Форма № 24

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки
Факультет комп'ютерних наук та технологій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)
бакалавра
(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему **РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИМ ОБЛАДНАННЯМ З ПІДВИЩЕНОЮ НАДІЙНІСТЮ**

Виконав: студент 4 курсу, групи КНТз-518сп
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»
(код і найменування спеціальності)
Освітня програма (спеціалізація) «Комп'ютерна інженерія»

Осів Вадим Сергійович
(прізвище та ініціали)
Керівник Зеленьова І.Я.
(прізвище та ініціали)
Рецензент Степаненко О.О.
(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2021 рік

Форма № 25

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет інформатики та радіоелектроніки, комп'ютерних наук і технологій
Кафедра «Комп'ютерні системи та мережі»
Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) бакалаврський
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Комп'ютерна інженерія
(назва освітньої програми (спеціалізації)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Кудерметов Р.К.
_____ _____
"____" _____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

Осіва Вадима Сергійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) "Розробка системи керування роботизованим обладнанням з підвищеною надійністю»
керівник проєкту (роботи) Зеленьова Ірина Яківна, к. т. н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від "17" березня 2021 року № 81
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 06 травня 2020 року
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) проведення аналізу сучасних систем керування, проектування, моделювання та дослідження мобільного робота
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Огляд аналогів і аналіз інструментів, для розробки систем керування роботизованим обладнанням;
2) Розробка програмної частини системи керування роботизованим обладнанням;
3) Рзоробка Апаратної частини системи керування роботизованим обладнанням.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Модуль об'єкта керування;
Структурна схема системи керування;
Загальний вид системи керування;
Графіки тестування схеми пристрою.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийня виконан завдан
1-3	Зеленьова І.Я., к. т. н., доцент		
Нормоконтроль	Зелік О.В., асистент		

7. Дата видачі завдання 01.03.2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Приміт
1	Аналіз наявних систем керування роботизованим	01.03.2020 р.	
	обладнанням,		
	виділення недоліків та переваг		
2	Розробка програмної частини системи	15.03.2020 р.	
3	Розробка апаратної частини системи	20.03.2020 р.	
4	Тестування системи	01.04.2020 р.	
5	Дослідження ефективності	10.04.2020 р.	
6	Оцінка часових витрат	13.04.2020 р.	
7	Оформлення отриманих результатів у ПЗ	15.04.2020 р.	
8	Оформлення графічного матеріалу	20.04.2020 р.	
9	Оформлення допоміжного матеріалу	01.05.2020 р	

Студент _____ **В.С. Осів**
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник проєкту (роботи) _____ **І.Я. Зеленьова**
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 59 сторінок, 28 фотографій, 18 джерел.

МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, ДВИГУН, ПРИВОД, МІКРОКОНТРОЛЕР, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, НАДІЙНІСТЬ

Розроблений об'єкт - система керування робототехнічним обладнанням.

Мета роботи – розробка системи керування роботизованим обладнанням з підвищеною надійністю.

Задачі розробки – проведення аналізу сучасних систем керування, проектування, моделювання та дослідження мобільниого робота.

Проект складається з трьох розділів.

У першому розділі розглядаються аналоги і інструменти, що використовується для розробки систем крування роботизованим обладнанням. Визначено основні теоретичні положення. Вказав шляхи підвищення надійності.

У другому розділі розроблено програмну частину системи керування роботизованим обладнанням.

Третій розділ присвячено розробці апаратної частини системи керування роботизованим обладнанням. Розглянуто засоби підвищення надійності системи. В кінці розділу розроблена система управління тестується.

Результатом дипломної роботи є аналіз, моделювання та дослідження системи керування триколісним мобільним роботом, який може транспортувати деталі зі складу до станків у цеху.

ЗМІСТ

Реферат ……...4
Вступ ……...7
1 Огляд аналогів і аналіз інструментів для розробки систем керування роботизованим обладнанням ……..…..8
1.1 Аналогічні сучасні системи керування роботизованим обладнанням 8
1.2 Основні теоретичні положення розробки систем керування Роботизованим обладнанням ……....12
1.3 Програмі засоби для розробки систем керування роботизованим обладнанням ……...……..15
1.4 Апаратні засоби керування роботизованим обладнанням ……..16
1.5 Методи забезпечення і підвищення надійності ……..34
1.6 Постановка завдання розробки і дослідження керування роботизованим обладнанням ……..…36
2 Розробка програмної частини системи керування роботизованим обладнанням ……36
2.1 Загальна структура програми……40
2.2 Модуль введення-виведення інформації ……42
3 Розробка апаратної частини системи ……44
3.1 Розробка структурної схеми системи керування роботизованим обладнанням ……48
3.2 Розробка функціонального вузла вхідних і вихідних сигналів ……50
3.3 Розробка функціонального вузла блока введення-виведення інформації ……...52
3.4 Тестування схеми пристрою …….……52
3.5 Підвищення надійності розробленого робота і програми керування 54
Висновки ……57
Перелік джерел посилання ……...58

Перелік графічного матеріалу:

Плакат 1 – Модуль об’єкта керування

Плакат 2 – Структурна схема системи керування

Плакат 3 – Загальний вид системи керування

Плакат 4 – Графіки тестування схеми пристрою

ВСТУП

З розвитком людської науки і техніки роботи все частіше використовуються для виконання різних завдань в складних умовах. В цих умовах люди без спеціального обладнання не можуть існувати або вони можуть завдати шкоди своєму здоров'ю. Вони також дуже популярні в житті простих людей. Наприклад, роботи-пилососи, садівники тощо. Мобільні роботи, як правило, мають набір датчиків для аналізу навколишнього світу, акумулятор та станцію для зарядки батареї, вони також мають дуже просту конструкцію і є складними механізмами, здатними приймати самостійні рішення у своїх завданнях. Широке розповсюдження роботів у промисловості стало головним технічним фундаментом світового промислового машинобудування, приладобудування та електронної промисловості. На даний час існує дуже багато роботів які виробляють інших роботів для зварювання, фарбування, шліфування, полірування і та далі.

Актуальність роботи. Актуальність підвищення надійності промислових роботів полягає в тому, що вони все частіше використовуються в різних технічних процесах у виробництві по всьому світу, щоб звільнити людей від виконання нетворчих, механічних або небезпечних робіт. Крім того, розвиток промислових роботів є перспективною галуззю сучасних науково-технічних досліджень у галузі машинобудування, транспорту, медицини та космічної техніки.

Мета та завдання дослідження. У даній дипломній роботі ми розглянемо метод реалізації триколісної мобільної системи керування промисловим роботом поліпшеної надійності, який буде виконувати доставку деталей від складу до станків у цеху.

1 ОГЛЯД АНАЛОГІВ І АНАЛІЗ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИМ ОБЛАДНАННЯМ

1.1 Аналогічні сучасні системи керування роботизованим обладнанням

В даний час існує багато різних пристроїв керування, що використовуються в промислових роботах, від найпростіших електромеханічних пристроїв до пристроїв з дуже складними функціями, що використовують мікропроцесорні обчислювальні пристрої.

Слід зазначити, що при розробці, створенні та застосуванні пристроїв керування комплексом промислового машинобудування та робототехніки існують традиційні вимоги які застосовують до пристроїв керування іншими виробничими процесами та обладнанням, наприклад, пристроїв керування верстатами з числовим програмним керуванням. Особливо це стосується надійності, швидкості, пам'яті, основних структурних елементів та вартості.

Основою системи керування промисловим роботом є сучасна комп’ютерна техніка, яка виконує функції керування за допомогою програм і є комп’ютерним пристроєм керування. Самі промислові роботи, складаючись з електромеханічнних та електронних компонентів, належить до так званих мехатронних систем. Мехатроніка поєднує системи керованими комп’ютером, та складним обладнанням для переміщення у просторі. Ці системи включають незалежні модулі для мобільних робочих органів та мають загальні засоби проектування.

Як і всі обчислювальні пристрої, комп’ютерні системи керування складаються з апаратних та програмних компонентів. Основою сучасних апаратних компонентів обчислювальних пристроїв є мікропроцесорна технологія, яка реалізує складні алгоритми керування на досить простих пристроях. Програмний компонент вирішує дві основні задачі: програмування робота і виконання програми, яка керує виконавчим пристроєм.

Програма складається з ряду окремих операцій, які використовують набір інструкцій на процесорному пристрої. Комп’ютерні системи керування мають

деякі характеристики, які відрізняються від персональних комп’ютерів. Персональний комп’ютер спілкується з оператором, тому його пристрої вводу-виводу призначені для обробки текстової та графічної інформації. Програмне забезпечення персонального комп’ютера виконує складні обчислення і вимагає великої кількості обчислювальних програм, а отже, вимагає великого обсягу пам’яті та високої швидкості процесора. Система управління взаємодіє з технологічним процесом, і більшість вхідних і вихідних сигналів мають лише два стани, які можуть бути виражені у двійковій формі. Алгоритми, що керують такими системами, в основному включають логічні операції, які не потребують великого обсягу пам'яті. А також програму керуючої системи найчастіше розроблюють один раз і надалі вона не змінюється а оператор взаємодіє з нею тільки для керування технологічним процесом.

Розглянемо основні типи систем керування промислових роботів [1].

За принципом керування роботом вони поділяються на програмниі (1-е покоління), адаптивний (2-е покоління) та інтелектуальний (3-е покоління).

Програмне керування промисловим роботом (перше покоління) – це автоматичне керування пристроєм виконання промислового робота відповідно до попередньо введеної програми керування.

Існують такі типи програмного керування (рис. 1.1):

– Система з керуванням по циклах;
– Система з позиційним керуванням;
– Система контурним керуванням.

Система з керуванням по циклах – це керування пристроєм виконання промислового робота, яке використовується для програмування послідовності його дій.

Система з позиційним керуванням – це керування виконавчим механізмом промислового робота, переміщення його робочого органу відбувається по заданим точкам позиціонування без контролю траєкторії між ними.

Контурне керування – це керування приводом промислового робота. Рух його робочого органу відбувається за заданою траєкторією, а значення швидкості має фіксований розподіл часу [2].

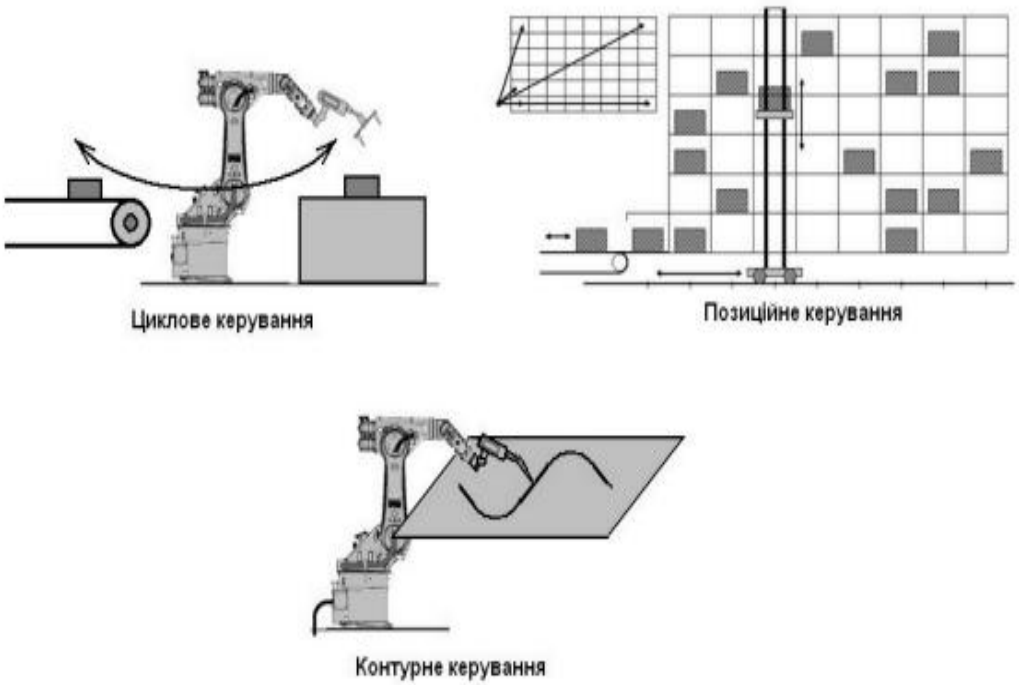


Рисунок 1.1-Системи програмного керування

Адаптивне керування промисловим роботом (2-е покоління) полягає в керуванні виконавчим обладнанням промислового робота шляхом автоматичної зміни програми керування відповідно до контрольованих параметрів стану навколишнього середовища (рис. 1.2).

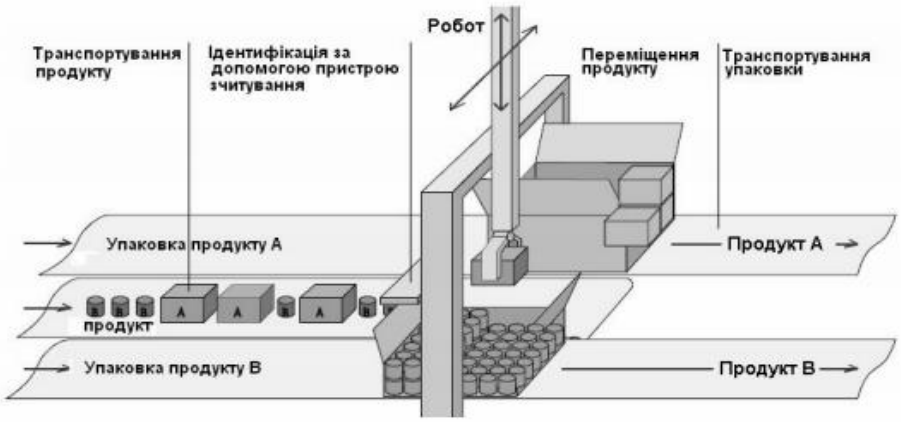


Рисунок 1.2 - Адаптивний робот [2]

Штучний інтелект промислових роботів (3 покоління) забезпечує здатність промислових роботів сприймати та логічно оцінювати навколишнє середовище та визначати рухи, необхідні для досягнення заданої мети. Сьогодні такі роботи знаходяться в стадії розробки. На малюнку. 1.3 показаний робот-андроїд ASIMO від Honda, який має деякі ознаки штучного інтелекту. Таким чином, він може розпізнавати рухомі предмети, жести та оточення, а також розпізнавати голоси та обличчя.

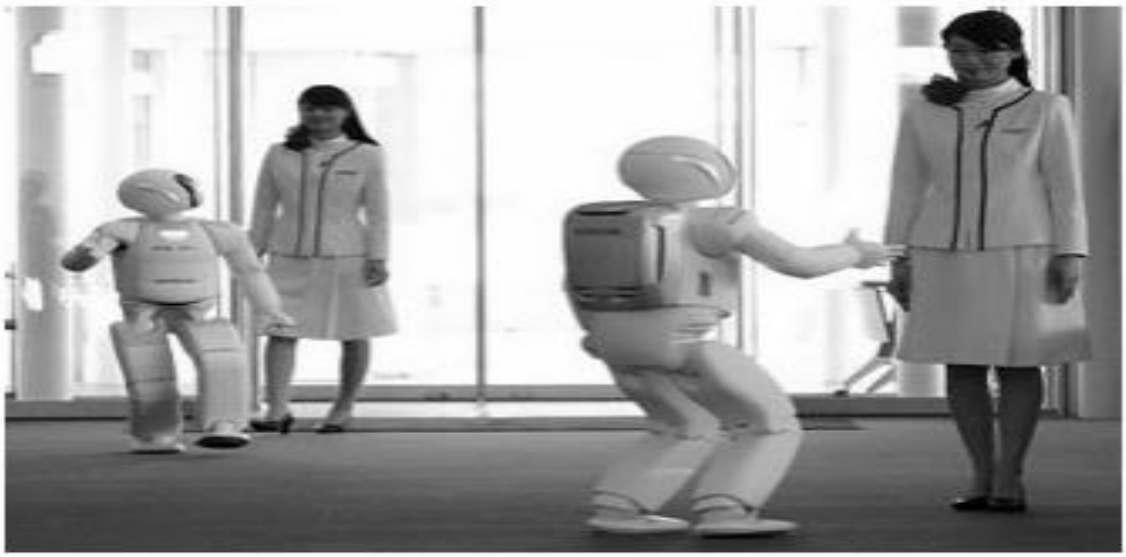


Рисунок 1.3-Робот-андроїд ASIMO від Honda

1.2 Основні теоретичні положення щодо розробки систем керування роботизованим обладнанням

Різноманітність систем керування роботами можна згрупувати за різними характеристиками, такими як: структура та тип пристрою введення, індекс контролю якості керування, тип траєкторії тощо. Однак є деякі досить загальні риси, які принципово характеризують процес керування роботом. По-перше, це метод керування, який залежить від участі оператора в управлінні роботом. На цій підставі система керування поділяється на дві категорії [2]:

– Людино-машинна, Включаюча віддалені та інтерактивні системи керування в яких оператор задіяний безпосередньо у циклі керування;

– автоматичні, Коли оператор залишається поза ланцюгом керування і взаємодіє з роботом лише на етапі «навчання». Іншою не менш важливою особливістю є метод управління, який може використовуватися для подальшої класифікації обраного класу.

Системи людино-машинні для дистанційного та інтерактивного керування роботами за методами керування поділяються на шість категорій:

– система командного керування, в якій оператор натискає відповідну кнопку (перемикач) на панелі керування для віддаленого включення драйвера кожної ланки робота;

– система керування що копіює, в якій оператор використовує головний пристрій (кінематику) для віддаленого керування роботом, подібно до виконавчого механізму робота (згідно з принципом системи моніторингу рух кожної ланки основного пристрою передається на відповідну ланку виконавчого механізму);

– напівавтоматична система керування, в якій оператор натискає на багаторівневу ручку керування, щоб задати необхідний рух затискного пристрою, а спеціальний комп’ютер отримуючи сигнали з датчиків ручки керування обчислює і формує відповідний керуючий сигнал драйверів двигунів всіх ступенів рухливості;

– автоматизована інтерактивна система керування, в якій автоматично виконується лише частина операції, а решта надається оператору;

– інтерактивна система моніторингу, в якій оператор спостерігає за ситуацією робочого місця робота на екрані (дисплеї) і видає окремі цільові команди.Сигнали від них включають певні процедури автоматичної роботи робота;

– різниця між інтерактивною системою керування діалогом та інтерактивною системою контролю нагляду полягає в тому, що робот не тільки виконує команди оператора, але й активно допомагає йому розпізнати ситуацію та приймати рішення.

Головною особливістю автоматичної системи керування є відсутність особистої участі в процесі керування роботом людини. Функція оператора полягає лише у навчанні, запуску та подальшому регулярному нагляді за роботом. Відповідно до застосовуваного методу керування система автоматичного керування поділяється на такі системи: - програмне керування, яке базується на роботі робота по твердим програмам, розрахованим заздалегідь. Програма зберігається в пам'яті обчислювального пристрою і може бути змінена шляхом перепрограмування в новому циклі навчання робота. Система програмного керування не забезпечує обробку інформації, що виключає невизначеність характеристик зовнішнього середовища, хоча інформація про внутрішній фазовий стан роботи використовується в законі керування. У свою чергу, система керування по програмі поділяється на циклічну, позиційну та контурну; - адаптивне керування, через гнучку зміну або коригування програми для організації руху робота. У той же час реорганізація програми є відповіддю на зміни умов навколишнього середовища. Для отримання зовнішньої інформації адаптивна система керування оснащена різними датчиками; - інтелектуальне керування, в якому взагалі не встановлена робоча програма, але вона формується на основі опису зовнішнього середовища, набір правил та інструкцій, за якими роботи можуть поводитись у навколишньому середовищі і поставленого перед ними завдання. Основна відмінність інтелектуальної системи керування від попередньої полягає в тому, що вона може не тільки отримувати інформацію з даних, але й

отримувати знання. З цією метою сенсорна система доповнюється системою розуміння (подання знань). Хоча існує багато методів класифікації, метод керування визнаний основою для класифікації трьох поколінь роботів: перше покоління, що використовує програмне управління; друге - адаптивне управління; третє - Використовує елементи штучного інтелекту. У той же час різниця між кількома поколіннями роботів полягає не в стадії технологічного розвитку, наприклад, в генерації комп'ютерних технологій (коли одне покоління замінює інше), а в рівні гнучкості керування. Перше покоління програмного керування є найбільш "твердим", а третє покоління інтелектуального управління є найбільш гнучким. Більшість керованих роботів належать до першого покоління програмно керованих машин. Головною перевагою програмно керованих роботів є те, що вони широко використовуються і мають досить прості конструкції. Найбільша їх ефективність відображається в умовах монотонного циклу роботи, порівняно рідкісних перестановок нових видів робіт. Кількість таких операцій буде величезною і у майбутньому виробництві, тому з розвитком промислових роботів наступного покоління попит на простих роботів з програмним керуванням не зменшиться. Вони будуть успішно вдосконалюватися і в майбутньому. Однак використання роботів першого покоління завжди супроводжується суворим наглядом та особливими потребами адаптації робочого середовища. Ці додаткові вимоги ускладнюють технічний процес і збільшують розробку, створення та експлуатаційні витрати роботизованого виробництва. Розробляючи систему керування за програмним забезпеченням, можна подолати обмеження роботів першого покоління, збільшити гнучкість керування та значною мірою усунути необхідність адаптації технічного середовища до роботів. Завдяки чутливості, пристосованості та різним засобам технологічної імітації певних властивих людині інтелектуальних функцій, наступні покоління роботів мають більше можливостей.

1.3 Програмні засоби для розробки систем керування роботизованим обладнанням

Майже всі компанії що виробляють робототехніку розробляють власні мови програмування та допоміжне програмне забезпечення. Компанії, безпосередньо залучені до впровадження робототехніки у виробничий процес (системні інтегратори), зосереджуються на підтримці програмного забезпечення, адаптованого до конкретних реальних умов, розробці нових і покращенню старих технологій, а також впровадженні вимірювальних систем для підвищення точності та якості продукції.

Більшість промислових роботів мають комплексну програмну оболонку, яка може інтегрувати багато додаткових модулів розширення за необхідності. Наприклад, ви можете підключити комунікаційний модуль із зовнішнім сенсорним обладнанням: системою відеоспостереження, системою вимірювання, додатковим навантаженням, крутним моментом, щоб робото-система могла реагувати на зміну зовнішніх умов. Контролер робота зазвичай підключений до програмованого логічного контролера (PLC), який відповідає за взаємодію робота з периферійними пристроями.

Програмування промислових роботів поділяється на два типи: Інтернет-програмування та автономне програмування. Як правило, використовуються обидва типи програмування роботів. Також існують відмінності в методах програмування, можливостях самої мови програмування та можливостях роботів.

Онлайн-програмування. - це програмування безпосередньо на місці встановлення робота, використовуючи самого робота. Цей метод включає навчання та відтворення [3].

Метод навчання. У методі Teach-In (скорочено "Вчитель") консоль (у вигляді джойстика або кнопки) використовується для переміщення роботи в просторі до заданої області. У більшості випадків систему координат розміщують на самому роботі (на 1-й осі) і через кінематичний контур з'єднують з найвіддаленішою

точкою робота (наприклад, 6-ю віссю 6-ї осі робота). Тому положення та орієнтація всіх осей і очікувана робота робота в просторі завжди відомі.

Прибуле місце (точка) запам'ятовується і виконується контролером робота, поки робот не виконає всі необхідні операції. Збір цих точок визначає траєкторію самостійного руху робота. Кожен проект має безліч змінних параметрів, швидкості та кута повороту, точності, конфігурації осі.

Спосіб відтворення. - з допомогою людини робот вручну рухається по траєкторії очікуваного руху, а потім робот точно повторює його. Цей метод часто використовують для програмування роботів для лакування та фарбування за допомогою спрею.

До недоліків онлайн-програмування можна віднести те що щоб його виконати необхідно повністю зупинити виробничий процес. Цей тип програмування не може забезпечити високоточну обробку і, як правило, не дуже зручний для будь-яких змін.

Автономне програмування - цей тип програмування здійснюється на звичайних комп’ютерах; безпосередня участь роботів відсутня. Це дає можливість програмувати робот без зупинки виробничого процесу.

Програмування тексту (опис потоку програми мовою програмування). Це насправді написання логіки програми (послідовність траєкторій, дослідження периферії, спілкування з персоналом і, звичайно, безпека). Створена таким чином програма завантажується в робот-контролер тим чи іншим чином (диск або мережеве підключення) і проходить тест на помилку потім програма налаштовується і може використовуватися в принципі.

1.4 Апаратні засоби керування роботизованим обладнанням

Робот як об'єкт керування є складною системою, що включає багатоланкову механічну конструкцію, яка виконується пневматичним, гідравлічним або

електричним приводом, активно взаємодіє з навколишнім середовищем і характеризується набором змінних у часі параметрів.

Автоматизація роботизованого обладнання поділяється на три рівні [4]:

– узгоджене керування роботами та агрегатами промислового обладнання, в якому команда керування роботами забезпечується технологічним механізмом що ним обслуговується;

– керувати роботом та кількома підрозділами технічного обладнання, де поведінка робота визначається запитом машини, яку він обслуговує;

– керування розподіленими роботами, підрозділами обладнання, складами та транспортними засобами з центрального комп’ютера, щоб виконувати вхідні замовлення.

Як і будь-який інший пристрій, пристрій керування приймає сигнали від датчиків та центрального комп'ютера, а потім генерує команди на виконавчі механізми відповідно до записаної програми керування. "Обладнання для керування роботами повинно також:

– регулювати положення та швидкість приводу

– враховувати стан технічного обслуговування обладнання;

Як правило, системи керування використовують три основні принципи: відкритий контроль, контроль за порушеннями та зворотний зв'язок. Принцип відкритого контролю. Виконуються лише алгоритми програмування для поведінки керованого робота, і не враховуються появи зовнішніх перешкод, які можуть спричинити збої під час роботи робота.

Наприклад, швидкість вихідного вала електродвигуна постійного струму пропорційна напрузі, яка подається на якір при відкритому контролі (рис. 1.4).

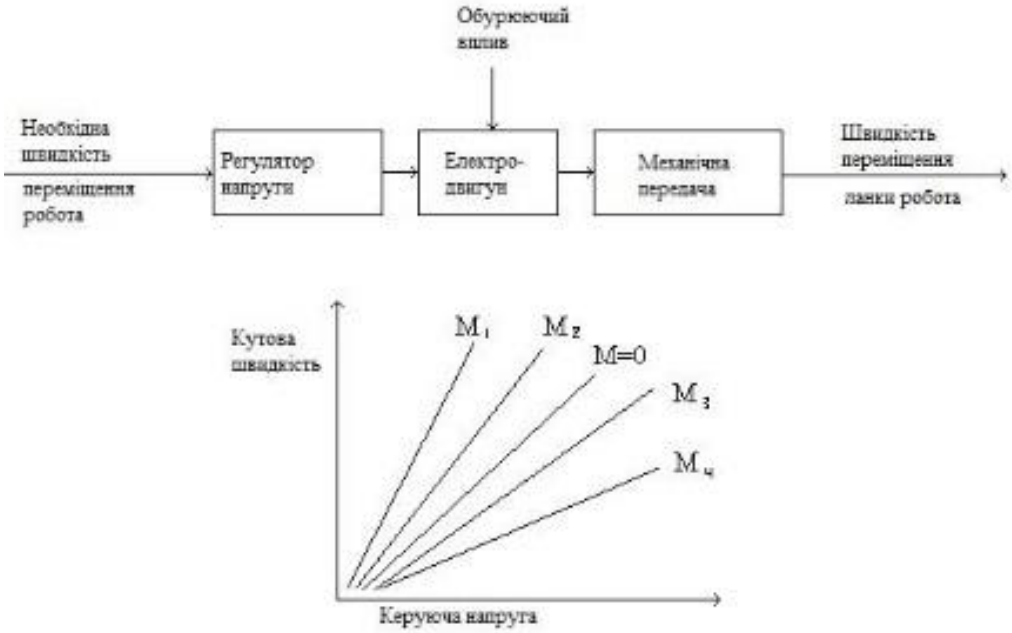


Рисунок 1.4-Відкрите керування

Подаючи напругу бажаного значення на двигун, регулюється швидкість його вихідного вала, тим самим контролюючи швидкість роботи механізму робота, підключеного до двигуна. Однак, якщо на механізм впливають зовнішні сили, такі як статичний момент тяжіння механізму який змінюється відповідно до кутового положення ступеня маневреності, частота обертання двигуна буде суттєво відрізнятися від очікуваної і чим більший кут положення тим більша буде різниця.

В принципі контроль за порушеннями може бути використаний у відкритих системах, що зазнають певних збурень (рис. 1.5), щоб компенсувати відхилення параметрів регулювання, викликані основним впливом.

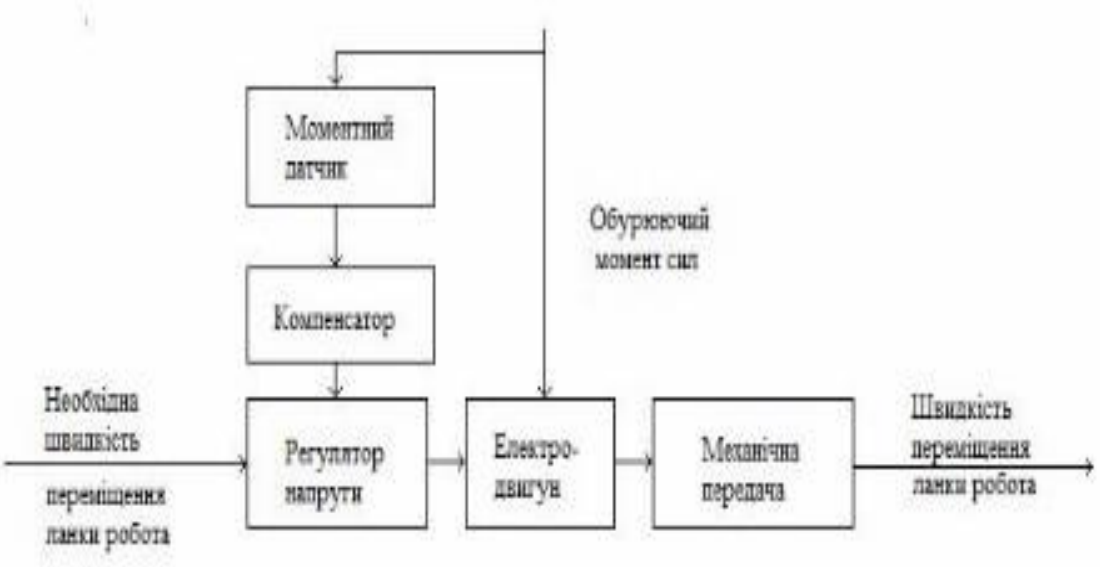


Рисунок 1.5 - Керування за порушеннями

Керуючи збуренням, лише ефект, виміряний датчиком, може компенсуватися вплив на процес керування, а інші ефекти все одно спричинять хаотичне відхилення.

Основні особливості системи керування, яка реалізується за принципом зворотного зв'язку, при формулюванні правил керування вимірюється використання регульованих параметрів та отриманих даних (рис. 1.6). Система керування, закрита регульованими "координатами", має кращі характеристики, ніж система, заснована на принципі контролю за порушеннями, тому що незалежно від причини відхилення координати від зазначеного положення, система може оцінити значення відхилення та компенсувати його. Що збільшить точність бажаної траекторії переміщення.

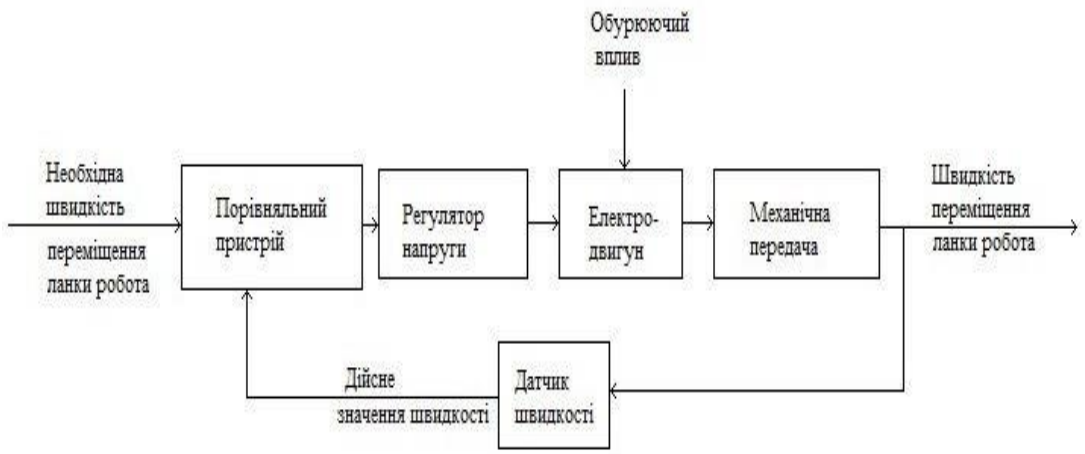


Рисунок 1.6 – Керування із зворотним зв’язком

У закритій системі автоматичного керування застосовуються різні закони керування [5]. Законом керування зазвичай називають математичне співвідношення. Згідно з цим законом регулятор діє на керований об'єкт за умови, що він без інерційний. Нехай x - керована вихідна координата об'єкта, x_0- її бажане значення, U-ефект керування, застосований до об'єкта. Тоді загалом ефект керування в системі зворотного зв’язку може бути виражений не лише як функція відхиленням $X = x_0 - x$, але також як функція його похідної та інтегралу за часом [4]:

$$U = f(\Delta x, \frac{d\Delta x}{dt}, ..., \int_0^t \Delta x dt, ...). \quad (1.1)$$

Найпростіший, закон пропорційного контролю. У цьому законі регулятор формує вплив на об'єкт наступним чином: $U_п = k X$, де $X = x_0 - x$, k - коефіцієнти передачі. Відповідно до закону пропорційного керування, вибір передаточного числа регулятора може прискорити або уповільнити перехідний процес, відповідно, і збільшити або зменшити його коливальні властивості.

Закон пропорційної диференціації може не лише формувати ефект керування у функції відхилення вихідної координати та заданої $U_п$, але також як функція

швидкості відхилення часу $U_{так.}$ Тобто, у функції першої похідної помилки положення [4]:

$$U_{пид} = U_п + U_д = k_п(x_0 - x) + k_д \frac{d(x_0 - x)}{dt} \quad (1.2)$$

де $k_п$ і $k_д$ – коефіцієнти передачі;

$d(x_0 - x)/dt$ – перша похідна від відхилення x.

Закон керування містить компонент, пропорційної першої похідної відхилення, що дозволяє ефективно обмежувати швидкість вихідних координати до бажаного положення. Однак лише тоді, коли немає впливу навколишнього середовища, можна точно перевірити необхідне положення в системі управління двигуном.

Закон пропорційно-інтегрально-диференціального регулювання є досконалішим з точки зору збалансування зовнішніх збурень на основі точності задачі. Ось ще один компонент-$U_з$ - інтегральна [4].

$$U_{пид} = U_п + U_и + U_д = k_п(x_0 - x) + k_и \int_0^t (x_0 - x)dt + k_д \frac{d(x_0 - x)}{dt}. \quad (1.3)$$

При проектуванні конкретної роботизованої системи необхідно враховувати можливість роботи з визначення заданого положення робота або необхідної траєкторії, а також технічні вимоги, необхідні для виконання конкретних виробничих завдань. Наприклад, якщо ви плануєте автоматизувати навантажувально-розвантажувальні операції, вам не потрібно оснащувати робота закритою системою управління. Досить використовувати принцип відкритого контролю. Для того, щоб реалізувати автоматику дугового зварювання, необхідно не тільки з високою точністю контролювати положення електрода, але і контролювати його швидкість за важливих умов навколишнього середовища, тому

робот, призначений для цієї роботи, повинен мати найточнішу систему керування для дугового зварювання. І закони керування точністю і швидкістю.

Система програмного забезпечення для керування промисловими роботами поділяються на: а) циклічні, б) положення, в) контурне керування. За характером операції, кінематикою робота і приводом кожна з них має безліч типів.

Метод програмного циклу керування є найпростішим (рис. 1.7). Як правило, коли для кожного з n органу мобільності q_i (i = 1, 2, ... n), робочий орган робота може рухатися лише в двох крайніх точках $q_в$, $q_я$, . Відповідний індекс Н представляє початкове і кінцеве положення кожного рухомого елемента.

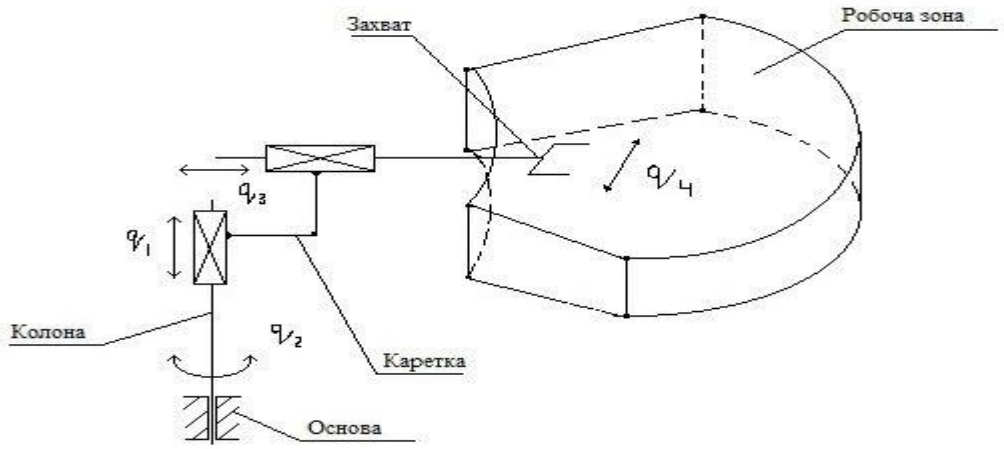


Рисунок 1.7-Робот із циклічною програмною системою керування

Для переміщення і-го органу на стан $q_в$ На його драйвер повинен подаватися нульовий керуючий сигнал $U_i = 0$. Переведення цього органу у стан $q_{до}$ Сигнал U_i повинен подаватися на той самий привід$_я = 1$. "А коли ви хочете працювати в новому стані з постійним вектором керування $U = (U_1, ..., U_n)$ цей стан залишається незмінним.

При розробці керування роботом за циклом можуть бути використані досить прості автомати на основі цифрових обчислювальних елементів. Цей тип автоматів включає в себе: пам'ять кодової послідовності необхідного робочого стану, пам'ять

послідовності часових інтервалів, тобто тих інтервалів часу, в яких вектор керування залишається незмінним, пристрій часу і комутаційний блок управління.

Програмований контролер використовується як один з досить простих пристроїв, призначених для автоматизованого виробництва. У промислових роботах легко організувати алгоритм роботи системи циклічного керування через програмований контролер, а роботу робота контролювати за допомогою індикації. Загальний план основних компонентів програмованого контролера наведено на (рис. 1.8). програмований контролер живиться від звичайної мережі, хоча програмований контролер може живити більше схем управління. З'ємний модуль програміста може бути персональним комп'ютером і може бути переміщений з одного програмованого контролера на інший або відправлений на зберігання. Інтерфейсні пристрої та пристрої вводу-виводу, які входять до складу програмованого контролера, можуть бути додатковими з'ємними модулями. Деякі виробники оснащують програмованій контролер дисплеями, які відображають на своїх екранах східчасті схеми.

Програмовані контролери широко використовуються для керування виробничими роботами в автономному режимі та як частина роботизованого комплексу. Програмований контролер - ідеальний інструмент для керування робочими модулями виробництва. У цьому випадку функція програмованого контролера включає синхронізацію координатного руху корпусу робота з обслуговуванням технології та допоміжного обладнання. У більшості випадків програмований контролер використовують для керування пневматичними операціями за допомогою системи керування по циклам.

Основою програмування на програмованому контролері є драбинкова логічна схема. Основне завдання програмованого контролера - прийняти логічне рішення, наприклад, так чи ні. Програмований контролер постійно аналізує дані від датчиків, які керують процесом, формує логічні рішення та передає необроблені дані до елементів керування того самого процесу у вигляді керуючих сигналів. Після завантаження запрограмованої драбинкової схеми програмований контролер продовжуватиме працювати, доки не буде потрібно вносити зміни.

"Програмований контролер" може керувати обладнанням автоматики за допомогою зворотного зв'язку або тимчасового режиму. програмований контролер може включати таймери та лічильники. Незважаючи на стан запрограмованої логічної схеми, більшість програмованих контролерів можуть надсилати сигнали на певні виходи незалежно. Незалежний контроль виходу також може використовуватися для діагностики і дозволяє оператору уникати зайвих наслідків та несправностей. Перевагами програмованих контролерів є також невеликі розміри, низьке енергоспоживання та висока надійність. За необхідності монітори та принтери можна підключити до додаткового виходу програмованого контролера.

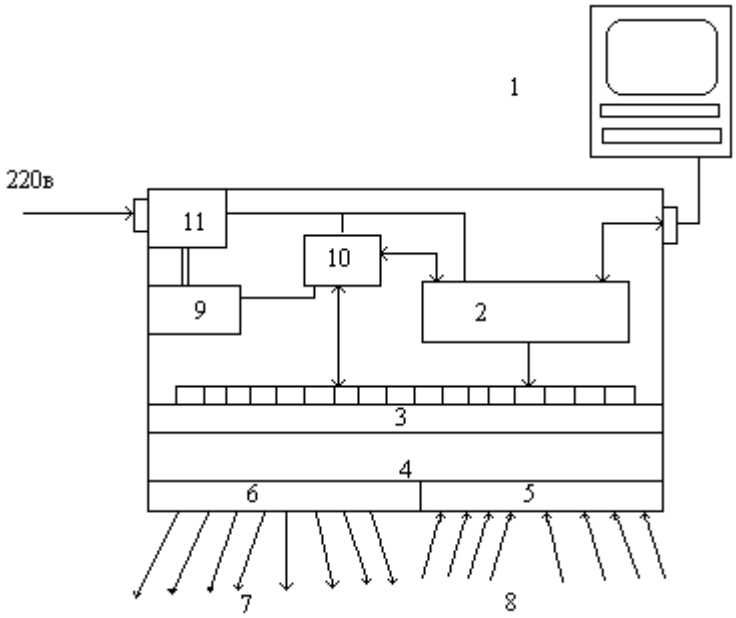


Рисунок 1.8-Програмований контролер:

1-програматор; 2-процесор, 3-інтерфейс; 4-вхідні та вихідні контакти, 5-вхідний, 6-вихідний; 7-технічне обладнання; 8-від технічного обладнання; 9-аварійний акумулятор; 10-оперативна пам'ять;

11-Джерело живлення.

Для побудови такого контролера потрібні регістри, декодери, лічильники, тригери тощо. Оскільки контролер - це машина з пам’яттю, при її розробці можна

використовувати великі вузли, такі як керуюча пам’ять та блок керування сучасних мікропроцесорних наборів.

Використання керуючої пам'яті спрощує структуру контролера, тоді як використання блоку керування прошивкою ускладнює їх, але також додає функціональність. Для побудови контролера загального призначення потрібно не тільки використовувати окремий компонент групи мікропроцесорів, не тільки використовувати мікропроцесор у структурі контролера, але й створити контролер на основі мікропроцесора та мікрокомп’ютера .

Структурна схема програмованого мікроконтролера, що використовується для керування виробничим робочим циклом, показана на (рис. 1.9).

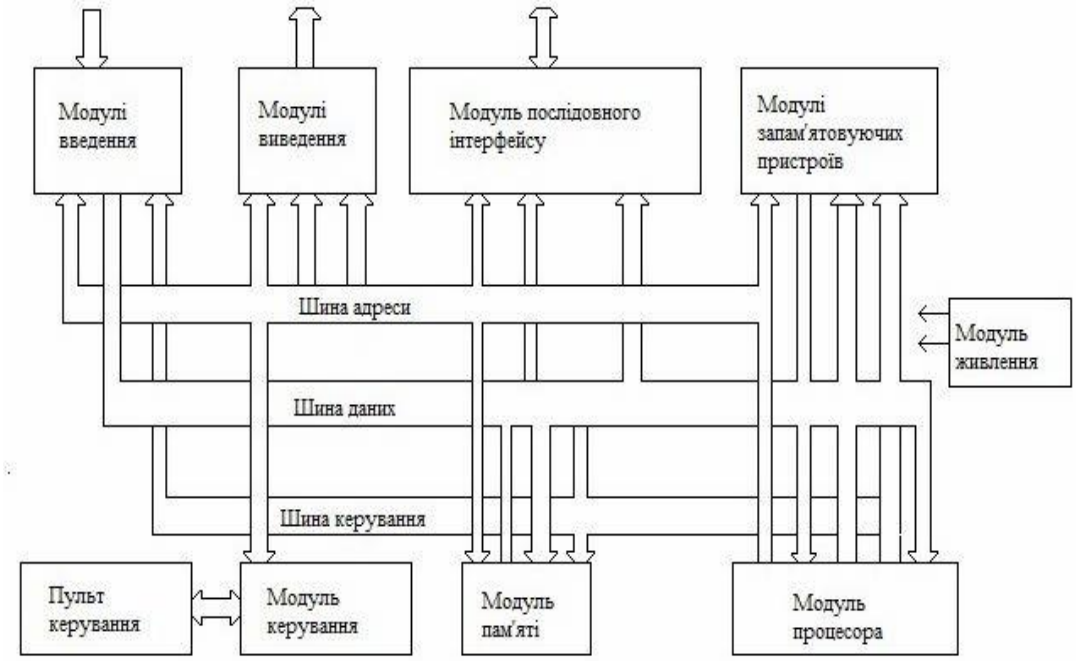


Рисунок 1.9 – Структура програмованого мікроконтролера

Модуль процесора збирає, обробляє та виводить інформацію у цифровій формі відповідно до виконуваної програми, записаної в перепрограмованому ПЗП модуля зберігання. Виконавча програма призначена для перетворення інструкції, введених оператором за допомогою панелі керування, в ряд машинних мовних кодів мікропроцесора, який виконує ці інструкції. Програма керування знаходиться

в модулі пам'яті. Вона записується, в командний код мови введення мікроконтролера, оператором, щоб переконатися, що зовнішній пристрій виконує зазначений алгоритм керування.

Для запису програми використовується пульт дистанційного керування, портативний програматор або персональний комп’ютер із встановленим спеціальним програмним забезпеченням. Складність програми керування призвела до відмови від використання програматорів, а різні контролери з власними мовами програмування до створення п'яти стандартних мов програмування: крокова діаграма (LD), функціональна блок-схема (FBD), список інструкцій (IL), послідовна діаграма функцій (SFC), структурований текст (ST) [6].

Останнім часом розробляються блоки памяті у вигляді швидкоз’ємних флешок. Флешки використовуються для тривалого зберігання сотень мегабайт інформації. Це електрично стираючий пристрій перепрограмування на мікросхемі пам'яті, що використовує технологію "flash" ("Intel"). На відміну від традиційних мікросхем пам'яті, кількість циклів перезапису перевищує мільйон. Флешка не має рухомих частин, стійка до ударів та вібрацій і стабільно працює в діапазоні температур від - 40 до + 80 °C, із середнім часом виходу з ладу більше 100 років. У складних системах зазвичай є можливість використовувати промислові шини для дистанційного програмування розподілених контролерів.

Панель керування та модуль керування є технічним засобом зв'язку оператора. Вхідні та вихідні модулі призначені для підключення мікроконтролера до виконавчих механізмів робота та технологічного обладнання. Модуль послідовного інтерфейсу використовується для обміну інформацією між мікроконтролером та комп'ютерною системою керування верхнього рівня.

Мікроконтролер має такі режими роботи:

– автоматично керувати програмою, що зберігається в пам’яті робочої програми;

– реалізація виконання програми поетапно;

– програмування (запис команд в пам'ять робочої програми);

– перегляд програми.

Система керування за положенням робота належить до загального терміну автоматичної системи керування. Основними технічними характеристиками даного типу системи керування є: кількість керованих координат 1-31, обсяг програмної пам'яті (кадру) 100-2500, кількість технічних команд для обміну інформацією із зовнішніми пристроями 15-128 і відстеження приводу або дискретного типу. Відповідно до методу обробки інформації (послідовного та паралельного), система позиціонування базується на структурі з центральним процесором та децентралізованою структурою, коли процесор є частиною кожного координатного блоку.

Приклад системи з централізованою структурою показано на (рис. 1.10)

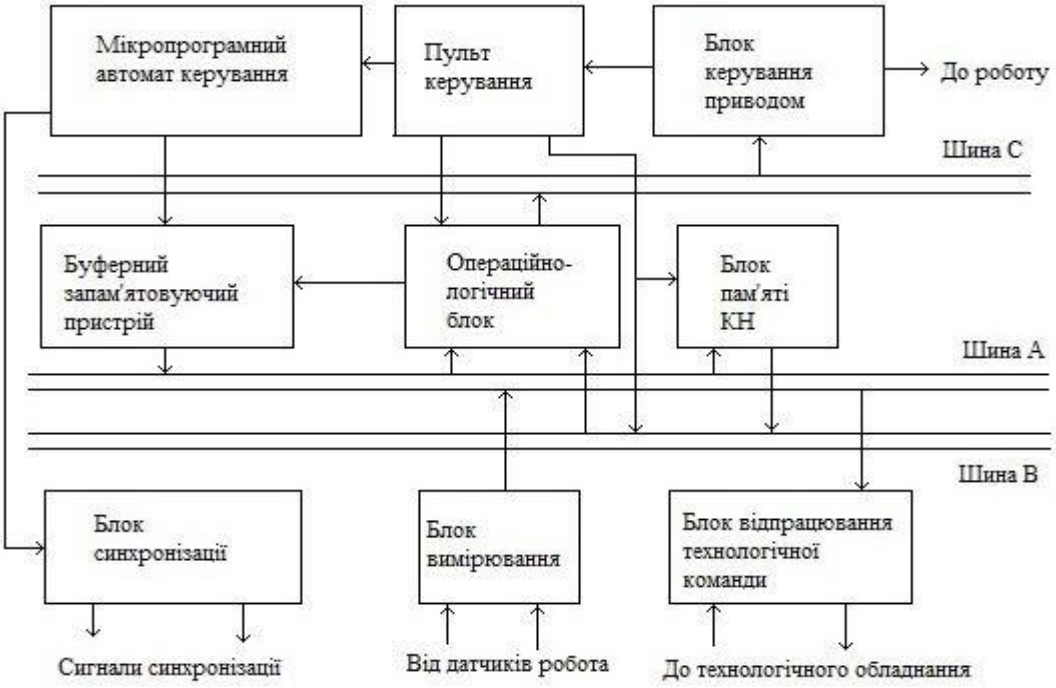


Рисунок 1.10 – Схема централізованої структури позиційної системи програмного керування.

Вона заснований на принципі синхронного, програмного мікро автомата , з обмеженою кількістю станів і суворими циклами керування. програмний мікро автомат має на меті "генерувати мікрокоманди керування за алгоритмом пристрою позиціонування. Функції центрального керування та логічної обробки інформації

виконує логічний пристрій операції, який є спеціальним комп'ютером разом з програмним мікро автоматом. Касетний накопичувач в якому є свій блок керування здійснює запис і видачу програми яка необхідна Програмному мікро автоматові.

Інформація в касетному накопичувачі складається з областей. Ви можете записати кілька програм в одній області. Зв'язок між областями здійснюється за допомогою команди умовного або безумовного переходу. У спосіб запису та зчитування інформації обмін здійснюється через оперативну пам'ять, оперативна пам'ять призначена для онлайн-зберігання робочих програм, розташована в певній області і безпосередньо використовується для автоматичного керування роботом. Панель керування використовується для встановлення режиму роботи та керування організацією в режимах "Навчання", "Пошук кадру", "Програма" та інших режимах.

Загалом, функціональний склад програми укерування маніпулятором положення може бути записаний як вираз

$$Ф = (X + Y + Z + ... + W + F + N + R + t + p)\, n, \qquad (1.4)$$

де X, Y, Z ..., W – масив інформації, відповідний величинам геометричних переміщень по ступенях рухливості;

F – швидкість переміщень;

N – технологічні команди;

R – інформація про послідовність виконання команд;

t – тимчасова затримка;

p – логічні команди умов переходу;

n – число кадрів програми.

Використання спеціальних контролерів та мікропроцесорів у структурі системи керування за положенням робить її більш гнучкою та забезпечує можливість програмування алгоритму керування шляхом зміни складу програмного забезпечення.

Система контурного контролю призначена для переміщення робота по безперервній траєкторії. Наприклад, це необхідно для автоматизації таких операцій, як дугове зварювання, фарбування та очищення абразивних матеріалів, а також складних монтажних операцій.

Існує два основних методи побудови обладнання для керування за контуром. Перший заснований на запису часу зміни положення, для кожного ступеня руху, в пам’яті інформаційної системи, тобто у вигляді безперервної доріжки, готової до роботи з приводом. Другий метод полягає в тому, щоб записати кінцеві координати точок, що належать до траєкторії, необхідної роботу, а потім виконати інтерполяцію згідно із заданим законом, щоб сформувати безперервну траєкторію, що з'єднує ці точки.

Якщо в першому випадку керуючий пристрій не має обчислювального блоку, але потрібен запам'ятовуючий пристрій з певним обсягом пам'яті, у другому випадку - невеликий обсяг пам'яті, але керуючий пристрій повинен мати блок інтерполяції.

Як правило, особливістю роботів із системами контурного контролю є наявність відстежуючих приводів на кожному робочому органі руху робота.

У деяких електромеханічних роботах із системою керування за контуром, коли привід кожного органу руху базується на принципі системи відстеження, моделюються аналогові датчики зворотного зв'язку (такі як потенціометри та тахогенератори). Тому аналого-цифровий перетворювач повинен бути включений в систему. Встановивши датчики імпульсного або кодового зворотного зв'язку, можна досягти вищої ефективності системи з точки зору швидкдії, точності та безперебійної роботи. Тоді, керуючи комп'ютером, існує лише одна система управління цифровим приводом. Система управління контуром також може працювати в режимі управління за положенням.

Структурна схема однієї із загальноприйнятих систем керування за контуром "Сфера-36" [6] показана на (рис 1.11). Це багатопроцесорна система, заснована на шаруватому принципі. Верхній рівень вирішує такі завдання:

– обчислити траєкторію руху маніпулятора, щоб сформувати програму руху кожного робочого органу;

– логічна обробка інформації про стан пристрою як частини робототехнічного комплексу та синхронізація робота та технологічного обладнання;

– забезпечити режим діалогу оператора;

– обмінюватися інформацією із зовнішніми комп'ютерами;

– писати, читати та зберігати користувальницькі програми на дисковод гнучких дисків;

– забезпечити спосіб ручного керування маніпулятором через панель;

– діагностика роботи обладнання;

– калібруйте положення ланки маніпулятора.

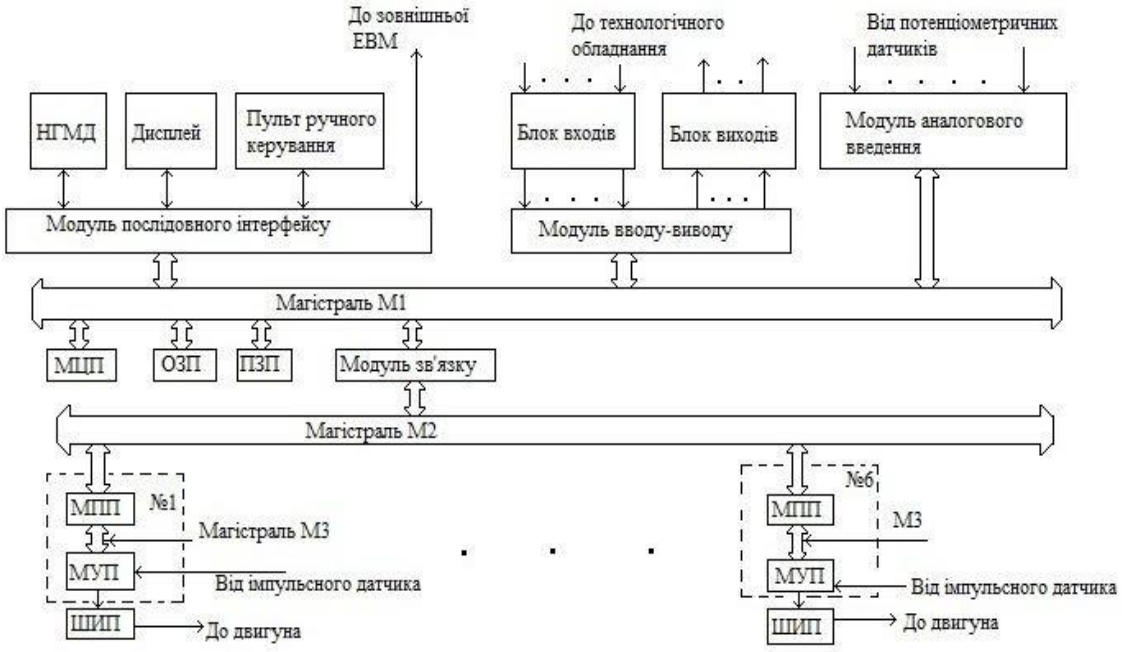


Рисунок 1.11 – Структурна схема контурної системи програмного керування

Нижній рівень в схемі керування вирішує проблему регулювання параметрів руху маніпулятора (відповідно до положення та швидкості) відповідно до програми, призначеної верхнім рівнем.

Верхній шар містить таке обладнання:

– модуль центрального процесора, призначений для обробки цифрової інформації, як центральний контрольно-обчислювальний пристрій;

– оперативно запам’ятовуючий пристрій тимчасово зберігає команди, операнди та робочі програми в режимі керування;

– постійно запам’ятовуючий пристрій використовується для зберігання операційної системи та констант обладнання керування.

Модуль вводу-виводу призначений для введення дискретних сигналів положення від пристрою до центрального процесора та видачі команд технологічному пристрою.

Модуль послідовного інтерфейсу використовується для підключення периферійних пристроїв до каналу процесора.

Модуль зв'язку призначений для обміну інформацією між каналом центрального процесора та каналом процесора приводу.

Модуль аналогового входу перетворює аналогову інформацію в цифрові коди і вводить канали процесора.

Нижній рівень містить таке обладнання:

– модуль процесора приводу, як низькорівневе обладнання, для обчислення та керування, для обробки цифрової інформації;

– модуль керування приводом, призначений для керування електроприводами. Перетворює сигнал приводного процесора в широтно імпульсний сигнал і виконує первинну обробку сигналу датчика зворотного зв'язку;

– широтно імпульсні перетворювачі - це перетворювачі ширини імпульсу в системах керування двигуном.

Шина М1 - це системна шина, яка використовується для обміну інформацією між модулем централюного процесора, пам'яттю та зовнішніми пристроями. Це комп'ютерний канал, через який модуль центрального процесора керує всфм іншим обладнанням.

Шина М2 використовується для обміну інформацією між модулями процесора приводу та модулями зв'язку. Існує розумна мережа запитів для організації прямого доступу до пам'яті модулів процесора приводу (через модуль зв'язку, який обробляє команди модулів процесора приводу).

Шина М3 призначена для обміну інформацією між процесором приводу та модулем керування приводом.

Програмне забезпечення включає набір процедур тестування, які дозволяють перевірити роботу будь-якого пристрою.

Система керування має різноманітні режими роботи: автоматичне тестування програми руху маніпулятора; програмне забезпечення - створення нової програми (режим навчання); базове ручне керування для кожної ланки; калібрування-калібрування системи, тобто скидання робочих органів у початкове положення, оскільки є лише це активує автоматичний режим.

В якості системного програмного забезпечення в пристрої керування «Сфера-36» [6] використовується спеціальна операційна система ARPS.

Адаптивна система керування - це система керування, яка може автоматично підлаштовуватися під певні зміни навколишнього середовища та самої системи під час роботи.

Це досягається завдяки тому, що алгоритм адаптивного керування використовує відповідну поточну інформацію про стан навколишнього середовища. Приклади таких операцій, які вимагають адаптивного керування, включають: обробку ненаправлених об’єктів, використання стискаючого контролю сили для утримання крихких об’єктів, вибір конкретних об’єктів на основі зовнішніх характеристик багатьох інших об’єктів тощо.

Для досягнення адаптивного керування в системі керування роботом вводяться сенсорні пристрої (системи) для виявлення необхідних параметрів зовнішнього середовища. Сенсорний пристрій робота (датчик) поділяється на систему технічного зору, "тактильну" систему, датчик сили та датчик крутного моменту. Залежно від призначення робота, адаптивна система використовує деяку комбінацію цих датчиків.

Методи інтеграції та структурного розпізнавання образів використовуються для обробки великої кількості інформації від датчиків.

Адаптованість керуючого обладнання до змін навколишнього середовища поділяється на три рівні:

– зміна роботи пристрою керування при зміні стану об’єкта внаслідок впливу зовнішнього середовища;

– робота пристрою керування змінюється при зміні умов навколишнього середовища під впливом об'єкта;

– робота пристрою керування змінюється з метою підтримання максимального індексу якості, коли об'єкт і середовище змінюють один одного.

Адаптивне керування може мати такі опції:

– адаптивний перегляд керування програмним забезпеченням та процедур керування;

– відповідно до фактичних зовнішніх умов адаптивно вибирається кожна підпрограма або регулюється значення індивідуальних параметрів цих процедур;

– за відсутності програми керування суто адаптивний контроль у функції сенсорної інформації програми керування (наприклад, за допомогою датчика положення для автоматичного наведення пристрою захоплення маніпулятора для отримання довільно розташованого об'єкта) ;

– комбінований контроль частково базується на програмі, а частково на одному з поданих варіантів адаптивного управління.

інтелектуальне керування - це подальший розвиток та ускладнення адаптивного керування в його програмній частині, тому дії робота набули творчих елементів, тобто вони мають ті самі інтелектуальні характеристики, що і дії людини.

Суттєвою особливістю інтелектуальної системи є здатність планувати свої дії для досягнення певної мети. З цією метою система повинна мати можливість побудувати зовнішню модель середовища - світову модель (пов’язану з цілями, які стоїть перед системою).

Для того, щоб система могла сформувати модель зовнішнього середовища та відстежувати зміни та вдосконалення), система повинна мати перцептивне обладнання, систему перцептивної обробки інформації, ідентифікацію зразків навколишнього середовища та, звичайно, добре організовану пам’ять, пристосовану для вирішення цих проблем.

1.5 Методи забезпечення та підвищення надійності

Керування надійністю обладнання - це встановлення, забезпечення та підтримка його встановленого рівня, здійснюється шляхом систематичного контролю та цілеспрямованих дій щодо умов та факторів, що впливають на надійність. Принцип полягає в тому, щоб замінити окремі та неоднорідні заходи комплексними заходами, щоб забезпечити заданий рівень надійності обладнання на всіх етапах життєвого циклу обладнання, тобто при проектуванні, виробництві та експлуатації.

На стадії проектування встановлюється надійність різних технічних пристроїв. Характер і надійність змін технічних умов технічних елементів залежать від структури, використовуваних матеріалів, захисних покриттів, мастильних матеріалів тощо.

Надійність обладнання гарантується на етапі виробництва. Важливим заходом є технічний метод підвищення надійності деталей.

Виконується надійність і під час роботи виробу . Притаманна надійність технології в робочому процесі залежить від прийнятої системи, якості обслуговування та ремонту, кваліфікації обслуговуючого персоналу та впливу зовнішнього середовища.

Комплексний підхід до питань керування надійністю обладнання втілюється в уніфікації та взаємозв'язку технічних, економічних, соціальних та організаційних

заходів для забезпечення необхідної надійності обладнання. З цією метою важливо використовувати результати фундаментальної та прикладної науки.

Надійність обладнання керується за допомогою його основних комплексних показників, таких як надійність, довговічність, безпека та ремонтопридатність. Підвищення надійності може заощадити матеріали, робочу силу та енергію при використанні обладнання.

Кожна технологія складається з певних компонентів та механізмів, а ці компоненти та механізми складаються з компонентів, складальних одиниць та деталей. Отже, вирішення проблеми технічної надійності вимагає системного підходу, що включає методологічну спрямованість її дослідження, засновану на об’єкті як системі, тобто сукупності елементів, пов’язаних із взаємодією, а отже як єдиному середовищі.

Наприклад, мобільний робот можна розглядати як систему, що складається з підсистем: електродвигунів, приводів керування двигунами, несучих систем, шасі, механізмів керування та контролю.

Звичайно, надійність технології, як правило, залежить від надійності її компонентів, особливо надійності деталей. З одного боку, компонент є основною частиною машини, з іншого боку - колекцією, системою з усіма її властивостями. Це ціле, що складається з взаємопов’язаних частин. Її функціональні частини та структурні частини можна розглядати як підсистеми, тоді як поверхня - як елемент (тертя, опора, посадка, кріплення та з'єднання, між ними є певні зв'язки). Кількість конструктивних компонентів залежить від типу та складності конструкції деталі, і її призначення полягає в тому, що деталь як систему можна розділити на підсистеми або лише на елементи.

1.6 Постановка завдання розробки і дослідження керування роботизованим обладнанням

У дипломному проекті потрібно розробити триколісний мобільний робот, для якого потрібно виконати такі операції:

- проаналізувати існуючі мобільні роботи;
- розробити систему керування мобільним комплексом;
- провести експериментальні дослідження моделі;
- забезпечити надійну роботу та експлуатацію.

Робот транспортуватиме деталі зі складу до станка.

2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИМ ОБЛАДНАННЯМ

Розглянемо модель робота-візка, що приводиться в рух двома співісними, неповоротними, незалежними, активними (провідними) колесами (1-ліве, 2-праве) і одним пасивним (опорним) колесом в абсолютній декартовій системі координат $x=(x_1, x_2)$ і відносній системі координат $z=(z_1, z_2)$ (Рис 2.1)

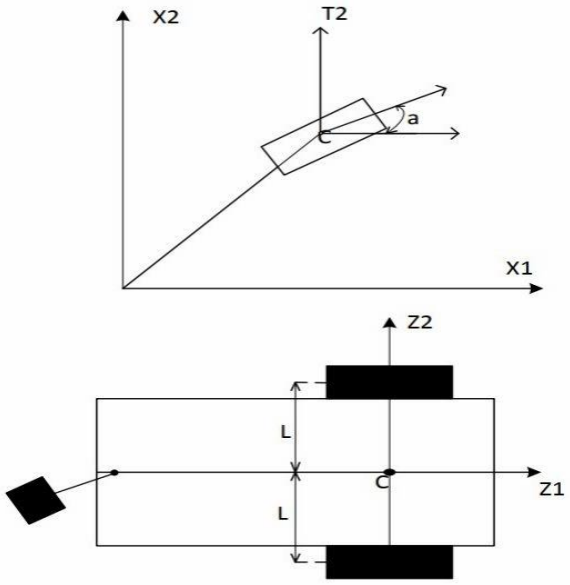


Рисунок 2.1 – Кінематична схема роботи візка

Кожне ведуче колесо приводиться в рух двигуном постійного струму. Опорне колесо забезпечує підтримку платформи візка в горизонтальному положенні, обертається вільно навколо власної осі і навколо вертикальної осі з ексцентриситетом. С – характерна точка робота-візка (центр-маси). Положення платформи в кожен момент часу однозначно визначається вектором xc=(xc1, xc2) координат точки с. При побудові моделі руху робота-візка в горизонтальній площині у відносній системі координат z=(z1,z2), пов'язаної з рухомою платформою, передбачається:

– конструкція робота-візка є абсолютно жорсткою;
– впливом пасивного колісного модуля можна знехтувати;
– ведуче колесо знаходиться в точковому контакті з поверхнею.

Дана модель не враховує масо-інерційні характеристики робота-візка. Модель робота-візка описується наступними змінними і параметрами:

– x+1(t), x+2(t) - бажана траєкторія;
– x1(t), x2(t) - реальна траєкторія;
– $\hat{x}_1(t), \hat{x}_2(t)$ - оцінювана траєкторія;
– L - відстань між колесами;

– r - радіус колес;

– ne - число імпульсів енкодера за один оберт;

– kнс - коефіцієнт пропорційності швидкості обертання і напруги якоря двигуна;

– v1(t), v2(t) - швидкість (по координатам) центру візка в залежності від часу;

– v(t)0 - модуль швидкості центра візка;

– s(t)0 - шлях центра візка;

– V(t)= v(t) - модуль швидкості центру візка зі знаком «+», якщо робот їде вперед, і «-», якщо назад;

– S(t) - метраж центру візка (інтеграл V(t) за часом);

– Vл(t), Vп(t) - модулі швидкості лівого і правого колеса;

– Sл(t), Sп(t) - метраж лівого і правого колеса;

– Nл(t), Nп(t) - кількість імпульсів енкодера з моменту запуску програми і до моменту t;

– a(t) - кут поворота візка відносно вісі OX1;

– (t)- кутова швидкість візка;

Вирази, що описують модель, наведені нижче.

Шлях пройдений обома колесами:

$$\hat{S}_{\text{п}} = \frac{2\pi r}{n_{\text{e}}} \times N_{\text{л}} \tag{2.1}$$

$$\hat{S}_{\text{п}} = \frac{2\pi r}{n_{\text{e}}} \times N_{\text{п}} \tag{2.2}$$

Метраж центру візка

$$\hat{S} = \frac{\hat{S}_{\text{л}} + \hat{S}_{\text{п}}}{2} \tag{2.3}$$

Модуль швидкості центру візка

$$\hat{V} = \hat{S} \tag{2.4}$$

Швидкість візка по обох координатах:

$$\hat{v}_1 = V \cos a \tag{2.5}$$

$$\hat{v}_2 = V \sin a \tag{2.6}$$

Положення центра візка:

$$\hat{x}_1(t) = \int_0^t \hat{v}_1 dt + x_{10} \tag{2.7}$$

$$\hat{x}_2(t) = \int_0^t \hat{v}_2 dt + x_{20} \tag{2.8}$$

Кут повороту візка:

$$\hat{\alpha} = \frac{\hat{S}_{\text{п}} - \hat{S}_{\text{л}}}{L} + \alpha_0 \tag{2.9}$$

Маючи бажану траєкторію, описану рівняннями x+1(t), x+2(t), необхідно забезпечити рух робота по цій траєкторії. Тоді лінійна і кутова швидкості робота розраховуються за формулами

$$v = \sqrt{\dot{x}_1^{*2} + \dot{x}_2^{*2}} \tag{2.10}$$

$$\omega = \frac{\dot{x}_1^* \ddot{x}_2^* - \dot{x}_2^* \ddot{x}_1^*}{\dot{x}_1^{*2} + \dot{x}_2^{*2}} \tag{2.11}$$

Кутові швидкості коліс можуть бути знайдені у відповідності з виразами:

$$\omega_{\text{л}} = \frac{v - 0.5 \cdot \omega \cdot L}{r} \tag{2.12}$$

$$\omega_{\text{п}} = \frac{v + 0.5 \cdot \omega \cdot L}{r} \tag{2.13}$$

На основі даних виразів здійснюється керування двигунами робота.

2.1 Загальна структура програми

Модель робота в Simulink складається з трьох частин:

– керуюча частина;

– об’єкт керування;

– блок оцінки положення.

Керуюча частина – це комп’ютер, що здійснює керування, шляхом відправки пакетів даних мобільному роботу.

Об’єкт керування моделює мобільний робот. Керованими змінними є кутові швидкості кожного двигуна. Змінними стану є:

– x1, x1, alpha – змінні, що описують стан робота;

– v1, v2 – змінні, що описують швидкість робота;

Вихідними змінними об’єкта керування є sl, sr - шлях пройдений лівим і правим колесом (отриманий за допомогою енкодерів)

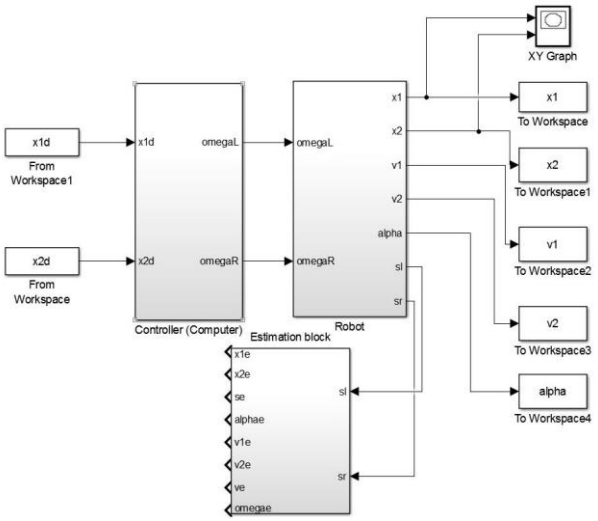


Рисунок 2.2 – Загальний вид системи керування мобільного робота в Simulink

Розглянемо кожен блок системи керування в окремо.

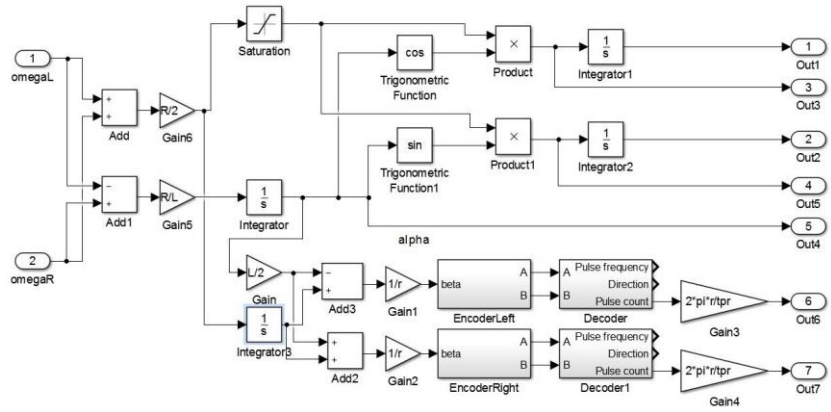


Рисунок 2.3 – Модуль об’єкта керування

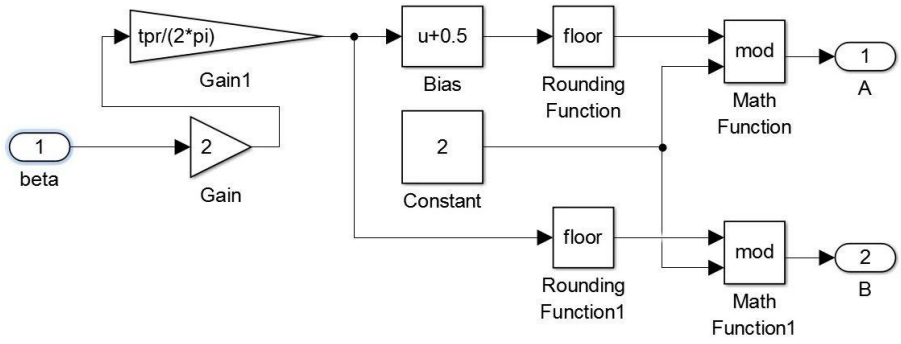


Рисунок 2.4 – Модуль енкодера, розробленого в Simulink

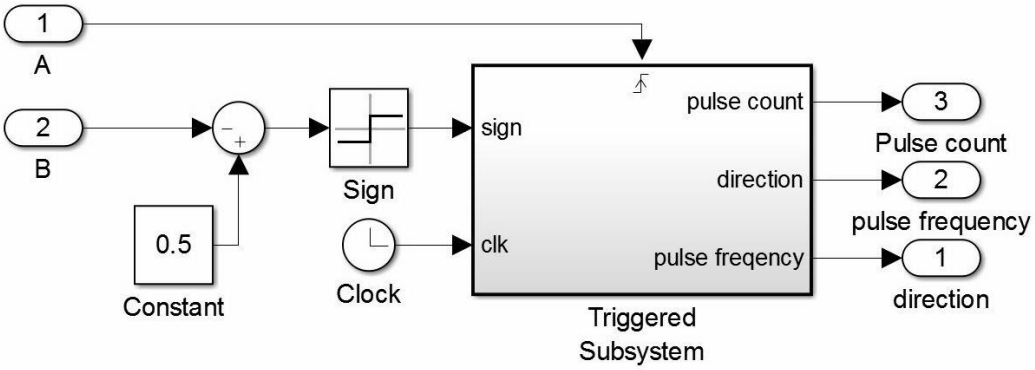


Рисунок 2.5 – Модуль декодера

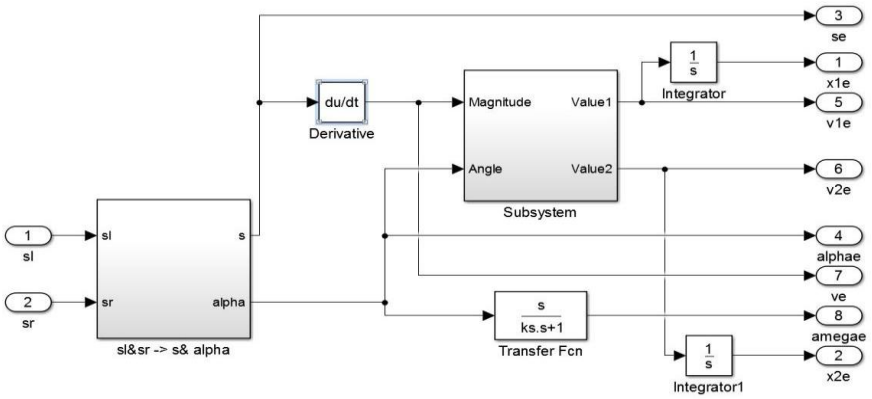


Рисунок 2.6 – Модуль оцінки положення робота

2.2 Модуль ведення-виведення інформації

Інтерактивний інтерфейс програми представлений у вигляді віртуальної панелі на (рис 2.7), що імітує панель пульта керування. Він містить кнопки, графічні індикатори та інші засоби керування і індикації. Введення даних при цьому здійснюється за допомогою миші або клавіатури.

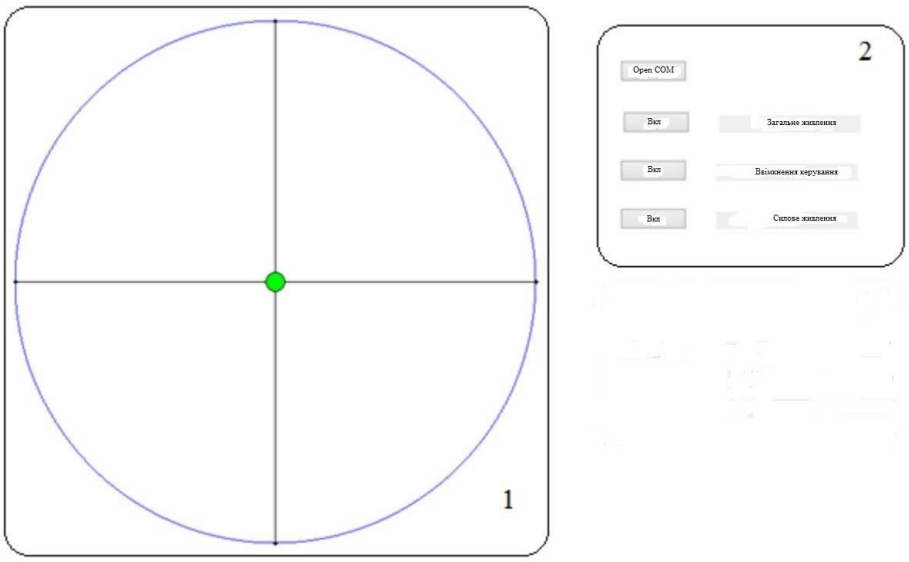


Рисунок 2.7 – Інтерфейс програми керування

Інтерфейс складається з двох блоків:

– блок керування переміщенням мобільного робота;

– блок кнопок встановлення зв'язку з МР і включення живлення.

У першому блоці імітуються рух джойстика. при перетягуванні зеленого покажчика вгору, мобільний робот почне рухатися вперед прямо, а при перетягуванні вниз – почнеться рух назад. Розвороти на місці здійснюються шляхом переміщення повзунка вліво або вправо, при цьому мобільний робот використовує танковий розворот.

У другому блоці знаходяться кнопки:

– «Open COM» – встановлення зв'язку з мобільним роботом за допомогою Bluetooth з’єднання з мікро контролером;

– включення / відключення загального живлення комплексу;

– включення / відключення керування;

– включення / відключення силового живлення двигунів.

Програма переміщення по заданій траєкторії призначена для руху по траєкторії, заданої функціями координат робота від часу. Інтерфейс програми зображений на (Рис. 2.8).

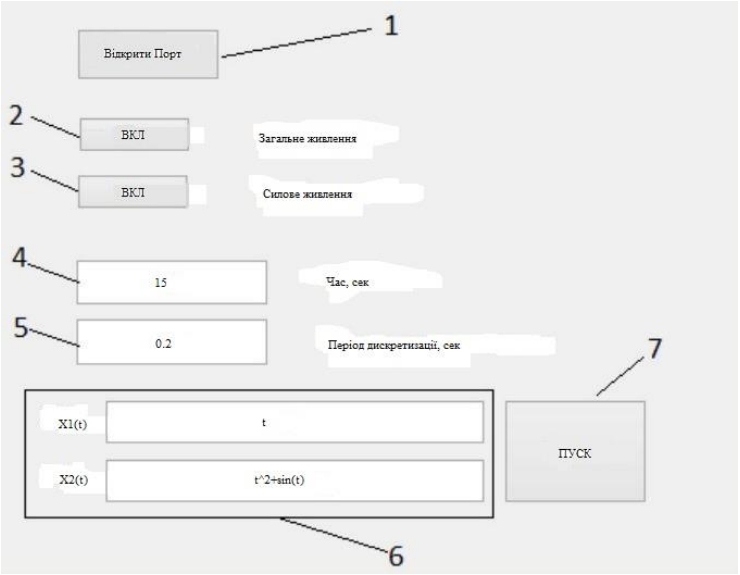


Рисунок 2.8 – Інтерфейс програми переміщення по заданій траекторії

Алгоритм дій, що виконуються після натискання кнопки пуск:

– функції з полів X1 (t), X2 (t) (номер 6 на малюнку 2.8) записуються в змінні символьного типу;

– відповідно до формул (2.10) – (2.13), знаходяться рівняння кутових швидкостей двигунів робота;

– запускається цикл відправки значень швидкостей двигунів з інтервалом, зазначеним в текстовому полі 5; в той же час відправляються пакети запитів пройденого шляху кожного колеса (кількість імпульсів енкодерів);

– з часом, зазначеним в полі 4, або при натисканні кнопки «Стоп», відправляється команда завдання нульової швидкості обох двигунів;

– за даними енкодерів відповідно до виразами (2.1) – (2.9) обчислюється траєкторія мобільного робота.

3 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ

Визначаючись з конструкцією робота, потрібно прокласифікувати його з урахуванням завдання позначеного у введенні. Після цього підібрати відповідні матеріали корпусу, двигуни і механізми. Це дозволить звести до мінімуму незаплановані зміни конструкції при подальшому проектуванні, створенні та випробуванні робота.

Для підвищення надійності і покращення ремонтоздатності конструкцію вирішено зробити модульною.

Драйвер двигуна це електронний пристрій, ціллю якого являється керування двигунами. Драйвером іменується окремий пристрій або окремий модуль, мікросхема в пристрої, що забезпечують перетворення в електричні або інші дії,

придатні для безпосереднього керування виконавчими або сигнальними елементами.

Драйвер ДПС DRM 7710. Розглянутий модуль призначений для гнучкого керування споживачем постійного струму до 3 Ампер (короткочасно – до 15 Ампер) при напрузі від 6 до 30 вольт. Так само модуль може забезпечувати плавне регулювання потужності, що віддається на навантаженні. Навантаженням модуля може виступати як споживач з чисто активним опором (лампи розжарювання, нагрівачі, елементи Пельтьє), так і індуктивним (обмотки крокових моторів, обмотки трансформаторів, колекторні двигуни).

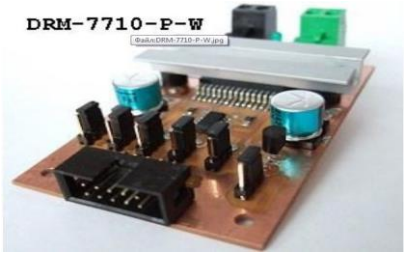


Рисунок 3.1 – Драйвер DRM 7710 [7]

Для керування системою керування мобільного робота було вирішено зібрати власну схему на подобі DRM 7710, правда з більшим функціоналом.

Драйвер оптичного енкодера. Датчик кута повороту (або енкодер) – пристрій, функцією якого є перетворення кута повороту обертового об'єкта в електричні сигнали, що дозволяють визначити кут його повороту.

Частота обертання колеса – величина, значення якої вираховується енкодером. З енкодера знімається синусоїдальний сигнал, період якого залежить від частоти обертання валу двигуна. За допомогою АЦП (аналогово цифровий перетворювач) аналоговий сигнал перетвориться в послідовність цифрових значень. Кожен максимум сигналу відповідає проходженню крильчатки біля оптопари. кількість максимумів є кількістю так званих «тиків» за повний оберт колеса, число яких дорівнює 170. Частота перетворень АЦП перевищує частоту синусоїдального сигналу з енкодера. За допомогою порогів відстежується поточне

значення, і якщо воно якось перевищило максимальний поріг, лічильник збільшується на одиницю. За допомогою нижнього порога виключено спрацьовування лічильника при наявності "шуму" в синусоїдальній сигналі.

Особливості:

- 360 імпульсів/оберт;
- джерело живлення DC5-24В;
- вал 6*13 мм;
- розмір 38*35.5 мм;
- дві фази А і В для визначення напрямку руху;
- максимальна механічна швидкість: 5000 об/хв;
- частотна характеристика: 0-20 кГц.

Рисунок 3.2 – Оптичний енкодер

Для зв'язку окремих модулів системи керування, необхідно мати бортову мережу, через яку буде проходити команди керування і отримані дані. Мережа повинна бути простою в той же час багатофункціональною.

RS-485 (рекомендований стандарт 485 або EIA / TIA-485-A) є рекомендованим стандартом для передачі даних через двопровідний напівдуплексний багатоточковий послідовний симетричний канал зв'язку. Асоціація спільного розвитку: Альянс електронної промисловості (EIA) та Асоціація індустрії телекомунікацій (TIA).

Основні атрибути.

Двостороння напівдуплексна передача даних. Послідовний потік даних передається лише в одному напрямку одночасно, а передача даних в іншому напрямку повинна перемикати приймач. Приймачі називаються "драйверами", і це пристрої або схеми, які виробляють фізичні сигнали на передавачі.

Симетричний канал зв'язку. Два еквівалентних сигнальних дроти використовуються для прийому / передачі даних. Дроти представлені латинськими літерами "A" і "B". Ці два рядки супроводжуються послідовним обміном даними у двох напрямках (по черзі). При використанні витої пари симетричний канал значно підвищує стійкість сигналу до фазових перешкод і добре пригнічує електромагнітне випромінювання, що генерується корисним сигналом.

Диференціальний (збалансований спосіб передачі даних). У цьому методі передачі даних різниця потенціалів на виході приймача змінюється. Коли передається "1", різниця потенціалів між AB є позитивною, а коли "0" передається, різниця потенціалів між AB є негативною. Тобто струм між контактами A і B передає «0» і «1» і тече в протилежних напрямках (збалансовано).

Багатоточковий: Дозволяє багаторазово підключати приймач та приймач до однієї лінії. Одночасно лише один передавач може підключатися до лінії, багато приймачів та інші передавачі повинні чекати звільнення лінії зв'язку, перш ніж можна буде здійснити передачу даних.

Вихід передавача з низьким імпедансом: Буферний підсилювач передавача має вихід з низьким опором, що дозволяє передавати сигнал багатьом приймачам. Стандартна навантажувальна здатність передавача становить 32 приймача на передавач. Крім того, використання струмових сигналів для роботи "крученої пари" (чим більший робочий струм "крученої пари", тим більше фазових перешкод на лінії зв'язку може бути придушено).

Нечутлива область. Якщо рівень диференціального сигналу між контактами AB не перевищує ± 200 мВ, вважається, що на лінії відсутній сигнал. Це підвищує стабільність передачі даних.

3.1 Розробка структурної схеми керування роботизованим обладнанням

Структурна схема являє собою графічну модель функціонування системи керування.

Роль системи керування складається в підтримці зв’язку з верхнім рівнем керування, збору інформації з підключених до нього пристроїв (датчики , драйвери двигунів).

Роль драйвера двигунів – отримання завдання від схеми керування і його виконання, а також звіти про виконання , похибки і контрольовані параметри. Драйвер двигуна повинен бути максимально гнучким, для використання з любим типом двигуна, любими датчиками зворотного зв'язку.

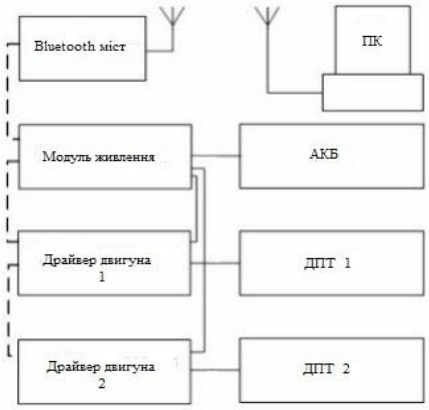


Рис. 3.3 – Структурна схема системи керування

Роздивимось більш детально кожен із елементів структурної схеми:

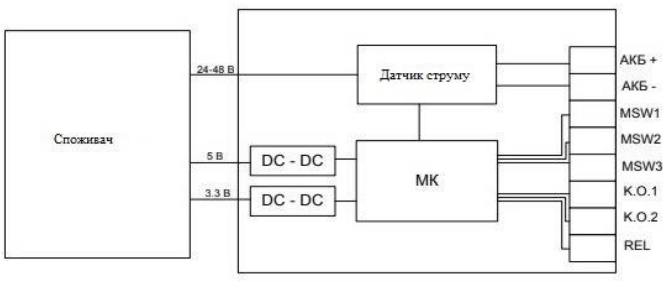


Рис. 3.4 – Структурна схема керування живленням

Для керування живленням зроблена додаткова плата. вона відповідає за перетворення вхідної напруги і розподілення її між споживачами.

Принцип роботи: замикається головний вмикач і подається живлення на периферійні пристрої (датчики, радіоканал), силова частина поки знеструмлена. Далі необхідно розімкнути кнопку аварійної зупинки, після цього при отриманні певного сигналу з ПК подається живлення на силову частину.

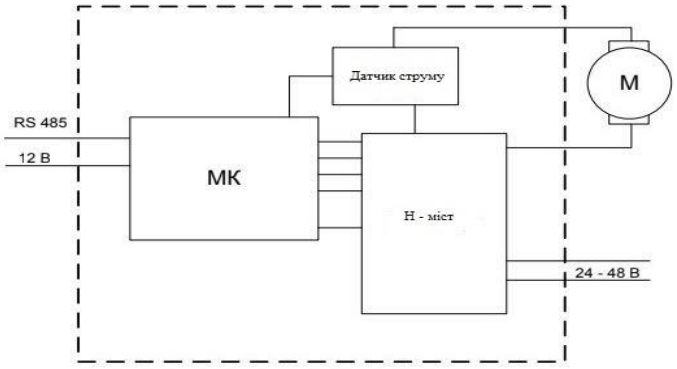


Рис. 3.5 – Структурна схема драйвера двигуна (силова частина)

3.2 Розробка функціонального вузла вхідних і вихідних сигналів

Драйвер двигуна розроблений на базі чипа ATxmega16A4U [8]

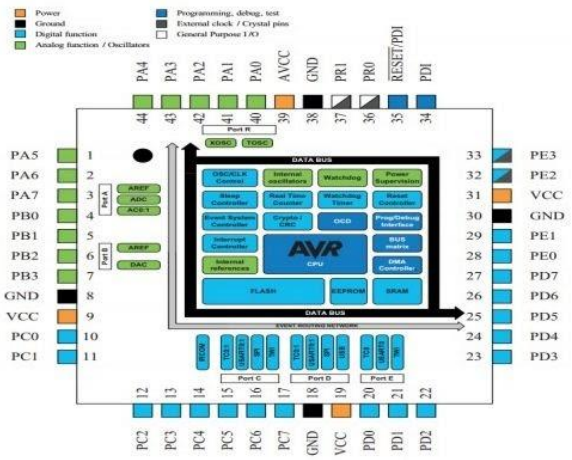


Рисунок 3.6 – Мікросхема ATxmega16A4U [8]

XMEGA A4 – сімейство малопотужних, високоефективних 8/16-бітних мікроконтролерів з великим набором периферійних пристроїв.

Відмінні особливості:

– високоефективні, малопотужні 8/16-бітні мікроконтролери AVR XMEGA.

Енергонезалежні пам’яті даних і програм:

– 4 кілобайтний сектор завантажувального коду з окремими бітами захисту;

– 4 кілобайти внутрішнього статичного ОЗП;

– 32 кілобайти всередині системної флеш-пам’яті;

– 2 кілобайти ЕСППЗП.

Особливості системи вводу-виводу:

– чотирьохканальний контролер ПДП з підтримкою зовнішніх запитів;

– п’ять 16-бітних таймерів/лічильників;

– 2 таймера/лічильника з 2 виходами блоків порівняння або виходами захоплення;

– 3 таймера/лічильника з 4 виходами блоків порівняння або виходами захоплення;

– блок розширення для генерації імпульсів у одного таймера-лічильника;

– блок розширення роздільної здатності у всіх таймерів-лічильників;

– два послідовних інтерфейси SPI;

– два двопровідних послідовних інтерфейси (I2C- і SMBus- сумісні);

– 16-бітний лічильник реального часу з окремим генератором;

– один 2-канальний 12-бітний ЦАП, що підтримує частоту перетворення до 1 МГц;

– один 12-канальний 12-бітний АЦП, що підтримує частоту перетворення до 2 МГц;

– два аналогових компаратора;

– зовнішні переривання на всіх лініях вводу-виводу загального призначення.

Спеціальні функції мікроконтролера:

– опціональні внутрішні і зовнішні тактові джерела для вбудованої схеми ФАПЧ;

– схема скидання при подачі живлення і програмована схема контролю напруги живлення;

– введення/виведення і корпусу;

– програмований багаторівневий контролер переривань;

– інтерфейс програмування і відладки PDI;

– інтерфейси програмування, тестування і відладки;

– 36 програмованих ліній введення-виведення.

3.3 Розробка функціонального вузла блока введення - виведення інформації

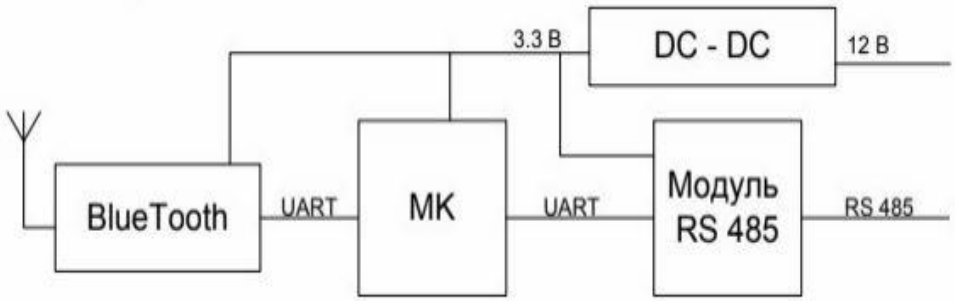


Рисунок 3.7 – Структурна схема радіоканалу

Для здійснення зв’язку між ПК і системою керування, використаний модуль Bluetooth для організації радіоканалу. Bluetooth – виробнича специфікація бездротових персональних мереж (англ. Wireless Personal Area Network, WPAN).

Він дозволяє відправляти команди, приймати дані в реальному часі в радіусі до 100 метрів один від одного, відстань залежить від сторонніх перешкод.

Для підвищення надійності зв’язку з ПК можна використовувати дублювання по каналу WI-FI.

3.4 Тестування схеми пристрою

Важливою частиною дипломного проекту є дослідження розробленого програмного забезпечення мобільного робота. Необхідність випробування мобільного робота обумовлено тим, що програмний код системи керування має досить складну структуру, а випробування дозволяють визначити недоліки в програмному коді і усунути їх.

Алгоритм запуску мобільного робота:

– перш ніж підключати живлення необхідно переконатися в цілісності проводів і запобіжників;

– перевірити, чи правильно з'єднані клеми між акумуляторами;

– замкнути кнопку аварійної зупинки;

– після цього замкнути головний вмикач - підключений до джерела живлення на периферійні пристрої та плату керування живленням. Силова частина знеструмлена;

– далі оператор керує МР за допомогою ПК;

– після закінчення сеансу оператор повинен виконати всі дії в зворотному порядку.

Проведемо дослідження зі наступними параметрами роботи програми:

– тривалість дослідження T = 15 с;

– інтервал відправки пакетів dt = 0.2 с.

Як функції координат МР було використано наступне вираження:

– x1(t) = 0.2t, x2(t) = 0.3t.

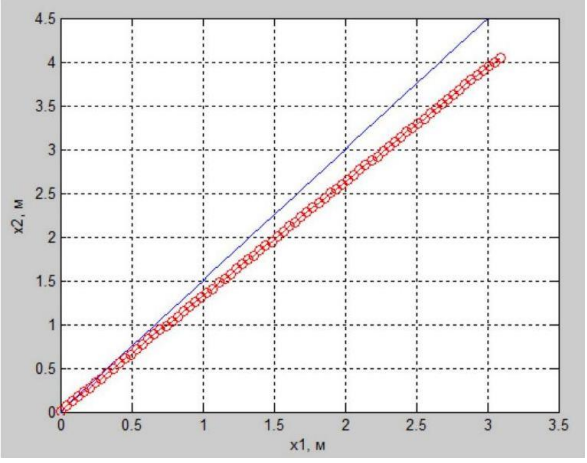


Рисунок 3.8 – Бажана і реальна траекторія руху

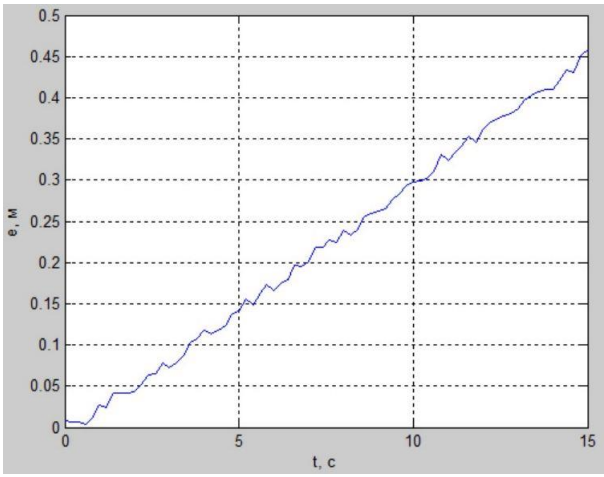


Рисунок 3.9 – Похибка позиціонування

З графіків помилки позиціонування, можна побачити, що в експерименті вона склала 0.46 метра.

Для досягнення кращої якості керування, необхідно використовувати корекцію результатів через зворотний зв'язок.

3.5 Підвищення надійності розробленого робота і програми керування

З метою підвищення надійності розробленої моделі було вирішено розмістити візок робота в захисному металевому корпусі. Оскільки його робота планується в приміщенні, герметичність не має сенсу. Це захистить внутрішній механізм від механічних пошкоджень, забезпечить гарний зовнішній вигляд та забезпечить безпечні умови експлуатації обслуговуючого персоналу.

Надійність програмного забезпечення досягається за допомогою резервного копіювання.

Безперебійна робота вимагає технічного обслуговування та ремонту.

Види обслуговування та ремонту пересувного робота-візка:

– I вид – внутрішньо змінне технічне обслуговування – поточний ремонт;

– II вид – огляд кожного місяця;

– III вид – малий ремонт один раз на рік;

– IV вид – середній ремонт один раз на 3 роки;

– V вид – капітальний ремонт раз на 10 років.

Технічне обслуговування здійснюють оператори на місці, черговий та обслуговуючий персонал під час технічних зупинок та обідньої перерви на місці.

Основою внутрішнього обов'язку є журнал приймання-передачі змін, в якому всі відмови, технічні зупинки та зупинки під час роботи вантажних автомобілів ведуть відповідальний за виробничу ділянку.

Усі оператори, які проводять керування на місці, отримають інструкцію з технічного обслуговування, написану керівником служби технічного обслуговування, яка визначає їх функції та обсяг роботи під час зміни.

Усі типи ремонтів робота-візка на виробничому майданчику виконуються обслуговуючим персоналом та підрядниками, коли це необхідно. Завдання обслуговуючого персоналу публікуються в журналі.

Інспекції проводяться обслуговуючим персоналом, щоб перевірити стан візка, усунути механічні та електричні несправності та визначити обсяг підготовки до подальшого технічного обслуговування або регулярного ремонту.

Перевірку проводить інженерно-технічний персонал служби технічного обслуговування та відповідної виробничої дільниці. Огляд проводиться відповідно до річного плану ППР.

Незначний ремонт - Тип періодичного технічного обслуговування, при якому зношені деталі та механізми регулювання замінюються або ремонтуються для забезпечення нормальної роботи робота-візка до наступного планового технічного обслуговування.

Невеликий ремонт проводиться відповідно до річного та щомісячного планів ППР.

Невеликі ремонти виконуються обслуговуючим персоналом під керівництвом відповідального за обслуговування персоналу, за участю операторів на виробничому майданчику.

Після незначного ремонту особа, відповідальна за службу технічного обслуговування, фіксує результати у журналі з експлуатації робота.

Середній ремонт - тип регулярного технічного обслуговування, що включає часткову розбірку робота-візка, капітальний ремонт окремих вузлів, заміну та ремонт основних деталей зносу, монтаж, регулювання та випробування на навантаження.

При середньому технічному обслуговуванні персонал технічної служби перевіряє технічну точність працюючого робота-візка за участю персоналу на виробничій ділянці. Після середнього ремонту відповідальний за ремонтну службу фіксує результат у журналі з експлуатації робота.

Капітальний ремонт - це комплекс робіт, що включає повний розбір робота-візка заміну всіх зношених деталей та вузлів, ремонт основних деталей та вузлів, монтаж, налагодження та випробування обладнання під навантаженням.

Під час капітального ремонту геометрична точність обладнання, зазначеного в нормативних документах з технічного обслуговування, буде відновлена на строк дії до наступного планового часу технічного обслуговування.

Капітальний ремонт базується на записах у журналі змін обладнання, зведеному журналі та паспортних даних.

ВИСНОВКИ

Різні роботи вже існують у багатьох сферах людської діяльності, і їх частка в майбутньому буде лише зростати, оскільки з розвитком технологій надійність роботів буде лише зростати, і вони можуть виконувати все більш різні дії.

В ході виконання дипломної роботи було проаналізовано сучасні системи керування робототехнічним обладнанням. Визначено основні теоретичні положення. Огляд програмного забезпечення для проектування роботизованої системи керування обладнанням. І проаналізовано апаратне забезпечення обладнання робота.

Здійснено опис конструкції. Визначено основні виконавчі механізми: приводи та двигуни постійного струму. Також вони вибрані для виконання завдання.

Розроблено математичну модель. Поведінка мобільного робота під час його руху моделюється відповідно до розробленого алгоритму руху траєкторії. Була розроблена графічна програма, яка наочно продемонструє роботу розробленої моделі.

Розроблена функціональну схему. Вибрано мікроконтролер та драйвер двигуна. Розрахований бюджет помилок основного вимірювального каналу. Також була розроблена блок-схема алгоритму пристрою.

Проведено роботи з підвищення надійності програмного та апаратного забезпечення робота-візка, надано рекомендації щодо технічних оглядів та регулярного обслуговування.

Таким чином, поставлені задачі по розробці системи керування і робота- візка було досягнуто.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Палевін Л.Є. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні: Підручник / Л.Є. Палевін, К.І. Почка, О.М. Гаркавенко, Д.О. Міщук, І.В. Русан. – К.: ТОВ «НВП «Інтерсервіс»», 2016. – 258 с.

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

3. Смаглюк А.К. С-50 Засоби програмного керування технологічними системами: конспект лекцій. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – 212 с.

4. Муляр Ю.І. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина ІІ : навчальний посібник / Ю.І. Муляр, С.В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ , 2020. – 123 с.

5. Іванцевич Ю.Б. Лекції з основ проектування робототехніки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ukrdoc.com.ua/text/29292/index-7.html

6. Грищук Ю.С. Мікропроцесорні пристрої: Навчальний посібник. – Харків: НТУ «ХПІ» , 2007. – 280с.

7. Устройство управления «Сфера-36». Основные блоки. Режимы работы. [Електронній ресурс]: Режим доступу: https://studfile.net/preview/804872/page:3/

8. Драйвер двигателей постоянного тока DRM-7710 [Електронний ресурс]: - Режим доступу: http://wiki.roboforum.ru/index.php?title=Драйвер_двигателей_постоянного_тока_DRM-7710

9. 2014 Atmel Corporation. / Rev.: Atmel-8387H-AVR-ATxmega16A4U-32A4U-64A4U-128A4U-Datasheet_09/2014 [Електронний ресурс]: - Режим доступу: http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-8387-8-and16-bit-avr-microcontroller-xmega-a4u_datasheet.pdf

10. Доля В.М. Програмування, введення та відпрацювання управляючих програм для верстатів з ЧПУ та РТК: Навчальний посібник. - Харків: НТУ „ХПІ”, 2003. - 169 с.

11. В.Г. Маценко Математичне моделювання: навчальний посібник / В.Г. Маценко. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2014. – 519с.

12. Томас Бройнль. Встраиваемые робототехнические системы: проектирование и применение мобильных роботов со встроенными системами управления : пер. с англ. / Т. Бройнль. — Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012. — 520 с.

13. Михайлов, О.П., Орлова, Р.Т., Пальцев, А.В. Современный электропривод станков с ЧПУ и промышленных роботов [Текст]: учеб. / О.П. Михайлов, Р.Т. Орлова, А.В. Пальцев; под ред. Б.И. Черпакова. – М.: Высш.шк., 1989. – 111с.: ил.

14. А.С.Булгаков В.А.Воробьев С.И.Евтушенко Д.Я.Паршин «Автоматизация и роботизация строительства: Учебное пособие. 2-е изд»,РИОР. 2013

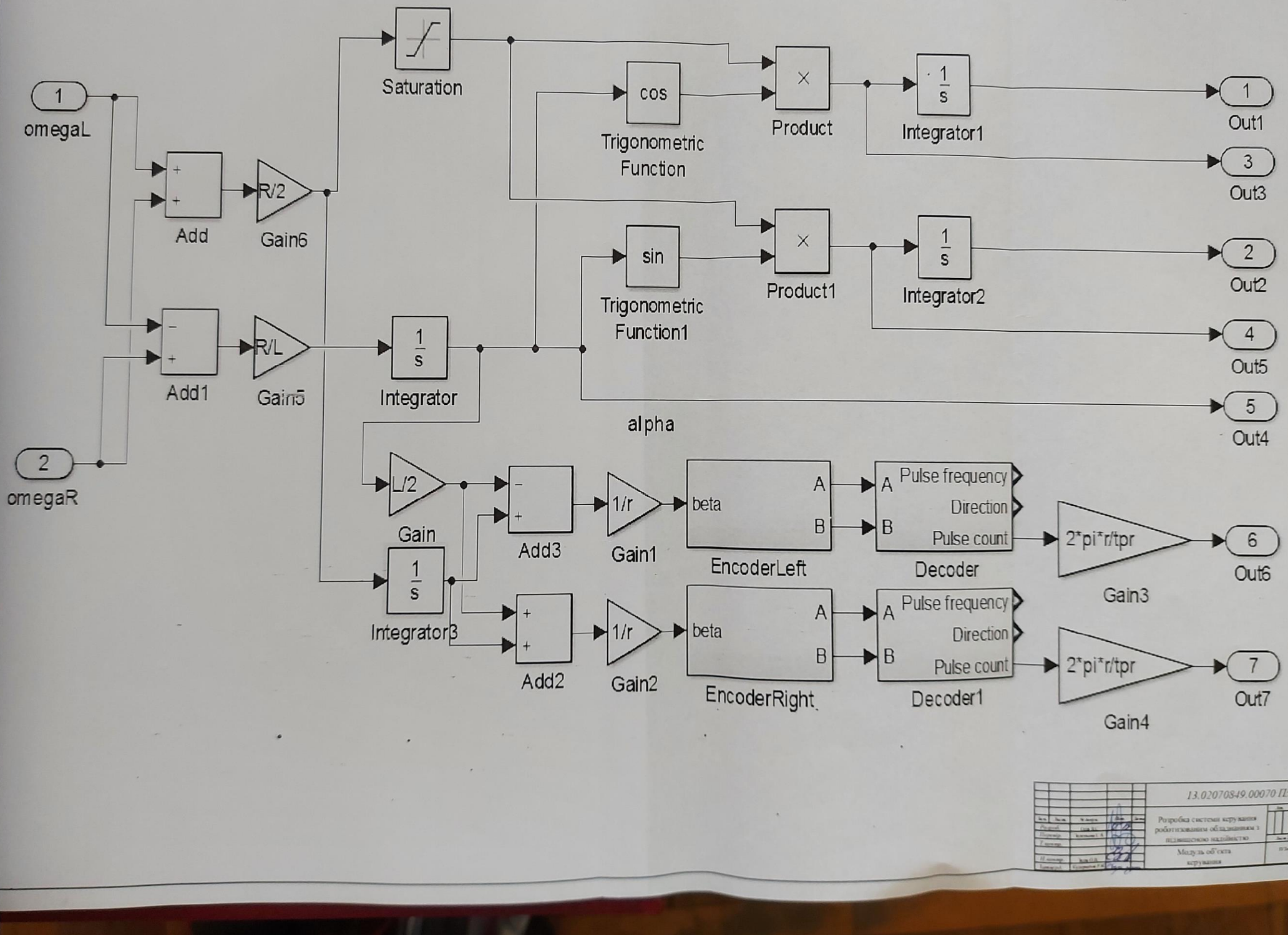
15. Р. Букарев «Основы робототехники», Феникс, 2008. 288 с.

16. Улли Соммер «Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino» - БХВ-Петербург, 2012. 300 с.

17. С.Ф Бурдаков, И.В Мирошник, Р.Э Стельмаков. Системы управления движением колесных роботов, 2001.

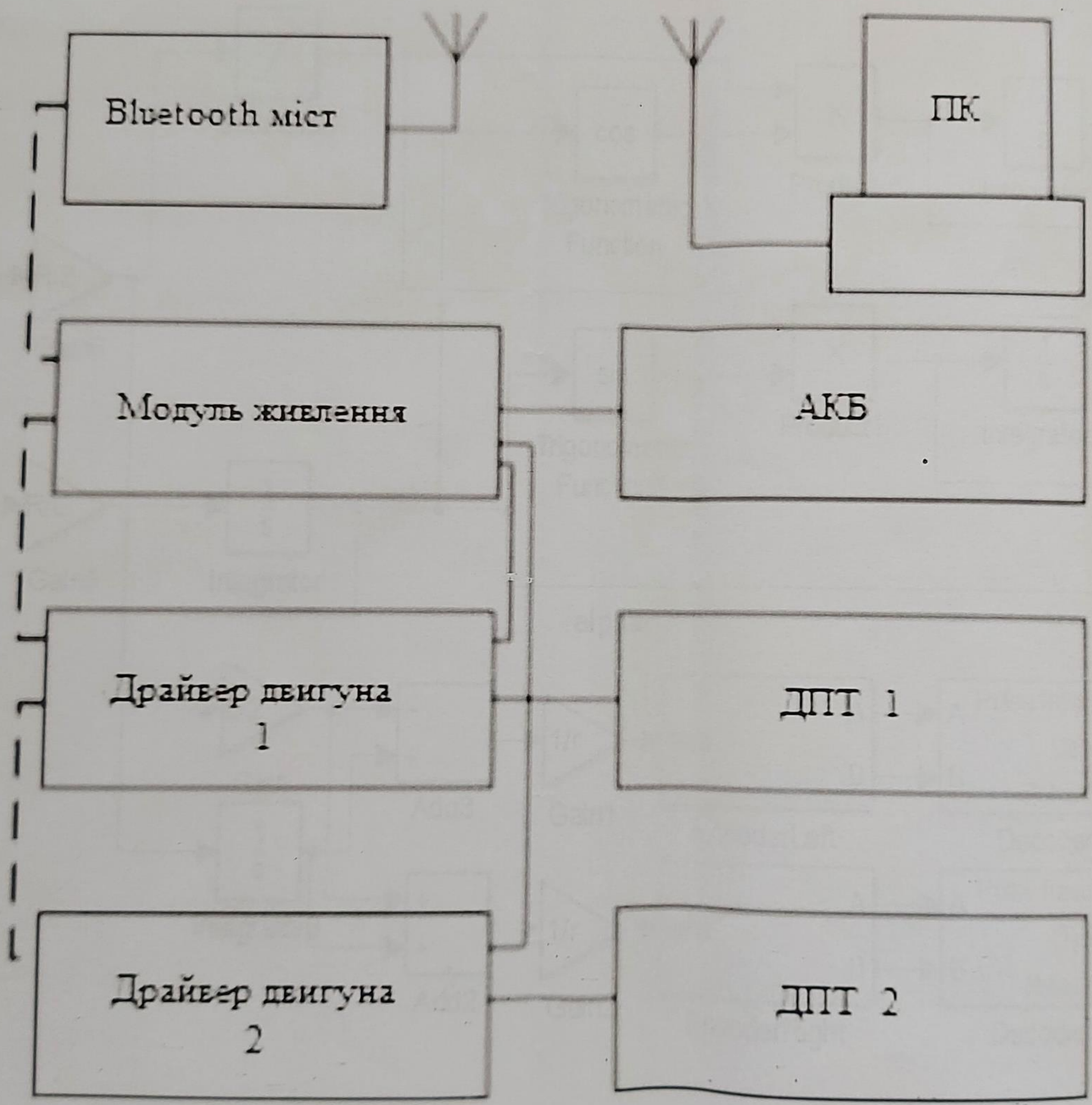
18. Мохов А.Д. Разработка математического и программного обеспечения систем управления мобильными роботами произвольнойструктуры с избыточными связями, 2014

Модуль об'єкта керування



13.02070849.00070 Пл.2

Структурна схема системи керування



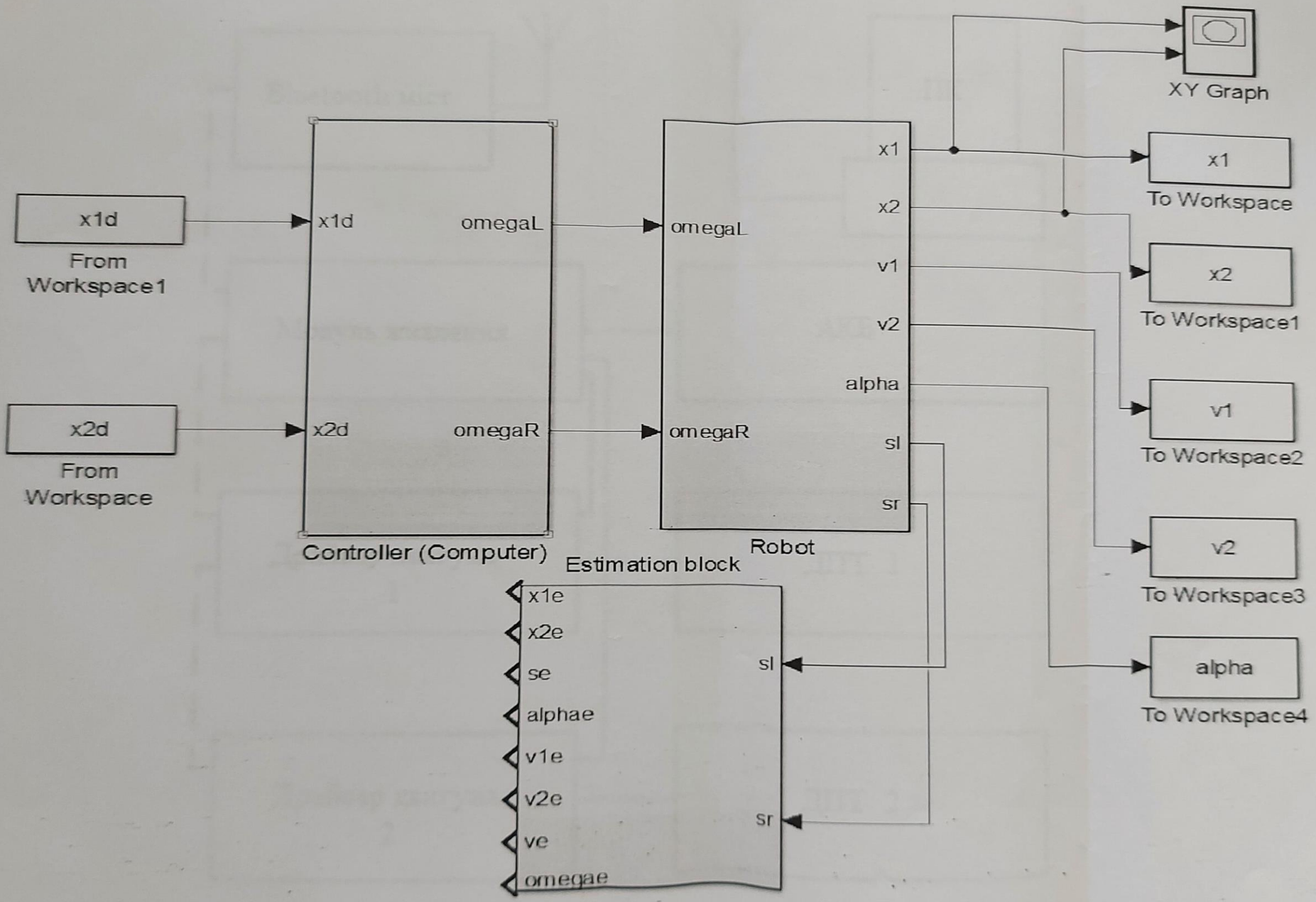
13.02070849.00070 Пл.2

Розробка системи керування роботизованим обладнанням з підвищеною надійністю

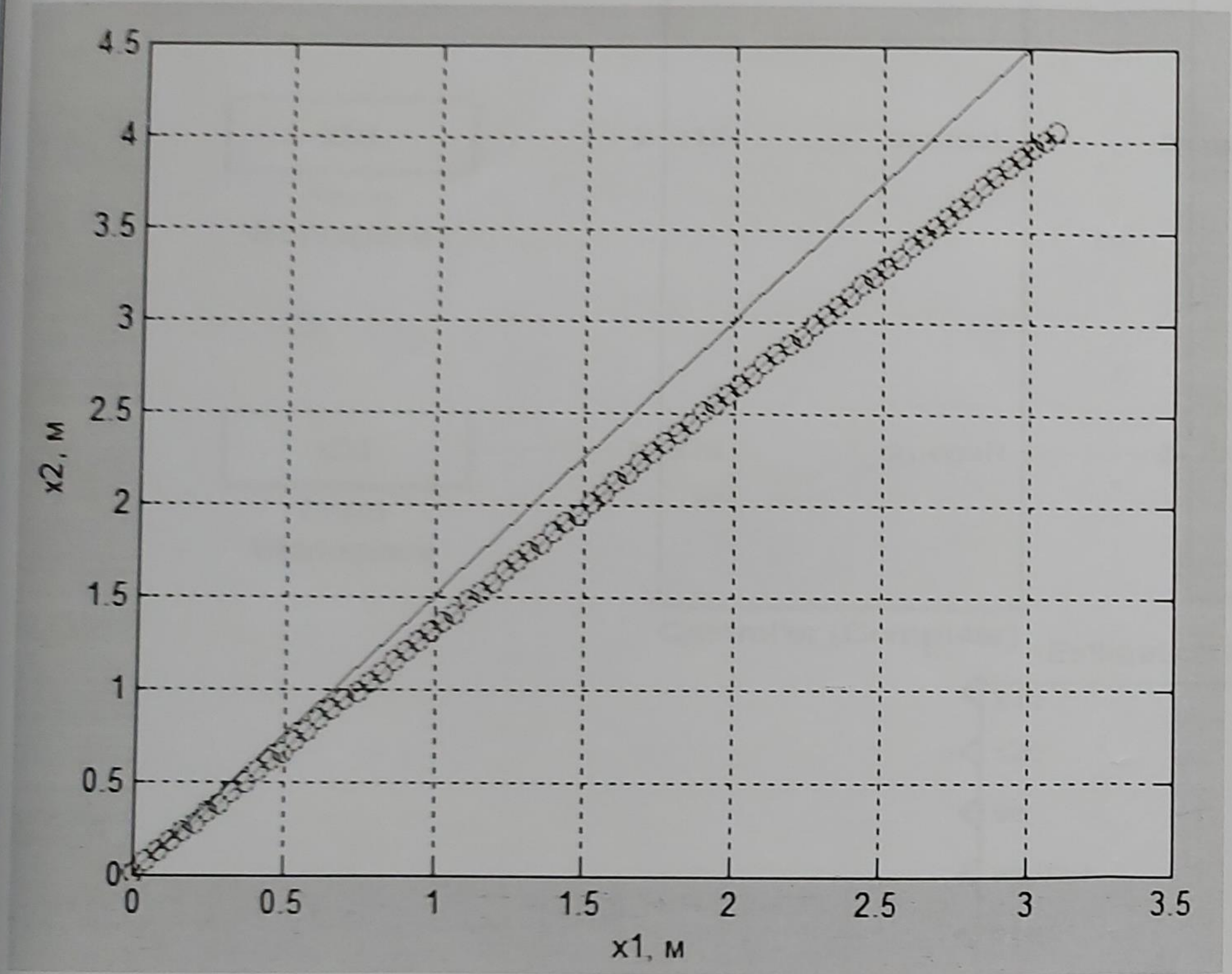
Структурна схема системи керування

Розроб.
Перевір.
Т. контр.
Н. контр.
Затверд.

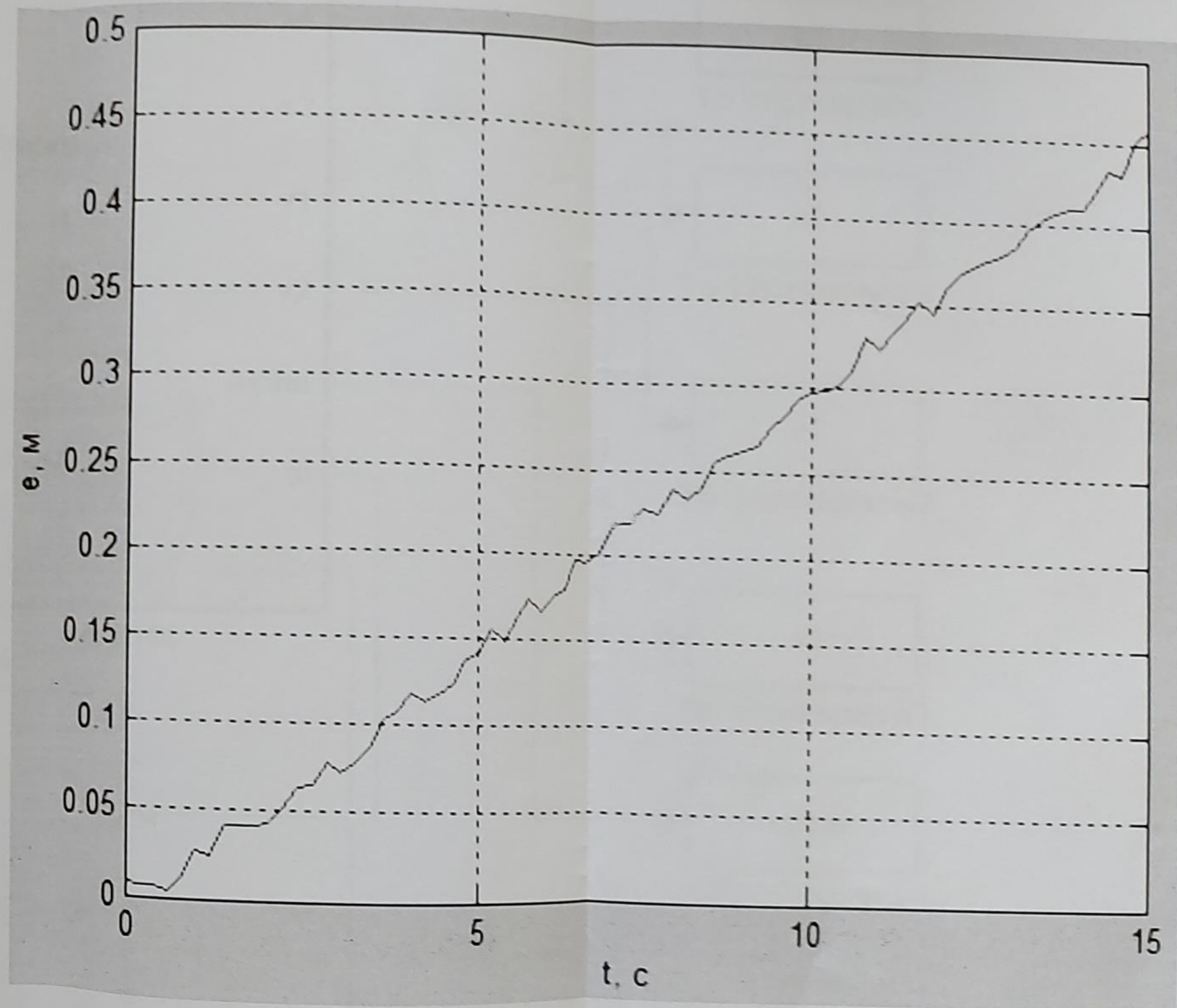
Загальний вид системи керування



Графіки тестування схеми пристрою



Бажана і реальна траекторя руху



Похибка позиціонування

Розробл.	Ода В.С.	13.02070S49.00070 Пз.4	
Перевір.	Зеленська Л.К.	Розробка системи керування роботизованим обладнанням з підвищеною надійністю	Лист 2 / Листів 2
Т. контр.		Графіки тестування схеми пристрою	ЗІ Запорізька політехніка КНТп-215 сп
Н. контр.	[illegible] О.В.		
Затверд.	Кудерметов Р.К.		