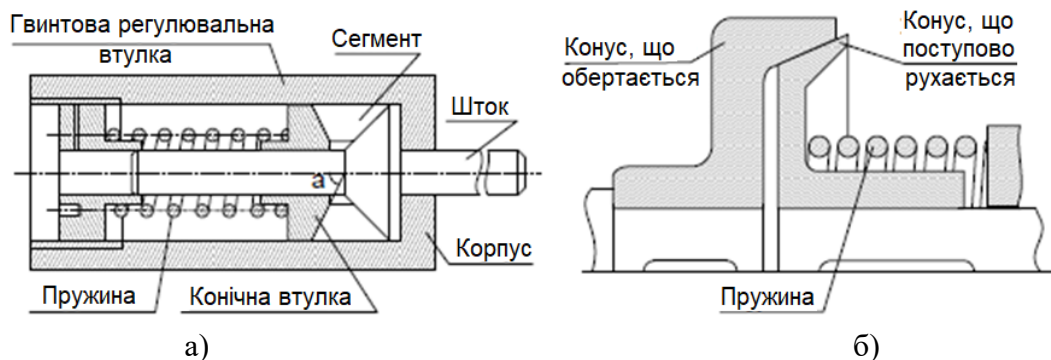


Рис. 6.5. Приклади фрикційних гальмівних пристроїв

При переміщенні штока з конічним буртиком сегменти ковзають по внутрішній циліндричній поверхні корпусу притискаючись до неї пружиною, розташованої між конічної і гвинтової регулювальної втулкою (рис. 6.5, а).

Фрикційний конусний гальмівний пристрій (рис. 6.5, б) складається з обертального конуса, що має робочу ланку з поступальним рухом конуса і пружини.

Фрикційні гальмівні пристрої характеризуються нестабільністю сили тертя і її залежністю від якості і стану поверхонь ковзання (шорсткості, наявності масла та ін.) і швидкості переміщення рухомих елементів, що призводить до зміни умов роботи в порівнянні з номінальними і відхилення реального закону гальмування від заданого.

Тому пристрої цього типу доцільно використовувати для гальмування механізмів з досить стабільними режимами роботи.

Для створення гальмівних пристроїв з програмованими точками зупинки і регулювання швидкості руху вихідної ланки використовують вбудовані фрикційні пристрої.

У керованих електромагнітних гальмівних пристроях джерелом створення гальмуючого моменту або зусилля є електромагнітне поле, що впливає безпосередньо на рухомі елементи (електромагнітні, індукційні і гістерезисна гальма) або побічно через порошкоподібний сухий або рідкий наповнювач (гальма електромагнітні порошкові або з феромагнітними рідинами).

За принципом дії електромагнітні гальмівні пристрої індукційного і гістерезисного типів аналогічної електричних двигунів, в яких ротор або статор нерухомий. Взаємодія

між рухомою і нерухомою частинами гальма здійснюється електромагнітним полем, створеним обмоткою управління (порушення).

За принципом дії електромагнітні гальмівні пристрої з порошковим і рідким наповнювачами аналогічні відповідно фрикційним гальмам і гідравлічним гальмівним пристроям дросельного регулювання. Дія електромагнітного порошкового гальма фрикційного типу засноване на властивості сухого або зваженого в маслі феромагнітного порошку збільшувати в магнітному полі свою в'язкість і міцно прилипати до поверхні магнітної системи.

6.3. Механізми для вибірки люфтів

Точність роботи мехатронних модулів визначається допусками на розміри деталей, і величиною мертвого ходу (холостого, а саме, що передається на ведене ланка руху ведучого ланки механізму, що виникає в момент реверсування руху).

Мертвий хід призводить до помилок переміщення, тому його прагнуть зменшити або усунути. Цього можна досягти за допомогою спеціальних регулювальних пристроїв-механізмів вибірки мертвого ходу (люфтовибірочних механізмів).

У мехатронних модулях можуть використовувати механізми вибірки бічного зазору між зубами коліс зубчастих передач двох типів: автономні і з додатковою кінематичної ланцюгом (замкнутим енергетичним потоком).

В автономних механізми вибірки мертвого ходу використовують метод роздвоєння веденого колеса, де в якості силових елементів використовують пружини.

Крім вибірки мертвого ходу за допомогою пружин використовують жорстку фіксацію, яка полягає в попередньому відносному зміщенні половинок роздвоєного зубчастого колеса і їх жорсткому закріпленні за допомогою гвинтів, болтів, клеммових з'єднань і т. д. На рис. 6.6 представлена черв'ячна передача з роздвоєним черв'ячним колесом. Зуби половинок і черв'ячного колеса притискають поворотом ексцентрика до різних сторін зубів черв'яка і їх жорстко фіксують, затягуючи болт.

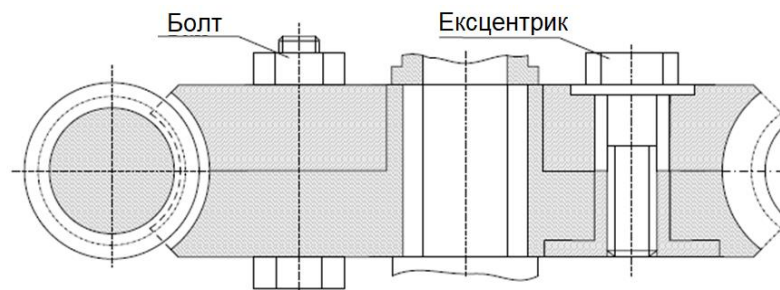


Рис. 6.6. Черв'ячна передача з роздвоєним черв'ячним колесом

Основними недоліками вибірки мертвого ходу методом роздвоєння колеса є: наявність великої кількості додаткових елементів (пружин, зубчастих коліс, гвинтів і тощо), збільшені втрати в зачепленні, обумовлені тим, що тертя виникає з двох сторін зуба.

Зазначені недоліки частково можуть бути усунені в механізмах вибірки мертвого ходу з додатковою кінематичної ланцюгом (безлюфтові механізми із замкнутим енергетичним потоком). Вони дозволяють здійснити повний вибір люфтів у всіх складових ланках шляхом примусового розвороту в протилежні сторони двох співвісно розташованих елементів однієї з передач. Як правило, для освіти замкнутого контуру до вихідної кінематичного ланцюга додають таку ж паралельно розташовану кінематичну ланцюг.

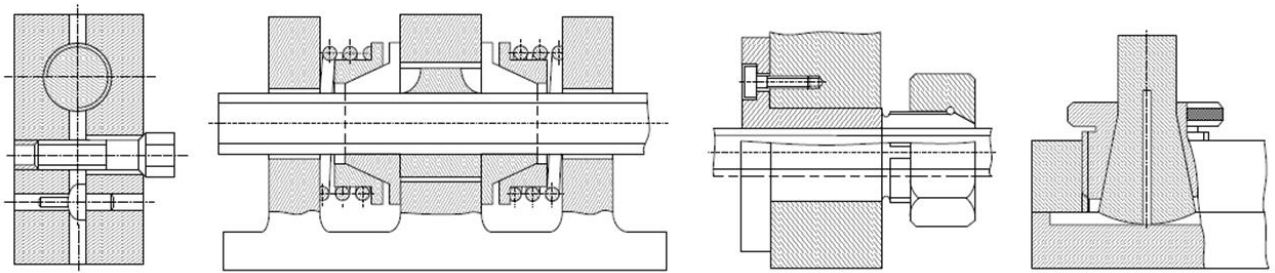
Розрізняють два способи вибірки бічного зазору в гвинтових механізмах - радіальне і осьове зміщення гайки щодо гвинта. При радіальному способі здійснюють

стиснення гайки в радіальному напрямку, а при осьовому - відносно зміщення розрізній гайки в осьовому напрямку.

Радіальний спосіб усунення мертвого ходу доцільно застосовувати для метричних різьб, а саме, для різьби з великим кутом профілю, а осьової спосіб - для різьби з малим або нульовим кутом профілю (трапецеїдальні, наполегливі, прямокутні).

На рис. 6.7 наведені пристрої, що забезпечують вибірку радіальної складової бічного зазору, які являють собою розрізні гайки. У цих пристроях дві половинки гайки стягуються гвинтами і обжимають гвинт.

При цьому створюється нерівномірне обтискання гвинта, що викликає нерівномірний знос різьби гайки.



а) б) в) г)
Рис. 6.7. Пристрої, що забезпечують вибірку радіальної складової бічного зазору

На рис. 6.7, а, в, г наведено механізми для вибірки радіальної складової бічного зазору, які необхідно періодично регулювати, а в пристрої рис. 6.7, б, що має пружини, це не потрібно.

Пристрої з розрізної гайкою і цанговим затискачем забезпечують більш рівномірне обтиснення гвинта, що сприяє вирівнюванню зносу гвинтової пари.

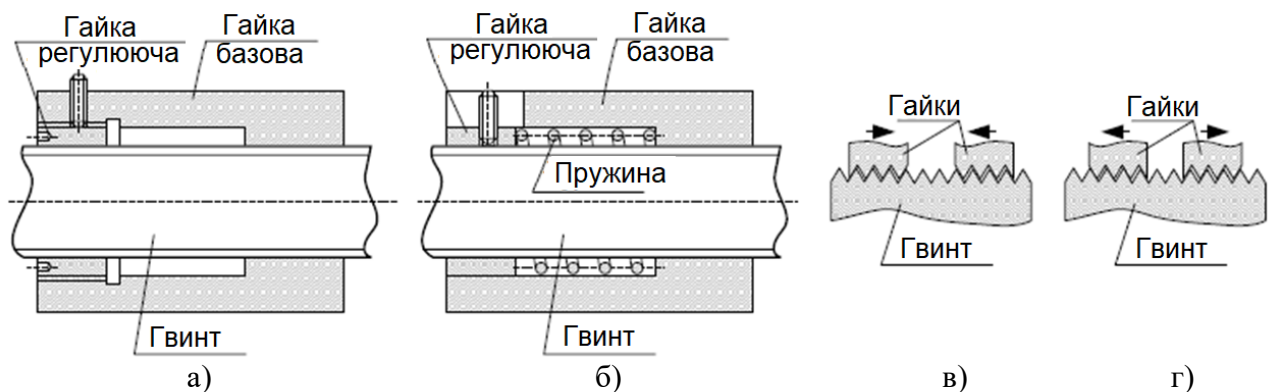
Вибірку осьової складової бічного зазору здійснюють шляхом відносного осьового зсуву складових частин гайки.

На рис. 6,8, а показана схема люфтовибіраючого механізму на основі гайки з жорстким регулюванням осьового зазору (загвинчуванням).

Люфт вибирається одночасним контактом профілів різьби гвинта і профілів обох гайок, як показано на рис. 6,8, в.

Люфтовибіраючий механізм на основі гайки з пружним регулюванням осьового зазору показаний на рис. 6,8, б.

Вибірку осьової складової бічного зазору здійснює пружина, віджимаючи регулюючу гайку від базової гайки, забезпечуючи двухпрофільний контакт різьблення гвинта з різьбами гайок, як показано на рис. 6,8, г.



а) б) в) г)
Рис. 6.8. Схеми люфтовибіраючого механізму на основі гайки

Механізми вибірки мертвого ходу на основі гайок з жорстким і пружним регулюванням осьової складової бічного зазору забезпечують високу точність відносного переміщення гвинта і гайки при їх русі як в прямому, так і в зворотному напрямках

Контрольні питання

1. Пояснити, для чого використовують напрямні?
2. Пояснити, чим відрізняються напрямні відкритого та закритого типу?
3. Описати, коли використовують напрямні з тертям кочення?
4. Розкрити, як поділяють гальмівні пристрої?
5. Описати, як працюють механізми для вибірки люфтів?

7. Електроприводи

7.1. Узагальнена структура електроприводу

У мехатронних модулях для перетворення електричної енергії в механічну енергію обертового або лінійного руху найчастіше застосовуються системи регульованого електроприводу, побудовані за принципом керований перетворювач - електродвигун.

Узагальнена структура сучасного регульованого електроприводу (рис. 7.1) в принципі повторює узагальнену структуру мехатронної системи (рис. 1.2) за винятком механічних пристроїв перетворення руху.

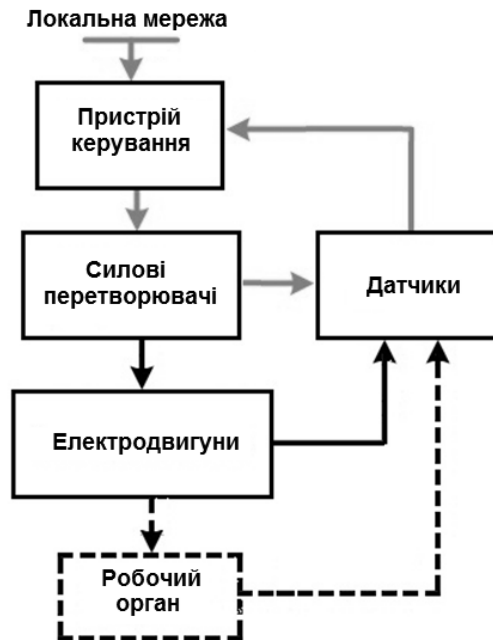


Рис. 7.1. Узагальнена структура регульованого електроприводу

Регульовані електроприводи, призначені для використання в пристроях з високою динамікою (швидкою зміною швидкості і навантаження), як це буде показано далі, складаються з пристрою управління, силових перетворювачів, електродвигунів і датчиків швидкості обертання (кута повороту) двигуна і датчиків положення робочого органу.

При цьому один пристрій управління може здійснювати управління кількома (до чотирьох) двигунами, реалізуючи позиційне і контурне управління.

Таким чином, регульований електропривод сам може являти собою закінчений мехатронний пристрій, наприклад, в тому випадку, коли в якості виконавчих пристроїв використовуються мотор-редуктори (електродвигуни з вбудованими редукторами).

Основними компонентами регульованого електроприводу є електродвигуни, силові перетворювачі, датчики і пристрій управління:

- електродвигун перетворює електричну енергію в механічну;
- пристрій управління реалізує алгоритм управління двигуном;
- силові перетворювачі перетворюють сигнали, що видаються пристроєм управління, в форму, необхідну для роботи двигуна;
- датчики забезпечують зворотний зв'язок для регулювання необхідних параметрів двигуна.

Є різні типи електродвигунів, наприклад, двигуни постійного і змінного струму, які відрізняються за принципом дії і способу регулювання швидкості обертання. Тому алгоритм роботи та управляючі пристрої управління, а також схеми силових перетворювачів визначаються типом використовуваного двигуна.

7.2. Електродвигуни мехатронних модулів

У промислових мехатронних модулях застосовують різні типи електродвигунів обертального руху: постійного струму (ДПС), асинхронні (АД) і синхронні (СД) змінного струму, а також крокові двигуни (КД).

На рис. 7.2 показаний спрощений принцип пристрою різних електродвигунів.

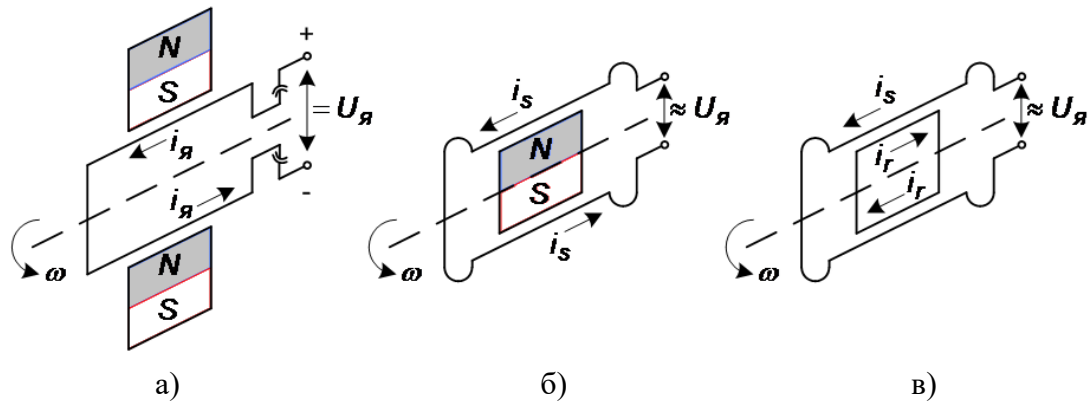


Рис. 7.2. Принцип пристрою електродвигунів:

а - постійного струму; б - синхронного; в - асинхронного

Електричні машини можуть також здійснювати і зворотно-поступальний рух. Такі машини називаються лінійними. Застосування їх в мехатронних модулях дозволяє відмовитися від перетворювача обертального руху в поступальний. Крім того, перевагами цих машин є швидкість спрацьовування - практично миттєвий останов і реверс, а також підвищені осьові зусилля. Основними недоліками, що обмежують застосування лінійних двигунів, є низькі енергетичні показники їх роботи і нерівномірність руху.

Найбільш простими в управлінні є двигуни постійного струму.

Застосування в мехатронних системах електродвигунів постійного струму обумовлено такими їх перевагами як: лінійність характеристик, широкий діапазон регулювання швидкості, достатня перевантажувальна здатність, рівномірне обертання на низьких швидкостях.

Дана група двигунів в свою чергу за наявності щітково-колекторного вузла підрозділяється на:

- колекторні двигуни;
- безколекторні двигуни.

Щітково-колекторний вузол забезпечує електричне з'єднання ланцюгів обертається і нерухою частини машини і є найбільш ненадійним і складним в обслуговуванні конструктивним елементом.

За типом збудження колекторні двигуни можна розділити на (рис. 7.3):

- двигуни з незалежним збудженням від електромагнітів і постійних магнітів;
- двигуни з самозбудженням.

Двигуни з самозбудженням поділяються на:

- двигуни з паралельним збудженням (обмотка якоря включається паралельно обмотці збудження);
- двигуни послідовного збудження (обмотка якоря включається послідовно обмотці збудження);
- двигуни змішаного збудження (частина обмотки збудження включається послідовно з якорем, а друга частина - паралельно обмотці якоря або послідовно з'єднані обмотці якоря і першої обмотки збудження, в залежності від необхідної характеристики навантаження).

Регулювання швидкості двигуна здійснюється шляхом зміни якірного напруги $U_{я}$. Сімейство механічних характеристик для різних значень якірного напруги представлено на рис. 7.4

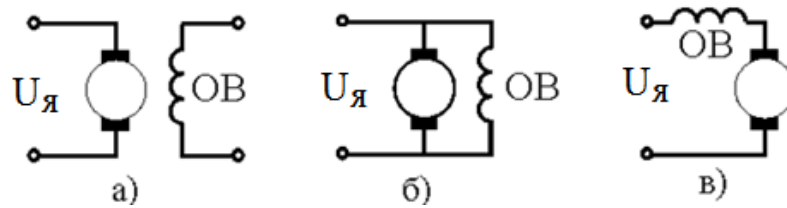


Рис. 7.3. Типи порушення двигунів постійного струму:
а - незалежне збудження; б - паралельне збудження; в - послідовне збудження

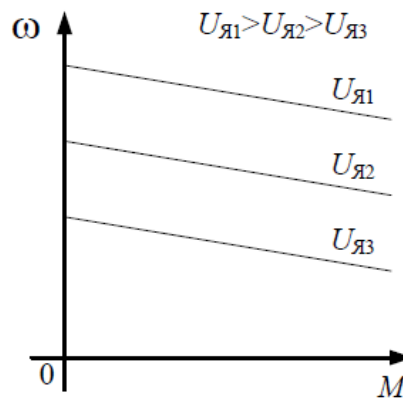


Рис. 7.4. Механічні характеристики

Сучасні системи використовують для регулювання швидкістю обертання широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ). Вигляд сигналу з широтно-імпульсною модуляцією показаний на рис. 7.5.

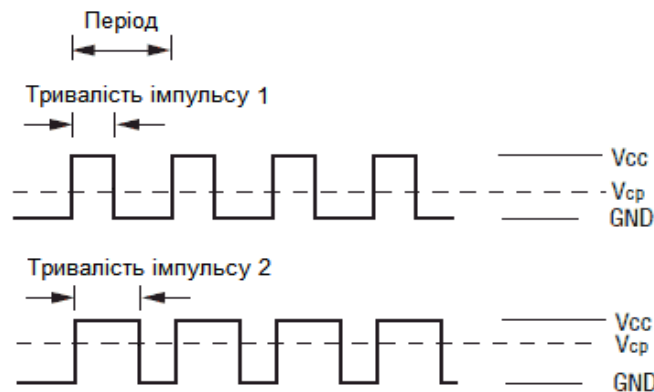


Рис. 7.5. Сигнал з широтно-імпульсною модуляцією

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. Спрощена еквівалентна схема двигуна постійного струму наведена на рис. 7.6.

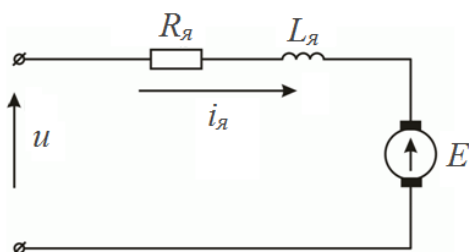


Рис. 7.6. Спрощена еквівалентна схема двигуна постійного струму

Струм і напруга двигуна пов'язані такою залежністю:

$$u = E + i_{я} R_{я} + \frac{L_{я} di_{я}}{dt}$$

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

$$u = L \frac{di}{dt} \quad i_L(t) = \int_0^t U_L(t) dt$$

Наявність в двигунах постійного струму колекторно-щіткового вузла знижує надійність систем і збільшує витрати на обслуговування, що привело до розробки вентильних двигунів.

Безколекторні двигуни (вентильні двигуни) - електродвигуни, виконані у вигляді замкнутої системи з використанням датчика положення ротора, системи управління і силового напівпровідникового перетворювача. Принцип роботи даних двигунів аналогічний принципу роботи синхронних двигунів.

Вентильний двигун (ВД) містить електронний комутатор, який за своїми функціями замінює колектор і щітки двигуна. На статорі вентильного двигуна розташовується трифазна обмотка змінного струму, що живиться через комутатор. Ротор забезпечує збудження двигуна за допомогою постійного магніту (потужності до 30 кВт).

Комутатор за принципом дії є керований інвертор (КІ), який може живитися безпосередньо від джерела постійного струму або від керованого випрямляча (КВ), якщо двигун підключений до мережі змінного струму.

Управління комутатором виконується за допомогою датчика положення ротора (ДП), що встановлюється на валу двигуна. ДП формує сигнали, що надходять на систему управління (СУ). В результаті чого за допомогою статорних обмоток створюється обертове магнітне поле, яке взаємодіє з полем ротора і в результаті виникає синхронізуючий момент. Функціональна схема включення ВД показана на рис. 7.7.

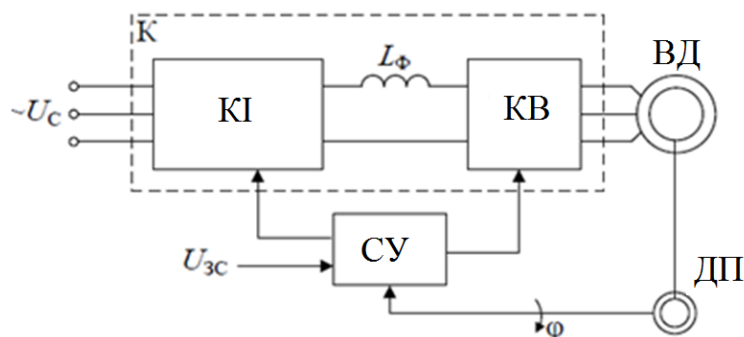


Рис. 7.7. Функціональна схема включення вентиального двигуна

Двигун змінного струму - електричний двигун, живлення якого здійснюється змінним струмом. За принципом роботи ці двигуни поділяються на синхронні і асинхронні двигуни.

Принципова відмінність полягає в тому, що в синхронних машинах перша гармоніка магнітодвижущей сили статора рухається зі швидкістю обертання ротора, завдяки чому сам ротор обертається зі швидкістю обертання магнітного поля в статорі. У асинхронних машин - завжди є різниця між швидкістю обертання ротора і швидкістю обертання магнітного поля в статорі (поле обертається швидше ротора).

Синхронний електродвигун - електродвигун змінного струму, ротор якого обертається синхронно з магнітним полем напруги живлення статора у всьому діапазоні допустимих навантажень на валу двигуна.

Регулювання швидкості синхронного двигуна здійснюють шляхом зміни частоти живлячої обмотки статора напруги.

Асинхронний електродвигун - електродвигун змінного струму, в якому частота обертання ротора відрізняється від частоти обертального магнітного поля, що створюється напругою живлення. Ці двигуни найбільш поширені в даний час.

Використовують такі способи регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна:

- зміна додаткового опору ланцюга ротора,
- зміна напруги, що підводиться до обмотки статора двигуна,
- зміна частоти напруги живлення,
- перемикання числа пар полюсів.

Існують синхронні двигуни з дискретним кутовим переміщенням ротора - крокові двигуни. У них задане положення ротора фіксується подачею живлення на відповідні обмотки. Перехід в інше положення здійснюється шляхом зняття напруги живлення з одних обмоток і передачі його на інші.

Принцип роботи крокового двигуна заснований на використанні такої конструкції, при якій один вхідний імпульс повертає ротор на певний кут. Імпульси надходять послідовно на різні обмотки, що забезпечує обертання з постійною швидкістю.

Перемикання обмоток викликає поворот ротора на один крок, якому відповідає би кут $\Delta\phi_k$. Середня кутова швидкість ротора визначається як

$$\omega_{cp} = f\Delta\phi_k,$$

де f - частота проходження імпульсів напруги, що надходять на статорні обмотки.

На рис. 7.8 наведена спрощена схема уніполярного (а) і біполярного (б) крокової двигуна.

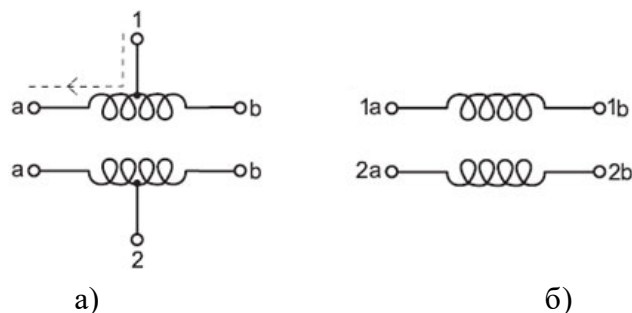


Рис. 7.8. Спрощена схема уніполярного (а) і біполярного (б) крокової двигуна

Наявність декількох обмоток передбачає, що імпульси на них повинні подаватися в певній послідовності.

Для забезпечення необхідної послідовності необхідна додаткова схема, яка забезпечує відповідну подачу імпульсів на обмотки двигуна.

На рис. 7.9 наведена послідовність подавання імпульсів від додаткової схеми для уніполярного крокового двигуна.

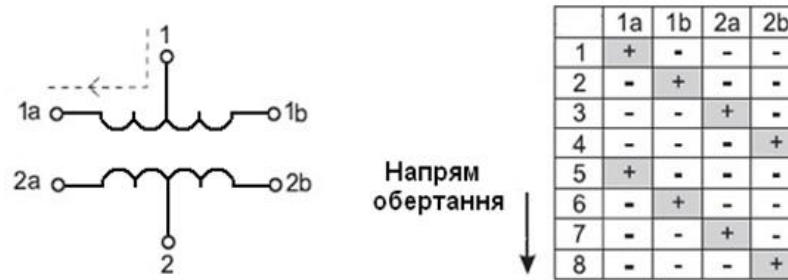


Рис. 7.9. Послідовність подавання імпульсів від додаткової схеми для уніполярного крокового двигуна

У мехатронних модулях лінійного руху, які застосовуються в багатоцільових верстатах, комплексах лазерного різання, деяких видах транспорту, використовується лінійний двигун. Основними перевагами лінійного двигуна в порівнянні з традиційним двигуном і передачею типу зубчастої рейки або гвинтової передачі, є в кілька разів більша швидкість руху і прискорення, висока точність руху. Лінійні двигуни можуть бути асинхронними, синхронними і постійного струму.

Лінійний двигун реалізує поступальний рух незалежної ланки - ротора. Передача енергії здійснюється між статором і незалежною ланкою за допомогою електромагнітного поля через повітряний зазор. Принцип роботи лінійного двигуна може бути пояснений таким умовним перетворенням конструкції двигуна кутового обертання, що показано на рис. 7.10, а. В результаті поздовжнього розрізу статора і ротора (рис. 7.10, б) і їх розгортки в пряму лінію (рис. 7.10, в) кутовий рух перетвориться в лінійне рух вже "незалежного" ротора, тобто стає поступальним. Можна також здійснити і зворотню згортку двигуна (рис. 7.10, г) тільки вже відносно його поперечної осі, що призведе до появи лінійного двигуна іншого типу. Таким чином, будь-який лінійний двигун складається з двох основних елементів - нерухомого електромагнітного статора і незалежного рухомого ротора.

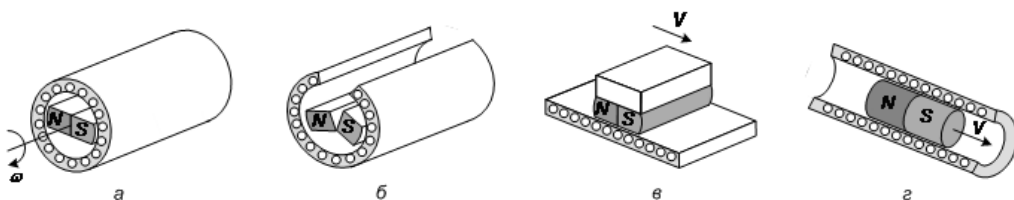


Рис. 7.10. Лінійний двигун

Для збільшення потужності на один робочий орган може встановлюватися кілька лінійних двигунів.

Основними достоїнствами систем з лінійними двигунами є:

- максимально високі показники точності (до 0,01 мкм) і повторюваності;
- здатність створювати великі зусилля подання (до 50 кН) і, як наслідок цього, можливість розвивати значні прискорення (до $20 \cdot g$), в тому числі і під навантаженням;
- компактність, легкість і надійність конструкції виконавчого приводу в цілому (відсутні перетворювачі руху та інші механічні елементи);
- низькі рівні шуму і вібрації;
- зручність монтажу і простота в обслуговуванні.

Регулювання швидкості лінійного двигуна здійснюють шляхом зміни частоти напруги живлення, тому для управління лінійними двигунами використовують перетворювачі частоти.

7.3. Мехатронні виконавчі елементи

Виконавчий елемент це пристрій, що безпосередньо здійснює механічне переміщення регулюючого органу об'єкта управління, та об'єднує редуктор, двигун та найчастіше також і умонтований пристрій керування двигуном.

До таких елементів можна віднести, наприклад, мотор-редуктори, актуатори та сервоприводи.

Оскільки електродвигуни мають велику швидкість обертання та малий крутний момент, то разом з двигунами використовують різні редуктори, які часто є складною частиною двигуна.

Таке об'єднання двигуна та редуктора називають **мотор-редукторами**.

У складі мотор-редукторів використовують різні редуктори, деякі з них наведені на рис. 7.11.

Передаточне число таких мотор-редукторів може знаходитись у досить великих межах, що дає можливість вибрати двигуни з потрібною швидкістю обертання та крутним моментом. За потребою на двигуни встановлюють електромагнітне гальмо та датчик кута обертання на основі датчика Хола чи оптичного растрового датчика, що дозволяє вирішувати задачі позиціонування та керування швидкістю обертання.



Рис. 7.11. Мотор-редуктори

Для здійснення лінійних переміщень найчастіше використовують **актуатори**.

Принцип дії **лінійного актуатора** на основі електродвигунів наведений на рис. 7.12.



Рис. 7.12. Принцип дії лінійного актуатора

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.

Сила, що прикладається лінійним приводом до об'єкта, має значення від 200Н до 10000Н в залежності від моделі.

Для кутових переміщень у визначеному діапазоні використовують **сервоприводи**, 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. 7.13 наведений серводвигун Dynamixel **XM430-W210-R**.

Цей серводвигун має такі характеристики:

- напруга живлення – 12 В;
- пусковий момент - 3 Нм (30,591 кг см);
- пусковий струм – 2,3 А;
- швидкість без навантаження – 77,0 об/хв;
- кут обертання від 0 до 360°.
- Управління сервоприводами Dynamixel серії RX здійснюється через послідовний інтерфейс RS485.



Рис. 7.13. Серводвигун Dynamixel **XM430-W210-R**

Приклад розрахунку мехатронного виконавчого елемента, що складається з редуктора та електродвигуна, наведений у додатку 1.

Контрольні питання

1. Розкрити, з чого складається узагальнена структура електроприводу?
2. Пояснити, для чого використовують регульовані електроприводи?
3. Описати, з яких компонентів складається регульований електропривод?
4. Розкрити, які електродвигуни використовують в мехатронних модулях?
5. Описати, чим відрізняються електродвигуни постійного та змінного струму?

8. Силлові перетворювачі

8.1. Силлові перетворювачі двигунів постійного струму

Силлові перетворювачі застосовуються в різних мехатронних модулях руху, в яких перетворення електричної енергії в корисну механічну роботу здійснюють електродвигуни. Двигун спільно з перетворювачем забезпечує регулювання тієї чи іншої координати.

Розглянемо силлові перетворювачі, до яких підключаються електродвигуни.

Для електроприводу постійного струму застосовують два типи перетворювачів: перетворювачі напруги змінного струму в постійний (керований випрямляч) і широтно-імпульсні перетворювачі постійної напруги постійного струму в регульовану напругу постійного струму.

Зазначені перетворювачі мають ряд переваг: високий ККД, незначна інерційність, достатня плавність і достатній діапазон регулювання вихідної напруги, висока надійність.

Схема вентильного перетворювача, який найчастіше зустрічається в різних системах регулювання двигуна постійного струму - трифазний керований випрямляч з нульовою точкою показаний на рис. 8.1.

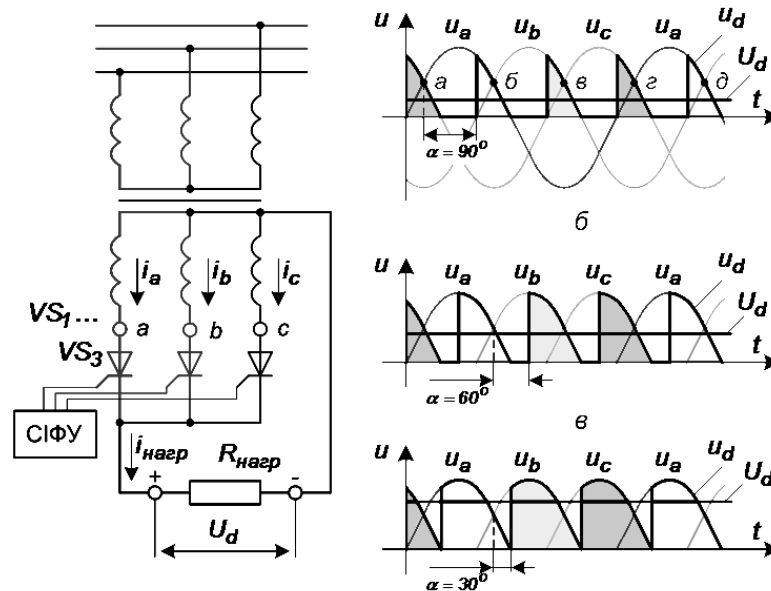


Рис. 8.1. Трифазний керований випрямляч з нульовою точкою:
а - принципова схема; б, в, г - діаграми напруг при різних кутах управління α

Плавне регулювання напруги на якорі двигуна здійснюється шляхом зміни тривалості роботи тиристора в провідну частину періоду. Момент відмикання тиристора щодо точки природної комутації здійснюється з затримкою на кут α (кут управління тиристорів). Зміна α від 0° до 180° за допомогою системи імпульсно-фазового управління (СІФУ) дозволить отримати регульовальні механічної характеристики в першому і четвертому квадратах.

Для того щоб отримати характеристики у всіх чотирьох квадрантах (реверсивні системи), схема доповнюється ще однією вентильною групою. При цьому використовують спільне або роздільне управління групами вентилів.

Імпульсні перетворювачі постійної напруги, а до них відносяться широтно-імпульсні перетворювачі, дозволяють отримати на якорі двигуна плавно регульовану напругу при живленні від мережі постійного струму з постійною напругою. У цьому випадку між мережею і навантаженням (якір двигуна) вводять ключ, який підключає і відключає навантаження від мережі.

Схема, що наведена на рис. 8.2, представляє собою так званий Н-міст, що дає можливість здійснювати реверсивне керування. У широтно-імпульсному перетворювачі частота проходження імпульсів постійна, а тривалість імпульсів плавно змінюється, що забезпечує регулювання.

Роль ключа виконують транзистори VT1, VT2, VT3, VT4 як показано на рис. 8.2 а.

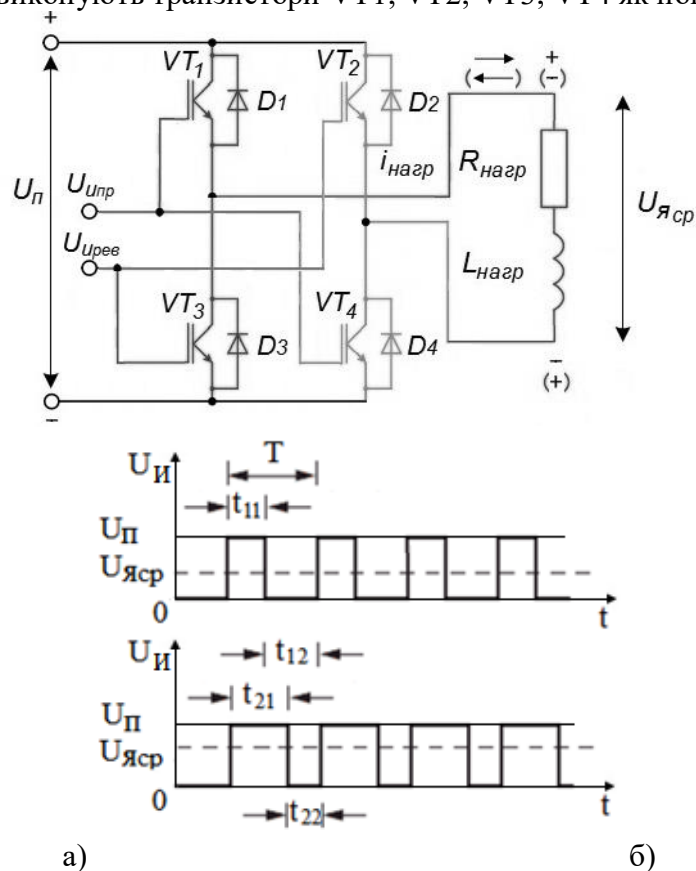


Рис. 8.2. Широтно-імпульсний перетворювач

Імпульсна напруга $U_{\text{пр}}$ відкриває ключові транзистори VT1, VT4, і струм через навантаження (двигун) тече в прямому напрямку, імпульсна напруга $U_{\text{рев}}$ відкриває ключові транзистори VT2, VT3, і струм через навантаження (двигун) тече в зворотному напрямку (реверс).

Ставлення тривалості включеного стану t_1 до періоду повторення включають імпульсів T визначає середнє значення напруги якоря двигуна $U_{\text{яср}}$:

$$U_{\text{яср}} = t_1 U_{\text{п}} / (t_1 + t_2)$$

де t_1 - тривалість включеного стану ключових транзисторів;

t_2 - тривалість вимкненого стану ключових транзисторів;

$T = t_1 + t_2$ - період проходження імпульсів якорного напруги;

$f = 1 / T$ - частота імпульсів якорного напруги.

Діоди D1 - D4 забезпечують протікання струму в ланцюзі якоря при розмиканні ключів, так як струм через індуктивне навантаження не можна змінити миттєво.

Плавна зміна тривалості включеного стану ключових транзисторів (на рис. 8.2 б показані два варіанти тривалості включають імпульсів $t_1 = t_{11}$ і $t_1 = t_{21}$) за допомогою системи управління забезпечує регулювання середнього значення якорного напруги.

8.2. Силлові перетворювачі двигунів змінного струму

Зміна швидкості обертання двигунів змінного струму може здійснюватися поступово або плавно.

Ступеневу зміну швидкості обертання асинхронних двигунів змінного струму реалізується при використанні двигунів з фазним ротором або багатополюсних двигунів.

У першому випадку використовуються релейні (контактори) і транзисторні схеми комутації. У другому - частотні перетворювачі.

Регулювання частоти обертання асинхронного двигуна з фазним ротором здійснюється шляхом введення резисторів в ланцюг ротора (рис. 8.3).

Введення резисторів в ланцюг ротора призводить до збільшення втрат потужності і зниження частоти обертання ротора двигуна за рахунок збільшення ковзання.

При збільшенні опору в ланцюзі ротора при постійному моменті частота обертання валу двигуна зменшується. Недоліком цього способу є значні втрати енергії, які пропорційні ковзанню.

Ступінчасте регулювання швидкості можна здійснити, використовуючи багатополюсні асинхронні двигуни.

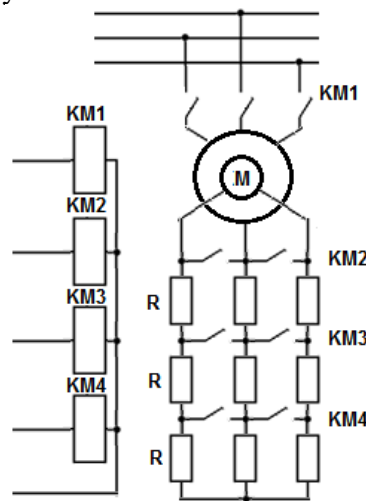


Рис. 8.3. Схема регулювання частоти обертання асинхронного двигуна з фазним ротором

На рис. 8.4 показано, як змінюється швидкість обертання багатополюсного двигуна за допомогою схеми Даландера. Контактір KM1 включає двигун за схемою трикутника на малій швидкості (двигун з чотирма полюсами - 1500 об / хв), а контактір KM2 включає двигун за схемою зірки на великій швидкості (двигун з двома полюсами - 3000 об / хв).

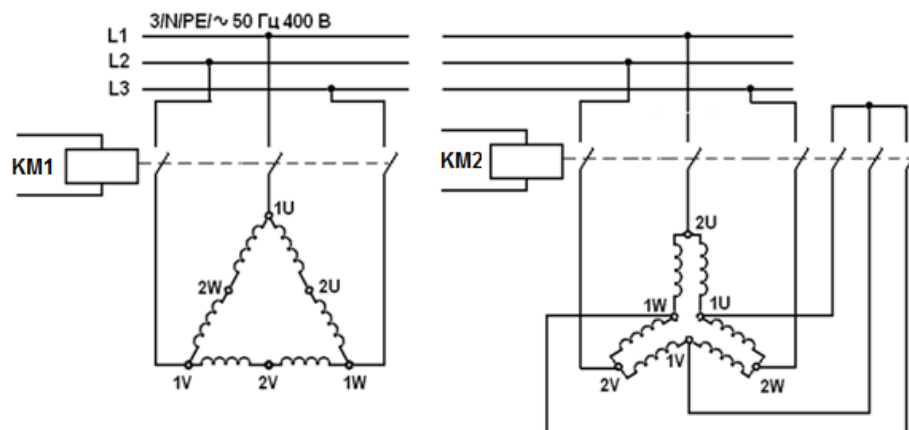


Рис. 8.4. Схема регулювання частоти обертання багатополюсного асинхронного двигуна

Для перемикаання режимів роботи електродвигунів найчастіше використовуються контактори, які представляють собою електромагнітний апарат, призначений для частих включень і виключень силових електричних ланцюгів. При цьому використовуються одно- і двополюсні контактори для перемикаання постійного струму і триполюсні для перемикаання змінного струму.

Контактори як постійного, так і змінного струму містять: електромагнітну систему, контактну систему, що складається з рухомих і нерухомих контактів, дугогасительную систему, систему блок-контактів (допоміжні контакти, переключають ланцюги сигналізації та управління при роботі контакторів).

Управління контактором здійснюється за допомогою допоміжного ланцюга струму, що проходить по котушок контактора, напругою 24, 220 або 380 вольт. Для забезпечення безпеки при обслуговуванні контактора, величина керуючого струму повинна бути значно нижче величини робочого струму в комутуваних ланцюгах.

Контактор не має механічних засобів, які утримують контакти у включеному положенні, тому при відсутності керуючої напруги на котушці контактора він розмикає свої контакти.

На рис. 8.5 наведено зовнішній вигляд контакторів різної потужності (від 0,04 до 150 кВт).



Рис. 8.5. Зовнішній вигляд контакторів різної потужності

На рис. 8.6 наведений електрична схема та компоненти контактора.

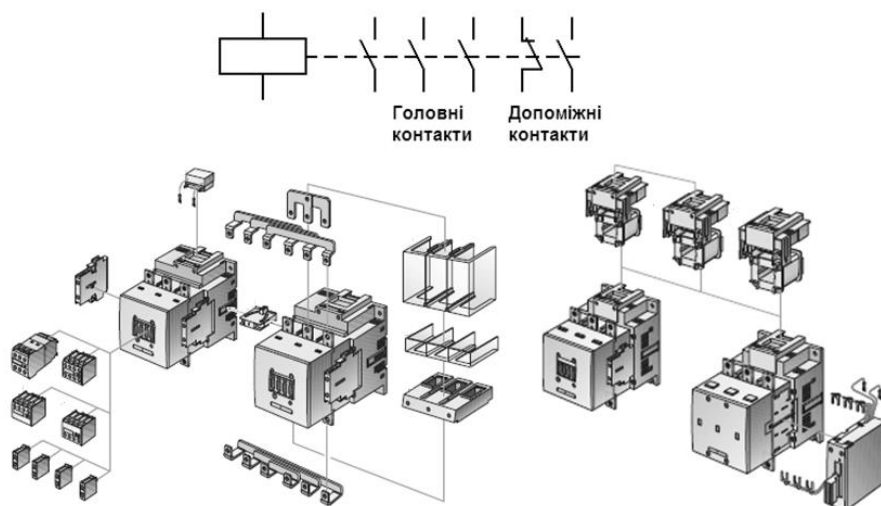


Рис. 8.6. Електрична схема та компоненти контактора

Головні контакти використовуються для підключення двигуна, а допоміжні контакти можуть здійснювати різні блокувань та релейне керування.

Управління контакторами здійснюється за допомогою програмованих логічних контролерів, які будуть розглянуті далі.

8.3. Частотні перетворювачі

Для регулювання швидкості обертання двигунів змінного струму використовують перетворювачі частоти (ПЧ). Вони забезпечують перетворення енергії змінного струму постійної частоти в енергію змінного струму з регульованою частотою (рис. 8.7).



Рис. 8.6 Частотні перетворювачі

Сучасні ПЧ найчастіше реалізуються за допомогою силових модулів, на виході яких формується сигнал з широтно-імпульсною модуляцією.

Спрощена функціональна схема такого перетворювача частоти наведена на рис. 8.7.

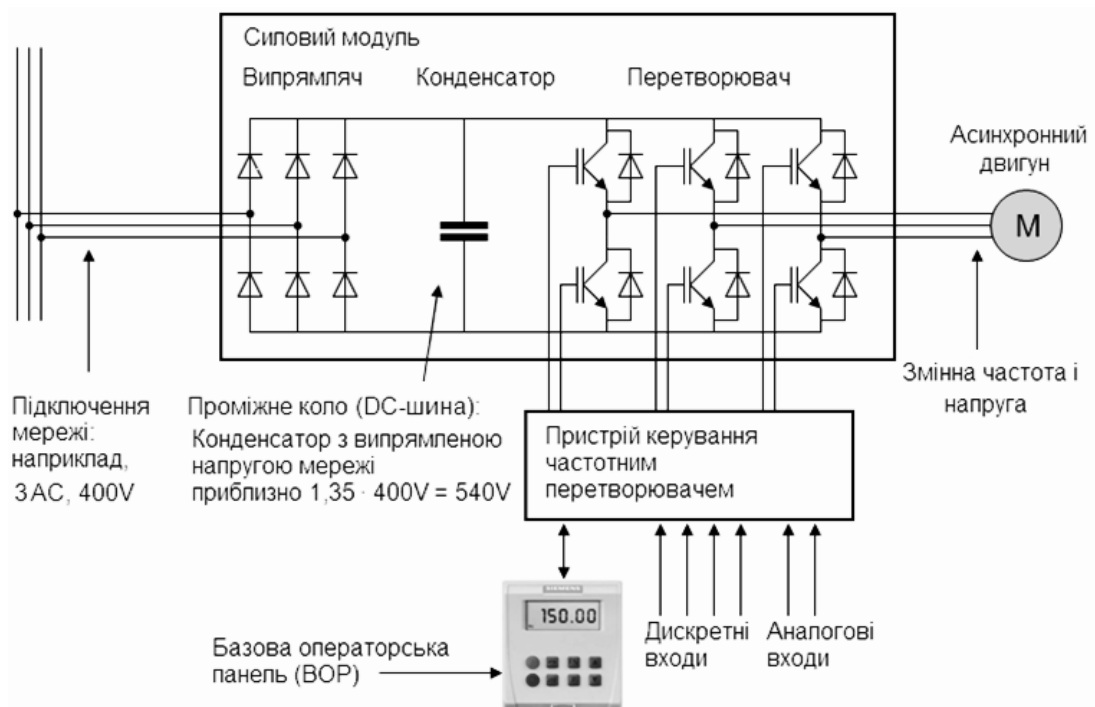


Рис. 8.7. Спрощена функціональна схема перетворювача частоти

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 випрявленої 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.

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

З метою досягнення високої економічності, особливо для потужних двигунів, керування швидкістю обертання електродвигунів здійснюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції (рис. 8.8).

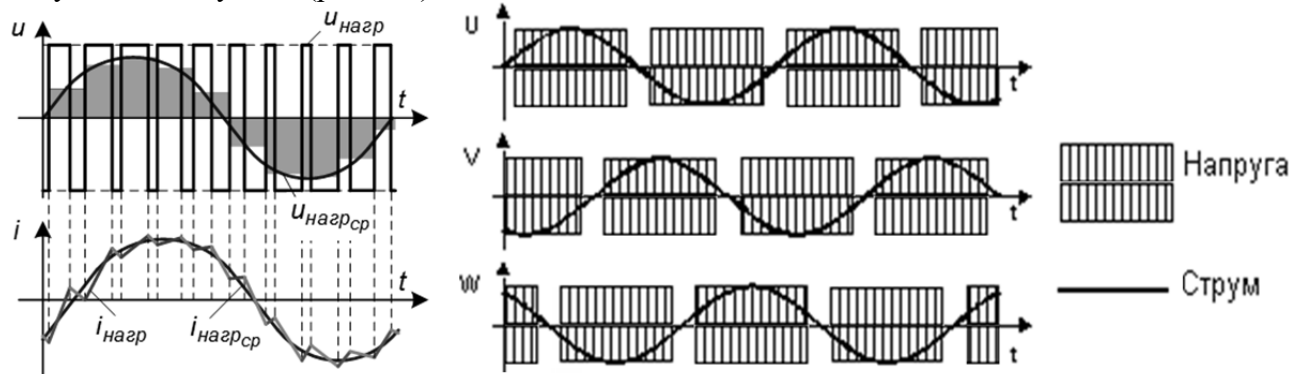


Рис. 8.8. Вихідний сигнал з широтно-імпульсною модуляцією

Частотні перетворювачі можуть мати різну конструкцію, наприклад, у вигляді моноблоків, або складатися з окремих модулів. На рис. 8.9 наведено частотний перетворювач фірми Сіменс SINAMICS G120, який має модульну структуру і складається з силового модуля, пристрою управління та операторської панелі.

Силовий модуль, включає випрямляч, що перетворює змінний струм мережі в постійну напругу, проміжного ланцюга у вигляді конденсатора, що згладжує пульсації випрямленої напруги, і перетворювач, який за допомогою ключових схем формує потрібну форму вихідного сигналу.

Пристрій управління, здійснює формування вихідного сигналу і програмне керування його параметрами за встановленими параметрами, наприклад, закон зміни вихідної напруги в залежності від частоти, задає швидкість розгону і гальмування тощо.

Операторська панель призначена для встановлення і перегляду параметрів перетворювача.



Рис. 8.9. Частотний перетворювач фірми Сіменс SINAMICS G120

Особливістю сучасних частотних перетворювачів є можливість рекуперації, тобто повернення електроенергії, яку виробляє двигун в генераторному режимі, в мережу живлення.

Для високопродуктивних рішень в верстат- та машинобудуванні розроблені модульні перетворювачі частоти Sinamics S120 (рис. 8.10).

SINAMICS S120 дозволяє вільно комбінувати привід різної потужності і функціональності. Це може бути як багатоосеве рішення приводу (до 8 приводів на один пристрій управління) із загальною централізованою системою управління рухом, так і рішення з індивідуальними приводами.

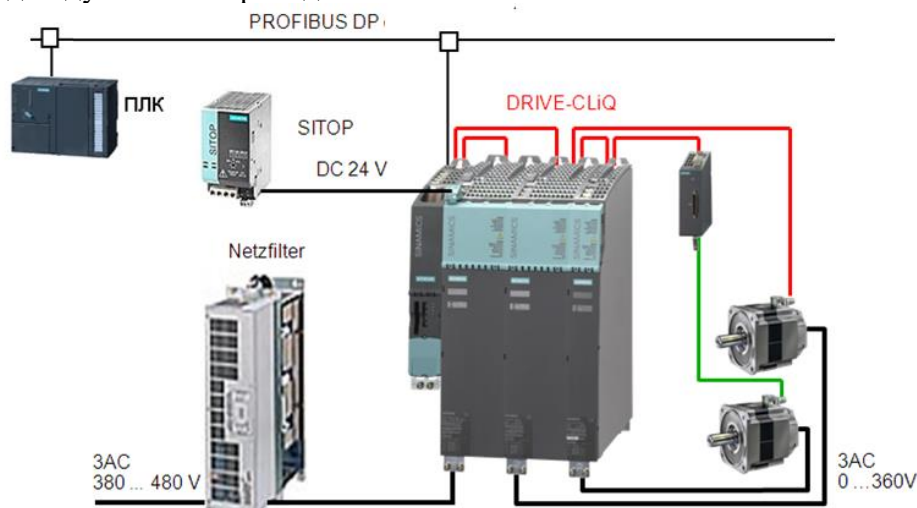


Рис. 8.10. Перетворювач частоти Sinamics S120

SINAMICS S120 реалізує векторне управління, управління сервоприводами і управління в режимі U / f . Крім того, для всіх приводів виконується регулювання швидкості і моменту, а також додаткові інтелектуальні функції приводу.

Для машин з дуже великою кількістю осей і високими вимогами до точності ідеальним рішенням є інтегрований в привід SINAMICS S120 варіант SIMOTION D. Ця децентралізована структура автоматизації дозволяє розділити установку на окремі модулі, якими керуються окремими мехатронними системами Motion Control SIMOTION. Комунікація між системами SIMOTION відбувається по локальній мережі PROFIBUS DP або PROFINET. Додатковий важливий аспект: компактна конструкція завдяки децентралізованій структурі системи автоматизації та модулів управління, інтегрованим безпосередньо в привід.

Частотний перетворювач може конструктивно входити до складу мехатронного модуля. 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, силовий перетворювач, двигун і редуктор. За допомогою штекерної техніки здійснюється підключення цифрових входів і діагностичних сигналів, а також електричний зв'язок між двигуном і силовим перетворювачем.

8.4. Силовий модуль крокових двигунів

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.

Програмовані логічні контролери (ПЛК), що використовують у системах керування вантажопідйомних машин та обладнання логістичних систем, наприклад, ПЛК S7-1200 фірми Siemens, мають у складі програмного забезпечення функції керування кроковими

двигунами. Контролер формує послідовність імпульсів зі змінним періодом повторення, що дозволяє керувати швидкістю обертання двигуна. Оскільки контролер видає послідовність імпульсів на один вихід 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. 8.11). Діоди на виходах перетворювача потрібні для замикання струму котушок двигуна при відключенні.

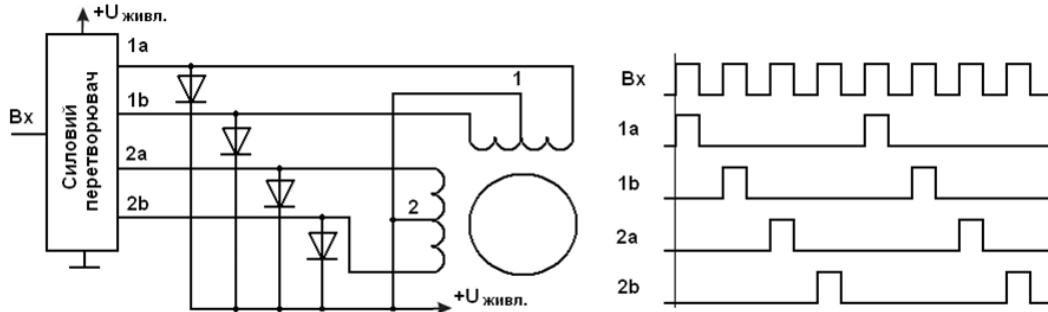


Рис. 8.11. Силовий перетворювач для крокового двигуна

Змінюючи період проходження імпульсів можна змінювати швидкість обертання крокового двигуна по заданому закону. Позицію задає кількість імпульсів, які поступають на кроковий двигун.

Швидкість обертання крокових двигунів визначається частотою проходження імпульсів, а їх кількість дозволяє повернути вал двигуна на певний кут, що дає можливість здійснити позиціонування без датчика зворотного зв'язку (датчика кута повороту).

Для керування кроковими двигунами за допомогою мікроконтролерів, наприклад, Arduino, використовують спеціальні драйвери крокових двигунів, таких як A4988, що працює від напруги 8 - 35 В і може забезпечити струм до 1 А на фазу без радіатора, а з радіатором до 2 А (рис. 8.12).

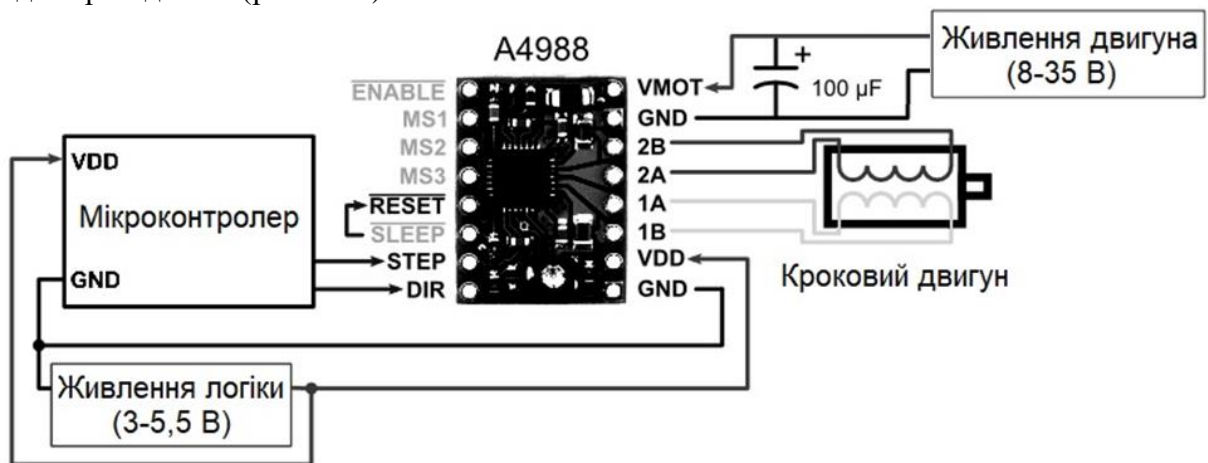


Рис. 8.12. Схема підключення драйвера A4988 до крокового двигуна та мікроконтролера

Модуль A4988 має захист від перевантаження і перегріву.

Одним з параметрів крокових двигунів є кількість кроків на один оборот 360°.

Наприклад, для крокових двигунів Nema17 це 200 кроків на оборот, тобто 1 крок дорівнює 1.8°.

Драйвер A4988 дозволяє збільшити це значення за рахунок можливості управління проміжними кроками і має п'ять режимів мікрокроку (1 (повний), 1/2, 1/4, 1/8 і 1/16). Значення мікрокроку встановлюється комбінацією сигналів на входах MS1, MS2, і MS3.

Контрольні питання

1. Розкрити, в чому полягає принцип дії силових перетворювачів двигунів постійного струму?
2. Пояснити, чим відрізняються силові перетворювачі на контакторах?
3. Описати, в чому полягає принцип дії частотних перетворювачів?
4. Розкрити, як здійснюється керування частотними перетворювачами?
5. Описати, чим відрізняються силові модулі крокових двигунів?

9. Датчики внутрішньої інформації мехатронних пристроїв

9.1. Датчики положення

Всі датчики, в тому числі і датчики положення, перетворюють контрольовану величину в вихідний електричний сигнал для подальшого вимірювання та перетворення. Перетворення, як правило, включає в себе: нормування вихідного сигналу, усунення шумів, компенсацію коливань нульової точки.

За способом отримання вихідної величини розрізняють параметричні та генераторні датчики.

У параметричних датчиках контрольована величина перетворюється в зміни таких параметрів як активний опір, індуктивність або ємність. Параметричні датчики вимагає джерело живлення для виявлення зміни контрольованої величини.

У генераторних датчиках зміни контрольованої величини перетворюється в зміну електричного сигналу на виході датчика, що не має окремого джерела живлення.

Узагальнена структура датчика, як і будь-якого вимірювального пристрою, може бути представлена у вигляді, наведеному на рис. 9.1.

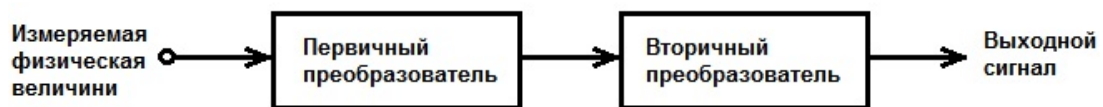


Рис. 9.1. Узагальнена структура датчика

Первинний перетворювач перетворює вимірювану фізичну величину в електричний сигнал у вигляді струму або напруги.

Вторинний перетворювач перетворює отриманий електричний сигнал в форму, зручну для введення в пристрій керування або в форму, зручну для передачі на відстань, наприклад, для передачі по локальних мережах.

Датчики положення діляться на контактні і безконтактні. У контактних датчиках переміщення перетворюється в замкнутий або розімкнутий стан електричних контактів, які здійснюють релейну зміну опору зовнішньому середовищі. До них відносяться кінцеві і шляхові вимикачі.

На рис. 9.2 показані варіанти спрацювання (а) і конструкція контактів (б).

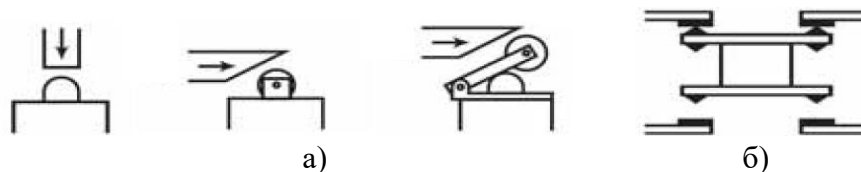


Рис. 9.2. Варіанти спрацювання (а) і конструкція контактів (б)

На рис. 9.3 показано використання шляхових вимикачів для визначення позиції переміщення.

Недоліками контактних датчиків є брязкіт контактів, що може привести до помилкового результату опитування, а також обмежене число спрацювань, що не перевищує $10^6 - 10 * 10^6$.

Тому контактні датчики використовуються в тих випадках, коли частота спрацювання не велика.

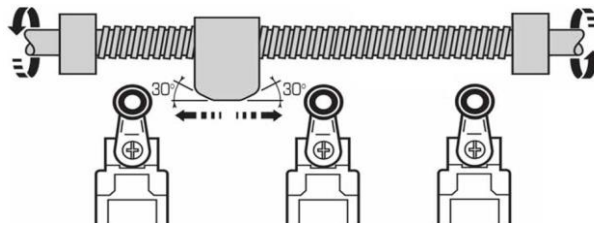


Рис. 9.3. Використання використання шляхових вимикачів для визначення позиції переміщення

Безконтактні датчики визначають наявність і властивості об'єкта дистанційно без фізичного контакту.

Безконтактні датчики положення можна розділити на дискретні (цифрові) і аналогові.

У першому випадку вихідний сигнал має два стани, що визначає наявність або відсутність об'єкта, який призвів до спрацьовування датчика.

У другому випадку вихідний сигнал видає інформацію про відстань до об'єкту або про відстань, на яку перемістився об'єкт. В останньому випадку розрізняють лінійні і кутові переміщення.

За принципом визначення відстані до об'єкта безконтактні датчики діляться на індуктивні, емнісні, оптичні й ультразвукові.

Індуктивні датчики відносяться до датчиків параметричного типу. Вони можуть ставитися як до контактних, так і безконтактним датчикам, так як принцип їх дії яких заснований на зміні індуктивності обмотки з сердечником внаслідок переміщення сердечника або впливу металевго об'єкта на магнітне поле (рис. 9.4).

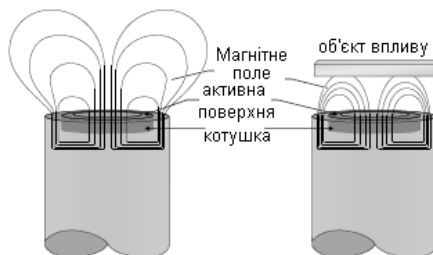


Рис. 9.4. Принцип дії індуктивних датчиків

В датчиках з площинними чутливими елементами впливаючий металевий елемент проходить біля котушок на заданій відстані. Зовнішній вигляд таких датчиків наведено на рис. 9.5, а. У датчиках із щілинними чутливими елементами (рис. 9.5,б) металева пластина (впливаючий елемент) проходить в щіліні між котушками чутливого елемента.

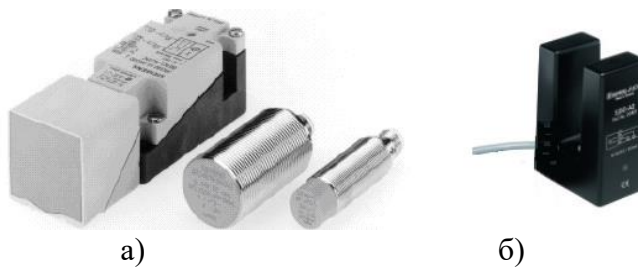


Рис. 9.5. Датчики з площинними (а) та щілинними (б) чутливими елементами

На рис. 9.6 наведені приклади використання індуктивних датчиків у мехатронних системах.

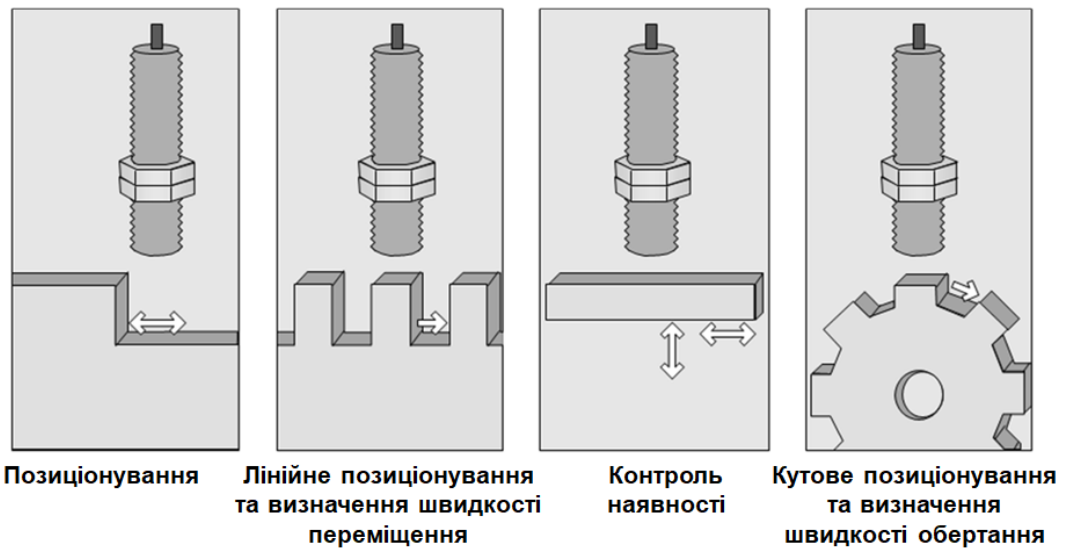


Рис. 9.6. Приклади використання індуктивних датчиків у мехатронних системах.

Ємкісні датчики відрізняються тим, що впливаючий елемент не повинен обов'язково бути металевим. Дію цих датчиків засновано на перетворенні вхідної величини у зміну ємності конденсатора (рис. 9.7).



Рис. 9.7. 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. 9.8, а) або на проходження (датчики однонаправленої дії) світла (рис. 9.8, б).

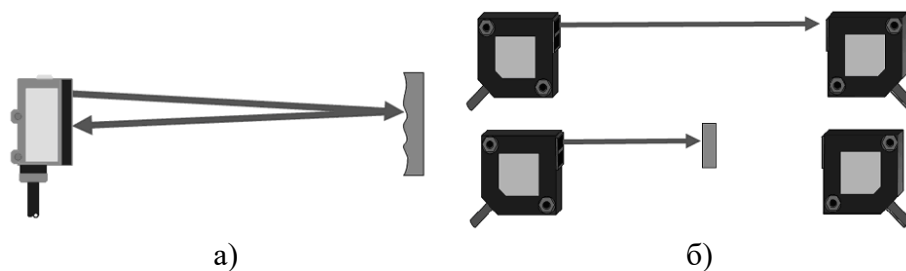


Рис. 9.8. Оптичні датчики на відбивання (а) та проходження (б) світла

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) або на проходження (датчики однонаправленої дії).

Для вимірювання лінійних та кутових переміщень використовуються 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. 9.9).

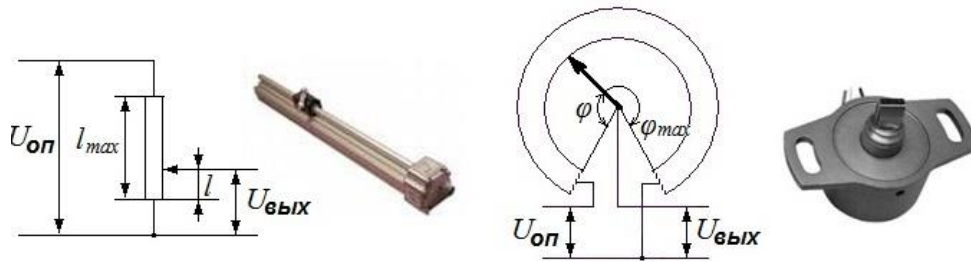


Рис. 9.9. Потенціометричні датчики

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

Вихідний сигнал потенціометричних датчиків $U_{вих}$ пов'язаний з опорною напругою $U_{оп}$, загальним опором резистора R_{max} та опором між повзунком та початком резистивного шару R або резистивної обмотки, а також з вимірювальним лінійним l або кутовим φ переміщенням таким співвідношенням:

$$U_{оп} / U_{вих} = R_{max} / R = l_{max} / l = \varphi_{max} / \varphi$$

Звідки маємо

$$l = l_{max} U_{вих} / U_{оп}$$

$$\varphi = \varphi_{max} U_{вих} / U_{оп}$$

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.

На рис. 9.10 представлений зовнішній вигляд і принцип дії фотоімпульсних датчиків кутового і лінійного переміщення.

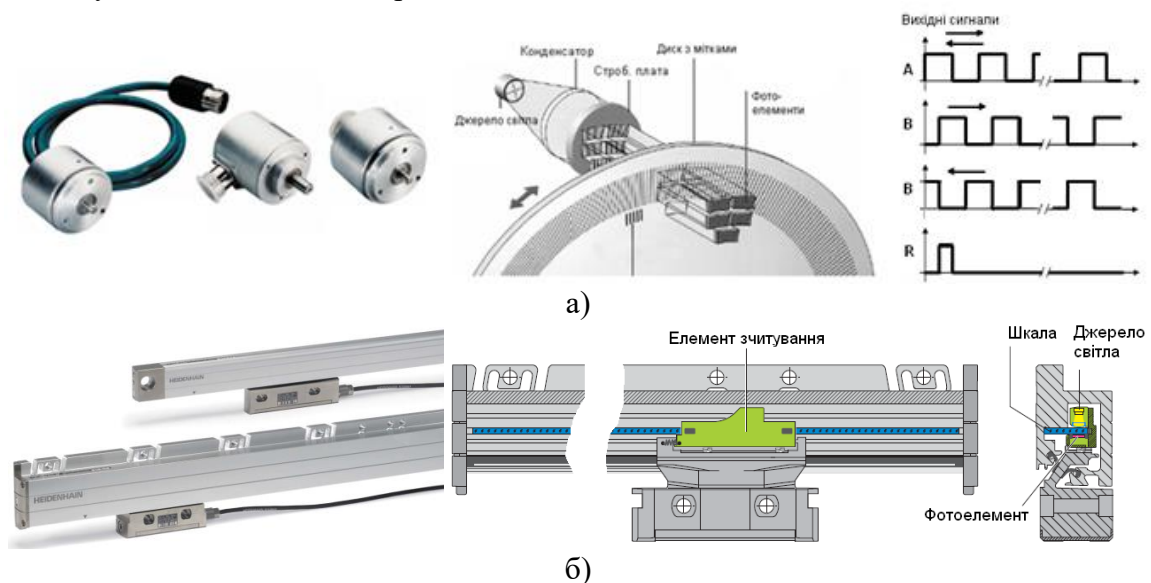


Рис. 9.10. Фотоімпульсні датчики кутового (а) і лінійного (б) переміщення

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

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

9.2. Датчики швидкості

Для вимірювання швидкості використовуються використовуються імпульсні датчики положення, при цьому швидкість визначається як кількість імпульсів перерахована на кутовий або лінійний шлях за одиницю часу.

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

Тахогенераторами (ТГ) називаються невеликі електричні машини, призначені для перетворення механічного переміщення - обертання вала - в електричний сигнал - вихідна напруга.

Основна вимога, яка пред'являється до більшості ТГ, - лінійність вихідної характеристики, т.е пропорційність вихідної напруги U_T частоті обертання n (рис.6.4):

$$U_T = kn = k_1 \frac{d\alpha}{dt},$$

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

По роду струму розрізняють ТГ змінного та постійного струму. ТГ змінного струму можуть бути асинхронними й синхронними. ТГ постійного струму можуть бути або з постійними магнітами, або з електромагнітним порушенням (з обмоткою збудження). Спрощена принципова схема та характеристика тахогенератора наведеі на рис. 9.11.

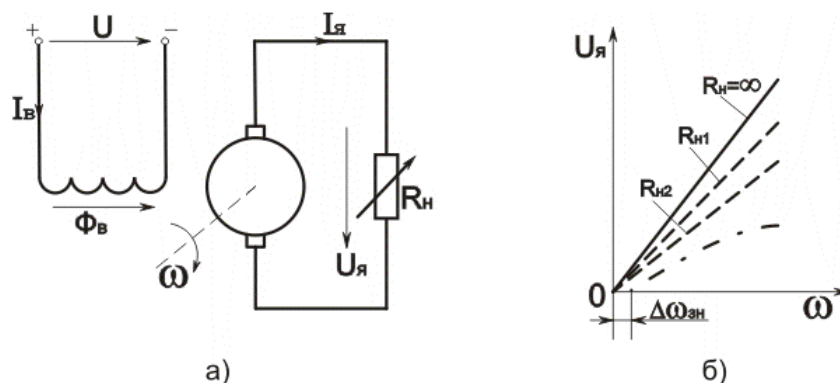


Рис. 9.12. Спрощена принципова схема (а) та характеристика тахогенератора(б).

Контрольні питання

1. Розкрити, для чого використовують датчики внутрішньої інформації?
2. Пояснити, в чому полягає принцип дії датчиків положення?
3. Описати, чим відрізняються параметричні та генераторні датчики?
4. Розкрити, в чому полягає принцип дії фотоімпульсних датчиків кутового і лінійного переміщення?
5. Описати, як працюють датчики швидкості?

10. Датчики зовнішньої інформації мехатронних пристроїв

10.1. Датчики технологічних параметрів

До датчиків технологічних параметрів можна віднести датчики температури, датчики зусилля, датчики наявності об'єктів та інші датчики, що несуть інформацію про стан технологічних процесів. Такими датчиками можуть бути, наприклад, датчики положення, датчики переміщення, які були розглянуті раніше, та датчики зовнішнього середовища, що будуть розглянуті далі.

Одним з найважливіших технологічних параметрів є температура, для вимірювання якої використовуються датчики на основі терморезисторів і термопар. Випускається широкий набір таких датчиків, що дозволяють вимірювати температуру в широкому діапазоні.

За типом залежності опору від температури розрізняють терморезистори з негативним (NTC-термістори) і позитивним (PTC-термістори або позистора) температурним коефіцієнтом опору (ТКО). У позисторів з ростом температури зростає їх опір; у NTC-термісторів збільшення температури призводить до падіння їх опору.

Принцип дії термопар заснований на термоелектричному ефекті. Між з'єднаними провідниками є контактна різниця потенціалів. Якщо стики з'єднаних в кільці провідників знаходяться при однаковій температурі, сума таких різниць потенціалів дорівнює нулю, а коли стики знаходяться при різних температурах, різниця потенціалів між ними залежить від різниці температур.

Вимірювання сили полягає в врівноваженні її протидією силою таким чином, що тіло, до якого воно докладено, залишається в спокої, і тоді результуюча сила дорівнює нулю.

Датчик сили містить чутливий елемент, що піддається дії невідомої сили. У цьому елементі виникає деформація, яка породжує протидіючу силу. У зоні пружності деформація, відповідно до закону Гука, пропорційна силі.

Деформація, а, отже, сила може бути виміряна побічно, якщо будь-яка з електричних властивостей матеріалу залежить від деформації (наприклад, п'єзоефект або тензометрія).

П'єзоелектричний ефект являє собою виникнення поляризації діелектрика під впливом напруг (прямий п'єзоелектричний ефект). При цьому на обкладинках п'єзоелемента виникає заряд, який залежить від п'єзомодуль п'єзоелектричного матеріалу.

Схема формування сигналу з електричним зарядом на вході від п'єзодатчика і пропорційною йому напругою на виході показана на рис. 10.1.

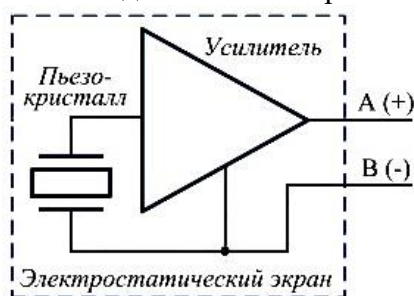


Рис. 10.1. Схема формування сигналу від п'єзодатчика

Часто на практиці для вимірювання деформації використовуються тензодатчики. Принцип дії тензодатчика заснований на залежності активного опору провідника від його механічної деформації.

Тензодатчики наклеюються на деформується поверхню так, щоб прямолінійні ділянки провідника розтягувалися або звужувалися відповідно до деформацією деталі. На рис. 10.2 наведені конструкція тензодатчика спірального типу DMS (а) та мостова схема підключення датчиків. Такі датчики дозволяють вимірювати малі механічні деформації, що складають кілька мікронів.

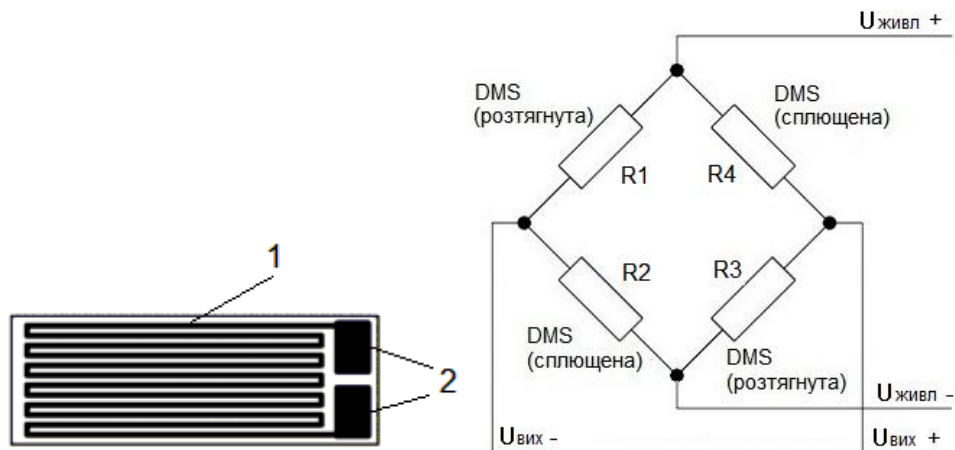


Рис. 10.2. Конструкція тензодатчика спірального типу (а), де 1 - дротова спіраль, 2 - контакти підключення; та мостова схема підключення датчиків (б)

Чутливість датчика визначається в одиницях мВ/В (мілівольт / вольт) як величина сигналу на виході датчика при напрузі живлення 1 В при номінальному навантаженні і становить від 0,5 до 3 мВ/В. Напруга живлення може бути вище, тому буде вище і вихідний сигнал. Наприклад, при чутливості 2 мВ/ і напрузі живлення 10 В будемо мати вихідну напругу $2 \text{ мВ/В} * 10 \text{ В} = 20 \text{ мВ}$ (при номінальному навантаженні).

В робототехнічних пристроях часто використовують 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 контактної 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. Послідовний опит цього опору у різних точках дає можливість визначити форму предмета. 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.

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.

10.2. Датчики стану зовнішнього середовища

До датчиків стану зовнішнього середовища відносяться датчики, що дають можливість визначити положення мехатронного пристрою відносно зовнішніх об'єктів, або абсолютне положення у просторі.

Такими датчиками є датчики наявності зовнішніх об'єктів, або відстані до них, датчики, що визначають положення пристрою у просторі, та інші датчики, що несуть інформацію про стан зовнішнього середовища. Найчастіше це безконтактні датчики, які визначають параметри зовнішнього середовища на відстані.

Для визначення наявності об'єктів та відстані до них найчастіше використовують ультразвукові та оптичні датчики.

Ультразвуковий датчик відстані визначає відстань до об'єкта, вимірюючи час відображення звукової хвилі від об'єкта (рис. 10.3).

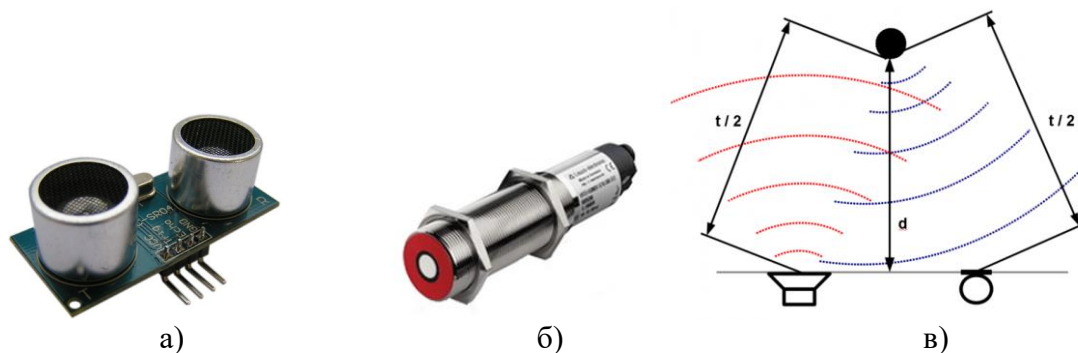


Рис.10.3. Ультразвукові датчики відстані: HC-SR04 (а) та VRTU 430 (б); та принцип роботи ультразвукового датчика (в)

Частота звукової хвилі знаходиться в межах частоти ультразвуку, що забезпечує концентрований напрямок звукової хвилі, так як звук з високою частотою розсіюється в навколишньому середовищі менше. Типовий ультразвуковий датчик відстані складається з двох мембран, одна з яких генерує звук, а інша реєструє його відображення. Звуковий генератор створює ультразвуковий імпульс і запускає таймер. Друга мембрана реєструє прибуття відображеного імпульсу і зупиняє таймер. Від часу таймера t по швидкості звуку можливо обчислити пройдену відстань звукової хвилі. Відстань до об'єкта дорівнює половині пройденого шляху звукової хвилі (рис. 10.3, в).

Ультразвукові датчики вимірюють відстань до 10 м, що визначається великим затуханням звуку в повітрі.

Інфрачервоний датчик визначає відстань до об'єкту (рис. 10.4, а) за допомогою триангуляції. 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), провідність якого залежить від місця розташування падаючого на PSD променя. Вимірюючи цю провідність можна обчислити відстань до об'єкту. Принцип роботи датчика зображений на рис. 10.4, б.

Відстань до об'єкту, яку вимірює інфрачервоний датчик, приблизна така, як у ультразвукових датчиків, наприклад, датчик фірми SHARP GP2Y0A710K0F вимірює відстань від 100 до 550 см.

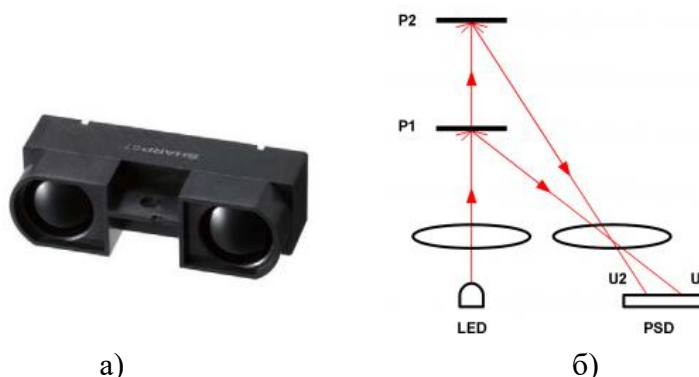


Рис. 10.4. Інфрачервоний датчик фірми SHARP GP2Y0A710K0F (а) та принцип роботи інфрачервоного датчика за допомогою триангуляції (б)

Для вимірювання положення об'єктів на більших дистанціях використовують оптичні (лазерні) датчики вимірювання відстані.

Оптичні датчики мають великий робочий діапазон (до 130 - 150 м) і високу

роздільну здатність (1 мм). Принцип роботи фотоелектричних безконтактних датчиків заснований на вимірюванні швидкості проходження променя, що відбивається від спеціальної мітки відбивання, розташованої на об'єкті, або ж безпосередньо від самого об'єкта. При цьому використовують як радарний так і триангуляційний засоби вимірювання відстані.

Для орієнтації автоматичних транспортних засобів використовують скануючі лазерні датчики, за допомогою яких можна визначити розташування об'єктів навколо робота. Ці датчики включають лазерний датчик відстані та засіб обертання 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 10.5 наведені скануючі датчики фірми SICK LSM151 з робочою зоною 50 м, кутом огляду 270° з роздільною здатністю $0,25^\circ - 0,5^\circ$, 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 $0,125^\circ - 1,5^\circ$, частотою сканування 5 -15 Гц і точністю вимірювання ± 38 мм.



Рис 10.5. Скануючі датчики фірми SICK LSM151 (а) та LD-OEM (б)

До датчиків зовнішнього стану можна також віднести датчики положення робота у просторі. Так у крокових двоногих роботів виникає проблема утримання рівноваги при переміщенні. Для вирішення цієї проблеми використовують акселерометр.

Акселерометр - це прилад, що дозволяє вимірювати прискорення тіла під дією зовнішніх сил. Схематично, акселерометр можна зобразити у вигляді масивного тіла, яке здатне пересуватися уздовж деякої осі і пов'язане з корпусом приладу пружинами (рис. 10.6, а). Якщо такий прилад штовхнути вправо (рис. 10.6, б), то вантаж зміститься по направляючій вліво від центру осі. Визначаючи зсув вантажу щодо центральної точки і вдається визначити величину чинного прискорення.

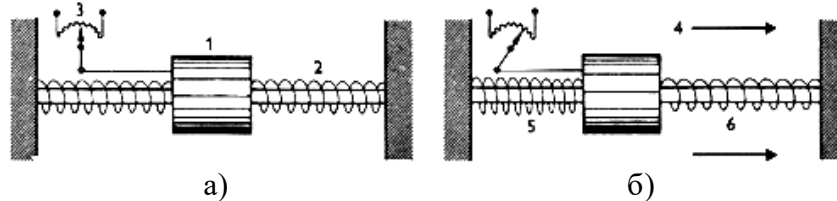


Рис.10.6. Схема роботи акселерометра.

Як правило, сучасні акселерометри дозволяють вимірювати проекцію прискорення відразу на три осі тривимірного простору. Знаючи ці величини, легко можна розрахувати кут нахилу конкретної осі відносно поверхні землі. Однак, вимірювання нахилу за допомогою акселерометра можливо тільки тоді, коли останній перебуває у стані спокою. Адже якщо на гіроскоп під час вимірювання подіє будь-яка інша сила, прилад неодмінно її зафіксує і тим самим внесе помилку в розрахунок кутів. На рис. 10.7 наведений акселерометр з вимірюванням по 3 осям Pololu на MMA7341L, що має формат виведення у вигляді трьох аналогових сигналів (по одному на вісь) із середнім значенням напруги, рівним половині напруги живлення, з діапазоном чутливості: $\pm 1,5g$, $\pm 3g$, $\pm 6g$, $\pm 11g$.

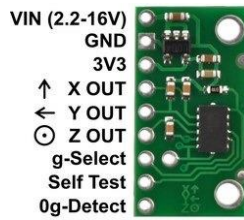


Рис. 10.7. Акселерометр з вимірюванням по 3 осях Pololu на MMA7341L

Для орієнтації та визначення положення у просторі використовують гіроскопи та магнітні компаси.

Гіроскоп це пристрій, здатний реагувати на зміну орієнтації основи, на якій його встановлено, відносно інерціального простору. Конструкція гіроскопу являє собою що містить швидкообертове тверде тіло, яке має три обертальні ступені вільності, тобто можливість обертання навколо трьох взаємно-перпендикулярних осей (рис. 10.8).



Рис. 10.8. Конструкція та зовнішній вигляд гіроскопічного датчику

Гіроскопічний датчик можна використовувати для орієнтації при переміщенні на площині, а також для утримання рівноваги робота.

Так, наприклад, цифровий гіроскопічний датчик EV3 дозволяє вимірювати рух обертання робота, а також вловлювати зміни в його рух і положення. За допомогою цього датчика легко можна виміряти кути з точністю до $\pm 3^\circ$ та частотою опитування до 1 кГц, що дає можливість створити балансуєчого робота і досліджувати технології, які використовуються в навігаційних системах.

Для орієнтування на місцевості шляхом вказівки на сторони світу використовують **електронний магнітний компас**. На рис. 10.9 наведений модуль електронного магнітного компасу HMC5883L з 3-ма осями, що використовується в системах позиціонування.



Рис.10.9. Електронний магнітний компас HMC5883L.

Електронний магнітний компас, або магнітометр використовують для визначення сторони світу, в яку направлено пристрій. Цифровий компас відстежує орієнтацію пристрою в просторі щодо магнітних полюсів Землі для орієнтування по місцевості.

Електронний магнітний компас NXT Compass Sensor (NMC1034) вимірює положення відносно магнітного поля землі з точністю 1° (значення від 0 до 359), та здійснює вимірювання з частотою 100 Гц.

Для вимірювання відстані до об'єктів використовують ультразвукові, інфрачервоні та лазерні датчики, а також відеосистеми, де відстань до об'єкту визначається шляхом обробки зображення або завдяки стереоскопічним системам.

Сучасні мехатронні системи, наприклад, автономні мобільні 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 Baumer серії LXC (рис. 10.10) забезпечують роздільну здатність 20 Мп (5120 x 3840) та швидкість зйомки 32 к/с.



Рис. 10.10. Кольорові промислові відеокамери Baumer серії LXC

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.

Так телевізійні 3D камери «VAC-248-IP-S» (рис. 10.11) забезпечують затримку не гірше 5 мс і дозволяють вести вимірювання швидкорухомих об'єктів.

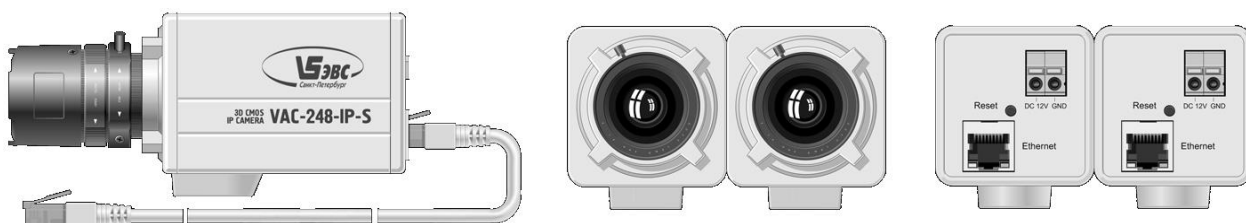


Рис. 10.11. Стереоскопічна камера «VAC-248-IP-S»

Контрольні питання

1. Розкрити, для чого використовують датчики зовнішньої інформації?
2. Пояснити, які датчики можна віднести до датчиків технологічних параметрів?
3. Описати, які датчики використовують для вимірювання температури?
4. Розкрити, які датчики використовують для вимірювання сили?
5. Описати, які датчики використовують для визначення стану зовнішнього середовища?

11. Структура мехатронних систем управління

11.1. Функції управління мехатронних системами

Розглянемо функції управління стосовно до мехатронних систем, що використовують у виробничих машинах і комплексах автоматизованого машинобудування. До таких систем управління пред'являються, як правило, досить жорсткі вимоги, так як режими управління визначають хід технологічного процесу. Завдання комп'ютерного управління технологічними машинами, які не могли бути вирішені на базі традиційних підходів, стимулювали розробку і впровадження в практику принципово нових методів управління.

У мехатроніці ставиться завдання управління координованими функціональними (механічними) рухами машин. При цьому мехатронні системи можуть мати різну складність і вирішувати дуже широке коло завдань.

Для прикладу розглянемо два варіанти мехатронних систем: автоматизовані транспортно-складські системи, що були розглянуті у підрозділі 3.2, а також крокуючі транспортні і людиноподібні роботи.

У першому випадку є велика кількість різних пристроїв, де використовуються засоби управління рухом, розташованих на досить великій території. При цьому використовуються досить прості функції позиційного управління.

У другому випадку використовуються компактні пристрої управління, які вирішують складні завдання координації і узгодження функцій руху, що реалізуються окремими мехатронні модулями.

Розглянемо, які завдання необхідно вирішити при реалізації автоматизованих транспортно-складських систем. До елементів таких систем відносяться штабелери, конвеєри та інші транспортні пристрої, різні захватні пристрої.

Система управління в цьому випадку виконує функції управління окремими пристроями та їх координацією. Для вирішення цих завдань можуть використовуватися порівняно прості функції логічного і позиційного управління.

У першому випадку вирішується завдання послідовного виконання окремих операцій (переміщення). Перехід від однієї операції до іншої здійснюється за зміною стану окремих датчиків і виконавчих механізмів, яке визначається за допомогою логічних операцій, наприклад, конвеєр запускається кнопкою "Пуск" або датчиком наявності вантажу, а зупиняється кнопкою "Стоп", а також при спрацьовуванні датчиків відсутності вантажу або блокування.

У другому випадку переміщення по окремим осях здійснюється до досягнення зазначеної позиції, яка визначається за допомогою датчиків положення. При цьому необхідно забезпечити послідовне або одночасне переміщення в задану позицію з заданою точністю кожним пристроєм, який виконує функцію руху.

Завдання координації та взаємодії окремих пристроїв в таких випадках, як правило, вирішують системи управління верхнього рівня, які вже не належать до завдань мехатронних систем, а виконують загальні логістичні завдання управління складом, наприклад, функції обліку місця зберігання і наявності окремих видів товару, визначення послідовності розміщення продукції на складі і комплектації замовлень.

Всі завдання, які вирішуються мехатронною системою управління можна розділити на такі завдання управління:

- управління окремими приводами (управління конвеєрами і управління переміщення штабелера по окремим осях);
- узгоджене управління декількома приводами для переміщення робочого органу в потрібну позицію;
- визначення кінцевих і проміжних позицій і послідовності переміщення робочого органу штабелера для установки або зняття вантажу, а також послідовності роботи конвеєрів для переміщення необхідного вантажу в потрібну точку складу;

- визначення послідовності переміщень вантажу на складі залежно від комплектації замовлення або розподілу отриманого вантажу на складі.

Розглянемо структурну схему мехатронної системи для вирішення завдання управління автоматизованим складом (рис. 11.1).

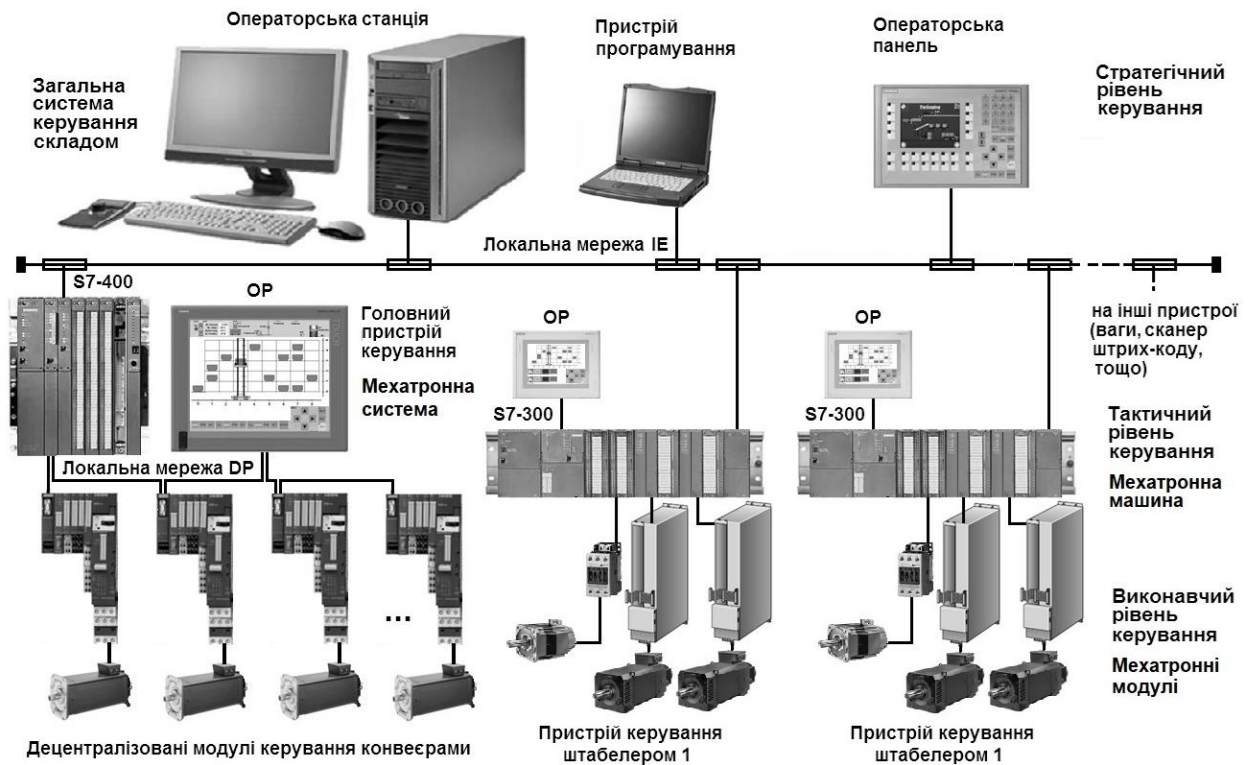


Рис. 11.1. Структурна схема мехатронної системи керування автоматизованим складом

Основою системи є програмований логічний контролер, який вирішує основні завдання управління рухом, в даному випадку, управління штабелерами і конвеєрами. Для великих складів таких систем може бути декілька.

Оскільки обладнання розміщено на досить великій території для управління окремими компонентами складу використовується так звана децентралізована периферія (ДП). У цьому випадку окремі модулі вхідних і вихідних сигналів, а також функціональні модулі, наприклад, вбудовані частотні перетворювачі або модулі позиціонування, підключаються за допомогою інтерфейсних модулів до контролера по локальних мережах і можуть бути видалені на відстань до 1 км по дротових мережах і на кілька десятків кілометрів по оптоволоконним мережах.

Завдання управління окремими приводами при цьому можуть вирішуватися як окремими функціональними модулями, так і контролером.

Завдання узгодженого управління декількома приводами для переміщення робочого органу вирішуються контролером.

Решта завдань не вимагають безпосереднього управління приводами і можуть вирішуватися системою управління верхнього рівня, що реалізується, як правило, за допомогою персональних комп'ютерів. Якщо комп'ютери використовуються в промисловій зоні з підвищеною забрудненістю повітря, то використовуються промислові комп'ютери, захищені від впливу пилу і вологи.

Системи управління людиноподібних і транспортних крокуючих роботів, як уже зазначалося, вирішують складні завдання координації і узгодження функцій руху самого робота і його окремих компонент, стійкості, орієнтації в просторі, навігації.

Розглянемо, як здійснюється переміщення двоногого робота по рівній поверхні.

Двоного хода здійснює пересування, при яких відбувається циклічна зміна одноопорного періодів (опори на одну з ніг і перенесення іншої ноги) і двоопорних періодів між ними (переміщення тіла з опорою на обидві ноги) (рис. 11.1). На кожному наступному кроці махова нога стає опорною, а опорна стає маховою. У людини фази опори становить 58 ... 80% від тривалості одиночного кроку, а фази перенесення решта 42 ... 20%.

Таким чином, при переміщенні здійснюються такі руху:

одноопорне рух - перенесення ноги спільно з рухом торсу при опорі на іншу ногу;
двоопорне - рух торса з опорою на обидві ноги.

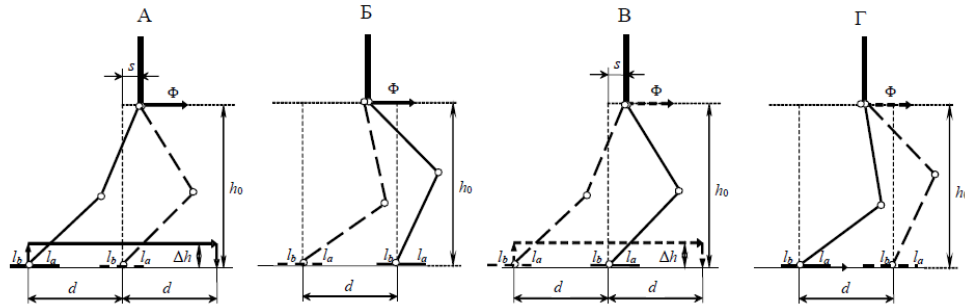


Рис. 11.1. Фази руху двоногого крокуючого робота

В даному випадку кожна нога має по три приводи, таким чином, необхідно здійснити узгоджений рух шести приводів.

При переміщенні по нерівній поверхні або при русі по сходах завдання управління ще більше ускладнюється, тому що в процесі переміщення необхідно враховувати рельєф місцевості, для чого необхідні додаткові інформаційні пристрої і засоби обробки отриманої інформації. Крім цього необхідно вирішувати завдання навігації, управління маніпуляторами, розпізнавання об'єктів і цілий ряд інших.

При цьому можна виділити завдання різних рівнів: управління окремими проводами, забезпечення їх узгодженого руху з урахуванням рельєфу місцевості, переміщення робота по заданому маршруту, виконання технологічних функцій.

Для виконання цих завдань потрібні алгоритми управління різного рівня складності, тому доцільно використовувати розподілені вмонтовані системи управління.

11.2. Ієрархія управління в мехатронних системах

Вище було показано, що для управління мехатронних системами необхідні багаторівневі системи управління, при цьому на кожному рівні вирішуються завдання різної складності. Таким чином, мехатронні системи управління можна уявити як ієрархічну структуру.

Ієрархічна структура - це багаторівневий набір взаємодіючих підсистем, кожна з яких відповідальна за вирішення певної задачі і має доступ до сенсорної інформації, необхідної для вирішення завдань управління даного рівня. У сучасних мехатронних системах, як правило, використовується ієрархія «зверху - вниз», коли нижній рівень повністю підпорядкований вищим рівнями.

Така структура забезпечує необхідну гнучкість і багатоплановість управління на кожному рівні ієрархії і мехатронної системи в цілому. При такій організації управління зміна окремих характеристик мехатронної системи призведе до зміни тільки деякої частини алгоритмів управління певного рівня. При цьому алгоритмічне забезпечення інших рівнів залишається без змін.

Розглянемо ієрархію управління, характерну для мехатронних (зокрема, робототехнічних) систем (рис. 11.2). У даній структурі виділяються чотири рівні управління: інтелектуальний, стратегічний, тактичний і виконавчий.

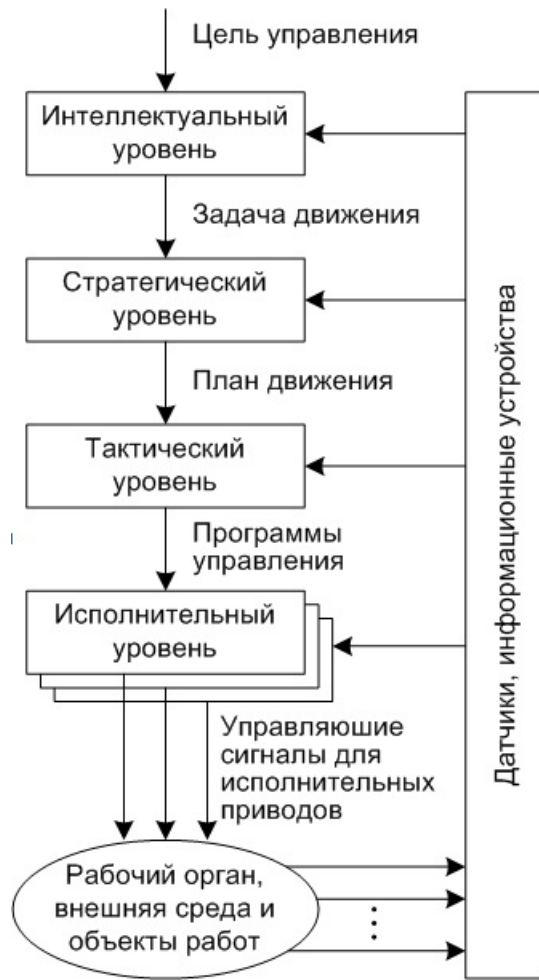


Рис. 11.2. Ієрархія управління в мехатронних системах

Виконавчий рівень управління призначений для розрахунку і видачі керуючих сигналів на блок приводів мехатронної системи відповідно до програми управління і з урахуванням технічних характеристик силових перетворювачів.

Для ієрархічних систем управління мехатронних систем справедливий наступний принцип: у міру просування від вищих рівнів управління до нижчих знижується інтелектуальність системи, але підвищується її точність. При цьому під «інтелектуальністю» розуміється здатність системи отримувати спеціальні знання, що дозволяють уточнити поставлену задачу і визначити шляхи її вирішення.

На виконавчому рівні найчастіше використовуються автономні пристрої управління рухом, такі як, наприклад, електроприводи постійного і змінного струму.

Тактичний рівень виконує перетворення команд управління рухом, що надходять зі стратегічного рівня управління, в програму управління, яка визначає закони узгодженого руху в часі всіх ланок механічного пристрою з урахуванням технічних характеристик блоку приводів (в першу чергу обмежень на узагальнені швидкості, прискорення і сили).

Наприклад, для виконання команди позиційного управління рухом маніпулятора на тактичному рівні необхідно визначити узагальнені координати маніпулятора, які відповідають бажаним декартових координатах характеристичної точки загального пристрою. Для цього повинна бути вирішена зворотна задача про становище маніпулятора в заданій точці траєкторії руху.

Відповідно, для управління швидкістю руху програма управління будується як результат розв'язання зворотної задачі стасовно швидкості робочого органу. Для реалізації

даних алгоритмів пристрій комп'ютерного управління має виконувати в реальному часі наступні основні функції:

- прийом інформації від стратегічного рівня в формі команд управління рухом;
- прийом і обробку інформації від датчиків положення маніпулятора про поточну конфігурацію;
- розрахунок значень узагальнених координат і їх похідних;
- видача керуючої інформації на виконавчий рівень.

На рішення зворотної задачі витрачається значна частина машинного часу, тому зазвичай вона вирішується тільки в опорних точках траєкторії руху. При цьому на тактичний рівень лягає завдання інтерполяції траєкторії руху між опорними точками.

На тактичному рівні найчастіше використовуються програмовані логічні контролери, в тому числі і з вбудованими функціями управління руху.

Стратегічний рівень управління призначений для планування рухів мехатронної системи. Планування рухів передбачає розбиття завдання руху, поставленої інтелектуальним рівнем, на послідовність узгоджених в часі елементарних дій і формалізацію цілей управління для кожної з цих дій.

Прикладами елементарних дій мобільного робота можуть служити:

- переміщення робочого органу в задану позицію;
- захоплення предмета;
- тестовий рух для визначення сил реакції з боку об'єкта;
- переміщення об'єкта і повернення робота в вихідну позицію.

Формалізація цілей управління означає, що для кожної з елементарних дій повинні бути записані математичні співвідношення, виконання яких забезпечує успішне виконання дії. Для технологічних роботів на стратегічному рівні вирішується завдання геометричного планування руху робочого органу.

Сенсори інтелектуального і стратегічного рівнів (система чуттєвості) можуть бути подібними органам почуттів людини або розширювати і доповнювати їх можливості (для інтелектуальних роботів це технічне зір, тактильна і сіломоментна чуттєвість, пристрої аналізу звукових і ультразвукових сигналів).

Стратегічний рівень видає інформацію про план руху і цілях прийняття рішень шляхом використання команд управління рухом. При цьому найчастіше використовуються проблемно-орієнтовані мови управління рухом, структура і синтаксис яких може істотно відрізняються від універсальних мов програмування.

На цьому рівні найчастіше використовуються програмовані логічні контролери верхнього рівня або персональні комп'ютери.

Інтелектуальний рівень - вищий рівень управління. Призначення цього рівня - прийняття рішень про рух механічної системи в умовах неповної інформації про зовнішнє середовище і об'єкті [2, 3].

Мета управління задається в крупному плані (наприклад, взяти заготовку зі складу, передати її на верстат, обробити і перевірити якість, передати на інший верстат).

Функції інтелектуального рівня в сучасних мехатронних системах зазвичай виконує людина-оператор або потужний комп'ютер верхнього рівня управління. Комп'ютер на інтелектуальному рівні аналізує складну змінюється зовнішню обстановку, приймає рішення про дії, формує послідовність виконання елементарних завдань і передає їх на стратегічний рівень управління. Таким чином, комп'ютер сам планує свої дії на основі аналізу зовнішньої обстановки.

Система управління на інтелектуальному рівні вирішує завдання сприйняття і розпізнавання обстановки, автоматичного прийняття рішень в умовах мінливої обстановки, а також накопичення досвіду роботи і самонавчання (рис. 1 1.3).

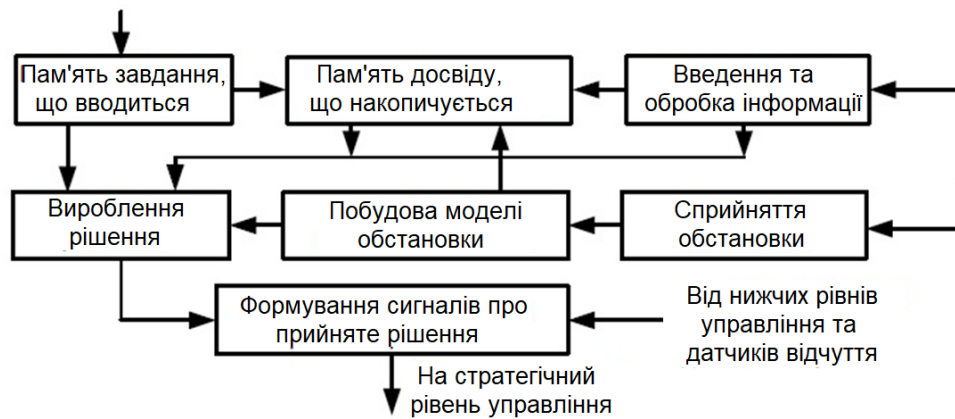


Рис. 11.3. Структура системи управління інтелектуального рівня

На цьому рівні доступ до системи управління можуть мати велике число користувачів, тому найчастіше використовуються розраховані на багато користувачів комп'ютерні системи, що забезпечує графічне представлення технологічного процесу і введення керуючих даних.

В інтелектуальних мехатронних системах широко використовуються інтелектуальні методи управління.

Під інтелектуальними розуміють методи, засновані на використанні аналогії з функціонуванням людського мозку. До них відносяться метод нечіткої логіки і метод нейронних мереж.

Ці методи реалізуються комп'ютерними пристроями - контролерами і досить добре програмно забезпечені, наприклад, відомими пакетами Fuzzy Logic Toolbox, Neural Network Toolbox з програмного пакету MATLAB.

Метод нечіткої логіки або фазі-логіки ґрунтується на асоціативному сприйнятті мозком людини сукупності деяких кількісно визначених явищ і вироблення рішень, виходячи з цих сприйнять.

Впровадження фазі-систем управління відбувалося досить стрімко, завдяки чому до цього часу вони знайшли застосування від складних систем озброєння до побутової техніки: відеокамер, холодильників, пральних машин та інші. Настільки широке і швидке розповсюдження фазі-систем обумовлено рядом їх важливих достоїнств:

- простота в розробці, яка не потребує спеціального математичного апарату (операторних перетворень, матричного обчислення тощо);
- низька ціна фазі-регулятора, що представляє собою невеликий процесорний блок і малі габарити;
- хороша сполучність з комп'ютерними пристроями вищого ієрархічного ступеня;
- можливість покладання на фазі-контролер додаткових логічних і програмних функцій.

Розглянемо сутність фазі-управління на прикладі регулювання швидкості руху мехатронного модуля виконавчого рівня.

У сучасних системах процедура фазі-регулювання здійснюється зазвичай спеціальними комп'ютерними пристроями - фазі-контролерами.

Функціонування фазі-регулятора (ФР) пояснює рис. 11.4.

ФР в залежності від відхилення поточного значення швидкості від заданого повинен виробити такий сигнал управління силовим електронним пристроєм (СЕР), що живить електродвигун, який забезпечить підтримку заданої швидкості.

Цей процес складається з трьох етапів: фазіфікації, логічної обробки і дефазіфікації (рис. 11.5).

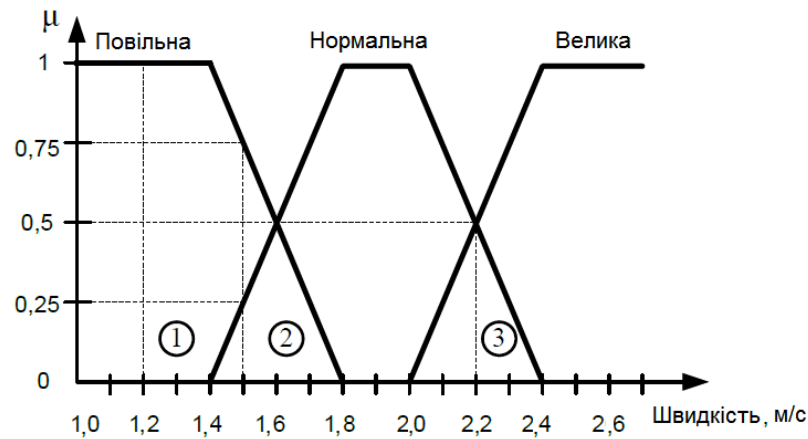


Рис. 11.4. Пояснення терміна «нечітка множина»

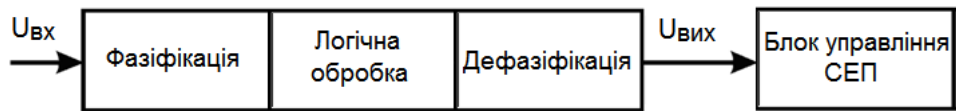


Рис. 11.5. Фазы-регулятор

Фазифікація – це процедура визначення приналежності значень вхідних сигналів до тих чи інших нечітким лінгвістичним змінним (термам) з наступним поданням інформації про ці сигнали в зрозумілій для комп'ютера формі.

Логічна обробка за даними фазифікації відповідно до заданих фазі-правилами активує терми вихідний фазі-змінної, а саме, встановлює вихідні терми, площі яких будуть використані при розрахунку вихідного сигналу фазі-регулятора, а також визначає вид цих площ.

Дефазифікація - це визначення за нечіткими вихідними даними логічної обробки конкретного значення вихідного сигналу фазі-регулятора.

Методи нечіткої логіки використовуються в процесі перетворення інформації про швидкість безпосередньо в ФР.

Метод управління на основі нейронних мереж використовує способи прийому і обробки інформації мозком людини. При цьому незрівнянно більш висока швидкодія комп'ютера і здатність нелінійного перетворення сигналів забезпечують комп'ютеру велику перевагу при вирішенні завдань управління технічними системами.

Основними елементами обробки інформації в мозку людини є нейрони (рис. 11.6).

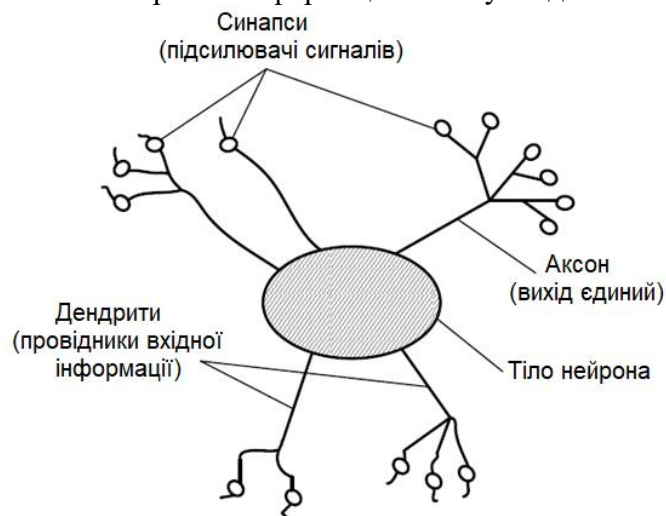


Рис. 11.6. Нейрон

Нейронні мережі, що застосовуються в якості нелінійних регуляторів електромеханічних систем, які реалізуються в нейроконтролера (НК), можуть мати різні, досить складні, структури, які визначаються великим числом параметрів.

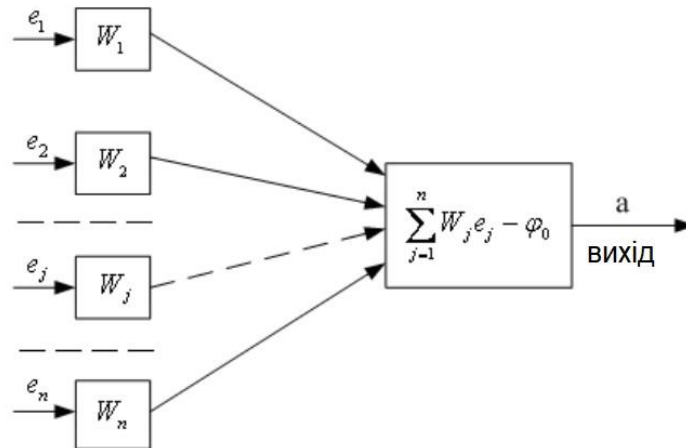


Рис. 11.7. Нейронна мережа

У даній моделі:

- $e_1, e_2, \dots, e_j, \dots, e_n$ - вихідні сигнали попередніх нейронів, що відповідають значенням 0 або 1, і є вхідними сигналами для розглянутого нейрона;
- $W_1, W_2, \dots, W_j, \dots, W_n$ - вагові коефіцієнти, які становлять речові числа (коефіцієнти посилення або ослаблення вхідних сигналів синапсами);
- φ_0 - пороговий сигнал активізації нейрона.

Сумарний вхідний сигнал дорівнює:

$$net = \sum_{j=1}^n W_j e_j .$$

Вихідний сигнал нейрона

$$a = f(net - \varphi_0) = f(z),$$

де $z = net - \varphi_0$,

при цьому

$$a = 1 \text{ при } (net - \varphi_0) > 0, \\ a = 0 \text{ при } (net - \varphi_0) \leq 0.$$

Крім вагових коефіцієнтів, до таких опцій належать кількість шарів, число нейронів в різних шарах штучної нейронної мережі, кількість і величина затримок (зрушень), що надходять на вхід штучної нейронної мережі, вид активационної функції нейронів прихованого шару і деякі інші. Очевидно, що при різному поєднанні перерахованих вище параметрів НК, у замкнутій електромеханічній системі будуть проявлятися і різні динамічні властивості. Для синтезу нейронної мережі можуть бути використані пакети в середовищі MATLAB 2013 (Neural Network Toolbox і Genetic Algorithms Toolbox).

Контрольні питання

1. Розкрити, які функції виконує система управління мехатронних систем?
2. Пояснити, чим відрізняються системи управління автоматизованої транспортно-складської системи та крокуючих роботів?
3. Описати, як виглядає ієрархія управління в мехатронних системах?
4. Розкрити, які функції виконує система управління на різних рівнях ієрархії?
5. Описати, які функції реалізують метод нечіткої логіки і метод нейронних мереж?

12. Автономні пристрої керування мехатронних модулів

12.1. Універсальні мікропроцесори

Відмінними властивостями вбудованих систем управління є їх компактність і можливість автономного використання в складі комплексних систем управління.

Сучасні системи управління виконуються на основі обчислювальних пристроїв, які реалізуються у вигляді мікропроцесорних пристроїв. З точки зору функціональних можливостей мікропроцесори діляться на мікропроцесорні комплекти і однокристальні мікроконтролери.

Мікропроцесорні комплекти уявляю собою набір мікросхем, кожна з яких представляє собою окремі функціональні модулі обчислювального пристрою (процесор, пам'ять, пристрій введення-виведення), і використовуються в складних обчислювальних системах, наприклад, в персональних комп'ютерах, які призначені для вирішення складних обчислювальних задач.

Мікропроцесорні комплекти найчастіше мають Пристонську архітектуру (архітектура фон Неймана), яка використовує загальну пам'ять для зберігання програм та даних.

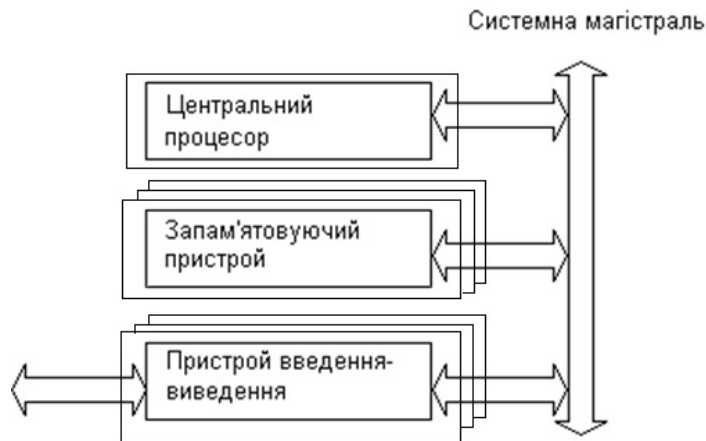


Рис. 12.1. Пристонська архітектура

Однокристальні мікроконтролери є закінченим обчислювальний пристрій, що виконується у вигляді однієї мікросхеми. Ці пристрої призначені 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).

Однокристальні мікроконтролери найчастіше мають гарвардську архітектуру, при якій для програми і даних використовуються різні пристрої пам'яті (рис. 12.2).



Рис. 12.2. Гарвардська архітектура

В даний час широко використовуються мікроконтролери фірми Atmel, наприклад, мікроконтролери AVR (рис. 12.3), які 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.

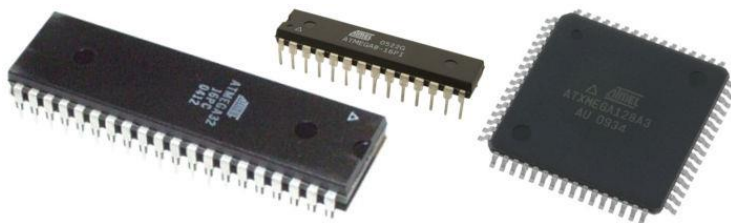


Рис. 12.3. Мікроконтролери AVR

Мікроконтролери AVR мають гарвардську архітектуру, при якій для програми і даних використовуються різні пристрої пам'яті.

Ці мікроконтролери є універсальними пристроями.

Крім цього є цілий ряд спеціалізованих однокристальних мікроконтролерів, розроблених для вирішення різних завдань управління.

Перевагою використання таких контролерів є максимальне використання можливостей пристрою, недоліком - необхідність самостійно розробляти апаратні і програмні компоненти, що доцільно при великому обсязі виробів.

У будь-якому випадку 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 програматорів завантажується в пам'ять контролера (рис. 12.4), після чого він встановлюється на робочій платі.

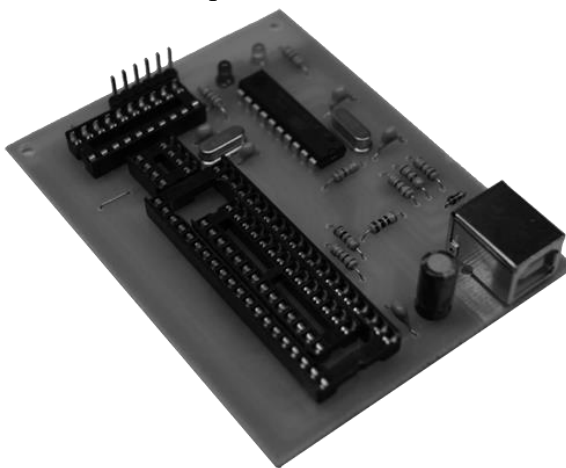


Рис. 12.4. Програматор для мікроконтролерів AVR

Програмування однокристальних мікроконтролерів найчастіше здійснюється на мові Асемблер або С.

12.2. Мікроконтролери

Оскільки однокристальні мікроконтролери знайшли широке застосування для вирішення найрізноманітніших завдань управління, то цілий ряд фірм налагодив випуск одноплатних мікроконтролерів, побудованих за модульним принципом і здатних вирішувати велике коло завдань, в тому числі і завдань управління рухом, що характерно для мехатронних пристроїв.

Прикладом таких контролерів може служити апаратно-програмний комплекс Arduino, який представляє собою набір апаратно-програмних 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 лінійку продукції Arduino.

Arduino може використовуватися як для створення автономних об'єктів автоматики, так і підключатися до програмного забезпечення на комп'ютері через стандартні дротові та бездротові інтерфейси.

Як показано на рис. 12.5, є велика кількість різних датчиків і виконавчих пристроїв, що дозволяють вирішувати широке коло завдань.

При цьому є як датчики руху, так і модулі регульованих приводів для електродвигунів постійного струму і крокових двигунів, а також сервоприводи, що дозволяють здійснити поворот на заданий кут.

Мікроконтролери для Arduino відрізняються наявністю попередньо встановленого в них завантажувача (bootloader). За допомогою цього завантажувача користувач завантажує свою програму в мікроконтролер без використання окремих апаратних програматоров. Завантажувач з'єднується з комп'ютером через інтерфейс USB (якщо він є на платі) або за допомогою відповідного перехідника.

У лінійці пристроїв Arduino в основному застосовуються мікроконтролери Atmel AVR: ATmega328, ATmega168, ATmega2560, ATmega32U4, ATTiny85 з тактовою частотою 16 або 8 МГц.

Розглянемо деякі контролери Arduino.

Контролер Arduino Uno (рис. 12.6), 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. 12.7) 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 виконаний на основі мікроконтролера ATmega2560. У його склад входять: 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 внутрисхемного програмування і кнопка скидання. Розмір плати $10,8 \times 5,3$ см (рис. 12.8).

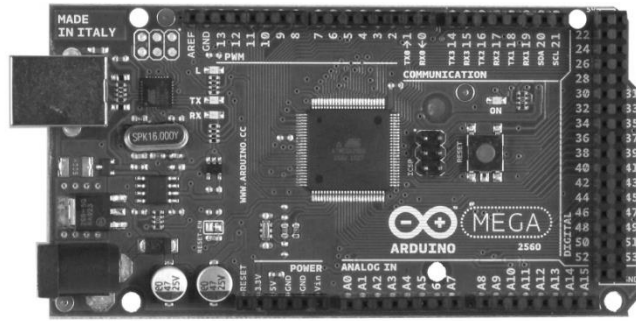


Рис. 12.8. Контролер Arduino Mega 2560

Для програмування контролерів Arduino використовується середовище розробки Arduino, яка складається з безкоштовної програмної оболонки (IDE) для написання програм, їх компіляції і програмування апаратури.

Мова програмування Arduino є стандартним C++ з деякими особливостями, які полегшують новачкам написання першої працюючої програми.

Програми, написані програмістом Arduino називають начерки (або іноді скетчі - від англ. Sketch) і зберігаються в файлах з розширенням `.ino`. Ці файли перед компіляцією обробляються препроцесором Ардуіно. Також існує можливість створювати і підключати до проекту стандартні файли C++.

Обов'язкову в C++ функцію `main ()` препроцесор Arduino створює сам, вставляючи туди необхідні дії.

Програміст повинен написати дві обов'язкові для Arduino функції `setup ()` і `loop ()`. Перша викликається одноразово при старті, друга виконується в нескінченному циклі.

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 C++ 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); // Назначение 13 вывода Arduino выводом  
}  
void loop () {  
    digitalWrite (13, HIGH); // Включение 13 вывода, параметр HIGH  
    // - признак высокого логического уровня
```

```

delay (1000); // Цикл задержки на 1000 мс - 1 секунду
digitalWrite (13, LOW); // Выключение 13 вывода, параметр LOW
                        // - признак низкого логического уровня
delay (1000); // Цикл задержки на 1000 мс - 1 секунду
}

```

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 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 подключения светодиода
void setup()
{
  pinMode (LED, OUTPUT); // Сконфигурировать контакт светодиода как выход
}
void loop()
{
  for (int i=0; i<256; i++) // Цикл увеличения яркости
  {
    analogWrite(LED,i);    // Выдача сигнала на светодиод
    delay(100);           // Цикл задержки на 100 мс - 0,1 секунды
  }
  for (int i=255; i>=0; i--) // Цикл уменьшения яркости
  {
    analogWrite(LED,i);    // Выдача сигнала на светодиод
    delay(100);           // Цикл задержки на 100 мс - 0,1 секунды
  }
}

```

Наведений приклад показує, як можна здійснити регулювання швидкості двигуна постійного струму.

Розглянемо, як працюють модулі управління електродвигунами на прикладі драйвера двигуна L298N.

Модуль виконаний на основі мікросхеми L298N, яка представляє собою здвоєний мостовий драйвер двигунів і призначена для управління двигунами постійного струму і кроковими двигунами (рис. 12.9).

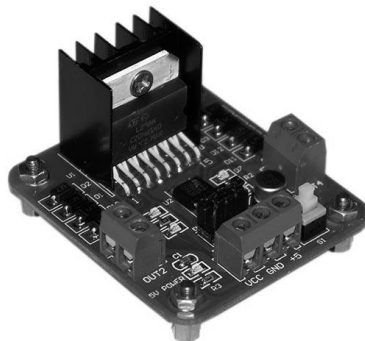


Рис. 12.9. Драйвер двигуна L298N

Спрощена принципова схема мікросхеми L298N приведена на рис. 12.10.

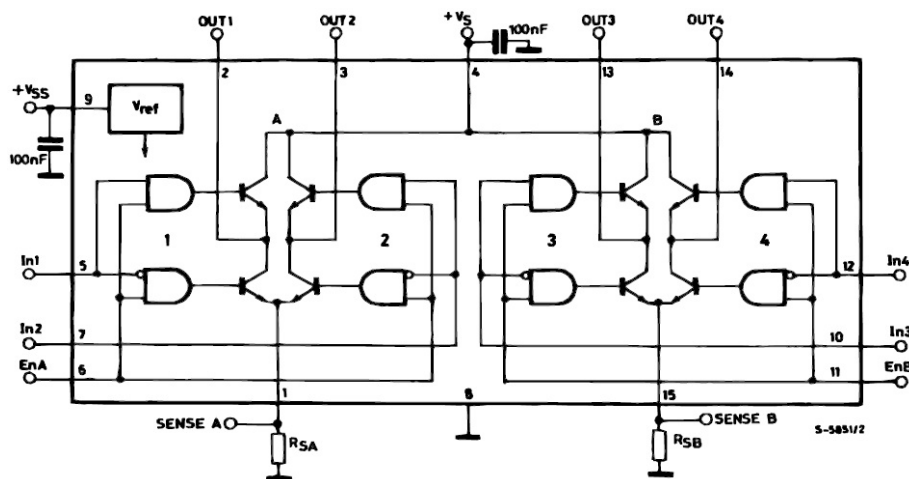


Рис. 12.10. Спрощена принципова схема мікросхеми L298N

При подачі на вхід In1 (In3) значення 0, а на вхід In2 (In4) значення 1 двигун, що підключається до виходів OUT1 (OUT3) і OUT2 (OUT4), обертається в одну сторону, а при подачі на вхід In1 (In3) значення 1, а на вхід In2 (In4) значення 0 двигун обертається в іншу сторону. При подачі на входи In1 (In3) і In2 (In4) однакових значень двигуни не обертаються.

Для регулювання вихідної напруги сигнали ШІМ подаються, відповідно, на входи EnA і EnB.

Ця схема дозволяє управляти двома двигунами постійного струму або одним кроковим двигуном з струмом до 2 А. При паралельному включенні виходів до 4 А. Напруга живлення 5 - 35 В.

У разі необхідності здійснити поворот на певний кут використовуються сервоприводи. Під сервоприводом в даному випадку розуміють механізм з електромотором, який можна повернути в заданий кут і утримувати в цьому положенні (рис. 12.11, а).

Для управління сервоприводами використовується широтно-імпульсна модуляція. При цьому кут повороту визначається тривалістю імпульсу (рис. 12.11, б).

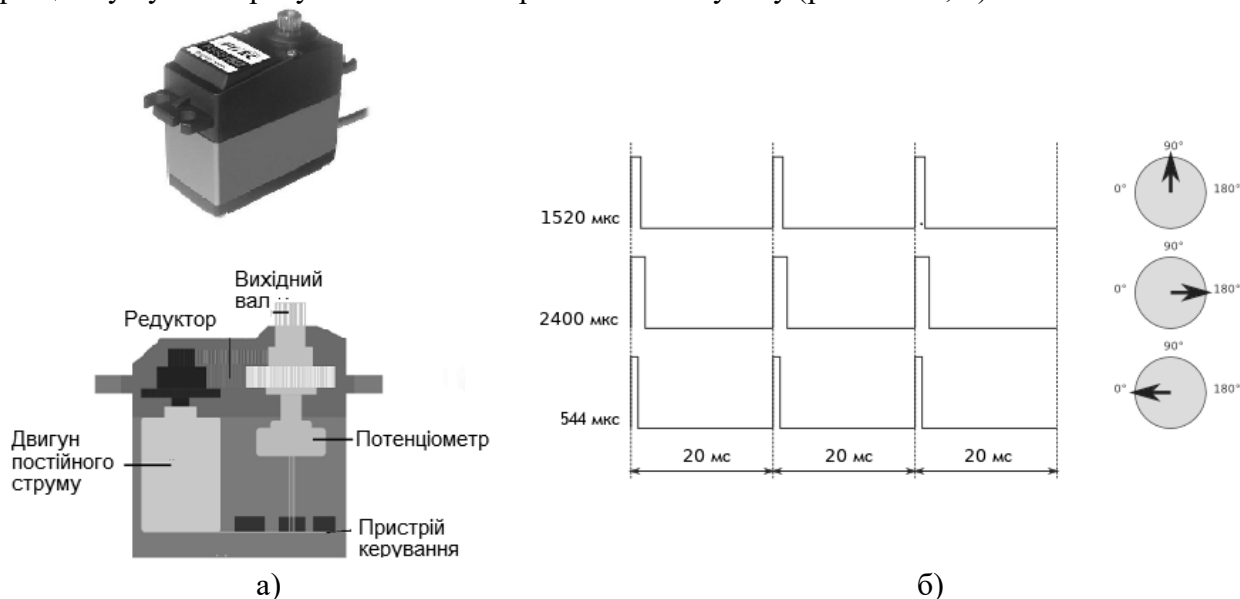


Рис. 12.11. Сервопривод (а) та залежність положення вала від тривалості імпульсів (б)

Ці приводи можна використовувати для управління рульовим колесом мобільного робота або для руху суглобів крокуючих роботів.

На рис. 12.12 наведений датчик швидкості обертання або переміщення з використанням щілинного оптичного датчика.

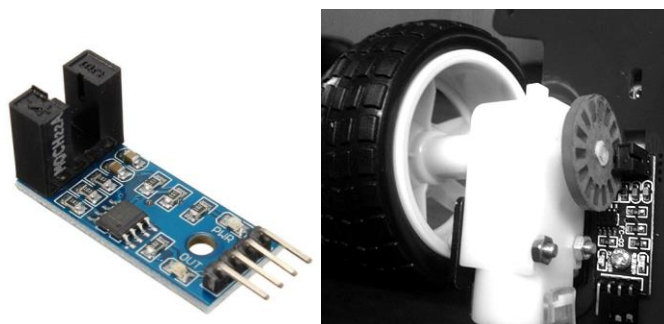


Рис. 12.12. Датчик швидкості обертання

Ультразвуковий модуль вимірювання відстані дозволяє визначати відстань до об'єкта від 2 см до 4,5 м з точністю до 0,3 см (рис. 12.13).



Рис. 12.13. Ультразвуковий модуль вимірювання відстані

Для визначення перешкод використовують інфрачервоні датчики (рис. 12.14).

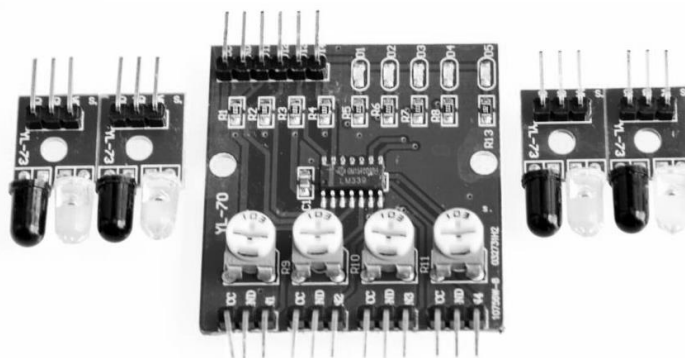


Рис. 12.14. Інфрачервоні датчики

Для орієнтації в просторі використовуються модуль акселерометра і гіроскопа по трьох осях координат, також датчик кута нахилу (рис. 12.15).

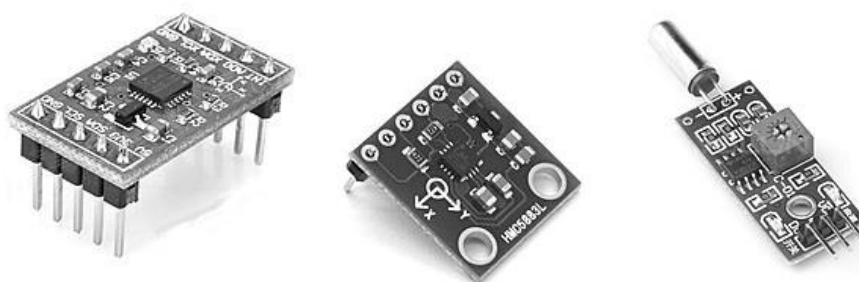


Рис. 12.15. Модуль акселерометра, датчика кута нахилу і гіроскопа

Крім цього є модулі дистанційного керування, наприклад, модулі управління на основі інфрачервоного і радіосигналу, а також модулі для підключення до різних локальних мереж передачі даних (рис. 12.16).



Рис. 12.16. Модулі управління на основі інфрачервоного і радіосигналу

Наведений набір пристроїв, побудованих за модульним принципом, дозволяє реалізувати мехатронні пристрої досить високого рівня складності.

Контрольні питання

1. Розкрити, для чого використовують автономні пристрої керування мехатронних модулів?
2. Пояснити, чим відрізняються однокристальні пристрої обробки інформації?
3. Пояснити, чим відрізняються одноплатні мікроконтролери?
4. Розкрити, які мови найчастіше використовують для програмування одноплатних мікроконтролерів (на прикладі контролерів Arduino)?
5. Описати, які вмонтовані функції керування рухом мають одноплатні мікроконтролери?

13. Промислові системи управління мехатронних модулями

13.1. Програмовані логічні контролери

Сучасні системи програмного керування частіше усього будуються на основі програмованих контролерів широкого призначення. Такі системи керування включають, як правило, системи автоматизації для вирішення питань керування різного рівня та побудовані за модульним принципом. Програмне забезпечення таких систем керування об'єднує засоби визначення конфігурації системи автоматизації, установки параметрів і програмування на основі пристроїв, що програмують, сумісних із персональними комп'ютерами.

Програмовані контролери поділяються на системи керування низького, середнього та високого рівня складності. 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. До складу систем керування входять також засоби введення та відображення даних, інформаційні та виконавчі пристрої. Розглянемо основні компоненти, що входять до складу систем керування, на прикладі засобів автоматизації фірми SIEMENS (рис. 13.1) [12].

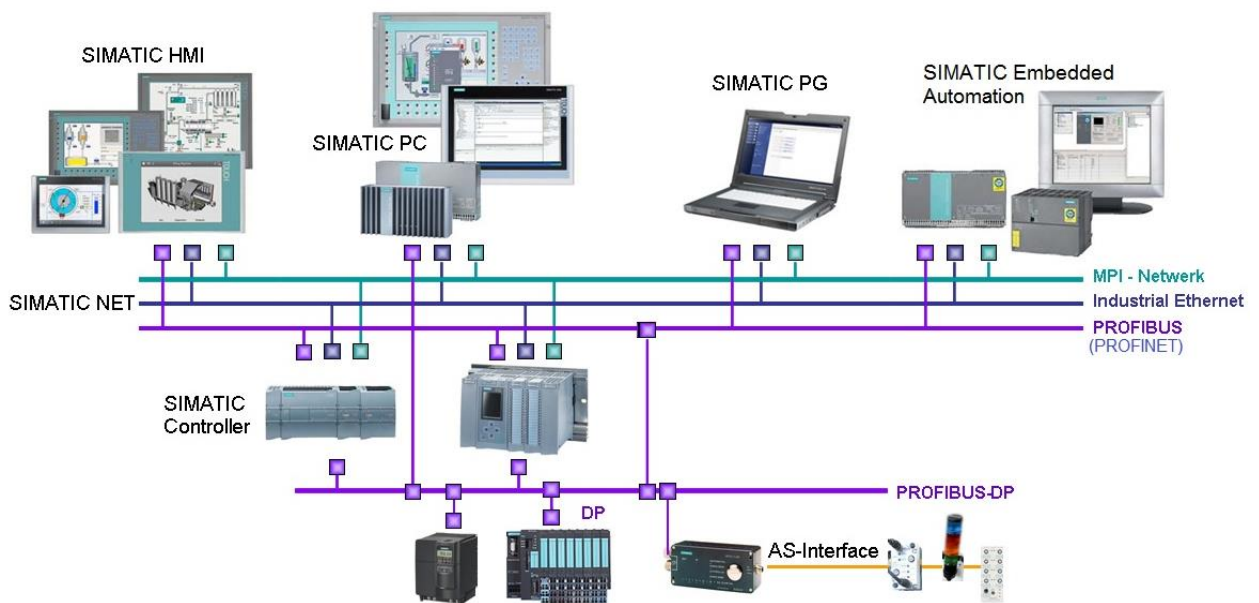


Рис. 13.1. Склад системи керування фірми SIEMENS

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. Невеликі розміри, вага, живлення від джерел постійного струму та наявність умонтованих функцій керування рухом і засобів бездротового зв'язку дають можливість використовувати такі контролери у складі вантажопідйомних машин та обладнання логістичних систем.

Контролери LOGO! представляють собою самий простий керування, який ще називають інтелектуальною клеюю. LOGO! - це універсальний логічний модуль, який має компактну або модульну структуру (рис. 13.2). 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.

Важливою відзнакою логічного модуля LOGO! є можливість програмування за допомогою вмонтованого дисплея (панелі індикації) та кнопок без додаткових програмуючих пристроїв. Для більш комфортного програмування використовується 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.



Рис. 13.2. Контролер LOGO! з додатковими модулями та операторською панеллю

Для більш складних задач на нижньому рівні використовуються компактні програмовані логічні контролери (ПЛК), наприклад, SIMATIC S7-1200 (рис. 13.3).



Рис. 13.3. 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.

ПЛК 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.

На рис. 13.4 наведена структура ПЛК SIMATIC S7-300.

ПЛК складається з модулів, які встановлюються на профільну шину (носій модулів). На один носій модулів можна встановити до 8 модулів. Для підключення модулів до системного інтерфейсу використовуються системні з'єднувачі.

У разі потреби може використовуватися побудова системи автоматизації з двома, трьома або чотирма рядами (на рис. 13.6 справа). При цьому використовуються спеціальні інтерфейсні модулі підключення ІМ. Загальна кількість модулів 32.

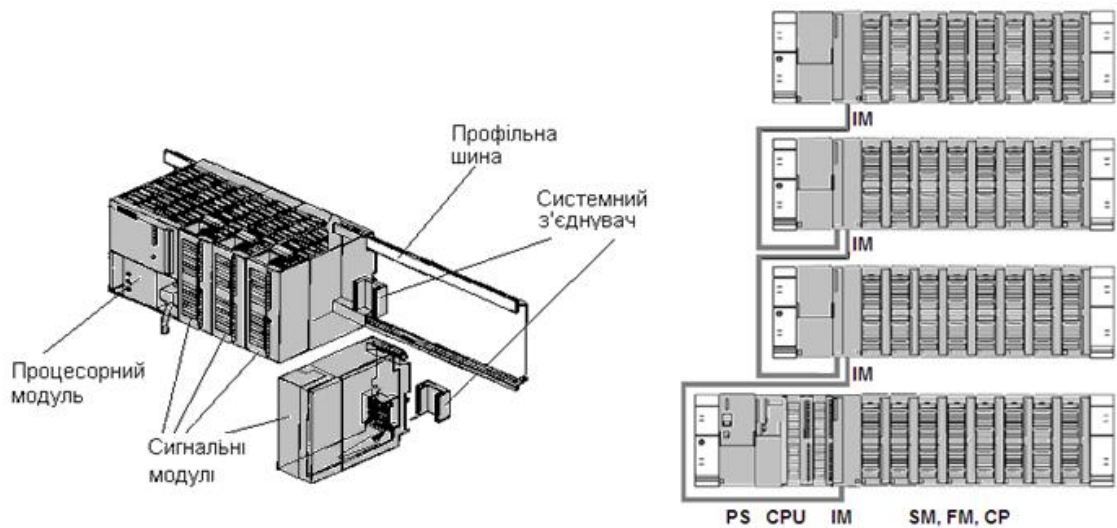


Рис.13.4. Програмований логічний контролер S7-300, побудований за модульним принципом з можливістю використання багаторядної структури

На рис. 13.5 наведені модулі ПЛК SIMATIC S7-300 (рис. 13.7). Зв'язок центрального і периферійних модулів здійснюється за допомогою системної шини (системний з'єднувач), що забезпечує передачу адреси, даних і керуючих сигналів.

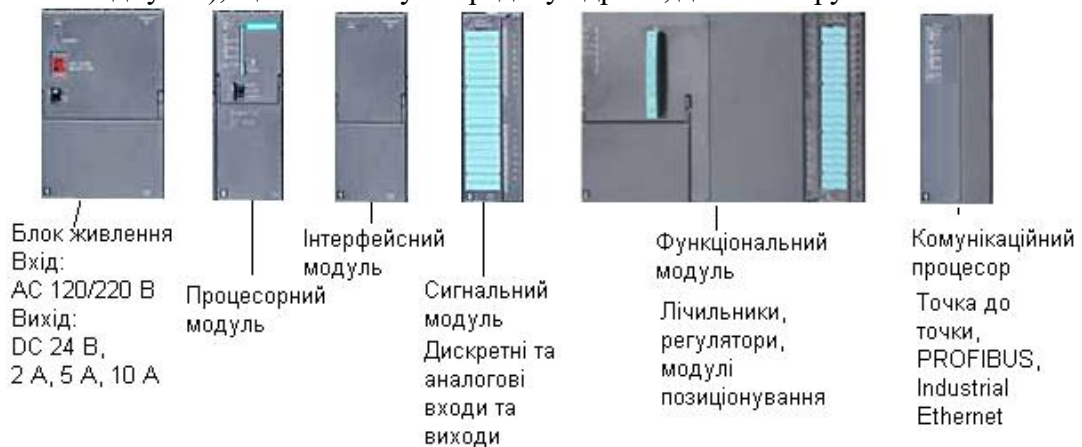


Рис. 13.5. Модулі програмованих логічних контролерів SIMATIC S7-300

ПЛК SIMATIC S7-400 (рис. 13.6) має такі ж модулі, як ПЛК SIMATIC S7-300, але відрізняється більшою функціональністю.



а) б)
Рис. 13.6. ПЛК SIMATIC S7-400

Крім основного носія модулів SIMATIC S7-400 може мати до 20 додаткових носіїв модулів з максимальною відстанню до 600 м.

У складі SIMATIC S7-400 є процесорні модулі, які використовуються в звичайних ПЛК (рис. 13.6, а). Для вирішування складних задач може використовуватись багатопроцесорна конфігурація (кілька процесорних модулів на одному носії модулів).

Крім того є процесорні модулі для використання в системах керування з резервуванням (рис. 13.6, б). У разі виходу з ладу одного процесорного модуля керування бере на себе другий процесорний модуль, що значно підвищує рівень надійності систем керування та забезпечує безперервну роботу обладнання.

13.2. Апаратні та програмні компоненти програмованих логічних контролерів

Системи автоматизації усіх рівнів будуються по модульному принципу. При цьому ПЛК можуть виконуватись як компактні контролери, де процесорний модуль має вмонтовані пристрої вводу/виводу та в разі потреби можуть розширюватися шляхом підключення додаткових модулів. Системи автоматизації складаються з центрального (процесорного) модуля, блока живлення, і різноманітних модулів вхідних та вихідних сигналів (сигнальні модулі), функціональних модулів, які виконують свої функції незалежно від процесорного модуля, а також комунікаційні процесори, за допомогою яких здійснюється зв'язок з іншими ПЛК та підключення до локальних мереж

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;
- 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 даних 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 модулі 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 та інших мехатронних пристроїв. 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 ПІД 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.

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 вибирати 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.

У процесі проектування та використання засобів автоматизації можна відокремити такі етапи.

На першому етапі треба визначити алгоритм керування, який представляє собою послідовність дій, що потрібен для реалізації технологічного процесу.

На другому етапі на основі цього алгоритму визначаються датчики та елементи керування, з яких складається інформаційна система, виконавчі прилади та пристрої індикації. Загальна кількість інформаційних та виконавчих приладів визначає кількість входів та виходів системи керування. З урахуванням складності алгоритму обробки даних це дає можливість спроектувати конфігурацію системи керування (апаратні компоненти). Оскільки сучасні системи керування використовують модульний принцип побудови, то проектування конфігурації здійснюється шляхом вибору відповідних модулів. У разі потреби проводиться налагодження модулів за допомогою програмних засобів або перемикачами, які встановлені на цих модулях. Таким чином цей етап складається з вибору конфігурації та встановлення параметрів системи керування. На рис. 13.7 наведений приклад конфігурації системи керування та встановлення параметрів для модуля аналогових входів (вибір сигналу та діапазону вимірювання)

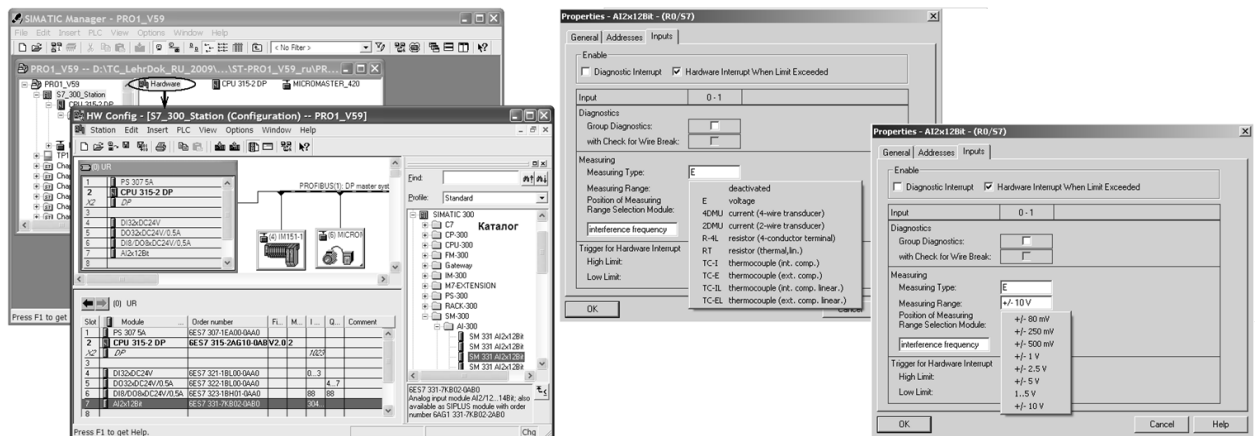


Рис. 13.7. Приклад конфігурації системи керування та встановлення параметрів для модуля аналогових входів

На третьому етапі програмісти створюють та налагоджують програму, яка реалізує алгоритм керування. Для цього використовуються різні засоби створення та налагодження програм. Проектування завершується введенням системи керування в дію. При цьому є можливість виявлення окремих помилок проектування та їх знешкодження, що здійснюється за допомогою засобів пошуку помилок.

На етапі експлуатації є можливість появи помилок та пошкоджень обладнання. Для їх усунення також використовуються засоби пошуку помилок та несправностей.

Таким чином система проектування пристроїв керування повинна вирішувати три основні задачі:

- проектування апаратних компонент, яке складається з вибору конфігурації та налагодження окремих компонент;
- створення та налагодження програми керування, яка реалізує алгоритм виконання технологічного процесу;
- діагностика обладнання під час експлуатації та швидкий пошук помилок та несправностей у разі їх появи.

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 проектування. 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** (рис. 13.8).

Засоби проектування (програмуючі пристрої) будуються як правило на основі персональних комп'ютерів. Вони можуть бути спеціалізованими та у вигляді персональних комп'ютерів з додатковим обладнанням, 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.

Засоби виконання являють собою програмовані логічні контролери (ПЛК) та підключені до них додаткові пристрої, такі як, децентралізована периферія, операторські станції, операторські панелі, приводи, датчики тощо



Рис. 13.8. Системи проектування та виконання

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 (ОВ) визначають режими 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. 13.9.

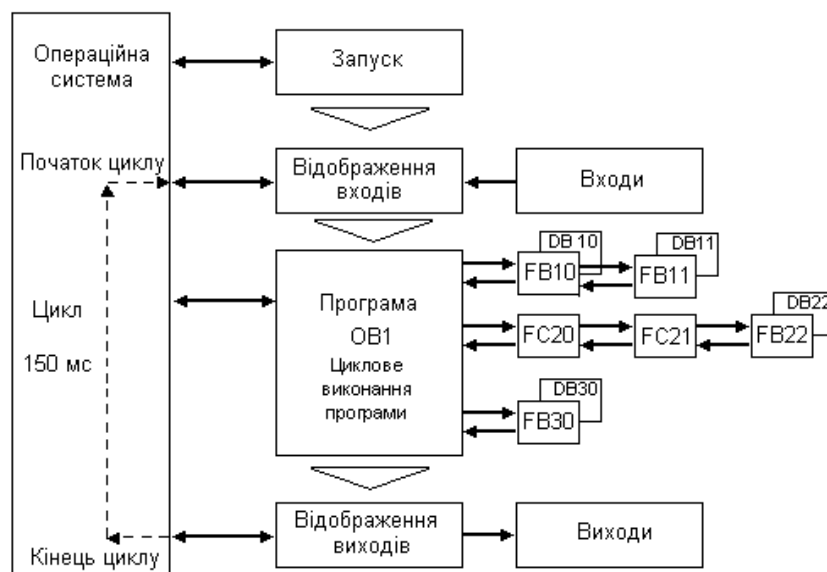


Рис. 13.9. Структура програми та її виконання

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”.

Програма складається з блоків, що послідовно викликаються з організаційного блока. До блоків належать функції FC та функціональні блоки FB, де знаходяться програми. Крім того є блоки даних DB, які дають можливість створювати структури та масиви даних. FB на відміну від FC викликаються разом з блоками даних, де зберігаються локальні дані.

Існують такі основні форми представлення програми при програмуванні промислових контролерів:

- представлення у вигляді контактної схеми (релейно-контактна схема),
- представлення у вигляді функціонального плану (функціональна схема),
- представлення у вигляді послідовності команд.

На рис. 13.10 наведені ці форми представлення програми.

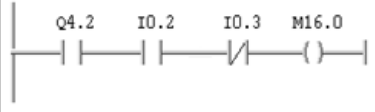

Ladder Diagram – контактний план	Function Block Diagram – функціональний план	Statement List – список команд
FC16 : assembly line Network 1: conveyor belt right 	FC16 : assembly line Network 1: conveyor belt right 	FC16 : assembly line Network 1: conveyor belt right <pre> A Q 4.2 A I 0.2 AN I 0.3 = M 16.0 </pre>

Рис. 13.10. 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.

Система команд логічних програмованих контролерів включає такі основні команди:

- команди опитування входів та виводу сигналів;
- команди логічних операцій;
- функції пам'яті;
- лічильники та таймери (функції часу);
- математичні та логічні функції тощо.

Однією з важливіших задач при створенні систем керування є її налагодження та пошук помилок як на стадії проектування так і у період експлуатації.

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.

В процесі роботи можна здійснити перевірку стану (тестування) програми. Для цього можна використовувати такі засоби налагодження програми та пошуку помилок: діагностичний буфер, перегляд структури програми, таблиці перехресних посилань,

перелік елементів входу, виходу, пам'яті, лічильників та таймерів, які використовуються у програмі.

За допомогою засобів налагодження програми, введення пристрою керування в дію та діагностики здійснюється налагодження програми в процесі її складання та на етапі введення в дію усього обладнання.

В процесі експлуатації ці засоби використовують для пошуку помилок програми та несправностей апаратних компонент.

Контрольні питання

1. Розкрити, чим відрізняється структура та склад апаратних компонент програмованих логічних контролерів?
2. Розкрити, які модулі входять до складу програмованих логічних контролерів?
3. Пояснити, чим відрізняється структура та склад програмних компонент програмованих логічних контролерів?
4. Розкрити, які основні форми представлення програми використовують при програмуванні промислових контролерів?
5. Описати, які засоби дозволяють здійснити діагностику програмованих логічних контролерів?

14. Пристрої керування рухом

14.1. Технологічні функції керування рухом

До технологічних функцій керування рухом належать функції швидкого лічильника, функція імпульсного виходу та функції ПІД-регулювання.

Розглянемо ці функції на прикладі контролера S7-1200 [13].

Функції швидкого лічильника

Команда CTRL_HSC управляє швидкісними лічильниками, які використовуються для рахунку подій, що відбуваються частіше, ніж частота виконання організаційного блока OB, яка обмежує частоту виконання операцій рахунку командами STU, STD та STUD. Максимальні вхідні частоти частот для HSC залежать від типу CPU.

Типовим використанням швидкісних лічильників є рахунок імпульсів для обчислення переміщення та швидкості обертання в системах керування рухом (рис. 14.1).

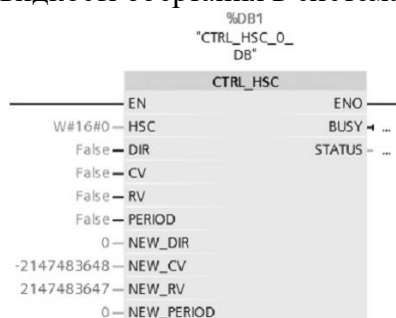


Рис. 14.1. Функція швидкого лічильника CTRL_HSC

Кожна команда CTRL_HSC використовує для збереження даних структуру, що зберігається в блоці даних.

Перш ніж швидкісні лічильники можна буде використовувати у програмі, треба їх створити в налаштуваннях проекту для конфігурації пристроїв ПЛК. При конфігуруванні пристроїв HSC встановлюються режими рахунку, інтерфейси введення/виводу, призначення переривань і робота як швидкісний лічильник або пристрій для вимірювання частоти імпульсів. Швидкісний лічильник може функціонувати з програмним управлінням або без нього.

Швидкісний лічильник (HSC) може бути використаний як вхід для крокового кутового датчика.

Кутовий кроковий датчик робить кілька відліків на оборот, а також по одному імпульсу скидання на кожен оборот.

Генератор або генератори тактових імпульсів та імпульс скидання від крокового кутового датчика поставляють вхідну інформацію для HSC.

HSC завантажується першим з декількох попередньо встановлених значень, а виходи активізується протягом інтервалу часу, коли поточне значення лічильника менше поточного встановленого значення.

HSC запускає переривання, коли поточне значення лічильника дорівнює встановленому, коли відбувається скидання, а також коли змінюється напрямком.

Коли поточне значення лічильника стає рівним встановленому значенням, це викликає переривання, в лічильник завантажується нове встановлене значення, а для виходів встановлюється наступний стан.

Коли переривання викликається скиданням, завантажується перше встановлене значення і встановлюються перші стани виходів, і цикл повторюється.

Є чотири основні типи швидких лічильників:

- однофазний лічильник із внутрішнім керуванням напрямком;
- однофазний лічильник із зовнішнім керуванням напрямком;
- двофазний лічильник з двома тактовими входами;

- квадратурний А/В-лічильник.

Функція частоти

Деякі режими HSC допускають конфігурацію HSC (Type of counting [Тип рахунку]), щоб лічильник видавав частоту замість поточного числа імпульсів. Є три різні інтервали вимірювання частоти: 0,01; 0,1 чи 1,0 секунда. Інтервал вимірювання частоти визначає, як часто HSC обчислює та видає нове значення частоти. Видана частота є середнім значенням, що визначається загальним числом відліків за останній інтервал виміру. Якщо частота швидко змінюється, то видане значення буде проміжною величиною між максимальною і мінімальною частотою на інтервалі вимірювання. Значення частоти завжди повідомляється в герцах (імпульсах за секунду) незалежно від встановленого інтервалу вимірювання частоти.

Функція Імпульсний вивід

Команда CTRL_PWM (Pulse Width Modulation - PWM (широотно-імпульсна модуляція - ШИМ) видає послідовність імпульсів з фіксованим часом циклу, але зі змінною шириною імпульсу (рис. 14.2).

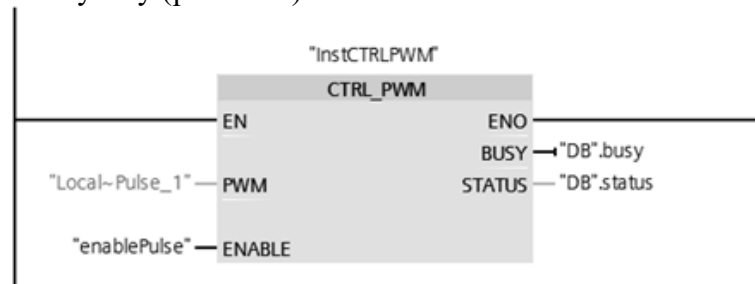


Рис. 14.2. Команда CTRL_PWM

Вихід PWM працює безперервно після запуску із заданою частотою (часом циклу). Ширина імпульсів змінюється за потребою, щоб досягти бажаного управління. Вигляд сигналу з широко-імпульсною модуляцією наведений на рис. 14.3.

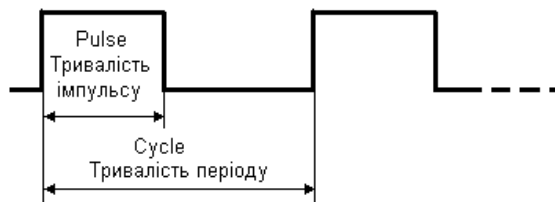


Рис. 14.3. Вигляд сигналу з широко-імпульсною модуляцією

Ширина імпульсу може бути задана в сотих частках часу циклу (0 – 100), тисячних частках (0 – 1000), десятитисячних частках (0 – 10000) чи аналоговому форматі.

Ширина імпульсу може змінюватися від 0 (відсутність імпульсів завжди вимкнено) до повного заповнення (відсутність імпульсів завжди включено).

Так як вихід PWM може змінюватися від 0 до повного заповнення, він являє собою цифровий вихід, схожий на аналоговий вихід.

Наприклад, вихід PWM може використовуватися для управління швидкістю обертання двигуна від зупинки до максимальної швидкості або управління положенням клапана від закритого до повністю відкритого стану.

Для управління швидкими імпульсними виходами є у розпорядженні два імпульсні генератори: ШИМ і послідовність імпульсів (РТО).

РТО використовується, наприклад, для керування кроковими двигунами. Кожному імпульсному генератору можна призначити режим PWM або РТО.

Ці два імпульсні генератори поставлені у відповідність конкретним цифровим виходам, як це показано в наступній таблиці. Можна використовувати вбудовані виходи CPU або виходи сигнальної плати.

При цьому для PWM потрібен лише один вихід, а РТО може використовувати два виходи на канал.

ПІД-регулювання

Оператор "PID_Compact" надає у розпорядження PID-регулятор з оптимізацією самоналаштування для автоматичного та ручного режиму.

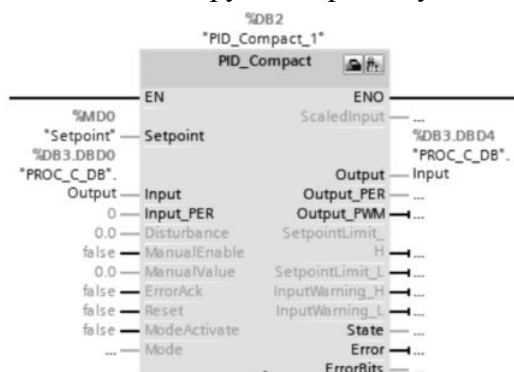


Рис. 14.4. Оператор "PID_Compact"

14.2. Пристрої керування рухом

Для керування рухом у складі програмованих логічних контролері використовують модулі позиціонування та модулі частотних перетворювачів.

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 (рис. 14.4).

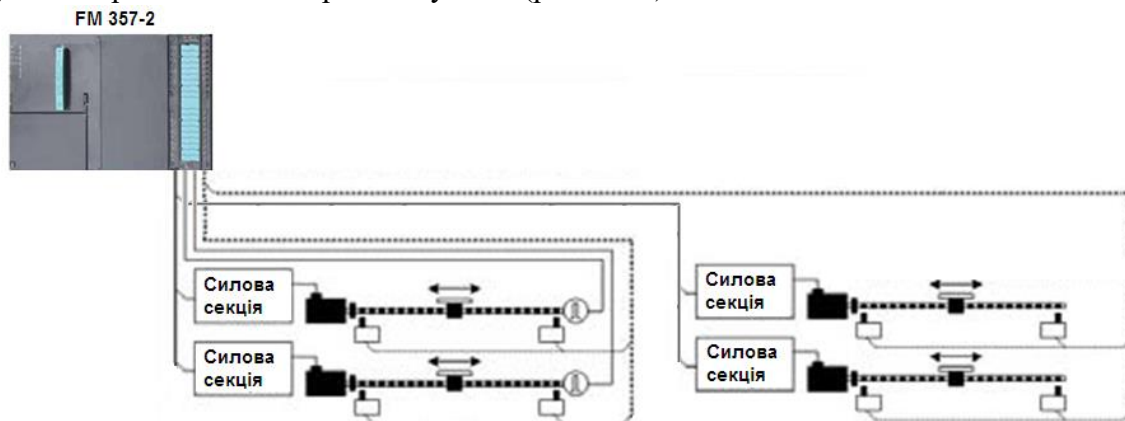


Рис. 14.4. Модуль позиціонування FM357-2

Цей модуль має також 4 вимірювальних входів для підключення датчиків положення.

Наявність 18 цифрових входів, 8 цифрових виходів та можливість програмування логічних функцій дають можливість використовувати додаткові пристрої, наприклад, кінцеві вимикачі.

Для забезпечення потрібної потужності використовуються силові модулі STEPDRIVE для крокових двигунів та SIMORDRIVE 611 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 окремими приводами 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 (рис. 14.5).

Ці пристрої керування двигунами керуються безпосередньо з процесорного модуля.

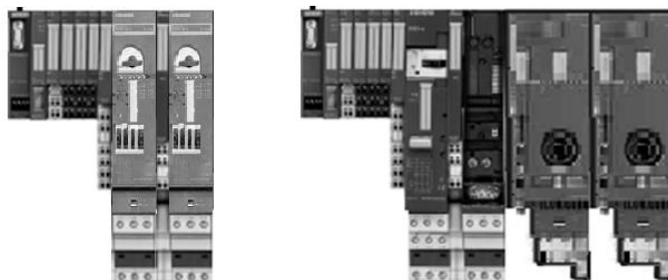


Рис. 14.5. Силові модулі та перетворювачі частоти для керування електродвигунами у складі децентралізованої периферії

Прикладом комплексної системи керування рухом є система SIMOTION фірми Siemens, що призначена для обладнання, де потребується керування рухом та логічне керування. Ця система призначена для визначення конфігурації, проектування, встановлення параметрів, програмування та введення в експлуатацію мехатронних пристроїв керування рухом.

Система SIMOTION дає можливість здійснювати позиціонування, синхронне переміщення, та переміщення по складним траєкторіям.

Система SIMOTION має модульну структуру та може використовуватись з контролерами SIMATIC S7-300 (SIMOTION P) або безпосередньо інтегруються у приводи (SIMOTION D).

На рис. 14.6 наведений приклад реалізації складної системи з великою кількістю пристроїв, що здійснюють багато функцій переміщення.

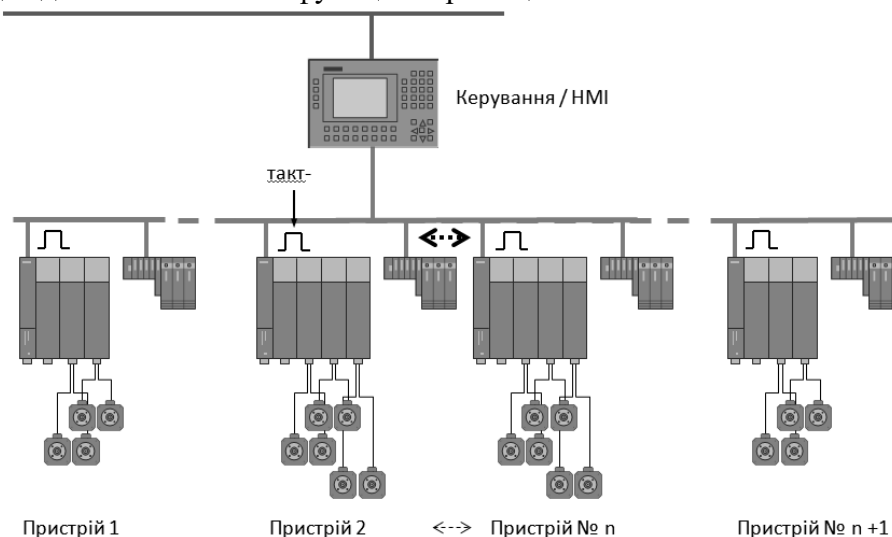


Рис. 14.6. Приклад реалізації складної системи з великою кількістю пристроїв, що здійснюють багато функцій переміщення

Прикладом мехатронних пристроїв, що можуть входити у склад комплексних систем керування, є модулі Simodrive Posmo фірми Siemens, що представляють собою закінченим мехатронний пристрій, так як в них конструктивно можуть об'єднуватися керуючий пристрій, силовий перетворювач, двигун, редуктор і фотоімпульсний датчик для вимірювання кута повороту та швидкості. За допомогою локальної мережі PROFIBUS DP окремі модулі Simodrive Posmo можна підключати до контролера, створюючи комплексну систему керування (рис. 14.7).

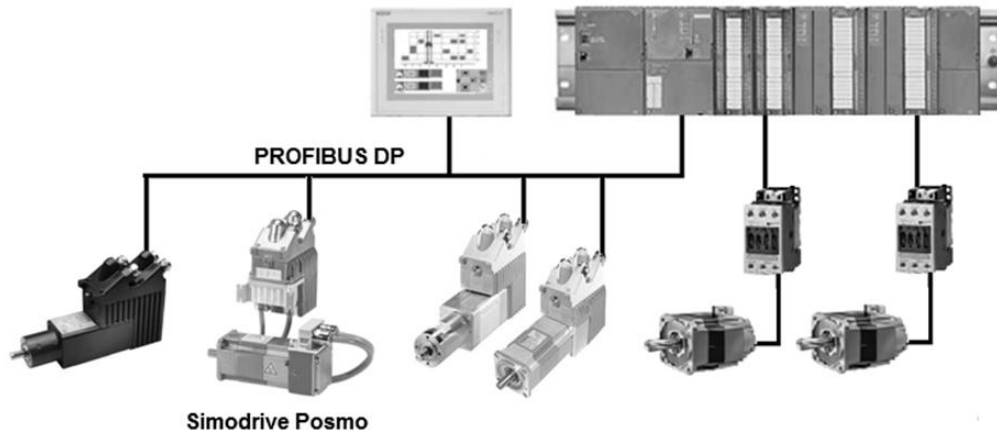


Рис. 14.7. Модулі Simodrive Posmo фірми Siemens у складі комплексної системи керування

Іншим прикладом мехатронних пристроїв є поворотні приводи, що використовуються в мобільних роботах, що здійснюють рух в усіх напрямках без розвороту (**OMNI-DRIVE-MODULE**) (рис. 14.8).

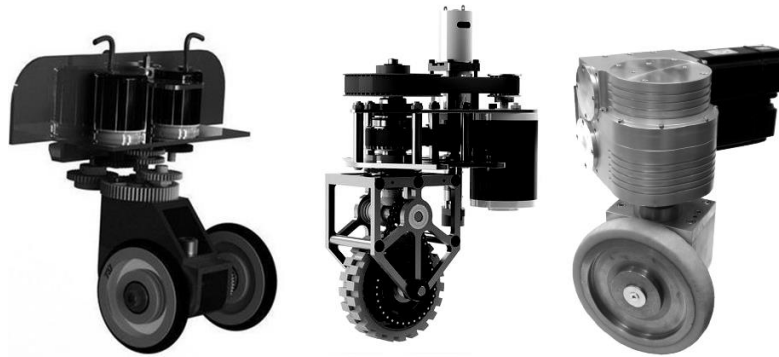


Рис. 14.8. Поворотні приводи

На рис. 14.9 наведені мобільні транспортні роботи фірми Neobotix з поворотними приводами.

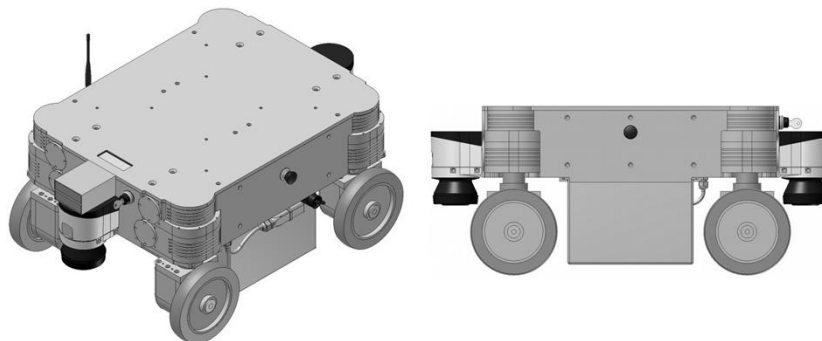


Рис. 14.9. Мобільні транспортні роботи фірми Neobotix з поворотними приводами

Для технологічного обладнання з великою кількістю осей і високими вимогами до точності використовують багатоканальні приводи для високодінамічних пристроїв, наприклад, SINAMICS S120.

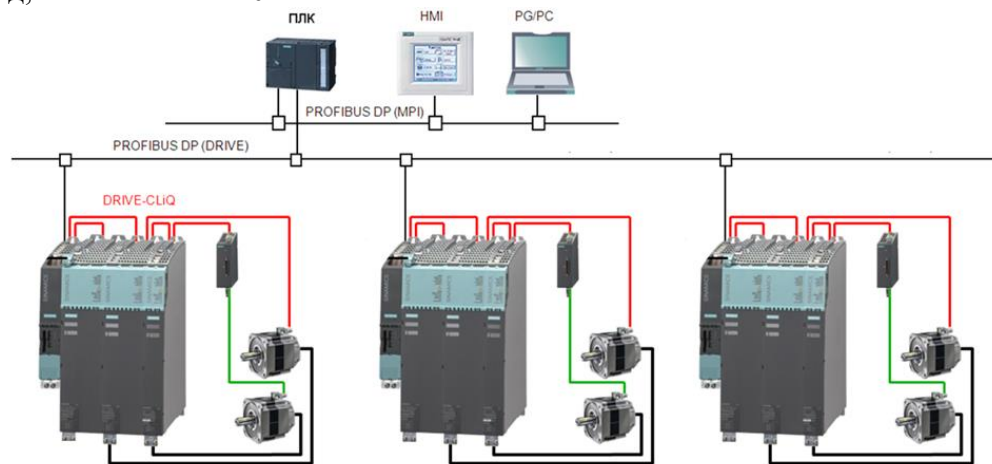


Рис. 14.1. Багатоканальні приводи для високодінамічних пристроїв SINAMICS S120

Контрольні питання

1. Розкрити, які технологічні функції використовують для керування рухом?
2. Пояснити, для чого використовують виконують функції швидких лічильників?
3. Пояснити, для чого використовують виконують функції імпульсного виходу?
4. Розкрити, які функції виконують модулі позиціонування?
5. Описати, які функції виконує система SIMOTION фірми Siemens?

рівні системи керування та вирішують задачі тактичного керування, а саме, керування окремими пристроями. На цьому рівні реалізується розподілена система керування, яка представляє собою декілька об'єднаних локальних пристроїв керування, що здійснюють безпосереднє опитування датчиків та керування двигунами, або так звану децентралізовану систему керування з використанням децентралізованої периферії.

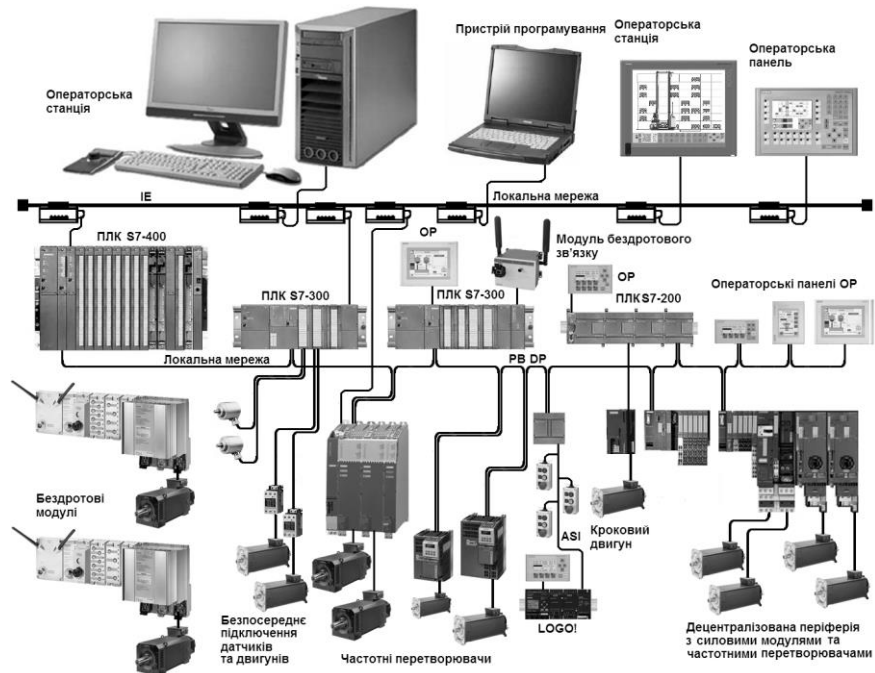


Рис. 15.2. Приклад комплексної системи керування

На цьому рівні можна використовувати локальні мережі, які здатні працювати з децентралізованою периферією, наприклад, Profibus та Profinet.

Локальні мережі дозволяють здійснити зв'язок між окремими пристроями за допомогою дротовим, оптичних та бездротових ліній зв'язку. Використання бездротового зв'язку особливо важливо для транспортних роботів та при використанні супутникових технологій.

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

15.2. Компоненти комплексних систем керування

Крім програмованих логічних контролерів у склад комплексних систем керування входять пристрої децентралізованої периферії, локальні мережі для підключення децентралізованої периферії та об'єднання локальних пристроїв керування в єдину систему, засоби візуалізації та керування.

Розглянемо приклад використання децентралізованої периферії в автоматизованій складській системі (рис. 15.3).

Оскільки усі приводи переміщень і датчики положення знаходяться далеко один від одного, то програмований логічний контролер (ПЛК), встановлений у шафі, безпосереднє виконує усі алгоритми переміщення з використанням функції позиціонування. Для керування віддаленим обладнанням використовуються модулі децентралізованої периферії (ДП).

На рис. 15.4 наведена структура децентралізованої периферії для керування такою системою з мехатронними пристроями.

Електроприводи здійснюють переміщення візка з колоною та захоплюючого пристрою з позиціонуванням за допомогою датчиків положення, а також рух конвеєрів.

Загальне керування виконує ПЛК. За допомогою сенсорної операторської панелі TP оператор задає позицію переміщення та спостерігає за роботою системи.

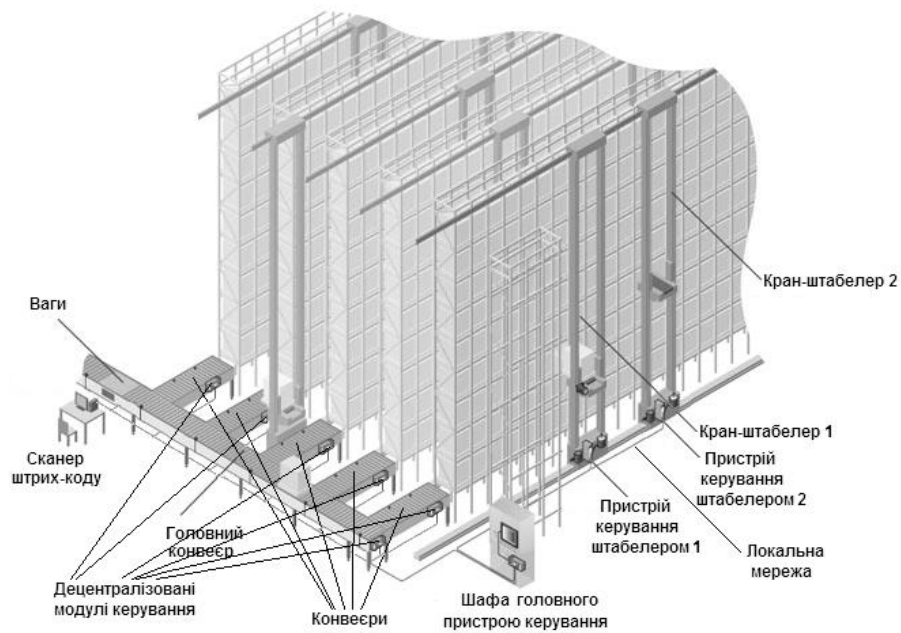


Рис. 15.3. Автоматизована складська система

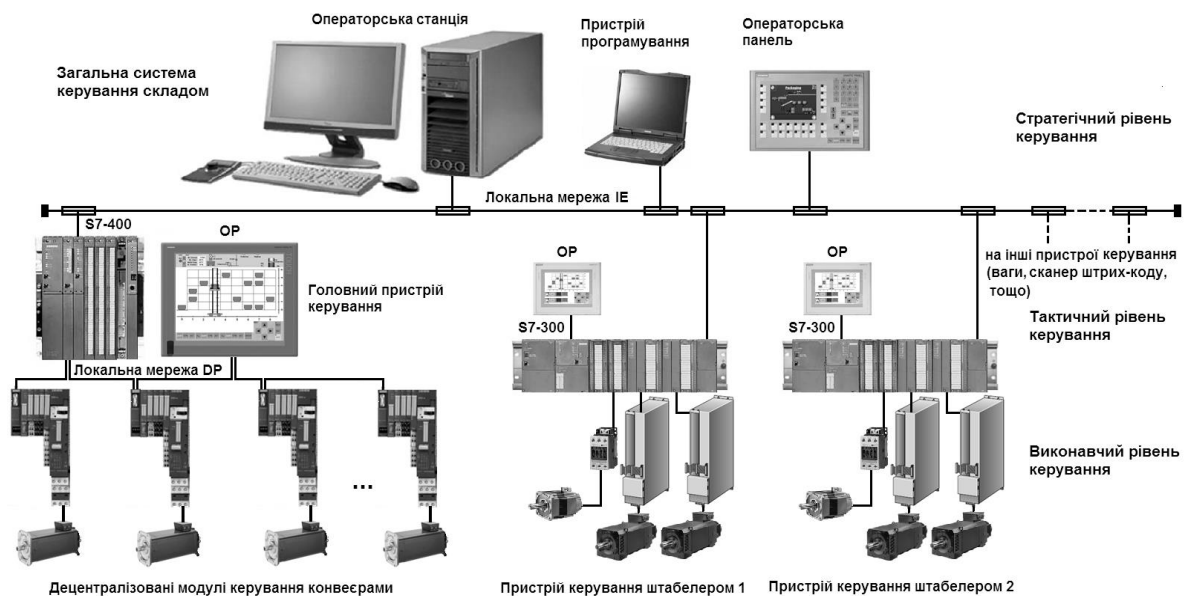


Рис. 15.4. Приклад використання децентралізованої периферії для керування мехатронними пристроями

Програмовані контролери SIMATIC фірми Сименс дозволяють створювати такі розподілені системи автоматичного управління, в яких використовуються станції розподіленого вводу-виводу SIMATIC ET 200 [12]. Ці структури управління дозволяють забезпечити високу гнучкість, ефективність, простоту і зручність обслуговування систем автоматизації. Компоненти SIMATIC дозволяють створювати системи розподіленого вводу-виводу на основі промислових мереж PROFINET, PROFIBUS і AS-Interface.

Для всіх перерахованих мереж випускається досить широка гамма різного периферійного обладнання.

В програмованих контролерах SIMATIC не існує відмінностей між системами локального і розподіленого вводу-виводу. Для конфігурування, налаштування параметрів, діагностики, обслуговування та підготовки технічної документації по системам локального і розподіленого вводу-виводу використовується один і той же програмне забезпечення. Всі операції можуть виконуватися дистанційно з одного програматора, підключеного до будь-якій точці мережі PROFIBUS, PROFINET або Industrial Ethernet. Для звернення до входів та виходів систем локального і розподіленого вводу-виводу в програмі користувача використовуються одні й ті ж методи адресації.

Існують системи розподіленого вводу-виводу для установки в шафи управління і для установки поза шаф управління.

Прикладом системи розподіленого вводу-виводу для установки в шафи управління є станції ET200S, які використовуються у складі програмованих контролерів SIMATIC S7, що базуються на промислових мережах PROFIBUS або PROFINET.

Великий спектр модулів різного призначення дозволяє оптимально адаптувати станції ET200S до вимог різних задач керування складським обладнанням. Інтерфейсні модулі забезпечують можливість безпосереднього підключення станції до електричних або оптичних каналах зв'язку PROFIBUS DP, а також електричним каналам зв'язку Industrial Ethernet, виконувати попередню обробку даних на рівні станції, забезпечувати підтримку профілю PROFISafe в розподілених системах автоматики безпеки. При роботі в системах розподіленого вводу-виводу програмованих контролерів S7-400 забезпечується підтримка функцій "гарячої" заміни як електронних, так і силових модулів

Зовнішній вигляд системи розподіленого вводу-виводу ET200S та ET200pro та приклад проектування систем розподіленого вводу-виводу здійснюється за допомогою засобу HW Config, який входить у склад програмного пакету STEP7 наведені на рис. 15.5.

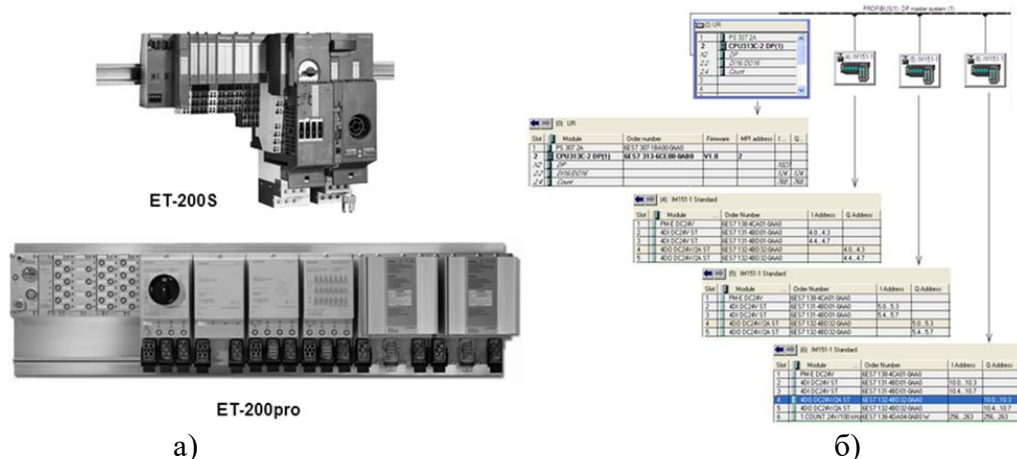


Рис. 15.5. Зовнішній вигляд системи розподіленого вводу-виводу ET200S та ET200pro (а) та приклад проектування систем розподіленого вводу-виводу здійснюється за допомогою засобу HW Config (б)

Окремі пристрої керування об'єднуються за допомогою локальних мереж. Різні фірми використовують різні промислові локальні мережі. Так фірма Modicon розробила промислову мережу MODBUS ще у 1979 році для контролерів MODICON, яка пізніше стала використовуватися і іншими фірмами.

Фірма Siemens представляє відкриту комунікаційну систему SIMATIC NET, призначену для використання на всіх рівнях ієрархії систем автоматизованого управління в умовах промислового виробництва. Комунікаційні системи SIMATIC NET базуються на державних і міжнародних стандартах у відповідності з 7-рівневою моделлю ISO / OSI.

Основою таких комунікаційних систем служать локальні обчислювальні мережі, які можуть бути реалізовані як: електричні, оптичні; бездротові; комбінація електричних, оптичних та бездротових та електричні іскробезпечні.

Прикладом сучасної локальної мережі є мережа PROFINET фірми Siemens, що повністю перебиває вимоги техніки автоматизації. PROFINET об'єднує досвід PROFIBUS і Industrial Ethernet. Використання відкритого стандарту, простота використання та інтеграція існуючих компонент з самого початку визначено в понятті PROFINET. PROFINET інтегрований в міжнародний стандарт IEC 61158.

Основними характеристиками PROFINET є такі:

- відкритий стандарт для розподіленої автоматизації,
- наскрізна комунікація через польову шину і стандартну шину Ethernet,
- використання відкритих стандартів TCP / IP, UDP і IT – стандартів,
- Real - Time - Ethernet – комунікації реального часу як базова функціональність,
- зв'язок з приводами (Motion Control),

Приклад структури мережі з використанням компонентів PROFINET та мехатронних модулів наведений на рис. 15.6.

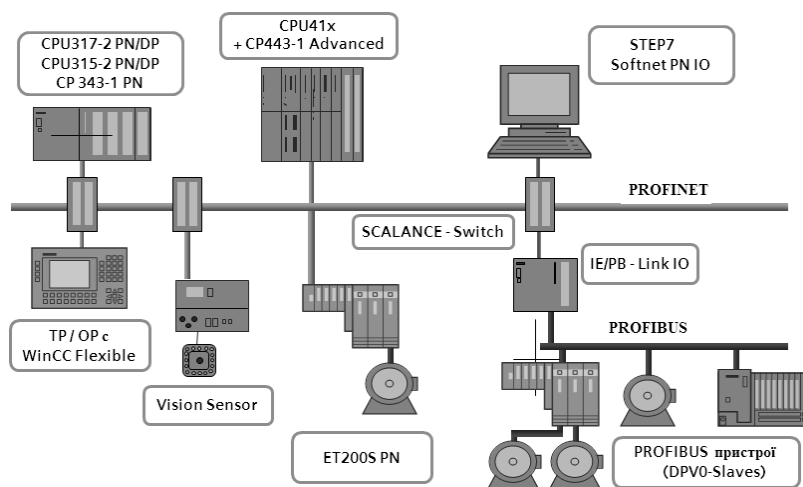


Рис. 15.6. Структура мережі з використанням компонентів PROFINET

Для таких мехатронних пристроїв, як автономні частотні перетворювачі також є можливість керування від ПЛК через локальну мережу. 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. 15.7 наведений приклад конфігурації пристрою керування на основі контролера SIMATIC S7-300, який може керувати додатковими пристроями через локальну мережу PROFIBUS.

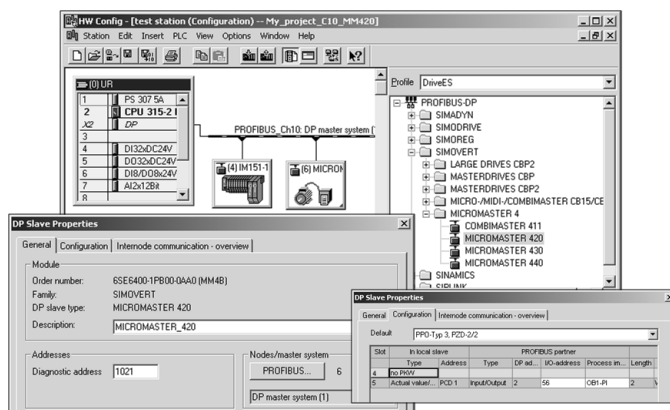


Рис. 15.7. Конфігурація ПЛК з частотним перетворювачем MICROMASTER

Система керування включає ПЛК, та частотний перетворювач MICROMASTER 420, який підключений до ПЛК за допомогою локальної мережі PROFIBUS.

Для керування обладнанням автоматизованих складів, які мають багато рухомих об'єктів, важливу роль грають бездротові системи зв'язку. Існують різні засоби забезпечення бездротового зв'язку.

На рис. 15.8 наведений приклад використання бездротового зв'язку для керування візками автоматизованої транспортно-складської системи з використанням бездротового зв'язку для підключення децентралізованої периферії.



Рис. 15.8. Приклад розподіленої системи керування з використанням бездротового зв'язку

Для програмування засобів відображення та керування використовуються спеціалізовані операторські панелі та операторські станції на основі персональних комп'ютерів з додатковим програмним забезпеченням. Воно може бути окремим, або входити до складу програмних пакетів для програмування контролерів. Для програмування операторських станцій використовують досить складні системи проектування, які дозволяють одноразово проектувати декілька операторських станцій з різними рівнями доступу.

На рис. 15.9 показана серeda проектування для операторських панелей та операторських станцій WinCC flexible фірми SIEMENS, 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



Рис. 15.9. Серeda проектування для операторських панелей та операторських станцій WinCC flexible

Для відображення можна використовувати досить велику кількість екранів (зображень) для відображення усього технологічного процесу та окремих його компонентів та пристроїв. Для зображення інформації використовують різні графічні елементи, які знаходяться у палітрі елементів. Такими елементами можуть бути, наприклад, графічні та числові поля для відображення даних, кнопки та інші елементи керування.

На рис. 15.10 наведений приклад зображення складського обладнання з полями графічного представлення даних у вигляді стелажу з вантажем та штабелером та кнопками керування переміщенням у ручному режимі.

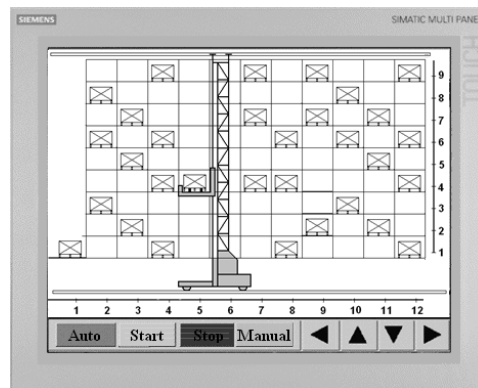


Рис. 15.10. Приклад зображення автоматизованої складської системи

Для відображення складних пристроїв існують різні бібліотеки з компонентами технологічного обладнання для різних задач.

При необхідності створення складної структури екранів проектування треба виконувати у такій послідовності:

- планування структури екранів проекту,
- створення екранів,
- створення системи навігації по екранах,
- конфігурування змісту екранів.

У разі виникнення якої-небудь події є можливість виводити на екран відповідні повідомлення (рис. 15.11).

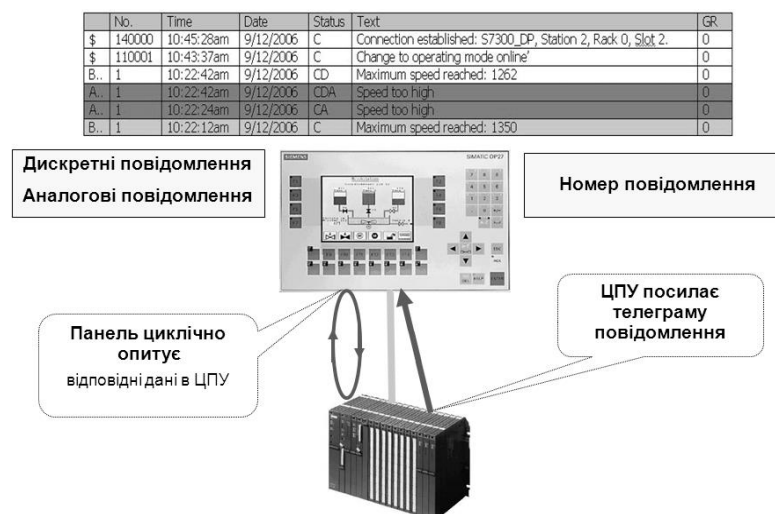


Рис. 15.11. Типи повідомлень у пристроях відображення

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.

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. Ці архіви можна використовувати, наприклад, для зберігання інформації о наявності та кількості товарів у окремих стелажах та окремих комірках стелажів.

Для гнучкого керування промисловим обладнанням можна використовувати таку функцію, як створення рецептів, яка є складовою частиною таких систем спостереження та керування, як, наприклад, WinCC flexible фірми SIEMENS.

Рецепти використовуються в тих випадках, коли необхідно передавати взаємопов'язані дані у вигляді записів даних між операторської станцією і ПЛК. При цьому виходять з того, що одночасно використовуються не всі записи даних для рецепта, тому немає необхідності зберігати її усю в системі управління (ПЛК). Ця інформація, яка вимагає багато місця в пам'яті, може зберігатися в операторських станціях, а при необхідності окремі записи даних можуть передаватися або зчитуватися в ПЛК.

Ця функція має стандартні вікна для формування рецепту, де треба вказати компоненти рецепту та їхню кількість у визначеній розмірності.

Для переходу з одного варіанту кінцевого продукту на інший у цьому разі треба лише змінити рецепт, після чого автоматично здійсниться переналагодження технологічного обладнання.

Цю функцію можна використати також для формування заказу на автоматизованому складі при виконанні функції комісіонування, оскільки вона дає можливість сформувати заказ (у вигляді так званого рецепту), де треба вказати компоненти заказу та їх кількість.

Рецепти можна використовувати для переналагодження послідовності технологічних операцій. На рис. 15.12 наведений приклад встановлення послідовності та часу проведення операцій на лінії обробки.

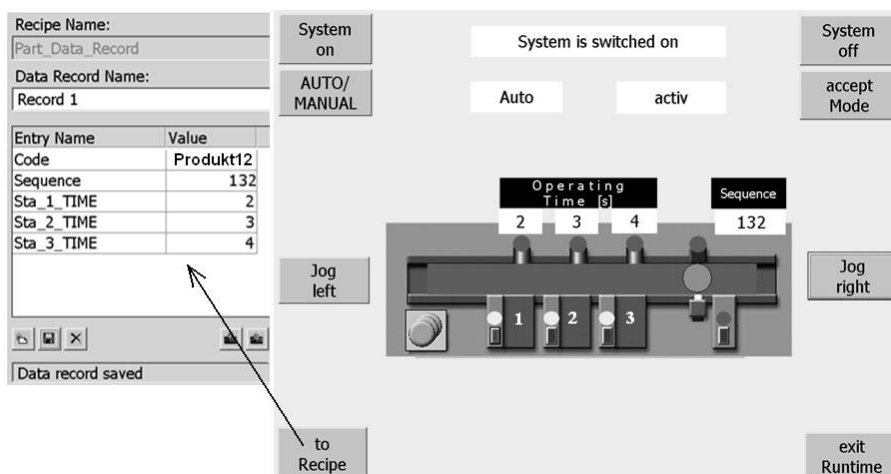


Рис. 15.12. Встановлення послідовності та часу проведення операцій на лінії обробки за допомогою рецепту

Конвеєр послідовно переміщує деталь за вказані робочі місця (1, 2, 3) та затримується на кожному місці згідно з встановленим часом. На прикладі задана послідовність переміщення 1, 3, 2 з затримкою на відповідних місцях 2, 4, та 3 с.

Цей підхід дає можливість швидкого перенастроювання процесу виготовлення виробів шляхом вибору відповідного набору параметрів технологічного процесу, які задаються заздалегідь підготовленими рецептами. У разі потреби можна швидко підготувати нові рецепти шляхом внесення нових значень для компонентів продукту або параметрів процесу.

Наведені приклади показують, що комплексні системи керування дають можливість створювати досить складні мехатронні системи та здійснювати їх проектування з використання універсальних мехатронних модулів та стандартного програмного забезпечення на всіх рівнях.

Контрольні питання

1. Розкрити, чим відрізняються комплексні системи керування?
2. Описати, як виглядає структура комплексних систем керування?
3. Пояснити, як об'єднуються окремі пристрої керування в комплексних системах керування?
4. Розкрити, які компоненти комплексних систем керування використовують для відображення технологічних процесів?
5. Розкрити, для чого використовують функцію створення рецептів?

ЛІТЕРАТУРА

1. Harashima F. Mechatronics - what is it, why and how? / F. Harashima, M. Tomizuka, T. Fukuda // IEEE/ASME Transaction on Mechatronics. – vol. 1. – № 1. – 1996. – P. 34-42.
2. Введение в мехатронику: уч. пособие / А.И. Грабченко, В.Б. Клепиков, В.Л. Доброскок и др. – Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – 264 с.
3. Ловейкін В.С. Мехатроніка. Навчальний посібник. / Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Човнюк Ю.В. – К., 2012. - 357 с.
4. Оксфордская иллюстрированная энциклопедия в 9-ти томах. Изобретения и технология. - М.: Изд. Дом „Инфра-М”. – Т 6. – 2000. – 185 с. URL: https://litgu.ru/knigi/tehnicheskie_nauki/254744-oksfordskaya-illyustrirovannaya-enciklopediya-tom-6-izobreteniya-i-tehnologii.html
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-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.
6. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: учеб. Пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 2007 – 256 с.
7. Проекты по модернизации подъёмно-транспортного оборудования. веб-сайт.URL.: <http://www.intechcom.ru/sites/default/files/cranes.pdf> (дата звернення: 25.10.2021).
8. Навчальний посібник з дисципліни «Машини і обладнання складів і логістика» для студентів магістрів, спеціальності: 131 - Прикладна механіка, спеціалізація: – Інженерія логістичних систем, / Укл.: Михайлов Є. П., Вудвуд О. М. – Одеса: ОНПУ, 2019. - 227с.
9. Simodrive Posmo. веб-сайт.URL.: <https://manualzz.com/doc/7214980/simodrive-posmo-a>
10. Введение в мехатронику: Учебное пособие / А.В. Белый, С.А. Линьков, О.С. Малахов и др.; под ред. А.А. Радионова. – Магнитогорск: ГОУ ВПО “МГТУ”, 2009. – 71 с.
11. Гуртяков А.М., Мойзес Б.Б. Металлорежущие станки. Часть 1. Типовые механизмы и системы металлорежущих станков: Учеб. пособие/Том.политехн. ун-т. – Томск, 2004. – 103 с.
12. Products for Totally Integrated Automation - Catalog ST 70. Siemens · 2021 URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109744167/catalog-st-70-products-for-totally-integrated-automation-simatic?dti=0&lc=en-WW>
13. SIMATIC S7 Система автоматизации S7-1200 Системное руководство V4.4 11/2019 URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/940/109772940/att_1037908/v1/s71200_system_manual_ru-RU_ru-RU.pdf
14. Курсовое проектирование деталей машин: Учеб. пособие для учащихся машиностроительных специальностей техникумов / С. А. Чернавский, К. Н. Боков, И. М. Чернин и др.— 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1988. — 416 с.
15. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Мехатроніка» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальності: 131 - Прикладна механіка, освітні програми: – Мехатроніка та промислові роботи, Інженерія логістичних систем, спеціальності: 133 - Галузеве машинобудування, освітня програма: – Підйомно-транспортні, будівельні дорожні машини і обладнання. / Укл.: Михайлов Є. П. – Одеса: ОП, 2021. – 32 с.
16. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Мехатроніка" для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальності: 131 - Прикладна механіка, освітні програми: – Мехатроніка та промислові роботи, Інженерія

логістичних систем, спеціальності: 133 - Галузеве машинобудування, освітня програма: – Підйомно-транспортні, будівельні дорожні машини і обладнання. / Укл.: Михайлов Є. П. – Одеса: ОП, 2021. - 38 с.

17. Мехатроніка. Конспект лекцій для студентів бакалаврів, спеціальність: 131 - Прикладна механіка, спеціалізація: Мехатроніка та промислові роботи, спеціалізація: Інженерія логістичних систем, спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування, спеціалізація: Підйомно-транспортні, дорожні, меліоративні машини і обладнання / Укладачі: Семенюк В.Ф., Михайлов Є. П. Одеса: ОНПУ, 2017. 74 с.

Тематика практичних занять

Далі наведені тема та зміст практичних занять [16].

Заняття 1. Регульовані приводи постійного струму

Мета та зміст заняття: Назвати особливості використання двигунів постійного струму. Визначити характеристики двигунів постійного струму згідно з метою використання. Описати, як здійснити регулювання швидкості обертання двигунів постійного струму.

Заняття 2. Регульовані приводи крокових двигунів

Мета та зміст заняття: Назвати особливості використання крокових двигунів. Визначити характеристики крокових двигунів згідно з метою використання. Описати, як здійснити регулювання швидкості обертання крокових двигунів.

Заняття 3. Регульовані сервоприводи

Мета та зміст заняття: Назвати особливості використання сервоприводів. Визначити характеристики сервоприводів згідно з метою використання. Описати, як здійснити регулювання швидкості обертання сервоприводів.

Заняття 4. Регульовані приводи як мехатронні пристрої

Мета та зміст заняття: Назвати особливості використання регульованих приводів. Визначити характеристики регульованих приводів згідно з метою використання. Описати, як здійснити регулювання параметрів регульованих приводів на прикладі маніпулятора.

Заняття 5. Безконтактні датчики положення

Мета та зміст заняття: Назвати особливості використання безконтактних датчиків. Визначити характеристики безконтактних датчиків згідно з метою використання. Описати, як здійснити визначення параметрів безконтактних датчиків.

Заняття 6. Датчики переміщення та вимірювання відстані до об'єктів

Мета та зміст заняття: Назвати особливості використання датчиків переміщення та вимірювання відстані до об'єктів. Визначити характеристики датчиків переміщення та вимірювання відстані до об'єктів згідно з метою використання. Описати, як здійснити визначення параметрів датчиків переміщення та вимірювання відстані до об'єктів.

Заняття 7. Мікропроцесорні пристрої обробки вимірювальної інформації

Мета та зміст заняття: Назвати особливості використання мікропроцесорних пристроїв для обробки вимірювальної інформації. Визначити алгоритми обробки вимірювальної інформації згідно з метою використання. Описати, як створити програми обробки вимірювальної інформації.

Тематика курсових робіт

Далі наведені тема та зміст курсової роботи[15].

Тема курсової роботи - Розробка мехатронного модулю пересування автоматизованих транспортних засобів.

Мета курсової роботи – Забезпечити загальну теоретико-практичну підготовку в галузі аналізу конструктивних рішень, конструювання та застосування різних типів мехатронних пристроїв.

Завдання курсової роботи:

- розвинути здібності до аналізу та вибору мехатронних пристроїв;
- вивчити методи розрахунку параметрів мехатронних пристроїв;
- усвідомити умови та режими роботи мехатронних пристроїв;
- вивчити особливості, відмінності та галузі застосування різних типів мехатронних пристроїв;
- ознайомити з засобами програмування мехатронних систем;
- визначити шляхи модернізації та подальшого розвитку мехатронних пристроїв.

Зміст курсової роботи

- 1 Аналіз існуючих засобів переміщення
 - 2 Визначення структури та конструкції мехатронного модуля
 - 3 Розрахунок двигуна та редуктора
 - 4 Розрахунок параметрів пересування та вибір відповідних датчиків
 - 5 Вибір пристрою керування та алгоритму
- Висновок

Приклади розрахунів для курсової роботи надані у додатках 1, 2.

Приклади розрахунку мехатронних виконавчих елементів

1. Аналіз кінематичної схеми мехатронного виконавчого елемента та вибір електродвигуна приводу до стрічкового конвеєра

1.1. Визначення необхідної потужності електродвигуна

Проведемо аналіз кінематичної схеми мехатронного виконавчого елемента та вибір електродвигуна [14]. На рис. 1 показана одна з типових схем приводу до стрічкового конвеєра: від електродвигуна обертання передається валу барабана через ремінну передачу, одноразовий зубчастий редуктор і ланцюгову передачу.

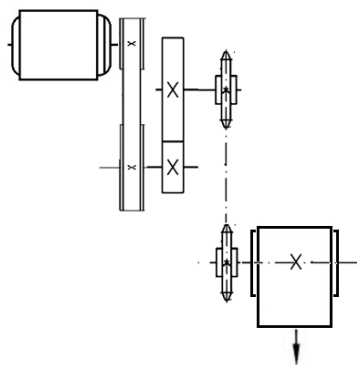


Рис. 1. Кінематична схема приводу стрічкового конвеєра

Для визначення необхідної потужності електродвигуна в заданні повинні бути вказані крутний момент T_p (Н•м) на валу барабана і кутова швидкість ω_p (рад/с) цього валу або сила тяги F (Н) і швидкість v (м/с) стрічки. Для визначення необхідної потужності електродвигуна повинні бути вказані крутний момент T_p (Н•м) на валу барабана і кутова швидкість ω_p (рад/с) цього валу або ж сила тяги F (Н) і швидкість v (м/с) стрічки. Шукану потужність P (Вт) електродвигуна визначають з формули

$$P = T_p \omega_p / \eta = F v / \eta. \quad (1)$$

Тут η - коефіцієнт корисної дії (ККД) приводу, рівний добутку приватних ККД передач, що входять до кінематичної схеми

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \dots \eta_k. \quad (2)$$

Табл. 1

Значення ККД передач окремих типів механічних передач

Передача	ККД
Зубчаста у закритому корпусі (редуктор):	
з циліндровими колесами	0,97 — 0,98
з конічними колесами	0,96 — 0,97
Зубчаста відкрита	0,95 — 0,96
Черв'якова в закритому корпусі при числі витків (заходів) черв'яка:	
$z_1 = 1$	0,70— 0,75
$z_1 = 2$	0,80— 0,85
$z_1 = 4$	0,85— 0,95
Ланцюгова закрита	0,95— 0,97
Ланцюгова відкрита	0,90 — 0,95
Ремінна:	
з плоским ременем	0,96 — 0,98
з клиновими ременями	0,95 — 0,97
Примітка. Втрати на тертя в опорах кожного валу враховуються множником $\eta_o = 0,99 \div 0,995$	

1.2. Вибір електродвигуна

Потужність електродвигуна, що підбирається для проектованого приводу, повинна бути не нижче тієї, яка визначена за формулою (1). Із існуючих типів двигунів вибирають переважно асинхронні електродвигуни трифазного струму єдиної серії 4А.

На рис. 2 представлена характеристика асинхронного двигуна трифазного струму, яка показує залежність частоти обертання n (об/хв) валу двигуна від величини моменту, що обертає T (Н • м).

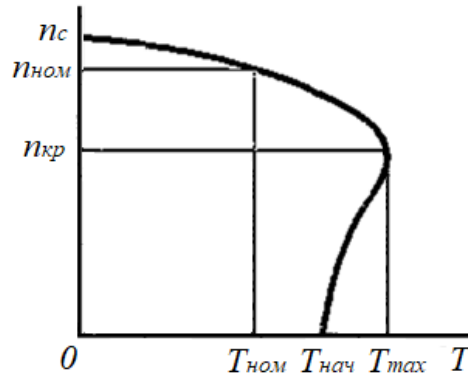


Рис.2. Характеристика асинхронного двигуна трифазного струму

По осі абсцис відкладено значення $T_{ном}$ - номінального крутного моменту, $T_{пуск}$ - пускового або початкового крутного моменту, що розвивається при пуску двигуна, T_{max} - максимального короткочасного моменту; по осі ординат відкладені значення частот обертання: номінальної $n_{ном}$, критичної $n_{кр}$ та синхронної n_c , що розвивається за відсутності навантаження та рівної частоті обертання магнітного поля; вона залежить від частоти струму f та числа пар полюсів p :

$$n_c = 60 f / p;$$

відповідна кутова швидкість рад/с,

$$\omega_c = 2 \pi f / p$$

При стандартній частоті струму $f = 50 \text{ с}^{-1}$ та числі пар полюсів $p = 1 \div 6$ синхронна частота обертання n_c дорівнюватиме відповідно 3000; 1500; 1000; 750; 600 и 500 об/хв. Для приводів рекомендується вибирати двигуни з кількістю полюсів не більше восьми, а краще – не більше шести, тобто з $p \leq 3$ и $n_c \geq 1000$ об/хв. При зростанні навантаження частота обертання валу двигуна зменшується внаслідок ковзання s , що визначається за формулою

$$s = (n_c - n) / n_c,$$

звідки

$$n = n_c (1 - s)$$

При пуску двигуна $T = T_{пуск}$ (или $T_{нач}$), $s = 1$ та $n = 0$; при номінальному режимі $T = T_{ном}$ $s = 0,02 \div 0,05$; $n_{ном} \approx (0,98 \div 0,95)n_c$; у разі відсутності навантаження $T = 0$ $s = 0$; $n = n_c$.

1.3. Передатне відношення приводу

У вихідних даних на проектування приводу вказують частоту обертання n_p (об/хв) робочого приводного валу або діаметр D (м) барабана конвеєра і швидкість v (м/с) стрічки; за цими даними знаходять

У вихідних даних на проектування приводу вказують частоту обертання n_p (об/хв) робочого приводного валу або діаметр D (м) барабана конвеєра та швидкість v (м/с) стрічки; за цими даними знаходять

$$n_p = 60 v / \pi D,$$

визначають загальне передатне відношення всього приводу

$$i = n_{ном} / n_p$$

і намічають орієнтовно значення приватних передавальних відносин передач, що входять у привід, так, щоб добуток їх дорівнював загальному передатному відношенню: $i_1 i_2 \dots i_k = i$. Середні значення i_1 для зубчастих передач дорівнюють 2 - 6, для черв'ячних передач 8 - 80, ланцюгових 3 - 6, ремінних 2 - 4.

1.4. Приклад розрахунку приводу

Провести кінематичний розрахунок приводу, що показаний на рис. 1.

Вихідні дані: діаметр барабана $D = 500$ мм; тягова сила $F = 4 \cdot 10^3$ Н; швидкість стрічки $v = 0,8$ м/с.

Потрібно підібрати асинхронний електродвигун трифазного струму, визначити передатне відношення всього приводу та приватні передавальні відносини кожної передачі.

Рішення

Приймаємо значення ККД за табл. 1:

ремінної передачі $\eta_1 = 0,98$;

зубчастої пари $\eta_2 = 0,98$;

ланцюгової передачі $\eta_3 = 0,96$;

коефіцієнт, що враховує втрати на тертя в опорах трьох валів $\eta_0^3 = 0,993$.

ККД усього приводу $\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_0^3 = 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,96 \cdot 0,99^3 = 0,89$. Необхідна потужність електродвигуна за формулою (1)

$$P = Fv / \eta = 4 \cdot 10^3 \cdot 0,8 / 0,89 = 3,6 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

Частота обертання валу барабана

$$n_p = 60 v / \pi D = 60 \cdot 0,8 / (3,14 \cdot 0,5) = 30,5 \text{ об/мин}$$

За даними табл. П1 додатку [14], підходять електродвигуни чотирьох марок: 4A100S2УЗ, $P = 4$ кВт, $n_c = 3000$ об/хв, $s = 3,3\%$; 4A100L4УЗ, $P = 4$ кВт, $n_c = 1500$ об/хв, $s = 4,7\%$; 4A112MB6УЗ, $P = 4$ кВт, $n_c = 1000$ об/хв, $s = 5,1\%$; 4A132S8УЗ, $P = 4$ кВт, $n_c = 750$ об/хв, $s = 4,1\%$.

При виборі першого із зазначених двигунів з $n_c = 3000$ об/хв виникнуть труднощі у реалізації великого передавального числа близько 100; двигун з $n_c = 750$ об/хв має великі габарити та масу; краще двигуни з $n_c = 1500$ та 1000 об/хв.

Номинальні частоти обертання валів цих двигунів будуть відповідно:

а) $n_{ном} = n_c (1 - s) = 1500 (1 - 0,047) = 1430$ об/хв;

б) $n_{ном} = 1000 (1 - 0,051) = 949$ об/хв.

Передатне відношення приводу у разі варіанта «а»

$$i = n_{ном} / n_p = 14,30 / 30,5 = 47;$$

для варіанта «б»

$$i = 949 / 30,5 = 31,1$$

Розбивка загального передавального відношення приводу припускає багато рішень. Наприклад, для варіанта «а» можна прийняти

$$i_1 = 2,5; i_2 = 5; i_3 = 3,8; i = 2,5 \cdot 5 \cdot 3,8 = 47,5;$$

для варіанта «б»

$$i_1 = 2; i_2 = 4; i_3 = 3,9; i = 2 \cdot 4 \cdot 3,9 = 31,2$$

Намічені передавальні відносини надалі уточнюються відповідно до вказівок, наведених [14], причому відхилення від розрахункового передатного відношення приводу не повинно перевищувати $\pm 3\%$.

2. Розрахунок двигунів для маніпуляторів

2.1. Розрахунок двигунів для маніпулятора виходячи з максимального крутного моменту

Розглянемо розрахунок двигунів для маніпулятора виходячи з максимального крутного моменту. Максимальний крутний момент виникає у тому випадку, коли усі ланки маніпулятора розташовані паралельно поверхні, на якій встановлено маніпулятор (рис. 1).

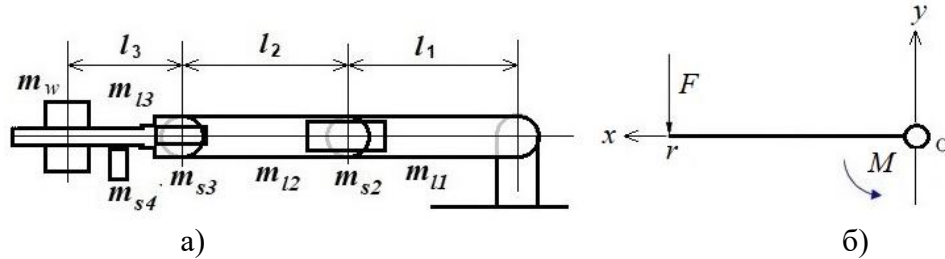


Рис. 1. Розташування ланок маніпулятора для отримання максимального крутного моменту (а) та визначення крутного моменту M (б)

Виходячи з того, що крутний момент M визначається як

$$M = F * r. \quad (1)$$

Сила F , яку повинен подолати двигун для повороту руки маніпулятора визначається як

$$F = m * (a + g), \quad (2)$$

де m — маса руки маніпулятора; a — прискорення тіла; g — прискорення вільного падіння.

$$m = \sum_i m_i, \quad (3)$$

де m_i — маса i -ї компоненти, що входить до складу руки маніпулятора.

За заданим законом зміни швидкості руху точки M ланки V_M від 0 до максимальної V_{Mmax} (рис. 2) можна визначити її прискорення за час розгону Δt , вважаючи, що розгін і гальмування відбувається з постійним прискоренням на ділянках траєкторії $0.25T$, де T — повний час переміщення точки r , ланки маніпулятора, куди прикладена сила F (рис. 1, б).

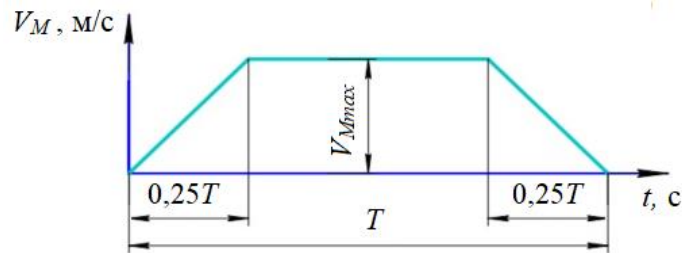


Рис. 2. Діаграма швидкості точки M ланки маніпулятора

У технічних характеристиках сервоприводів визначається швидкість обертання, що задається як час, за який здійснюється поворот на вказану кількість градусів. Так для сервопривода MG 996R при напрузі живлення 4,8 В ця величина складає 0,17 с / 60 градусів, звідки кутова швидкість $\omega = 3,08$ рад/с, а для SG-90 – 0,1 с / 60 градусів, або $\omega = 5,236$ рад/с.

Так для сервопривода MG 996R при напрузі живлення 4,8 В ця величина складає 0,17 с / 60 градусів, звідки кутова швидкість $\omega = 3,08$ рад/с, а для SG-90 – 0,1 с / 60 градусів, або $\omega = 5,236$ рад/с.

Кутове прискорення $\varepsilon = d\omega/dt$.

Переміщення l_{ra} за дугою окружності з радіусом r при повороті на кут α дорівнює:

$$l_{ra} = r\alpha,$$

тому лінійне прискорення визначається як:

$$a = dl / dt = r d\omega / dt.$$

Якщо визначити час розгону як Δt , то прискорення за час від початку руху до досягнення максимальної швидкості ω можна визначити як:

$$a = r \omega_{max} / \Delta t. \quad (4)$$

Для визначення точки, на яку впливає сила, треба знайти центр мас (центр ваги).

Центр мас визначається як:

$$r_c = \sum_i m_i r_i / \sum_i m_i, \quad (5)$$

де r_c — радіус центру мас, r_i — радіус i -ї точки системи, m_i — маса i -ї точки.

Маса та розміри компонент руки маніпулятора, що впливають на крутний момент приводів руки маніпулятора наведені на рис. 3, де використовуються такі позначення: m_{l2} , m_{l3} , m_{l4} , відповідно, маси, а l_1 , l_2 , l_3 довжина ланок L_1 , L_2 , L_3 ; m_{s2} , m_{s3} , m_{s4} , відповідно, маси двигунів s_2 , s_3 , s_4 , m_w маса вантажу.

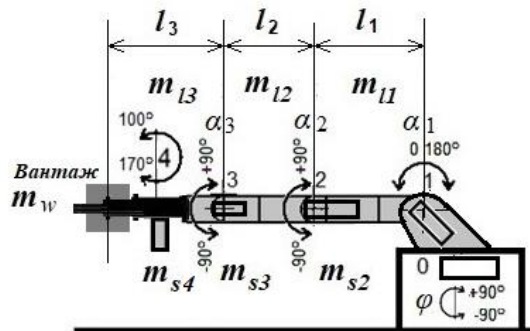


Рис. 3. Маса та розміри компонент руки маніпулятора

Відповідні радіуси у даному випадку визначаються, як:

$$r_{l1} = l_1 / 2, r_{l2} = l_2 / 2, r_{l3} = l_3 / 2, r_{s1} = l_1, r_{s2} = l_2, r_{s3} = l_3 / 2.$$

2.1. Приклад розв'язання задач з теми заняття

Розроблений стенд маніпулятора має такі параметри:

$$m_{l1} = 0,05 \text{ кг}, m_{l2} = 0,05 \text{ кг}, m_{l3} = 0,04 \text{ кг},$$

$$m_{s2} = 0,055 \text{ кг}, m_{s3} = 0,009 \text{ кг}, m_{s4} = 0,009 \text{ кг}.$$

$$l_1 = 0,1 \text{ м}, l_2 = 0,1 \text{ м}, l_3 = 0,08 \text{ м}$$

$$r_{l1} = l_1 / 2 = 0,05 \text{ м}, r_{l2} = l_2 / 2 = 0,05 \text{ м}, r_{l3} = l_3 / 2 = 0,04 \text{ м},$$

$$r_{s1} = l_1, r_{s2} = l_2, r_{s3} = l_3 / 2.$$

На рис. 4 наведена схема розрахунку крутного моменту для привода, що здійснює підйом руки.

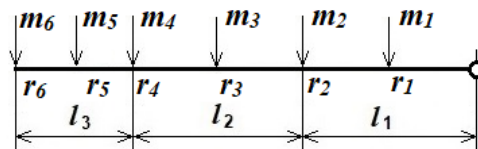


Рис. 4. Схема розрахунку крутного моменту

Вказані значення мас та радіусів мають такі значення:

$$r_1 = l_1 / 2, r_2 = l_1, r_3 = l_1 + l_2 / 2, r_4 = l_1 + l_2, r_5 = l_1 + l_2 + l_3 / 2, r_6 = l_1 + l_2 + l_3,$$

$$m_1 = m_{l1}, m_2 = m_{s2}, m_3 = m_{l2}, m_4 = m_{s3}, m_5 = m_{l3} + m_{s4}, m_6 = m_w.$$

Використовуючи параметри маніпулятора, отримаємо

$$r_1 = 0,05 \text{ м}, r_2 = 0,1 \text{ м}, r_3 = 0,15 \text{ м}, r_4 = 0,2 \text{ м}, r_5 = 0,24 \text{ м},$$

$$r_6 = 0,28 \text{ м},$$

$$m_1 = 0,05 \text{ кг}, m_2 = 0,055 \text{ кг}, m_3 = 0,05 \text{ кг}, m_4 = 0,009 \text{ кг}, m_5 = 0,049 \text{ кг},$$

Використовуючи формули (1 - 5), отримаємо момент утримання руки без вантажу:

$$m = 0,213 \text{ кг} ,$$

$$r_c = 0,029906 / 0,213 = 0,13643 \text{ м}$$

$$M = 0,284788 \text{ н/м} = 2,882 \text{ кг/см.}$$

MG 996R має крутний момент 9 кг/см (для напруги живлення 4.8 В). Для утримання вантажу залишається 6,1 кг/см. Ураховуючи, що радіус утримання вантажу складає $r_6 = 0,28$ м, отримаємо $m_w = 0,218$ кг.

Приклади розрахунку мехатронних засобів пересування

1. Аналіз кінематичної схеми мехатронного модулю у вигляді триколісного роботу типу трицикл

Триколісний робот типу трицикл має два неповоротних опорних колеса та ведуче (приводне) рульове колесо з двома моторами — один для руху, інший для рulinня (рис. 1.1).

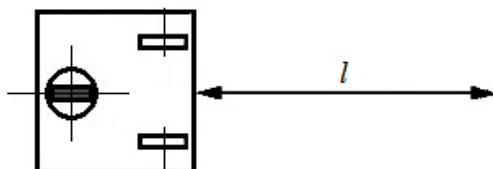


Рис. 1.1. Триколісний робот типу трицикл

При використанні одометричного датчика (датчика, що визначає шлях переміщення) визначення шляху переміщення здійснюється за допомогою вимірювання кута переміщення колеса.

Шлях l , що проходить колесо при обертанні на кут φ дорівнює:

$$l = d \varphi / 2 = r \varphi, \text{ або } l = \pi d \varphi / 360^\circ = \pi r \varphi / 180^\circ, \quad (1.1)$$

де d та r , відповідно, діаметр та радіус колеса, φ та φ° кут обертання колеса, відповідно, у радіанах або градусах.

Це дає можливість визначити зв'язок кута обертання колеса φ та шляху l , який проходить транспортний засіб.

Для завдання траєкторії переміщення найчастіше використовують лінійну та колову апроксимацію траєкторії.

Переміщення по прямій здійснюється, коли рульове колесо знаходиться у тому ж напрямку, як і опорні колеса.

Розглянемо коловий рух триколісного транспортного засобу (рис. 1.2.).

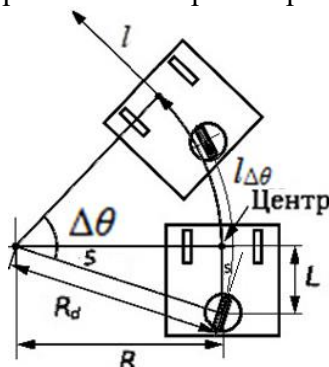


Рис. 1.2. Коловий рух триколісного транспортного засобу (трициклу)

Радіус дузі повороту транспортного засобу R , кут повороту транспортного засобу $\Delta\theta$ та переміщення ведучого колеса $l_{\Delta\theta}$ пов'язані такою залежністю

$$l_{\Delta\theta} = R \Delta\theta. \quad (1.2)$$

Визначаємо кут s , на який треба повернути ведуче рульове колесо для переміщення по дузі з радіусом R .

За умови, що відсутня бічна пробуксовка коліс, пересічемо осі передніх і задніх коліс, щоб сформуванати прямокутний трикутник, і в результаті отримаємо:

$$\operatorname{tg} s = L / R, \quad (1.3)$$

Тут L – відстань між осями опорних коліс і ведучого рульового колеса.

З формули (2.3) маємо кут s , на який треба повернути ведуче рульове колесо для переміщення по дузі з радіусом R :

$$s = \arctg(L/R), \quad (1.4)$$

Для зменшення площі, що потрібна для розвороту робота доцільно здійснювати розворот з мінімальним радіусом (розворот на місці). У цьому випадку ведуче рульове колесо повернено на 90° ($s = \pi/2$), а $R = R_d = L$ (рис. 1.3).

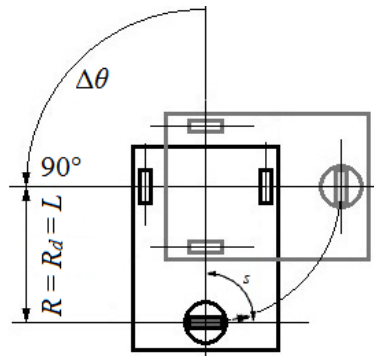


Рис. 1.3. Розворот з мінімальним радіусом

Таким чином, для повороту на кут $\Delta\theta$ ведуче рульове колесо повинно пройти шлях $l_{\Delta\theta}$, що дорівнює

$$l_{\Delta\theta} = L \Delta\theta. \quad (1.5)$$

Для повороту робота на 90° ($\Delta\theta = \pi/2$) ведуче рульове колесо повинно пройти шлях $l_{\pi/2}$, що дорівнює

$$l_{\pi/2} = L \pi/2. \quad (1.6)$$

Розміри триколісного транспортного засобу, що необхідні для розрахунків, наведені на рис. 1.4.

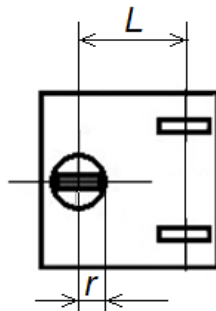


Рис. 1.4. Розміри триколісного транспортного засобу для розрахунків

Оскільки у вихідних даних значення L не вказано, обираємо:

$$L = 4r = 2d.$$

Приклад

Здійснити переміщення триколісного транспортного засобу по такій траєкторії:

- переміщення по колу наліво з радіусом $R = 1$ м.

Характеристики робота:

- діаметр колеса $d = 0,1$ м;
- відстань між осями опорних коліс і ведучого рульового колеса $L = 2d = 0,2$ м;
- швидкість переміщення робота $V = 1$ м/с.

Треба знайти значення параметрів, що потребуються для програмування приводів робота для здійснення вказаних переміщень, а саме кут s , на який треба повернути ведуче рульове колесо для переміщення по дузі з радіусом $R = 1$ м.

З формули (1.4) отримаємо, що при переміщенні транспортного засобу для повороту з радіусом $R = 1$ м значення s складає

$$s = \arctg(L/R) = \arctg(0,2/1) = 11,31^\circ.$$

2. Аналіз кінематичної схеми мехатронного модулю у вигляді транспортного засобу з диференційним приводом

Транспортний засіб з диференційним приводом має два двигуна, по одному на кожне ведуче колесо з діаметром d та опорне флюгерне колесо (рис. 2.1).

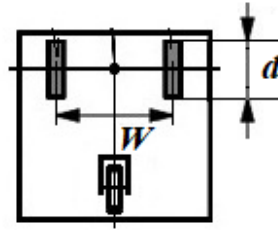


Рис. 2.1. Транспортний засіб з диференційним приводом

Зміна напрямку руху здійснюється за рахунок різних швидкостей коліс.

Крім того на траєкторію переміщення впливає відстань між колесами W .

При використанні одометричного датчика (датчика, що визначає шлях переміщення) визначення шляху переміщення здійснюється за допомогою вимірювання кута переміщення колеса.

Шлях l , що проходить колесо при обертанні на кут φ дорівнює:

$$l = d \varphi / 2 = r \varphi, \text{ або } l = \pi d \varphi / 360^\circ = \pi r \varphi^\circ / 180^\circ, \quad (2.1)$$

де d та r , відповідно, діаметр та радіус колеса, φ та φ° кут обертання колеса, відповідно, у радіанах або градусах.

Це дає можливість визначити зв'язок кута обертання колеса φ та шляху l , яке воно проходить.

Для завдання траєкторії переміщення найчастіше використовують лінійну та колову апроксимацію траєкторії.

Переміщення по прямій здійснюється, коли ведучі колеса обертаються з однаковою швидкістю.

Інші комбінації швидкостей призводять до руху по дузі (рис. 2.2).

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 $V_L = V_R = V$.

При цьому для переміщення на відстань l_V колесо з діаметром d треба повернути на кут φ (в радіанах)

$$\varphi = 2 l_V / d.$$

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 наліво вздовж дузі кола на кут $\Delta\theta$ (в радіанах).

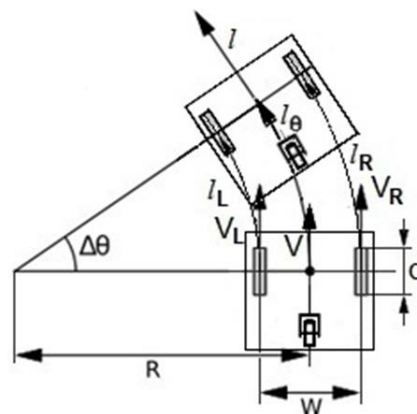


Рис. 2.2. Рух по дузі

При цьому:

радіус дузі правого колеса дорівнює $R + W/2$, тому воно пройде шлях

$$l_L = V_L \Delta t = (R + W/2) \Delta \theta; \quad (2.2)$$

радіус дузі лівого колеса дорівнює $R - W/2$, тому воно пройде шлях

$$l_R = V_R \Delta t = (R - W/2) \Delta \theta; \quad (2.3)$$

Якщо для програми керування треба задати кут обертання коліс φ_L та φ_R , використовуємо формулу (2.1).

Дуга переміщення робота та обидві колісні дузи мають в основі один і той же кут $\Delta \theta$

$$\Delta \theta = V_L \Delta t / (R - W/2) = V_R \Delta t / (R + W/2). \quad (2.4)$$

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

$$R = W (V_R + V_L) / 2 (V_R - V_L), \quad (2.5)$$

$$\Delta \theta = (V_R - V_L) \Delta t / W = (l_R - l_L) / W. \quad (2.6)$$

Для переміщення по дузі з радіусом R (поворот наліво) швидкості переміщення коліс V_R та V_L пов'язані такою залежністю

$$V_R = V_L (2 R + W) / (2 R - W). \quad (2.7)$$

Таким чином, для переміщення по дузі з радіусом R незалежно від швидкості переміщення транспортного засобу треба забезпечити таке відношення між швидкостями переміщення коліс V_R та V_L

$$V_R / V_L = (2 R + W) / (2 R - W). \quad (2.8)$$

Якщо транспортний засіб переміщується зі швидкістю V та здійснює поворот наліво, то правий двигун збільшує, а лівий двигун зменшує швидкість на ΔV , тоді маємо:

$$V_R = V + \Delta V, \text{ а } V_L = V - \Delta V. \quad (2.9)$$

З формули (2.9) отримаємо, що для повороту з радіусом R значення ΔV складає:

$$\Delta V = V W / 2 R. \quad (2.10)$$

Оскільки у вихідних даних значення W не вказано, обираємо $W = 4 r$.

Схема повороту на місці мобільних транспортного засобу з диференціальним приводом одним колесом наведена на рис. 2.3.

При цьому переміщення на відстань l здійснює тільки одне колесо.

Для повороту на кут (в радіанах) $\Delta \theta$ маємо:

$$l = W \Delta \theta, \quad (2.11)$$

де: W - відстань між колесами робота, яка визначає радіус повороту,

$$\Delta \theta = \Delta \theta_{град} \cdot \pi / 180,$$

$\Delta \theta_{град}$ - кут повороту в градусах.

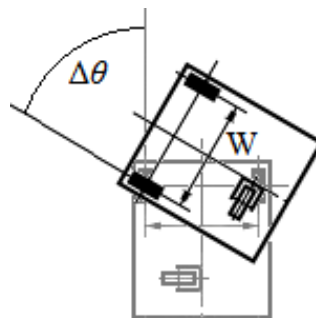


Рис. 2.3. Схема повороту на місці мобільних роботів з диференціальним приводом

Приклад 1

Здійснити переміщення транспортного засобу з диференціальним приводом по такій траєкторії:

- переміщення по колу наліво з радіусом $R = 1$ м.

Характеристики робота:

- діаметр колеса $d = 0,1$ м;
- відстань між колесами $W = 0,2$ м;
- швидкість переміщення робота $V = 1$ м/с.

Треба знайти значення параметрів, що потребуються для програмування приводів робота для здійснення вказаних переміщень, а саме швидкості лівого V_L та правого V_R коліс для переміщення по дузі кола з радіусом $R = 1$ м.

З формули (2.9) отримаємо, що при переміщенні транспортного засобу зі швидкістю $V = 1$ м/с для повороту з радіусом $R = 1$ м значення ΔV складає

$$\Delta V = V \cdot W / 2R = 1 \cdot 0,2 / 2 \cdot 1 = 0,1 \text{ м/с};$$

$$V_R = V + \Delta V = 1,1 \text{ м/с};$$

$$V_L = V - \Delta V = 0,9 \text{ м/с}.$$

Вказані параметри встановлюються один раз, після чого починається рух по колу, поки не буде команди запинки.

Приклад 2

Здійснити переміщення транспортного засобу з диференціальним приводом по такій траєкторії:

- переміщення по траєкторії квадрат з стороною 1 м.
- Для переміщення треба виконувати таку послідовність дій:
- переміщення по прямій на відстань 1 м;
- поворот на 90° .

Здійснити поворот транспортного засобу з диференціальним приводом на кут $\Delta\theta_{град} = 90^\circ$ наліво.

Використовуючи дані з прикладу 1 та формулу (2.11) отримаємо, що праве колесо повинне здійснити переміщення на відстань:

$$l_{пр} = W \Delta\theta_{град} \cdot \pi / 180 = 0,2 \cdot 90 \cdot 3,14 / 180 = 0,314 \text{ м}.$$

3. Визначення параметрів переміщення транспортних засобів

Здійснити розрахунок кількості кроків крокового двигуна або імпульсів імпульсного датчика для переміщення транспортного засобу на відстань $l_{пер}$.

Під час використання для визначення відстані переміщення кількості імпульсів імпульсних датчиків або кількості кроків крокових двигунів $n_{пер}$ визначимо переміщення на один крок (імпульс) $l_{кр}$, якщо діаметр колеса дорівнює d , а кількість кроків (імпульсів) на одне обертання колеса визначається як n_δ .

$$l_{кр} = \pi \cdot d / n_\delta.$$

Тоді кількість кроків (імпульсів) $n_{пер}$ для переміщення на відстань $l_{пер}$ буде дорівнювати:

$$n_{пер} = l_{пер} / l_{кр} = l_{пер} \cdot n_\delta / (\pi \cdot d).$$

Приклад

Здійснити розрахунок кількості кроків крокового двигуна або імпульсів імпульсного датчика для переміщення транспортного засобу на відстань $l_{пер}$.

Вихідні дані:

відстань переміщення $l_{пер} = 10$ м;

діаметр колеса $d = 0,04$ м;

кількість кроків на одне обертання колеса $n_\delta = 200$.

Отримаємо:

$$n_{пер} = l_{пер} \cdot n_\delta / (\pi \cdot d) = 10 \cdot 200 / (3,14 \cdot 0,04) = 15\,915 \text{ кроків}.$$

При цьому похибка переміщення (переміщення на один крок) складає:

$$l_{кр} = \pi \cdot d / n_\delta = 3,14 \cdot 0,04 / 200 = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$