

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри  В. М. Рябенський
д.т.н., професор

« 16 » грудня 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Розробка системи керування мобільною платформою з аналізом
кінематики та каналів керування

Виконав: студент 6 курсу, групи 6321М
спеціальності 171

«Електроніка»

шифр і назва спеціальності)

ОПП «Електронні системи»

Дюков В.О.

(прізвище та ініціали студента)

Керівник Ушкаренко О.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент д.т.н., проф. Черно О.О.

(прізвище та ініціали)

м. Миколаїв – 2024 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ННІ	автоматики та електротехніки
Кафедра	програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	171 «Електроніка»
ОПП	Електронні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  В. М. Рябенський
д.т.н., професор

« 16 » жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Дюкову Владиславу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи керування мобільною платформою з аналізом
кінематики та каналів керування

керівник роботи Ушкаренко Олександр Олегович, д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу

від « 14 » жовтня 2024 року № 1075-уч.

2. Строк подання студентом роботи 15.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи структура мобільних роботизованих платформ -
двоколісна та чотирьохколісна; мікроконтролер в системі керування АТМega16;
комунікаційні інтерфейси – радіоканал, інфрачервоний канал передавання даних;
напруга живлення системи керування – від акумулятора 5 В.

4. Мета дослідження Полягає в розробці мікропроцесорних систем керування
мобільними роботизованими платформами з різними типами шасі, побудова
моделей цих систем та виконання кінематичного аналізу руху платформ в умовах
наявності динамічних перешкод.

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки
(перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітичний огляд конструкцій та
принципів керування мобільними роботизованими платформами. 2. Проектування
систем керування рухом роботизованих платформ та кінематичний аналіз.

3. Реалізація алгоритмів бездротового керування роботизованою платформою

4. Охорона праці.

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Структурна схема мікропроцесорної системи керування мобільним роботом.

2. Принципова схема мікропроцесорної системи керування мобільним роботом.

3. Рівняння кінематичного аналізу руху мобільної платформи.

4. Модель системи керування рухом в умовах наявності динамічних перешкод.

5. Структура програмного забезпечення керування мобільною платформою

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Тубальцев А.М.		

8. Дата видачі завдання « 16 » жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналітичний огляд принципів побудови мобільних платформ та принципів керування ними	20.11.2023	виконано
2.	Розробка імітаційної моделі роботизованої платформи та її кінематичний аналіз	30.03.2024	виконано
3.	Розробка принципової схеми системи керування та розрахунок елементів системи	20.06.2024	виконано
4.	Розробка алгоритмів та програмного забезпечення системи бездротового керування мобільною роботизованою платформою	10.11.2024	виконано
5.	Підготовка розділу з охорони праці	15.12.2024	виконано

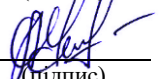
Студент


 (підпис)

В.О. Дюков

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


 (підпис)

О.О. Ушкаренко

(прізвище та ініціали)

Анотація

Магістерська кваліфікаційна робота складається з вступу, 4 розділів, 2 додатків та переліку використаної літератури, представлено на 79 сторінках, містить 29 рисунків та 1 таблицю.

В магістерській роботі проводиться розробка мікропроцесорної системи керування роботизованою платформою з керуванням по радіоканалу та кінематичний аналіз руху мобільних платформ з різним типом шасі, в тому числі за наявності динамічних перешкод. Проведено аналіз існуючих типів ролеконесучих колес та платформ, розроблено структурну, принципову та друковану схеми системи керування, виконано розрахунок елементів системи. Розроблено алгоритми та написане відповідне програмне забезпечення для мікроконтролера.

Ключові слова: мобільний робот, система керування, кінематичний аналіз, моделювання

Abstract

The master's thesis consists of an introduction, 4 chapters, 2 appendices and a list of used literature, is presented on 79 pages, contains 29 figures and 1 table.

The master's work involves the development of a microprocessor control system for a robotic platform with radio control and a kinematic analysis of the movement of mobile platforms with different types of chassis, including in the presence of dynamic obstacles. An analysis of the existing types of roller-carrying wheels and platforms was carried out, a structural, principle and printed diagram of the control system was developed, and the calculation of the system elements was performed. Algorithms were developed and corresponding software for the microcontroller was written.

Keywords: mobile robot, control system, kinematic analysis, modeling

ЗМІСТ

Зміст	3
Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів..	5
Вступ.....	6
Розділ 1. Аналітичний огляд конструкцій та принципів керування мобільними роботизованими платформами	8
1.1. Галузі застосування мобільних роботизованих платформ	8
1.2. Функціональна схема системи керування мобільною платформою	8
1.3. Огляд способів керування виконавчими приводами	9
1.4. Конструкції мобільних платформ	17
1.5. Апаратні засоби бездротової передачі даних	19
Розділ 2. Проектування систем керування рухом роботизованих платформ та кінематичний аналіз	26
2.1. Кінематична та динамічна моделі чотирьохколесної платформи	26
2.2. Розробка структурної та принципової схем системи керування.....	32
2.3. Вирішення завдання керування платформою при наявності динамічних перешкод	35
2.4. Рівняння кінематичного керування двохколісною платформою	37
2.5. Розробка системи керування рухом по криволінійній траєкторії.....	40
2.6. Моделювання системи керування мобільними платформами ...	41
2.7. Розрахунок надійності систем керування.....	43
Розділ 3. Реалізація алгоритмів бездротового керування роботизованою платформою	47
3.1. Вимоги до програмних засобів керування платформою	47
3.2. Розробка алгоритму опитування датчиків.....	49
3.3. Розробка алгоритму керування електроприводами	50

3.4. Розробка протоколу та алгоритму передачі даних по радіомережі	52
3.5. Реалізація завдань керування мобільною платформою по інфрачервоному каналу	54
Розділ 4. Охорона праці.....	58
4.1. Огляд правової бази.....	58
4.2. Аналіз небезпечних факторів	59
4.3. Розрахунок захисного заземлення	62
4.4. Системи засобів і заходів безпечної експлуатації електроустановок	64
Висновки.....	66
Список використаних джерел.....	67
Додаток А	68
Текст програми керування мобільною чотирьохколісною платформою	68
Додаток Б.....	74
Текст програми керування мобільною двохколісною платформою	74

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ДН – датчик напруги

ДС – датчик струму

ДЗС – драйвер засобів сигналізації

ДІР – драйвер інтерфейсу руху

ДРІ – драйвер радіо інтерфейсу

ЕРС – електрорушійна сила

ІС – інтегральні схеми

МК – мікроконтролер

МП – мікропроцесор

МР – мобільний робот

НС – надзвичайні ситуації

ОЕ – об'єкт економіки

САПР – система автоматизації проектування

ПК – персональний комп'ютер

ПР – планування руху

					171.6321М.КР.ПЗ.Скорочення	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

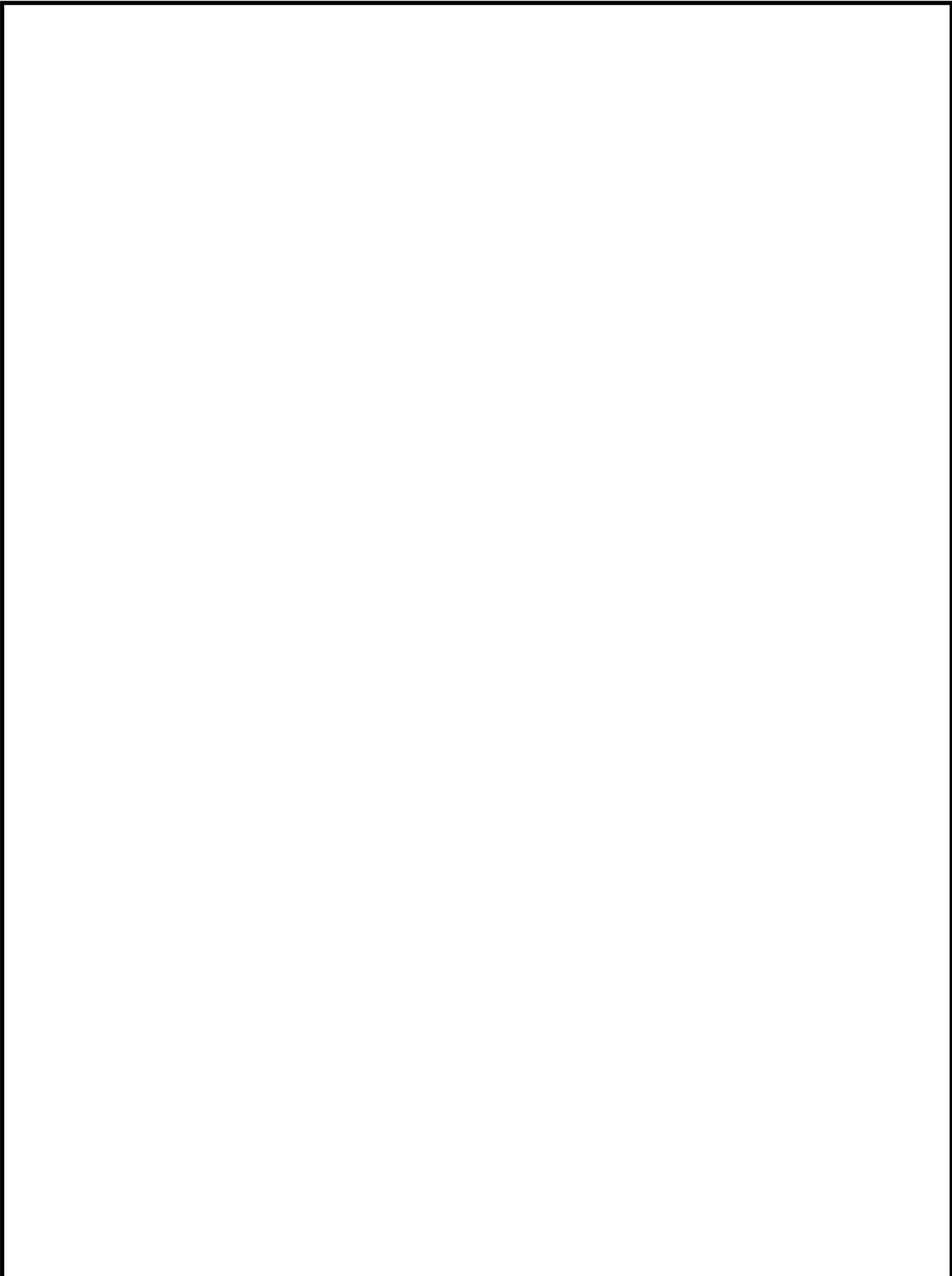
Автоматизація та робототехніка є одним із ключових напрямків розвитку промисловості в розвинених країнах. Робототехніка відіграє важливу роль у науково-технічному прогресі, де проблеми механіки тісно пов'язані з питаннями управління та штучного інтелекту. Робот може безпосередньо виконувати команди оператора, працювати за попередньо визначеною програмою або дотримуватися загальних інструкцій завдяки технологіям штучного інтелекту. Такі рішення сприяють зменшенню або повній заміні людської праці в різних сферах — на виробництві, будівництві, при роботі з важкими вантажами, небезпечними матеріалами та в інших складних або небезпечних для людей умовах. Основна особливість функціонування інтелектуального мобільного робота (МР) полягає в тому, що його дії не можуть бути заздалегідь визначеними через відсутність точної інформації про майбутні стани середовища. Таким чином, виникає завдання вибору дій робота в поточній ситуації для досягнення поставленої мети. Цей вибір ґрунтується на інформації про поточний стан та накопичених даних про навколишнє середовище. При плануванні поведінки робота необхідно враховувати не лише динамічні властивості навколишнього середовища, але й самого робота.

Мета дослідження полягає в розробці мікропроцесорних систем керування мобільними роботизованими платформами з різними типами шасі, побудова моделей цих систем та виконання кінематичного аналізу руху платформ в умовах наявності динамічних перешкод.

Об'єкт дослідження: Мобільні роботизовані платформи, які використовуються в промисловості, логістиці та сфері обслуговування.

Предмет дослідження: Методи та алгоритми керування мобільними роботизованими платформами для оптимізації їхньої автономності, маневреності та взаємодії з навколишнім середовищем.

					171.6321М.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



					171.6321М.КР.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Аналітичний огляд конструкцій та принципів керування мобільними роботизованими	Літ.	Арк.	Аркушіів
Розробник		Дюков В.О.						
Консультант							7	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ТА ПРИНЦИПІВ КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМИ РОБОТИЗОВАНИМИ ПЛАТФОРМАМИ

1.1. Галузі застосування мобільних роботизованих платформ

У сучасному світі роботи все активніше використовуються, замінюючи людей як у промислових процесах, так і в побуті. Найпоширенішими є мобільні роботи, які стають основою для створення пристроїв, здатних виконувати різноманітні завдання з широким функціоналом. Роботизовані мобільні платформи застосовуються в різних сферах людської діяльності. Вони слугують відправною точкою для розвитку та вивчення процесів автоматизації, підвищення безпеки й оборони. Такі платформи особливо важливі для наукових досліджень, оскільки можуть працювати в умовах зниженої прохідності. У будь-якій сфері, де потрібне переміщення або транспортування без участі людини, роботизовані платформи стають надзвичайно актуальними. Дослідницькі роботи призначені для пошуку, збору та обробки інформації про досліджувані об'єкти, зокрема ті, які знаходяться в важкодоступних або небезпечних для людини місцях, а також в екстремальних лабораторних умовах.

1.2. Функціональна схема системи керування мобільною платформою

Система керування роботом, як і будь-яка інша система керування, включає об'єкт керування, яким у цьому випадку є виконавчі механізми робота — маніпуляційні пристрої та системи пересування, а також пристрої керування (див. рис. 1.1). Виконавчі механізми складаються з механічної системи та приводів. Механічна система маніпулятора завершується робочим органом у вигляді інструмента або захоплювального пристрою, який забезпечує цілеспрямований вплив робота на об'єкти зовнішнього середовища. Системи пересування також можуть бути обладнані робочими органами, такими як бульдозерний ніж, пиросос, лебідка або рухома вантажна платформа тощо.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

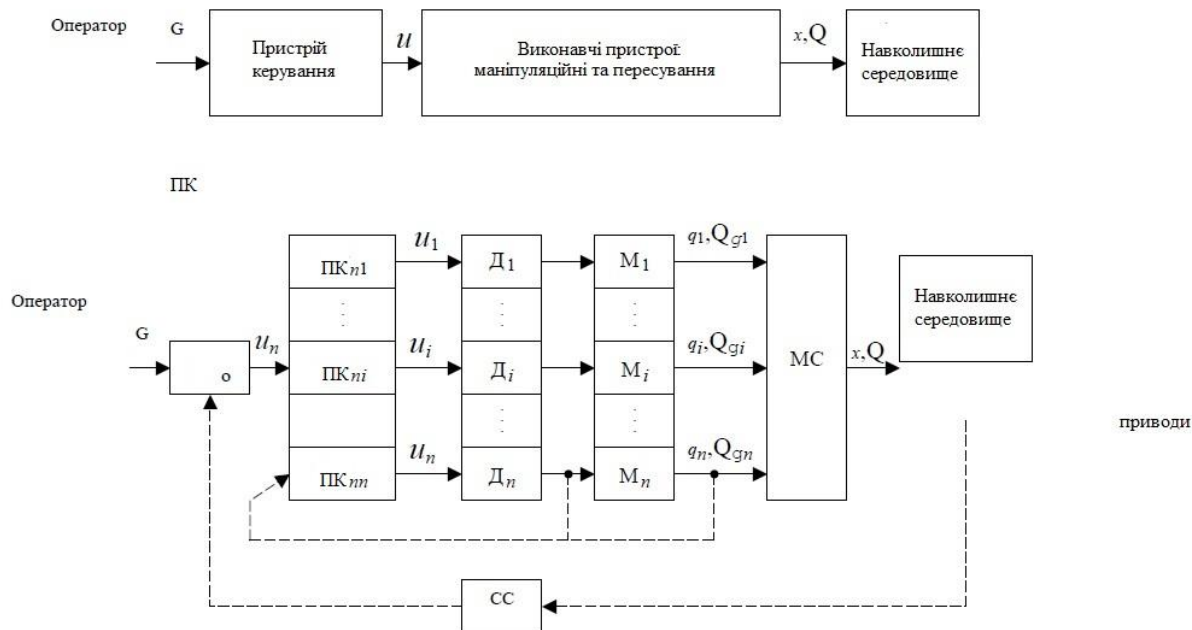


Рисунок 1.1 – Функціональна схема робота

На рисунку позначено: ПК_о – загальний (центральный) пристрій керування, ПК_п – ПК приводу, Д – двигуна, М – механізм, МС – механічні системи – маніпуляційна та пересувна, СС – сенсорні системи.

1.3. Огляд способів керування виконавчими приводами

Найбільш поширеним типом робіт з циклічним програмним керуванням є переважна більшість пневматичних промислових робіт. На рис. 1.2 наведено приклад пневматичного промислового робота МП-9С разом із його пристроєм керування.



Рисунок 1.2 – Пневматичний промисловий робот з цикловим керуванням МП-9С та система керування (ліворуч)

Пневматичні приводи цих робіт працюють на основі циклового керування, тобто використовують одноетапне релейне керування без зворотного зв'язку. Зупинка приводу здійснюється за допомогою механічного упору, кінцевого вимикача і демпфера, розміщеного на рухомій частині приводу.

1.3.1. Системи циклового програмного керування

На рис. 1.3 представлений процес програмного керування приводом, що складається з трьох етапів: розгону, руху з постійною швидкістю та гальмування. Тривалість етапу усталеного руху з постійною швидкістю залежить від величини необхідного переміщення приводу. Якщо це переміщення менше суми часу розгону і гальмування, то етап постійної швидкості буде відсутній (позначено пунктирними кривими на рис. 1.3).

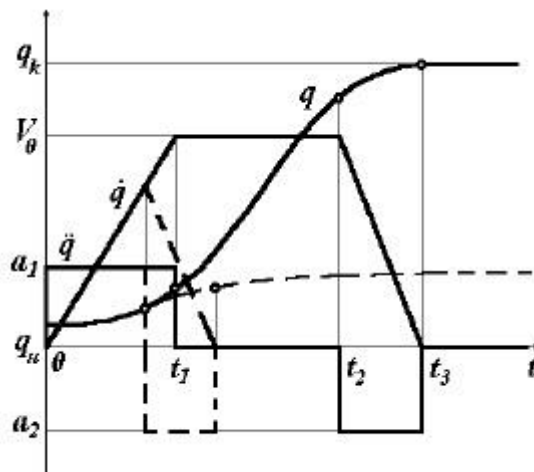


Рисунок 1.3 – Процес циклового керування роботом

Зображений на рис.1.3 процес відповідає наступному опису:

$$\ddot{q}(t) = \begin{cases} a_1 = \text{const} & \text{при } t \leq t_1, \\ 0 & \text{при } t_1 \leq t \leq t_2, \\ a_2 = \text{const} & \text{при } t_2 \leq t \leq t_3 \end{cases} \quad (1.1)$$

де a_1 і a_2 – прискорення розгону та гальмування, або для швидкостей:

$$\dot{q}(t) = \begin{cases} a_1 t & \text{при } t \leq t_1, \\ V_0 & \text{при } t_1 \leq t \leq t_2, \\ V_0 - a_2(t - t_2) & \text{при } t_2 \leq t \leq t_3 \end{cases} \quad (1.2)$$

де $V_0 = a_1 t_1$ – встановлена швидкість.

Наведені вирази представляють спрощений опис процесу циклового керування, без врахування таких факторів, як динаміка демпфера, можлива пружність механічної передачі, а також перехідні процеси руху робочого середовища у трубопроводах для пневматичних і гідравлічних приводів. Усі ці аспекти необхідно враховувати при математичному моделюванні приводу для виконання точних кількісних розрахунків.

Циклове керування є найпростішим способом одноетапного дискретного керування. Проте його не слід вважати спрощеним варіантом багатокрокового дискретного позиційного керування. Системи циклового керування відрізняються принципом позиціонування, яке здійснюється за допомогою механічних упорів. Завдяки цьому циклові системи забезпечують вищу точність і швидкодію порівняно з позиційними системами.

1.3.2. Дискретне позиційне програмне керування

Типовими прикладами робіт із позиційним керуванням є промислові роботи, що використовуються для точкового зварювання (рис. 1.4), складання виробів та обслуговування металорізальних верстатів і подібного технологічного обладнання.



Рисунок 1.4 – Гідравлічний промисловий робот для точкового зварювання з дискретним позиційним керуванням фірми Unimate(США)

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		11

Такі роботи мають велику кількість точок позиціонування робочого органа завдяки використанню приводів із позиційним керуванням. Процес переміщення на черговий крок, як і в циклових приводах, складається з етапів розгону, руху з постійною швидкістю та гальмування. Проте, на відміну від циклових приводів, у позиційних системах точність позиціонування, стійкість і якість перехідного процесу повинні забезпечуватися системою керування. Виняток становлять лише розімкнуті позиційні приводи на крокових двигунах, які, подібно до циклових приводів, отримали обмежене застосування в робототехніці.

Отже, головною відмінністю робіт із дискретним позиційним керуванням від циклових робіт є необхідність забезпечення стійкості, якості керування та точності в їхніх системах керування. Ще однією відмінністю є більша роль взаємодії між приводами. У циклових системах це може впливати лише на швидкодію, тоді як у позиційних системах взаємний вплив приводів позначається на всіх параметрах, включаючи точність.

1.3.3. Системи контурного програмного керування

Роботи з неперервним (контурним) керуванням використовуються в промисловості для дугової зварки, різання та нанесення покриттів. Головна відмінність таких робіт від дискретних позиційних полягає в тому, що рух робочого органа маніпулятора відбувається по неперервній траєкторії. Програмна траєкторія може задаватися у вигляді дискретної функції часу, тобто бути квантованою, але важливо, що робочий орган проходить ці точки без зупинок, на відміну від дискретного позиційного керування.

Це призводить до принципових відмінностей між контурними системами керування та дискретними позиційними в аспекті вимог до точності, стійкості та якості керування. У дискретних позиційних системах вагоме значення має тільки статична точність у точках позиціонування, тоді як у контурних системах вимагається динамічна точність руху по заданій траєкторії. Відповідно, у дискретних позиційних системах стійкість і якість

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

перехідних процесів оцінюються лише в цих точках, а в контурному керуванні ці вимоги повинні забезпечуватися безперервно по всій траєкторії руху.

У контурних системах також може використовуватися дуальне керування, схоже на позиційні системи, у вигляді поєднання безперервного керування з релейним у разі значних відхилень від завдання. Проте в дискретних позиційних системах основний час руху забезпечується релейним керуванням, і перехід до неперервного відбувається лише в точках позиціонування. В системах контурного керування основним режимом є безперервне керування, тоді як релейне керування застосовується епізодично при великих відхиленнях від програмної траєкторії.

Ці особливості систем контурного керування призводять до принципових відмінностей у програмуванні в порівнянні з дискретними позиційними системами. У дискретних позиційних системах керуюча програма, що виконується приводами, є послідовністю точок позиціонування, в яких відбувається зупинка приводів.

1.3.4. Системи інтелектуального керування

Інтелектуальне керування — це найвищий рівень управління у теорії автоматизованого керування, що йде за програмним і адаптивним керуванням, і вирізняється використанням штучного інтелекту (AI), що й дало назву цьому типу управління.

Штучний інтелект — це напрям науково-технічної діяльності, основною метою якого є створення інформаційних машин та систем, здатних вирішувати неформалізовані творчі задачі, які наразі можуть виконувати лише люди. Іншими словами, мета полягає у створенні технічного аналога людського інтелекту в цьому сенсі.

Природний інтелект характеризується здатністю здобувати і цілеспрямовано використовувати знання, що передбачає наявність добре організованої пам'яті. Відповідно, проблема створення штучного інтелекту

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

має два аспекти: програмно-алгоритмічний і апаратний. Перший аспект включає в себе створення бази даних на мові високого рівня, близькій до природної, та алгоритмів роботи з ними, що ґрунтуються на нечітких уявленнях і паралельній обробці інформації. Це вимагає нового апаратного забезпечення, яке, на відміну від сучасних комп'ютерів, повинно бути схоже на нейронні структури живих організмів.

Сьогодні інтелектуальні системи розробляються як біотехнічні системи, в яких творчі задачі виконуються людиною, а чіткі знання та їх логічна обробка залишаються за комп'ютером. Сучасні інтелектуальні системи, які функціонують без участі людини (інтелектуальні технічні системи), включно з системами інтелектуального керування, поки що мають обмежені можливості. Вони використовують теорію нечітких множин і нечіткої логіки, різноманітні евристичні алгоритми, технології експертних систем, асоціативну пам'ять і технічні нейронні мережі. Усі формалізації, що реалізуються, базуються на математичній логіці.

Основна сфера застосування інтелектуального керування — це складні та великі об'єкти і системи, які можна описати лише на семіотичному рівні. До них насамперед належать біотехнічні системи, які інтегрують людину, оскільки такі системи мають природний інтелект, і їхнє керування також має бути інтелектуальним. Разом з цим інтелектуальне керування потрібне і для відносно простих об'єктів, якщо з їх допомогою вирішуються інтелектуальні задачі або сама задача керування вимагає інтелектуального підходу через складність зовнішніх умов.

У робототехніці штучний інтелект може бути необхідний для вирішення таких задач:

- обробка сенсорної інформації (фільтрація, стиснення, розпізнавання образів);
- створення моделей зовнішнього середовища;
- планування поведінки;
- керування рухом;

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- створення інтелектуального інтерфейсу між людиною-оператором і роботом.

Для досягнення значного прогресу в створенні повноцінних інтелектуальних систем необхідно нове апаратне забезпечення на принципово новій елементній базі.

Підвищення рівня штучного інтелекту пов'язане насамперед із розвитком ієрархічної структури моделей середовища шляхом формування дедалі більш узагальнених і абстрактних рівнів її уявлення. Відповідно, ієрархія в системах, що вирішують згадані задачі, також розвиватиметься, переходячи від образів зовнішнього середовища, що безпосередньо сприймаються сенсорами системи, до більш абстрактних уявлень. Це призведе до розширення функціональних можливостей роботи, оскільки він зможе автономно вирішувати дедалі складніші задачі, які не піддаються алгоритмізації, а також вдосконалюватися в процесі активної взаємодії з зовнішнім середовищем під час виконання конкретних завдань.

Одним із найбільш узагальнених типів моделей середовища є логіко-лінгвістичні моделі. Вони використовуються для управління складними об'єктами, які мають неоднозначну реакцію на однакові ситуації і не можуть бути формально описані математично. Замість цього їх описують евристично, використовуючи експертні оцінки на мові, близькій до природної. Прикладом таких об'єктів управління є системи, що включають людину.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

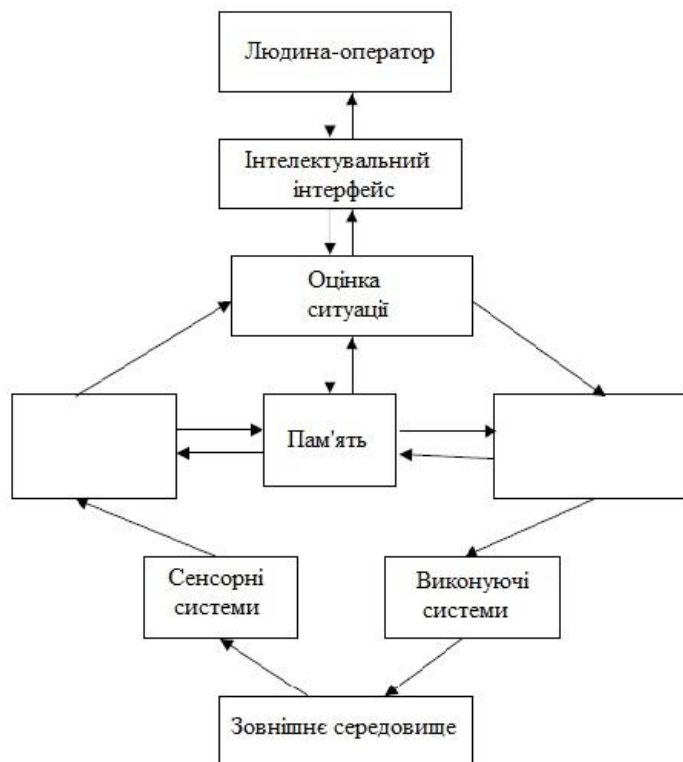


Рисунок 1.5 – Схема системи інтелектуального керування роботом

На рис 1.5 показана узагальнена схема системи інтелектуального керування роботом.

У центрі схеми розташований блок пам'яті, двосторонньо зв'язаний з іншими системами, який обробляє інформацію. Цей блок включає в себе базу даних знань про зовнішнє середовище, що представляє собою ієрархічну модель, а також інформацію про самого робота та операції, які він має виконувати. Додатково, спеціалізовані оперативні бази знань і даних можуть бути інтегровані в окремі системи робота, пов'язані з центральною пам'яттю.

База знань про зовнішнє середовище складається з апіорної інформації, що вводиться перед початком роботи, а також з оперативної сенсорної інформації, отримуваної в процесі сприйняття зовнішнього середовища під час виконання роботом завдань. Ця інформація містить описи геометричних і фізичних характеристик об'єктів середовища та їх взаємозв'язків. Опис має ієрархічну структуру: наприклад, опис робочої зони

маніпулятора включає набори планів усієї зони та її частин, які відрізняються масштабом, точністю та ступенем узагальнення первинної сенсорної інформації (такої як виділення ліній, контурів, поверхонь, об'єктів та груп об'єктів).

Додавання часу як параметра до цих планів (карт) дозволяє створити динамічну картину зовнішнього середовища, враховуючи взаємодію об'єктів один з одним і з роботом. База знань про зовнішнє середовище також включає правила, що дозволяють моделювати можливі зміни цього середовища. Знання представлені у формі логічних і мережевих моделей. Логічні моделі ґрунтуються на апараті математичної логіки, зокрема на численні предикатів. Модель складається з базових елементів, правил і аксіом. У мережевих моделях вершини мережі представляють об'єкти середовища, а дуги – відносини між ними.

Всі інші блоки також мають ієрархічну структуру, з'єднану вертикально знизу вгору. З'єднання блоків, показані на схемі, є багатоканальними між однойменними рівнями по горизонталі.

Блок обробки сенсорної інформації отримує від блоку пам'яті екстраполяцію змін у стані зовнішнього середовища та передає назад корекцію цього стану на рівні безпосередньої сенсорної картини. Блок оцінки ситуації та блок планування поведінки отримують поточну модель зовнішнього середовища з блоку пам'яті та передають відповідно її оцінку за певними критеріями і синтезований план управління рухом робота.

1.4. Конструкції мобільних платформ

На сьогоднішній день спостерігається стабільний ріст інтересу наукового товариства до роликонесучих коліс (Mecanum Wheels або Swedish Wheels). Основна відмінність таких коліс від звичайних полягає в наявності роликів, які встановлені по периметру колеса.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Роликонесучі колеса можуть відрізнятися одне від одного за кількістю роликів, які розташовані на їхньому периметрі, проміжками між ними, а також кутом між напрямом обертання ролика і головною віссю колеса. Цей кут (часто позначається як θ) є основним параметром колеса даного типу.

На рисунку 1.6 зображені основні типи роликонесучих коліс, що демонструють різні конфігурації роликів та їхній вплив на маневреність і можливості руху роботизованих систем.

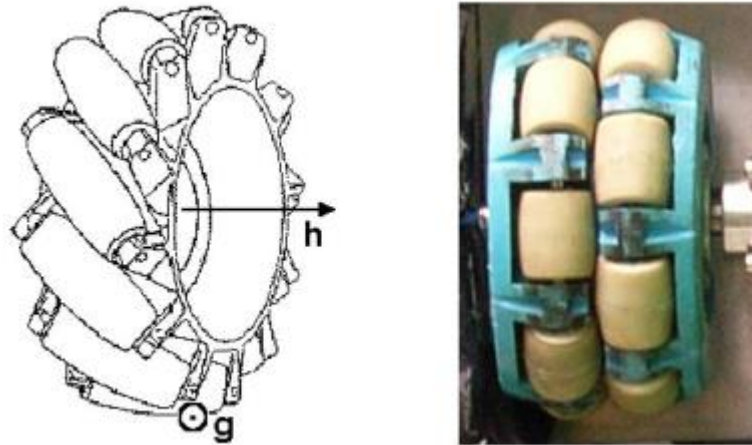


Рисунок 1.6 – Основні типи роликонесучих коліс

Зазвичай використовують кути $\gamma = 0^\circ$ або $\gamma = 45^\circ$. Такий тип коліс дозволяє пересуватися платформі у будь-якому напрямку у будь-який момент часу без переорієнтування роботи.

На рис. 1.7 та рис.1.8 зображені платформи з трьома та чотирма роликонесучими колесами відповідно.

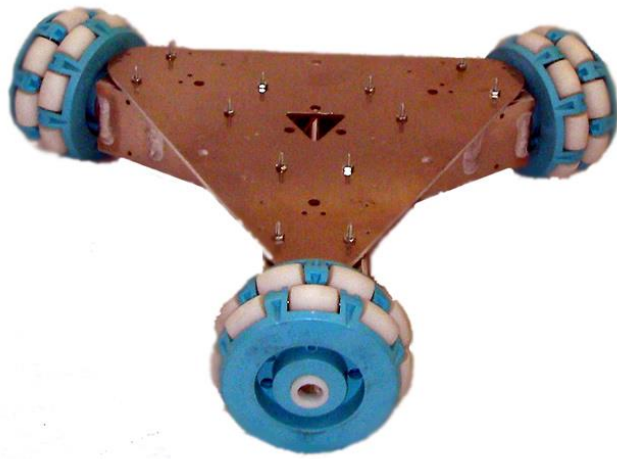


Рисунок 1.7 – Платформа з трьома роликонесучими колесами

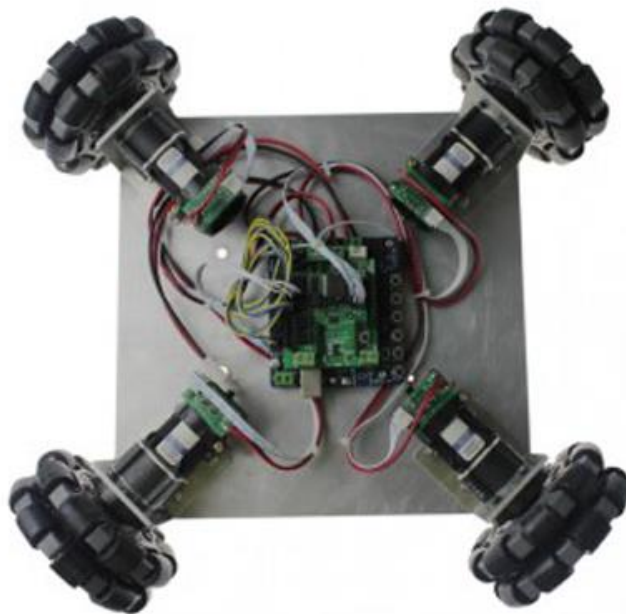


Рисунок 1.8 – платформа с чотирма роликонесучими колесами

1.5. Апаратні засобів бездротової передачі даних

1.5.1. Інфрачервоний канал зв'язку

Інфрачервоний канал — це метод передачі даних, який не потребує проводів для своєї роботи. У комп'ютерній техніці він здебільшого використовується для з'єднання комп'ютерів з периферійними пристроями через інтерфейс IrDA.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		19

На відміну від радіоканалів, інфрачервоний канал не піддається впливу електромагнітних завад, що робить його придатним для використання в промислових умовах. Проте серед недоліків цього каналу можна відзначити високу вартість приймачів і передавачів, які вимагають перетворення електричного сигналу в інфрачервоний і назад, а також низьку швидкість передачі, яка зазвичай не перевищує 5-10 Мбіт/с (хоча при використанні інфрачервоних лазерів можливі значно вищі швидкості).

При наявності прямої видимості інфрачервоний канал може забезпечити зв'язок на відстані кількох кілометрів, але він найбільш ефективний для з'єднання комп'ютерів в одному приміщенні, де відбиття сигналу від стін може гарантувати стабільний і надійний зв'язок. Найпоширенішою топологією для таких з'єднань є "шина", що означає, що переданий сигнал отримують одночасно всі абоненти. Зважаючи на ці недоліки, інфрачервоний канал не здобув широкого поширення.

1.5.2. Радіомодеми з технологією ZigBee

ZigBee — це специфікація мережевих протоколів верхнього рівня, яка охоплює рівень підтримки додатків (APS) і мережевий рівень (NWK). Ці протоколи використовують сервіси нижчих рівнів, зокрема рівень управління доступом до середовища (MAC) та фізичний рівень (PHY). ZigBee призначена для бездротових персональних обчислювальних мереж (WPAN) і орієнтована на застосування, що потребують надійної передачі даних на відносно низьких швидкостях, а також тривалої роботи мережевих пристроїв від автономних джерел живлення (батарей).

Основною характеристикою технології ZigBee є її здатність підтримувати різноманітні топології мережі, такі як "точка-точка", "дерево" та "зірка", а також коміркову (mesh) топологію з можливістю ретрансляції та маршрутизації повідомлень. Це дозволяє мережі самоорганізовуватися та самовідновлюватися. Специфікація ZigBee також передбачає вибір алгоритму маршрутизації, залежно від вимог програми та стану мережі,

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

механізм стандартизації додатків — профілі додатків, бібліотеку стандартних кластерів, кінцеві точки, прив'язки, а також гнучкий механізм безпеки, що забезпечує простоту впровадження, обслуговування та оновлення.

ZigBee широко використовується в бездротових сенсорних мережах, автоматизації житла ("Розумний дім" і "Інтелектуальна будівля"), медичному обладнанні, системах промислового моніторингу та управління, а також у побутовій електроніці та "периферії" персональних комп'ютерів.

Самоорганізація і самовідновлення, коміркова топологія, висока захищеність, стійкість, низьке енергоспоживання і відсутність потреби у частотному дозволі роблять ZigBee придатним для бездротової інфраструктури систем позиціонування в режимі реального часу (RTLS).

ZigBee — це стандарт для набору високорівневих протоколів зв'язку, який використовує невеликі, малопотужні цифрові трансивери та базується на стандарті IEEE 802.15.4-2006 для бездротових персональних мереж, таких як, наприклад, бездротові навушники, що з'єднуються з мобільними телефонами за допомогою радіохвиль короткохвильового діапазону. Технологія ZigBee була розроблена з метою бути простішою і дешевшою, ніж інші персональні мережі, наприклад, Bluetooth. Вона призначена для мобільних пристроїв, де важливо забезпечити тривалу роботу від батарейок і безпеку передачі даних.

ZigBee може активуватися (перейти з сплячого режиму в активний) за 15 мілісекунд або швидше, що забезпечує дуже низьку затримку відгуку пристрою в порівнянні з Bluetooth, для якого затримка при переході з сплячого режиму може досягати трьох секунд. Завдяки тому, що ZigBee більшу частину часу перебуває в сплячому режимі, споживана енергія залишається на дуже низькому рівні, що забезпечує тривалу роботу від батарей.

Протоколи ZigBee створені для вбудованих додатків, які вимагають низької швидкості передачі даних та низького енергоспоживання. Мета ZigBee полягає в розробці недорогої мережі, здатної самоорганізовуватися з

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

комірковою топологією для виконання широкого спектра завдань. Мережа може використовуватися в промисловому контролі, вбудованих датчиках, зборі медичних даних, системах оповіщення про вторгнення або дим, а також у автоматизації будівель і житла тощо. Згідно з даними сертифікації ZigBee, створені внаслідок цієї мережі пристрої можуть працювати від батарей протягом двох років.

1.5.3. Системи передачі даних по Bluetooth

Bluetooth — це специфікація для створення бездротових персональних мереж (WPAN). Ця технологія забезпечує обмін даними між такими пристроями, як настільні комп'ютери, ноутбуки, мобільні телефони, принтери, цифрові фотоапарати, миші, клавіатури, джойстики, навушники та гарнітури, використовуючи надійну та безкоштовну радіочастоту для ближнього зв'язку. Bluetooth дозволяє цим пристроям з'єднуватися на відстані до 100 метрів один від одного (хоча дальність може значно варіюватися в залежності від перешкод), навіть якщо вони перебувають у різних приміщеннях.

Технологія базується на використанні радіохвиль і працює в ISM-діапазоні (Industry, Science and Medicine), який також використовується в багатьох побутових приладах і бездротових мережах. Bluetooth використовує метод розширення спектра зі стрибкоподібною перебудовою частоти (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS). Цей метод легко реалізується, забезпечує високу стійкість до широкосмугових перешкод і не вимагає дорогого обладнання. На рисунку 1.9 показано, як виглядає модуль Bluetooth.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

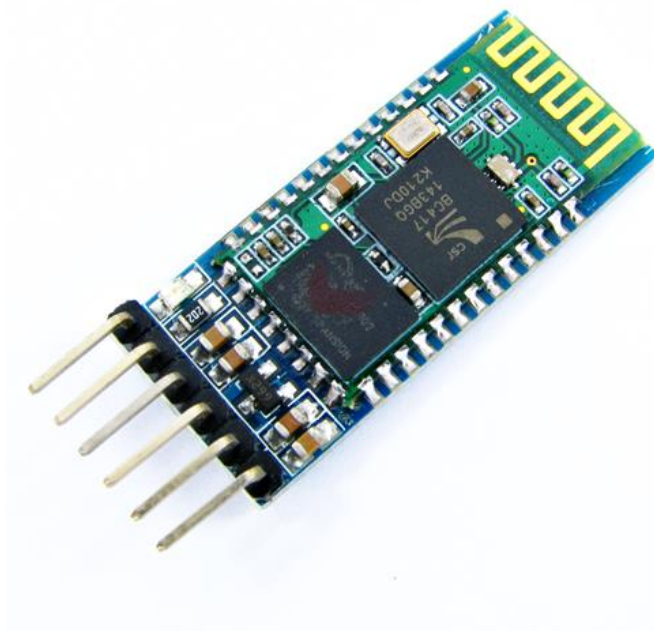


Рисунок 1.9 – Радіомодуль Bluetooth

Згідно з алгоритмом FHSS, в Bluetooth несуча частота сигналу змінюється 1600 разів на секунду. Послідовність переходів між частотами для кожного з'єднання є псевдовипадковою і відома лише передавачу та приймачу, які кожні 625 мікросекунд (один часовий слот) синхронно перемикаються з однієї несучої частоти на іншу. Це дозволяє кільком парам приймачів і передавачів працювати поруч без заважання одна одній. Цей алгоритм також слугує елементом захисту конфіденційності переданої інформації: перемикання відбувається за псевдовипадковим алгоритмом і визначається окремо для кожного з'єднання. При передачі цифрових даних і аудіосигналу застосовуються різні схеми кодування: аудіосигнал, зазвичай, не повторюється, а цифрові дані, у разі втрати пакета, передаються повторно.

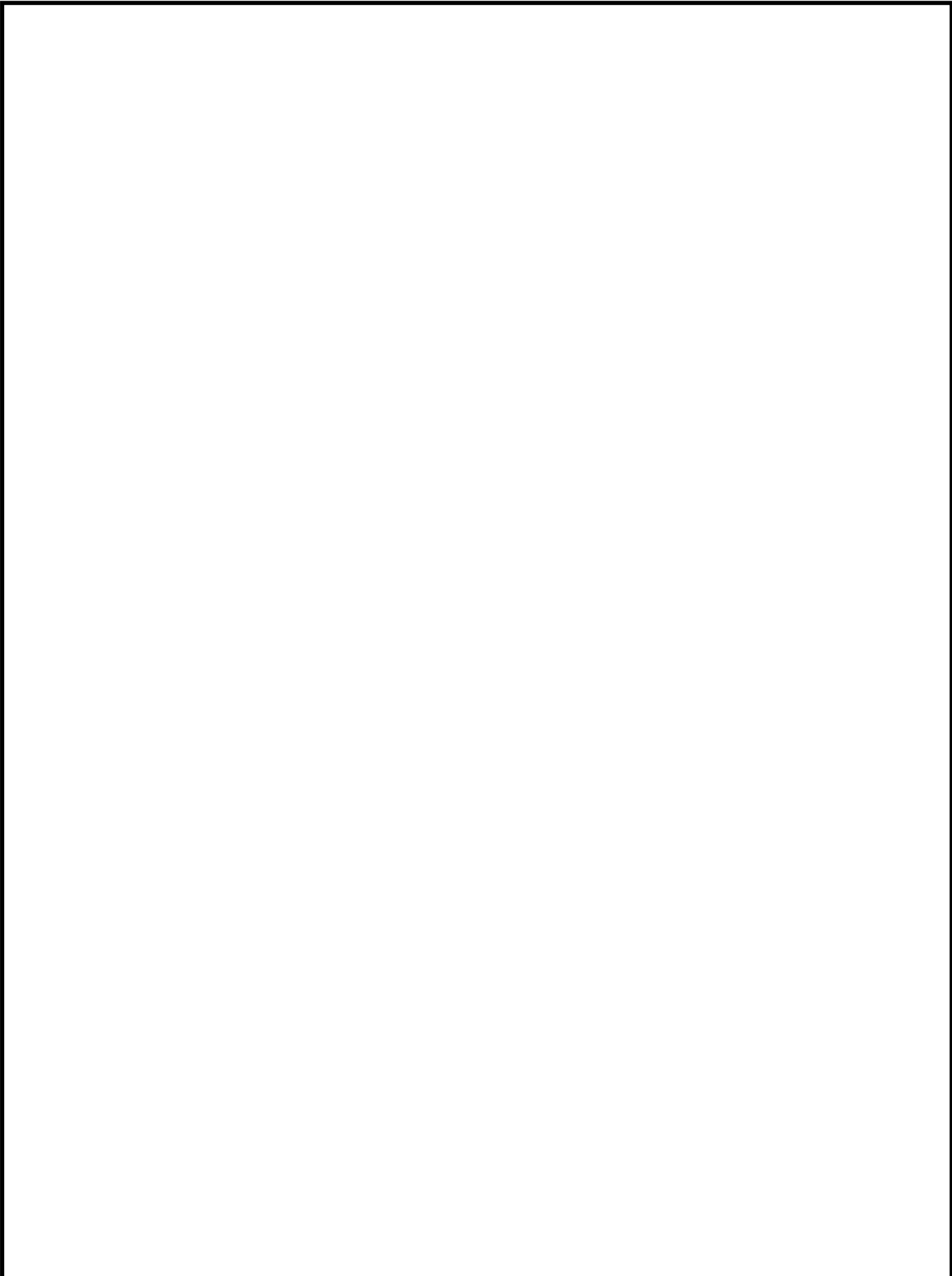
Протокол Bluetooth підтримує як з'єднання типу «point-to-point», так і «point-to-multipoint».

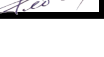
					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Висновки по розділу

У даному розділі було розглянуто види структур та принципи керування мобільними платформами, а також їх сфери застосування. Важливо було зробити огляд способів керування роботами і визначитися, який з них найбільш підходив для поставленої задачі. Виконаний загальний огляд структур та видів мобільних платформ. Також треба відзначити те, що важливим кроком був вибір виду бездротової передачі даних, так як це істотно впливає на апаратну та програмну складову даного пристрою.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



					171.6321М.КР.ПЗ.Р2			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Дюков В.О.			Проектування систем керування рухом роботизованих платформ та кінематичний аналіз	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							25	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ РОБОТИЗОВАНИХ ПЛАТФОРМ ТА КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ

2.1. Кінематична та динамічна моделі чотирьохкопесної платформи

Розглянемо результати, отримані у роботах [6–8]. На рис. 2.1 наведено схему руху колісного МР з відповідними системами координат. Враховуючи динамічні властивості робота, а також наявність виконавчої системи [8] отримаємо рівняння руху МР. Вважаємо, що виконавча система МР є двома електромеханічними приводами, виконаними на базі двигунів постійного струму, кожен з яких приводить в рух провідні колеса правого і лівого бортів шасі транспортного засобу МР. Тоді рівняння, що зв'язують компоненти фазового вектора з керуючими напругами, можна записати так:

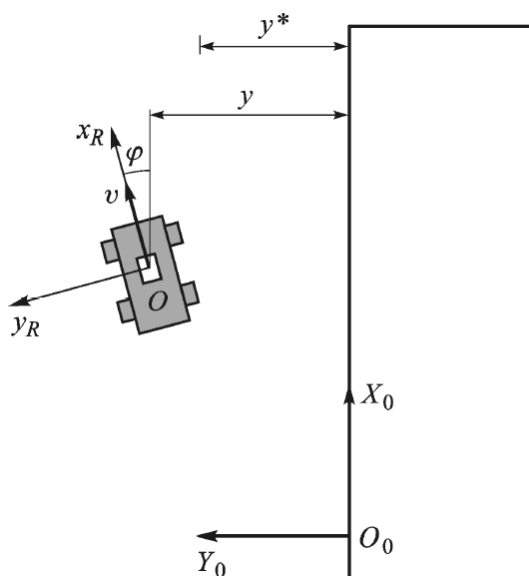


Рисунок 2.1 – Схема руху робота вздовж неперервного тротуару

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= v \cos \varphi; \\
 \dot{y} &= v \sin \varphi, \\
 \dot{\varphi} &= \omega; \\
 \dot{v} &= -b\omega^2 + \frac{1}{\rho m}(\tau_L + \tau_R); \\
 \dot{\omega} &= \frac{bm\omega v}{i_z} + \frac{W}{2\rho i_z}(\tau_R - \tau_L); \\
 \dot{\tau}_L &= -\frac{R_M}{2L}\tau_L - \frac{i_p^2 k_M k_{T\Gamma} k_y}{L\rho} \left(v - \frac{\omega W}{2} \right) + \frac{i_p k_M k_y}{L} U_L; \\
 \dot{\tau}_R &= -\frac{R_M}{2L}\tau_R - \frac{i_p^2 k_M k_{T\Gamma} k_y}{L\rho} \left(v + \frac{\omega W}{2} \right) + \frac{i_p k_M k_y}{L} U_R,
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

де b - координата центру мас платформи, що лежить на осі симетрії; m – маса робота; W – відстань між центрами провідних коліс; iz – момент інерції платформи щодо вертикальної осі ZR ; ρ – радіус колеса; R_M – опір обмотки якоря виконавчого двигуна; i_P – передатне відношення редуктора; k_M – коефіцієнт, що зв'язує струм і розвивається двигуном момент; k_{TG} – коефіцієнт передачі тахогенератора; k_u – коефіцієнт підсилювача потужності; L – індуктивність обмотки якоря; U_R, U_L – напруги, що подаються на обмотку якоря.

Співвідношення (2.1) є системою нелінійних диференціальних рівнянь сьомого порядку з фазовим вектором

$$(x, y, \varphi, v, \omega, \tau_R, \tau_L)^T$$

та вектором управління $(U_R, U_L)^T$. При цьому кутові швидкості правого (ω_R) і лівого (ω_L) коліс, кутова ω і лінійна швидкості роботи пов'язані наступними співвідношеннями (лінійною швидкістю робота ми називаємо швидкість початку пов'язаної системи координат):

$$\begin{aligned}\omega_R &= \frac{1}{\rho} \left(v + \frac{\omega W}{2} \right); \\ \omega_L &= \frac{1}{\rho} \left(v - \frac{\omega W}{2} \right).\end{aligned}$$

Приймемо наступний спосіб формування керуючих напруг, що подаються на приводи провідних коліс МР:

$$\begin{aligned}U_R &= U_d + U_\varphi; \\ U_L &= U_d - U_\varphi,\end{aligned}$$

де $U_d = \text{const}$ - напруга, що забезпечує задану лінійну швидкість руху МР; U_φ – напруга, що управляє кутовою швидкістю руху МР. Запишемо наступний закон управління:

$$U_\varphi = -k_1 \varphi + k_2 (-y + y^*),$$

де k_1, k_2 деякі параметри; φ – кут між поздовжньою віссю робота та напрямком вздовж тротуару; y^* та y – бажана та поточна координати тротуару у власній системі координат. Параметри y та φ визначаються по

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

сканах, що отримуються від далекоміра. Зробимо тепер такі припущення. Вважаємо, що з русі МР на площині вздовж гладкої програмної траєкторії управляючі моменти провідних коліс, що розвиваються електродвигунами, змінюються незначно (це припущення часто використовують із дослідження електромеханічних систем), тобто. $\tau_R = \tau_L = 0$. Це припущення дозволяє знизити до п'ятого порядок системи. З урахуванням сказаного та наведених співвідношень диференціальні рівняння для моментів правого (τ_R) та лівого (τ_L) провідних коліс МР системи (1) можна записати наступним чином:

$$\begin{aligned}\dot{\tau}_L &= -\frac{R_M}{2L}\tau_L - \frac{i_p^2 k_M k_{\Gamma} k_y}{L\rho} \left(v - \frac{\omega W}{2} \right) + \\ &\quad + \frac{i_p k_M k_y}{L} (U_d + k_1 \varphi + k_2 y - k_2 y^*) = 0; \\ \dot{\tau}_R &= -\frac{R_M}{2L}\tau_R - \frac{i_p^2 k_M k_{\Gamma} k_y}{L\rho} \left(v + \frac{\omega W}{2} \right) + \\ &\quad + \frac{i_p k_M k_y}{L} (U_d - k_1 \varphi - k_2 y + k_2 y^*) = 0.\end{aligned}$$

Введемо позначення:

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{2i_p^2 k_M k_{\Gamma} k_y}{R_M \rho} \\ \delta &= \frac{2i_p k_M k_y}{R_M},\end{aligned}$$

враховуючи які, отримуємо вирази:

$$\begin{aligned}\tau_R + \tau_L &= -2\mu v + 2\delta U_d; \\ \tau_R - \tau_L &= -\mu \omega W + 2\delta (-k_1 \varphi - k_2 y + k_2 y^*).\end{aligned}$$

Тоді рівняння керованого об'єкта набудуть наступного вигляду:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= v \cos \varphi; \\ \dot{y} &= v \sin \varphi; \\ \dot{\varphi} &= \omega; \\ \dot{v} &= -b\omega^2 - Av + BU_d; \\ \dot{\omega} &= C\omega v - D\omega - Ek_1 \varphi - Ek_2 y + Ek_2 y^*,\end{aligned}$$

де

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$A = \frac{2\mu}{\rho m}, \quad B = \frac{2\delta}{\rho m}, \quad C = \frac{bm}{i_z},$$

$$D = \frac{W^2\mu}{2\rho i_z}, \quad E = \frac{W\delta}{\rho i_z}.$$

Наведені співвідношення є системою нелінійних диференціальних рівнянь п'ятого порядку, що описують рух МР на площині під дією напруг UR, UL, що подаються на якірні обмотки двигунів правого і лівого бортів і формуються відповідно до співвідношень. Завдання полягає в тому, щоб визначити φ , y та вибрати параметри k_1 , k_2 , що забезпечують прийнятну якість траєкторії руху МР уздовж тротуару.

Отримані рівняння руху МР є системою нелінійних диференціальних рівнянь п'ятого порядку, що значно ускладнює завдання подальшого аналізу та вибору необхідних коефіцієнтів k_1 , k_2 для реалізації алгоритму керуючої напруги U_φ . Тому вибору коефіцієнта k_1 , k_2 проведемо лінеаризацію рівнянь руху те щоб можна було використовувати класичні методи аналізу лінійних стаціонарних систем.

Як програмну траєкторію виберемо

$$x^*(t) = v_c t, \quad y^*(t) = y^*,$$

$$\varphi^*(t) = 0, \quad v^*(t) = v_c, \quad \omega^*(t) = 0,$$

тобто, рівномірний і прямолінійний рух робота паралельно тротуару. Тоді рівняння у відхиленнях щодо програмної траєкторії матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{x} &= \Delta v; \\ \Delta \dot{y} &= v_c \Delta \varphi; \\ \Delta \dot{\varphi} &= \Delta \omega; \\ \Delta \dot{v} &= -A \Delta v; \\ \Delta \dot{\omega} &= -E k_2 \Delta y - E k_1 \Delta \varphi - D \Delta \omega. \end{aligned}$$

Видно, що цю систему можна розбити на дві незалежні підсистеми: одна щодо вектора $(\Delta x, \Delta v)_T$, інша – щодо вектора $(\Delta y, \Delta \varphi, \Delta \omega)_T$. Зазначимо другу підсистему, куди входять параметри k_1 , k_2 . Відповідний характеристичний багаточлен $f(\lambda)$ має такий вигляд:

$$f(\lambda) = \lambda^3 + D\lambda^2 + Ek_1\lambda + Ek_2v_c.$$

Проаналізуємо залежність розташування коренів від коефіцієнтів k_1 , k_2 , скориставшись критерієм Гурвіца, відповідно до якого необхідним та достатнім умовами розташування коренів характеристичного рівняння у лівій напівплощині є позитивні значення головних мінорів матриці Гурвіца:

$$H = \begin{vmatrix} D & Ek_2v_c & 0 \\ 1 & Ek_1 & 0 \\ 0 & D & Ek_2v_c \end{vmatrix}$$

$$\Delta_1 = D > 0;$$

$$\Delta_2 = DEk_1 - Ek_2v_c > 0;$$

$$\Delta_3 = Ek_2v_c(\Delta_2) > 0.$$

Отримані співвідношення призводять до нерівності:

$$0 < \frac{k_2v_c}{D} < k_1.$$

Для типового мобільного робота [1] зі значеннями параметрів $m = 30$ кг, $I_z = 4,2$ кг·м², $\mu = 56,7$, $\delta = 4,4$, $W = 500$ мм, $\rho = 87$ мм, $b = 0$ А = 43,4483; $Y = 3,3716$; $Z = 0$; $D = 19,3966$; $E = 6,02$.

Досліджуємо тепер випадок, коли перехідний процес має аперіодичний характер, тобто коріння характеристичного рівняння як лежать у лівій напівплощині, а й дійсні. Запишемо співвідношення коефіцієнтів кубічного рівняння, при виконанні якого всі три корені дійсні [9]:

$$\frac{p^3}{27} + \frac{q^2}{4} \leq 0,$$

де

$$p = -\frac{b^2}{3a^2} + \frac{c}{a},$$

$$q = \frac{2b^3}{27a^3} - \frac{bc}{3a^2} + \frac{d}{a},$$

$$a = 1, \quad b = D, \quad c = Ek_1, \quad d = Ek_2v_c.$$

Тоді одночасне виконання цих умов дозволяє виділити область значень параметрів k_1 , k_2 , що забезпечують аперіодичний перехідний процес.

Маневрена платформа, на якій будується мобільний робот, є конструктором, в який входять:

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- 2 монтажні, не провідні струм поверхні для кріплення власних частин та інших компонентів;
- 4 пластикові колеса з гумовими покриттями;
- 4 мотори з вбудованими передавальними шестернями;
- кріплення.



Рисунок 2.2 – Чотириколісна мобільна платформа у зборі

Платформа має середні розміри, що дозволяє використовувати її, наприклад, на столі, при цьому на ній багато місця для зручного розміщення плат електроніки, так і різноманітних сенсорів; є штатне місце для сервоприводу, який може бути основою для радара або маніпулятора. Все це зручно кріпиться на платформі в штатні отвори та дозволяє спробувати багато базових функцій мобільного робота.

2.2. Розробка структурної та принципової схем системи керування

На рисунку 2.3 представлена структурна схема системи керування роботизованою платформою. Застосування мікроконтролера ATmega16 дозволило реалізувати логіку управління роботом і регулятор на програмному рівні, що сприяло зменшенню масо-габаритних характеристик системи керування та її енергоспоживання, що є критично важливим для автономної роботи платформи. Для контролю чотирьох двигунів постійного струму доцільно використовувати спеціалізований інтегральний драйвер L293D, який включає елементи захисту двигуна від перевантаження, короткого замикання та запобігає протіканню прямих струмів через силові транзистори схеми, має вбудовані зворотні діоди та захист від перегріву. Для індикації режиму роботи кожного з двигунів використовуються напівпровідникові діоди жовтого і зеленого кольорів. Ультразвукові світлодіоди білого кольору використовуються для освітлення навколишнього середовища.

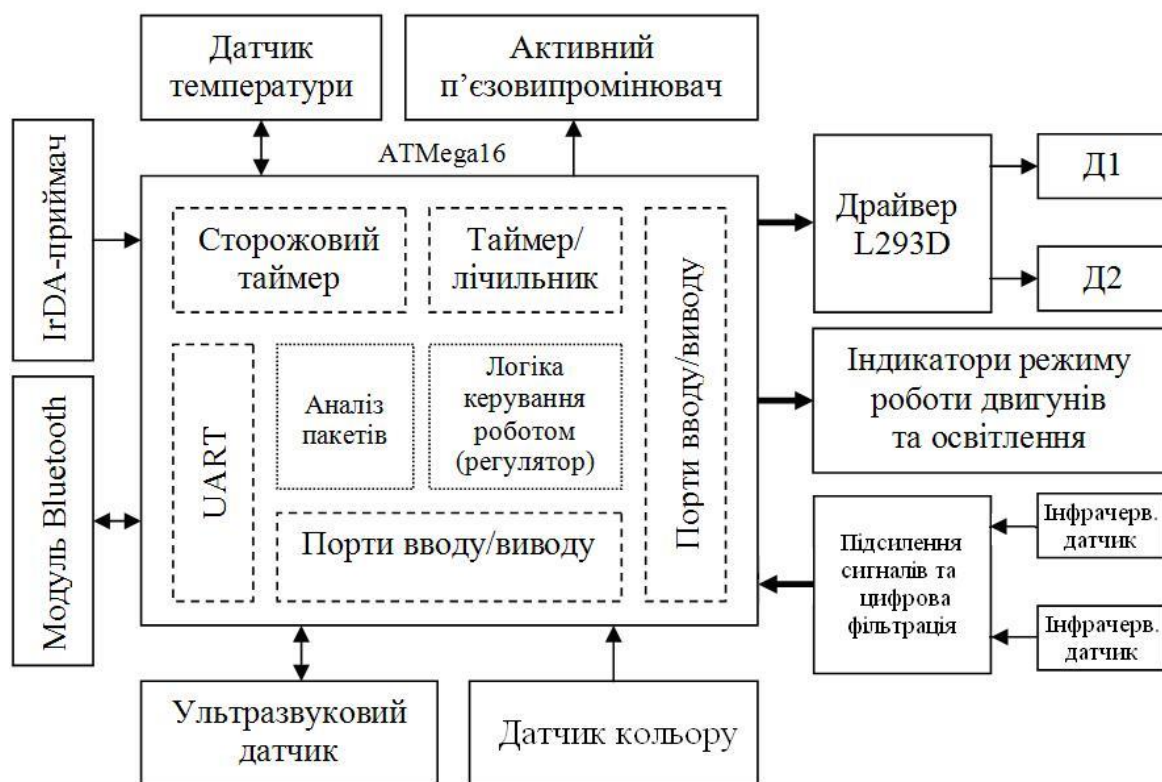


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи керування мобільним роботом

Для вимірювання відстані до перешкоди робот використовує ультразвуковий датчик, який активується шляхом подачі на його вхід імпульсу тривалістю 10 мкс, формованого мікроконтролером. Тривалість імпульсу, який ультразвуковий датчик відправляє у відповідь, пропорційна відстані до перешкоди. Вимірювання тривалості імпульсу виконується за допомогою вбудованого таймера/лічильника в мікроконтролері, після чого отримане значення використовується для обчислення відстані.

Інфрачервоний датчик служить для виявлення джерел інфрачервоного випромінювання (наприклад, людини або полум'я) у зоні спостереження. Коли датчик спрацьовує, на його виході формується сигнал логічної одиниці, який надходить до порту мікроконтролера. Чутливість інфрачервоного датчика регулюється за допомогою елементів керування, розташованих на самому датчику.

Час включення та вимикання силового ключа по паспортним даним драйвера приймається рівним 0,22 мкс.

Визначаємо оптимальну частоту комутації ШП:

$$f_{\text{опт}} = K_f \cdot \sqrt[3]{\frac{\alpha_k \cdot R_{\text{я}}^2}{L_{\text{я}}^2 \cdot (t_+ + t_-)}},$$

де $K_f = 0,332$ для ШП з симетричним законом комутації;

$$\alpha_k = \frac{U}{R_{\text{я}} \cdot I_{\text{н}}},$$

$$\alpha_k = \frac{18,6}{0,11 \cdot 18,64} = 9,227$$

$$f_{\text{опт}} = 0,332 \cdot \sqrt[3]{\frac{9,227 \cdot 0,11^2}{(4,3 \cdot 10^{-4})^2 \cdot ((0,076 + 0,048) \cdot 10^{-6})}} = 3,413 \text{ Гц}$$

Приймаємо частоту комутації $f_k = 4000 \text{ Гц}$.

На рис. 2.5 представлено принципову схему системи керування роботизованою мобільною платформою.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2.3. Вирішення завдання керування платформою при наявності динамічних перешкод

Завдання формулюється в такий спосіб. Є шматково-лінійна траєкторія від початкової точки до цільової. Вона може коригуватися у час з використанням алгоритму A^* (А-зірка). Система навігації мобільного робота відстежує його положення та обчислює координати поточної опорної точки, до якої повинен рухатися робот, уникаючи зіткнень із перешкодами (статичними та динамічними). Розглянемо розв'язання задачі в умовах статичного середовища як простіше. У основі лежить метод ефективного шляху [1]. У разі ефективний шлях – це відрізок прямий, що з'єднує поточне положення робота з поточною опорною точкою. В [1] як опорна точка використаний другий злам кусково-лінійної траєкторії (рис. 2.5), оскільки однієї зміни напрямку траєкторії з дискретним кроком в 45° щодо положення робота недостатньо для того, щоб достовірно визначити тенденцію подальшої зміни траєкторії. Друга зміна напрямку показує стійкість зміни заданої траєкторії руху. В іншому випадку робот продовжує рух у вибраному напрямку.

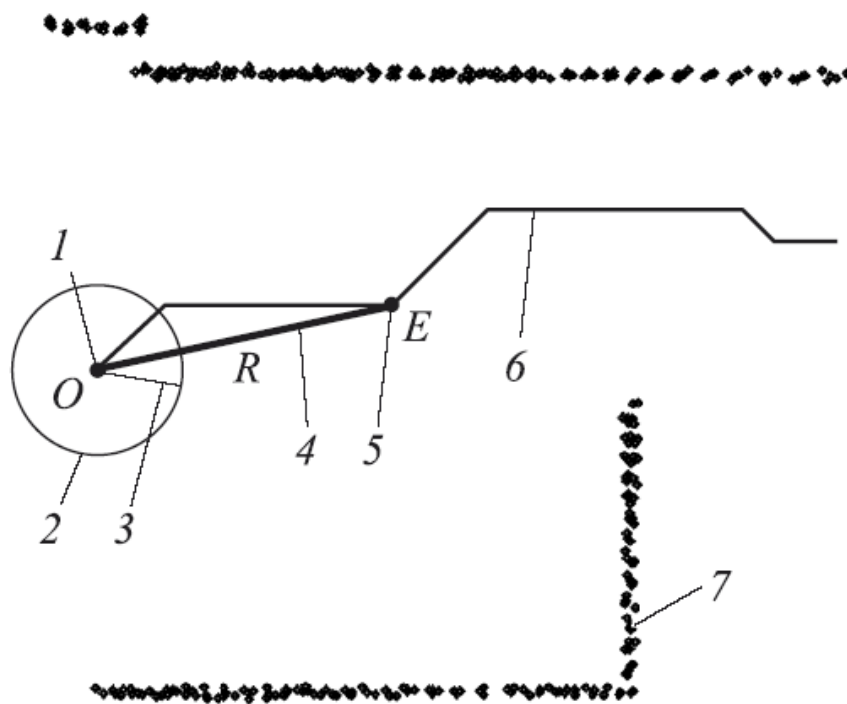


Рисунок 2.5 – Визначення опорної точки

На малюнку позначено: 1 – становище робота; 2 – мобільний робот; 3 – поточний курс робота; 4 – ефективний шлях; 5 – опорна точка; 6 – задана траєкторія; 7 – перешкоди.

Відстань R між опорною точкою на траєкторії та поточним положенням робота визначається його динамікою. Зверху значення R обмежене максимальною швидкістю переміщення

$$v_c + \dot{v}_a \Delta t$$

яка може бути досягнута роботом через інтервал часу Δt :

$$R_{\max}(v_c) = (v_c + \dot{v}_a \Delta t) T_{\max}$$

де v_a – максимально допустиме прискорення робота; v_c – поточна швидкість переміщення робота; $T_{\max}$ – час, за який робот досягне найближчої перешкоди, що знаходиться на відстані s_l , з максимальною швидкістю

$$v_{\max} : T_{\max} = \frac{s_l}{v_{\max}}$$

тобто довжина ефективного шляху залежить від швидкості робота.

Якщо зміна напрямку траєкторії виявлена в безпосередній близькості від робота (наприклад, клітинка карти, що йде за поточним положенням робота), ця зміна є незначною для робота. Тому відстань між опорною точкою на траєкторії та поточним положенням робота обмежена знизу постійної $R_{\min}$, яка фільтрує незначні зміни напрямку траєкторії. Такі зміни уповільнюють рух робота, але майже змінюють його становище. Найбільш ефективно встановити значення $R_{\min}$ відповідно до максимального часу гальмування

$$T_{b_{\max}} = \frac{v_{\max}}{\dot{v}_b}$$

для того, щоб робот міг зупинитися на відстані, що дорівнює довжині мінімального ефективного шляху, якщо спочатку він досяг максимальної швидкості:

$$R_{\min} = v_{\max} T_{b_{\max}} - \frac{1}{2} \dot{v}_b T_{b_{\max}}^2.$$

Звідси випливає, що мінімальна швидкість руху

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$v_{\min} = \frac{R_{\min}}{T_{\max}}.$$

Якщо $d > W$, перешкода знаходиться далеко від робота, і воно ігнорується. В іншому випадку вибирається нове положення опорної точки. Розглянемо граничний випадок, коли коло, яке описує робот, стосується перешкоди, тобто $d = W$.

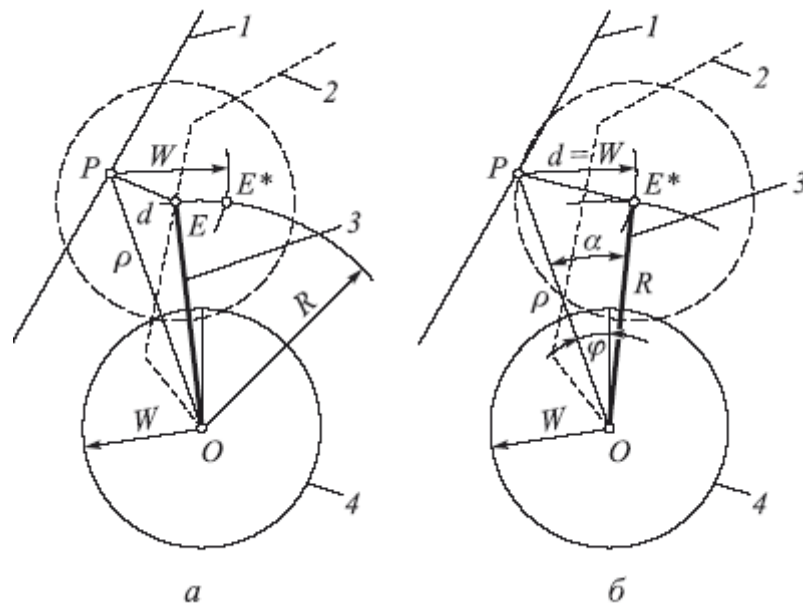


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема алгоритму об'їзду перешкод: а – до коригування; б – після коригування

На малюнку позначено: 1 – перешкода; 2 – задана траєкторія; 3 – ефективний шлях; 4 – габаритне коло мобільного робота.

2.4. Рівняння кінематичного керування двохколісною платформою

Оскільки двохколісний робот рухається в горизонтальній площині, досить розглянути плоский випадок. На рис. 2.7 зображено відповідну систему координат. Осі обертання колеса збігаються з відрізком дороги LR. Зв'яжемо з роботом систему координат $O'X'Y'$, розташувавши O' посередині LR і направивши вісь X' перпендикулярно LR у напрямку руху. Тоді становище основи робота як твердого тіла задається трійкою чисел φ, x, y , де φ – кут між осями X і X' , x, y – координати точки O' в абсолютній системі

координат OXY . Введемо однорідну матрицю 3×3 переходу від $O'X'Y'$ до OXY :

$$T = \begin{pmatrix} R & \mathbf{p} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (2.3)$$

де

$$R = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix}, \quad \mathbf{p} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix},$$

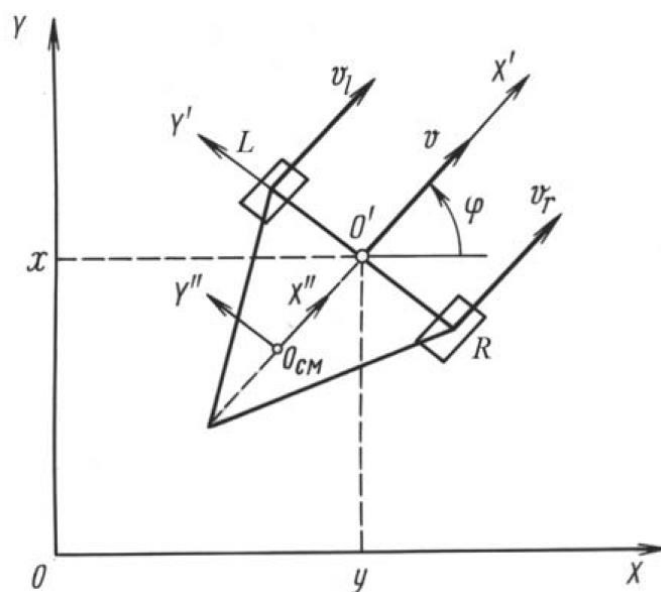


Рисунок 2.7 – Схема руху мобільного робота у горизонтальній площині

У виразі (2.3) R і $\mathbf{p}$ є відповідно матрицю орієнтації і вектор положення початку системи координат O' в абсолютній системі координат. Якщо позначити вектори лінійних швидкостей точок O' , L і R як $\mathbf{v}$, $\mathbf{v}_l$, $\mathbf{v}_r$ відповідно, а через ω – кутову швидкість, можна записати наступні співвідношення:

$$\begin{cases} \mathbf{v}_l = \mathbf{v} + \omega \Omega \mathbf{r}_l; \\ \mathbf{v}_r = \mathbf{v} + \omega \Omega \mathbf{r}_r, \end{cases}$$

де матриця Ω має вигляд:

$$\Omega = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Неважко помітити, що Ω є ортогональна матриця, що забезпечує поворот довільного вектора на $\pi/2$.

Запишемо тепер такі очевидні співвідношення:

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_l &= \frac{1}{2} \mathbf{y}'; \\ \mathbf{r}_r &= -\frac{1}{2} \mathbf{y}'; \\ \mathbf{v}_l &= v_l \mathbf{x}'; \\ \mathbf{v}_r &= v_r \mathbf{x}', \end{aligned}$$

де $\mathbf{x}'$ та $\mathbf{y}'$ – поодинокі орти системи координат $O'X'Y'$, а v_l , v_r – проекції відповідних векторів на вісь X' . Вектор лінійної швидкості точки O' через співвідношення збігається з віссю X' . Скористайтесь цим для формування закону управління. Тоді, враховуючи співвідношення, а також, маючи на увазі зазначену властивість матриці, після елементарних перетворень співвідношень отримаємо:

$$\begin{cases} v = \frac{1}{2}(v_r + v_l); \\ \omega = \frac{1}{l}(v_r - v_l). \end{cases}$$

Якщо тепер ввести до розгляду координати x , y , φ , неважко бачити, що

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos \varphi; \\ \dot{y} = v \sin \varphi; \\ \dot{\varphi} = \omega. \end{cases}$$

Підставивши вирази у співвідношення, отримаємо

$$\begin{cases} \dot{x} = \frac{1}{2}(v_r + v_l) \cos \varphi; \\ \dot{y} = \frac{1}{2}(v_r + v_l) \sin \varphi; \\ \dot{\varphi} = \frac{1}{l}(v_r - v_l). \end{cases}$$

Співвідношення є системою нелінійних диференціальних рівнянь 3-го порядку щодо фазового вектора з компонентами (x, y, φ) . Скаляри v_l і v_r , задані тим чи іншим чином (як функції часу або функції фазових координат), визначають рух платформи. Таким чином, співвідношення можна як кінематичну модель мобільного триколісного робота. Лінійна та кутова швидкості робота визначаються із співвідношень.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2.5. Розробка системи керування рухом по криволінійній траєкторії

Подібне завдання виникає при використанні роботів для доставки обідів у лікарнях, розмінування підозрілих предметів, пожежогасіння тощо.

На рівні планування руху робота передбачаються відомими мета руху та опис полігону – пункти обходу та перешкоди. Для побудови безперервної траєкторії руху в режимі off-line (коли необхідний об'єм пам'яті та швидкість знаходження шляху не є критичними) доцільно використовувати хвильовий алгоритм [1], який відрізняється простотою та надійністю. Даний алгоритм формалізує ламану у вигляді послідовності точок координатної площини (x_i, y_i) , $i=1...n$, які визначають рух робота з відомого початкового в задане кінцеве положення з обходом перешкод і появою робота один раз у кожному з пунктів обходу із заданими параметрами орієнтації. Для знайденої послідовності точок вводиться параметр шляху τ_k , $k=1...n$, $\tau_k \in [0,1]$, значення якого перебувають з виразів

$$\tau_k = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^k l_i, \quad l_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}, \quad i=1...n-1, \quad L = \sum_{i=1}^{n-1} l_i.$$

Розглядається двоколісний робот, кінематична модель якого має вигляд

$$\dot{x}_1 = v \cos x_3, \quad \dot{x}_2 = v \sin x_3, \quad \dot{x}_3 = \omega, \quad (2.4)$$

де x_1, x_2 - Декартові координати центру мас платформи в нерухомій системі координат (див. рис. 2.8); x_3 - кут її орієнтації; v, ω - лінійна і кутова швидкості відповідно, які для системи (2.4) покладаються керуючими впливами.

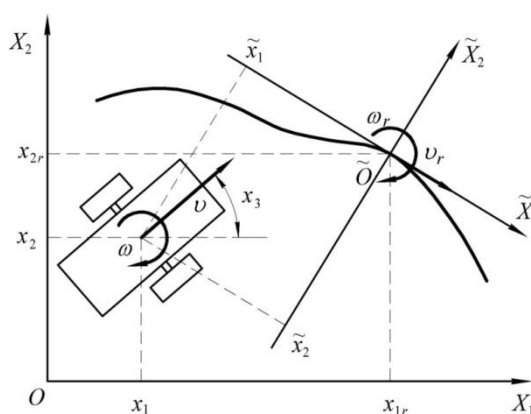


Рисунок 2.8 – Задачно-орієнтовані координати платформи

Ставиться завдання синтезу кінематичного закону управління, що забезпечує стабілізацію руху робота щодо траєкторії, заданої параметрично:

$$x_{1r} = \phi(\tau), \quad x_{2r} = \psi(\tau),$$

де x_{1r}, x_{2r} – координати бажаної траєкторії у вихідній системі координат.

Для забезпечення заданого часу руху трасою з початкової точки в кінцеву введемо залежність параметра шляху від часу наступним чином:

$$\tau(t) = \theta\left(\frac{t}{T}\right) = a_0 + a_1 \frac{t}{T} + a_2 \left(\frac{t}{T}\right)^2 + a_3 \left(\frac{t}{T}\right)^3 + a_4 \left(\frac{t}{T}\right)^4 + a_5 \left(\frac{t}{T}\right)^5$$

Вибір управління ω , що пов'язує швидкості обертання та руху з напрямком руху робота, у вигляді

$$\omega = \omega_r - (f + l_1 e) / (1 + \operatorname{tg}^2 \tilde{x}_3), \quad l_1 > 0,$$

забезпечує асимптотичну стабілізацію замкнутої підсистеми.

Друге завдання полягає у виборі управління ν , що забезпечує стабілізацію відстані S до центру системи координат, що рухається. Закон управління

$$\nu = (-l_2 \sqrt{S} + \nu_r \cos \varphi) / \cos(\tilde{x}_3 - \varphi), \quad l_2 > 0$$

забезпечить асимптотичну збіжність змінної нанівець: .

Синтезовані закони кінематичного управління забезпечують рух робота заданою трасою за заданий час. Істотно, що ці співвідношення можна трактувати як впливу для відпрацювання приводами, що дозволить здійснити декомпозицію верхнього рівня при синтезі системи управління на основі динамічної моделі мобільного робота.

2.6. Моделювання системи керування мобільними платформами

Моделювання системи керування було виконано за допомогою програмного забезпечення Proteus. Proteus є системою схемотехнічного моделювання, яка ґрунтується на моделях електронних компонентів, прийнятих в PSpice. Особливістю пакету Proteus Professional є можливість моделювання роботи програмованих пристроїв, таких як мікроконтролери, мікропроцесори, DSP та інші. Крім того, в пакет Proteus Professional входить

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

система проектування друкованих плат. Proteus Professional здатен симулювати роботу різних мікроконтролерів, зокрема 8051, ARM7, AVR, Motorola, PIC, MSP430 та Basic Stamp. Бібліотека компонентів також містить довідкову інформацію.

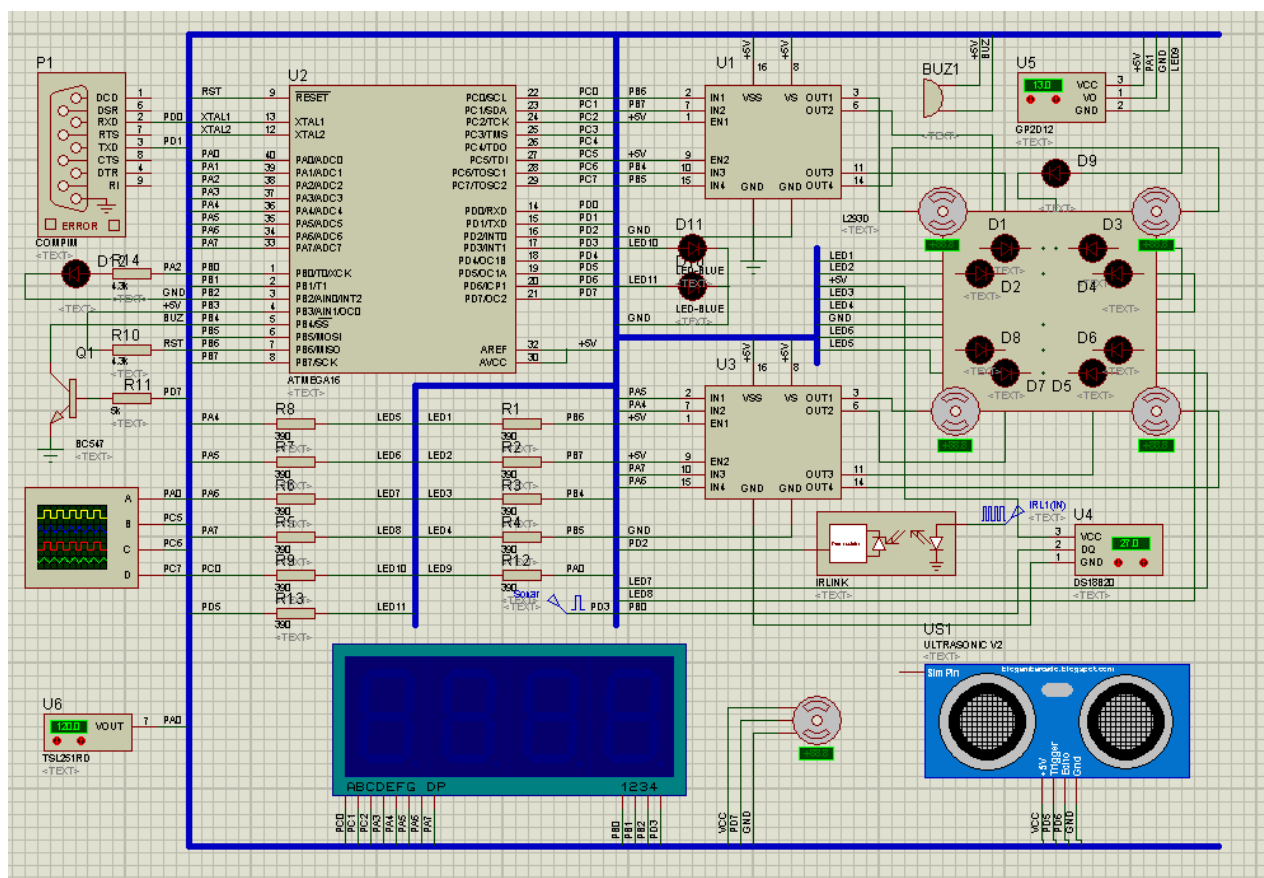


Рисунок 2.9 – Модель системи керування

Для моделювання використовувались інструменти Voltage probe mode для розташування контрольних точок.

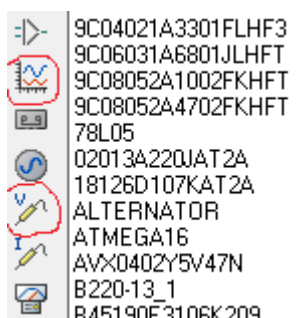


Рисунок 2.10 – Інструменти Voltage probe mode і Graph mode

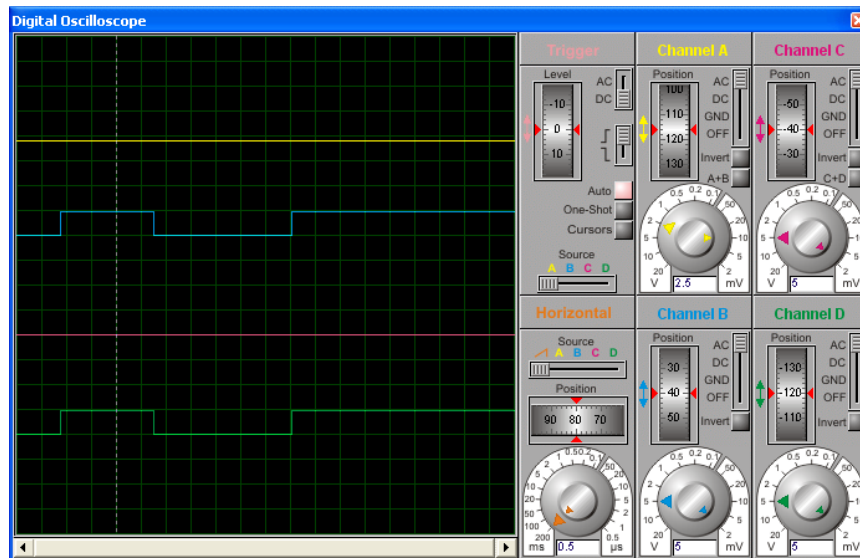
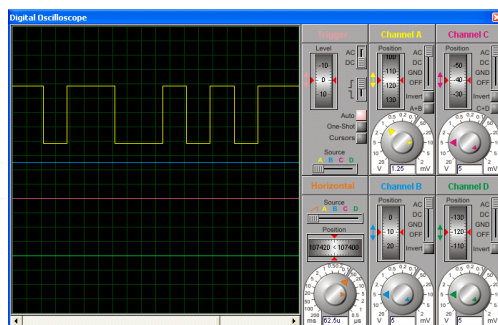
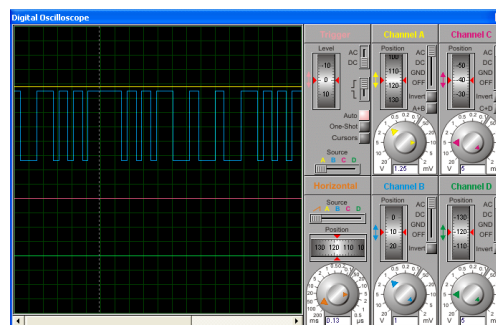


Рисунок 2.11 – Осцилограми сигналів на двигунах при повороті платформи за годинниковою стрілкою



а)



б)

Рисунок 2.12 – Осцилограми сигналів в контрольних точках:

а – вихідні дані з модуля Bluetooth; б – сигнал на п'єзоелемент (Buzzer)

2.7. Розрахунок надійності систем керування

Для визначення вірогідності безвідмовної роботи системи потрібно знати потоки відмов кожного з елементів схеми. Потоки відмов елементів схеми зведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Елементи	$\lambda_i \cdot 10^5$, годин ⁻¹	кількість
Напівпровідникові прилади	0,5	17
Резистори	0,25	16
Конденсатори	0,15	17
Кварц	0,03	1

Сумарна інтенсивність відмов визначається за формулою:

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^n n_i \cdot \lambda_i ,$$

де n_i – кількість елементів, λ_i – інтенсивність відмов елементів.

$$\lambda_0 = 0,5 \cdot 17 + 0,25 \cdot 16 + 0,15 \cdot 17 + 0,03 = 15,08 \cdot 10^{-5} \text{ (год.}^{-1}\text{)}.$$

Середній час безвідмовної роботи дорівнює:

$$m_t = \frac{1}{\lambda_0} = \frac{1}{15,08 \cdot 10^{-5}} = 6631 \text{ (год.)}.$$

Вірогідність безвідмовної роботи розраховується за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda_0 \cdot t}.$$

На рис. 2.13 представлено графік вірогідності безвідмовної роботи.

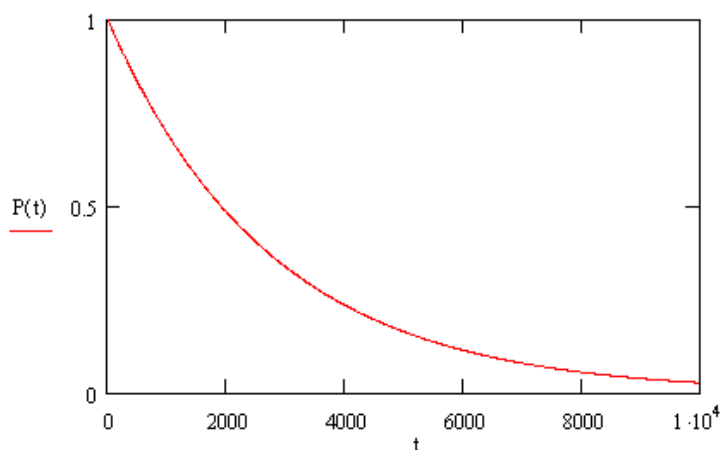


Рисунок 2.13 – Графік вірогідності безвідмовної роботи.

Час безвідмовної роботи визначається при вірогідності безвідмовної роботи, рівній 0,25. Виходячи з формули, час безвідмовної роботи визначається за формулою:

$$t = -\frac{1}{\lambda_0} \cdot \ln(P),$$

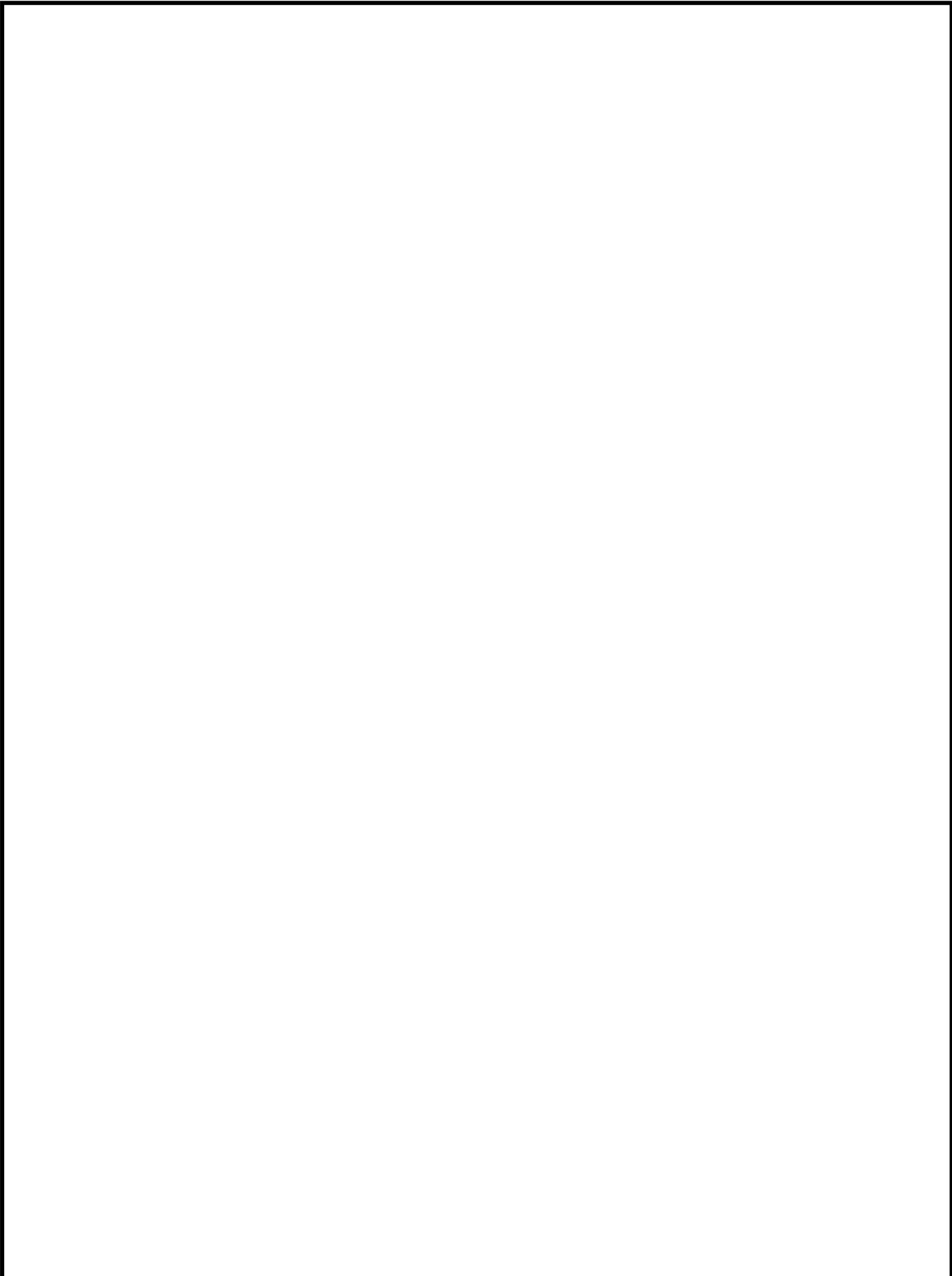
$$t = -\frac{1}{36,23 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln(0,25) = 9192 \text{ (год.)}.$$

Із розрахунків видно, що час безвідмовної роботи складає 9192 годин, що дорівнює приблизно 15 місяцям безперервної роботи.

Висновки по розділу

Використання сучасних технологій на основі мікропроцесорних систем відкриває нові перспективи для покращення технічних характеристик електронної автоматики. Такі системи здатні гнучко налаштовуватися під час роботи, змінювати регульовальні закони в залежності від робочих режимів, а також прогнозувати та запобігати потенційно некоректним ситуаціям на основі статистичних даних, які накопичуються в процесі їх функціонування.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Дюков В.О.			Реалізація алгоритмів бездротового керування роботизованою платформою	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							46	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ БЕЗДРОТОВОГО КЕРУВАННЯ РОБОТИЗОВАНОЮ ПЛАТФОРМОЮ

3.1. Вимоги до програмних засобів керування платформою

Оснoву роботи системи керування мобільною платформою складає програмний принцип управління, згідно з яким мікроконтролер виконує завдання заздалегідь прописаною програмою. Цей принцип забезпечує універсальність застосування мікроконтролера, оскільки в будь-який момент він може вирішувати певні задачі, спираючись на обрану підпрограму. Для коректного виконання управлінських задач робот повинен мати добре налаштовану програму, що не потребує доопрацювань, а також відповідну документацію. Програмне та апаратне забезпечення в роботизованій платформі функціонують у тісному зв'язку та взаємодії.

Між підпрограмами, що виконує мікроконтролер системи керування роботизованою платформою, існує взаємозв'язок, де багато програм ґрунтуються на нижчих рівнях. Міжпрограмний інтерфейс передбачає поділ програмного забезпечення на кілька взаємопов'язаних рівнів. Ці рівні утворюють піраміду, де кожен вищий рівень спирається на програмне забезпечення попередніх рівнів. Схематично структуру програмного забезпечення можна побачити на рис. 3.1.

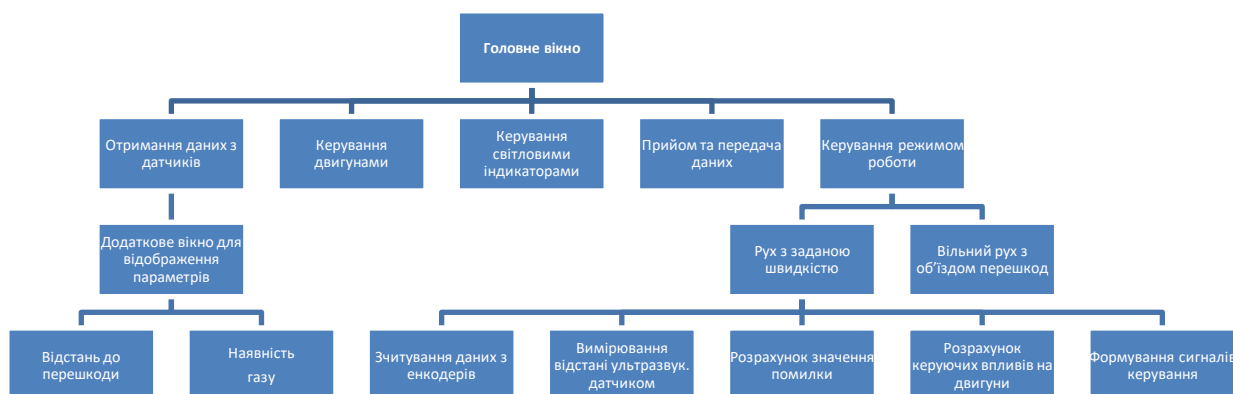


Рисунок 3.1 – Структура програмного забезпечення

Базовий рівень є найнижчим рівнем програмного забезпечення (ПЗ) і відповідає за взаємодію з основними апаратними компонентами. Базове програмне забезпечення вбудовано в базове апаратне забезпечення та зберігається у flash-пам'яті мікроконтролера. Основні функції, які виконує програмне забезпечення базового рівня (ПЗ мікроконтролера системи керування), включають:

- формування керуючих сигналів для драйверів L293D, що приводять у дію двигуни роботизованої платформи;
- створення сигналу керування для ультразвукового датчика відстані HC-SR04 та вимірювання тривалості його вихідного сигналу для розрахунку відстані до перешкоди;
- контроль стану виходу датчика газу;
- отримання та передача команд і даних через послідовний інтерфейс до радіомодуля HC-05;
- зчитування інформації з цифрового датчика температури DS18B20;
- отримання даних з енкодерів;
- управління п'єзовипромінювачем для формування звукових сигналів;
- керування світлодіодами, що забезпечують освітлення оточення та індикацію режиму роботи платформи.

Прикладний рівень програмного забезпечення складається з комплексу прикладних програм, за допомогою яких виконуються конкретні завдання, які можуть бути як виробничими, так і творчими, розважальними або навчальними. У дипломному проекті прикладний рівень ПЗ виконує такі функції:

- реалізація взаємодії між людиною, програмою та обладнанням за допомогою смартфона або планшета з операційною системою Android;
- управління режимами роботи мобільної платформи (рух у заданому напрямку, стеження за ціллю).

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3.2. Розробка алгоритму опитування датчиків

Інформація з датчиків передається у мікроконтролер по цифровій шині, тому важливо правильно налаштувати виводи у мікроконтролері.

Сенсор отримує сигнал відлуння та визначає відстань, кодуя її тривалістю електричного сигналу на виході. Наступний імпульс може бути випромінений лише після того, як зникне ехо від попереднього. Цей проміжок часу називається періодом циклу, і рекомендований інтервал між імпульсами має бути не менше 50 мс. Якщо на сигнальний вихід (активацію) подається імпульс тривалістю 10 мкс, ультразвуковий модуль випромінює вісім пакетів ультразвукового сигналу з частотою 40 кГц і виявляє їх відлуння.

Інфрачервоний датчик руху здатний виявляти рух людини або домашньої тварини на відстані до 7 метрів (цей параметр можна регулювати). Пристрій має два входи живлення (+5В і Земля) та один цифровий вихід, з якого можна знімати дані. Якщо перешкод немає, на виході буде високий рівень сигналу (+5В), а в присутності перешкоди – низький рівень (0В). При встановленні перемички в положення Н, на виході буде високий рівень сигналу протягом усього часу, поки датчик виявляє рух. Якщо перемичка в положенні L, стан виходу буде змінюватися з високого на низький і назад приблизно раз на секунду. Для більшості проектів зазвичай використовується положення Н.

Блок-схема алгоритму опитування датчиків та передачі інформації в комп'ютер представлено на рис. 3.2.

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

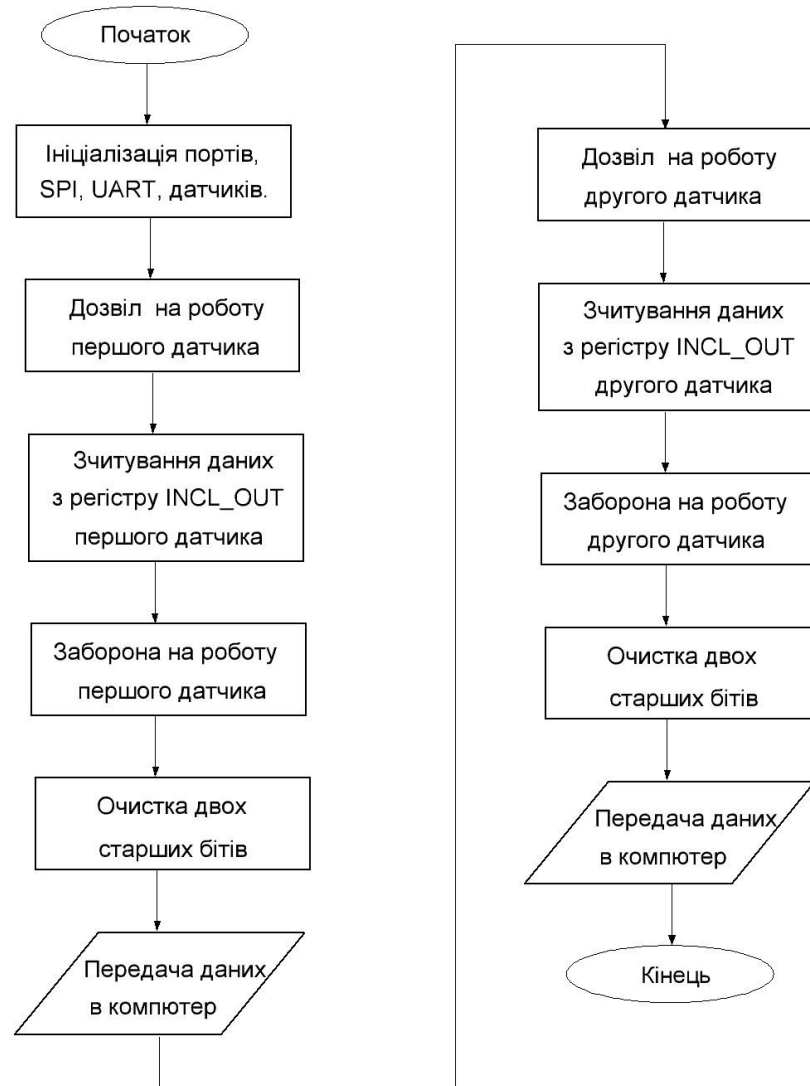


Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму опитування датчиків

3.3. Розробка алгоритму керування електроприводами

Одним з основних блоків, необхідних для організації управління, є блок обчислення відстані і кута відхилення між роботом і цільової точкою траєкторії. На основі схеми руху робота від поточної точки до цільової (рис. 3.3) складені формули розрахунку відстаней S_{ac} , S_{ab} , необхідні для визначення вхідних величин нечіткого регулятора - відстані S_{cb} і кута Q .

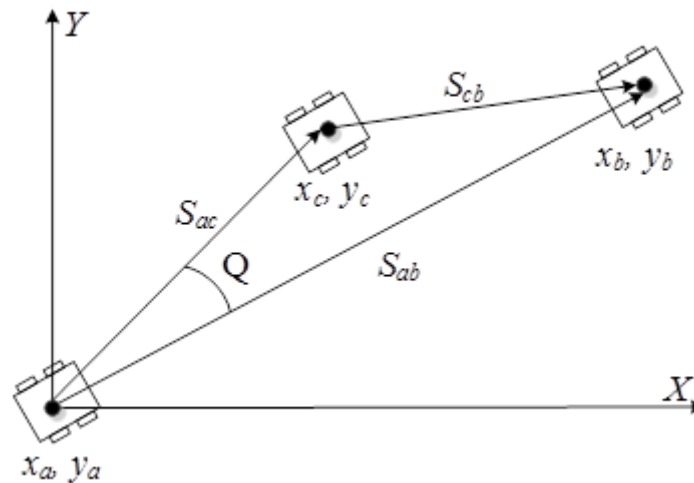


Рисунок 3.3 – Схема розрахунку відстані та кута відхилення робота між роботом та цільовою точкою траєкторії

Кут відхилення робота від траєкторії, згідно рис. 3.3, обчислимо за виразом:

$$Q = \frac{180}{\pi} \cdot \arccos \left(\frac{S_{ac}^2 + S_{ab}^2 - S_{cb}^2}{2 \cdot S_{ac} \cdot S_{ab}} \right)$$

Необхідні для розрахунку кута відстані можна визначити за такими виразами:

$$S_{ac} = \sqrt{(x_c - x_a)^2 + (y_c - y_a)^2}$$

$$S_{ab} = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2}$$

$$S_{cb} = \sqrt{(x_b - x_c)^2 + (y_b - y_c)^2}$$

Відповідно до цих формул, на основі вхідних даних про координати заданої траєкторії і координати робота, в поточний і попередній моменти часу виконується розрахунок відстаней і кута відхилення.

Далі потрібно локалізувати поточний стан робота по відношенню до траєкторії для формування лінгвістичних правил керування приводами коліс робота. Для цього пропонується, відповідно до рівняння прямої за координатами точок траєкторії і поточним координатам робота, визначити знак кута Q за виразом:

$$Q = Q \cdot \text{sign} \left(y_c - \left(\frac{(x_c - x_{b-1})}{(x_b - x_{b-1})} \cdot (y_b - y_{b-1}) + y_{b-1} \right) \right)$$

Останній етап обчислень – формування руху робота по заданій траєкторії. Для цього перевіряється умова $S_{cb} < \Delta S$, і з заданою точністю здійснюється перемикання цільової точки.

На рис. 3.4 наведена блок-схема частини програми, яка безпосередньо керує двигунами в режимі стеження за цілью.

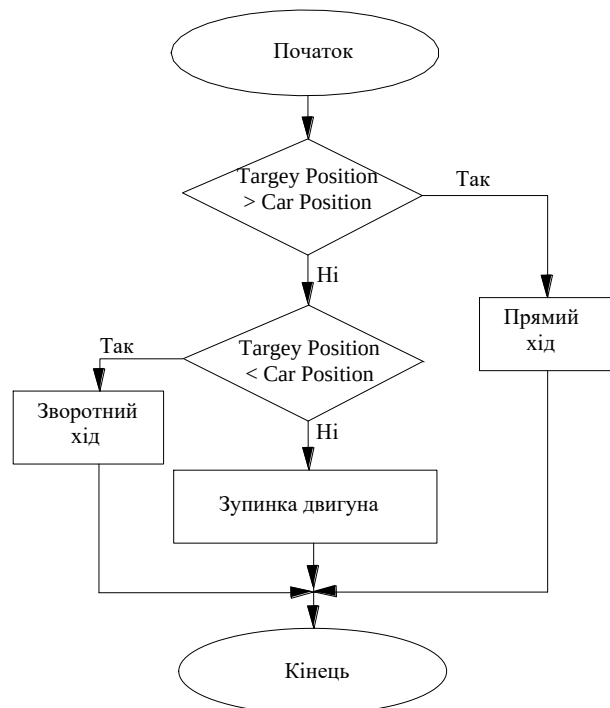


Рисунок 3.4 – Блок-схема алгоритму стеження за цілью

3.4. Розробка протоколу та алгоритму передачі даних по радіомережі

Умовно програму базового рівня можна поділити на декілька частин.

Перша – це функції, що забезпечують роботу UART:

- void uart 0_init (void);
- unsigned char ReceiveByte (void);
- void TransmitByte (unsigned char);
- void uart0_rx_isr (void);
- void uart0_udre_isr (void);
- void uart0_tx_isr (void).

Функція `void uart0_init (void)` проводить налаштування периферійного модулю UART на роботу з наступними параметрами – 8 байт даних, 1 стоп біт, без контролю парності.

У програмі використовується два кільцеві буфери по 4 байти кожен для переданих та прийнятих даних. Робота з UART реалізована на перериваннях. Обмін даними між обробником переривання та основним тілом програми здійснюється через кільцеві буфери.

На рис. 3.5 зображено діаграму роботи UART (взаємодія функцій).

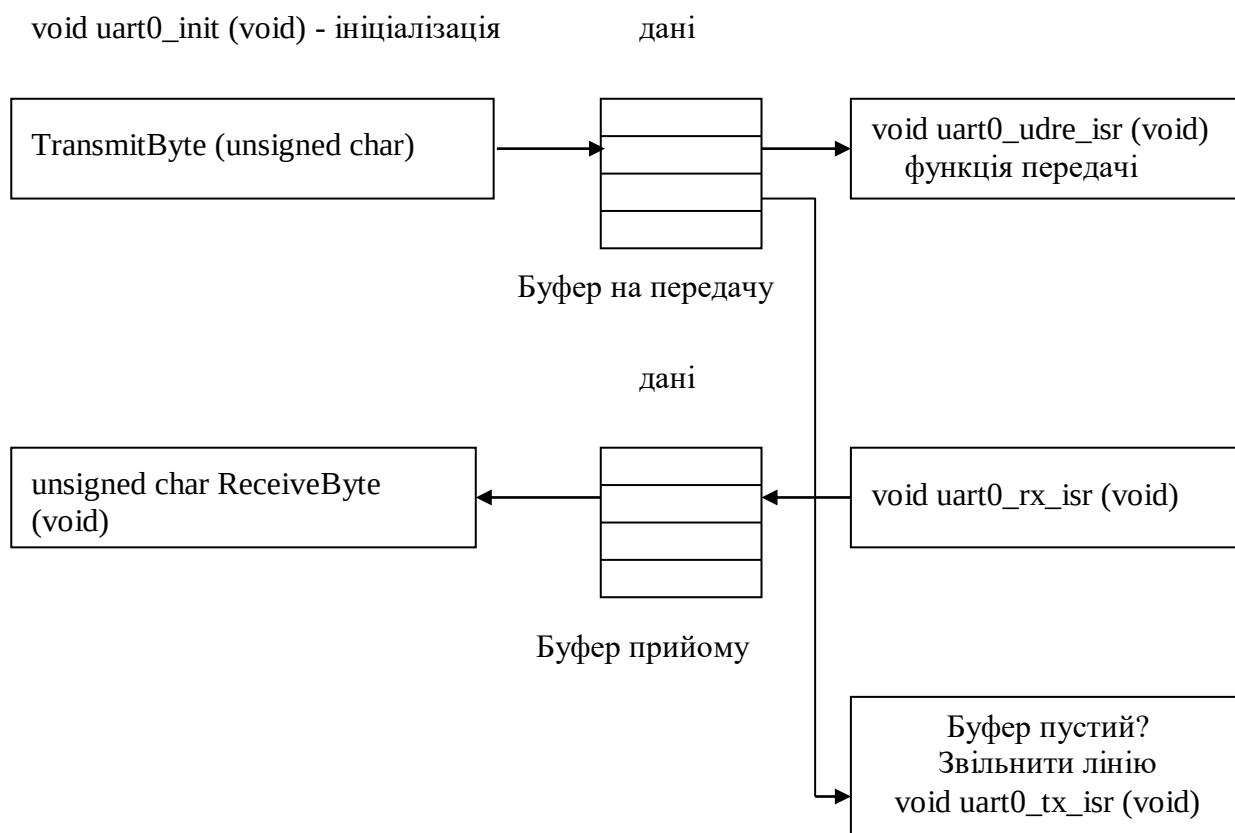


Рисунок 3.5 – Діаграма роботи UART

Для передачі даних у мобільний телефон або планшет слугує функція `void uart_send(u08 data)`. Алгоритм її роботи досить простий і представлений на рис. 3.6. На початку функції в циклі перевіряється чи пустий буфер передачі, і якщо так, то у регістр даних UDR записуються дані.



Рисунок 3.6 – Блок-схема функції TransmitByte

Затримка, яка встановлюється для того, щоб відпрацювала апаратура, є дуже важливим елементом програми. Якщо вона буде не правильно встановлена, тоді апаратура не зможе реагувати на сигнали, адже вона не буде готова для їх прийняття.

3.5. Реалізація завдань керування мобільною платформою по інфрачервоному каналу

Протокол передачі RC5 спочатку з'явився в ПЧ-пультах фірми Philips, але в даний час він і його модифікації використовуються безліччю різних фірм.

Команди передаються пакетами. Кожен пакет складається з 14-ти бітів:

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

SB (start bit) – два стартові біти (завжди рівні 1)

TB (toggle bit) - керуючий біт. Використовується як ознака нового натискання. Якщо натиснути і утримувати кнопку пульта, то пульт через певні проміжки часу надсилатиме пакети, що містять код натиснутої кнопки. Так ось, у першому пакеті toggle bit буде встановлено в 1, а в наступних (повторних) пакетах - в нуль.

S4, S3, S2, S1, S0 (system bits) - п'ять біт адреси, що визначають номер системи, для якої призначений пакет, що передається.

C5, C4, C3, C2, C1, C0 (command bits) – власне біти, що кодують певну команду.

Довжина пакета завжди однакова і становить 24,889 мілісекунд. Мінімальна пауза між пакетами дорівнює по довжині 50 біт (88,889 мілісекунд).

Біти у пакеті кодуються за допомогою манчестерського (біфазного) кодування. Один біт має довжину 1,778 мілісекунд.

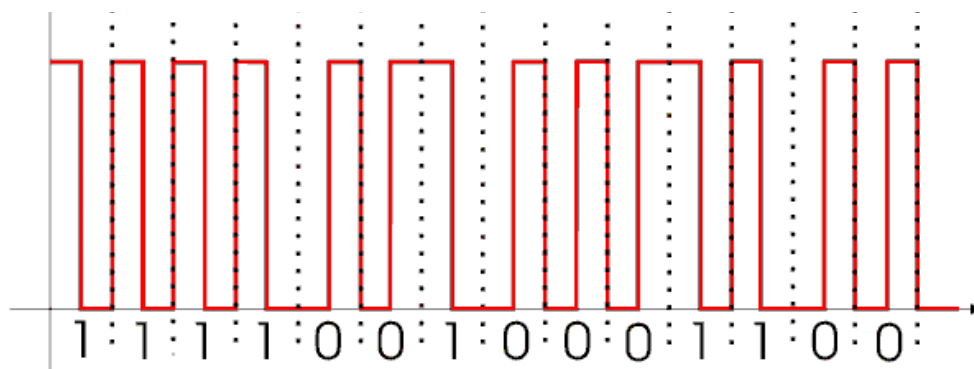


Рисунок 3.7 – Приклад манчестерського коду

У манчестерському кодуванні логічна одиниця кодується переходом із стану OFF у стан ON. Тобто першу половину біта (888,864 мікросекунди) передавач перебуває у стані OFF, а другу половину біта (888,864 мікросекунди) передавач перебуває у стані ON.

Логічний нуль, навпаки, кодується переходом із стану ON у стан OFF.

Стан OFF – відсутність ІЧ-сигналу.

Стан ON – імпульси на несучій частоті (зазвичай зі шпаруватістю 4).

Як несуча зазвичай використовується частота 36 кГц.

TSOP312х, TSOP314х – серія мініатюрних інфрачервоних фотоприймачів для дистанційного керування. Фотодіод і підсилювач зібрані в одному корпусі, епоксидний корпус виступає як ГЧ-фільтр.

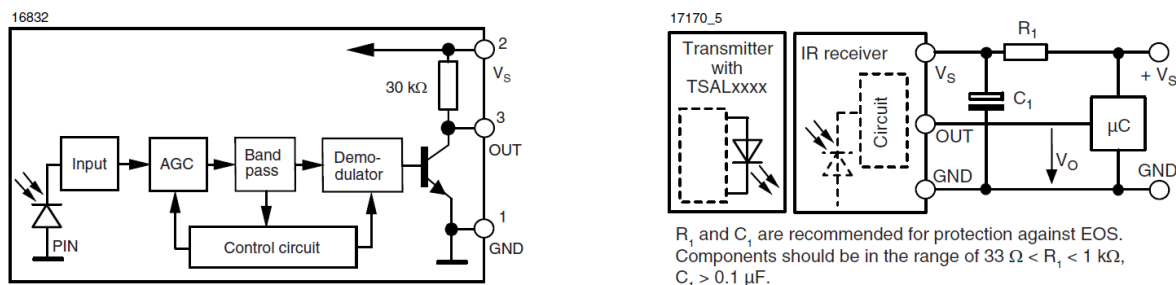


Рисунок 3.8 – Структурна схема та схема підключення ІЧ-приймача

Демодульований сигнал може бути безпосередньо декодований мікропроцесора. TSOP31236 сумісний з усіма поширеними форматами ІЧ-пультів дистанційного керування. TSOP31436 оптимізована для придушення практично всіх хибних імпульсів від енергозберігаючих люмінесцентних ламп, також пригнічуються деякі сторонні сигнали передачі.

Висновки по розділу

В розділі виконано розробку алгоритмів та програмного забезпечення базового та прикладного рівнів системи керування роботизованою платформою. Проблеми організації керування роботизованою платформою полягають в необхідності забезпечення одночасної обробки великого обсягу інформації й формування команд керування в реальному масштабі часу, моделювання процесів функціонування робота з метою розробки методів самонавчання систем керування на основі сенсорної інформації, що використовується у процесі функціонування робота.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4			
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата				
Розробник		Дюков В.О.			Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							57	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Огляд правової бази

Одна з найважливіших державних завдань – забезпечення безпеки та охорона здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці. За даними Всесвітньої організації з охорони праці, смертність від нещасних випадків посідає третє місце після серцево-судинних і онкологічних захворювань, зокрема працездатні особи віком до 40 років найчастіше стають жертвами. Аналіз причин смертності в Україні за 1994-1998 роки свідчить, що основною причиною смертності чоловіків у працездатному віці є нещасні випадки, отруєння та травми, які становлять 30–35% усіх смертей у цьому віці.

Охорона праці відіграє важливу роль як суспільний фактор, оскільки навіть значні трудові досягнення не можуть відшкодувати втрати здоров'я та життя людини. Крім соціальних аспектів, охорона праці має важливе економічне значення: підвищення продуктивності праці, зниження витрат на лікування, компенсації за важкі та шкідливі умови праці тощо. За оцінками фахівців Міжнародної організації праці, економічні витрати, пов'язані з нещасними випадками, становлять 1% світового валового національного продукту.

Згідно з даними МОП, кількість нещасних випадків на виробництві зростає і становить 125 млн. чоловік щороку, приблизно 220 тис. з них закінчуються смертельно. Рівень травматизму та професійних захворювань значно вищий у країнах, що розвиваються, порівняно з промислово розвиненими державами.

За висновками зарубіжних експертів, що працювали в Україні за програмою МОП, велика кількість смертельних нещасних випадків пояснюється п'ятьма основними причинами: недостатньою підготовкою робітників і роботодавців з охорони праці, відсутністю належного контролю за безпекою на робочих місцях, недостатнім забезпеченням працюючих

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

засобами індивідуального захисту, повільним впровадженням засобів колективної безпеки на підприємствах та застарілими засобами виробництва.

Правовою базою щодо охорони праці в Україні є Конституція, закони "Про охорону праці", "Про охорону здоров'я", "Про пожежну безпеку", "Про використання ядерної енергії та радіаційний захист", "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення", а також Кодекс законів про працю. Основним законодавчим документом в цій сфері є Закон "Про охорону праці", який поширюється на всі підприємства незалежно від форм власності, видів діяльності та працюючих на них громадян. Охорона праці – це комплекс заходів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

4.2. Аналіз небезпечних факторів

Аналіз нещасних випадків в промисловості, що супроводжуються тимчасовою втратою працездатності потерпілими, показує, що кількість травм, спричинених електрикою, є порівняно невеликою і становить 0,5–1% від загальної кількості нещасних випадків у промисловості. Проте варто зауважити, що з загальної кількості нещасних випадків із смертельним наслідком на виробництві 20–40% відбуваються через ураження електричним струмом, що перевищує інші причини. Зокрема, близько 80% смертельних уражень електричним струмом стаються в електроустановках з напругою до 1000 В.

Електротравма виникає в результаті дії електричного струму або електричної дуги і поділяється на два види: ті, що виникають під час проходження струму через тіло людини, і ті, що не пов'язані з проходженням струму через тіло. У другому випадку ураження людини відбуваються через опіки, засліплення електричною дугою, падіння тощо, що може призвести до серйозних механічних ушкоджень.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Електричний струм справляє термічну, електричну та механічну (динамічну) дії на тіло людини, при цьому виникають термічні опіки, розклад органічних рідин, механічні ушкодження тканин та біологічні зміни в організмі.

Таким чином, електротравми мають складну природу і можуть супроводжуватися різноманітними наслідками для організму людини, включаючи тимчасові або постійні ушкодження та втрати функцій.

Місцева електротравма виявляється очевидним порушенням щільності тканин тіла, включаючи клітки, яке виникає внаслідок впливу електричного струму або електричної дуги. Характерними проявами місцевих електротравм є електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічні пошкодження та електрофтальмія.

Електричні опіки виникають внаслідок ураження поверхні тіла електричною дугою або великими струмами, що проходять через організм. Вони поділяються на струмові, які виникають при проходженні струму через тіло людини, і дугові, які виникають при виникненні електричної дуги з температурою понад 3500 °С.

Електричний знак – це виражена пляма діаметром 1–5 мм сірого або блідо-жовтого кольору на поверхні шкіри людини, яка була піддана дії струму.

Металізація виникає через проникнення в шкіру частинок металу унаслідок його розбризкування та випаровування під дією струму. Це може статися при коротких замиканнях та інших ситуаціях, коли метал розплавляється та розсіюється у навколишньому середовищі.

Механічні ушкодження зазвичай виникають внаслідок різких судомних скорочень м'язів під впливом струму, що може призвести до розривів сухожиль, шкіри, кровоносних судин та нервової тканини, а також до переломів кісток.

Електрофтальмія – це запалення зовнішніх оболонок очей, яке виникає під впливом потужного потоку ультрафіолетових променів, зазвичай при

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

утворенні електричної дуги. Цей стан спостерігається приблизно у 3% потерпілих від струму.

Загальна електротравма, або електричний удар, відбувається, коли порушується нормальна функція життєво важливих органів та систем внаслідок ураження або загрози ураження всього організму. Це супроводжується судомним скороченням м'язів і може мати різні ступені важкості, від легких до критичних.

При організації роботи з використанням відеодисплейних терміналів (ВДТ) електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) та персональних електронних обчислювальних машин (ПЕОМ), деякі важливі аспекти забезпечення здоров'я та безпеки працівників включають встановлення внутрішньозмінних перерв для відпочинку. Це допомагає запобігти професійним захворюванням та зберегти працездатність.

Основні принципи внутрішньозмінних режимів праці та відпочинку включають такі аспекти:

Регулярні перерви: Робочий день має бути розбитий на періоди активної роботи та періоди відпочинку. Нетривалі перерви слід вводити до появи ознак стомлення та зниження працездатності.

Тривалість перерв: Тривалість перерв для відпочинку має бути достатньою для відновлення енергії та зниження напруження. Їх тривалість залежить від характеру роботи.

Професійні групи: Залежно від характеру роботи, працівники можуть бути розділені на різні професійні групи. Для кожної групи можуть бути встановлені відмінні режими перерв та відпочинку.

Характеристика професійних груп: У визначенні характеристики професійних груп слід враховувати інтенсивність роботи, фізичні та психологічні навантаження, час, витрачений на виконання різних видів завдань тощо.

Регламентовані перерви: Для кожної професійної групи встановлюються регламентовані перерви для відпочинку та відновлення.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Забезпечення безперервної роботи: У випадках, коли виробничі обставини не дозволяють використовувати регламентовані перерви, тривалість безперервної роботи з ВДТ обмежується.

Загальною метою є збереження здоров'я працівників, запобігання виникненню професійних захворювань та підтримка їх працездатності. Враховуючи характер роботи з використанням ЕОМ та ВДТ, встановлення ефективних режимів праці та відпочинку є важливим завданням для підприємства з точки зору охорони праці.

4.3. Розрахунок захисного заземлення

Визначаємо допустимий опір захисного заземлення:

Для електроустановок напругою до 1000 В допустимий опір $R_d = 4 \text{ Ом}$.

Визначаємо питомий опір ґрунту:

Для глини питомий опір $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Обираємо тип та розміри заземлювача, а також визначаємо опір розтікання одного заземлювача:

- стрижневий заземлювач, що розташований в землі;
- довжина стрижня $l = 5 \text{ м}$;
- діаметр стрижня $d = 0,016 \text{ м}$;
- глибина закладення стрижня від поверхні землі $t_0 = 0,6 \text{ м}$.

Визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача R_1 з урахуванням розрахункового питомого електричного опору ґрунту:

$$R_1 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l}{4t - l} \right),$$

де $t = t_0 + \frac{l}{2}$ – глибина закладення стрижня.

Отже, $t = 3,1 \text{ м}$, $R_1 = 10,926 \text{ Ом}$.

Якщо $R_1 > R_d$, визначаємо необхідну кількість паралельно з'єднаних заземлювачів:

$$n' = \frac{R_1}{\eta_B \cdot R_d},$$

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

де $\eta_B = 1$ – коефіцієнт використання заземлювачів.

Тоді $n' = 2.732$.

Отримане число заземлювачів округлюємо до цілого числа n ($n=3$) і за таблицею знаходимо фактичний коефіцієнт використання заземлювачів $\eta_\Phi = 0,76$.

Визначаємо фактичний опір вертикальних заземлювачів

$$R_{B\Phi} = \frac{R_1}{n \cdot \eta_\Phi}. \quad (4.1)$$

Розрахунок за формулою (4.1) дає $R_{B\Phi} = 4,792$ Ом.

Для зв'язку вертикальних заземлювачів використаємо з'єднуючу смугу (протяжний заземлювач з діаметром перетину d , що розташований в землі). Довжину смуги визначаємо за формулою:

$$l_C = 1,05 \cdot a \cdot n,$$

де a – відстань між електродами, що приймається ($1 \div 3$) довжини електрода вертикального (у нашому випадку $a = 5$).

Тоді $l_C = 15,75$ м.

Опір смуги дорівнює:

$$R_{1C} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l_C} \ln \frac{l_C^2}{d \cdot t_0} \quad (4.2)$$

За виразом (4.2) маємо $R_{1C} = 5,133$ Ом.

Опір смуги з урахуванням коефіцієнту використання дорівнює:

$$R_C = \frac{R_{1C}}{\eta_\Gamma},$$

де $\eta_\Gamma = 0.79$ – коефіцієнт використання горизонтального заземлювача.

Тоді $R_C = 6,498$ Ом.

Фактичний опір заземлювача розраховуємо за наступною формулою:

$$R_3 = \frac{R_{B\Phi} \cdot R_C}{R_{B\Phi} + R_C}.$$

Отже, $R_3 = 2,758$ Ом. Оскільки $R_3 < R_d$ то розрахунок вважається закінченим.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4.4. Системи засобів і заходів безпечної експлуатації електроустановок

У електроустановках застосовуються різноманітні заходи для забезпечення безпеки персоналу. Ці заходи можна умовно поділити на дві групи: ті, що забезпечують безпеку під час нормального режиму роботи, і ті, що забезпечують безпеку під час аварійного режиму.

Електрична ізоляція: Цей захист полягає в використанні шару діелектрика або конструкції з діелектричного матеріалу для відділення струмоведучих частин електрообладнання. Це запобігає протіканню струму через них.

Огороджувальні пристрої: Для струмоведучих частин під напругою понад 1000 В можуть бути встановлені стаціонарні огорожувальні пристрої, які поділяються на суцільні та сітчасті.

Блокування: Цей захист використовується для запобігання неправильним або небезпечним для людини діям. Електричне блокування, наприклад, дозволяє вимикати напругу при відкриванні дверей огорожень або корпусів.

Розташування струмоведучих частин: Струмоведучі частини можуть бути розміщені на недосяжній висоті або в недоступному місці для запобігання ненавмисного дотику до них.

Низькі напруги: При напрузі до 42 В струм, який проходить через тіло людини, безпечний. Для захисту від ураження електричним струмом при низьких напругах можуть використовуватися заземлення та ізоляція.

Вирівнювання потенціалів: Цей захист передбачає зниження напруги між точками електричної ланки, що можуть бути торкнуті одночасно людиною.

Захисне заземлення: Забезпечує зниження до безпечних значень напруг дотику та кроку, що зумовлені замиканням на корпус.

Захисне вимкнення: Цей захист передбачає автоматичне вимкнення електроустановки при виникненні небезпеки ураження струмом.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Електрозахисні засоби: Ці засоби, такі як ізолювальні електрозахисні засоби та інші, призначені для захисту працівників від ураження електричним струмом та інших небезпечних факторів.

Дотримання цих заходів допомагає забезпечити безпеку в електроустановках та уникнути нещасних випадків.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи була розроблена мікропроцесорна система управління мобільним роботом-платформою. Також були створені алгоритми управління та відповідне програмне забезпечення.

Основні результати виконання магістерської кваліфікаційної роботи включають:

- проведення аналізу принципів створення роботизованих платформ, формулювання вимог до апаратних засобів системи управління та розробка структурної схеми системи, а також визначення складу датчиків для забезпечення необхідної функціональності;
- на основі аналізу функціональних можливостей платформи були сформульовані вимоги до ПЗ нижнього та верхнього рівнів;
- виконання кінематичного аналізу платформи, в результаті якого було отримано рівняння руху для синтезу цифрового регулятора;
- розробка структурних, принципів, друкованих та монтажних схем системи управління роботизованою платформою, а також виконання розрахунків елементів схеми та моделювання роботи системи управління;
- виготовлення функціонуючого зразка роботизованої платформи та мікропроцесорної системи управління;
- розробка алгоритмів програм для демонстрації роботи платформи, включаючи стеження за ціллю, виявлення перешкод, дистанційне управління платформою та інші функції.

Було підготовлено розділ з охорони праці.

Результати роботи апробовано на Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Автоматика та електротехніка», 20 – 21 листопада 2024 року, м. Миколаїв, НУК ім. адм. Макарова. Опубліковано тези доповіді.

Завдання, поставлене для магістерської кваліфікаційної роботи, виконано у повному обсязі.

					171.6321М.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бенжамін, Л. С. Мобільні роботизовані системи / Л. С. Бенжамін. – Київ : Видавництво НТУУ «КПІ», 2018. – 320 с.
2. Губанов, А. В. Основи робототехніки / А. В. Губанов, О. М. Сліпченко. – Харків : ХНУРЕ, 2019. – 240 с.
3. Гринчук, В. Г. Основи проектування роботизованих систем / В. Г. Гринчук. – Львів : Видавництво ЛНУ ім. І. Франка, 2020. – 280 с.
4. Козлов, В. С. Мобільні роботи: теорія та практика / В. С. Козлов. – Київ : Освіта, 2021. – 352 с.
5. Левченко, В. О. Інтелектуальні системи управління мобільними роботами / В. О. Левченко. – Дніпро : ДНУ, 2022. – 300 с.
6. Мельник, О. П. Основи програмування мобільних роботів / О. П. Мельник. – Одеса : ОНПУ, 2020. – 220 с.
7. Мороз, С. Ю. Технології робототехніки / С. Ю. Мороз. – Харків : ХНУ, 2018. – 260 с.
8. Пономаренко, В. І. Мобільні роботизовані платформи: проектування та експлуатація / В. І. Пономаренко. – Київ : Наукова думка, 2019. – 280 с.
9. Рудько, І. В. Алгоритми управління мобільними роботами / І. В. Рудько. – Львів : Видавництво ЛНУ, 2021. – 240 с.
10. Соловйов, В. В. Системи управління для мобільних роботів / В. В. Соловйов. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 310 с.
11. Тищенко, Д. О. Основи роботизованих систем: теорія та практика / Д. О. Тищенко. – Київ : Техніка, 2020. – 330 с.
12. Устименко, А. О. Мобільні платформи: техніка та технології / А. О. Устименко. – Черкаси : ЧНУ, 2019. – 250 с.
13. Федоров, А. С. Основи робототехніки та автоматизації / А. С. Федоров. – Харків : ХДТУ, 2018. – 260 с.
14. Шевченко, М. В. Програмування роботизованих систем / М. В. Шевченко. – Одеса : ОНУ, 2021. – 275 с.

					171.6321М.КР.ПЗ.Література	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		67

ДОДАТОК А

Текст програми керування мобільною чотирьохколісною платформою

```
#include "iom162v.h"
#include "macros.h"
#include "math.h"

// Визначення макросів для управління моторами
#define MOTOR1_FORWARD() PORTB |= 0b00010000
#define MOTOR1_BACKWARD() PORTB |= 0b00100000
#define MOTOR1_STOP() PORTB &= ~0b00110000

#define MOTOR2_BACKWARD() PORTA |= 0b00000001
#define MOTOR2_FORWARD() PORTA |= 0b00000010
#define MOTOR2_STOP() PORTA &= ~0b00000011

#define MOTOR3_BACKWARD() PORTB |= 0b01000000
#define MOTOR3_FORWARD() PORTB |= 0b10000000
#define MOTOR3_STOP() PORTB &= ~0b11000000

#define MOTOR4_BACKWARD() PORTA |= 0b00000100
#define MOTOR4_FORWARD() PORTA |= 0b00001000
#define MOTOR4_STOP() PORTA &= ~0b00001100

// Визначення макросів для управління світлодіодами
#define LED_ACTIVATE() PORTD &= ~0b01000000
#define LED_DEACTIVATE() PORTD |= 0b01000000

// Визначення макросів для управління I2C
#define SET_SDA() PORTD |= 0b00010000
#define SET_SCL() PORTD |= 0b00100000
#define RESET_SDA() PORTD &= ~0b00010000
#define RESET_SCL() PORTD &= ~0b00100000

// Визначення макросів для управління світлофором
```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

#define RED_LED_ACTIVATE() PORTC |= 0x01
#define RED_LED_DEACTIVATE() PORTC &= ~0x01
#define YELLOW_LED_ACTIVATE() PORTC |= 0x02
#define YELLOW_LED_DEACTIVATE() PORTC &= ~0x02
#define GREEN_LED_ACTIVATE() PORTC |= 0x04
#define GREEN_LED_DEACTIVATE() PORTC &= ~0x04

// Оголошення функцій руху
void MoveNorth(void);
void MoveNorthEast(void);
void MoveNorthWest(void);
void MoveEast(void);
void MoveWest(void);
void MoveSouth(void);
void MoveSouthEast(void);
void MoveSouthWest(void);
void StopMotors(void);
void RotateClockwise(void);
void RotateCounterClockwise(void);
void Delay(int ms);
void DelayMicroseconds(int us);

// Функція затримки в мілісекундах
void Delay(int ms)
{
    int outer, inner;
    for (outer = 0; outer < ms; outer++)
    {
        for (inner = 0; inner < 970; inner++) NOP();
    }
}

// Функції руху
void MoveNorth()
{
    MOTOR1_FORWARD();

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

        MOTOR2_FORWARD();
        MOTOR3_FORWARD();
        MOTOR4_FORWARD();
    }

void MoveSouth()
{
    MOTOR1_BACKWARD();
    MOTOR2_BACKWARD();
    MOTOR3_BACKWARD();
    MOTOR4_BACKWARD();
}

void MoveWest()
{
    MOTOR1_BACKWARD();
    MOTOR2_FORWARD();
    MOTOR3_FORWARD();
    MOTOR4_BACKWARD();
}

void MoveEast()
{
    MOTOR1_FORWARD();
    MOTOR2_BACKWARD();
    MOTOR3_BACKWARD();
    MOTOR4_FORWARD();
}

void MoveNorthWest()
{
    MOTOR2_FORWARD();
    MOTOR3_FORWARD();
}

void MoveNorthEast()

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		


```

{
    MOTOR1_FORWARD();
    MOTOR4_FORWARD();
}

void MoveSouthWest()
{
    MOTOR1_BACKWARD();
    MOTOR4_BACKWARD();
}

void MoveSouthEast()
{
    MOTOR2_BACKWARD();
    MOTOR3_BACKWARD();
}

void RotateClockwise()
{
    MOTOR1_FORWARD();
    MOTOR2_BACKWARD();
    MOTOR3_FORWARD();
    MOTOR4_BACKWARD();
}

void RotateCounterClockwise()
{
    MOTOR1_BACKWARD();
    MOTOR2_FORWARD();
    MOTOR3_BACKWARD();
    MOTOR4_FORWARD();
}

void StopMotors()
{
    PORTB &= ~0b11110000; // Зупинка моторів 1 і 3

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

        PORTA &= ~0b00001111; // Зупинка моторів 2 і 4
    }

    // Функція затримки в мікросекундах
    void DelayMicroseconds(int us)
    {
        int counter;
        for (counter = 0; counter < 20; counter++);
    }

    // Ініціалізація мікроконтролера
    void InitCPU()
    {
        DDRA = 0b00001111; // Налаштування порту А як виходу
        DDRB = 0b11110000; // Налаштування порту В як виходу
        DDRC = 0b00000111; // Налаштування порту С як виходу
        DDRD = 0b01000000; // Налаштування порту D як виходу
        DDRE = 0;           // Порт Е як вхід

        LED_DEACTIVATE(); // Вимкнення світлодіода

        // Обнулення змінних
        int m1 = 0;
        int m2 = 0;
        int m3 = 0;
        int m4 = 0;

        int m1_val = 0;
        int m2_val = 0;
        int m3_val = 0;
        int m4_val = 0;
    }

    // Головна функція
    void main()
    {

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

InitCPU(); // Ініціалізація мікроконтролера
Delay(1000); // Затримка на 1 секунду

// Вимкнення світлодіодів
RED_LED_DEACTIVATE();
GREEN_LED_DEACTIVATE();
YELLOW_LED_DEACTIVATE();

while (1)
{
    MoveNorth();
    Delay(2000); // Затримка 2 секунди
    MoveEast();
    Delay(2000); // Затримка 2 секунди
    MoveSouth();
    Delay(2000); // Затримка 2 секунди
    MoveWest();
    Delay(2000); // Затримка 2 секунди
    RotateClockwise();
    Delay(2000); // Затримка 2 секунди
    RotateCounterClockwise();
    Delay(2000); // Затримка 2 секунди
}
}

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

Текст програми керування мобільною двохколісною платформою

```
#include "iom16v.h"
#include "macros.h"

#define MOTOR1_STOP() PORTA &= ~0b00110000
#define MOTOR1_FORWARD() PORTA |= 0b00010000
#define MOTOR1_BACKWARD() PORTA |= 0b00100000

#define MOTOR2_STOP() PORTB &= ~0b11000000
#define MOTOR2_FORWARD() PORTB |= 0b10000000
#define MOTOR2_BACKWARD() PORTB |= 0b01000000

#define MOTOR3_STOP() PORTA &= ~0b11000000
#define MOTOR3_FORWARD() PORTA |= 0b01000000
#define MOTOR3_BACKWARD() PORTA |= 0b10000000

#define BUZZER_ACTIVATE() PORTC |= 0x02
#define BUZZER_DEACTIVATE() PORTC &= ~0x02

#define LED1_ACTIVATE() PORTC |= 0b00000001
#define LED1_DEACTIVATE() PORTC &= ~0b00000001

#define LED2_ACTIVATE() PORTD |= 0b10000000
#define LED2_DEACTIVATE() PORTD &= ~0b10000000

#define LED3_ACTIVATE() PORTD |= 0b00100000
#define LED3_DEACTIVATE() PORTD &= ~0b00100000

#define LED4_ACTIVATE() PORTD |= 0b00010000
#define LED4_DEACTIVATE() PORTD &= ~0b00010000

#define LED5_ACTIVATE() PORTB |= 0b00000010
#define LED5_DEACTIVATE() PORTB &= ~0b00000010
```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

#define LED6_ACTIVATE() PORTA |= 0b00000010
#define LED6_DEACTIVATE() PORTA &= ~0b00000010

#define MAIN_LED_ON() PORTC &= ~0b01000000
#define MAIN_LED_OFF() PORTC |= 0b01000000
#define TOGGLE_MAIN_LED() PORTC ^= 0b01000000
void MoveNorth()
{
    MOTOR1_FORWARD();
    MOTOR2_FORWARD();
    MOTOR3_STOP();
}

void MoveSouth()
{
    MOTOR1_BACKWARD();
    MOTOR2_BACKWARD();
    MOTOR3_STOP();
}

void MoveWest()
{
    MOTOR1_FORWARD();
    MOTOR2_FORWARD();
    MOTOR3_BACKWARD();
}

void MoveEast()
{
    MOTOR1_FORWARD();
    MOTOR2_FORWARD();
    MOTOR3_FORWARD();
}

void MoveNorthWest()

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

{
    MOTOR2_FORWARD();
    MOTOR3_FORWARD();
}

void MoveNorthEast()
{
    MOTOR1_FORWARD();
    MOTOR3_BACKWARD();
}

void MoveSouthWest()
{
    MOTOR1_BACKWARD();
    MOTOR3_FORWARD();
}

void MoveSouthEast()
{
    MOTOR2_BACKWARD();
    MOTOR3_BACKWARD();
}

void RotateClockwise()
{
    MOTOR1_FORWARD();
    MOTOR2_BACKWARD();
    MOTOR3_FORWARD();
}

void RotateCounterClockwise()
{
    MOTOR1_BACKWARD();
    MOTOR2_FORWARD();
    MOTOR3_BACKWARD();
}

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

void StopAllMotors()
{
    PORTB &= ~0b11000000;
    PORTA &= ~0b11110000;
}

void Delay(int milliseconds)
{
    int counter1, counter2;
    for(counter1 = 0; counter1 < milliseconds; counter1++)
    {
        for(counter2 = 0; counter2 < 970; counter2++) NOP();
    }
}

void Pause(int milliseconds)
{
    int counter1, counter2;
    for(counter1 = 0; counter1 < milliseconds; counter1++)
    {
        for(counter2 = 0; counter2 < 50; counter2++) NOP();
    }
}

void InitializeCPU()
{
    DDRA = 0b11110010;
    DDRB = 0b11010010;
    DDRC = 0b01000011;
    DDRD = 0b11110000;

    PORTA = 0;
    PORTB = 0;
    PORTC = 0;
    PORTD = 0;
}

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

    MAIN_LED_OFF();
}

void main()
{
    char lineFollowingMode = 1;
    char motor3State = 0;
    char motorsEnabled = 1;

    InitializeCPU();

    while(1)
    {
        if(lineFollowingMode == 1)
        {
            if(((PIND & 0b00000100) != 0) && ((PIND &
0b000001000) == 0))
            {
                if(motor3State == 2)
                {
                    MOTOR3_STOP();
                    Delay(50);
                }
                if(motorsEnabled == 1) MOTOR2_STOP();
                MOTOR3_FORWARD();
                motor3State = 1;
            }
            else if(((PIND & 0b00001000) != 0) && ((PIND &
0b00000100) == 0))
            {
                if(motor3State == 1)
                {
                    MOTOR3_STOP();
                    Delay(50);
                }
                if(motorsEnabled == 1) MOTOR1_STOP();
            }
        }
    }
}

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		


```

        MOTOR3_BACKWARD();
        motor3State = 2;
    }
    else if((((PIND & 0b00000100) != 0) && ((PIND &
0b00001000) != 0)) ||
            (((PIND & 0b00000100) == 0) && ((PIND &
0b00001000) == 0)))
    {
        MOTOR3_STOP();
        if(motorsEnabled == 1) MoveNorth();
        motor3State = 0;
    }
}
}
}

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		