

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
КАФЕДРА «ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНОГО ТА
РОБОТОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «Сучасні тенденції створення автоматизованих систем
управління вантажопідйомних машин»

Другий (магістерський) рівень вищої освіти
Спеціальність – 133 ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ
Освітня програма – Підйомно-транспортні, будівельні дорожні
машини і обладнання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
КАФЕДРА «ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНОГО ТА
РОБОТОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ»

Михайлов Євген Павлович

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «Сучасні тенденції створення автоматизованих систем
управління вантажопідйомних машин»

Другий (магістерський) рівень вищої освіти
Спеціальність – 133 ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ
Освітня програма – Підйомно-транспортні, будівельні дорожні
машини і обладнання

Затверджено
на засіданні кафедри
підйомно-транспортного і
робототехнічного обладнання
Протокол № 1 від 28 08 2021 р.

ОДЕСА 2021

Конспект лекцій з дисципліни «Сучасні тенденції створення автоматизованих систем управління вантажопідйомних машин» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти, спеціальності: 133 - Галузеве машинобудування, освітня програма: – Підйомно-транспортні, будівельні дорожні машини і обладнання. / Укл.: Михайлов Є. П. – Одеса: ОП, 2021. - 89 с.

В конспекті розглянуті сучасні тенденції створення автоматизованих систем управління вантажопідйомних машин на основі засобів комп'ютерного керування. Наведені елементи теорії автоматичного керування, розглянуті принципи створення сучасних систем автоматизованого керування вантажопідйомними машинами та обладнання, на основі якого здійснюється реалізація цих систем.

Укладач:
Михайлов Євген Павлович доцент кафедри підйомно-транспортного і робототехнічного обладнання

Рецензент:
Сидоренко Ігор Іванович професор кафедри інформаційних технологій проектування в машинобудуванні

Зміст

Передмова.....	5
СЕМЕСТРОВИЙ МОДУЛЬ 1 ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ.....	6
Змістовий модуль 1. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ.....	6
Лекція 1. Структура та склад систем автоматизованого управління вантажопідйомними машинами	6
1.1. Загальна структура систем автоматизованого керування вантажопідйомними машинами	6
1.2. Склад систем автоматизованого керування.....	9
1.3. Основні принципи керування.....	11
Лекція 2. Моделі лінійних об'єктів керування	14
2.1. Основні поняття, зв'язок входу і виходу.....	14
2.2. Диференціальні рівняння	14
2.3. Перехідна функція та імпульсна характеристика.....	16
2.4. Передавальна функція та перетворення Лапласа	17
Лекція 3. Аналіз систем управління	19
3.1. Типові динамічні ланки	19
3.2. Структурні схеми.....	20
3.3. Стійкість систем управління	21
3.4. Регулятори	22
Змістовий модуль 2. ІНФОРМАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ ВНУТРІШНЬОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН.....	25
Лекція 4. Вимірювальні перетворювачі інформаційних систем.....	25
4.1. Призначення та класифікація вимірювальних перетворювачів.....	25
4.2. Основні характеристики вимірювальних перетворювачів.....	27
Лекція 5. Контактні та безконтактні датчики положення.....	29
5.1. Контактні датчики положення	29
5.2. Індуктивні вимірювальні перетворювачі.....	30
5.3. Оптичні та ультразвукові датчики положення	32
Лекція 6. Датчики переміщення та швидкості	33
6.1. Потенціометричні датчики переміщення	33
6.2. Фотоімпульсні та абсолютні датчики кутового та лінійного переміщення	33
6.3. Тросові датчики вимірювання шляху переміщення.....	35

6.4. Тахогенераторні вимірювальні перетворювачі	35
Змістовий модуль 3. ІНФОРМАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ ЗОВНІШНЬОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН	37
Лекція 7. Датчики визначення зовнішніх об'єктів	37
7.1. Ультразвукові датчики вимірювання відстані до об'єктів	37
7.2. Оптичні датчики вимірювання відстані до об'єктів	37
7.3. Лазерні скануючі датчики	39
Лекція 8. Датчики технологічних параметрів	42
8.1. Датчики температури	42
8.2. Датчики зусилля. П'єзOMETричні та тензOMETричні датчики	42
8.3. Тактильні та силомоментні датчики	43
8.4. Датчики ваги	44
СЕМЕСТРОВИЙ МОДУЛЬ 2 СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНИМИ МАШИНАМИ	48
Змістовий модуль 4. ПРИСТРОЇ УЗГОДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ З ДАТЧИКАМИ ТА ВИКОНАВЧИМИ ПРИСТРОЯМИ	48
Лекція 9. Пристрої узгодження цифрової та аналогової інформації	48
9.1. Підсилювачі та силові перетворювачі	48
9.2. Цифро-аналогові перетворювачі	49
9.3. Аналого-цифрові перетворювачі	50
Лекція 10. Виконавчі пристрої	52
10.1. Електромеханічні виконавчі пристрої	52
10.2. Електродвигуни	52
10.3. Регульовані електроприводи	53
Змістовий модуль 5. СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНИМИ МАШИНАМИ	58
Лекція 11. Структура та склад універсальних систем керування вантажопідйомними машинами	58
11.1. Структура та склад апаратних компонент універсальних систем керування	58
11.2. Структура та склад програмних компонент універсальних систем керування	59
Лекція 12. Програмне керування вантажопідйомними машинами	63
12.1. Принципи логічного керування	63
12.2. Функції керування рухом	66
12.3. Функції безпеки	68
Лекція 13. Приклади використання програмованих логічних контролерів для керування вантажопідйомними машинами	71
13.1. Система керування порталним краном	71
13.2. Система керування контейнерним перевантажувачем	73
Змістовий модуль 6. ПРИЛАДИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА БЕЗПЕКИ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН	76
Лекція 14. Автоматизація та прилади безпеки кранів	76
14.1. Автоматизація та прилади безпеки мостових кранів	76
14.2. Автоматизація та прилади безпеки баштових кранів	77
14.3. Автоматизація та прилади безпеки автомобільних кранів	80
Лекція 15. Системи запобігання розгойдування вантажу	81
15.1. Методи запобігання розгойдування вантажу	81
15.2. Приклади систем запобігання розгойдування вантажу	83
Питання до модульної контрольної роботи № 1	86
Питання до модульної контрольної роботи № 2	87
Питання до підсумкового контролю	88
ЛІТЕРАТУРА	89

Передмова

В умовах модернізації сучасних виробничих та логістичних систем в Україні пріоритетна увага має надаватися підготовці нової генерації фахівців, яка здатна оволодіти сучасним обладнанням, таким як автоматизовані вантажопідйомні машини. Однією з передумов вирішення цього надзвичайно важливого і складного завдання є опанування фахівцями ґрунтовними знаннями, уміннями, навичками, ставленнями у питаннях проектування та застосування автоматизованих вантажопідйомних машин.

Дисципліна «Сучасні тенденції створення автоматизованих систем управління вантажопідйомних машин» є важливою частиною підготовки магістрів до науково-практичної діяльності.

Робоча навчальна програма дисципліни «Сучасні тенденції створення автоматизованих систем управління вантажопідйомних машин» є нормативним документом Державного університету Одеська політехніка, який розроблений кафедрою підйомно-транспортного та робототехнічного обладнання на основі освітньої програми підготовки відповідно до навчального плану другого (магістерського) рівня "Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання" 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 «Сучасні тенденції створення автоматизованих систем управління вантажопідйомних машин».

«Сучасні тенденції створення автоматизованих систем управління вантажопідйомних машин» є складовою частиною дисциплін циклу професійної підготовки нормативного блоку. Її вивчення передбачає розв'язання низки завдань фундаментальної професійної підготовки фахівців другого рівня, зокрема: опанування студентами питань побудови, основ проектування та застосування засобів керування вантажопідйомними машинами та поширення їх знань за рахунок розгляду різних типів засобів керування вантажопідйомними машинами та їх компонент, що базуються на сучасних тенденціях.

Мета вивчення дисципліни – Оволодіти теоретично-практичними знаннями для аналізу та створення автоматизованих систем керування вантажопідйомних машин на основі сучасних тенденцій.

Завдання вивчення дисципліни:

- розвинути здібності до аналізу та вибору систем керування вантажопідйомних машин, що базуються на сучасних тенденціях;
- вивчити методи розрахунку параметрів інформаційних та виконавчих пристроїв вантажопідйомних машин;
- усвідомити умови та режими роботи інформаційних та виконавчих пристроїв вантажопідйомних машин;
- вивчити особливості сучасних тенденцій проектування програмованих систем автоматизованого керування вантажопідйомних машин;
- оволодіти знаннями для проектування програмованих систем автоматизованого керування вантажопідйомних машин, що базуються на сучасних тенденціях.

Дисципліна «Сучасні тенденції створення автоматизованих систем управління вантажопідйомних машин» є однією з завершальних у системі підготовки магістрів. Вона узагальнює набуті студентами знання у галузі розрахунку та проектування систем автоматизованого керування вантажопідйомних машин, поширює їх в напрямку розрахунків, що базуються на основі сучасних тенденцій.

СЕМЕСТРОВИЙ МОДУЛЬ 1 ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ

Змістовий модуль 1. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

Лекція 1. Структура та склад систем автоматизованого управління вантажопідйомними машинами

1.1. Загальна структура систем автоматизованого керування вантажопідйомними машинами

Системи автоматизованого керування входять до складу виробничих систем та машин на всіх рівнях та виконують пов'язані між собою задачі. Тому для керування такого обладнання треба використовувати багаторівневу систему розподіленого керування, яка реалізує заданий алгоритм роботи технологічного устаткування та забезпечує взаємодію усіх пристроїв, які входять до його складу [1].

В основу сучасних автоматизованих виробничих систем закладена модульна структура з керуванням окремих компонент на основі обчислювальних пристроїв, які виконують функції керування за допомогою програм і мають можливість швидко змінювати алгоритм керування, структуру та функціональні можливості системи. Модульна структура передбачає наявність великої кількості апаратних і програмних модулів, які включають мехатронні електромеханічні та електронні компоненти, а також набір програмних функцій, здатних вирішувати усі можливі завдання.

Підхід, заснований на модульному принципі створення систем керування, дозволяє забезпечити гнучкість системи та можливість швидкої адаптації при зміні параметрів технологічних процесів. Наявність широкого набору програм для проектування, програмування і налагодження системи та її компонент значно скорочує обсяг робіт при проектуванні і переустаткуванні системи. Основою цього принципу є повна сумісність апаратних і програмних засобів, які використовуються для вирішення задач автоматизації різного рівня, та інтеграція усіх програмних засобів у єдине програмне середовище. Крім того передбачається можливість створення нових програмних та апаратних модулів у разі потреби введення нових функцій в систему керування .

Застосування систем програмного керування у даний час постійно збільшується в міру підвищення складності технологічних процесів і інших об'єктів керування. При цьому рівень складності вирішуваних завдань може змінюватися в дуже великому діапазоні - від найпростіших систем керування виконанням послідовності операцій до складних систем керування гнучкими виробничими модулями та автоматизованими складами, де широко використовуються вантажопідйомні машини. Одною з основних вимог до систем програмного керування в цьому випадку є можливість адаптації під конкретні задачі і спроможність об'єднання локальних систем керування в єдину автоматизовану систему керування виробництвом. Для задоволення цих вимог широко використовуються комплексні системи керування виробництвом, що включають локальні системи керування на основі програмованих пристроїв керування (пристроїв комп'ютерного керування), промислові мережі, що об'єднують окремі локальні системи керування в єдину комплексну систему, та промислові комп'ютери, на яких реалізується верхній рівень керування.

Приклад такої комплексної системи комп'ютерного керування наведений на рис. 1.1.

Ця система складається з системи керування верхнього рівня на основі персональних комп'ютерів (ПК). Така система дає можливість здійснювати керування з різних робочих місць. При цьому можна обмежити рівень доступу на кожному місці та здійснювати різні додаткові функції, наприклад, економіко-організаційні та проектно-конструкторські задачі. Крім того система керування верхнього рівня може мати вихід у глобальну мережу для забезпечення зв'язку з іншими системами автоматизованого керування.

За допомогою локальної мережі підприємства до системи керування верхнього рівня підключаються системи керування окремими дільницями, кожна з яких за допомогою локальних мереж дільниці об'єднують локальні системи керування гнучкими модулями. При цьому система керування дільницею може бути побудована на основі одного або декількох персональних комп'ютерів, до яких підключені системи керування гнучкими модулями

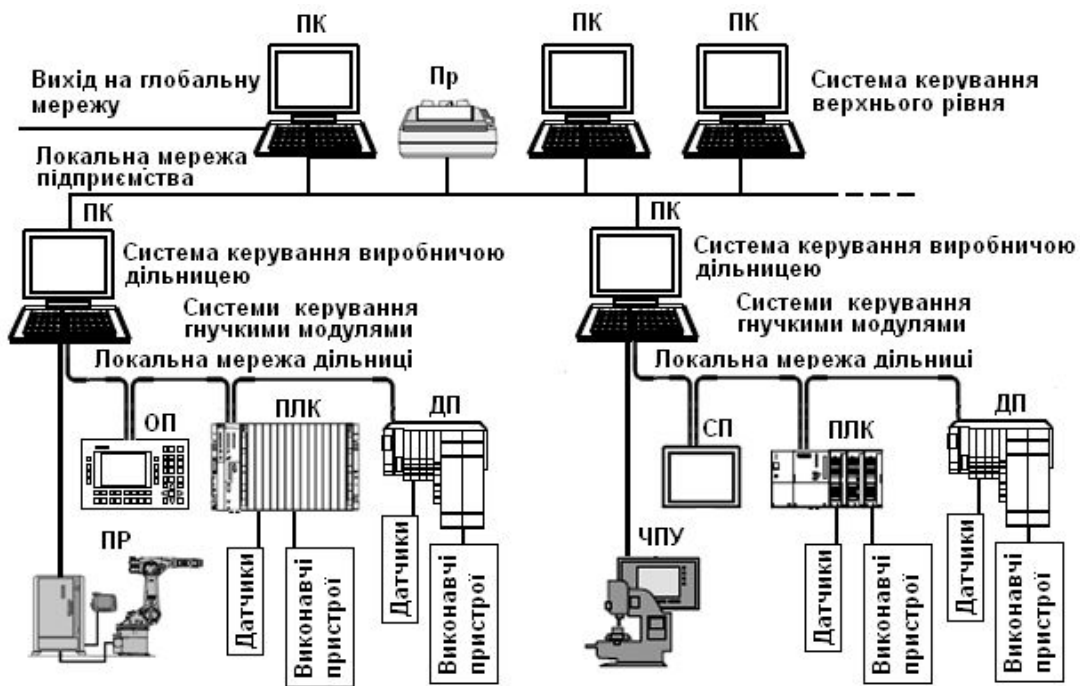


Рис. 1.1. Комплексна система керування

Компонентами підійомно-транспортного обладнання можуть бути пристрої з власними пристроями керування. Прикладом таких компонент є промислові роботи (ПР), які застосовується при виконанні різноманітних виробничих операцій таких як, наприклад, складання, переміщення, вибірка та встановлення, пакування тощо. У складі АТСС широко використовуються крани-штабелери, транспортні роботи та навантажувачі, які здійснюють переміщення продукції та встановлення її у вказану коміру стелажу або позицію.

Ці пристрої повинні мати можливість підключатися до локальних мереж та мати програмне забезпечення для здійснення взаємодії цих пристроїв керування с системами керування гнучких виробничих модулів. Це стосується також різних технологічних систем керування, зокрема систем регулювання та систем керування різним обладнанням. Ці функції можуть виконувати безпосередньо універсальні мікроконтролери та промислові логічні контролери, які мають умонтовані технологічні функції, наприклад, функції регулювання та позиціонування. Для керування простим технологічним обладнанням використовують умонтовані пристрої керування на основі універсальних мікроконтролерів.

Сучасні локальні системи програмного керування часто будуються на основі програмованих логічних контролерів (ПЛК) широкого призначення. Такі системи керування включають, як правило, системи автоматизації для вирішення питань керування різного рівня та побудовані по модульному принципі. Програмне забезпечення таких систем керування об'єднує засоби визначення конфігурації системи автоматизації, установки параметрів і програмування.

Модулі вводу-виводу ПЛК призначені для підключення датчиків та виконавчих пристроїв за допомогою дискретних та аналогових сигналів, кількість яких може досягати сотні та тисячі у складних систем керування.

Система керування підійомно-транспортного обладнання часто повинна здійснювати керування пристроями, які розташовані на досить великій відстані, наприклад, виконавчими пристроями, що здійснюють переміщення окремих компонент, таких як механізму підйому, механізмів переміщення візка та моста, механізмів підйому стрели тощо. У цьому разі використовується так звана децентралізована периферія (ДП), яка дає можливість підключати окремі модулі вводу-виводу за допомогою дротових та бездротових локальних мереж та здійснювати керування на досить великій відстані.

Практично в усіх автоматизованих системах передбачається можливість ручного керування і візуального спостереження за ходом процесу, важливою частиною комплексних систем автоматизації є пристрої керування та відображення, за допомогою яких оператор має можливість здійснювати контроль стану обладнання, а в разі потреби втручатися в його роботу, наприклад, для введення нових завдань, переключення режимів роботи, або проведення профілактичних робіт та ремонту. Спілкування з оператором може здійснюватись за допомогою простих пристроїв (на основі кнопок та світлових індикаторів), операторських панелей (ОП) з дисплеєм та клавіатурою, сенсорних панелей (СП) або операторських станцій на основі ПК, які здійснюють функції так званого людино-машинного інтерфейсу (НМІ – Human Machine Interface).

Системи управління підйомно-транспортного обладнання мають свої особливості, які можна показати на прикладі системи керування мостових та козлових кранів [5].

На рис. 1.2 наведені функції, які вирішує система управління, а саме:

- підйом вантажу: обмеження механізму підйому вантажу, обмеження опускання вантажу (змотування каната), захист від розгойдування вантажу; вимірювання висоти підйому гака;
- контроль переміщення: контроль пересування візка;
- пересування візка: контроль пересування;
- пересування моста крана: контроль уповільнення і зупинки моста крана;
- захист крана від перекосу: забезпечення прямолінійного руху;
- захист крана від вітру: захисне відключення козлового або мостового крана від максимально-допустимих вітрових навантажень;
- керування за допомогою пульта: засоби управління;
- контроль доступу: блокування дверей, люків, хвіртток, підйомного крана;
- контроль переміщення: захист від зіткнення в козлових і мостових кранах.

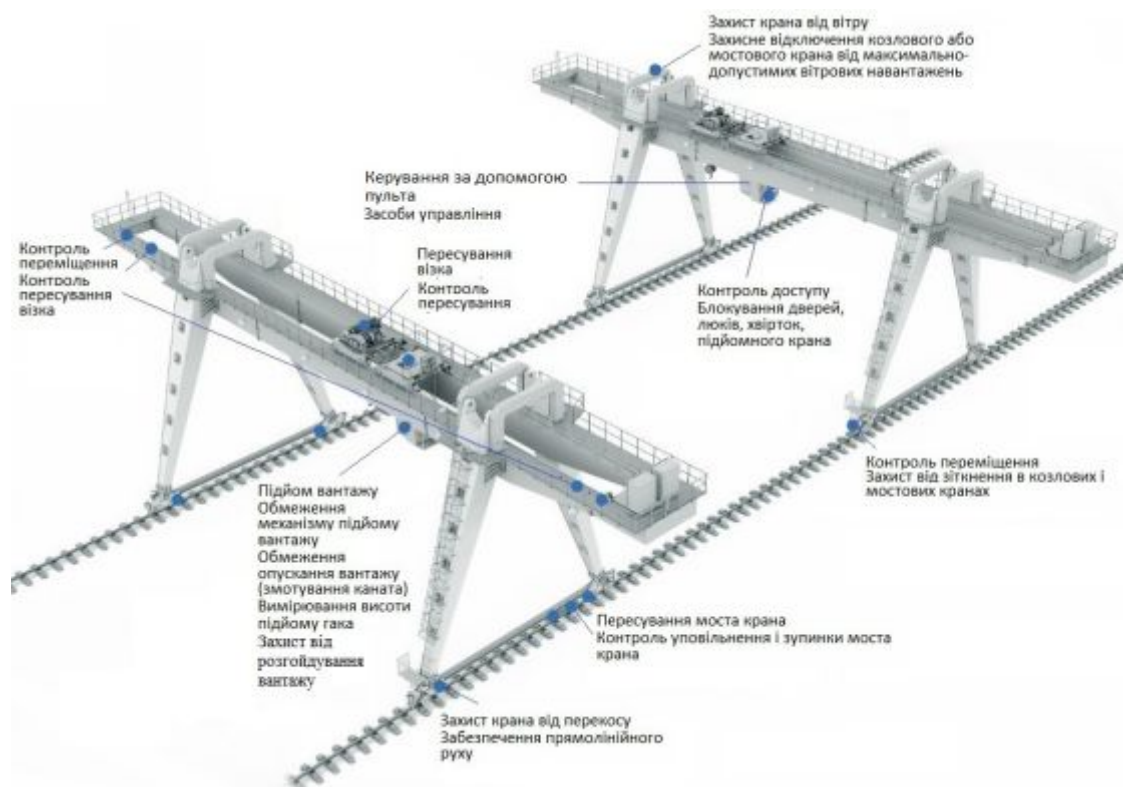


Рис. 1.2. Функції системи управління мостових та козлових кранів

Таким чином можна визначити основні функції, які вирішують сучасні системи управління вантажопідйомних машин:

- функції керування рухом окремих компонентів вантажопідйомних машин, які здійснюється виконавчими механізмами, з визначенням положення за допомогою відповідних датчиків;
- захисні функції, до яких можна віднести контроль за пересуванням у допустимих межах, безпечне гальмування, наприклад, уповільнення переміщення та зупинки крана, захист від перенавантаження, захист від розгойдування вантажу, контроль за безпечним доступом, захист від зіткнення, захист від вітру тощо;
- функції ручного керування як безпосередньо у кабіні крана, так і дистанційно за допомогою дротового та бездротового способів передачі даних.

Таким чином можна визначити основні функції, які вирішують сучасні системи управління вантажопідйомних машин:

- функції переміщення окремих компонентів вантажопідйомних машин керування які здійснюється виконавчими механізмами, з визначенням положення, що здійснюється за допомогою відповідних датчиків;
- захисні функції, до яких можна віднести контроль за пересуванням у допустимих межах, безпечне гальмування, наприклад, уповільнення переміщення та зупинки крана, захист від перенавантаження, контроль за безпечним доступом, захист від зіткнення, захист від вітру тощо;
- функції ручного керування як безпосередньо у кабіні крана, так і дистанційно за допомогою дротового та бездротового способів передачі даних.

Ряд фірм, які виробляють устаткування для кранів, розробляють системи управління, що враховують ці особливості.

Так фірмою Siemens розроблені системи керування для різних кранів [7].

Функції систем управління для портових кранів: базові функції, контроль розгойдування, система запобігання зіткнень вантажів (LCPS), система доведення при опусканні (FLS), позиціонування вантажного транспорту (TPS), система розпізнавання номерів контейнерів (CNRS), операційна система дистанційного керування (RCOS), система диспетчеризації терміналу, система управління кранами (CMS).

Функції систем управління для промислових кранів: система управління кранами (CMS), базові функції, контроль розгойдування, система запобігання зіткнень вантажів (LCPS).

Приклад системи керування краном з використанням обладнання фірми Siemens наведений на рис. 1.3.

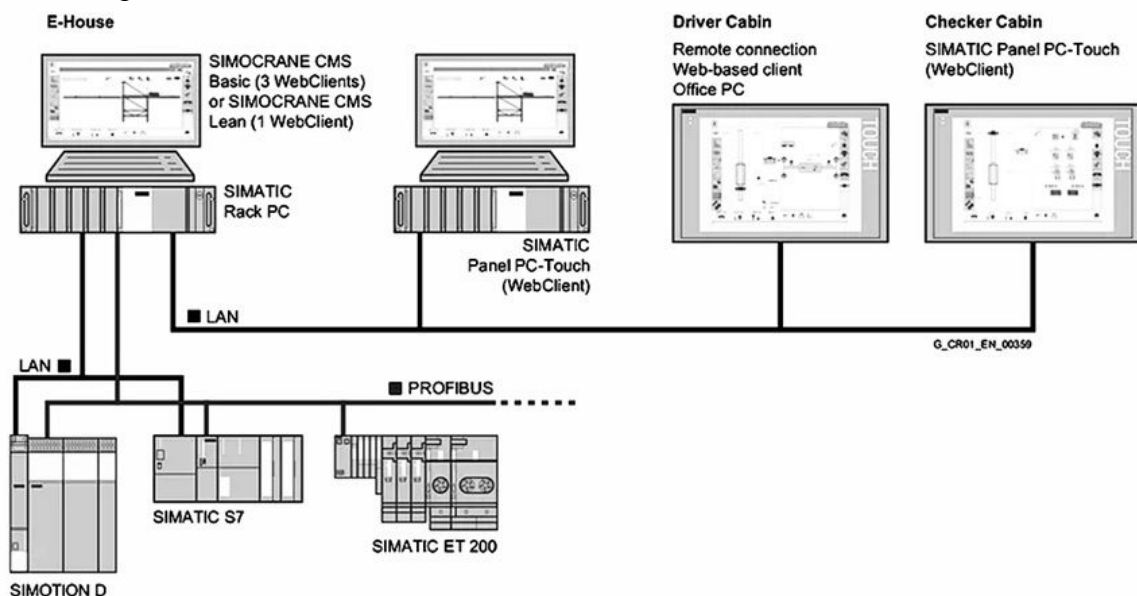


Рис. 1.3. Приклад системи керування краном з використанням обладнання фірми Siemens

1.2. Склад систем автоматизованого керування

Сучасні системи керування незалежно від рівня керування мають структуру [1], яка

наведена на рис. 1.4.

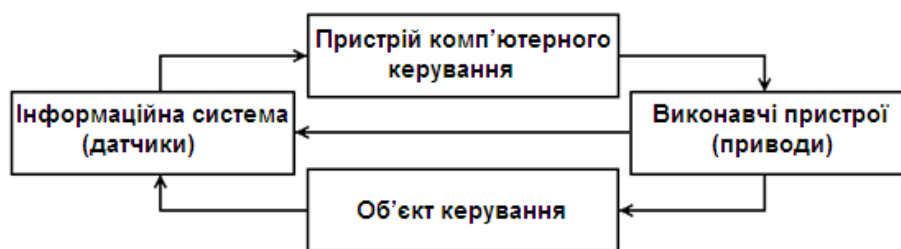


Рис. 1.4. Загальний вигляд системи керування

Вона складається з таких основних компонент:

- інформаційні системи або системи збору інформації (датчики), що дають інформацію про стан виконавчих пристроїв, об'єкта керування та визначають вихідні дані для послідовності дій та прийняття рішень;
- пристрій комп'ютерного керування, що згідно з алгоритмом керування та інформації, отриманої від інформаційної системи, формує виконуючі дії для виконавчих пристроїв;
- виконавчі пристрої, наприклад, приводи, що здійснюють рух окремих механізмів та виконують різні технологічні функції;
- об'єкт керування, на який впливають виконавчі пристрої, а той в свою чергу впливає на виконавчі пристрої та датчики.

Механічні компоненти технологічного обладнання та продукція у цьому випадку є об'єктом керування, датчики збирають інформацію про об'єкт керування, виконавчих пристроїв та надають її в пристрій керування, який обробляє цю інформацію та формує керуючі сигнали на виконавчі пристрої. Для більш ефективної роботи виконавчих пристроїв використовуються датчики внутрішньої інформації, наприклад датчики швидкості, положення, температури, тиску та інші.

Інформаційні системи або системи збору інформації, до яких належать датчики, складаються з чутливого елемента, який перетворює потрібну величину в електричний сигнал (первинний перетворювач), та перетворювача, який перетворює контрольовану або регульовану величину у вихідний сигнал, зручний для дистанційної передачі або для вводу у пристрій керування (вторинний перетворювач). При реалізації датчиків, де потрібна фізична величина безпосередньо перетворюється в електричну величину, використовуються електронні пристрої різної складності, наприклад, підсилювачі струму або напруги. Сучасні датчики можуть уявляти собою досить системи з досить складними алгоритмами обробки інформації, наприклад, локаційні ультразвукові датчики, датчики тиску, датчики швидкості на основі фото імпульсних датчиків, системи технічного зору, тактильні датчики тощо. У таких системах також використовуються комп'ютерні методи реалізації алгоритму обробки даних.

Виконавчі пристрої, де використовується регулювання вихідних параметрів, наприклад, швидкості переміщення, тиску, температури, також потребують засобів реалізації досить складних алгоритмів, що вирішується на основі комп'ютерних методів керування. Крім того виконавчі пристрої працюють з досить потужними електромеханічними пристроями, тому для формування вихідних сигналів використовуються силові модулі, які реалізуються на основі силових напівпровідникових приладів та інших дискретних електронних елементів.

Виходячи з цього можна виділити такі основні компоненти систем керування підйомно-транспортних машин та логістичних систем:

- різноманітні електронні компоненти;
- інформаційні системи та датчики;
- виконавчі пристрої та приводні системи;

- різноманітні системи комп'ютерного керування;
- системи керування та спостереження за ходом технологічного процесу;
- засоби реалізації розподілених та багаторівневих систем керування.

1.3. Основні принципи керування

Основні поняття теорії автоматичного керування.

Керування — процес приведення певного фізичного об'єкта в стан, що відповідає деякій меті [1, 2].

Мета — причина керування, що спричиняє дію на її досягнення. Дія на об'єкт управління призначена для досягнення мети керування.

Автоматичне керування — здійснення певних керуючих впливів на заданий об'єкт, необхідних і достатніх для його цілеспрямованого функціонування із заданою точністю без особистої участі людини.

Система автоматичного керування (САК) включає об'єкт керування і пристрій керування.

Пристрій керування — сукупність технічних засобів, за допомогою яких здійснюється керування технологічними параметрами об'єкта керування.

Об'єкт керування (ОК) — це пристрій (або сукупність пристроїв), що здійснює технічний процес і потребує спеціально організованих впливів ззовні для забезпечення свого алгоритму функціонування.

Алгоритм функціонування — це сукупність правил, що ведуть до правильного виконання технічного процесу в якому-небудь пристрої або в сукупності пристроїв (системі).

Алгоритм керування — це сукупність приписань, що визначають характер впливів на ОК з метою забезпечення його алгоритму функціонування.

Регулювання — окремий випадок керування, мета якого полягає в підтримці на заданому рівні однієї чи декількох регульованих величин.

Регулятор — перетворює похибку регулювання $\varepsilon(t)$ в керуючий вплив на об'єкт керування.

Задаючий вплив $g(t)$ — визначає необхідний закон регулювання вихідної величини.

Похибка регулювання $\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$, різниця між необхідним значенням регульованої величини і поточним її значенням. Якщо $\varepsilon(t)$ відмінна від нуля, то цей сигнал поступає на вхід регулятора, який формує таку регулюючу дію, щоб у результаті з часом отримати $\varepsilon(t) = 0$.

Збурюючий вплив $f(t)$ — порушує необхідний функціональний зв'язок. Причини збурень — зміна навантаження та завади (зовнішні і внутрішні).

Функціональна схема

Функціональна схема елемента — схема системи автоматичного регулювання і керування, складена за функціями, яку виконує цей елемент.



Рис. 1.5. Типова схема системи автоматичного керування

Принципи управління

Існують різні принципи управління, а саме.

Управління за принципом відхилення керованої змінної: — зворотний зв'язок утворює замкнутий контур. На керований об'єкт подається дія, пропорційна сумі (різниці) між вихідною змінною і заданим значенням так, щоб ця сума (різниця) зменшувалася.

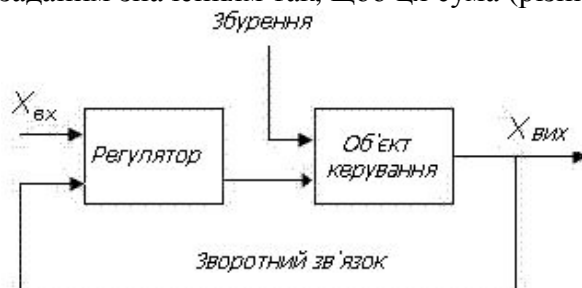


Рис. 1.6. Принцип відхилення керованої змінної

Управління за принципом компенсації збурень: — на вхід регулятора потрапляє сигнал, пропорційний дії, що збурює. Відсутня залежність між керуючою дією і результатом цієї дії на об'єкт.

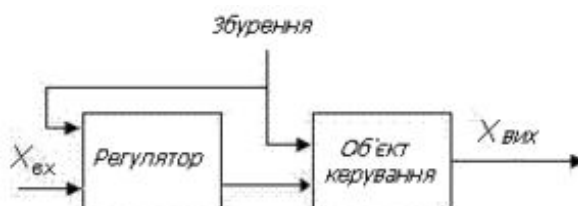


Рис. 1.7. Принцип компенсації збурень

Управління за принципом комбінованого регулювання: — використовується одночасно регулювання за збуренням і за відхиленням, що забезпечує найвищу точність управління.



Рис. 1.8. Принцип комбінованого регулювання

Класифікація систем автоматичного керування

За характером керування розрізняють системи керування та системи регулювання.

За характером дії розрізняють системи безперервної дії та системи дискретної дії.

За використанням інформації про стан об'єкта керування розрізняють керування зі зворотним зв'язком та керування без зворотного зв'язку.

За ступенем використання інформації про параметри і структуру об'єкта керування розрізняють адаптивний, не адаптивний, пошуковий, безпошуковий, з ідентифікацією, із змінною структурою.

За видом математичної моделі перетворення координат розрізняють лінійні, нелінійні (релейні, логічні та інші)

За видом керуючих дій аналогові, дискретні (перервні, імпульсні, цифрові)

За ступенем участі людини розрізняють ручні, автоматичні, автоматизовані (людина в управлінні).

За законом зміни вихідної змінної розрізняють *стабілізуюча*: задане значення вихідної змінної є незмінним, *програмна*: вихідна змінна змінюється за певною, заздалегідь заданою програмою, *слідкуюча*: задане значення вихідної змінної залежить від значення невідомої заздалегідь змінної на вході автоматичної системи.

За кількістю керованих і регульованих змінних розрізняють одновимірні, багатовимірні.

За ступенем самоналагодження, адаптації, оптимізації і інтелектуальності розрізняють екстремальні, самоналагоджувальні, інтелектуальні.

За дією чутливого (вимірювального) елемента на регулюючий орган розрізняють системи прямого керування, системи непрямого керування.

Контрольні питання

1. Загальна структура систем автоматизованого керування.
2. Склад систем автоматизованого керування.
3. Основні поняття теорії автоматичного керування.
4. Функціональна системи автоматичного регулювання і керування
5. Основні принципи управління.

Лекція 2. Моделі лінійних об'єктів керування

2.1. Основні поняття, зв'язок входу і виходу

Вихідні сигнали — параметри, що характеризують стан об'єкта керування і істотні для процесу керування [1, 2].

Виходи системи — точки системи, в яких вихідні сигнали можуть спостерігатися у вигляді певних фізичних величин.

Входи системи — точки системи, в яких прикладені зовнішні дії.

Вхідні сигнали:

- завади — сигнали, не пов'язані з джерелами інформації про завдання і результати управління.
- корисні — сигнали, пов'язані з джерелами інформації про завдання і результати управління.

Системи:

- одновимірні — системи з одним входом і одним виходом.
- багатовимірні — системи з декількома входами і виходами.

Моделі лінійних об'єктів керування

Детерміновані, що можуть бути представлені у такому вигляді

$$W_0(p) = \frac{A(p)}{B(p)}, \quad W_0(p) = \frac{K_0}{T_0 p} e^{-p\tau}.$$

Статистичні

Характеризуються набором статистичних параметрів і функцій розподілу. Для їхнього дослідження використовуються методи математичної статистики.

Адаптивні

Використовують для опису об'єкта керування детерміновано-стохастичні методи.

Види дій та функції для моделювання об'єктів керування

- Одинична сходящова функція - спеціальна математична функція, чие значення дорівнює нулю для від'ємних аргументів і одиниці для додатних аргументів
- Одинична імпульсна функція - похідна від одиничної сходящової функції. Характеризує собою імпульс нескінченно великої амплітуди, що протікає за нескінченно малий проміжок часу. Геометричний сенс - площа, обмежена цією функцією, рівна 1.
- Перехідна функція - це реакція системи на одиничний сходящовий сигнал.
- Вагова функція - це реакція системи на одиничний імпульс.
- Передавальна функція - відношення перетворення Лапласа вихідного сигналу до перетворення Лапласа вхідного за нульових початкових умов і нульових зовнішніх збурень.

2.2. Диференціальні рівняння

Математичний опис системи роблять на основі опису всіх вхідних у неї елементів. Першим кроком у складанні моделі окремого елемента системи автоматизованого керування є виявлення фізичних законів, що визначають його поведження. Математичний вираз цих законів і є шуканою моделлю. Потім шляхом виключення проміжних змінних одержують модель системи автоматизованого керування в цілому.

Для системи автоматизованого керування, що має один вхід $x(t)$ і один вихід $y(t)$, математичну модель можна представити у вигляді

$$F(x(t), x'(t), y(t), y'(t), y''(t), \dots, y^{(n)}(t)) = 0.$$

Це рівняння називають рівнянням динаміки, тому що воно враховує вхідні змінні у вигляді функцій часу. Рівняння динаміки описує фізичні процеси в системі як у сталих, так і в перехідних режимах при будь-яких зовнішніх впливах. Skorиставшись цією математичною моделлю, можна виконувати аналіз властивостей системи, зокрема, можна визначати ступінь стійкості, точність, кількісні показники перехідних процесів.

Рівняння динаміки, якщо в ньому всі похідні взяти рівними нулю, перетворюється в рівняння статички:

$$F(x_0, 0, y_0, 0, 0, \dots, 0) = 0.$$

Рівняння статички описує фізичні процеси в системі в сталому режимі при постійних зовнішніх впливах. Звичайно це рівняння є алгебраїчним. З рівняння статички замкнутої системи може бути визначена, зокрема, статична помилка системи. Сказане справедливо для випадку, коли рівняння динаміки містить крім похідних вихідної величини і саму вихідну величину $y(t)$. Якщо ж $y(t)$ відсутня, то для одержання з рівняння динаміки рівняння статички потрібно прийняти всі похідні рівними нулю, крім похідної $y(t)$ найнижчого порядку. У цьому випадку рівняння статички встановлює зв'язок між цією похідною і вхідним впливом.

Для лінійної стаціонарної системи автоматизованого керування рівняння динаміки є лінійним неоднорідним диференціальним рівнянням вигляду

$$a_0 y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n y(t) = b_0 u^{(m)}(t) + b_1 u^{(m-1)}(t) + \dots + b_m u(t),$$

де $u(t)$ і $y(t)$ – відповідно, вхідна і вихідна величини, що змінюються в часі; a_i, b_j – постійні коефіцієнти, обумовлені параметрами системи; n – порядок рівняння.

Для визначення рішення цього рівняння необхідно задати n початкових умов (значень вихідної величини і її похідних при $t_0 = 0$):

$$y(t_0) = y(0), y'(t_0) = y'(0), \dots, y^{(n-1)}(t_0) = y^{(n-1)}(0)$$

і вигляд вхідної величини $u(t)$.

Однієї з основних особливостей лінійних систем є те, що до них застосовується принцип суперпозиції, відповідно до якого реакція системи на сукупність збурювань визначається сумою реакцій на кожне збурювання окремо. Ця особливість має велике практичне значення, тому що в цьому разі значно спрощуються багато розрахунків.

При дослідженні систем автоматизованого керування, особливо при порівнянні властивостей систем і їхніх елементів між собою, зручно подати рівняння в так званій стандартній формі. При цьому використовують наступні правила:

- вихідну величину і всі її похідні записують у лівій частині рівняння, а всі інші члени – у правій;
- коефіцієнт при вихідній величині шляхом тотожних перетворень роблять рівним одиниці;
- якщо в правій частині є похідні, то члени, що містять певну вихідну величину і її похідні, поєднують в одну групу, а коефіцієнт при цій величині виносять за дужки.

Наприклад, вихідне рівняння системи має вигляд

$$a_0 y''(t) + a_1 y'(t) + a_2 y(t) = b_0 u'(t) + b_1 u(t) + c_0 f(t).$$

Якщо представити це рівняння у стандартній формі, то маємо:

$$\frac{a_0}{a_2} y''(t) + \frac{a_1}{a_2} y'(t) + y(t) = \frac{b_1}{a_2} \left[\frac{b_0}{b_1} u'(t) + u(t) \right] + \frac{c_0}{a_2} f(t).$$

Уведемо позначення:

$$a_0/a_2 = T_0^2; \quad a_1/a_2 = T_1; \quad b_1/a_2 = k_1; \quad b_0/b_1 = T_2; \quad c_0/a_2 = k_2.$$

Тоді

$$T_0^2 y''(t) + T_1 y'(t) + y(t) = k_1 [T_2 u'(t) + u(t)] + k_2 f(t).$$

Коефіцієнти T_0, T_1 і T_2 мають розмірність часу і називаються постійними часу. Їхні значення визначають швидкість і характер протікання перехідних процесів.

Коефіцієнти k_1 і k_2 називаються коефіцієнтами передачі, мають розмірність і визначають взаємозв'язок змінних у сталих статичних режимах.

2.3. Перехідна функція та імпульсна характеристика

Перехідна функція — це зміна вихідної величини у часі при подачі на вхід одиничного ступінчастого впливу (перехід системи регулювання від одного сталого режиму до іншого) (рис. 2.1).

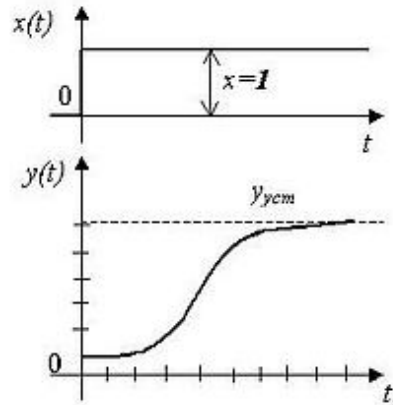


Рис. 2.1. Перехідна характеристика

Перехідна характеристика — це графічне зображення перехідної функції.
Крива розгону — це перехідна характеристика керованого об'єкта.

Імпульсна перехідна функція (вагова функція, імпульсна характеристика) — вихідний сигнал динамічної системи як реакція на вхідний сигнал у вигляді дельта-функції Дірака (рис.2.2).

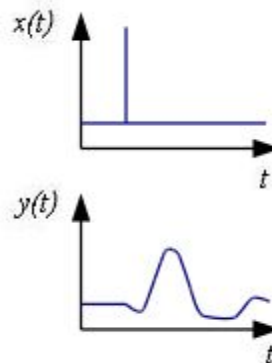


Рис. 2.2. Імпульсна характеристика

У цифрових системах вхідний сигнал являє собою простий імпульс мінімальної ширини (рівного періоду дискретизації для дискретних систем) та максимальної амплітуди.

Вихідний сигнал системи може бути отриманий як згортка його вхідного сигналу та імпульсної характеристики системи.

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau)x(t - \tau)d\tau,$$

або, у випадку цифрової системи

$$y[n] = \sum_{k=0}^n h[k]x[n - k], n = 0, 1, 2, \dots$$

Для реалізуємості системи її імпульсна перехідна функція повинна задовольняти умові: $h(t) = 0$ при $t < 0$.

У протилежному випадку система нереалізуєма: сигнал-відгук з'являється раніше вхідного сигналу.

2.4. Передавальна функція та перетворення Лапласа

У математиці під операційним вирахуванням мається на увазі розділ математичного аналізу, в якому розробляються методи вирішення лінійних диференціальних, різницевих і деяких типів інтегральних рівнянь. Операційне вирахування базується на ідеї заміни одних функцій на інші, одержуваних за певними правилами, наприклад, використовуючи перетворення Лапласа або перетворення Фур'є.

У ТАК саме широке застосування знайшов операційний метод опису, заснований на використанні інтегрального перетворення Лапласа (L -перетворення):

$$F(s) = L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt.$$

Це перетворення встановлює відповідність між функцією $f(t)$ дійсної змінної t і функцією $F(s)$ комплексної змінної $s = \alpha + j\beta$. При цьому $f(t)$ називають оригіналом, а $F(s)$ - зображенням.

Достатніми умовами існування є наступні вимоги:

- функція $f(t)$ повинна бути однозначною і безперервною при всіх $t \geq 0$, безперервність може бути порушена тільки в окремих точках, що є точками розриву безперервності першого роду;

- функція $f(t) = 0$ для всіх $t < 0$;

- функція $f(t)$ повинна мати обмежений порядок зростання, тобто повинні бути такі два постійних числа $M > 0$ і $c > 0$, при яких $f(t) < Me^{ct}$ при $t > 0$.

Перетворення Лапласа ставить у відповідність операціям над оригіналами деякі певні операції над зображеннями.

Застосування перетворення Лапласа при математичному описі САК обумовлюється також тим, що з його допомогою визначають так звану передаточну функцію, що є самою компактною формою опису властивостей САК або її складових елементів.

Нехай дане лінійне неоднорідне рівняння САК

$$a_0 y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n y(t) = b_0 x^{(m)}(t) + b_1 x^{(m-1)}(t) + \dots + b_m x(t).$$

Перетворимо це рівняння за Лапласом при нульових початкових умовах:

$$a_0 s^n Y(s) + a_1 s^{n-1} Y(s) + \dots + a_n Y(s) = b_0 s^m X(s) + b_1 s^{m-1} X(s) + \dots + b_m X(s).$$

Скориставшись цим, можемо записати:

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n} = \frac{B(s)}{A(s)}.$$

Аналіз цього виразу показує, що співвідношення $Y(s) X(s)$ не залежить від вигляду вхідного впливу $x(t)$, а характеризує тільки власні властивості САК. Це співвідношення і називається передатною функцією та позначається $W(s)$.

Таким чином, передатною функцією називається відношення вихідної величини до вхідного, перетворених за Лапласом при нульових початкових умовах.

Передаточна функція встановлює зв'язок між вхідною і вихідною величинами як у динамічному, так і у статичному режимах.

Передаточна функція є функцією комплексної змінної $s = a + j\beta$, котра може при деяких значеннях s обернутися в нуль або в нескінченність. Значення змінної s , при якому $W(s) = 0$, називається нулем, а значення, при якому $W(s) = \infty$, - полюсом передатної функції. З останнього виразу видно, що нулями є корені полінома $B(s)$, а полюсами - корені полінома $A(s)$.

Корені поліномів $B(s)$ і $A(s)$ можуть бути комплексними сполученими й речовинними. Якщо ці корені відомі, то відповідно до теореми Безу останній вираз можна подати у вигляді

$$W(s) = \frac{b_0 (s - \rho_1)(s - \rho_2) \dots (s - \rho_m)}{a_0 (s - \lambda_1)(s - \lambda_2) \dots (s - \lambda_n)},$$

де ρ_i - нулі, а λ_j - полюси $W(s)$.

Контрольні питання

1. Моделі лінійних об'єктів керування.
2. Основні поняття, зв'язок входу і виходу.
3. Диференціальні рівняння.
4. Перехідна функція та імпульсна характеристика.
5. Передавальна функція та перетворення Лапласа.

Лекція 3. Аналіз систем управління

3.1. Типові динамічні ланки

Функціональні елементи в автоматичних системах можуть мати всіляке конструктивне виконання і всілякі принципи дії. Але спільність математичних виразів, що зв'язують вхідні й вихідні величини цих елементів, дозволяє виділити обмежене число так званих типових алгоритмічних ланок, під якими розуміється штучно виділена частина САК, що відповідає деякому елементарному математичному алгоритму [1, 2].

Класифікацію типових ланок зручно здійснити, розглядаючи різні частки форми диференціального рівняння другого порядку.

$$a_0 y''(t) + a_1 y'(t) + a_2 y(t) = b_0 x'(t) + b_1 x(t).$$

У таблиці наведено значення коефіцієнтів рівняння і назви для ланок, реалізація яких має фізичний сенс.

№ п/ ч	Найменування ланки	a_0	a_1	a_2	b_0	b_1
1	Пропорційна	0	0	1	0	k
2	Інтегруюча	0	1	0	0	k
3	Диференціююча	0	0	1	k	0
4	Аперіодична 1-го порядку	0	T	1	0	k
5	Реальне інтегрую- ча	T	1	0	0	k
6	Реальне диферен- ціююча	0	T	1	k	0
7	Іздромна (пропор- ційно-інтегруюча)	0	1	0	k_1	k_2
8	Форсуюча (пропор- ційно – диференціююча)	0	0	1	kT	k
9	Колівальна	T^2	$2\xi T$	1	0	k

На практиці найбільш часто зустрічаються наступні шість типових ланок: пропорційна; інтегруюча; диференціююча; аперіодична 1-го порядку; форсуюча; колівальна.

Крім цього до основних типових ланок також відносять особливу ланку - запізнювання.

У наступній таблиці наведені рівняння ланки та передаточні функції для різних ланок. Ланки мають такі основні властивості:

- пропорційна ланка пропускає коливання всіх частот рівномірно;
- у інтегруючої ланки з ростом частоти амплітуда вихідних коливань зменшується, а зміщення фаз постійне;
- у диференціюючої ланки з ростом частоти амплітуда вихідних коливань збільшується, а зміщення фаз постійне;
- аперіодична ланка першого порядку є фільтром високих частот;
- форсуюча ланка є підсилювачем високих частот;
- колівальна ланка є фільтром високих частот;
- у ланки запізнення співвідношення амплітуд вхідного і вихідного сигналів не залежить від частоти, а відставання за фазою вихідного сигналу тим більше, чим більше частота.

Найменування ланки	Рівняння ланки	Передаточна функція
Пропорційна ланка	$y(t) = K \cdot x(t)$	$W(s) = K$
Інтегрувальна ланка	$y(t) = \frac{1}{T_n} \int_0^t x(\tau) d\tau$	$W(s) = \frac{1}{T_n s}$
Диференціювальна ланка	$y(t) = K \cdot \frac{dx(t)}{dt}$	$W(s) = Ks$
Реальна диференціювальна ланка	$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K \cdot \frac{dx(t)}{dt}$	$W(s) = \frac{Ks}{1 + Ts}$
Форсуюча ланка	$y(t) = K \cdot \left(x(t) + T \frac{dx(t)}{dt} \right)$	$W(s) = K \cdot (Ts + 1)$
Ланка чистого запізнення	$y(t) = x(t - \tau), \tau > 0$	$W(s) = e^{-\tau s}$
Аперіодична ланка першого порядку	$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K \cdot x(t)$	$W(s) = \frac{K}{Ts + 1}$
Аперіодична ланка другого порядку	$T_1 T_2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = Kx(t)$	$W(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)}$
Коливальна ланка	$T_k^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_d \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = Kx(t)$	$W(s) = \frac{K}{T_k^2 s^2 + T_d s + 1}$, $\frac{T_d}{T_k} < 2$
Консервативна ланка	$T^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + y(t) = Kx(t)$	$W(s) = \frac{K}{T^2 s^2 + 1}$

3.2. Структурні схеми

Систему управління можна розбити на блоки, які мають вхід і вихід (об'єкт, регулятор, привід, вимірювальна система). Для того, щоб показати взаємозв'язок цих блоків, використовують структурні схеми. На них кожен елемент зображується у вигляді прямокутника, всередині якого записується його передавальна функція. Вхід і вихід блоку показують відповідно стрілками «що входять» і «що виходять» (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Блоки системи управління

Існують дві форми запису:

операторна запис, коли передавальна функція записується як функція оператора диференціювання p , а входи і виходи блоків є функції часу;

запис в зображеннях, коли передавальна функція записується як функція комплексної змінної s , а для позначення входів і виходів використовують їх зображення по Лапласу.

Для підсумовуючих елементів використовують спеціальне позначення - коло, що розбите на сектори. Якщо сектор залитий чорним кольором, то сигнал, що надходить в нього віднімається, а не складається з іншими. Розгалуження сигналу позначається крапкою, як і радіотехніці (рис. 3.2).

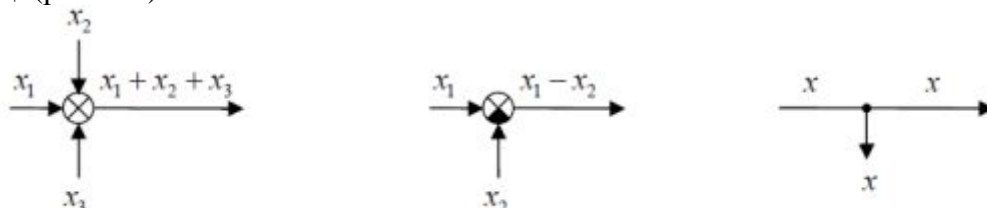


Рис. 3.2. Підсумовуючі елементи

На рис. 3.3 малюнку показана типова схема системи управління переміщення мобільного робота за курсом. Тут вхід x - заданий курс, вихід y - фактичний курс. Сигнали e , u і δ позначають відповідно помилку регулювання, сигнал управління і керуючий вплив приводу на об'єкт (кут повороту). Сигнал g - це обурення, а m - шум вимірювань.

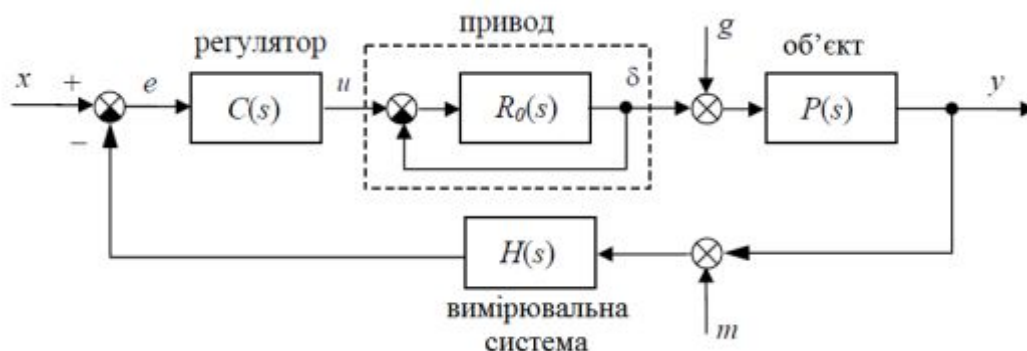


Рис. 3.3. Типова схема системи управління

У цій системі крім «великого» контуру управління (регулятор - привід - об'єкт) є ще внутрішній контур приводу (ланка з передавальною функцією $R_0(s)$ охоплено негативним зворотним зв'язком).

3.3. Стійкість систем управління

Однією з найважливіших характеристик автоматичної системи керування є стійкість. Цим поняттям характеризується працездатність системи. Система, що не володіє стійкістю, не здатна виконувати функції керування і має нульову або навіть негативну ефективність (тобто система шкідлива). Нестійка система може привести керований об'єкт до аварійного стану. Тому проблема стійкості систем є однією із центральних у теорії автоматичного керування.

Стійкість автоматичної системи - це властивість системи повертатися у вихідний стан рівноваги після припинення дії, яка вивела систему з цього стану.

Нестійкість автоматичних систем керування виникає, як правило, через дуже сильну дію позитивного зворотного зв'язку. Причиною динамічної нестійкості звичайно є значна інерційність елементів замкнутого контуру, через яку в режимі коливань системи сигнал зворотного зв'язку значно відстає від вхідного сигналу і виявляється з ним у фазі. Це означає, що зв'язок, виконаний конструктивно як негативний, проявляється як позитивний.

Розглянемо математичну сутність стійкості й нестійкості. Відповідно до даного вище фізичного визначення стійкість залежить тільки від характеру вільного руху системи. Вільний рух лінійної або лінеаризованої системи описується однорідним диференціальним рівнянням

$$a_0 y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n y(t) = 0,$$

де $y(t) = y_c(t)$ - вільна складова керованої величини системи.

Змушена складова вихідної величини, що залежить від вигляду зовнішнього впливу і правої частини диференціального рівняння, на стійкість системи не впливає.

Система є стійкою, якщо вільна складова $y_c(t)$ перехідного процесу з часом прагне до нуля, тобто якщо

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_c(t) = 0.$$

Очевидно, що при цьому вихідна величина системи буде прагнути до змущеної складової, обумовленої зовнішнім впливом і правою частиною однорідного диференціального рівняння. Стійкість у змісті вказаної умови прийнято називати асимптотичною.

Якщо вільна складова необмежено зростає, тобто якщо

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_c(t) = \infty.$$

то система нестійка.

Нарешті, якщо вільна складова не прагне ні до нуля, ні до нескінченності, то система перебуває на межі стійкості.

Знайдемо загальну умову, при якій система, описувана однорідним диференціальним рівнянням, стійка. Рішення рівняння дорівнює сумі

$$y_c(t) = \sum_{i=1}^n C_i y_i(t) = \sum_{i=1}^n C_i e^{p_i t},$$

де C_i - постійні, залежні від початкових умов; p_i - корені характеристичного рівняння

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0.$$

Корені характеристичного рівняння можуть бути дійсними ($p_i = \alpha_i$), мнимими ($p_i = j\beta_i$) і комплексними ($p_i = \alpha_i \pm j\beta_i$). При цьому комплексні корені завжди попарно сполучені між собою: якщо є корінь з позитивною мнимою частиною, то обов'язково існує корінь з такою же за модулем, але негативною мнимою частиною.

Загальну умову стійкості можна сформулювати так: для стійкості лінійної автоматичної системи керування необхідно і достатньо, щоб дійсні частини всіх коренів характеристичного рівняння системи були від'ємними. При цьому дійсні корені розглядаються як окремі випадок комплексних, в яких мнима частина дорівнює нулю. Якщо хоча б один корінь має позитивну дійсну частину, то система буде нестійкою.

Стійкість системи залежить тільки від вигляду коренів характеристичного рівняння і не залежить від характеру зовнішніх впливів на систему. Стійкість є внутрішня властивість системи.

Частотні критерії стійкості дозволяють судити про стійкість САК за виглядом їхніх частотних характеристик. Ці критерії є графоаналітичними і мають велике поширення, тому що дозволяють досить легко досліджувати стійкість систем високих порядків, а також мають просту геометричну інтерпретацію. До цієї групи відносяться критерії Михайлова і Найквіста.

Критерій Михайлова дозволяє судити про стійкість САУ довільної структури на підставі розгляду деякої геометричної фігури – годографа Михайлова. В основу критерію Михайлова покладений принцип аргументу - добуток комплексних чисел має аргумент, що дорівнює сумі аргументів всіх його співмножників.

Критерій стійкості Михайлова можна сформулювати так: для того, щоб САК була стійка, необхідно і достатньо, щоб годограф Михайлова при зміні частоти ω від 0 до ∞ , починався при $\omega = 0$ на речовинній позитивній півосі і обходив проти годинникової стрілки послідовно n квадрантів координатної площини, де n - порядок характеристичного рівняння, не обертаючись при цьому в нуль.

Критерій Найквіста дозволяє судити про стійкість замкнутої системи за АФЧХ її розімкнутого контура.

Критерій Найквіста можна сформулювати у такому вигляді: замкнута система буде стійкою, якщо АФЧХ розімкнутої системи, що має m правих коренів, при збільшенні ω від 0 до ∞ охопить точку $[-1 ; j0]$ $m/2$ раз у позитивному напрямку.

3.4. Регулятори

Сучасні вантажопідйомні широко використовують функції регулювання різних параметрів, наприклад, швидкості переміщення. Ця задача вирішується за допомогою теорії автоматичного регулювання, яка є основною частиною теорії управління.

Система автоматичного регулювання складається з регульованого об'єкта та елементів управління, які впливають на об'єкт при зміні однієї або декількох регульованих змінних. Під впливом вхідних сигналів (управління або обурення), змінюються регульовані змінні.

Мета регулювання полягає у формуванні таких законів, при яких вихідні регульовані змінні мало відрізняються від необхідних значень. Рішення даного завдання в багатьох випадках ускладнюється наявністю випадкових збурень (перешкод). При цьому необхідно вибирати такий закон регулювання, при якому сигнали керування проходили через систему з малими спотвореннями, а сигнали шуму практично не пропускалися.

Законом регулювання називають залежність керуючого сигналу, що виробляється регулятором, від сигналу розбалансу у часі.

Закон регулювання формується за допомогою зворотних зв'язків.

У реальних системах закон регулювання виконується з певними обмеженнями, які визначаються областю нормальних режимів роботи об'єкта, регулятора або корегувальних пристроїв, елементів системи.

У системах промислової автоматики найбільшого поширення найшов пропорційно-інтегрально-диференціальний (PID) регулятор (рис. 3.4) формує керуючий сигнал, який є сумою трьох складових: пропорційної P , інтегральної I та диференціальної D .

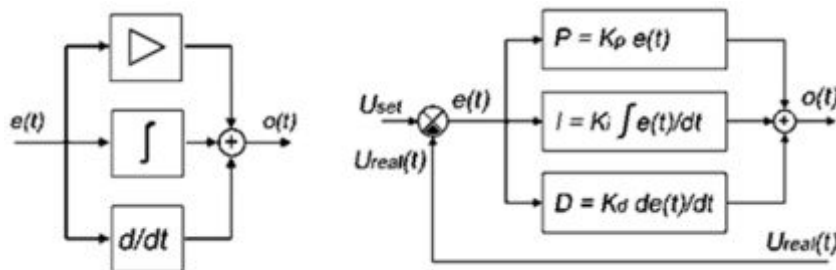


Рис. 3.4. Пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор

Рівняння ПІД-закону має такий вигляд:

$$o(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) \cdot dt + K_d \cdot \frac{d}{dt} e(t)$$

де $e(t) = U_{set} - U_{real}(t)$.

У дискретній формі, яка використовується в обчислювальних пристроях, це виглядає так:

$$o(n) = K_p \cdot e(n) + K_i \cdot T \sum_{i=0}^n e(i) + \frac{K_d}{T} (e(n) - e(n-1))$$

де T - період вибірки (дискретизації).

Пропорційна складова протидіє відхиленню регульованої величини від заданого значення. Для нашої системи регульована величина - це кут нахилу робота.

Інтегральна складова вносить в керуючий сигнал відповідь на накопичену помилку. По суті, це сума всіх помилок, помножених на період вибірки.

Диференціальна складова пропорційна швидкості зміни відхилення регульованої величини. Це різниця між поточною помилкою і попередньою помилкою, поділена на період вибірки. Ця складова призначена для протидії відхилень від цільового значення, яке прогнозується в майбутньому.

Помноживши кожен з цих складових на відповідні константи (K_p , K_i і K_d) і підсумовуючи результат, ми формуємо вихідний сигнал, який потім відправляється в якості команди для управління двигуном.

У цифровій формі це виглядає так:

$$Output = K_p * (error) + K_i * (errorSum) * dt + K_d * (currentError - previousError) / dt = K_p * (error) + K_i * (errorSum) * sampleTime + K_d * (currentError - previousError) / sampleTime,$$

де $sampleTime$ - час вибірки; $error = e(n)$; $currentError = e(n)$; $previousError = e(n-1)$;

$$errorSum = \sum_{k=0}^n e(k).$$

При використанні універсальних контролерів, наприклад, Ардуіно, використовується ПІД-регулятор, який реалізується за допомогою відповідної функції або бібліотеки.

Контрольні питання

1. Типові динамічні ланки.
2. Структурні схеми.
3. Стійкість систем управління.
4. Критерій стійкості
5. Регулятори.

Змістовий модуль 2. ІНФОРМАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ ВНУТРІШНЬОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН

Лекція 4. Вимірювальні перетворювачі інформаційних систем

4.1. Призначення та класифікація вимірювальних перетворювачів

Важливою складовою частиною систем керування ГВС є інформаційні системи або системи збору інформації (датчики), що дають інформацію про стан виконавчих пристроїв, об'єкта керування та визначають вихідні дані для послідовності дій та прийняття рішень [1].

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

Основним елементом датчика, який сприймає вимірювану величину і перетворює її в іншу, є **чутливий елемент**. Найчастіше вихідною величиною є електричний сигнал, який тим чи іншим шляхом можна одержати з переважно неелектричного технологічного параметра або параметра зовнішнього середовища.

Інформаційні системи по функціональному призначенню можна розділити умовно на дві групи: датчики стану технологічного обладнання (датчики внутрішньої інформації) та датчики стану об'єкта керування (датчики зовнішньої інформації).

Датчики стану технологічного обладнання зазначені для вимірювання внутрішніх параметрів та окремих його компонент або для отримання іншої інформації про внутрішній стан технологічного обладнання. До датчиків внутрішньої інформації можна віднести датчики положення, датчики швидкості, датчики обертового моменту, температури двигунів тощо.

Датчики стану об'єкта керування зазначені для збору інформації про стан об'єкта керування, наприклад, датчики тиску, ваги, датчики наявності об'єкту або відстані до нього, системи технічного зору та локаційні датчики.

У загальному вигляді датчики, які дають інформацію про стан об'єкту керування, складається з первинного перетворювача або чутливого елемента, який перетворює вимірювальну фізичну величину в електричний сигнал, та вторинного перетворювача, який перетворює цей електричний сигнал у вихідний сигнал, зручний для дистанційної передачі або для вводу у пристрій керування (рис. 4.1).

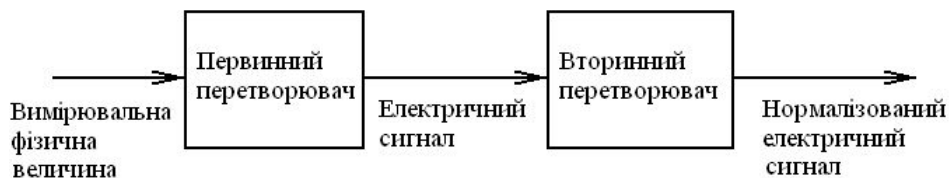


Рис. 4.1. Датчик

На вхід **первинного перетворювача** поступає вимірювальна фізична величина, котру він перетворює в електричний сигнал (струм, напругу, тощо).

Цей сигнал поступає на **вторинний перетворювач**, що перетворює його у нормалізований вигляд, придатний для введення в обчислювальний пристрій або для передачі за допомогою локальних мереж.

Вторинні перетворювачі можуть виконувати досить складні функції, наприклад, обробку зображення, і будуватися на основі обчислювальних пристроїв.

В деяких випадках датчик може представляти собою досить складну інформаційну систему, яка складається з набору чутливих елементів та досить складної системи обробки отриманих даних. К таким системам можна віднести локаційні датчики, системи технічного зору, тактильні та силомоментні датчики. У деяких випадках датчики випромінюють сигнал, а потім обробляють сигнал, відбитий від об'єкту. Цей принцип використовується, наприклад, у оптичних та ультразвукових датчиків.

Основним елементом датчика, який сприймає вимірювану величину і перетворює її в іншу, є чутливий елемент. Найчастіше вихідною величиною є електричний сигнал, який тим

чи іншим шляхом можна одержати з переважно неелектричного технологічного параметра.

За принципом одержання вихідного сигналу є дві групи датчиків: пасивні (параметричні) та активні (генераторні). Перші під дією вхідного сигналу змінюють свій параметр, другі створюють інший вид енергії, яка залежить від вхідного сигналу. До активних датчиків можна також віднести датчики, які обробляють сигнали, що випромінюються датчиком і відбиваються від об'єкта.

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

Контактні датчики, що вступають у фізичний контакт з об'єктом, наприклад, кінцеві вимикачі.

Безконтактні датчики, що здійснюють дистанційне вимірювання параметра об'єкту, наприклад, індуктивні (а) та ємкісні (б) датчики положення.

За характером вихідного сигналу датчики поділяють на такі:

дискретні датчики з дискретними вихідними сигналами, в яких при плавній зміні вимірюваної величини отримаємо стрибковий вихідний сигнал змінюється, що може приймати лише два значення;

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

датчики з цифровими сигналами, де інформація представляється у вигляді цифрового коду;

датчики з імпульсним виходом, де інформація представляється у вигляді послідовності імпульсів (наприклад, фото-імпульсні датчики).

Підключення датчиків здійснюється шляхом підключення до сигнальних входів контролерів, або за допомогою мережі зв'язку (рис. 4.2).

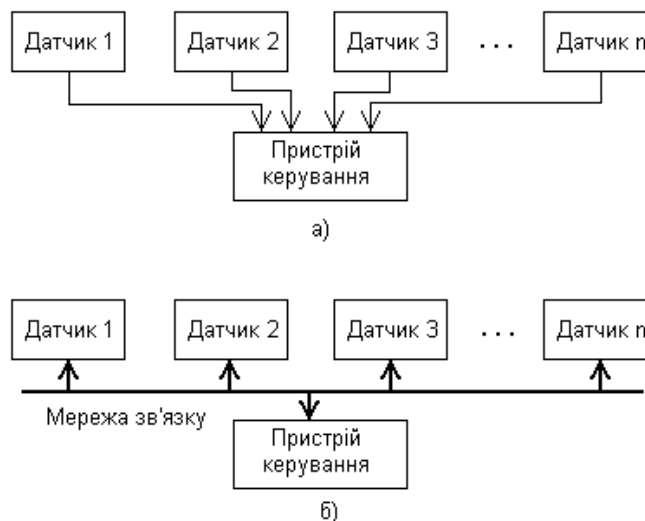


Рис. 4.2. Засоби підключення датчиків: а – до сигнальних входів, б – до мережі зв'язку

У наш час є можливість використовувати у складі датчика мікропроцесорні пристрої, які дозволяють робити досить складну обробку сигналів та перетворення їх у форму, придатну для передавання інформації за допомогою мереж зв'язку у послідовному коді.

Підключення датчиків до мережі зв'язку дозволяє значно спростити лінії, які передають дані, та значно зменшити кількість входів пристрою керування.

Одним з таких засобів (інтерфейсів) для підключення датчиків та виконуючих пристроїв, так званий AS-i, є комунікаційною системою, зазначену для використання на самому нижчому рівні промислових автоматизованих систем – на рівні керування процесом (рис. 4.3).

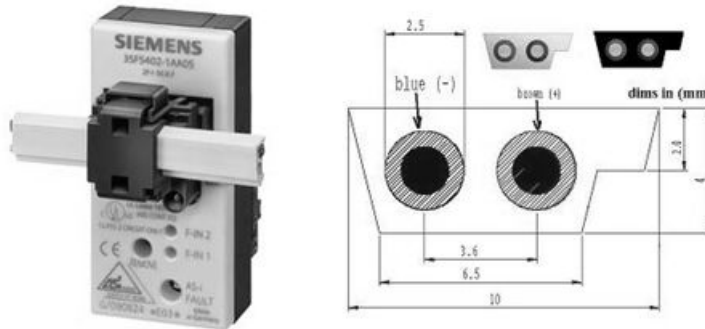


Рис. 4.3. AS-інтерфейс

AS-інтерфейс дозволяє замість розвинутої мережі з'єднувальних кабелів використати один кабель AS-інтерфейсу.

За допомогою цього AS-і кабелю та пристрою підключення звичайні датчики можна з'єднати з керуючим пристроєм.

Цей кабель має дві жили та призначений для одночасної передачі сигналів та напруги живлення.

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

Системи чутливості або датчики зовнішньої інформації на відміну від датчиків внутрішньої інформації повинні виконувати складні алгоритми обробки сигналів і тому мають у своєму складі досить складні обчислювальні пристрої, які працюють незалежно від системи керування роботом, здійснюючи лише функції обміну даними.

До таких систем можна віднести, наприклад, системи технічного зору та локаційні датчики.

4.2. Основні характеристики вимірювальних перетворювачів

Основною характеристикою аналогового датчика є залежність вихідної величини Y від вхідної величини X , яка може бути лінійною або нелінійною (номінальна статична характеристика перетворення). Для лінійної характеристики відношення

$$Y/X=K$$

називається коефіцієнтом перетворення або коефіцієнтом пропорційності лінійної залежності вхідного і вихідного сигналів. Чутливість датчика це відношення приросту вихідного сигналу до відповідного йому приросту вхідного сигналу (для випадку лінійної залежності чутливість збігається з коефіцієнтом перетворення). Якщо характеристика датчика нелінійна, то користуються відношенням

$$\Delta Y/\Delta X=S.$$

Похибка вимірювального перетворення це відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини.

Статична характеристика датчика показує залежність зміни вихідної величини від зміни вхідної величини в усталеному режимі (рис. 4.2, а). Динамічна характеристика показує перехідний процес вихідної величини $y = f(t)$ при стрибковоподібній зміні вхідної величини (рис. 4.2, б).

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

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

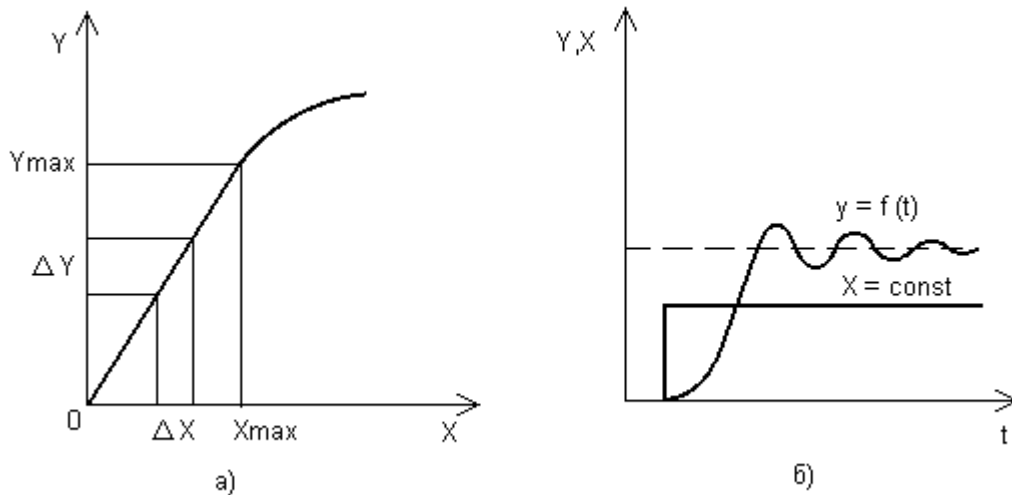


Рис. 4.2. Характеристики датчика: а – статична; б - динамічна

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

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

Одним з таких інтерфейсів для підключення датчиків та виконуючих пристроїв, так званий AS–і, є комунікаційною системою, зазначену для використання на самому нижчому рівні промислових автоматизованих систем – на рівні керування процесом. AS–інтерфейс дозволяє замість розвинутої мережі з'єднувальних кабелів використати один кабель AS–інтерфейсу. За допомогою цього AS–і кабелю та пристрою підключення звичайні датчики можна з'єднати з керуючим пристроєм. Цей кабель має дві жили та призначений для одночасної передачі сигналів та напруги живлення.

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

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

Контрольні питання

1. Загальна структура вимірювальних перетворювачів інформаційних систем.
2. Призначення та класифікація вимірювальних перетворювачів.
3. Типи датчиків за характером вихідного сигналу.
4. AS–інтерфейс.
5. Основні характеристики вимірювальних перетворювачів.

Лекція 5. Контактні та безконтактні датчики положення

5.1. Контактні датчики положення

У контактних датчиках фізичний вплив на чутливий елемент перетворюється в електричний сигнал [1].

Наприклад, у найпростіших контактних датчиках механічне переміщення перетворюється в замкнений або розімкнений стан електричних контактів, які релейно змінюють опір у зовнішньому колі. До них належать шляхові та кінцеві вимикачі або перемикачі, які використовуються у схемах автоматики для керування електроприводами або сигналізації положення механізмів.

На рис. 5.1 наведено зовнішній вигляд контактного датчика та приклад його застосування для сигналізації кінцевого положення рухомої деталі механізму. Аналогічно може бути побудований шляховий датчик, який спрацьовує у проміжних пунктах переміщення деталі.

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

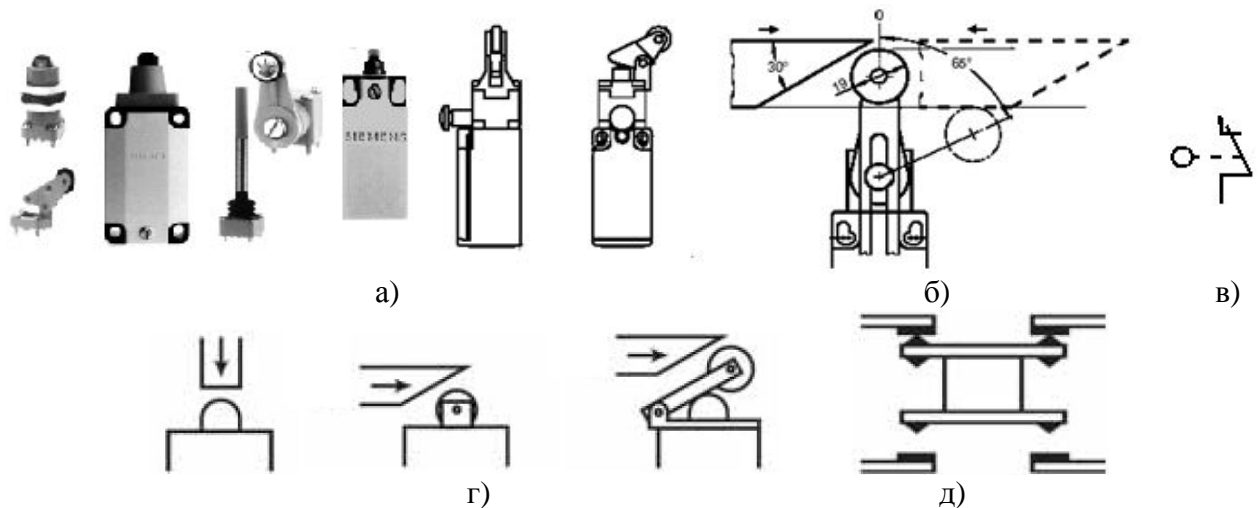


Рис. 5.1. Зовнішній вигляд контактної датчика (а), приклад його застосування (б), умовне позначення на електричній схемі (в), варіанти спрацювання (г) та конструкція контактів (д)

На рис. 5.2 наведений приклад використання кінцевих вимикачів для обмеження переміщення (а) та визначення позиції (б).

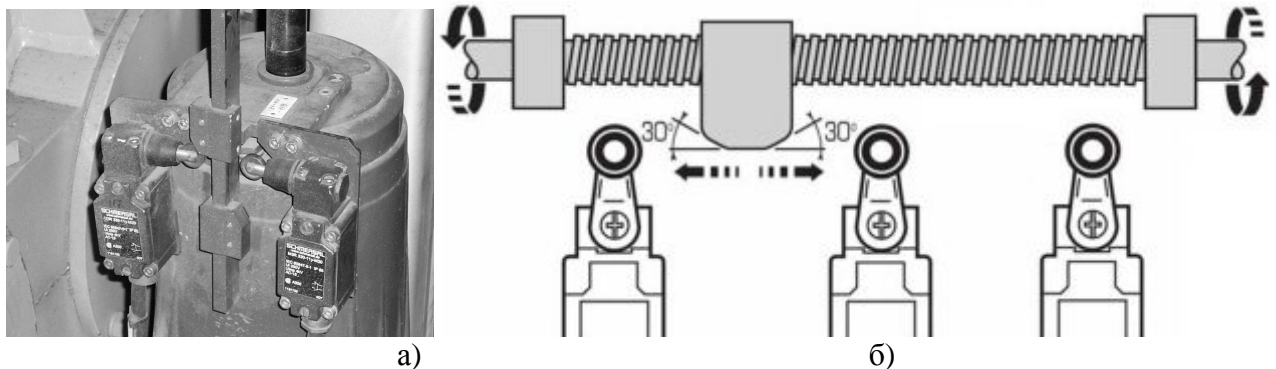


Рис. 5.2. Використання кінцевих вимикачів для обмеження переміщення (а) та визначення позиції (б)

5.2. Індуктивні вимірювальні перетворювачі

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

У датчиках із щілинними чутливими елементами першої групи (рис. 5.3, а) металева пластина (впливаючий елемент) проходить в щілині між котушками чутливого елемента. В датчиках з площинними чутливими елементами щілина відсутня і впливаючий елемент проходить біля котушок на заданій відстані.

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

В датчиках з площинними чутливими елементами впливаючий металевий елемент проходить біля котушок на заданій відстані. Зовнішній вигляд таких датчиків наведено на рис. 5.3, б.

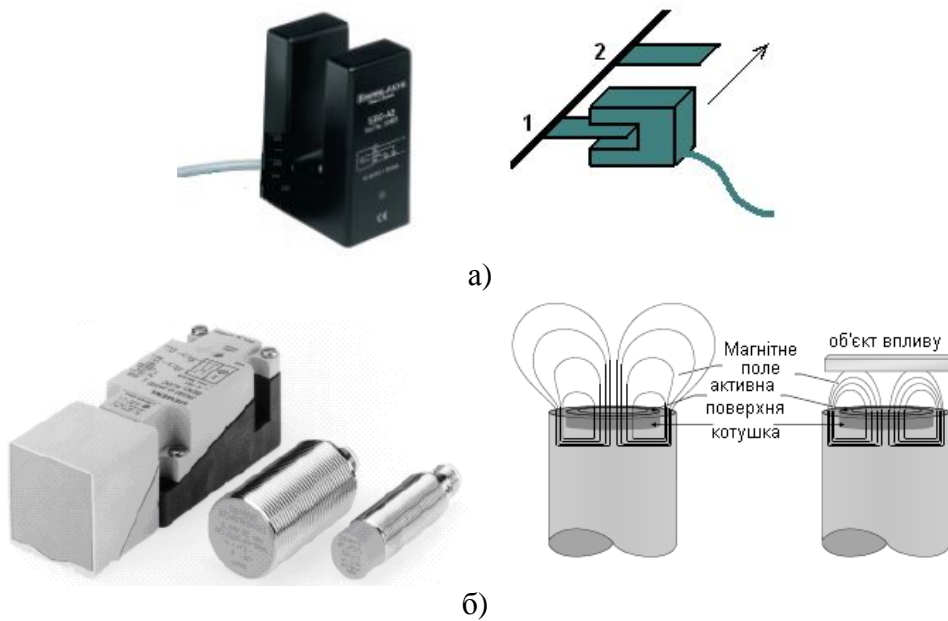


Рис. 5.3. Індуктивні датчики з щілинним чутливим елементом (а) та площинними чутливими елементами (б)

Відрізняють різні схеми підключення датчиків в залежності від типу та кількості вихідних сигналів. На рис.5.4.наведені схеми двох- (а), трьох- (б) та чотирьохпроводного (в) підключення.

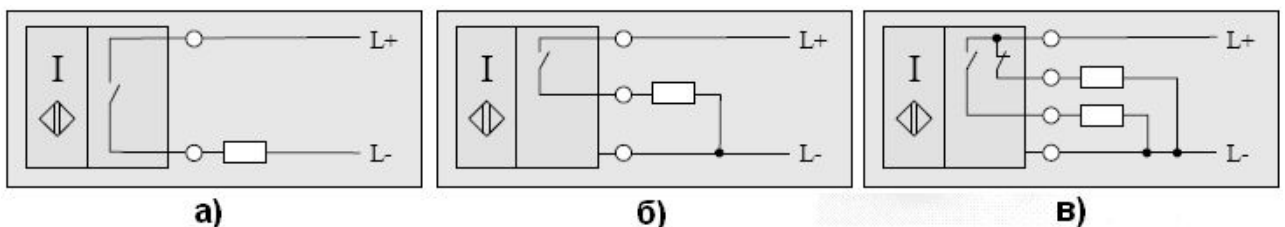


Рис. 5.4. Схеми двох- (а), трьох- (б) та чотирьохпроводного (в) підключення

За допомогою індуктивних датчиків, з відстанню спрацьовування від 0 до 4 мм вирішується контроль змотування каната.

Датчик встановлюється навпроти вантажного барабана і реагує на наявність або відсутність витоків каната на певній його ділянці.

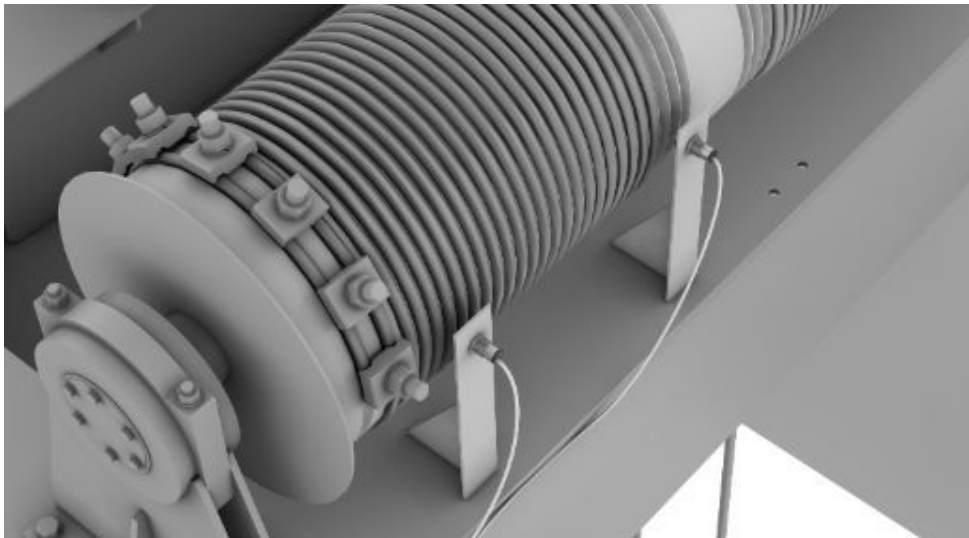


Рис. 5.5. Контроль змотування каната за допомогою індуктивних датчиків

На рис. 5.6 показана можливість використання індуктивних датчиків для визначення лінійного та кругового переміщення.

У цьому випадку при переміщенні датчик формує послідовність імпульсів, кількість яких визначає позицію від початку руху. Кількість імпульсів за одиницю часу дає швидкість переміщення, а для кругового переміщення дозволяє визначити кут обертання або кількість обертів.



Рис. 5.6.. Використання індуктивних датчиків для визначення лінійного та кругового переміщення

У пристрій гальмування візка крана входять електричні пристрої та апарати, що забезпечують уповільнення і зупинку механізму пересування візка. Одним з таких пристроїв є кінцевий вимикач. Кінцеві вимикачі забезпечують своєчасне уповільнення і зупинка візка крана з метою запобігання її зіткнення з тупиковими упорами.

Реалізація рішення можлива за допомогою індуктивних датчиків, що встановлюються на крайніх допустимих позиціях уповільнення і зупинки візка (рис. 5.7).

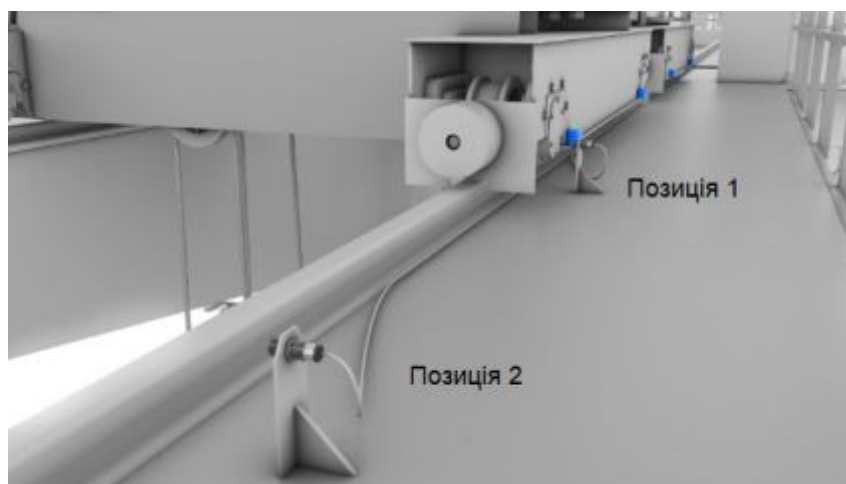


Рис. 5.7. Пристрій гальмування візка

На візок крана закріплюються металеві прапорці. Коли прапорці проходять повз датчиків, датчики подають сигнал на ПЛК (програмований логічний контролер), який реалізує алгоритм включення / відключення приводного двигуна візка. Так при переміщенні вантажного візка в зону чутливості датчика, встановленого в першому крайньому положенні, відбувається уповільнення. А при переміщенні візка в зону чутливості датчика, встановленого у другій позиції - остаточна зупинка.

5.3. Оптичні та ультразвукові датчики положення

В оптичних (фотоелектричних) датчиках зміна вихідного параметра (струм, напруга) відбувається залежно від зміни сили світла, яке падає на датчик. Оптичні датчики положення можуть працювати на відбивання - датчики відбиваючої дії (рис. 5.8, а), на проходження - датчики однонаправленої дії з відокремленими джерелом та приймачем світла (рис. 5.8, б) або щілинні датчики (рис. 5.8, в).

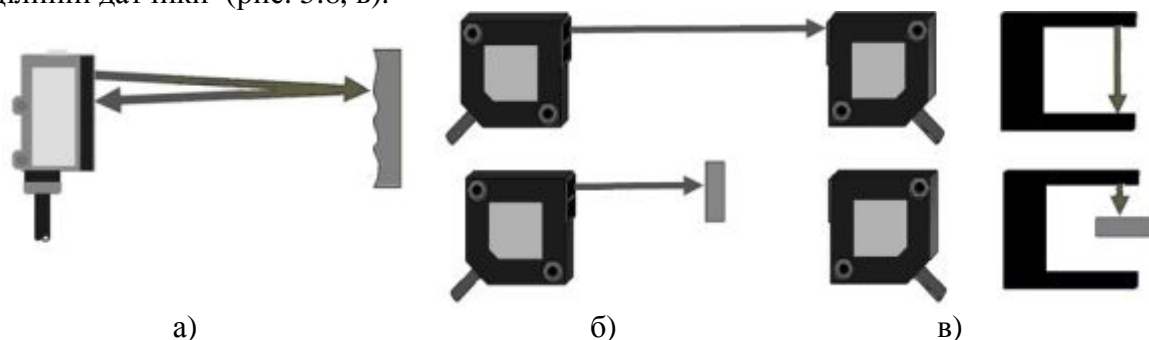


Рис. 5.8. Оптичні датчики відбиваючої дії (а), однонаправленої дії на проходження (б) та щілинні датчики (в)

Джерело світла оптичних датчиків може бути виконано на основі світлодіодів з видимим, інфрачервоним та лазерним випромінюванням. Датчики з лазерним випромінюванням завдяки малому діаметру променя мають високу точність вимірювання положення.

В ультразвукових датчиках зміна вихідного параметра (струм, напруга) відбувається залежно від зміни ультразвуку, яке падає на приймач датчика. Ультразвукові датчики також можуть працювати на відбивання (датчики відбиваючої дії) (рис. 5.9, а) або на проходження (датчики однонаправленої дії) (рис. 5.9, б).



Рис. 5.9. Ультразвукові датчики: а - на відбивання (датчики відбиваючої дії); б - на проходження (датчики однонаправленої дії)

Контрольні питання

1. Контактні датчики положення.
2. Безконтактні датчики положення.
3. Індуктивні та ємкісні вимірювальні перетворювачі.
4. Оптичні датчики положення.
5. Ультразвукові датчики положення.

Лекція 6. Датчики переміщення та швидкості

6.1. Потенціометричні датчики переміщення

Для вимірювання лінійних та кутових переміщень використовуються резистивні (потенціометричні) датчики, датчики на обертових трансформаторах, сельсини, тахогенератори, фотоімпульсні датчики та інші [1].

Потенціометричні датчики дають змогу безпосередньо перетворювати лінійне або кутове переміщення повзунка в постійну напругу (рис. 4.11), обертові трансформатори, які використовуються, наприклад, у резольверах, це пристрої змінного струму, які перетворюють кут повороту ротора відносно статора в електричний сигнал (рис.6.1).

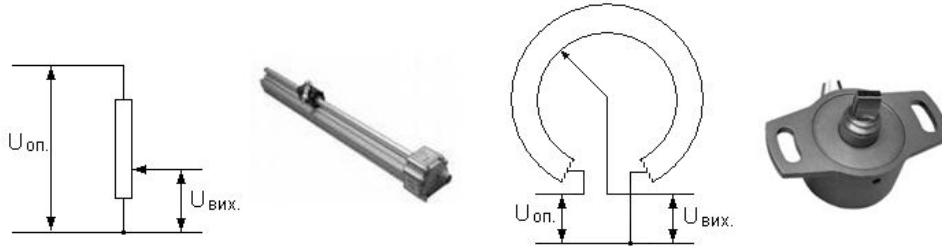


Рис.6.1. Потенціометричні датчики лінійних та кутових переміщень

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

$$l = l_{max} U_{вих} / U_{оп}$$

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

На рис. 6.2 наведений приклад використання потенціометричного датчика (а) для визначення кута повороту сервопривода (б).

Мікроконтролер у складі сервопривода порівнює фактичний кут повороту з вказаним та здійснює поворот вихідного валу поки фактичний та вказаний кут не зрівняються.



Рис. 6.2. Використання потенціометричного датчика (а) для визначення кута повороту сервопривода (б)

6.2. Фотоімпульсні та абсолютні датчики кутового та лінійного переміщення

Принцип дії фотоімпульсних датчиків, які використовуються для вимірювання переміщення та швидкості, базується на модуляції світлового потоку, який засвічує фотоелемент за допомогою диска або лінійки з отворами або з прозорими та непрозорими смугами (рис. 6.3.).

Таки датчики дають до 6000 імпульсів за одне обертання, що дозволяє вимірювати малі переміщення. Електронна система датчика формує дві послідовності імпульсів, які зсунуті відносно одна одної на $+90^\circ$ або -90° в залежності від напрямку переміщення. Завдяки цьому лічильники мають можливість визначити абсолютну позицію переміщення

шляхом рахування імпульсів на збільшення або на зменшення. Швидкість переміщення вимірюється як кількість імпульсів за визначений час.

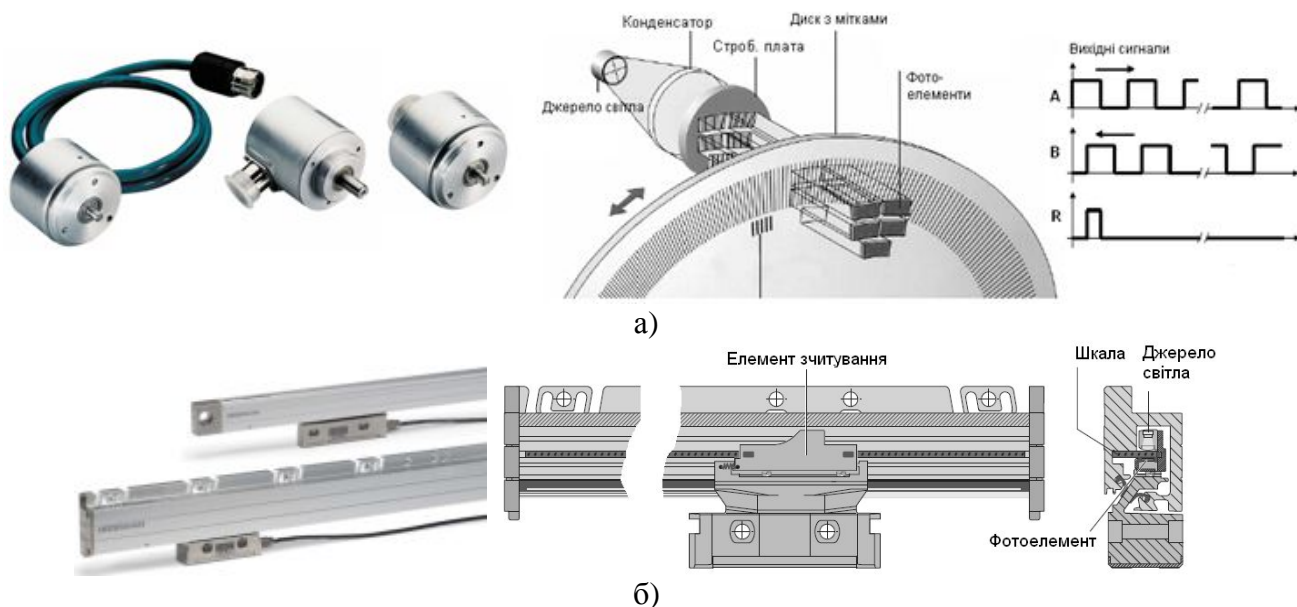


Рис. 6.3. Фотоімпульсні датчики кутового (а) та лінійного (б) переміщення

На рис. 6.4 наведений пристрій для вимірювання шляху та швидкості переміщення за допомогою фотоімпульсного датчика.



Рис. 6.4. Пристрій для вимірювання шляху та швидкості переміщення за допомогою фотоімпульсного датчика

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 (рис. 6.5).

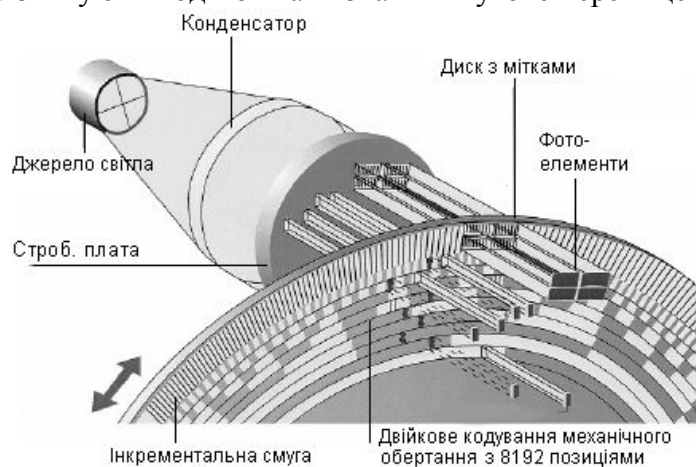


Рис. 6.5. Принцип роботи абсолютних датчиків

6.3. Тросові датчики вимірювання шляху переміщення

Для вимірювання шляху переміщення використовують тросові датчики. Усередині датчика на барабан намотується в один шар вимірювальний трос. При витягуванні троса барабан обертається, при цьому вимірювальний датчик кутових переміщень, безпосередньо пов'язаний з віссю барабана, виробляє електричні сигнали, що характеризують переміщення троса.

Повернення троса і намотування на барабан здійснюється за допомогою спіральної пружини віддачі на осі барабана. Кінець троса легко закріплюється на контрольованому об'єкті. Замість троса може використовуватись стрічка.

На рис. 6.6 наведені датчики вимірювання шляху переміщення з тросовим та стрічковим вимірювальним елементом.

Ці датчики дозволяють вимірювати відстань до 40 м з точністю не гірше 1% з аналоговим (0 -10 В, 4 -20 мА), імпульсним або кодовим виходом.

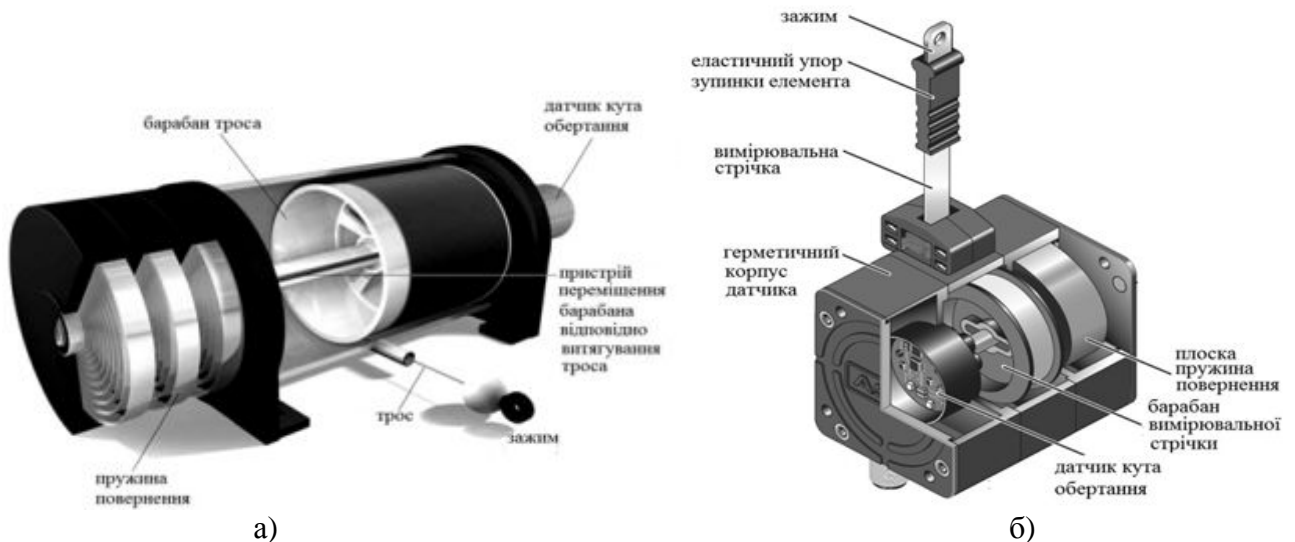


Рис. 6.6. Датчики вимірювання шляху переміщення з тросовим (а) та стрічковим (б) вимірювальним елементом

6.4. Тахогенераторні вимірювальні перетворювачі

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 :

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

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 (а) та характеристика тахогенератора(б) наведені на рис.6.7.

ТГ в схемах автоматики використовуються для наступних цілей:

- виміру швидкості обертання. У цьому випадку вихідна напруга подається на вольтметр, шкала якого градуйована в об/хв;
- здійснення зворотного зв'язку по швидкості.

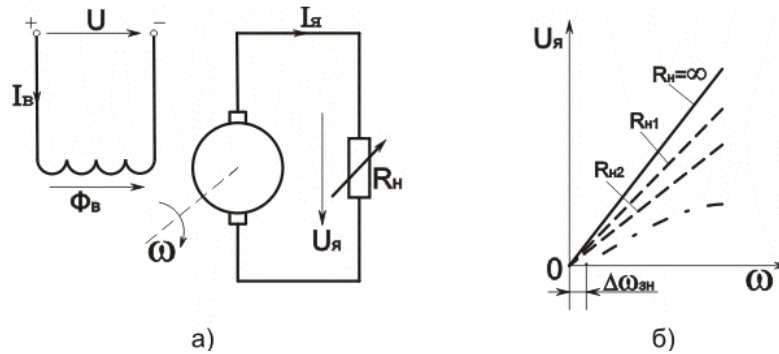


Рис. 6.4. Спрощена принципова схема (а) та характеристика тахогенератора(б)

Синхронні тахогенератори змінного струму являють собою безколекторні синхронні машини з ротором, підмагнічення якого здійснюється постійним магнітом. На статорі розташовані одна або декілька обмоток.

Такий тахогенератор перетворює швидкість обертання ротора в змінну напругу, амплітуда і частота якого прямо пропорційні швидкості обертання ротора.

Недолік синхронного тахогенератора - неможливість визначення напрямку обертання, що в деяких застосуваннях небажано.

Часто ротор виконують у вигляді багатополюсного постійного магніту, тому на 1 оборот ротора генерується кілька періодів вихідного сигналу.

Вимірювання швидкості обертання допустимо двома способами - частотним і амплітудним.

Синхронні та асинхронні тахогенератори володіє великим терміном служби в порівнянні з тахогенератором постійного струму, оскільки в них відсутній колекторно-щітковий вузол.

Контрольні питання

1. Датчики переміщення та швидкості.
2. Потенціометричні датчики переміщення.
3. Фотоімпульсні датчики кутового та лінійного переміщення.
4. Абсолютні датчики кутового та лінійного переміщення.
5. Тахогенераторні вимірювальні перетворювачі.

Змістовий модуль 3. ІНФОРМАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ ЗОВНІШНЬОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН

Лекція 7. Датчики визначення зовнішніх об'єктів

7.1. Ультразвукові датчики вимірювання відстані до об'єктів

Ультразвуковий датчик відстані визначає відстань до об'єкта, вимірюючи час відображення звукової хвилі від об'єкта [1] (рис. 7.1).

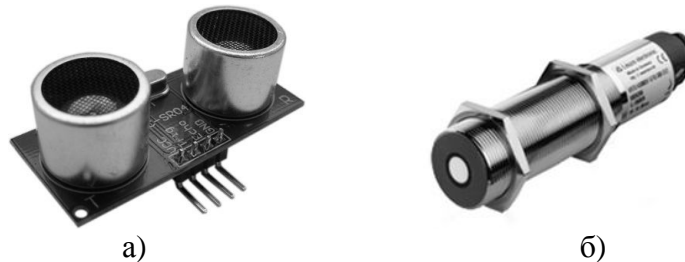


Рис.7.1. Ультразвукові датчики відстані: HC-SR04 (а) та VRTU 430 (б)

Частота звукової хвилі знаходиться в межах частоти ультразвуку, що забезпечує концентроване напрямком 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 пройденої відстань звукової хвилі. Відстань до об'єкта дорівнює половині пройденого шляху звукової хвилі (рис. 7.2).

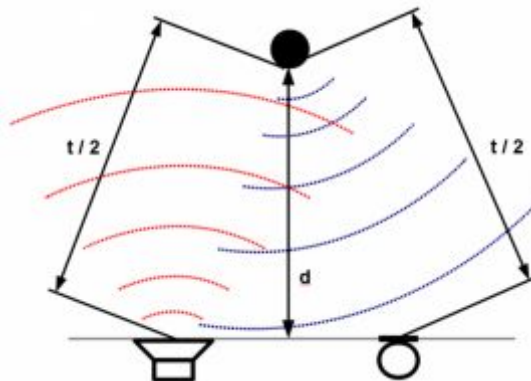


Рис.7.2. Схема роботи ультразвукового датчика

Ультразвукові датчики вимірюють відстань до 10 м, що визначається великим затуханням звуку в повітрі. Так датчик HC-SR04 вимірює відстань від 30 до 4000 мм з точністю ~ 3 мм, а датчик фірми Leuze Electronic VRTU 430 вимірює відстань в діапазонах 60 - 300 мм, 200 - 1300 мм, 400 - 3000 мм або 600 - 6000 мм з точністю 1 мм.

7.2. Оптичні датчики вимірювання відстані до об'єктів

Відстань до об'єкту інфрачервоний датчик (рис. 7.3) визначає 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. Схема роботи датчика зображена на рис. 7.4.



Рис.7.3. Інфрачервоний датчик фірми SHARP GP2Y0A710K0F

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.

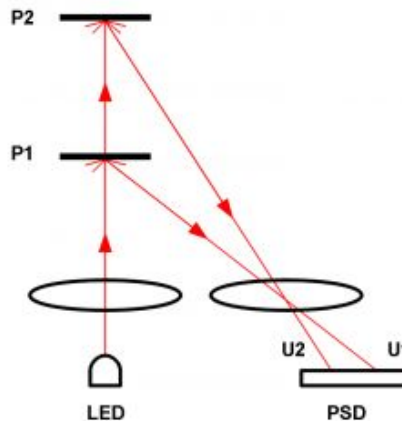


Рис.7.4. Схема роботи інфрачервоного датчика за допомогою триангуляції

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 відбиває мітки, розташованої на об'єкті, або ж безпосередньо від самого об'єкта.

При цьому вираховують як радарний так і триангуляційний засоби вимірювання відстані. Як джерело випромінювання використовуються інфрачервоні світлодіоди, або інфрачервоні та червоні лазерні світлодіоди.

На рис.7.5 наведені лазерні датчики вимірювання відстані фірми SICK DME 3000 з діапазоном вимірювання 0,1...8 м та точністю ± 5 мм, а також фірми DMT з діапазоном вимірювання 0,1...155 м та точністю ± 7 мм.



Рис. 7.5. Лазерні датчики вимірювання відстані фірми SICK DME 3000 та DMT

На рис. 7.6 наведений приклад використання оптичних датчиків фірми Fotoelektrik Pauly для запобігання зіткнення кранів.

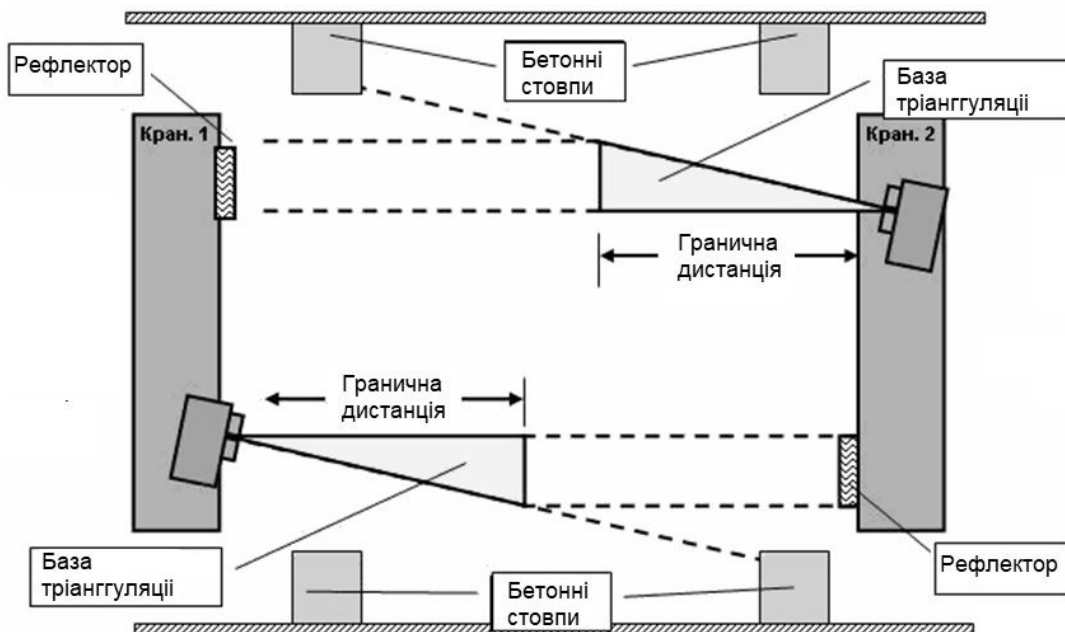


Рис. 7.6. Використання оптичних датчиків фірми Fotoelektrik Pauly для запобігання зіткнення кранів

7.3. Лазерні скануючі датчики

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 7.7 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 7.7. Скануючі датчики фірми SICK LSM151 (а) та LD-OEM (б)

За допомогою лазерних датчиків можна визначати положення робота шляхом вимірювання відносного положення та відстані до рефлекторів, що встановлюють у визначених місцях приміщення, де пересувається автоматичний штабелер, а також до перешкод або стін у приміщенні. Для визначення взаємного положення об'єктів відносно положення робота використовують лазерні сканери, що здійснюють сканування шляхом обертання, з вимірюванням кута повороту датчика відносно положення робота.

Приклади використання лазерних датчиків для визначення положення та орієнтації автоматичного штабелера наведені на рис. 7.8.

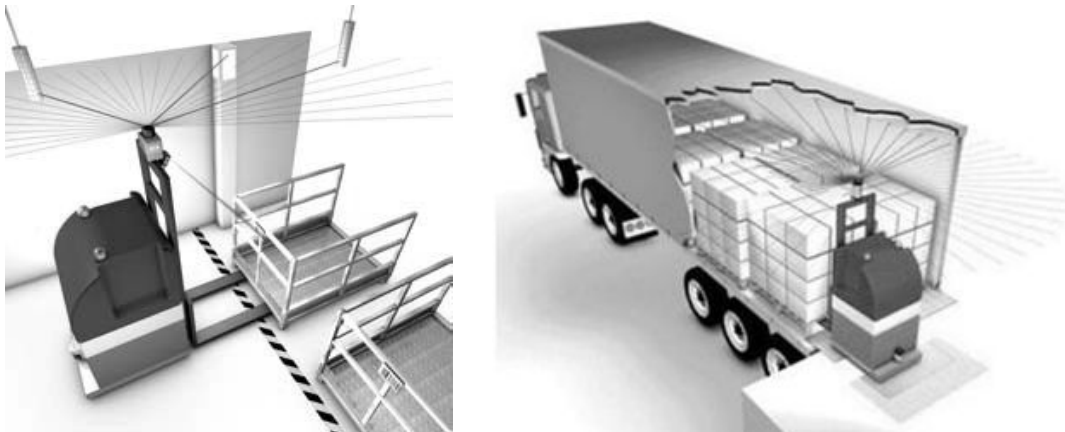


Рис. 7.8. Приклади використання скануючих датчиків для орієнтації у виробничому приміщенні

7.4. Інші засоби вимірювання відстані до об'єктів

Сучасні підйомно-транспортні системи, наприклад, автоматичні штабелери, широко використовують засоби машинного зору для вирішення задач локальної та глобальної навігації, для ідентифікації об'єктів, а також визначення їх параметрів та положення.

Основним елементом таких систем є промислові відеокамери, які дозволяють отримати високу якість зображення, так, наприклад, кольорові промислові відеокамери Vaumer серії LXC забезпечують роздільну здатність 20 Мп (5120 x 3840) та швидкість зйомки 32 к/с (ри. 7.9).



Рис. 7.9. Кольорові промислові відеокамери Vaumer 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» забезпечують затримку не гірше 5 мс і дозволяють вести вимірювання швидко рухомих об'єктів (рис. 7.10).

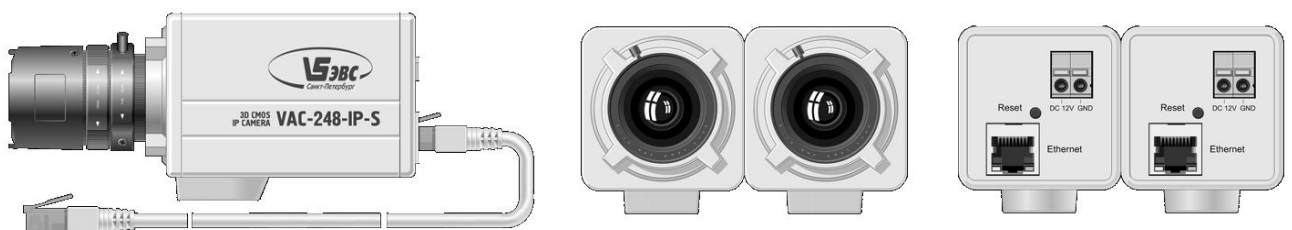


Рис. 7.10. Стереоскопічна камера «VAC-248-IP-S»

Для визначення відстані на великих дистанціях використовують радарні датчики. Радарний датчик відстані фірми TR-Electronic LE-200 забезпечують можливість вимірювання відстаней до 240 м з точністю ± 2 мм і виведення даних за допомогою інтерфейсу локальної шини або промислової шини Ethernet (рис. 7.11).

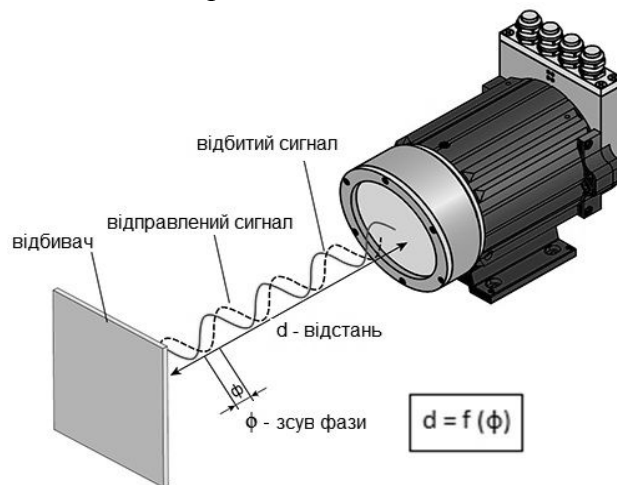


Рис. 7.11. Принцип дії радарного датчика

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

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

Контрольні питання

1. Ультразвукові датчики вимірювання відстані до об'єктів.
2. Оптичні датчики вимірювання відстані до об'єктів.
3. Лазерні скануючі датчики.
4. Засоби машинного зору.
5. Радарні датчики відстані.

Лекція 8. Датчики технологічних параметрів

8.1. Датчики температури

Одним з найважливіших технологічних параметрів є температура, для вимірювання якої використовуються датчики на основі термосопротивлений і термопар. Випускається широкий набір таких датчиків, що дозволяють вимірювати температуру в широкому діапазоні [1].

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

Терморезистор класифікують як низькотемпературні (призначені для роботи при температурі нижче 170 К), середньотемпературні (від 170 до 510 К) і високотемпературні (вище 570 К). Випускаються терморезистори, призначені для роботи при температурах від 900 до 1300 К.

PTC-термістори використовуються для захисту електродвигунів від перегріву, що, як правило, передбачено в частотних перетворювачів.

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.

Датчики на основі термопар характеризуються високою точністю вимірювання значень температури (аж до $\pm 0,01^\circ\text{C}$) і великим температурним діапазоном вимірювання: від -250°C до $+2500^\circ\text{C}$.

8.2. Датчики зусилля. П'єзометричні та тензометричні датчики

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 (рис. 8.1).

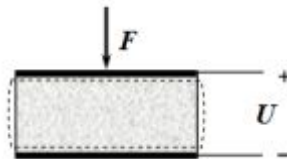


Рис. 8.1. П'єзоелемент

Деформація п'єзоелектричного зразка призводить до виникнення електричної напруги між поверхнями деформованого твердого тіла. Таке конденсаторне пристрій дозволяє виміряти силу, тиск, прискорення.

За винятком кварцу, відомого своєю стабільністю і твердістю, в датчиках зазвичай використовується кераміка як дешевша, більш зручна в обробці, володіє досить високою чутливістю.

Схема формування сигналу з електричним зарядом на вході від п'єзодатчика і пропорційним йому напругою на виході показана на рис. 8.2.

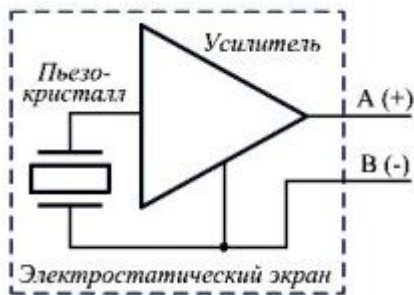


Рис. 8.2. Схема формування сигналу від пьезодатчика

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 зжувалися відповідно до деформацією деталі. Конструкція тензодатчика спірального типу показана на рис. 8.3. Такі датчики спільно з тензоусилителями дозволяють вимірювати малі механічні деформації складові кілька мікронів.

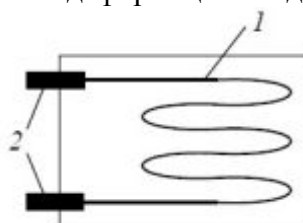


Рис. 8.3. Конструкція тензодатчика спірального типу, де 1 - дротова спіраль, 2 - контакти підключення

На рис. 8.4 показана мостова схема підключення датчиків.

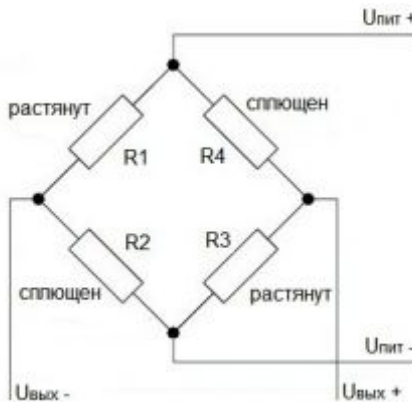


Рис. 8.4. Мостова схема підключення датчиків

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

8.3. Тактильні та силомоментні датчики

Тактильна система промислового робота це система для здобування та оброблення інформації про положення предметів, їхню форму й фізичні властивості за даними контактного обстеження об'єкта. Тактильні системи чуттєвості дозволяють роботу визначити положення точок торкання і виміряти контактні сили в кожній із них. Прообразом тактильних систем послужило почуття дотику. Для отримання ефекту дотику можна використовувати матеріал, опір якого залежить від сили тиску. Якщо такий матеріал покрити

з обох сторін поперечними та повздовжніми електропровідними смугами, то опір у перехресті смуг буде залежати від сили дотику (рис. 8.5, а). Послідовний опит цього опору у різних точках дає можливість визначити форму предмета (рис. 8.5, б). Для формування зображення та аналізу тактильних образів використовують обчислювальні пристрої, які порівнюють отримане зображення предмета з образом еталона чи набору еталонів і таким чином визначають його параметри.

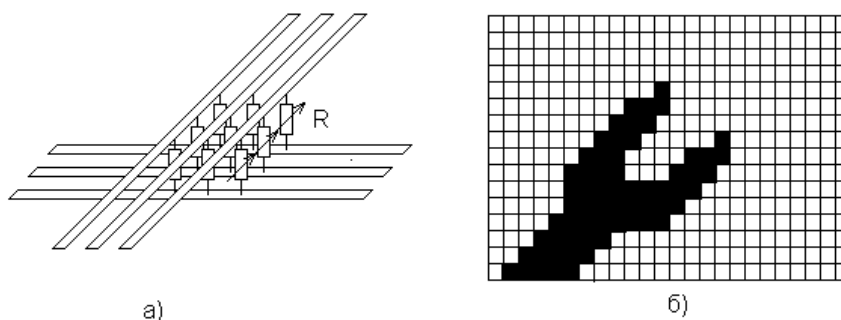


Рис. 8.5. Тактильна система

Силомоментні системи чуттєвості - це сенсорні пристрої, що забезпечують вимір компонент вектора сили і вектори моменту сил, що розвиваються роботом у процесі взаємодії з виробом у проекції на деяку систему координат. Для вимірювання вектора сили використовується тензометричні або п'єзоелектричні датчики, які розташовані таким чином, щоб після обробки їх сигналів за допомогою обчислювального пристрою знайти компоненти вектора сили та визначити відповідну реакцію робочого органа. На рис. 8.6 показано приклад використання силомоментної системи чуттєвості для позиціонування робочого органа при усталенні циліндра у круглий отвір. Обробляючи сигнали датчиків обчислювальний пристрій знаходить сили реакції, які з'являються при перекосі, та виправляє напрямлення руху робочого органа.

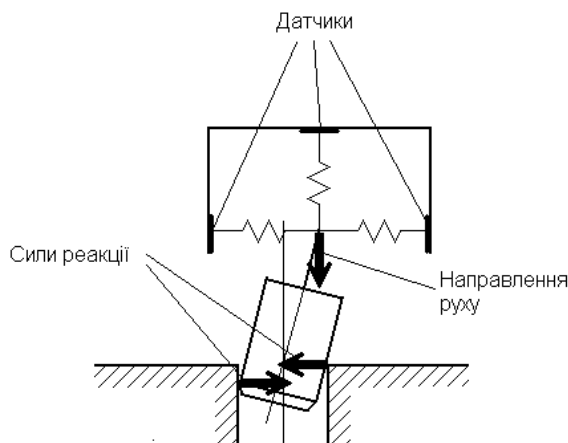


Рис. 8.6. Приклад використання силомоментної системи чуттєвості

8.4. Датчики ваги

Кранові ваги являють собою пристрої, які підвішують на гак вантажопідіймальних механізмів (рис. 8.7). Діапазон навантаження кранових ваг великий - від 100 кг до 50 т.

Все кранові ваги обов'язково оснащені пультом дистанційного керування, а деякі моделі - радіомодемом, за допомогою якого можлива передача результатів зважування в комп'ютерну систему підприємства.

Живлення кранових ваг здійснюється від акумуляторів, що перезаряджаються. Індикатори в кранових вагах, як правило, виконані на світлодіодах, що забезпечують необхідну висоту і достатню яскравість символів.



Рис.

8.7. Кранові ваги

Ваговимірювальні пристрої найчастіше реалізуються на основі тензометричних датчиків, які складаються з ваговимірювальної комірки, що видає електричний сигнал у вигляді напруги, пропорційний механічному впливу, та електронного пристрою, що перетворює цю напругу у форму, придатну для відображення або обробки результату вимірювання цього механічного впливу.

У разі, коли ваговимірювальні пристрої є складовою частиною системи керування на основі програмованих логічних контролерів, то таким електронним пристроєм може бути спеціальні ваговимірювальні модулі, призначені для вирішування різних завдань ваговимірювання, починаючи з визначення та контролю ваги різних об'єктів до отримання суміші, що складається з різних компонент з визначеною пропорційністю цих компонент, наприклад, при виготовленні напоїв та інших харчових продуктів.

Більш простим засобом для обробки даних, отриманих з ваговимірювальних комірок, є модулі введення аналогових сигналів.

Але у цьому разі потрібні модулі, що здатні обробляти сигнали з ваговимірювальних комірок, оскільки максимальний рівень вихідної напруги складає десятки мілівольт.

Часто ваговимірювальні пристрої використовую декілька ваговимірювальних комірок, наприклад, для ваговимірювальної платформи може використовуватись чотири ваговимірювальних комірок.

Паралельне підключення цих комірок можна здійснити за допомогою розподільної коробки, яка дозволяє підключити до одного електронного пристрою до чотирьох ваговимірювальних комірок.

Далі розглянемо ваговимірювальні пристрої на основі обладнання фірми Сименс, яка випускає усі компоненти, потрібні для створення різноманітних ваговимірювальних пристроїв.

На рис. 8.8 наведені ваговимірювальні комірки SIWAREX R та SIWAREX WL200



Рис. 8.8. Ваговимірювальні комірки SIWAREX R та SIWAREX WL200

Ваговимірювальні комірки SIWAREX R та SIWAREX WL200 оснащені вимірювальними смужками (DMS), які розширюються.

Вони використовуються для статичного і динамічного виміру ваги. Різноманітні типи вимірювальних комірок перекривають діапазон номінальних навантажень від 6 кг до 280 т.

Ваговимірювальні комірки SIWAREX R та SIWAREX WL200 можуть використовуватися для різних зважувальних пристроїв.

Конструкція ваговимірювальних комірок

Ваговимірювальні комірки це датчики, які перетворюють механічну величину (вагу) в електричний сигнал.

Основним елементом є спеціальне пружинне тіло, на якому динамічно закріплені вимірювальні смужки (DMS). DMS складаються з тонкого ізоляційного матеріалу, на який інтегрована резистивна плівка.

На рис. 8.9 наведена ваговимірювальна комірка на основі згинального стрижня, а на рис. 8.10 на основі згинальної кільцевої пружини.

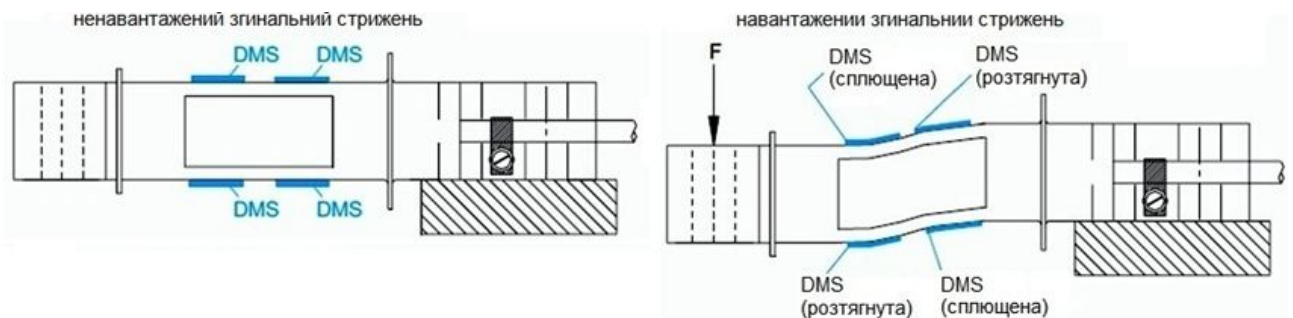


Рис. 8.9. Ваговимірювальні комірки на основі згинального стрижня

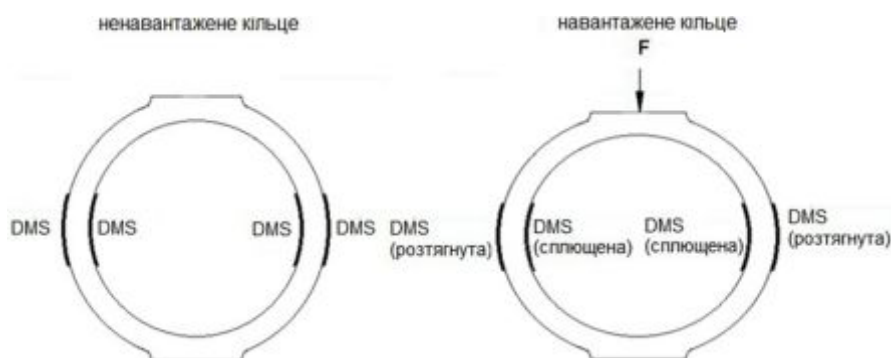


Рис. 8.10. Ваговимірювальні комірки на основі згинальної кільцевої пружини

Кожна ваговимірювальна комірка має чотири DMS, які складають міст Уїтстона. Принципова схема мосту Уїтстона наведена на рис. 8.11.

На одну діагональ моста подається напруга живлення (EXS+, EXS-) , з другої знімається вимірювальна напруга (SIG+, SIG-). Чутливість датчика визначається в одиницях мВ/В (мілівольт/вольт), як величина сигналу на виході датчика при напрузі живлення 1 В і номінальному навантаженні та становить від 0,5 до 3 мВ/В.

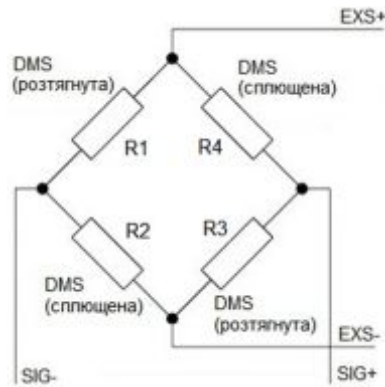


Рис. 8.11. Принципова схема мосту Уїтстона

Напруга живлення може бути вище, тому буде вище і вихідний сигнал. Наприклад, при чутливості 2 мВ/В і напрузі живлення 10 В буде вихідна напруга $2 \text{ мВ/В} * 10 \text{ В} = 20 \text{ мВ}$ (при номінальному навантаженні).

Розподільні коробки РК (ЖВ) використовується для паралельного підключення ваговимірювальних комірок (ВК) до ваговимірювального модулю.

За допомогою однієї розподільної коробки можна паралельно підключити до 4 ваговимірювальних комірок (рис. 8.12).

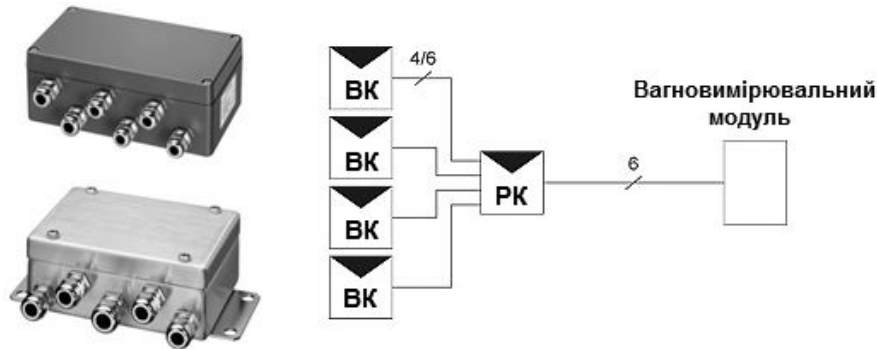


Рис. 8.12. Розподільні коробки

Промислові логічні контролери (ПЛК) часто мають у своєму складі ваговимірювальні модуль. Наприклад, функціональний модуль SIWAREX U, призначений для використання у складі ПЛК SIMATIC S7- 300, – це ваговимірювальний модуль для всіх простих завдань, що стосуються зважування і вимірювання сил.

SIWAREX U має такі характеристики: 2 канали ваговимірювання; вимірювання ваги і сили з верхнім дозволом 65000 ділень (16 біт) і з точністю 0,05%; частота вимірювання до 50 Гц; контроль граничних значень.

Типові завдання, що виконуються за допомогою SIWAREX U: контроль навантажень на крани і троси; вимір навантаження на конвеєрні стрічки; захист від перевантаження в промислових підйомниках; контроль натягу стрічки.

Контрольні питання

6. Датчики технологічних параметрів.
7. Принцип роботи датчиків температури.
8. Принцип роботи датчиків зусилля. П'єзометричні та тензометричні датчики.
9. Принцип роботи тактильних та силомоментних датчиків.
10. Принцип роботи датчиків ваги.

СЕМЕСТРОВИЙ МОДУЛЬ 2 СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНИМИ МАШИНАМИ

Змістовий модуль 4. ПРИСТРОЇ УЗГОДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ З ДАТЧИКАМИ ТА ВИКОНАВЧИМИ ПРИСТРОЯМИ

Лекція 9. Пристрої узгодження цифрової та аналогової інформації

9.1. Підсилювачі та силові перетворювачі

Для узгодження сигналів пристроїв комп'ютерного керування з інформаційними та виконавчими пристроями використовують підсилювачі та силові перетворювачі [1, 3].

Схема з'єднання з об'єктами керування забезпечує підключення датчиків та виконуючих пристроїв до входів та виходів пристрою керування. Підключення здійснюється за допомогою стандартних сигналів. Нагрузкова здатність визначає потужність електричних сигналів вихідних схем. Для її збільшення використовується буферизація сигналів за допомогою підсилювачів напруги, струму та потужності.

У підсилювачах напруги та струму використовують біполярні та польові транзистори. На рис 9.1 наведені схеми підсилювальних каскадів на біполярних транзисторах із спільним емітером (інвертуючий каскад, рис 9.1, а) та із спільним колектором (неінвертуючий каскад, рис 9.1, б).

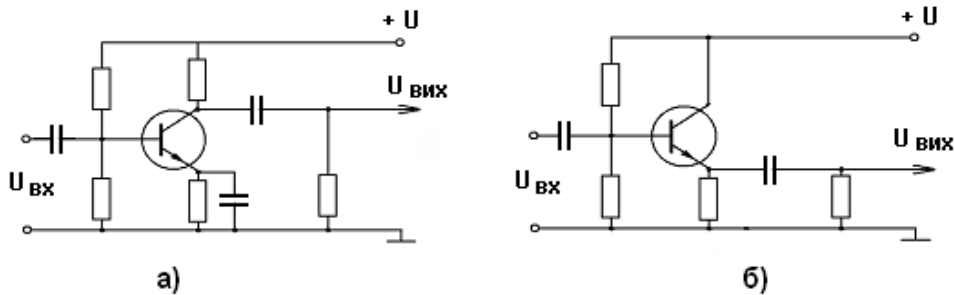


Рис 9.1. Схеми каскадів підсилювання:
а - із спільним емітером, б - із спільним колектором

Вимірювальні перетворювачі забезпечують перетворення різних фізичних величин у стандартні електричні величини та підсилення електричних величин. Основними вимогами таких схем є висока стабільність та лінійність характеристик. Для цього найчастіше використовують операційні підсилювачі (рис. 9.2).

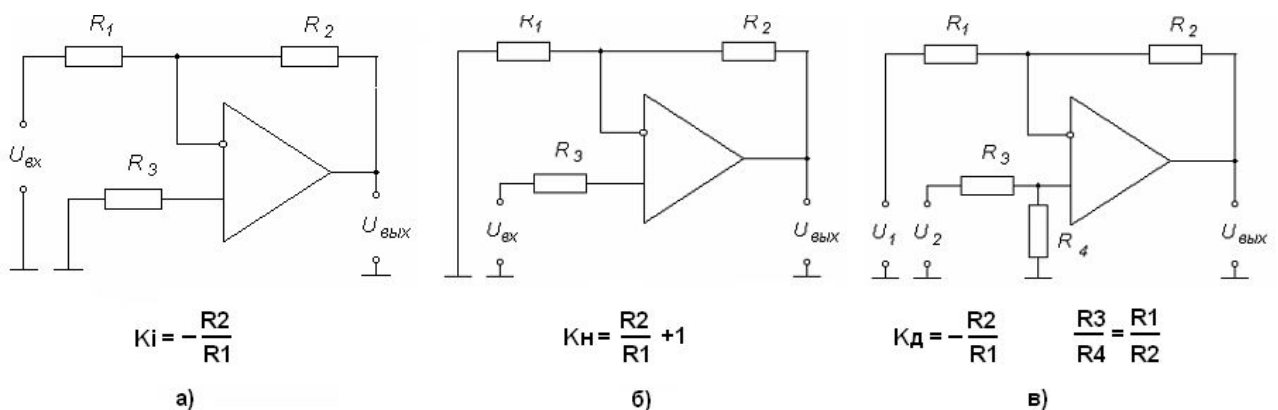


Рис. 9.2. Операційні підсилювачі: а - інвертуючий, б – неінвертуючий, в - диференціальний з відповідними коефіцієнтами підсилювання K_i , K_n , K_d

Для підключення виконавчих пристроїв використовують комутаційні схеми на основі транзисторних підсилювачів, що працюють у ключовому режимі. При цьому у залежності від вхідного сигналу транзистор може бути закритий чи відкритий.

Так для зміни напрямку обертання (реверсу двигуна), що здійснюється шляхом зміни полярності напруги живлення, використовують, наприклад, схему, що наведена на(рис. 9.3).

Коли керуючий вхідний сигнал подається на транзистори T1 та T4 (Вх. 1), він відкриває їх і двигун обертається в одну сторону, а коли на транзистори T2 та T3 (Вх. 2), двигун обертається в іншу сторону. Захисні діоди D1, D2, D3, D4 призначені для замикання струму двигуна при відключенні відповідних транзисторів, що виникає завдяки індуктивному навантаженню, яку представляє собою обмотка електродвигуна.

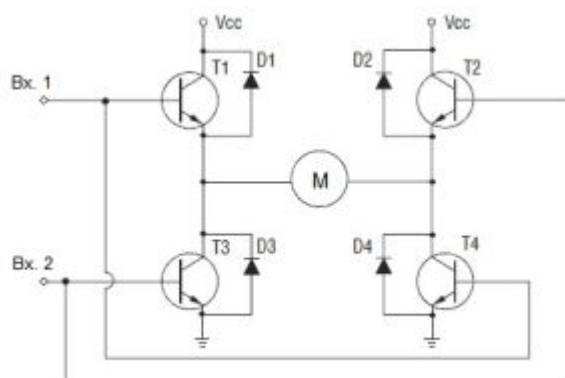


Рис. 9.3. Схема реверсу двигуна

9.2. Цифро-аналогові перетворювачі

Основне призначення цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП) це автоматичне перетворення (декодування) двійкових кодів на виході пристроїв керування на еквівалентні їм значення напруги або струму.

ЦАП на двійково-зважених резисторах. Це найпростіший щодо будови принципової схеми ЦАП, у якого матриця резисторів складена за принципом адекватного відтворення двійкового коду: номінал кожного резистора - аналог двійкового коду (рис. 9.4).

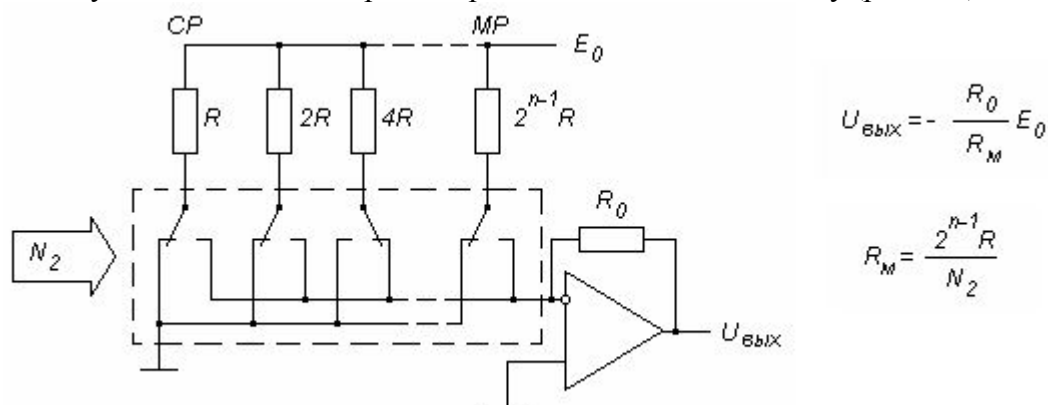
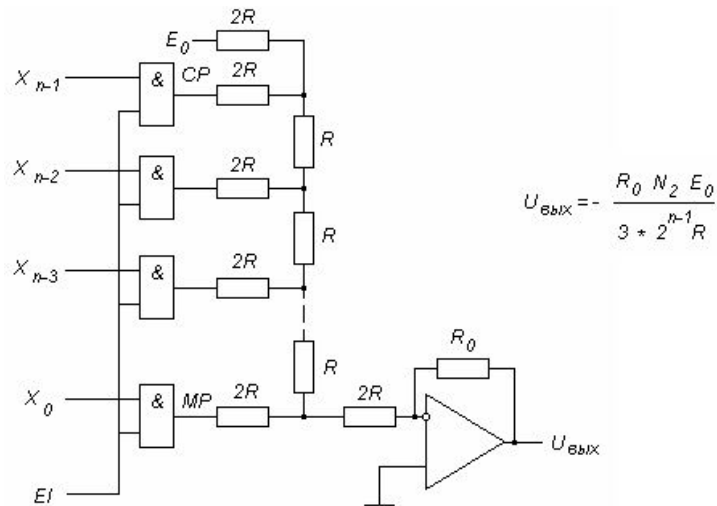


Рис. 9.4. ЦАП на двійково-зважених резисторах

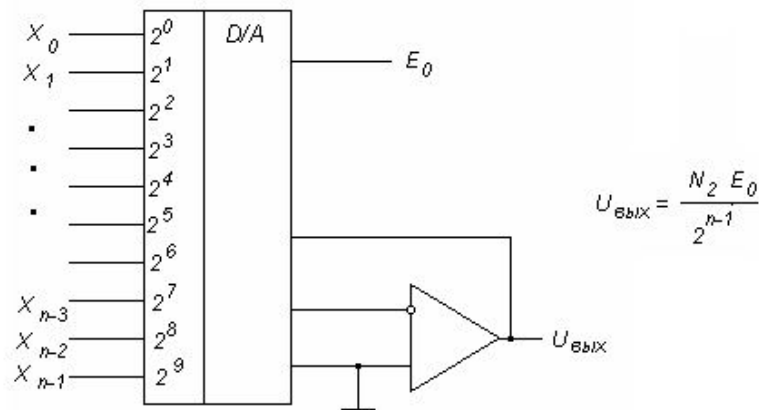
ЦАП на основі матриці резисторів R – 2R. Відрізняється схемою матриці резисторів, яка також виконує функцію забезпечення вагового множника на двійкових входах ЦАП. Перевага матриці типу R – 2R у простоті її виготовлення, бо для неї досить тільки два номінали резисторів R і 2R (рис. 9.5).



$$U_{\text{вых}} = - \frac{R_0 N_2 E_0}{3 + 2^{n-1} R}$$

Рис. 9.5. ЦАП на основі матриці резисторів

Перемножувальний ЦАП. Застосовується для перемноження аналогового сигналу (напруги опору) та двійкового коду (вхідний цифровий код) (рис. 9. 6).



$$U_{\text{вых}} = \frac{N_2 E_0}{2^{n-1}}$$

Рис. 9.6. Перемножувальний ЦАП

9.3. Аналого-цифрові перетворювачі

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) призначені для перетворення вхідних аналогових сигналів у вигляді напруги або струму у двійковий код.

АЦП послідовного наближення (порозрядного зважування). Найбільш поширені перетворювачі аналог-код (рис. 9.7).

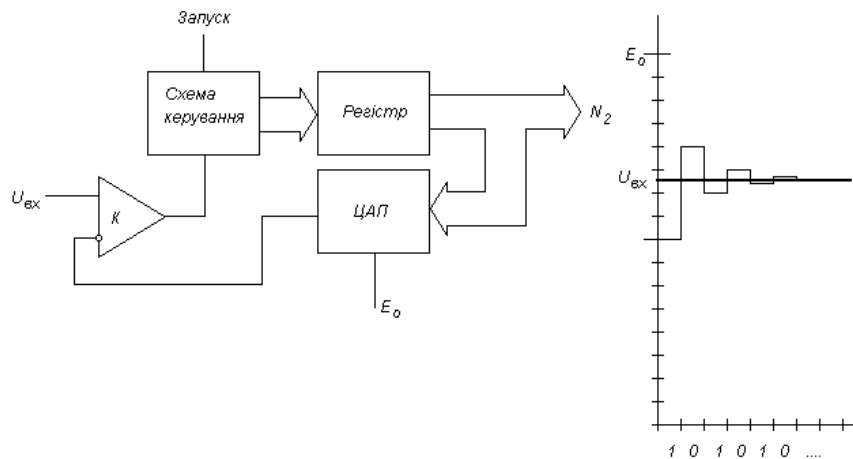


Рис. 9.7. АЦП послідовного наближення

АЦП паралельного кодування. Найбільш швидкодіючі АЦП (рис. 9.8).

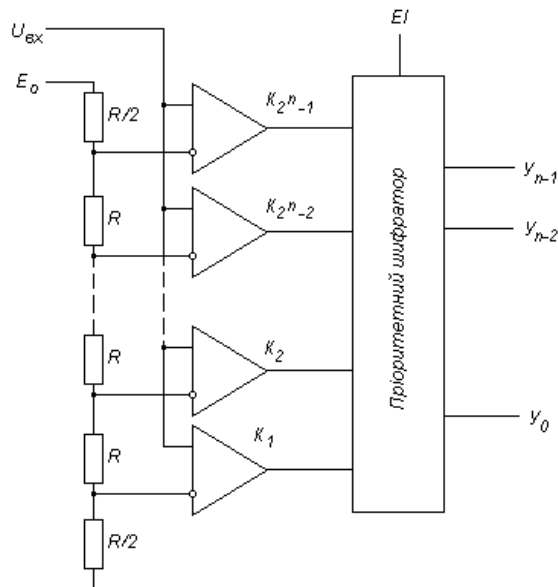


Рис. 9.8. АЦП паралельного кодування

АЦП подвійного інтегрування. Забезпечує високу точність та помилкостійкість завдяки процесам усереднення та згладжування швидкозмінних шумів (рис. 9.9).

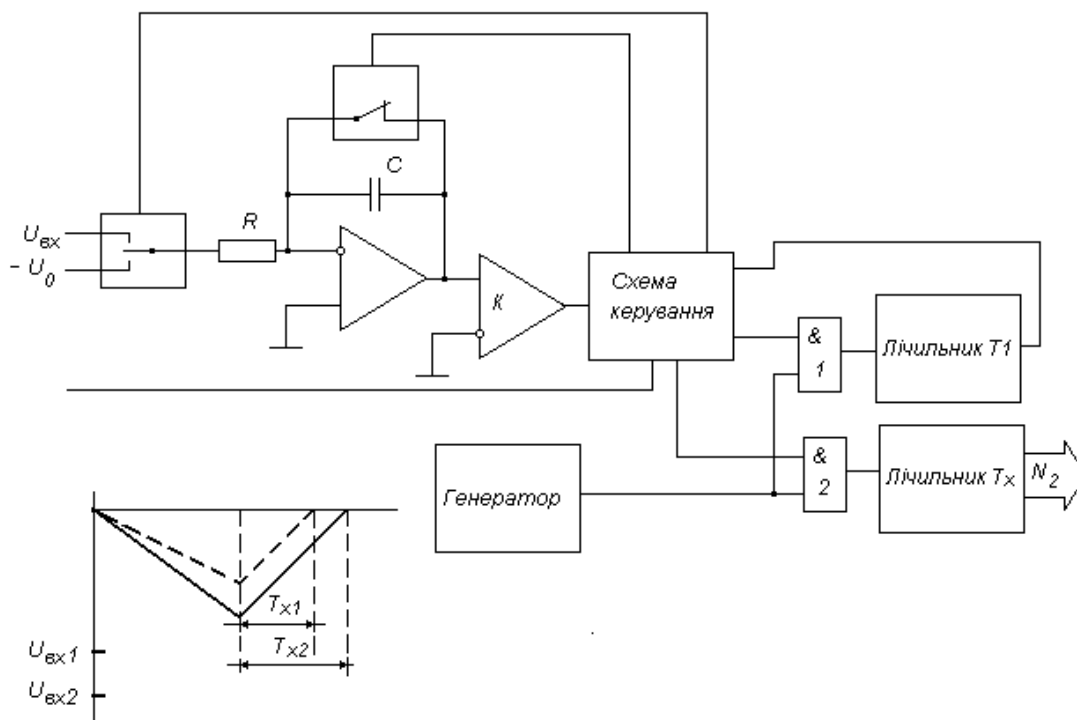


Рис. 9.9. АЦП подвійного інтегрування

Контрольні питання

1. Пристрої узгодження цифрової та аналогової інформації.
2. Підсилювачі та силові перетворювачі.
3. Цифро-аналогові перетворювачі.
4. Аналого-цифрові перетворювачі.

Лекція 10. Виконавчі пристрої

10.1. Електромеханічні виконавчі пристрої

Електромеханічні виконавчі органи служать для перетворення електричного струму в механічний рух з метою впливу на об'єкт автоматичного керування або регулювання [1, 3].

Електромеханічні виконавчі органи - це електромагніти різних конструкцій для перетворення електричного струму в механічний рух у всіх тих випадках, коли потрібно перемістити робочий орган виробничого механізму на певну невелику відстань. До них відносяться гальмові електромагніти, електромагнітні муфти тертя та інші пристрої.

Електромеханічні виконавчі органи здійснюють різні впливи на регульовані об'єкти.

Зазвичай електромеханічні виконавчі органи являють собою електромагніти різних конструкцій і в ряді випадків близькі по влаштуванню до електромагнітних реле. Часто електромеханічним виконавчим органом служить електричний двигун. Електродвигуни застосовуються в тих випадках, коли рух виконавчого органу має бути необмеженим.

При проектуванні електромеханічних виконавчих органів дуже важливо побудувати так звані електромеханічну і механічну характеристики, а при виборі важливо вміти користуватися побудованими характеристиками. Механічна характеристика показує залежність механічної сили опору руху якоря від його положення.

Для перетворення електричної енергії у лінійне переміщення використовують лінійні актуатори.

Лінійний актуатор складається з механічного приводу, що здійснює лінійне переміщення і електродвигуна. В якості механічного приводу використовується пристрій, що забезпечує лінійне переміщення: кульково-гвинтові передача, передача гвинт-гайка, ремінний привід, рейкова передача. В якості направляючої використовується конструкція з однієї або декількох телескопічних труб, профільні рейкові направляючі і різні лінійні направляючі ковзання або кочення, за якими здійснюється рух. Застосовуються електродвигуни постійного або змінного струму.

Ще один вид електромеханічних приводів - це соленоїди. Соленоїд має найпростішу конструкцією з усіх типів актуаторов і являє собою електромагніт у якого рухливий внутрішній магнітопровід. При подачі постійної напруги на соленоїд, він втягує металевий шток, здійснюючи тим самим поступальний рух. При відключенні живлення, шток повертається у вихідне положення за допомогою пружини.

Соленоїди застосовуються в клапанах пневматичних і гідравлічних систем, в різних запірних пристроях.

10.2. Електродвигуни

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

Використання двигунів постійного струму в мобільних роботах пояснюється такими якостями, як високий пусковий, гальмівний та перевантажувальний моменти, порівняно висока швидкість, що важливо при реверсуванні і гальмуванні, можливість широкого і плавного регулювання частоти обертання шляхом зміни напруги живлення.

Для вибору електродвигуна постійного струму для колісного робота необхідні такі вихідні дані: маса робота, крутний момент, швидкість, потужність.

Також необхідно підібрати діаметр коліс і визначити правильне передавальне число редуктора для розрахунку швидкості його руху.

Двигуни постійного струму підрозділяється на:

1. Колекторні двигуни;
2. 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:

- 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'єднаним обмотці якоря і першої обмотки збудження, в залежності від необхідної характеристики навантаження).

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

Ці двигуни найбільш поширені в даний час.

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

Якщо швидкість обертання двигуна не змінюється, то його підключення здійснюється за допомогою реле, контакторів та пускачів, які мають електромагнітний керуючий пристрій. Головні контакти використовуються для підключення двигуна, а допоміжні контакти можуть використовуватись для різних блокіровок та релейного керування.

Недоліком таких схем є неможливість регулювання швидкістю обертання двигуна. Для позиційного керування треба мати можливість регулювати швидкість обертання двигуна.

10.3. Регульовані електроприводи

Регулювання швидкістю обертання двигуна постійного струму здійснюється шляхом зміни напруги живлення. Сучасні системи використовують для цього широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ). Вигляд сигналу з широтно-імпульсною модуляцією показаний на рис. 10.1.

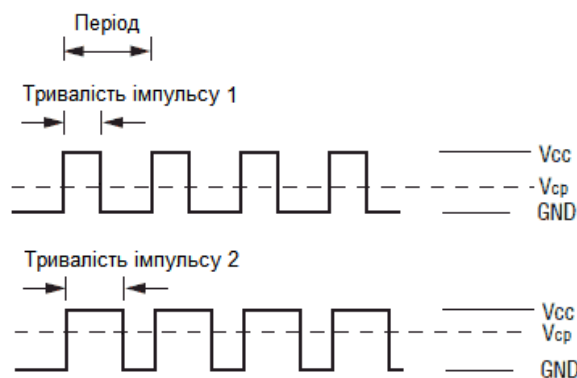


Рис. 10.1. Вигляд сигналу з широтно-імпульсною модуляцією

Найбільш поширені такі способи регулювання швидкості обертання двигунів змінного струму:

- зміна додаткового опору ланцюга ротора,
- зміна напруги, що підводиться до обмотки статора двигуна,
- зміна частоти напруги живлення,

- перемикання числа пар полюсів.

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. 10.2).

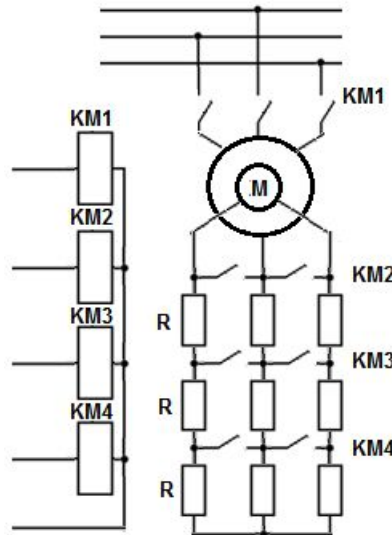


Рис. 10.2. Регулювання частоти обертання асинхронного двигуна з фазним ротором

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.

Найбільш простим рішенням керування швидкості обертання асинхронних двигунів змінного струму є використання багатополюсних двигунів.

Зміна швидкості у таких двигунів здійснюється за допомогою переключення полюсів.

На рис. 10.3 показано, як здійснюється переключення швидкості багатополюсних асинхронних двигунів за допомогою схеми Даландера.

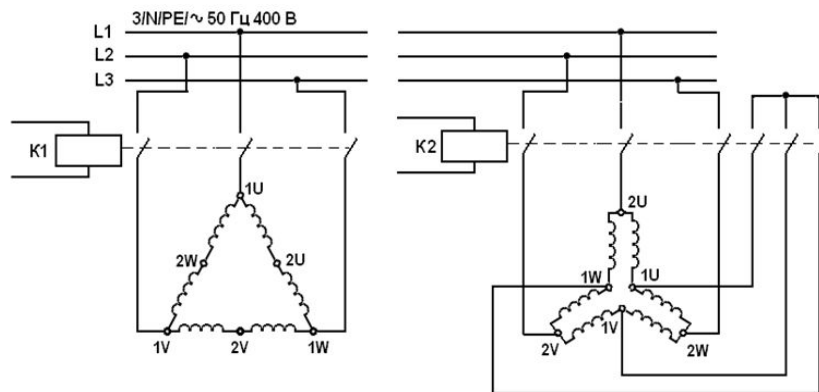


Рис. 10.3. Зміна швидкості за допомогою переключення полюсів

Контактор K1 вмикає двигун за схемою трикутника на малу швидкість (двигун з чотирма полюсами - 1500 об/хв.), а контактор K2 вмикає двигун за схемою зірки на велику швидкість (двигун з двома полюсами - 3000 об/хв.).

Для керування швидкості обертання двигунів змінного струму використовують частотні перетворювачі, які змінюють частоту струму живлення в залежності від керуючих сигналів, наприклад, напруги на аналоговому вході або відповідних команд, що подаються по локальній мережі.

Це дає можливість керування синхронними та асинхронними двигунами змінного струму в великому діапазоні потужностей.

Спрощена схема такого частотного перетворювача наведена на рис. 10.4.



Рис. 10.4. Спрощена схема частотного перетворювача

Вона має такі складові частини:

- силовий модуль, який включає випрямляч, що перетворює змінний струм мережі у постійну напругу, проміжне коло у вигляді конденсатора, що згладжує пульсації випрямленої напруги, та перетворювач, що за допомогою ключових схем формує потрібну форму вихідного сигналу;
- пристрій керування, який здійснює формування вихідного сигналу та програмне керування його параметрами за встановленими параметрами, наприклад, закон зміни вихідної напруги в залежності від частоти, задає швидкість розгону та гальмування тощо;
- операторська панель, яка призначена для встановлення та перегляду параметрів перетворювача.

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

На рис. 10.5 наведено, як здійснюється формування сигналу потрібної форми. Електродвигун можна представити як індуктивне навантаження, тому струм двигуна являє собою згладжену вхідну напругу у вигляді сигналу з широтно-імпульсною модуляцією.

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

Існують синхронні двигуни з дискретним кутовим переміщенням ротора - крокові двигуни.

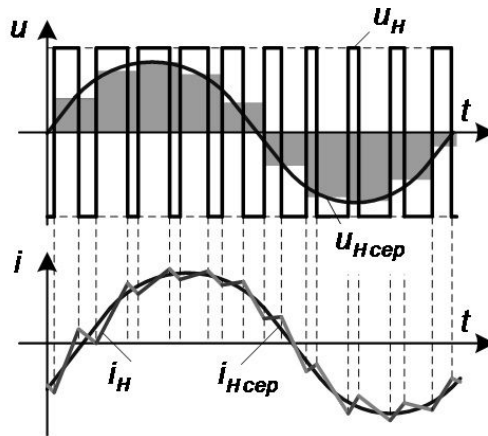


Рис. 10.5. Формування сигналу потрібної форми за допомогою широтно-імпульсної модуляції

Високу точність позиціонування без датчиків зворотного зв'язку (швидкості або положення) можна здійснити за допомогою крокових двигунів.

Принцип роботи крокового двигуна заснований на використанні такої конструкції, при якій один вхідний імпульс повертає ротор на визначений кут.

Імпульси поступають послідовно на різні обмотки, що забезпечує обертання з постійною швидкістю.

Спрощена схема уніполярного крокового двигуна наведена на рис. 10.6 а. На рис. 10.6 б показана послідовність подачі сигналів, яка потребується для обертання двигуна.

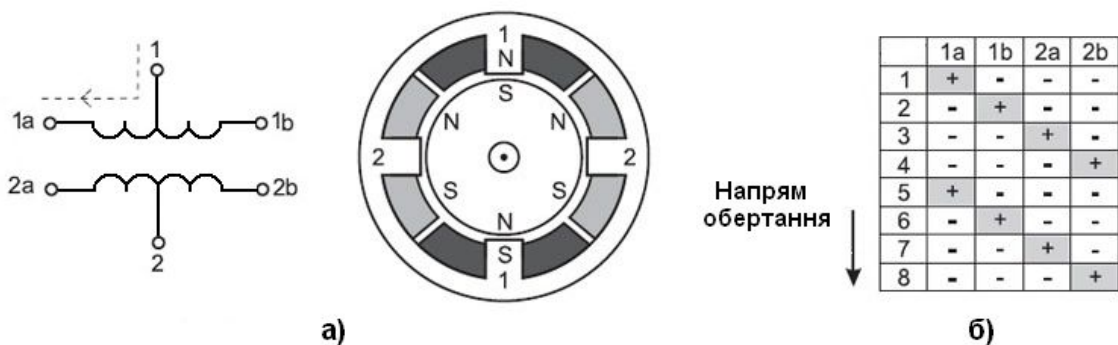


Рис. 10.6. Уніполярний кроковий двигун

Програмовані логічні контролери (ПЛК), що використовують у системах керування вантажопідійомних 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. 10.7). Діоди на виходах перетворювача потрібні для замикання струму котушок двигуна при відключенні.

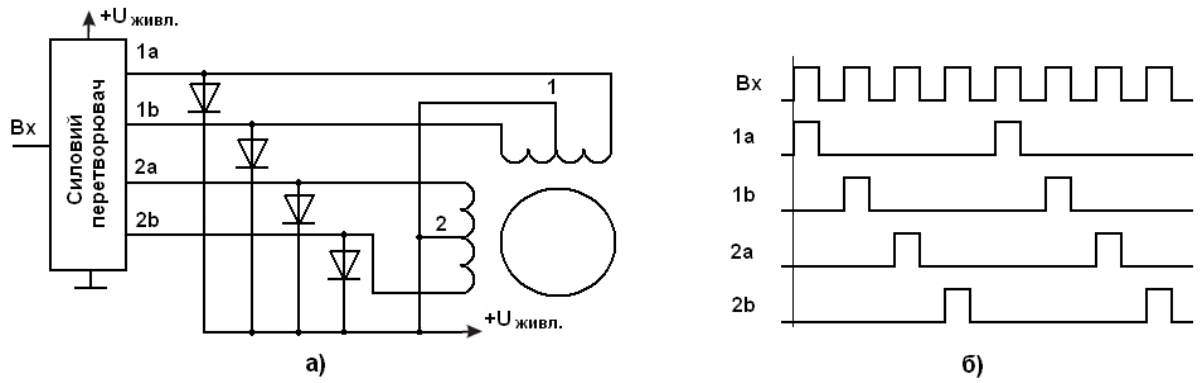


Рис. 10.7. Силовий перетворювач для крокового двигуна

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

Контрольні питання

1. Виконавчі пристрої.
2. Електромеханічні виконавчі пристрої.
3. Електродвигуни постійного та змінного струму.
4. Регульовані електроприводи.
5. Крокові двигуни.

Змістовий модуль 5. СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНИМИ МАШИНАМИ

Лекція 11. Структура та склад універсальних систем керування вантажопідійомними машинами

11.1. Структура та склад апаратних компонент універсальних систем керування

Сучасні системи програмного керування вантажопідійомними машинами та обладнанням логістичних систем частіше усього будуються на основі комплексних систем автоматизації, основою котрих є програмовані логічні контролери (ПЛК) широкого призначення. Такі системи керування включають, як правило, системи автоматизації для вирішення питань керування різного рівня та побудовані по модульному принципі. До складу таких систем входять програмовані логічні контролери різних рівнів складності, пристрої керування та відображення, промислові обчислювальні мережі, за допомогою яких усі компоненти об'єднуються у єдину систему, периферійні пристрої, які працюють під керуванням контролерів і дають можливість створювати розподілені системи керування. Крім цього потребуються засоби проектування, в якості яких використовуються персональні комп'ютери, та відповідне програмне забезпечення [1].

Програмовані контролери поділяються на системи керування низького, середнього та високого рівня. Системи керування низького рівня вирішують прості задачі керування. Кількість вхідних та вихідних сигналів у таких систем не перевищує двох – трьох сотень. Системи керування середнього рівня вирішують більш складні задачі керування. Кількість вхідних та вихідних сигналів у таких систем не перевищує одну – дві тисячі. Системи керування високого рівня вирішують найбільш складні задачі керування. Кількість вхідних та вихідних сигналів у таких систем може досягати десятки тисяч.

Системи керування низького рівня будуються як компактні контролери та мають вигляд окремого пристрою, який включає процесор та умонтовані входи та виходи. Вони здатні самостійно вирішувати прості задачі керування. 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 вантажопідійомними машинами та обладнанням логістичних систем.

До таких систем керування можна віднести, наприклад, контролери фірми Сименс **SIMATIC S7-1200** (рис. 11.1).



Рис. 11.1. ПЛК SIMATIC S7-1200

Процесорні модулі SIMATIC S7-1200 мають вмонтовані входи та виходи, кількість яких залежить від типу процесорного модуля, і таким чином являють собою компактні ПЛК. До системи команд входять функції, які можна віднести до функцій керування рухом, а саме, швидкі лічильники, позиціонування, формування імпульсних сигналів для керування

двигунами постійного струму (сигнали з широтно-імпульсною модуляцією) та керування кроковими двигунами (послідовність імпульсів). У разі потреби до процесорних модулів підключаються допоміжні модулі, а саме, модулі дискретних та аналогових входів та виходів, а також комунікаційні процесори, до складу яких входить комунікаційний процесор CP 1242-7, призначений для підключення SIMATIC S7-1200 до мобільних радіомереж GSM/GPRS. Це дає можливість здійснити глобальний бездротовий обмін даними між контролерами S7-1200, а також між контролерами S7-1200 та центрами управління шляхом підключення через Інтернет.

Структура процесорних модулів відрізняється від структури персональних комп'ютерів. Вони потребують значно менші обсяги пам'яті, тому програма зберігається не у зовнішніх носіях, а у постійній пам'яті (як правило це пам'ять з електричним перезаписом – FLASH пам'ять). Та частина програми, яка виконується, та дані зберігаються у оперативній пам'яті. Ця пам'ять теж значно менша, ніж у персональних комп'ютерів. Пристрої введення-виведення призначені для підключення додаткових модулів за допомогою системної магістралі, та зовнішніх пристроїв за допомогою локальних мереж, наприклад, програмуючого пристрою, або іншого контролера.

Компактні процесорні модулі мають вмонтовані входи та виходи для підключення дискретних та аналогових сигналів, а також можуть виконувати додаткові технологічні функції, наприклад, формування сигналів з широтно-імпульсною модуляцією, 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. Функціональні модулі відрізняються як функціями (лік, позиціонування і регулювання) так і кількістю каналів. Лічильні модулі призначені для підрахунку імпульсів фотоімпульсних датчиків і вимірюють позицію або швидкість переміщення і можуть використовуватись для простих систем позиціонування роботів. Модулі позиціонування призначені для створення систем позиціонування з різними виконавчими пристроями та датчиками зворотного зв'язку для позиціонування з однією або багатьма (до 4) осями. Такі модулі можуть виконувати функції позиційного та контурного керування роботом з використанням різних методів лінійної та колової інтерполяції.

Комунікаційні процесори здійснюють зв'язок системи керування з іншими пристроями по різних каналах зв'язку, наприклад, точка до точки, PROFIBUS, PROFINET, Industrial Ethernet та засоби бездротового зв'язку, що використовуються у випадках неможливості використовувати локальні мережі з дротовим зв'язком, як, наприклад, у мобільних роботів.

Наявність широкого спектра систем візуалізації та обслуговування, зокрема операторських панелей ОП, забезпечує ефективну взаємодію систем керування та оператора, а відкриті засоби комунікації дозволяють об'єднати локальні системи керування окремими компонентами робототехнічного комплексу на основі мобільних роботів в єдину гнучку комплексну систему керування виробництвом.

11.2. Структура та склад програмних компонент універсальних систем керування

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 обробку 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 третьому етапі програмісти створюють та налагоджує 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 керування. Це зв'язано з тим, що програми програмованих контролерів обробляють логічну та числову інформацію, та не мають потреби обробляти зображення, що потребує великі обсяги пам'яті та високу швидкість процесора. Саме тому програмні та апаратні компоненти промислових систем керування поділяються на засоби проектування та засоби виконання. Засоби виконання, які були розглянуті у попередньому розділі, являють собою програмовані логічні контролери (ПЛК).

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.

У язиках 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 режим роботи контролера, до яких належать циклове виконання програми, переривання програми за зовнішніми сигналами, переривання програми за часом та переривання для обробки помилок. Функції (FC) та функціональні блоки (FB) вміщують окремі програмні модулі, у яких можна задавати параметри. Функціональні блоки мають ще можливість запам'ятовувати дані для подальшої обробки у додаткових блоках даних (DB).

У ході виконання програми ПЛК не має доступу до вхідних та вихідних сигналів. На початку циклу проводиться опит вхідних сигналів та запис їх значень у пам'яті відображення входів. При кінці циклу з пам'яті відображення виходів проводиться запис значень сигналів на виходи. Структура програми та її виконання зображена на рис. 11.2.

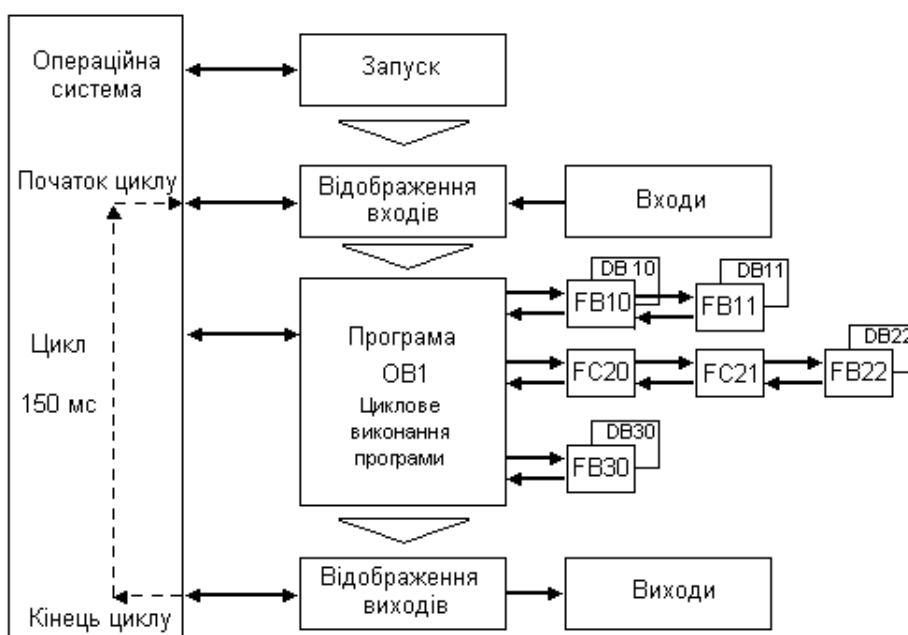


Рис. 11.2. Структура програми та її виконання

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. 11.3 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. 11.3. 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.

Контрольні питання

1. Структура та склад апаратних компонент універсальних систем керування.
2. Основні модулі входять універсальних систем керування.
3. Етапи процесу проектування та використання засобів автоматизації.
4. Склад програм промислових контролерів.
5. Форми представлення програми при програмуванні промислових контролерів.

Лекція 12. Програмне керування вантажопідійомними машинами

12.1. Принципи логічного керування

В основу принципів логічного керування лягли пристрої релейного керування, що раніше широко використовувались для керування вантажопідійомними машинами та транспортно-накопичувальними засобами [1].

Для прикладу розглянемо, як здійснюється керування підйомником, зображеного на рис. 12.1, за допомогою релейної схеми керування.

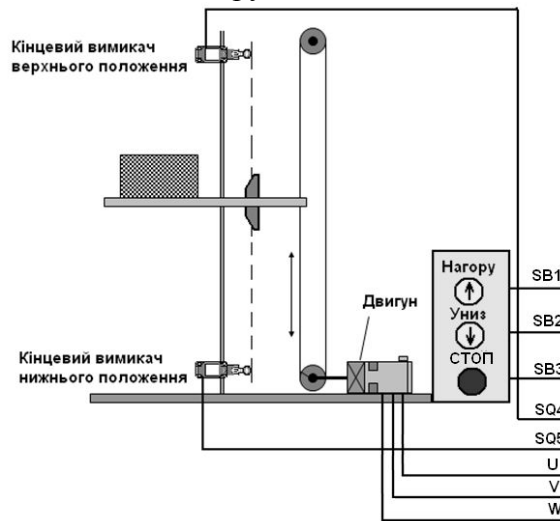


Рис. 12.1. Схематичне зображення підйомника

Релейна схема керування складається з головного кола, яке підключає двигун до мережі живлення, та допоміжного кола, яке здійснює саме керування (рис. 12.2).

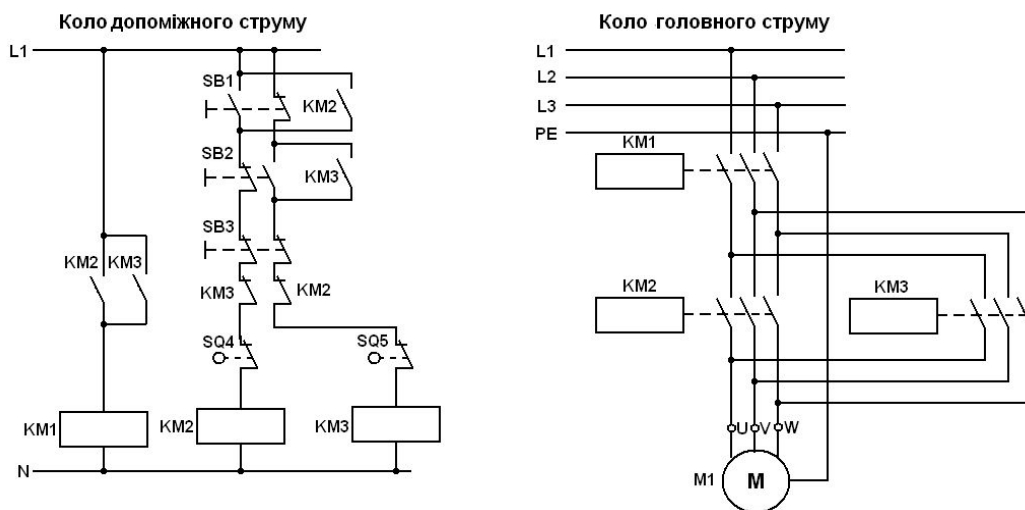


Рис. 12.2. Схема керування підйомником

Керування здійснюється за допомогою трьох кнопок "Нагору" (SB1), "Униз" (SB2), "СТОП" (SB3), кінцевих вимикачів верхнього (SQ4) та нижнього (SQ5) положень. У підйомнику використовується трифазний двигун (фази U, V, W). Кнопки "Нагору" (SB1), "Униз" (SB2) двополюсові, вони використовують замикаючий та розмикаючий контакти. Замикаючі контакти вмикають рух у відповідному напрямку, змінюючи напрямок руху за допомогою контакторів KM2 та KM3. Ці контактори змінюють підключення двох фаз V та W, що в свою чергу змінює напрям обертання двигуна. Контактор KM1 підключає двигун до силової мережі трифазного струму. Розмикаючі контакти кнопок "Нагору" та "Униз" блокують включення двигуна при одночасному натисканні кнопок "Нагору" та "Униз".

Допоміжні розмикаючі контакти контакторів KM2 та KM3 блокують включення одного напрямку руху, якщо включений другий. Тому при натисканні кнопок "Нагору" або

"Униз" розмикаючий контакт спочатку відключить рух у іншому напрямку та блокування допоміжного розмикаючого контакту, а тільки потім спрацює контактор руху у відповідному напрямку. Допоміжні замикаючі контакти контакторів КМ2 та КМ3, що включені паралельно замикаючим контактам кнопок "Нагору" та "Униз", замикають коло живлення контакторів і дозволяють продовжити рух, якщо відпустити ці кнопки. Кнопка "СТОП" теж двоколова, вона має два розмикаючих контакти. Це дозволяє підключити її до кіл живлення рухів в обох напрямках і відключити двигун незалежно від напрямку руху. Контактор КМ1 підключає двигун до силової мережі, якщо включений один з напрямків руху.

Наведена схема включає різні функції логічного керування, реалізованих за допомогою релейних схем, а саме функції І, АБО та НІ, а також функції пам'яті. Релейні пристрої керування у певний час, а у деяких випадках і досі, знайшли дуже широке використання. Недоліком таких систем керування є неможливість швидкої зміни алгоритму керування, бо це потребує зміни електричної схеми, яка саме і реалізує цей алгоритм.

Заміна релейної логіки на напівпровідникові логічні схеми, а потім і мікросхеми не зняла цей недолік, бо залишилась апаратна реалізація алгоритму керування.

Суттєва зміна підходу до будівництва систем керування здійснилась завдяки використанню цифрових обчислювальних пристроїв, які дають змогу створення алгоритму керування будь-якої складності за допомогою програм. Головною перевагою такого програмного, або комп'ютерного керування є можливість швидкої зміни програми, що в свою чергу змінює алгоритм керування та робить систему керування гнучкою.

Ця перевага знайшла своє втілення, наприклад, у так званих програмованих логічних контролерах (ПЛК), які мають модульну структуру та являють собою основу для створення гнучких промислових систем керування.

Розглянемо, як здійснюється керування підйомника, наведеного на рис. 12.1, за допомогою програмованого логічного контролера (рис.12.3).

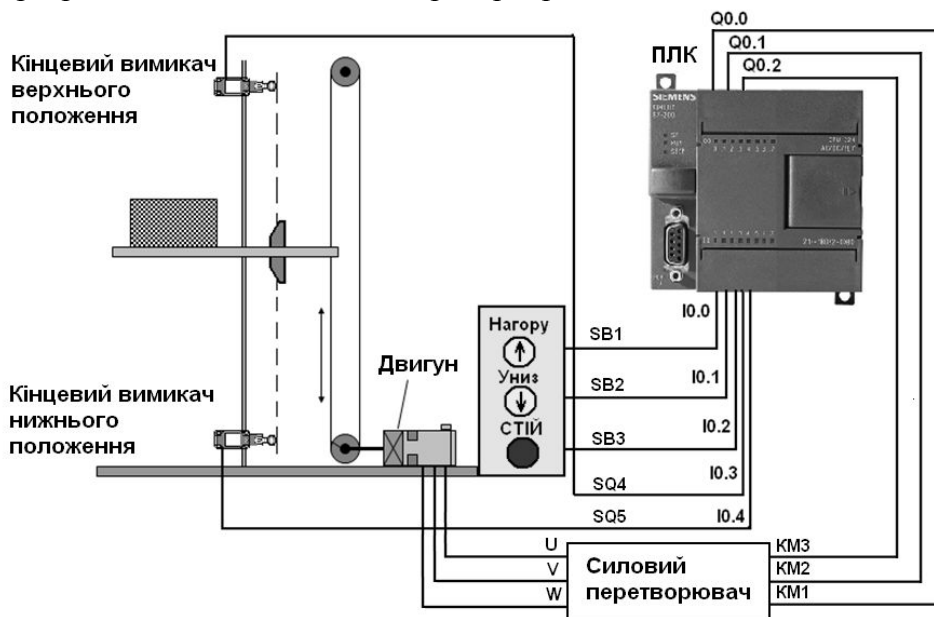


Рис.12.3. Керування підйомника за допомогою програмованого логічного контролера

Треба зазначити, що комп'ютерне керування у даному випадку замінює коло допоміжного струму, бо саме там закладений алгоритм керування. Коло головного струму, наведене на рис. 3.2, залишається, бо воно здійснює підключення двигуна до мережі живлення та виконує функції силового перетворювача, який за допомогою вихідних сигналів ПЛК підключає двигун до мережі живлення та змінює його напрям обертання.

Одна з форм представлення програм у сучасних ПЛК, які більш детально будуть розглянуті далі, є форма у вигляді контактної плану (релейно-контактної схеми), що близька по своєму вигляду до електричної схеми, тому використаємо цю форму для

програми керування підйомником. На рис. 12.4 наведено порівняння програми керування з колом допоміжного струму (див. рис. 12.2), яке здійснює алгоритм керування.

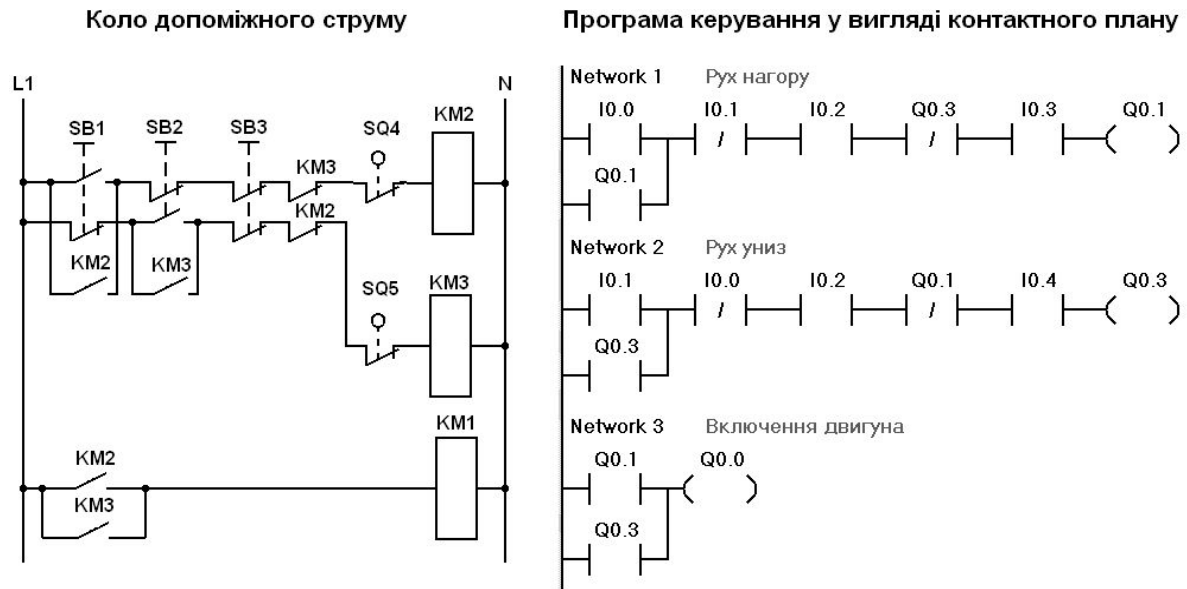


Рис. 12.4. Порівняння програми керування у вигляді контактної схеми з колом допоміжного струму

Розглянутий приклад показує принцип логічного керування, основою якого є логічні функції. У релейних схемах ці функції реалізуються шляхом послідовного (функція логічного І) та паралельного (функція логічного АБО) з'єднання контактів. Функція інверсії реалізується як нормально замкнутий контакт.

На рис. 12.5 наведені основні логічні функції у різних формах представлення програми.

Функція	Контактний план	Функціональний план	Послідовність команд
Логічне І			A IO.0 A IO.1 AN IO.2 = Q4.0
Логічне АБО			O IO.0 O IO.1 ON IO.2 = Q4.0
Виключне АБО			X IO.0 X IO.1 = Q4.0

Рис. 12.5. Основні логічні функції

12.2. Функції керування рухом

Перевагою ПЛК є наявність вмонтованих технологічних функцій керування рухом та регулювання. До цих функцій можна віднести функції швидкого лічильника, функції позиціонування та функції регулювання.

Для спрощення процесу програмування цих функцій програмне забезпечення **STEP 7-Micro/Win** та **STEP 7 Basic** мають так званого майстра проектування (рис. 12.6).

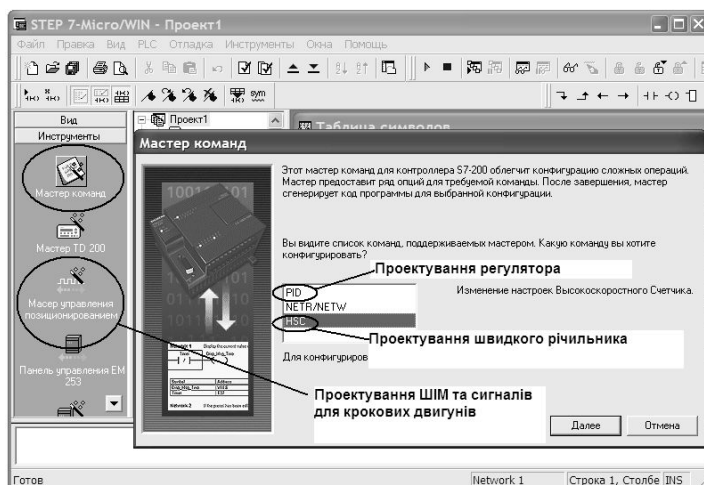


Рис. 12.6. Майстер проектування додаткових функцій.

Розглянемо, як здійснюється програмування окремих функцій. Наприклад, функції швидкого лічильника дають можливість використовувати фотоімпульсні датчики переміщення для визначення положення та швидкості. Ця функція дозволяє встановити до шести одно- та двофазних швидких лічильників (в залежності від типу процесора) з внутрішнім або зовнішнім керування напрямку рахунку. Двофазні лічильники використовуються для підключення фотоімпульсних датчиків з двофазним виходом.

Складання програми установки параметрів швидкого лічильника HSC_INIT можна зробити за допомогою майстра ініціалізації. Нижче наведена послідовність формування HSC_INIT та виклик цієї програми.

Спочатку треба вибрати функцію швидкого лічильника HSC. Потім встановлюють номер лічильника та режим його роботи (рис. 12.7)

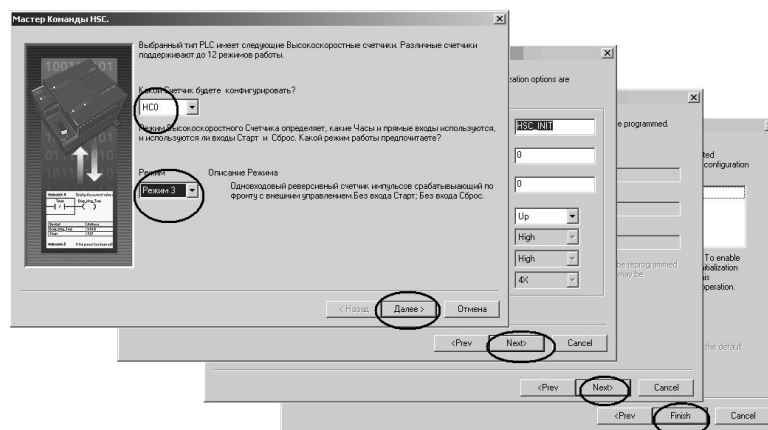


Рис. 12.7. Вибір параметрів швидких лічильників

Після виконання команди **Finish** майстер складає підпрограму HSC_INIT та закладає її у меню в розділ **Виклик підпрограм** для використання при складанні програми (рис. 12.7).

Функція **Імпульсний вивід (PLS)** використовується для керування функціями "Вивід послідовності імпульсів" (PTO) та "Широтно-імпульсна модуляція" (PWM) з використанням імпульсних виходів (Q 0.0 або Q 0.1).

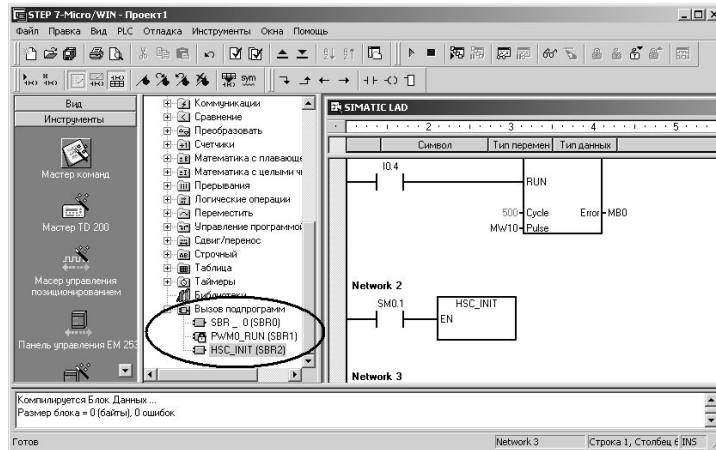


Рис. 12.7. Виклик програми установки параметрів швидких лічильників

PTO використовується для виведення послідовності імпульсів (наприклад, для керування кроковими двигунами)

PWM використовується для керування за допомогою широтно-імпульсної модуляції (наприклад для двигунів постійного струму).

Складання підпрограми формування сигналу з широтно-імпульсною модуляцією можна здійснити за допомогою асистента. На початку треба вибрати потрібну функцію PTO або PWM, потім вихід, який використовується для цієї функції (виходи Q 0.0 або Q 0.1) (рис. 12.8).

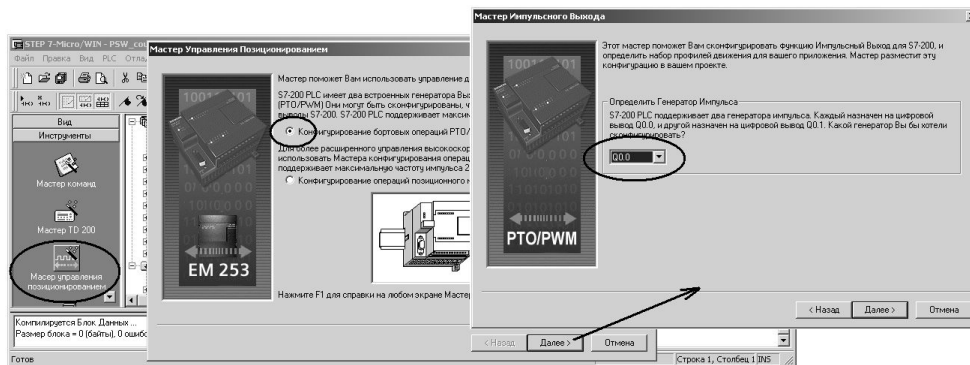


Рис. 12.8. Вибір функцій PTO або PWM та виходу, який використовується для цієї функції (виходи Q 0.0 або Q 0.1)

Після цього треба встановити базу часу для тривалості імпульсу та періоду (мілісекунди або мікросекунди) та завершити складання підпрограми формування сигналу з широтно-імпульсною модуляцією (рис. 12.9).

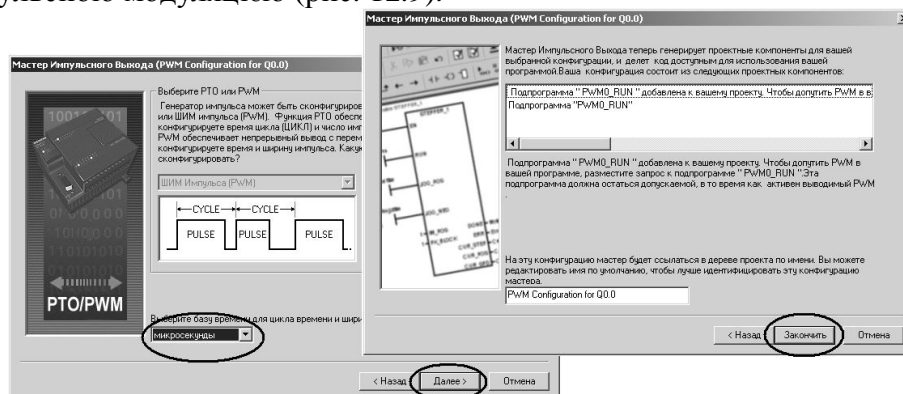


Рис. 12.9. Встановлення бази часу для тривалості імпульсу та періоду (мілісекунди або мікросекунди) та завершення складання підпрограми формування сигналу з широтно-імпульсною модуляцією

Після закінчення роботи асистент упорядковує та закладає у меню в розділ “Виклик підпрограм” підпрограму формування сигналу з широтно-імпульсною модуляцією PWM0_RUN з параметрами: EN - дозвіл виконання підпрограми; RUN - запуск підпрограми; Cycle – тривалість періоду ШІМ; Pulse - тривалість імпульсу ШІМ.

Таким чином ця підпрограма може викликатися для використання при складанні програми (рис. 12.10).

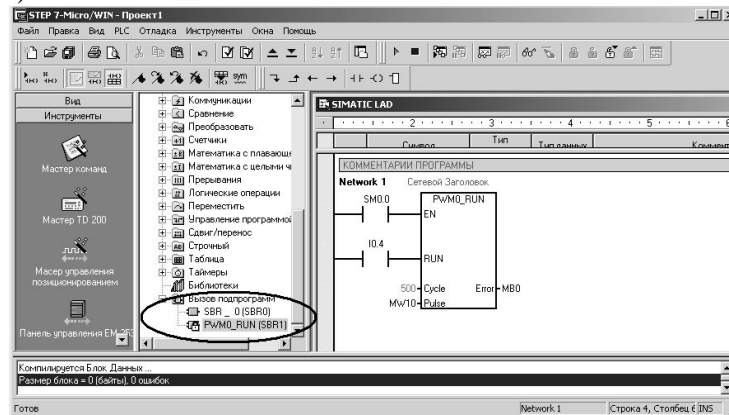


Рис. 12.10. Виклик підпрограми формування сигналу з широтно-імпульсною модуляцією PWM0_RUN

Крім програмних засобів керування рухом у складі ПЛК використовують відповідні функціональні модулі.

Наприклад, ПЛК SIMATIC S7-300 має модуль FM353, що здійснює керування одним кроковим двигуном, та модуль позиціонування FM357-2, що має чотири канали та здійснює позиційне або контурне керування кроковими чи серводвигунами (рис. 12.11). Цей модуль має також 4 вимірювальних входів для підключення датчиків положення.

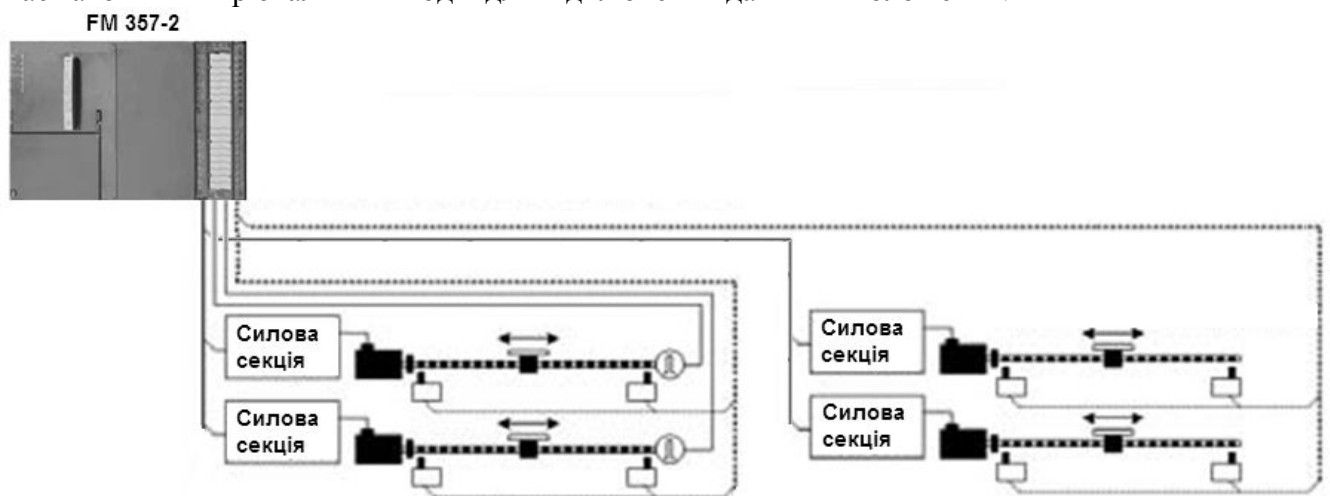


Рис. 12.11. Модуль позиціонування FM357-2

12.3. Функції безпеки

Для задач з підвищеним рівнем безпеки використовують ПЛК з резервуванням процесорних та інших модулів. На рис. 12.11 наведена система з резервуванням на основі ПЛК S7-400H. Ця система дозволяє здійснити резервування також систем верхнього рівня керування за допомогою мережі Ethernet. Головний та допоміжний процесори підключаються до сигнальних модулів на основі децентралізованої периферії ET200M за допомогою резервованої мережі PROFIBUS.

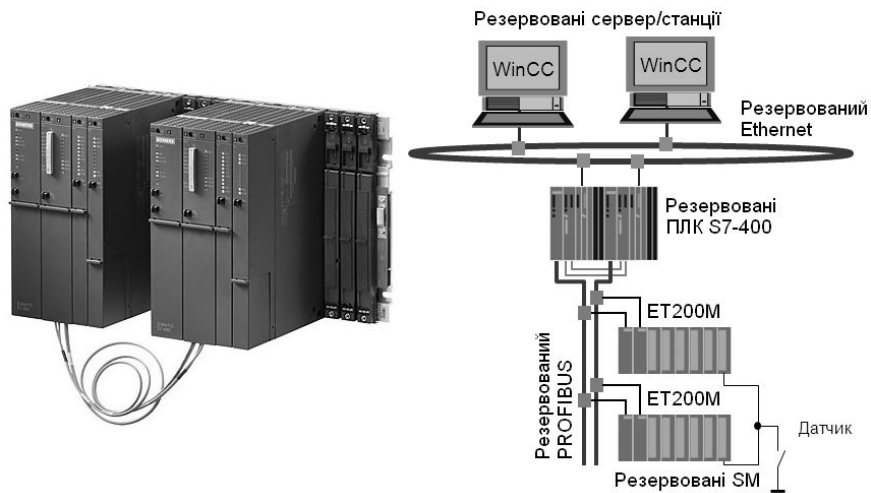


Рис. 12.11. ПЛК S7-400Н з резервуванням

Засоби керування рухом у складі ПЛК мають такі функції безпеки як обмеження швидкості переміщення, обмеження робочої зони, обмеження ваги вантажу, обмеження струму та температури двигунів, захист від розгойдування вантажу та інші.

На рис.12.12 наведена спеціалізована система управління приводами підйому та переміщенням кранів НІРАС.

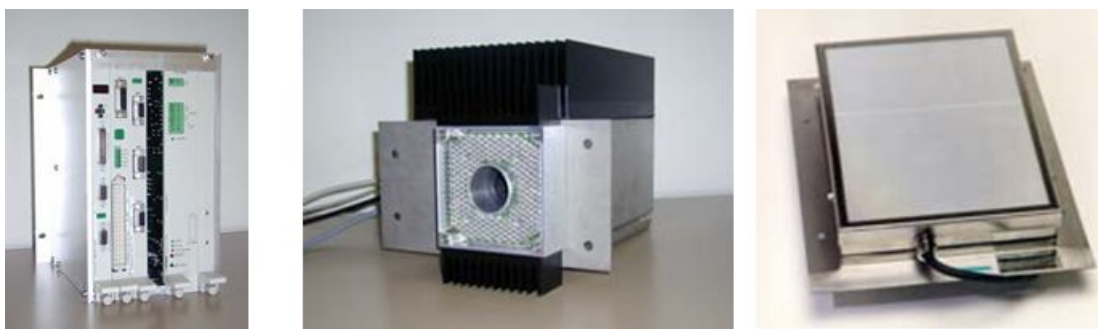


Рис. 12.12. Спеціалізована система управління приводами підйому та переміщенням кранів НІРАС

Система складається з контролера, відеокамери з відбивачем та додатковими датчиками.

Існують модифікації для контейнерних, мостових та грейферних кранів.

Мають режими ручного та автоматичного керування: у ручному режимі оператор сам здійснює керування та контролює коливання вантажу, у автоматичному режимі НІРАС контролює підйом та коливання вантажу.

Структурна схема системи наведена на рис. 12.13.

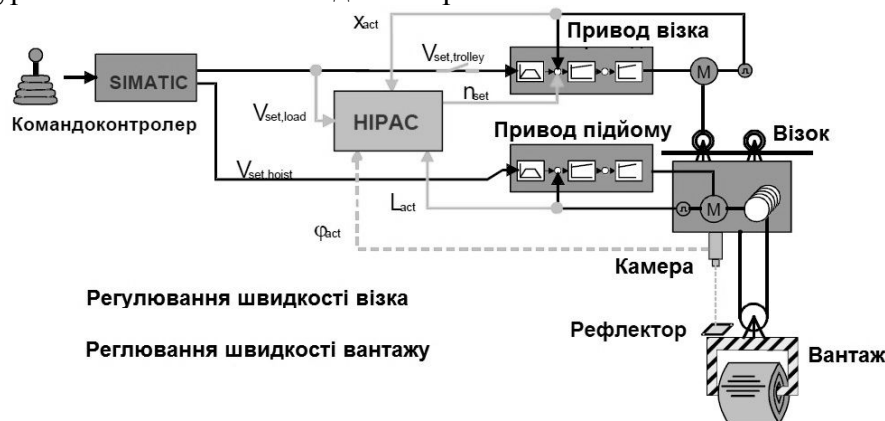


Рис. 12.13. Структурна схема системи НІРАС

Контрольні питання

1. Принципи логічного керування та основні логічні функції.
2. Склад функції керування рухом.
3. Використання швидких лічильників.
4. Використання імпульсного виводу.
5. Модулі керування рухом.

Лекція 13. Приклади використання програмованих логічних контролерів для керування вантажопідійомними машинами

13.1. Система керування порталним краном

Розглянемо систему керування порталним краном «Сокол» (рис. 13.1) [1].

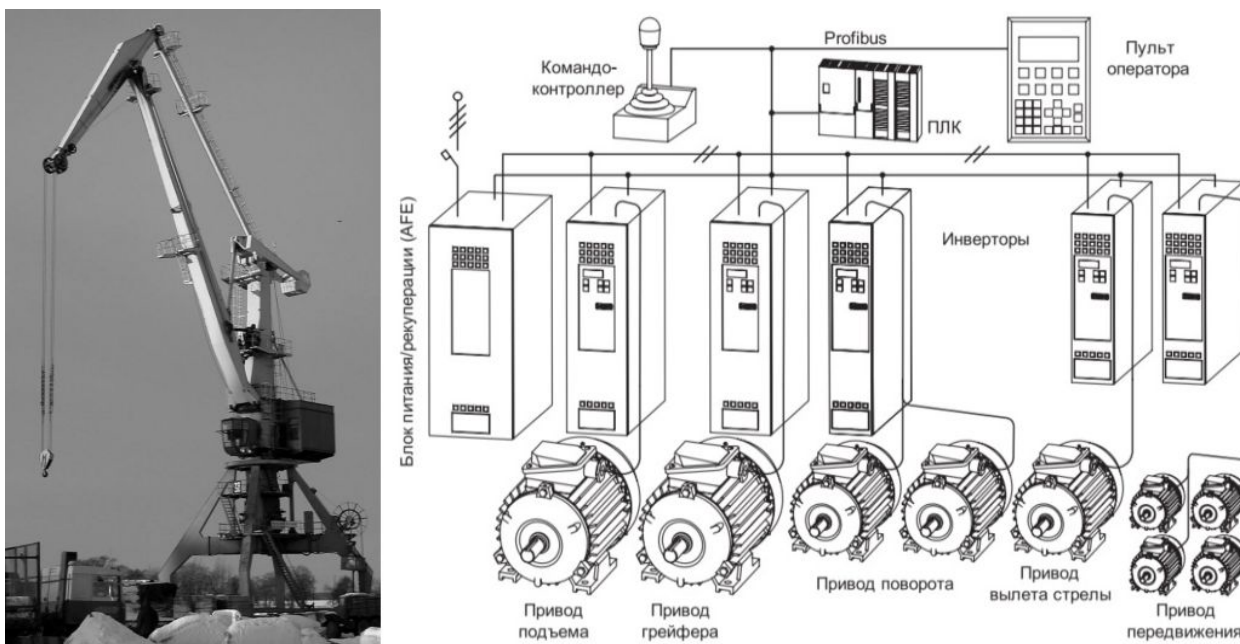


Рис. 13.1. Система керування порталним краном «Сокол»

Кран порталний електричний пересувний повноповоротний з шарнірнозчленованою стрілою забезпечує майже горизонтальне переміщення вантажу при зміні вильоту.

Кран призначений для перевантаження штучних і навалочних вантажів при проведенні вантажно-розвантажувальних робіт.

Кран «Сокол» складається з порталу, встановленого на чотири ходові візки і поворотної частини. Портал - двоколіїний, з відстанню між осями 4,8 м. 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, кабіну 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.

Для грейферної лебідки і механізму повороту встановлено по два ідентичних двигуна.

Була використана система, що базується на використанні частотно-регульованих приводів, яка застосовує активні блоки живлення та рекуперації енергії AFE.

Блок AFE допускає роботу в слабких мережах з короткочасними просадками напруги до 50% без необхідності у використанні додаткового вхідного трансформатора.

Блок AFE навіть при роботі з номінальним напругою мережі здійснює невелике підвищення напруги на ланці постійного струму, що дозволяє інверторам значно краще формувати напруги, що подаються на обмотки двигунів.

Інвертори підключені за допомогою вихідної шини постійного струму вхідного пристрою і живлять двигуни механізмів крана. Інвертори перетворюють постійну напругу в змінне необхідної частоти для регулювання швидкості обертання двигунів.

Двигуни вантажних лебідок, механізмів повороту (один з двох) і зміни вильоту стріли оснащені імпульсними датчиками положення, за допомогою яких здійснюється замкнутий управління швидкістю даних двигунів.

Датчики положення встановлені на обох двигунах лебідок, одному з двигунів повороту і двигуні вильоту стріли. Всі встановлені імпульсні датчики призначені для роботи у важких умовах при широкому діапазоні температур навколишнього середовища.

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 в режимі разомкнутого управління швидкістю.

Всі двигуни надійно захищені інверторами, які здійснюють їх живлення. В інверторах закладені наступні види захистів:

- максимально-струмова,
- теплова,
- температурна,
- захист від обриву фази,
- захист від перекосу фаз,
- захист від зникнення напруги,
- захист від зриву двигуна і неприпустимого його розгону.

Всі перераховані види захистів дозволяють виключити вихід з ладу двигунів.

Система безпечної роботи забезпечує контроль над механізмами, запобігаючи виходу їх в аварійні положення, і кранівником, блокуючи його небезпечні команди.

Крім того, здійснюється апаратний контроль положення аварійних вимикачів на крані для здійснення екстреної зупинки роботи крана у випадках різних небезпек, і контроль слабину (провисання) вантажних канатів.

Функції системи безпеки розподілені всередині різних систем управління: кінцеві вимикачі обробляються в системах управління двигунами механізмів крана. Контроль над кранівником реалізовані в ПЛК, контроль аварійних вимикачів виконаний апаратно.

Система обмеження вантажопідйомності однією з найважливішою частиною системи безпеки роботи крана і призначена для обмеження гранично-допустимої маси вантажу, що піднімається для існуючого значення вильоту стріли.

Система обмеження вантажопідйомності реалізована на базі ПЛК. ПЛК обробляє інформацію про вагу, одержувану з тензOMETричного датчика ваги, і вильоту, що отримується від абсолютного датчика положення, встановленого на зубчастій рейки механізму зміни вильоту стріли.

Сигнал з датчика положення обробляється в технологічній платі керування краном T400 інвертора підтримуючої лебідки і передається в ПЛК по послідовній шині Profibus-DP.

ПЛК на основі вимірів приймає рішення про допустимість роботи з узятим вантажем на існуючому вильоті стріли.

Система аварійної роботи крана призначена для можливості отримання вантажозахоплювального пристрою транспортного засобу, що розвантажує або завантажує.

Система реалізована на базі тиристорного регулятора напруги (пристрої плавного пуску), який може підключатися до будь-якої з вантажних лебідок з допомогою ножових роз'єднувачів.

При цьому здійснюється можливість запуску обраного двигуна на підйом.

Система управління крана реалізована на базі промислового контролера типу Simatic S7-300 (ПЛК), який управляє всіма виконавчими пристроями і на який заведено сигнали всіх датчиків.

На основі ПЛК реалізовані системи обмеження вантажопідйомності, людино-машинного інтерфейсу і безпеки крана.

Зв'язок між ПЛК, інверторами і панеллю здійснюється по мережному інтерфейсі Profibus-DP.

Для програмування на налагодження системи керування можна використовувати пристрій програмування на основі ноубука (рис. 13.2).



Рис. 13.2. Пристрій програмування на основі ноубука

13.2. Система керування контейнерним перевантажувачем

Розглянемо рейковий автоматичний кран-штабелер, встановлений в місці проміжного зберігання вхідних і вихідних контейнерів (рис. 13.3).



Рис. 13.3. Рейковий автоматичний кран-штабелер

Автоматично керовані транспортні засоби так звані AGV (Automated Guided Vehicles) доставляють контейнер від берегових кранів до місця складування. Так як контейнери не можуть при цьому позиціонуватися з точністю, необхідної для захоплення спредером, пошукова система, встановлена на крані, вимірює точне положення контейнера, після чого привід переміщення крана-штабелера виробляє необхідну корекцію. Для цього використовуються 2 інфрачервоних датчика.

Кран включає механічну конструкцію порталного крана, а також підйомний механізм, крановий візок і механізм переміщення. Робоча площа вантажопідйомного крана охоплює 6 контейнерів в поперечному і 40 в поздовжньому напрямку, що відповідає довжині підкранових колій близько 300 м. При висоті штабеля 4 контейнери загальне число оброблюваних контейнерів досягає 960.

Про економічне і ефективне застосування вантажопідйомного крана-штабелера піклується система управління процесом (PCS), яка призначає точну позицію прийняття контейнера і позицію розвантаження. Основним завданням центрального контролера Simatic S7-400 є розрахунок оптимальної траєкторії і швидкості руху вантажу, щоб необхідні

переміщення вантажопідйомного крана здійснювалися точно і швидко. Велика частина електроустаткування крана розміщена в закритому «контейнері електрообладнання», окрема електрошафа змонтована на візку.

Перетворювач частоти Simovert Masterdrives VC, побудований за модульним принципом, і складається з декількох силових компонентів: блоку живлення / рекуперації і двох інверторів, які можуть підключатися до будь-яких приводів (підйомний механізм, крановий візок, привід переміщення крана). В єдине ціле всі компоненти пов'язує електронна промислова мережа передачі даних Profibus. Завдяки побудові системи на основі такої концепції будь-які два руху механізмів крана можуть здійснюватися одночасно, наприклад: підйомного механізму і візки або переміщення вантажопідйомного крана і візка. Навіть при несправності в одному з перетворювачів кран може продовжувати роботу в так званому «Послідовному» режимі.

Сигнали управління і значення уставок для системи регулювання розподілені між центральним контролером Simatic S7-400 з CPU416-2DP і вбудованим в привід управління інверторів. Всі приводи мають замкнуті контури регулювання швидкості з датчиком фактичного значення частоти обертання і використовують принцип векторного управління. Імпульсні датчики в електродвигунах підключаються до інверторів за допомогою спеціально розробленого електронного комутатора.

Для управління інверторами використовуються вбудовані технологічні плати T300. Ці плати вирішують задачу точного позиціонування всіх механізмів крана. Завдяки інтеграції контролера T300 безпосередньо в силовий блок досягається висока швидкість обробки сигналів і відсутність запізнення.

Для досягнення необхідної точності першорядне значення має надійне вимірювання лінійних і кутових переміщень. Тому всі 3 головних приводу мають власні датчики положення. Підйомний механізм обладнаний абсолютним датчиком кутових переміщень, крановий візок має лінійний абсолютний датчик переміщення. Обидва датчика підключені до контролера по інтерфейсу SSI.

Шасі крана має абсолютну вимірювальну систему, що складається з вимірювальної антени, імпульсного датчика і бортового ретранслятора.

Сигнал, який визначає вимірювану позицію шасі крана, надходить в контролер по інтерфейсу TTY.

Точність позиціонування для цих вимірювальних систем становить всього кілька міліметрів.

Для забезпечення безпечної роботи крана використовується додатковий контролер, який здійснює вимірювання ваги вантажу та ресурс усіх двигунів.



Рис. 13.4. Додатковий контролер системи безпеки

Інформація зберігається у пам'яті контролера та періодично надається на головну систему керування.

У разі виникнення небезпечної ситуації надаються відповідні сигнали.

Контрольні питання

1. Система керування порталним краном.
2. Блоки живлення та рекуперації енергії AFE.
3. Система обмеження вантажопідйомності.
4. Система керування контейнерним перевантажувачем.
5. Перетворювач частоти Simovert Masterdrives VC.

Змістовий модуль 6. ПРИЛАДИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА БЕЗПЕКИ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН

Лекція 14. Автоматизація та прилади безпеки кранів

14.1. Автоматизація та прилади безпеки мостових кранів

Вимоги до безпечної роботи мостових кранів

Мостові крани повинні бути обладнані пристроями автоматичної зупинки механізму підйому, механізму пересування моста і візка перед підходом їх до упорів, якщо швидкість їх пересування перевищує 32 м/хв. Для цього використовують кінцеві вимикачі [1].

Всі кінцеві вимикачі можна розділити за способом включення на вимикачі головного струму, що розмикають головний ланцюг двигуна, і вимикачі струму управління, що розмикають ланцюг котушок контакторів. За конструкцією кінцеві вимикачі поділяються на важільні (рис. 14.1, а) і шпindelні (рис. 14.1, б). При відхиленні важеля вимикача від нормального положення пов'язані з ним контакти розривають ланцюг головного струму або струму управління і двигун механізму відключається.

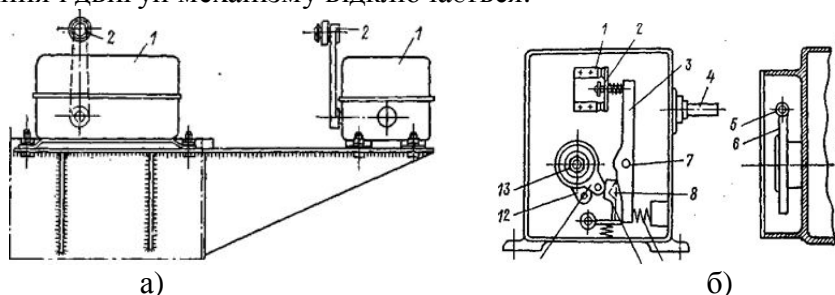


Рис. 14.1. Важільні (а) і шпindelні (б). кінцеві вимикачі

Кінцевий вимикач механізму пересування повинен бути встановлений таким чином, щоб його двигун відключався на відстані до упору, що дорівнює не менше половини шляху гальмування механізму, а в козлових кранах - не менше повного шляху гальмування. При наявності взаємних обмежників ходу механізмів пересування мостових кранів, що працюють на одній колії, вказану відстань може бути зменшена до 0,5 м.

Двері для входу до кабіни мостового крана з посадкового майданчика постачають електричним блокуванням, що перешкоджає руху при відкритих дверях.

Електричну схему магнітних кранів слід виконувати так, щоб зняття напруги з крана контактами приладів та пристроїв безпеки не відбивалося на напрузі вантажного електромагніту. У кранів з електроприводом трифазного струму при обриві будь-якої однієї фази повинен відключатися механізм підйому вантажу. Контакти приладів і пристроїв безпеки повинні працювати на розрив електричного кола.

Електрична схема управління електродвигунами крана повинна виключати: самозапуск електродвигунів після відновлення напруги в мережі, яка живить кран; пуск електродвигунів не за заданою схемою прискорення; пуск електродвигунів контактами запобіжних пристроїв - контактами кінцевих вимикачів і блокувальних пристроїв.

Універсальний мікропроцесорний прилад ОГМ240_МК для мостових кранів

На рис. 14.2 наведений універсальний мікропроцесорний прилад для мостових кранів.



Рис. 14.2 Універсальний мікропроцесорний прилад для мостових кранів

Функції

Призначений для захисту крана від перевантаження при підйомі вантажу, від небезпечних поривів вітру, а також для реєстрації параметрів роботи крана в реальному часі.

Обмежувач вантажопідйомності

Прилад автоматично формує сигнал відключення механізмів крана при підйомі вантажу, маса якого перевищує паспортну вантажопідйомність більш ніж на 25% окремо для кожної лебідки.

Вимірювання і відображення параметрів роботи крана

- маси вантажу на вантажозахватному органі для кожної з двох лебідок;
- паспортної вантажопідйомності;
- ступеня завантаження за двома вантажозахватними органами;
- швидкості вітру (при наявності датчика швидкості вітру в комплекті поставки);
- поточний час і дати;
- значень вихідних сигналів датчиків.

Реєстратор параметрів

Вбудований реєстратор параметрів записує в незалежну пам'ять приладу дату, час і основні значення навантажувальних параметрів крана, а також стан сигналів управління.

Додатково РП зберігає таку інформацію протягом всього терміну служби ОГМ240:

- загальне напрацювання крана в мотогодинах;
- напрацювання в мотогодинах окремо для кожної з 2-х лебідок;
- напрацювання в мотогодинах для механізму пересування крана;
- напрацювання в мотогодинах для механізму пересування вантажного візка;
- число циклів окремо для кожної з лебідок;
- маси піднятих вантажів для кожної з лебідок;
- групу режиму роботи крана, клас використання, режим навантаження, коефіцієнт розподілу навантажень і характеристичні числа лебідок.

14.2. Автоматизація та прилади безпеки баштових кранів

Вимоги до безпечної роботи баштових кранів

До пристроїв, що забезпечує безпечну роботу крана, належать запобіжні пристрої, показчики, обмежувачі робочих положень механізмів і обмежувачі вантажопідйомності. На кранах різних типів пристрою безпеки можуть мати різне конструктивне виконання і розташовуватися на різних частинах крана.

До основних приладів і пристроїв безпеки, які встановлюють на вантажопідіймальних кранах, відносяться (рис. 14.3):

- обмежувачі вантажопідйомності (вантажного моменту);
- обмежувачі вильоти стріли;
- кінцеві вимикачі;
- обмежувачі підйому гака;
- обмежувачі повороту обертається крана;
- анемометр;
- протиугінні пристрої, виносні опори, гальма, огорожу, галереї, майданчики і сходи.

Обмежувач пересування баштового крана призначений для автоматичного відключення приводу механізму крана при підході його до рухомих частин встановлених обмежень. Для цієї мети служить кінцевий вимикач 10. При підході крана до обмеження шляху його руху важіль кінцевого вимикача 10 досягає інвентарної шляхової лінійки 11 і відбувається відключення двигуна.

Обмежувачі пересування крана повинні бути встановлені таким чином, щоб відключення двигуна механізму пересування відбувалося на відстані не менше гальмівного шляху до тупикового упору.

Для гасіння залишкової швидкості крана і запобігання його сходу з кінцевих ділянок кранового шляху в аварійних ситуаціях, при відмові обмежувача пересування або гальм механізму пересування крана на кінцях рейкової колії (на відстані не менше 0,5 м) повинні бути встановлені тупикові упори 12.

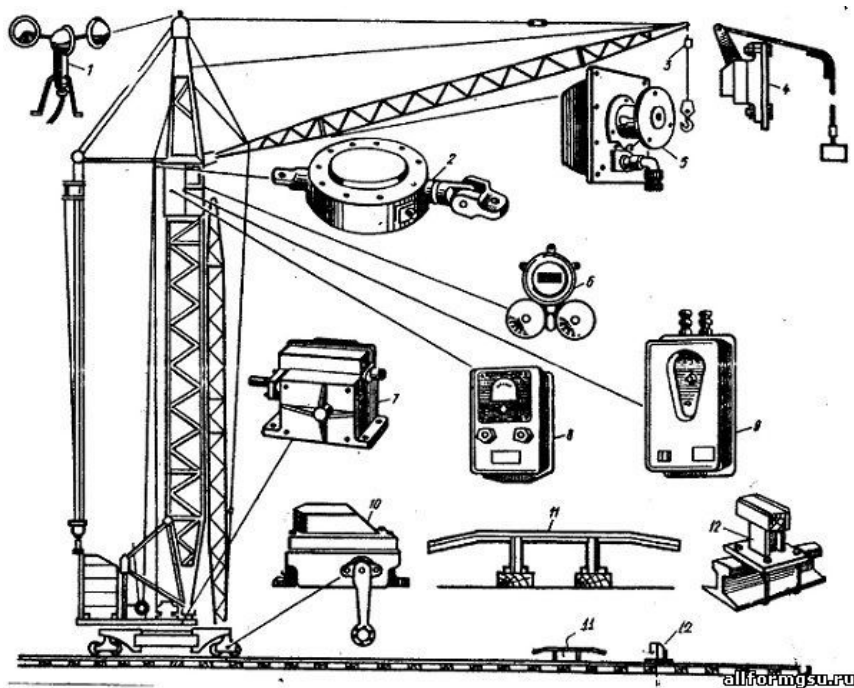


Рис. 14.3. Прилади й пристрої, що забезпечують безпечну роботу баштового крана:
 1 - анемометр; 2 - датчик зусиль обмежувача вантажопідйомності; 3 - вантаж обмежувача підйому гака; 4 - вимикач обмежувача висоти підйому гака; 5 - датчик кута підйому стріли; 6 - звуковий сигнал; 7 - кінцевий вимикач обмежувача повороту башти; 8 - панель сигналізації обмежувача; 9 - релейний блок обмежувача вантажопідйомності; 10 - кінцевий вимикач обмежувача пересування крана; 11 - інвентарна колійна лінійка; 12 - тупиковий упор.

Упори повинні бути встановлені таким чином, щоб наїзд крана на упори був одночасним. При установці тупикових упорів необхідно враховувати відстань від кінців шляху, габарити тупикових упорів, відстань між спареними тупиковими упорами для важких кранів і відстань між тупиковими упорами і габаритами крана, що знаходиться на крайній стоянці біля тупикового упору.

Обмежувачі вильоту стріли 5 служать для автоматичного відключення механізму, що забезпечує зміну вильоту стріли при досягненні стрілою максимального або мінімального робочого вильоту.

Обмежувач висоти підйому гака 3, 4 служить для автоматичного відключення механізму підйому гака при підході його до верхнього крайнього положення. Цей обмежувач складається з вимикача 4 і вантажу 3 з двома направляючими скобами, в які заведені гілки вантажного каната. Коли вантажна підвіска впирається в вантаж 3 і піднімає його, звільнений від вантажу важіль вимикача 4 розмикає контакти електричного живлення механізму підйому гака.

Обмежувач повороту 7 поворотної частини крана служить для того, щоб не допустити обертання поворотної частини крана в одну сторону більше двох разів, з метою запобігання обриву струмоведучих проводів, коли одні кінці цих проводів закріплюються на ходовій рамі, а інші - на поворотній частині крана.

Анемометр 1 призначений для автоматичного визначення швидкості вітру, при якій робота припиняється, і включаються аварійні пристрої. Анемометр з'єднаний з панеллю приладів в кабіні кранівника.

Система світлової та звукової сигналізації 6 реагує на збільшення сили вітру до гранично допустимої величини і на перевищення швидкості вітру допустимої величини.

Універсальний мікропроцесорний прилад ОГМ240_БК для баштових кранів

Функції

Призначений для захисту крана від перевантаження і падіння при підйомі вантажу, від пошкодження крана і зіткнення з перешкодами при роботі в обмежених умовах (координатний захист), від небезпечних вітрових поривів, а також для реєстрації параметрів роботи крана в реальному часі.

Обмежувач вантажопідйомності

Прилад автоматично формує сигнал відключення механізмів крана при підйомі вантажу, маса якого перевищує максимальну вантажопідйомність для поточного вильоту.

Обмеження рухів крана

Прилад автоматично забезпечує зупинку механізмів:

- підйому гака при його підході до крайніх верхнього і нижнього положення (обмежувач граничного підйому та опускання гака);
- зміни вильоту в крайніх положеннях вантажного візка;
- повороту вліво і вправо кран при підході до крайніх кутовим положень;
- пересування крана при його підході до крайніх точок рейкового шляху.

Координатний захист

Координатний захист призначений для запобігання зіткнення крана з перешкодами в умовах обмеженого простору роботи.

У ОГМ240 реалізовані наступні види координатної захисту:

- «Стіна» - захист стріли і крюка (введення до 40 точок ламаної лінії для кожної захисту);
- «Стеля» - захист типу «Майданчик-1» і «Майданчик-2» (є можливість розширення кількості майданчиків);
- «Обмеження вліво» і «Обмеження вправо» - запобігання перевищення кута повороту стріли зліва і справа відповідно;
- «Обмеження вильоту» - обмеження по максимальному вильоту;
- «Обмеження вгору» і «Обмеження вниз» - обмеження по максимальній і мінімальній висоті відповідно

Вимірювання і відображення лінійних і навантажувальних параметрів крана

Прилад визначає і відображає на дисплеї блоку індикації:

- лінійні параметри крана - виліт, висоту підйому гака, положення крана на крановому шляху, кут повороту стріли, швидкість вітру;
- навантажувальні параметри - ступінь завантаження крана, значення поточної корисної вантажопідйомності, масу вантажу на гаку;
- поточні час і дату;
- значення датчиків приладу.

Реєстратор параметрів

Вбудований реєстратор параметрів записує в незалежну пам'ять приладу значення лінійних і навантажувальних параметрів крана, а також стан входів і виходів.

Додатково РП зберігає таку інформацію протягом всього терміну служби ОГМ240:

- загальну напрацювання крана в мотогодинах;
- сумарне число робочих циклів;
- маси піднятих вантажів;
- дату, час та основні параметри роботи крана;
- параметри крана: тип і параметри стріли, максимальні і мінімальні висоту, виліт, шлях і азимут, уставки для швидкісних режимів роботи механізмів крана;
- координати введених координатних захистів стріли, гака і майданчиків;
- параметри обмеження рухів крана.

14.3. Автоматизація та прилади безпеки автомобільних кранів

Вимоги до безпечної роботи автомобільних кранів

Відповідно до «Правил будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів» автомобільні крани повинні бути обладнані приладами та пристроями, що забезпечують їх безпечну експлуатацію: обмежувачами, покажчиками, сигнальними пристроями.

Обмежувачі автоматично вимикають механізм (або групу механізмів) крана, якщо настають умови, при яких порушується його безпечна експлуатація: наприклад, якщо стріла піднята в такий стан, при якому вона може перекинутися назад і впасти на поворотну частину крана, або на даному вильоті стріли піднімають вантаж, що перевищує допустиму вантажопідйомність. Обмежувачі під'єднані до ланцюгів управління крана.

Конструкція обмежувачів дозволяє відновити роботу відключених механізмів для повернення робочого обладнання в безпечне положення. Так, якщо спрацював обмежувач підйому стріли, то стрілова лебідка зможе тільки опустити її. Якщо піднятий вантаж більше допустимого, вантажна лебідка може тільки опустити його, а стрілова - тільки підняти стрілу, зменшивши тим самим перекидаючий момент, діючий на кран від цього вантажу.

Слід пам'ятати, що при заміні елементів робочого устаткування обмежувачі обов'язково налаштовують на роботу з новим видом змінного обладнання.

На автомобільних кранах встановлюють обмежувачі: підйому підвіски крюка, змотування і натягу каната, підйому стріли, зони роботи крана, вантажопідйомності.

Прилади безпеки, аварійні блокування та сигналізації автомобільних кранів

Обмежувач підйому підвіски крюка, автоматично відключає вантажну лебідку при підході підвіски крюка до граничного верхнього положення, встановлюють на оголовке верхньої (висувний) секції стріли.

Обмежувач змотування каната, встановлений біля барабана лебідки, призначений для автоматичного відключення механізму лебідки, коли на барабані залишається не менше 1,5 витків каната.

Обмежувач підйому стріли, встановлений на поворотній рамі біля основи стріли, призначений для автоматичного відключення механізму підйому стріли при підході стріли в крайнє верхнє положення.

Обмежувач натягу вантажного каната призначений для автоматичного відключення приводу при досягненні определеного зусилля натягу вантажного каната стріли в транспортному положенні крана.

Обмежувач зони роботи крана автоматично відключає привід механізму повороту при досягненні поздовжньою віссю поворотної частини крана заданих меж зони роботи.

Обмежувач вантажопідйомності автоматично вимикає механізми крана при перевищенні допустимої вантажопідйомності.

На автомобільних кранах застосовують універсальні обмежувачі.

Контрольні питання

1. Автоматизація та прилади безпеки кранів.
2. Автоматизація та прилади безпеки мостових кранів.
3. Автоматизація та прилади безпеки баштових кранів.
4. Автоматизація та прилади безпеки автомобільних кранів.
5. Прилади безпеки, аварійні блокування та сигналізації.

Лекція 15. Системи запобігання розгойдування вантажу

15.1. Методи запобігання розгойдування вантажу

При експлуатації підйомно-транспортних машин (кранів), що працюють в повторно-короткочасному режимі, виникають явища розгойдування вантажу на сталевих канатах, що зменшують продуктивність вантажно-розвантажувальних робіт (рис. 15.1).

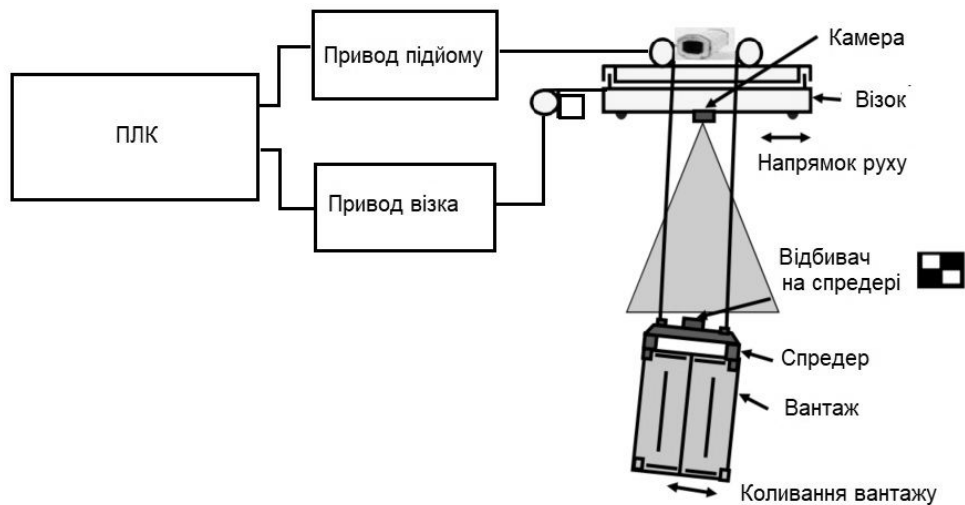


Рис. 15.1. Система запобігання розгойдування вантажу

За останні десятиліття було запропоновано безліч способів вирішення завдання заспокоєння коливань вантажу [6, 8, 9]. Ці способи можна розділити на три групи.

Перша група передбачає використання конструктивних механічних пристроїв підвісу вантажу, наприклад застосування:

- додаткового відтяжного каната з противагою, який створює протидію поперечному розгойдуванню вантажу і змінює довжину при ручному або автоматичному регулюванні;
- демпферів, що встановлюються на підвісі;
- просторового запасування захоплення, коли вантаж підвішений за чотири кути, застосовуваної для переміщення контейнерів;
- напівжорсткого або жорсткого підвісу.

До недоліків першої групи способів можна віднести виникнення додаткових динамічних навантажень на конструкцію вантажопідіймального механізму при експлуатації, а також зменшення вантажопідйомності крана через збільшення маси підвісу

До другої групи належать електромеханічні способи, засновані на ручних діях оператора відповідно до інструкцій при управлінні процесом переміщення вантажу. Ці дії полягають в створенні додаткових рухів механізмів крана з метою швидкого гасіння коливань вантажу, наприклад додатком протидіючого моменту до механізму на інтервалах часу розгону і гальмування вантажу. Однак такі способи призводять до надмірного зносу механічних вузлів приводів і частих поломок муфт і двигунів.

До недоліків способів можна також віднести стомлюваність оператора і, як наслідок, зниження якості управління.

Останнім часом набула поширення третя група способів - електромеханічного запобігання коливань за допомогою систем автоматичного управління рухом електроприводів кранових механізмів. Дану групу можна розділити на дві підгрупи - з розімкненими і з замкнутими системами управління відповідно.

До розімкнених систем можна віднести способи, засновані на використанні оптимального управління, зокрема принципу максимуму Понтрягіна, для визначення керуючого впливу. Виконують оптимізацію систем управління по швидкодії, при якій механізм розганяється і гальмується до заданої швидкості за мінімальний час, і до кінця перехідного процесу кут відхилення вантажу від вертикалі і його похідна стають рівними

нулю. Розрахунок функції управління силою (моментом), заснований на принципі максимуму Понтрягіна.

Інші способи ґрунтуються на недопущення порушення коливань установкою в ланцюг розімкнутого управління фільтрів, що формують (шейпінг-фільтрів), налаштованих на частоту коливань вантажу.

Алгоритм роботи шейпінг-фільтрів заснований на тимчасовому перерозподілі силового впливу на механізм крана, наприклад на візок на етапах розгону і гальмування, при збереженні незмінного сумарного впливу.

За рахунок подовження часу переходу візка з однієї швидкості на іншу забезпечується зрушення керуючого впливу на період i / або половину періоду обчислених коливань вантажу і при накладенні цього зсуву на коливання вантажу, в ідеальному випадку, - повне їх придушення.

До найбільш поширених шейпінг-алгоритмів відносяться: ZV-shaper (ZeroVibration shaper), ZVD-shaper (ZeroVibration and Derivative shaper), ZVDD-shaper (ZeroVibration and Derivative-Derivative shaper).

На рис. 15.2 показані графіки змін положення візка (рис. 15.2, а) і кута відхилення вантажу (рис. 15.2, б) з шейпінг-фільтрами ZV, ZVD і ZVDD.

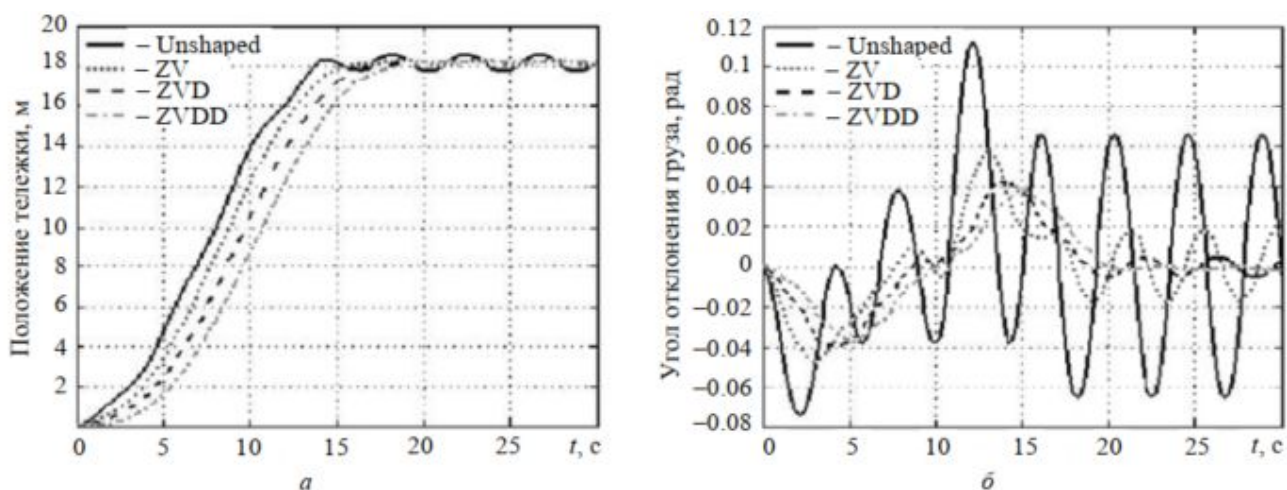


Рис. 15.2. Графіки змін положення візка (а) і кута відхилення вантажу (б) з шейпінг-фільтрами

Ще одним різновидом розімкнутих систем демпфірування коливань вантажу є системи управління, засновані на формуванні спеціалізованих діаграм прискорення.

До переваг розімкнутих систем управління можна віднести меншу складність технічної реалізації і, як наслідок, меншу вартість у порівнянні з замкнутими системами.

Недоліком розімкнутих систем є обмеження на область застосування, оскільки при експлуатації об'єктів в середовищі зі значним впливом випадкових факторів, таких як вітрове навантаження або часта зміна довжини підвісу вантажу на канаті і, як наслідок цього, зміна частоти коливань, застосування систем без зворотного зв'язку може виявитися неефективним або навіть послужити причиною виникнення аварійних ситуацій.

Замкнені системи управління демпфуванням коливань вантажу засновані на регулюванні кута відхилення вантажу з використанням різних алгоритмів управління.

Дані способи можна розділити на два види:

- 1) із заданим алгоритмом і програмою управління, які не змінюються в процесі руху вантажу;
- 2) гнучким алгоритмом і програмою управління, при яких програма управління краном може коригуватися в залежності від зовнішніх умов в процесі руху вантажу.

Найбільш перспективний другий вид способів, заснований на використанні адаптивного управління або нечіткої логіки, яка реалізується на фаззімодулях програмованих контролерів, або на спеціалізованих фаззі-контролерах.

Застосування адаптивних систем управління дає можливість використовувати функцію демпфірування коливань вантажу для кранів, що експлуатуються в умовах з великою невизначеністю зовнішніх впливів, наприклад на відкритому повітрі.

15.2. Приклади систем запобігання розгойдування вантажу

Структура системи управління краном з фаззі-контроллером представлена на рис. 15.3.

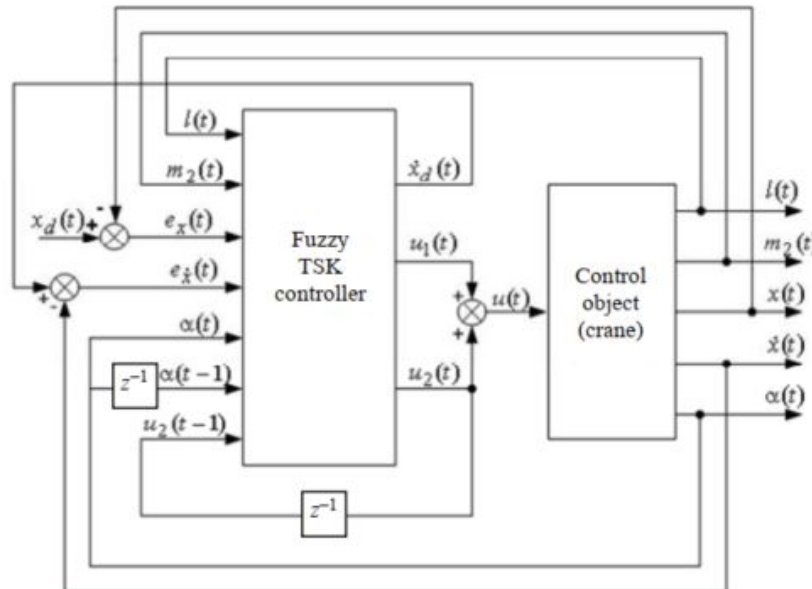


Рис. 15. 3. Структура системи управління краном з фаззі-контроллером

В системі вимірюються або оцінюються наступні параметри і змінні: довжина підвісу вантажу, його маса і кутове положення, лінійні положення і швидкість візки.

В даний час декількома електротехнічними компаніями розроблені в якості товарних продуктів власні системи демпфірування коливань вантажу. До їх числа відноситься система «Anti-Sway Crane Control» виробництва компанії «Smart Crane».

Вона являє собою комплексний продукт, що включає в себе: спеціальне програмне забезпечення, ПЛК, комп'ютер, промисловий термінал оператора, лазерні і відеодатчики, концентратори і маршрутизатори мереж.

Структура технічних засобів системи представлена на рис. 15.4.

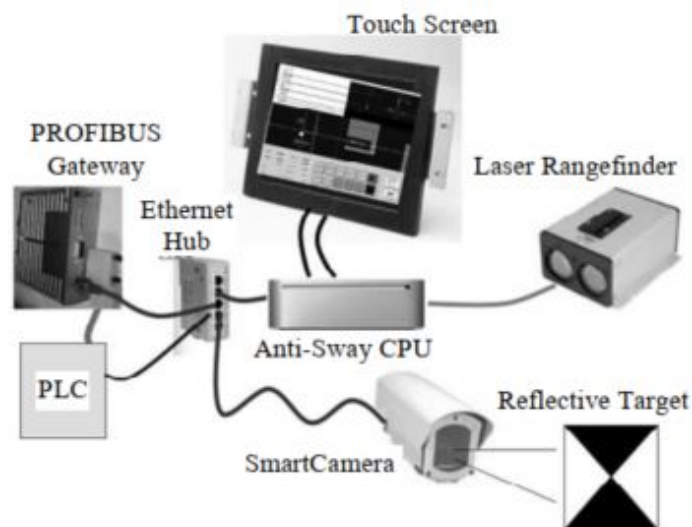


Рис. 15.4. Структура технічних засобів системи «Anti-Sway Crane Control»

Аналогічне рішення має фірма «Siemens» [7]. Система управління краном «SIMOCRANE» реалізована на базі швидкодіючої мікропроцесорної системи. В якості вхідних величин використовуються дані: положення моста і візка, довжина каната, маса вантажу, який визначається інфрачервоним датчиком кут відхилення вантажу.

До переваг даної системи можна віднести: можливість управління в ручному і в автоматичному режимі, а також можливість вимірювання кута відхилення вантажу відразу по двох осях.

Структура системи управління «SIMOCRANE» представлена на рис.15.5.

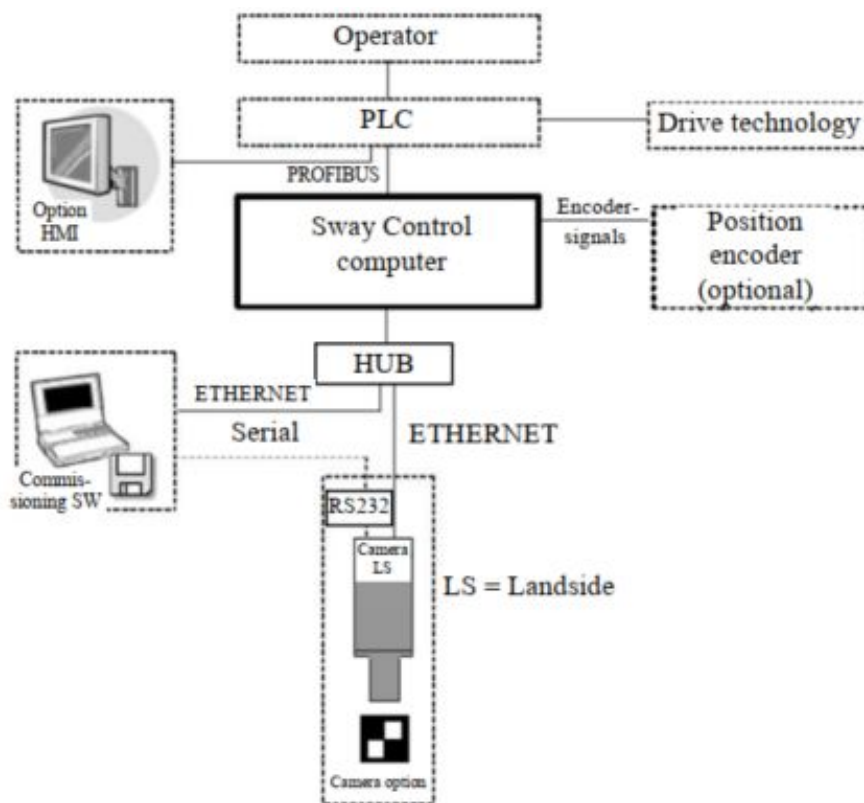


Рис. 15.5. Структура системи управління «SIMOCRANE»

До недоліків останніх двох рішень відносяться висока складність, дорожняча і необхідність висококваліфікованого обслуговуючого персоналі, який повинен забезпечувати перепрограмування контролерів системи управління.

На базі обладнання компанії «Schneider Electric» проблема розгойдування вантажу вирішується за допомогою карти крана VW3A3510.

Частотно-регульовані приводи «Altivar 71», що використовуються для підйому вантажу, переміщення вантажного візка і крана, з'єднані між собою і з картою крана за допомогою промислової мережі «CANopen».

Демпфірування коливань вантажу здійснюється спеціальною вбудованою системою, що не вимагає застосування датчиків кута і маси вантажу і діючої одночасно по двох осях.

Переваги системи - порівняно невисока вартість, а також простота в монтажі та експлуатації. До недоліків можна віднести обмеження області застосування - тільки для кранового обладнання, встановленого в закритому приміщенні.

Для замикання системи управління по куту відхилення вантажу від вертикалі можуть бути використані датчики, альтернативні засобом лазерного і відеоізмерення - акселерометри (датчики прискорення) з інтеграторами.

Класифікація різноманітних систем управління рухом вантажу в підйомно-транспортних машинах за методами обмеження розгойдування вантажів у вигляді структурної схеми наведений на рис.15.6.



Рис. 15. 6. Класифікація різноманітних систем управління рухом вантажу в підйомно-транспортних машинах за методами обмеження розгойдування вантажів

Така класифікація дає можливість класифікувати системи за способами реалізації функції запобігання розгойдування вантажу.

Контрольні питання

1. Методи запобігання розгойдування вантажу.
2. Конструктивні механічні пристрої запобігання розгойдування вантажу.
3. Електромеханічні способи запобігання розгойдування вантажу.
4. Структура системи управління краном з фаззі-контроллером.
5. Класифікація систем управління рухом за методами обмеження розгойдування вантажів.

Питання до модульної контрольної роботи № 1

1. Загальна структура систем автоматизованого керування.
2. Склад систем автоматизованого керування.
3. Основні принципи керування.
4. Моделі лінійних об'єктів керування.
5. Основні поняття, зв'язок входу і виходу.
6. Диференціальні рівняння.
7. Перехідна функція та імпульсна характеристика.
8. Передавальна функція та перетворення Лапласа.
9. Типові динамічні ланки.
10. Структурні схеми. Стійкість систем управління.
11. Регулятори.
12. Вимірювальні перетворювачі інформаційних систем. Призначення та класифікація вимірювальних перетворювачів.
13. Основні характеристики вимірювальних перетворювачів.
14. Контактні датчики положення.
15. Безконтактні датчики положення. Індуктивні та ємкісні вимірювальні перетворювачі.
16. Оптичні та ультразвукові датчики положення.
17. Датчики переміщення та швидкості.
18. Потенціометричні датчики переміщення.
19. Фотоімпульсні та абсолютні датчики кутового та лінійного переміщення.
20. Тахогенераторні вимірювальні перетворювачі.
21. Датчики визначення зовнішніх об'єктів.
22. Ультразвукові датчики вимірювання відстані до об'єктів.
23. Оптичні датчики вимірювання відстані до об'єктів.
24. Лазерні скануючі датчики.
25. Датчики технологічних параметрів. Датчики температури.
26. Датчики зусилля. П'єзометричні та тензометричні датчики.
27. Тактильні та силомоментні датчики. Датчики ваги.

Питання до модульної контрольної роботи № 2

1. Пристрої узгодження цифрової та аналогової інформації.
2. Підсилювачі та силові перетворювачі.
3. Цифро-аналогові перетворювачі.
4. Аналого-цифрові перетворювачі.
5. Виконавчі пристрої.
6. Електромеханічні виконавчі пристрої.
7. Електродвигуни.
8. Регульовані електроприводи.
9. Крокові двигуни.
10. Структура та склад апаратних компонент універсальних систем керування.
11. Основні модулі входять універсальних систем керування.
12. Етапи процесу проектування та використання засобів автоматизації.
13. Склад програм промислових контролерів.
14. Форми представлення програми при програмуванні промислових контролерів.
15. Структура та склад програмних компонент універсальних систем керування.
16. Програмне керування вантажопідійомними машинами.
17. Принципи логічного керування та основні логічні функції.
18. Склад функції керування рухом.
19. Використання швидких лічильників.
20. Використання імпульсного виводу.
21. Модулі керування рухом.
22. Система керування порталним краном.
23. Система керування контейнерним перевантажувачем.
24. Перетворювач частоти Simovert Masterdrives VC.
25. Автоматизація та прилади безпеки кранів.
26. Автоматизація та прилади безпеки мостових кранів.
27. Автоматизація та прилади безпеки баштових кранів.
28. Автоматизація та прилади безпеки автомобільних кранів.
29. Прилади безпеки, аварійні блокування та сигналізації.
30. Методи запобігання розгойдування вантажу.
31. Класифікація різноманітних систем управління за методами обмеження розгойдування вантажів.
32. Приклади систем запобігання розгойдування вантажу.

Питання до підсумкового контролю

1. Загальна структура систем автоматизованого керування.
2. Склад систем автоматизованого керування.
3. Основні принципи керування.
4. Моделі лінійних об'єктів керування.
5. Основні поняття, зв'язок входу і виходу.
6. Диференціальні рівняння.
7. Перехідна функція та імпульсна характеристика.
8. Передавальна функція та перетворення Лапласа.
9. Типові динамічні ланки.
10. Структурні схеми. Стійкість систем управління.
11. Регулятори.
12. Вимірювальні перетворювачі інформаційних систем. Призначення та класифікація вимірювальних перетворювачів.
13. Основні характеристики вимірювальних перетворювачів.
14. Контактні датчики положення.
15. Безконтактні датчики положення. Індуктивні та ємкісні вимірювальні перетворювачі.
16. Оптичні та ультразвукові датчики положення.
17. Датчики переміщення та швидкості.
18. Потенціометричні датчики переміщення.
19. Фотоімпульсні та абсолютні датчики кутового та лінійного переміщення.
20. Тахогенераторні вимірювальні перетворювачі.
21. Датчики визначення зовнішніх об'єктів.
22. Ультразвукові датчики вимірювання відстані до об'єктів.
23. Оптичні датчики вимірювання відстані до об'єктів.
24. Лазерні скануючі датчики.
25. Датчики технологічних параметрів. Датчики температури.
26. Датчики зусилля. П'єзометричні та тензометричні датчики.
27. Тактильні та силомоментні датчики. Датчики ваги.
28. Пристрої узгодження цифрової та аналогової інформації.
29. Підсилювачі та силові перетворювачі.
30. Цифро-аналогові перетворювачі.
31. Аналого-цифрові перетворювачі.
32. Виконавчі пристрої.
33. Електромеханічні виконавчі пристрої.
34. Електродвигуни.
35. Регульовані електроприводи.
36. Структура та склад апаратних компонент універсальних систем керування.
37. Структура та склад програмних компонент універсальних систем керування.
38. Програмне керування вантажопідйомними машинами.
39. Принципи логічного керування.
40. Функції керування рухом.
41. Функції безпеки.
42. Система керування порталним краном.
43. Система керування контейнерним перевантажувачем.
44. Автоматизація та прилади безпеки кранів.
45. Автоматизація та прилади безпеки мостових кранів.
46. Автоматизація та прилади безпеки баштових кранів.
47. Автоматизація та прилади безпеки автомобільних кранів.
48. Методи запобігання розгойдування вантажу.
49. Класифікація різноманітних систем обмеження розгойдування вантажів.
50. Приклади систем запобігання розгойдування вантажу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Конспект лекцій з дисциплін Автоматизоване управління та обладнання логістичних систем, Автоматизація керування вантажопідйомними машинами. для студентів спеціалістів та магістрів, спеціальність: 131 - Прикладна механіка, спеціалізація: Інженерія логістичних систем, спеціальність: 133 - Галузеве машинобудування, спеціалізація: Підйомно-транспортні, дорожні, меліоративні машини і обладнання / Укладач: Михайлов Є. П. Одеса: ОНПУ, 2017. 81 с. Рег.ном. КЛІ07854 14.02.2017, №4257-РС-2017 URL: <http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iface?specId=26395&discId=29855>

2. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-е вид., перероб. і доп. — К.: Либідь, 2007. — 656 с. URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/Popovich_2007_656.pdf

3. Навчальний посібник з дисциплін «Електронні, мікропроцесорні та обчислювальні пристрої ГВС, ПТМ та ЛС» для студентів за фахом 131 – Прикладна механіка – спеціалізації – Мехатроніка та промислові роботи, Інженерія логістичних систем, 133 – Галузеве машинобудування – спеціалізація – Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні машини і обладнання / Укладач: Михайлов Є. П. Одеса: ОНПУ. 2018. – 171 с. Рег. ном. НПО9356 19.03.18 №5682-РС-2018. URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/8143>

4. Blum J. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry John Wiley & Sons, Inc., 2013. — 385 с. — ISBN: 978-1-118-54936-0. URL: <https://www.twirpx.com/file/1371963/>

5. SIMOCRANE SC Integrated 8 Operating Instructions, 04/2011 Edition, V1.07-D. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/884/58058884/att_37713/v1/BA_Addon_SimotionD_E.pdf

6. В. А. Новиков Системы управления движением подъемно-транспортных машин с реализацией способов предотвращения раскачивания груза. Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» № 1/2016 с. 42-46.

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

7. ТЕКО *Автоматизация подъёмно-транспортного оборудования* : веб-сайт. URL: <https://teko-com.ru/po-otrasljam/gruzopodemnoe-i-oborudovanie-dlya-peremecsheniya-gruzov-i-passazhirov/avtomatizatsiya-podemno-transportnogo-oborudovaniya/> (дата звернення: 20.08.2021).

8. UA-Systems. *Автоматизация подъёмно-транспортных механизмов* : веб-сайт. URL: <https://www.ua-systems.com.ua/avtomatizaciya-podyomno-transportny> (дата звернення: 20.08.2021).

9. Siemens *Подъемные краны* : веб-сайт. URL: <https://new.siemens.com/ua/ru/markets/podyemnyye-krany.html>