

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Факультет систем управління літальними апаратами
Кафедра систем управління літальних апаратів

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Розробка і дослідження системи балансування колісного робота
із керуванням через мобільний додаток

ХАІ.301.362.24О.151.00183020 ПЗ

Виконав: студент 6 курсу, групи 362
Спеціальності

Галузь знань 15 «Автоматизація та
приладобудування»

151 «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма
«Інженерія мобільних додатків»

Шульга А.В.

(прізвище та ініціали студента)

Керівник Немшилов Ю.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Штомпель М.А.

(прізвище та ініціали)

м. Харків – 2024 рік

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальними апаратами
Кафедра систем управління літальних апаратів
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність Автоматизація та комп'ютерно - інтегровані технології
(шифр і назва)
Освітня програма Інженерія мобільних додатків

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
систем управління ЛА
к.т.н., доц. К. Ю. Дергачов

“ _____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Шульзі Андрію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка і дослідження системи балансування колісного робота із керуванням через мобільний додаток

керівник роботи Немшилов Ю.О. , доцент каф. 301,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 06.11.2023 року №1968-уч

2. Строк подання студентом роботи: 21.12.2023 року

3. Вихідні дані до роботи: математична модель колісного робота, вимоги до функціонування системи, збурювальні впливи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Розглянути існуючі конструкції колісних роботів; розглянути типи коліс колісних роботів; проаналізувати теоретичні основи і принцип управління двоколісним роботом-балансиром; розглянути сферу застосування і практичне застосування двоколісних роботів-балансирів; розробити креслення, обрати необхідні компоненти для реалізації системи керування, проаналізувати їх характеристики; розробити математичну модель

досліджуваного об'єкту; отримати перехідні характеристики за каналами керування; синтезувати систему керування і забезпечити мінімально необхідне завдання керування (компенсація відхилення не менше 30° від початкового положення).

5. Перелік графічного матеріалу:

10 слайдів формату А3 для презентації та захисту роботи(див. додаток С)

Дата видачі завдання 12.09.2023 року

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стан проблеми	доц..к.т.н Немшилов Ю.О	12.09.23	08.01.24
Аналіз і синтез СУ	доц..к.т.н Немшилов Ю.О	12.09.23	08.01.24
Конструкт. Частина	доц..к.т.н Немшилов Ю.О	12.09.23	08.01.24
Дослідницька частина	доц..к.т.н Джулгаков В.Г	12.09.23	08.01.24
Експеримент. Частина	доц..к.т.н Немшилов Ю.О	12.09.23	08.01.24
Економічне обґрунтування	доц..к.т.н Немшилов Ю.О	12.09.23	08.01.24

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Початок переддипломної практики	01.09.2023	
2.	Формулювання теми роботи. Розробка технічного завдання	12.09.2023	
3.	Математичний опис системи управління. Аналіз і синтез системи управління. Проведення експериментальних досліджень	20.10.2023	Залік з переддипломної практики
4.	Конструкторська частина роботи. Дослідницька частина роботи. Експериментально-практична частина. Економічне обґрунтування розробки. Розробка питань охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях	15.12.2023	
5.	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки і графічного матеріалу	08.01.2024	
6.	Попередній захист роботи. Рецензування роботи	12.01.2024	
7.	Захист роботи	16.01.2024	

Здобувач _____ Андрій ШУЛЬГА

Керівник роботи _____ Юрій НЕМШИЛОВ

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Кафедра систем управління лтальних апаратів (№301)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідуючий кафедрою
к.т.н., с.н.с., доцент
_____ Костянтин ДЕРГАЧОВ
«_____» _____ 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломне проектування

Шульги Андрій Володимировича

1 Тема роботи: Розробка і дослідження системи балансування колісного робота із керуванням через мобільний додаток

затверджена наказом по університету від «06» листопада 2023 р. №1968-уч.

2 Строк здачі студентом закінченої роботи «10» січня 2024 р.

3 Область застосування розробки: системи керування колісним роботом.

4 Початкові дані для розроблювальної системи

4.1 Призначення і мета створення системи: забезпечення автоматизованого здатності рухатися і утримувати стабільну вертикальну позицію без додаткової опори.

4.2 Загальні відомості: ознайомлення з рядом методів які використовуються для розробки самобалансуючого робота, моніторинг та управління в режимі реального часу.

5 Технічні вимоги до каналів системи управління

5.1 Питання, що підлягають розробці: Розробка двохколісного самобалансуючого робота, який повин забезпечувати автоматизоване утримання стабільної вертикальної позиції без додаткової опори.

5.2 Вимоги до структури й функціонування системи: Вимоги до структурного функціонування системи балансування самобалансуючого робота включають

стабільність, швидкодію, маневреність, адаптивність, енергоефективність, системи керування, безпеку, витривалість та вартість.

5.3 Вимоги до показників якості системи : система керування має забезпечувати компенсацію відхилення не менше 30°;

5.4 Вимоги до конфігурації обчислювальної техніки: 8-бітний процесор з частотою від 16 МГц, оперативна пам'ять від 32 КБ.

6 Умови експлуатації системи

6.1 Вимоги до програмної та інформаційної сумісності: кросплатформенність.

6.2 Вимоги до зовнішніх збурень: температура середовища (-10°C...+40°C), вологість середовища 20-80%, хімічно активні компоненти відсутні.

6.3 Характер роботи системи (безперервної, циклічний, одноразового дії): безперервний.

7 Обсяг виконуваних розроблювачем робіт

7.1 Етапи проведення роботи: 1) вибір теми; 2) розробка ТЗ на проектування ПЗ; 3) Оцінка стану проблеми, аналіз ТЗ; 4) Опис системи. Дослідження системи; 5) проектування ПЗ; 6) експериментальна частина; 7) оформлення записки; 8) захист дипломного проекту

7.2 Обсяг розробки по кожному етапу: технічне завдання (3); реферат (1); зміст(2); список умовних позначень (1); вступ (2); предпроектний аналіз технологічного процесу балансування на базі балансуєчого робота (12); автоматизація процесу балансування (19); математичне моделювання самобалансуєчого робота (9); синтез системи керування(9) мобільний додаток для керування двохколісним самобалансуєчим роботом (4); економічна частина і реалізація стартапу (14); висновок (1); список використаних джерел (1).

8 Вимоги до захисту інформації й надійності: Не передбачені

9 Порядок контролю й приймання системи: система повинна досягати максимальної точності вимірювання даних.

10 Дослідницька частина: опис програми, вирішення питання швидкості роботи системи для обробки потокового відео з вебкамери.

11 Експериментально-практична частина: проведення тестування системи, знаходження похибок.

12 Економічна частина

12.1 Розробити (розрахувати, одержати): розрахувати собівартість і ціну розробки системи;

12.2 Умови і вимоги: річна програма випуску не менше 140 штук;

12.3 Очікуваний результат: виробництво даної системи повинно виходити на точку беззбитковості.

13 Перелік графічних матеріалів із зазначенням форматів: 11 слайдів формату А3 для презентації та захисту роботи(див. додаток С).

Керівник проектування
Немшилов Ю.О.
 (П.І.Б.)

Прийняв до виконання
Шульга А.В.
 (П.І.Б. студента)

« » _____ 2023 р.

« » _____ 2023 р.

Погоджено з питань:

проектування
Немшилов Ю.О.
 (П.І.Б.)

дослідницької частини
Джулгаков В.Г.
 (П.І.Б.)

« » _____ 2023 р.

« » _____ 2023 р.

економіки
Немшилов Ю.О.
 (П.І.Б.)

« » _____ 2023 р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 90 ст. 53 рис. 17 табл. 2 додатків, 15 джерелів.

Тема роботи: Розробка і дослідження системи балансування колісного робота із керуванням через мобільний додаток

Мета роботи: Забезпечення автоматизованого здатності рухатися і утримувати стабільну вертикальну позицію без додаткової опори.

Предмет роботи: Розробка і дослідження системи балансування двохколісного самобалансуючого робота.

У випускній роботі була досліджена система управління

Результатом роботи система балансування для двохколісного самобалансуючого робота, який можна використовувати в різних галузях.

РОБОТ-БАЛАНСИР, САМОБАЛАНСУЮЧИЙ РОБОТ, ПЕРЕВЕРНУТИЙ МАЯТНИК, ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ, ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ, РЕГУЛЯТОР, ПІД-РЕГУЛЯТОР, АДАПТИВНИЙ РЕГУЛЯТОР, MATLAB, SIMULINK, PIDTUNE, СТАРТАП-ПРОЕКТ.

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- ПК – персональний комп'ютер;
ПЗ – програмне забезпечення;
СУ – система управління;
СБ – система балансування
СР – самобалансуючий робот
МД – мобільний додаток.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	1
ВСТУП	11
1 ПЕРЕДПРОЄКТНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ БАЛАНСУВАННЯ НА БАЗІ БАЛАНСУЮЧОГО РОБОТА	13
1.1 Загальна характеристика проблеми та наявні підходи до її вирішення	13
1.2 Патентний пошук	14
1.3 Постановка задач проєктування	24
1.4 Висновки	25
2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ БАЛАНСУВАННЯ	26
2.1 Опис схеми автоматизації процесу балансування	26
2.2 Опис комутаційної схеми керування самобалансуючого робота	27
2.3. Вибір технічних засобів для реалізації системи керування	29
2.3.1 Вибір дитчику положення	29
2.3.2 Мікроконтроллер	31
2.3.3 Драйвер моторів	33
2.3.4 Двигуни постійного струму	35
2.4 Розробка корпусу для самобалансуючого робота	36
2.5 Висновки	41
3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ САМАБАЛАНСУЮЧОГО РОБОТА	42
3.1 Дослідження двоколісного самобалансуючого робота як об'єкту математичного моделювання	42
3.2 Управління перевернутим маятником	43
3.3 Виведення математичної моделі самобаласуючого робота	45
3.4 Динамічні характеристики	49
3.5 Висновок	51
4. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	52
4.1 Синтез системи керування за допомогою ПД-регулятора	52

	10
4.2 Синтез системи керування з адаптивним ПД-регулятором	58
4.3 Висновки	61
5 МОБІЛЬНИЙ ДОДАТОК ДЛЯ КЕРУВАННЯ ДВОХКОЛІСНИМ САМОБАЛАНСУЮЧИМ РОБОТОМ	62
5.1 Засоби реалізації.....	62
5.2 Аналіз можливостей та функцій.....	62
5.3 Приклад реалізації.....	65
5.4 Висновок	66
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА І РЕАЛІЗАЦІЯ СТАРТАПУ	67
6.1 Стартап проєкту двохколісного самобалансуючого робота	67
6.2 Економічне обґрунтування	75
6.2.1 Мета економічної частини	75
6.2.2 Трудомісткість виконання роботи.....	75
6.2.3 Розрахунок витрат.....	76
6.2.4 Розрахунок договірної ціни роботи	80
6.3 Висновки	80
ВИСНОВКИ.....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	83
ДОДАТОК А.....	85
ДОДАТОК Б	86

ВСТУП

Людство завжди прагнуло до збільшення продуктивності та ефективності у різних сферах діяльності. З розвитком технологій, та на сьогоднішній день, невід'ємним напрямом, який розвивається великими темпами, стали – роботи, різних модифікацій та для багатьох напрямків діяльності.

Один із найпоширеніших видів роботів, це колісні роботи, різних модифікацій та призначення, серед яких є – роботи-балансири. Вони використовуються для різних задач.

Колісні роботи стали невід'ємною частиною нашого сучасного життя, насамперед завдяки кільком важливим людським якостям та потребам. Серед них основні фактори:

По-перше, постійна потреба у підвищенні ефективності та автоматизації. Бажання зробити процеси швидшими та ефективнішими призвело до створення колісних роботів, які ефективно переміщують матеріали, обладнання та товари, скорочуючи час та ресурси, необхідні для виконання різних завдань.

Гнучкість та універсальність також відіграли ключову роль у розвитку таких роботів. Їх здатність пересуватися різними поверхнями робить їх ідеальними для використання в різноманітних областях, від промислових підприємств до побутових завдань.

Зі зростанням міського населення та розвитком транспортної інфраструктури зростає потреба в ефективних засобах транспортування. Роботи надають компактне та маневрене рішення для транспортування товарів та матеріалів у різних умовах, підкреслюючи тим самим їх важливість у галузі логістики та транспорту.

Безпека та зручність використання є важливим аспектом роботів. Їхня простота в управлінні робить їх доступними для широкого кола користувачів, включаючи промислові підприємства, логістичні компанії, а також звичайних споживачів.

Можна відзначити, що роботи вже відіграють ключову роль у сучасному суспільстві, забезпечуючи ефективність, мобільність та універсальність у різних галузях. Вони стали невід'ємною частиною промисловості, логістики, транспорту, побутових та розважальних сфер, підкреслюючи важливість автоматизації та використання передових технологій.

Однак, незважаючи на всі переваги та вже наявний рівень розвідку, важливо продовжувати дослідження та розробки в цій галузі з огляду на швидкий темп технологічного розвитку. Таким чином можна забезпечити ширше та поглиблене використання роботів.

1 ПРЕДПРОЕКТНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ БАЛАНСУВАННЯ НА БАЗІ БАЛАНСУЮЧОГО РОБОТА

1.1 Загальна характеристика проблеми та наявні підходи до її вирішення

Колісні мобільні роботи дуже корисні в різних сферах застосування, оскільки вони швидші за людиноподібних роботів, можуть легко змінювати напрямок руху і мають кращу стійкість у вертикальному положенні. Існують різні конструкції колісних мобільних роботів.

При проектуванні автономних мобільних роботів проблеми включають вибір типу і розташування коліс, а також визначення кінематичних параметрів. При цьому цілі проектування повинні враховувати конкретне середовище і завдання, а також витрати на розробку і експлуатацію робота.

Колісні роботи можуть легко змінювати своє положення на площині завдяки колесам. Рухи колісних роботів легко реалізувати, а управління рухами колісних роботів надзвичайно просте, а це означає, що витрати на їх виробництво надзвичайно низькі. Колісні роботи – найпоширеніший тип [6] роботів, мають багато реалізацій: одноколійні роботи, роботи-м'ячі, двоколійні, триколійні, чотириколійні та багатоколійні роботи.

Колісні роботи є найпопулярнішими серед споживачів завдяки своїй низькій вартості та простоті. За конструкцією вони можуть мати будь-яку кількість коліс; трьох коліс достатньо для статичної та динамічної рівноваги. Для покращення стійкості можна додати додаткові колеса. Для подальшого балансування можуть використовуватися такі механізми, як підвіска, в тому числі незалежна, щоб забезпечити контакт усіх коліс з нерівними поверхнями. У порівнянні з людиноподібними роботами, колісні конструкції роботів мають перевагу простих механізмів пересування і можуть використовувати різні способи пересування в залежності від кількості коліс.

Двоколійні роботи використовують систему диференціального керування для регулювання свого шляху, яка також може бути використана для три- і чотириколійних роботів. Триколійні роботи також можуть використовувати той самий метод керування, що й чотириколійні. Багатоколійні роботи можуть використовувати як диференціальне керування, так і автомобільні методи.

Колісні роботи ідеально підходять для виконання простих завдань, таких як переміщення об'єктів або розширення зони досяжності маніпуляторів промислових роботів. Це прості, економічно ефективні механізми, досить важкі,

щоб нести важке обладнання та акумулятори, і мають тривалий час роботи. З іншого боку, самобалансуючі роботи мають проблеми з керуванням, але й значні переваги, що призводить до появи цікавих ідей та технологічних рішень.

В додатку А показаний результат патентного пошуку та вказані готові реалізації самобалансуючого роботу.

1.2 Патентний пошук

Етап аналізу патентів передбачає ознайомлення та оцінку існуючих методів вирішення розглядуваної проблематичної ситуації. Під час цього процесу вивчаються особливості[7], область застосування, недоліки та переваги кожного з методів у порівнянні один з одним. Проведений аналіз патентів сприяє кращому розумінню суті управлінської проблеми та дозволяє вибрати найбільш відповідний для конкретної задачі підхід. У додатку А представлена таблиця, яка містить інформацію про розглянуті патенти. Є основні види роботів я поділяються за будовою.

Одноколісні роботи, як правило, нестабільні без активного динамічного керування через необхідність постійно підтримувати баланс тіла. Типовим прикладом є одноколісний велосипед, зображений на рис. 1.1. Одним з варіантів конструкції одноколісного велосипеда є використання сферичних коліс. Такі роботи мають ряд переваг, серед яких здатність зберігати рівновагу в будь-якому напрямку, висока маневреність і низький опір коченню. Приклад робота зі сферичними колесами показаний на рис. 1.2. Одноколісні роботи рідко використовуються на практиці, оскільки вони потребують додаткових механізмів для забезпечення стійкості, а їх керування практично неможливо оцінити теоретичними розрахунками.



Рисунок 1.1 - Одноколісний робот зі звичайним колесом

Двоколісні роботи, вони поділяються на два типи двоколісних роботів: послідовно-колісні, у яких одне з коліс обертається, як показано на рис. 1.3, і паралельно-колісні, як показано на рис. 1.4. Динамічна стійкість робота з послідовними колесами (або велосипеда) зростає пропорційно його швидкості, тому механізм балансування не завжди потрібен.

Перевага такого підходу полягає в тому, що ширина робота може бути значно зменшена порівняно з іншими альтернативами. Однак використання велосипедного типу зустрічається рідко через його нездатність досягти стабільного положення на місці.

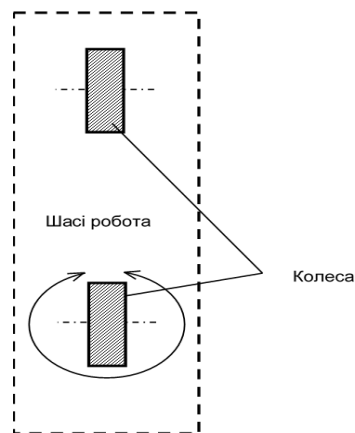


Рисунок 1.3. - Двоколісний робот з послідовним розташуванням колес

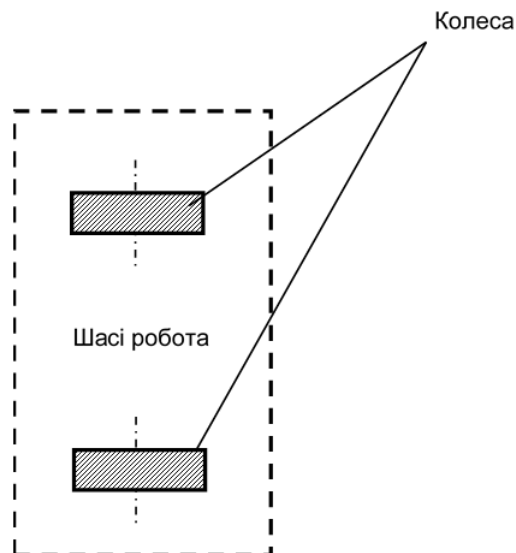


Рисунок 1.4. - Двоколісний робот з паралельним розташуванням колес

Один з таких двоколісних роботів мав комерційний успіх у компанії Segway. На рис. 1.5 показано двоколісного робота, який використовується як особистий транспортний засіб.



Рисунок 1.5 – Двоколісний балансуючий робот

Двоколісні мобільні роботи більш мобільні, володіють здатністю обертатися в обмеженому просторі і можуть рухатися швидше.

Основна функція двоколісних мобільних роботів - забезпечення платформи для пересування. Однак рух коліс має використовуватися для підтримки стійкості. Якщо робот зазнає несподіваного удару [13], він зберігає рівновагу за рахунок руху коліс і нахилу корпусу. Якщо удар буде сильним, робот може втратити стійкість.

Однак рухи, необхідні для підтримки рівноваги, можуть поставити під загрозу безпеку робота. Для розв'язання цих проблем можна розробити модулі керування крутним моментом на основі гіроскопів, які покращують стійкість і мінімізують рухи. Коли робот падає, датчик удару оцінює силу удару, а гіроскопічний контролер компенсує її. За допомогою гіроскопа робот може зберігати рівновагу, здійснюючи лише невеликі рухи коліс. Крім того, статична стійкість досягається за рахунок точного позиціонування центру ваги вздовж осей коліс.

Для підвищення стійкості батарея робота розташовується безпосередньо під тулубом. Однак у більшості випадків використовується динамічне управління балансом, аналогічне управлінню перевернутим маятником, що дає змогу роботу бути значно меншим, ніж роботи з великою кількістю коліс.

Триколісні роботи статично стійкі, мають просту конструкцію і є однією з найпоширеніших конфігурацій колісних роботів. Існує значна варіативність конструкції, зумовлена різними типами та розташуванням коліс [8].

Двоколісний диференціальний привід - одна з найпоширеніших конструкцій для триколісних роботів. Він складається з двох активних незалежних коліс і одного пасивного поворотного колеса. Цей тип конструкції показано на рис. 1.6. Пасивне поворотне колесо може бути сферичним.

Рисунок 1.6. Робот із двоколісним диференціальним приводом

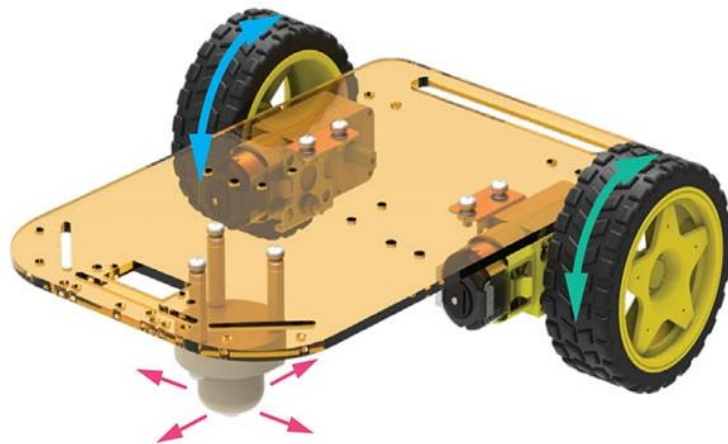


Рис. 1.7. Триколісний робот із двоколісним диференціальним приводом і сферичним колесом

Конструкція цього робота може бути змінена шляхом додавання четвертого пасивного колеса. Ця модифікація має низку важливих переваг, зокрема:

Проста механічна структура, легка кінематична модель, статична стійкість, простота розроблення і низька вартість виробництва порівняно з іншими колісними роботами;

Нульовий радіус повороту. Наприклад, для циліндричного чотириколісного робота простір, який можна проїхати без перешкод, можна легко визначити, розширивши межу між перешкодами на радіус робота;

Легка ідентифікація систематичних помилок;

Кінематика може бути розрахована за допомогою відносно простих теоретичних розрахунків і практично ідентична практичній.

З іншого боку, у цього типу колісних роботів є кілька недоліків:

Складність пересування нерівними поверхнями;

Під час руху нерівними поверхнями втрата контакту одного з активних коліс із поверхнею може різко вплинути на орієнтацію і стійкість робота;

Переміщення тільки в одній площині.

Чотири колісні роботи також поділяються на декілька типів, за рахунок функцій колес.

Цей тип робота схожий на [13] - триколісний робот із диференціальним керуванням, але з двома вільними колесами, що пасивно обертаються, для додаткового балансу. Така конструкція більш стійка, ніж триколісний робот, оскільки центр ваги знаходиться всередині прямокутника, утвореного чотирма колесами, а не в трикутнику. Крім того, в ній більше місця для додаткових механізмів, які можуть знадобитися. Для кращої стійкості, особливо під час різких поворотів або руху нерівною поверхнею, рекомендується розміщувати центр ваги в середині прямокутника.

В цій конструкції чотириколісного робота використовуються дві пари нерухомих коліс із приводом. Кожна пара на протилежних сторонах обертається в одному напрямку. Однак для успішного переміщення важливо, щоб усі колеса оберталися з однаковою швидкістю. Якщо пара коліс не рухається з однаковою швидкістю, повільніше колесо може прослизати. Якщо пара коліс не рухатиметься з однаковою швидкістю в одному і тому ж напрямку, робот може втратити здатність рухатися прямо. Добре продумана конструкція повинна містити в собі якусь подобу автомобільного рульового управління.

Схематична конструкція такого робота показана на рис. 1.14.

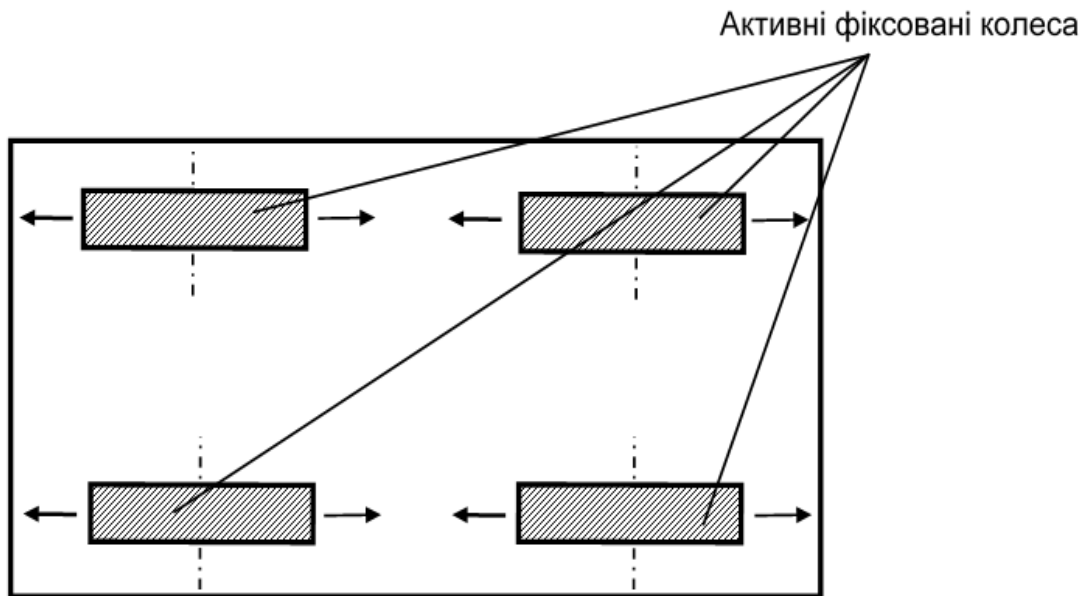


Рисунок 1.14 Схематична конструкція робота з чотирма активними фіксованими колесами

Приклад робота, реалізованого за наведеною вище конструкцією вказано на рис. 1.15.



Рисунок 1.15 – Реалізований приклад чотириколісного робота з чотирма активними фіксованими колесами.

Також можна побудувати такого робота, використовуючи шведські колеса, як показано на рис. 1.16.

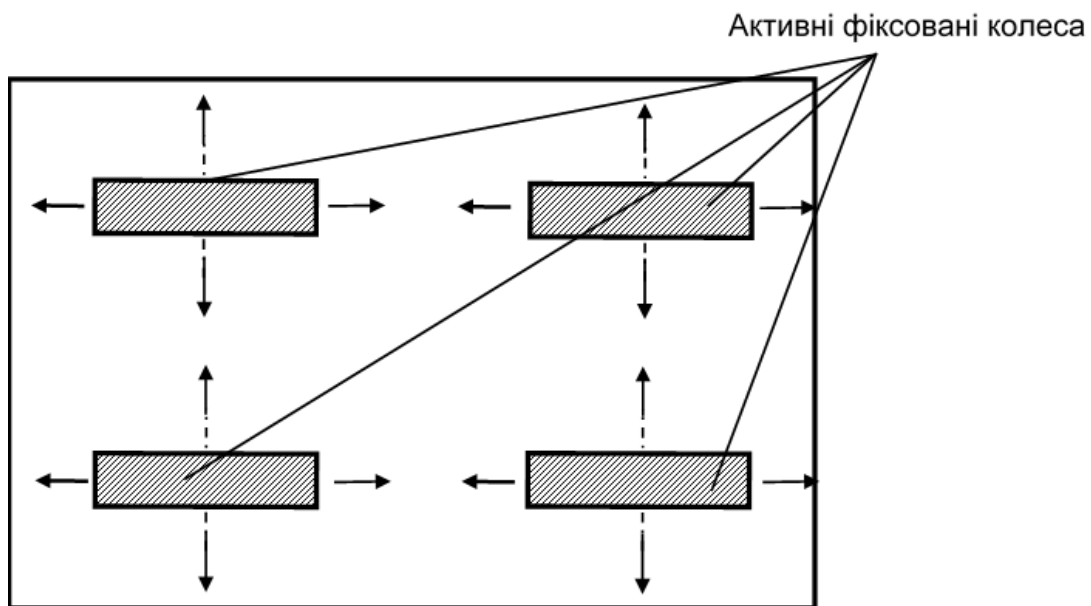


Рисунок 1.16. – Структурна схема робота з чотирма активними фіксованими шведськими колесами.

Приклад реалізації робота, побудованого за вище вказаною конструкцією показано на рис. 1.17.



Рисунок 1.17 – Реалізований приклад чотириколісного робота з чотирма активними фіксованими шведськими колесами.

Чотириколісні роботи з двома активними поворотними колесами, та двома активними незалежними рушійними колесами

Такий варіант конструкції дозволяє роботу повертати за таким самим принципом, за яким це робить звичайний автомобіль. Це набагато складніший метод руху, а також значно ускладнює розрахунок. Оскільки для цього потрібні два незалежні вихідні вали з різними швидкостями і напрямками обертання, така система виявляється ефективнішою порівняно з традиційними методами, що вимагають двох двигунів і дуже складної коробки передач [14]. Структурна схема робота за такою конструкцією зображено на рис. 1.18.

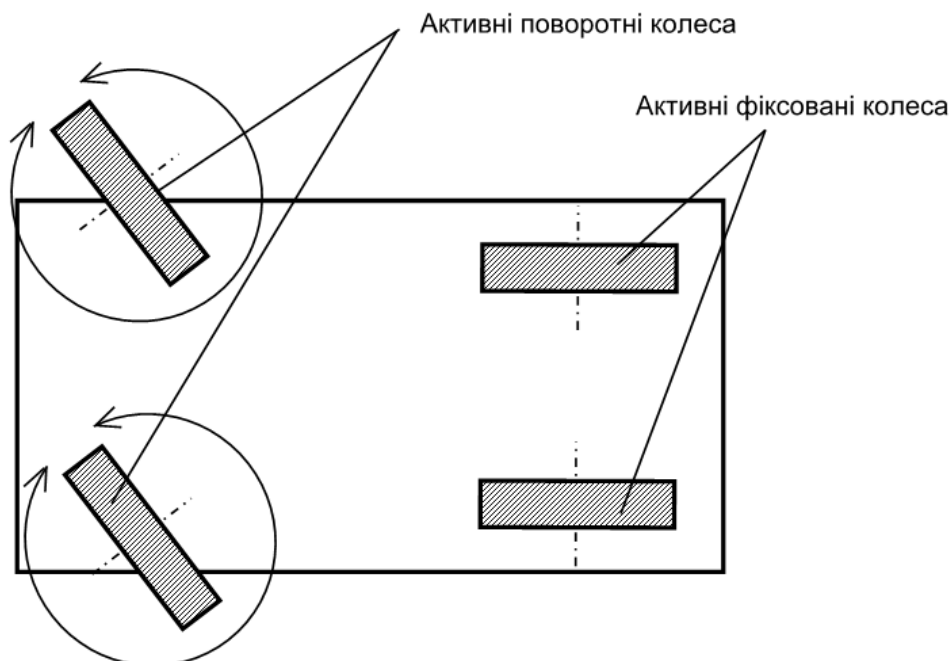


Рисунок 1.18. – Структурна схема робота з двома активними поворотними колесами та двома активними приводними колесами

Реалізація робота, побудованого за вище вказаною конструкцією показано на рисунку 1.19.



Рисунок 1.19 – Практичний приклад робота з двома активними приводними і двома активними поворотними колесами

Окрім типи конструкції, такої потрідно приділити увагу колесам. Є 2 основні типи: стандартні та шведські

Стандартні колеса - найпоширеніші в робототехніці, але існують й інші типи коліс, кожен з яких має свої переваги та обмеження.

Існують ролики та кулькові колеса. Вони можуть використовуватися для балансування або як опорні колеса. Однак ці типи коліс особливо ефективні в приміщеннях з рівною підлогою без великих перешкод. Кулькові колеса, також відомі як роликові, містять сферичні кульки з металу, нейлону або інших твердих матеріалів.

Важливо пам'ятати, що ролики і кулькові колеса можуть бути неефективні при подоланні високих перешкод і не завжди підходять для використання на нерівних поверхнях. Такі колеса найкраще підходять для використання в приміщеннях і на рівних поверхнях. Однак вони залишаються популярним вибором у тих випадках, коли стійкість і орієнтація є ключовими для функціональності робота.

На рис. 1.20 наведено приклад касторового колеса.



Рисунок 1.20 – Приклад касторового колеса

Різнострядмовані колеса оснащені роликми, які розташовані під кутом 90 градусів що забезпечують чотири ступені свободи. Це дає змогу рухатися вперед, назад, вліво і вправо. Приклад різнострядмованого колеса показано на рис. 1.21. Шведське колесо - це різновид багатострядмованого колеса. Як і стандартні колеса, воно може використовуватися і як ведуче, і як стрядмовуюче колесо. Шведське колесо відрізняється тим, що в нього немає шин. Замість них є низка гумових зовнішніх роликів, встановлених по діагоналі навколо обода колеса. Приклад шведського колеса показано на рис. 1.21.

Рисунок 1.21 – Приклад реалізації шведського колеса



В реалізації дипломного проекту буде використовуватися звичайне колесо, оскільки функція всенаправленого руху не потрібна.

1.3 Постановка задач проектування

Двоколісні роботи можуть виконувати найрізноманітніші завдання, тому їх важко обмежити якоюсь конкретною роллю. Одна зі сфер застосування двоколісних роботів - доступ до небезпечних або замкнутих просторів. Двоколісний робот легко впорається з такими завданнями завдяки своїй мобільності та компактності, а також здатності розвертатися на місці.

Роботам не потрібно відпочивати або отримувати зарплату, а витрати на їхнє обслуговування зазвичай нижчі, ніж у людей. Завдяки такій економічності двоколісні роботи використовуються для вирішення широкого кола завдань, незалежно від сфери їх застосування[9].

Ці роботи можуть управлятися дистанційно або автономно[14], залежно від навколишніх умов і складності перешкоди. Вони часто використовуються в рекреаційних, соціальних і спеціалізованих галузях, де важлива мобільність і висока маневреність у міських і муніципальних умовах. Потужність і здатність долати різні ділянки місцевості зазвичай є ключовими вимогами, особливо в міських умовах із різноманітними структурами та рельєфом.

Наприклад, роботи можуть виконувати різні функції з догляду за будинком і забезпечення безпеки. Роботи-медсестри можуть працювати без відпочинку, забезпечуючи догляд і комфорт сім'ям із хворими або літніми людьми, а також маневрувати будинком за допомогою інтернет-з'єднання та інших бездротових засобів зв'язку.

Роботи, які виступають у ролі пожежників, можуть стати ефективним інструментом для оцінки ситуації в задимлених приміщеннях до того, як виникне загроза життю людей. Використовуючи відеокамери і різні датчики, зокрема температурні та інфрачервоні, роботи можуть надати пожежникам важливі візуальні та температурні дані. Це може підвищити швидкість і ефективність реагування на небезпеку, знизити ризик для людей і запобігти можливим травмам і пошкодженням[10].

Такі роботи можуть відігравати роль помічників людини в ситуаціях, коли безпека та ефективність мають вирішальне значення.

1.4 Висновки

У цьому розділі аналізуються характеристики, переваги та недоліки колісних роботів. Вивчаються структура та характеристики колісних роботів з різною кількістю коліс, розглядаються типи коліс, що використовуються в робототехніці. Також розглядаються принципи керування двоколісними роботами, їхнє призначення та переваги.

2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ БАЛАНСУВАННЯ

2.1 Опис схеми автоматизації процесу балансування

Створення схеми автоматизації необхідне для графічного відображення об'єкта управління, розташування засобів автоматизації та представлення технічного процесу. Як повноцінний об'єкт автоматизації розглядається робот-балансувальник. Проаналізувавши теоретичні відомості про принцип балансування перевернутого маятника, що лежить в основі робота-балансувальника, зроблено висновки про автоматизацію систем керування роботами. Основним завданням керування є підтримання робота у вертикальному положенні та запобігання його падінню на поверхню. Крім того, можуть бути розроблені системи управління для переміщення і повороту робота на поверхні.

На рис. 2.1 показано автоматизацію процесу балансування на базі самобалансуючого робота.

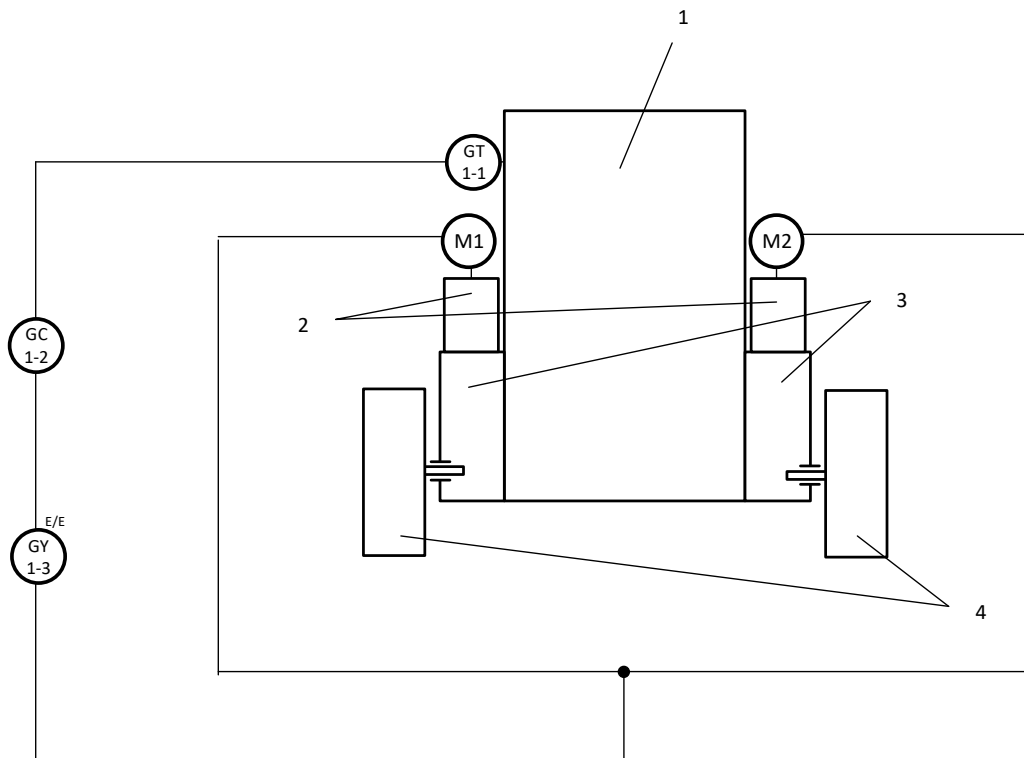


Рисунок 2.1. Схема автоматизації процесу балансування на базі самобалансуючого робота: 1 – корпус; 2 – двигуни; 3 – редуктори; 4 – колеса;

Перший контур призначений для керування положенням робота і складається з таких компонентів: (1-1) - 3-осьовий акселерометр-гіроскоп, (1-2) - мікроконтролер, (1-3) - електричний перетворювач для керування двигуном, М1, М2 - електродвигун, що виконує роль виконавчого механізму. Наступним етапом є вибір технічних засобів для реалізації даної схеми автоматизації та розробка схем комутації.

2.2 Опис комутаційної схеми керування самобалансуючого робота

На рис. 2.2 показано комутаційну схему.

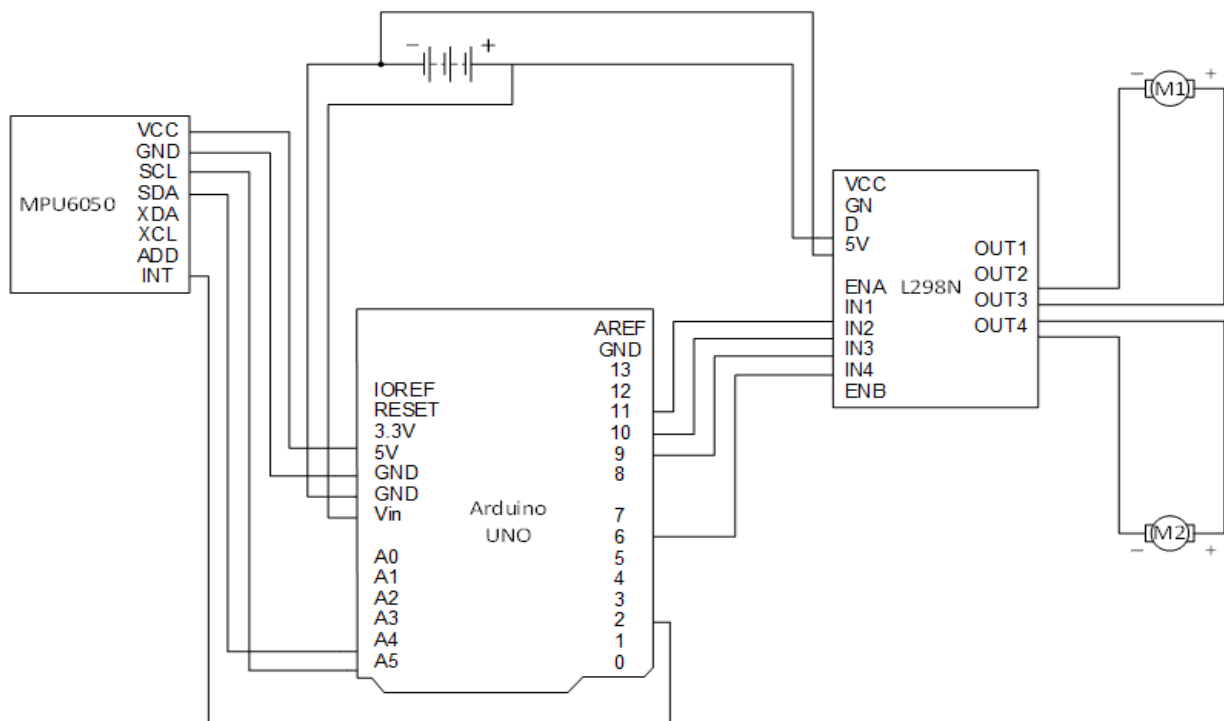


Рисунок 2.1 – Комутаційна схема самобалансуючого робота

Принцип підключення гіроскопу MPU 6050 представлено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Принцип підключення гіроскопу MPU 6050

MPU6050	Контакт Arduino
Vcc	+5V
Ground	Gnd
SCL	A5
SDA	A4
INT	D2

Принцип підключення драйверу моторів L298N представлено в табл.

2.2.

Таблиця 2.2 - Принцип підключення драйверу моторів L298N

L298N	Контакт Arduino
IN1	D6
IN2	D9
IN3	D10
IN4	D11

Плата Arduino отримує живлення безпосередньо від виводу Vin; вбудований в Arduino стабілізатор напруги перетворює вхідну напругу в 5 В для живлення мікропроцесора ATmega 328 та інших елементів, під'єднаних до виводу 5 В плати.

Плата MPU6050 взаємодіє з Arduino через інтерфейс I2C, з'єднуючи виводи A4 і A5 Arduino з виводами SDA і SCL плати MPU. Інтерфейс I2C передає дані на швидкості від 100 до 400 кбіт/с. Цієї швидкості достатньо для нормальної роботи самобалансованого робота.

Для організації переривань вивід INT плати MPU і два виводи Arduino з'єднані відповідним чином. Переривання можна використовувати для надсилання команд, які не відповідають порядку.

Плата MPU6050 живиться від виводу VCC, який під'єднано до виводу 5 В плати Arduino. Штирі GND обох плат також підключені для заземлення.

Виводи IN1, IN2, IN3 і IN4 драйвера двигуна L298N під'єднані до виводів 11, 10, 9 і 6 плати Arduino відповідно. Ці контакти (11, 10, 9 і 6) дають змогу керувати двигуном за допомогою широтно-імпульсної модуляції; IN1 і IN3 регулюють силу струму двигуна M1, а IN2 і IN4 визначають напрямок руху двигунів M1 і M2 відповідно.

Живлення двигунів здійснюється від джерела 5-12 В. Це означає, що двигуни можна живити від виводів 5 В на платі Arduino. Однак для оптимального керування бажано подавати більшу напругу, тому для цієї мети використовується незалежне джерело живлення від акумулятора 12 В. Позитивний і негативний кінці батареї підключаються до контактів VCC і GND плати драйвера двигуна відповідно.

Керувальні сигнали для двигунів M1 і M2 передаються через контакти OUT1, OUT2, OUT3 і OUT4. Двигун M1 під'єднано до контактів OUT1 і OUT2, а двигун M2 - до контактів OUT3 і OUT4.

2.3. Вибір технічних засобів для реалізації системи керування

2.3.1 Вибір дитчику положення

Найкращий варіант для проекту - використовувати датчик положення MPU6050. Цей пристрій являє собою мікроелектромеханічну систему (MEMS) і оснащений 3-осьовим гіроскопом і 3-осьовим акселерометром. Таким чином, доступні шість вихідних значень: три для акселерометра і три для гіроскопа. Акселерометр вимірює прискорення у вільному падінні, а гіроскоп визначає кут відхилення за трьома осями. Це дає змогу вимірювати швидкість, положення, прискорення, переміщення та інші параметри, що відображають рух. Вимірювання акселерометра чутливі до різких горизонтальних переміщень, тоді як гіроскопи реагують на поступові зміни відхилення від фактичних значень. Датчики використовують 16-бітове апаратне аналого-цифрове перетворення за кожним каналом, що вирізняється високою точністю та швидкістю, і можуть передавати дані кількома каналами одночасно. Взаємодія з мікроконтролером здійснюється через шину I2C.

На рис.2.3 зображено акселерометр-гіроскоп MPU6050

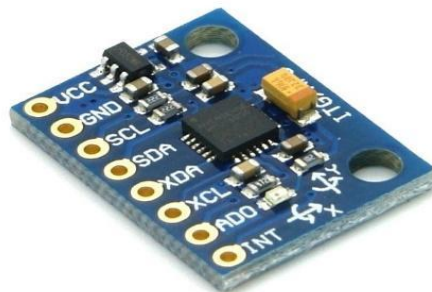


Рисунок 2.3 – Акселерометр-гіроскоп MPU6050

Розташування пінів акселерометра-гіроскопа MPU6050 представлено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Розташування пінів акселерометра-гіроскопа MPU6050

Номер піну	Назва піну	Описання
1	Vcc	Живлення модуля, від +3 В до +5 В. Використовується +5 В
2	Ground	Заземлення системи
3	Serial Clock (SCL)	Надання тактового імпульсу для зв'язку I2C
4	Serial Data (SDA)	Для передачі даних через зв'язок I2C
5	Auxiliary Serial Data (XDA)	Використовується для інтерфейсу інших модулів I2C з MPU6050. Використання необов'язкове
6	Auxiliary Serial Clock (XCL)	Використовується для інтерфейсу інших модулів I2C з MPU6050. Використання необов'язкове
7	AD0	Якщо один MCU використовується більше ніж один MPU6050, цей контакт можна використовувати для зміни адреси зв'язку
8	Interrupt (INT)	Використовується для переривань

MPU6060 має такі характеристики:

мікроелектромеханічна система, що об'єднує 3-осьовий акселерометр і гіроскоп;

живлення від 3 до 5 В

- комунікаційна шина I2C
- вбудований 16-бітний АЦП;
- вбудована платформа управління даними (DMP), що забезпечує високу обчислювальну потужність;
- можливість підключення до інших пристроїв, що підтримують протокол I2C, наприклад, магнітометрів;
- настроювана адреса I2C;
- вбудований датчик температури.

2.3.2 Мікроконтролер

Для виконання проекту використовується мікроконтролер Arduino UNO, який базується на мікропроцесорі ATmega328, є одним із найпоширеніших та найпопулярніших у світі. Цей вибір обумовлений його доступністю, економічністю та сумісністю з широким спектром датчиків, контролерів і пристроїв вводу/виводу. Arduino UNO також володіє великим обсягом навчального матеріалу, відкритим кодом та прикладами проектів, що робить його зручним та гнучким для використання. Мікроконтролер живиться через USB-кабель або зовнішнє джерело живлення, таке як адаптер змінного струму або автономна батарея, з рекомендованим діапазоном напруги 7-12 вольт.

На рис. 2.4. вказано мікроконтролер Arduino Uno.



Рисунок 2.4 – Мікроконтролер Arduino Uno

Arduino UNO – це мікроконтролер, який має ряд характеристик:

Мікропроцесор: Використовує мікропроцесор ATmega 328;

Тактова частота: Операційна швидкість процесора до 16 МГц;

Флеш-пам'ять: 32 кілобайти для зберігання програмного коду;

SRAM: 2 кілобайти статичної пам'яті з довільним доступом;

EEPROM: 1 кілобайт пам'яті EEPROM для програмної зміни та зчитування;

Скидання при включенні (POR): Спеціальна функція скидання при включенні;

Brown Out Detection: Можливість відслідковування часткового або тимчасового зниження напруги живлення;

Таймери-лічильники: Два 8-бітних таймери-лічильники та один 16-бітний таймер-лічильник;

USART: Універсальний асинхронний приймач/передавач з генератором дробової швидкості передачі даних і визначенням початку кадру;

SPI і I2C: Один периферійний послідовний інтерфейс (SPI) та один двоережимний мікроконтролер гарвардської архітектури з шиною даних I2C;

Аналоговий компаратор: Один аналоговий компаратор з масштабованим опорним входом;

ШИМ: Шість каналів для підтримки широтно-імпульсної модуляції;

Мікропроцесор ATmega 12U2: Додатковий мікропроцесор для виконання деяких завдань.

Розташування виводів МК Arduino UNO можна знайти у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Розташування пінів мікроконтролера Arduino UNO

Назва піну	Описання
NC	Немає призначення; не з'єднаний з жодною функцією.
IOREF	Підключений до логічного впливу 5 В.
Reset	Використовується для скидання мікроконтролера.
+3V3	Напруга 3,3 В - джерело живлення, створене вбудованим регулятором напруги (максимальний струм 50 мА).
+5V	Регульоване джерело живлення 5 В, що використовується для живлення мікроконтролера та інших компонентів.

A0 – A5	Використовується для аналогового входу в діапазоні 0–5 В.
D0 – D9	Дискретні цифрові піни, які можуть використовуватися в якості вхідних або вихідних.
PWM 3, 5, 6, 9, 11	Контакти, що підтримують широтно-імпульсну модуляцію (PWM) для аналогового виведення.
Serial 0(Rx), 1(Tx)	Для отримання та передачі послідовних даних TTL.
10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) and 13 (SCK)	Контакти для зв'язку SPI для підтримки периферійного інтерфейсу: SS: PIN 10 використовується як Slave Select. MOSI: Pin 11 використовується як Master Out Slave In MISO: Pin 12 використовується як Master In Slave Out SCK: PIN 13 використовується як Serial Clock
13	Вбудований світлодіод
A4 (SDA), A5 (SCA)	Для зв'язку TWI.
AREF	Аналоговий опорний контакт для забезпечення опорної напруги від зовнішнього джерела живлення.

2.3.3 Драйвер моторів

В цьому проекті використовується драйвер моторів L298N, який ідеально підходить для моторів, що використовуються у даному випадку, та є повністю сумісний з Arduino UNO. Його зовнішній вигляд показано на рис. 2.5.

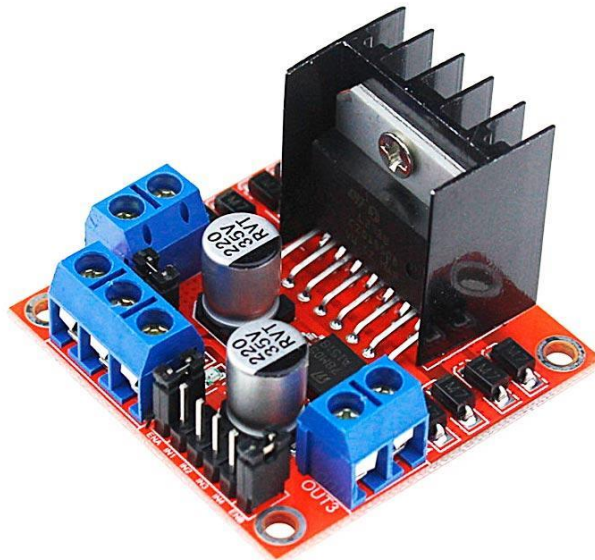


Рисунок 2.5 – Вигляд драйверу моторів L298N

Драйвер моторів L298N представляє собою подвійний міст керування 2H-Bridge, призначений для одночасного управління напрямком та швидкістю двох моторів постійного струму.

Модуль здатен керувати моторами із вхідною напругою від 5 до 35 В та піковим струмом до 2 А. Вбудований регулятор 5 В може бути увімкнений або вимкнений за допомогою перемикача. У випадку, коли напруга живлення мотора не перевищує 12 В, можна увімкнути регулятор 5 В, і пін 5V використовується як вихід, наприклад, для живлення плати Arduino. Однак при напрузі мотора більше 12 В рекомендується від'єднати перемичку, щоб уникнути пошкоджень внутрішнього регулятора 5 В. У цьому випадку пін 5 В використовується як вхід, і його слід підключити до джерела живлення 5 В для належного функціонування мікросхеми.

Контакти ENA і ANB використовуються для управління ввімкненням двигунів і регулювання їхньою швидкістю.

За допомогою перемички на цих контактах можна вибрати режим роботи двигуна: включений на максимальній швидкості або регульований вхідним сигналом ШІМ. Якщо контакт приєднаний до землі, двигун буде вимкнений.

Особливості L298N включають:

Висока робоча напруга, що може досягати до 46 В;

Великий вихідний струм, з миттєвим піком до 3 А та постійним робочим струмом до 2 А;

Номинальна потужність 25 Вт;

Мостовий драйвер високої напруги та струму 2H-Bridge, призначений для керування індуктивними навантаженнями, такими як двигуни постійного струму;

Керується стандартними сигналами логічного рівня.

Має 2 термінали керування для ввімкнення або вимкнення без введення сигналів;

Здатний керувати двофазним кроковим двигуном, чотирифазним кроковим двигуном або двома двигунами постійного струму;

Вбудований конденсатор фільтра великої ємності, діод вільного ходу для захисту пристроїв від зворотного струму та індуктивного навантаження;

Вбудований стабілізатор 78M05, який можна використовувати для отримання 5 В від джерела живлення.

2.3.4 Двигуни постійного струму

В даному проекті використано два двигуни змінного струму Geared DC Motor Yellow, які зображені на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Вигляд двигуна Geared DC Motor Yellow

Характеристики двигуна Geared DC Motor Yellow включають в себе:

- Робоча напруга в діапазоні 3 до 12 В;
- Максимальний крутний момент 800 г*см;

- Швидкість без навантаження: 90 ± 10 об/хв;
- Коефіцієнт редукції: 1:48;
- Струм без навантаження: 190 мА (макс. 250 мА);
- Струм зупинки: приблизно 1А;
- Високий рівень захисту від перешкод для забезпечення безпеки мікроконтролерів.

Крім датчика положення, мікроконтролера, драйвера двигунів і двигунів постійного струму, також були використані два колеса, три Li-ion батареї з номінальною напругою 3,7 В, з'єднувальні проводи і корпус.

2.4 Розробка корпусу для самобалансуючого робота

Проект передбачає створення корпусу з трьох головних компонентів:

Основний корпус: Тут буде розміщено плату Arduino, акселерометр і драйвер моторів. Додатково, з обох боків корпусу будуть закриття з прозорого пластику.

Корпус для акумуляторів: Три акумулятори розмістяться в цьому корпусі, який буде прикріплений до основного корпусу за допомогою клейового з'єднання. Кришка корпусу акумуляторів: Ця кришка буде закріплена до корпусу акумуляторів чотирма болтами.

На рис. 2.7 представлено креслення основного корпусу, де позначені основні розміри

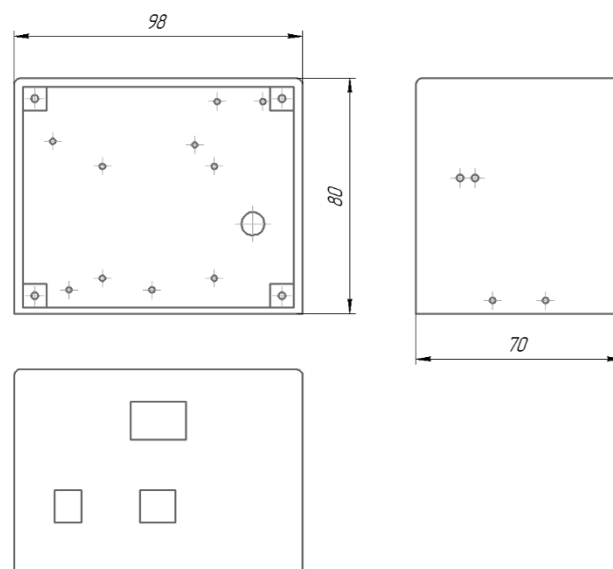


Рисунок 2.7 – Схема основного корпусу

На рис. 2.8 вказано схему корпусу для акумуляторів

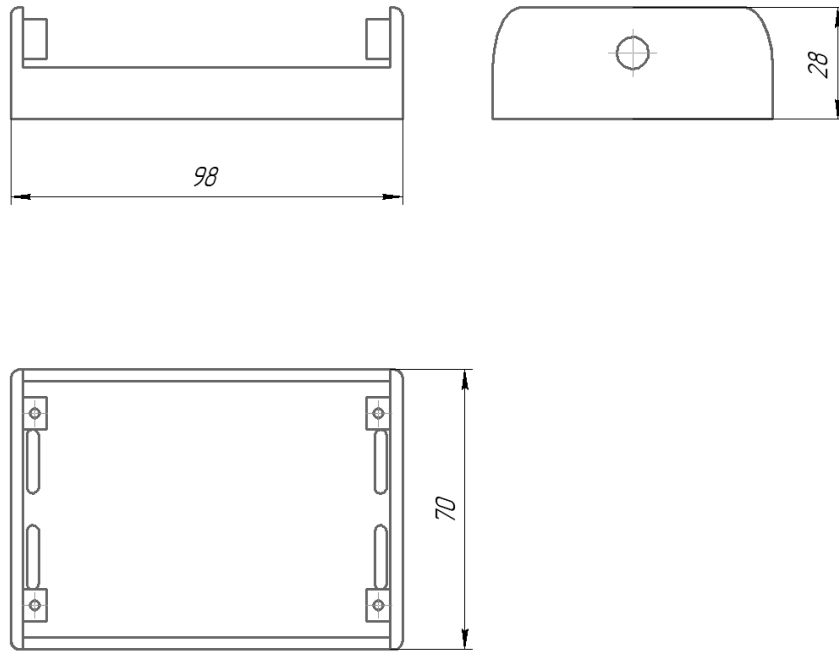


Рисунок 2.8 – Схема корпусу для акумуляторів

На рис. 2.9 вказано схему кришки для корпусу акумуляторів.

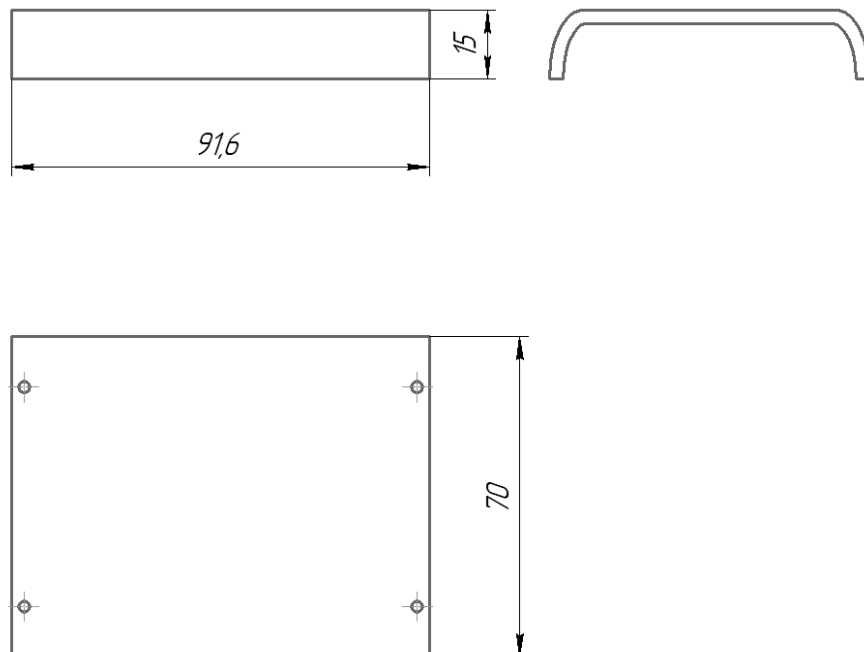


Рисунок 2.9 – Схема кришки корпусу для акумуляторів

Для створення 3D-моделі використовувалася програма CAD. Після створення моделі деталі були виготовлені на 3D-принтері та зібрані в єдиний корпус. У корпусі передбачені спеціальні отвори під болти для кріплення друкованих плат і двигунів. Також є отвори для під'єднання до інтерфейсу Arduino і для прокладання з'єднувальних дротів. У корпусі акумулятора є отвори для дротів і люверси для кріплення кришки. Кришка корпусу батареї має отвори для кріплення до основного блоку. На рис. 2.10 показано 3D-модель корпусу в ізометричній проекції.

Для створення 3D-моделей використовувалося програмне забезпечення CAD. Після створення моделі деталі були надруковані на 3D-принтері та зібрані в єдиний корпус.

Основний блок має:

Отвори під болти для кріплення плат і двигунів;

Отвори для інтерфейсу Arduino;

Отвори для підключення проводів.

У корпусі для акумулятора:

Отвори для підключення проводів;

Вушка для кріплення кришки.

Кришка корпусу акумулятора має отвори для кріплення до основного корпусу акумулятора.

3D-модель корпусу в ізометрії приведено на рис. 2.10.

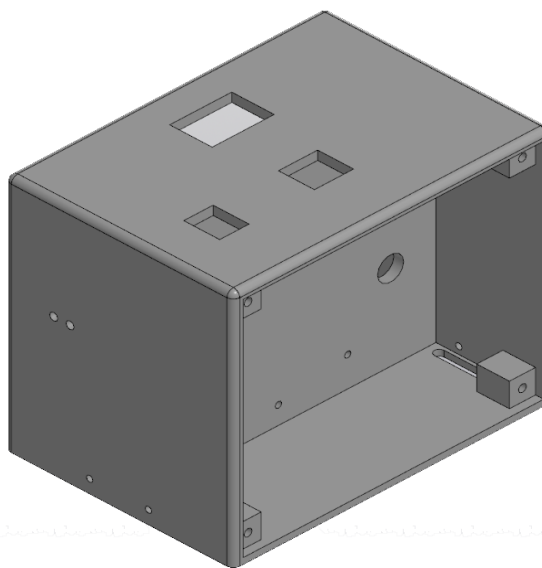


Рисунок 2.10 – 3D-модель основного корпусу

3D-модель корпусу батареї показана в ізометрії на рис. 2.11.

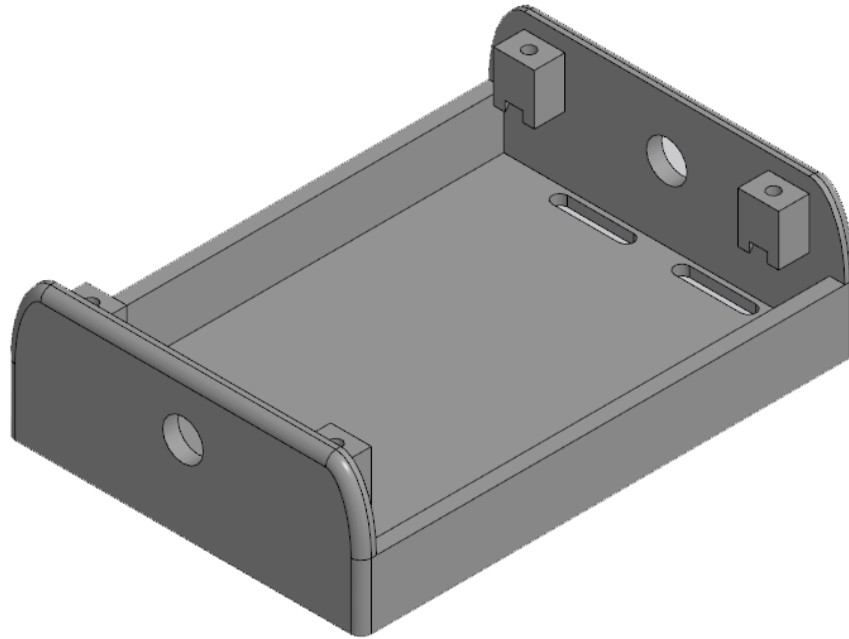


Рисунок 2.11 – 3D-модель корпусу для акумуляторів

На рисунку 2.12 відображено тривимірну модель кришки корпусу для акумуляторів у ізометричному вигляді.

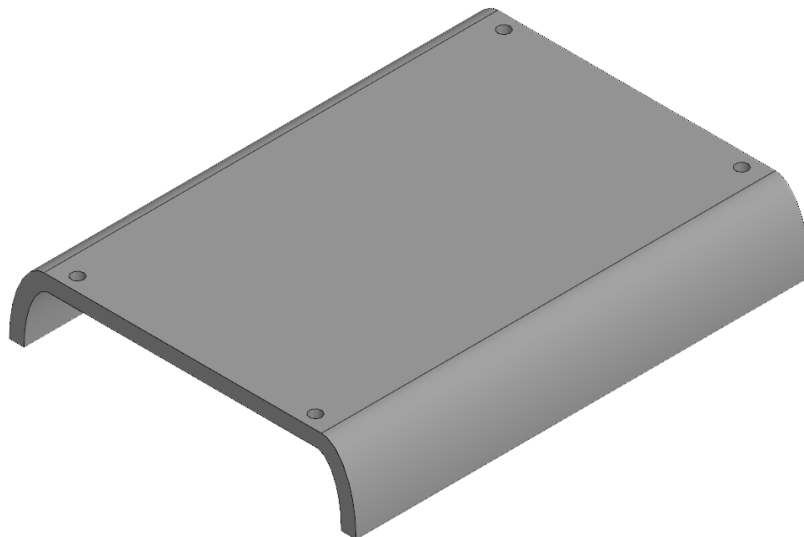


Рис. 2.12. 3D-модель кришки корпусу для акумуляторів

Додатково для зручності наведено вигляд всіх трьох деталей в зібраному вигляді. Його представлено на рисунку 2.13.

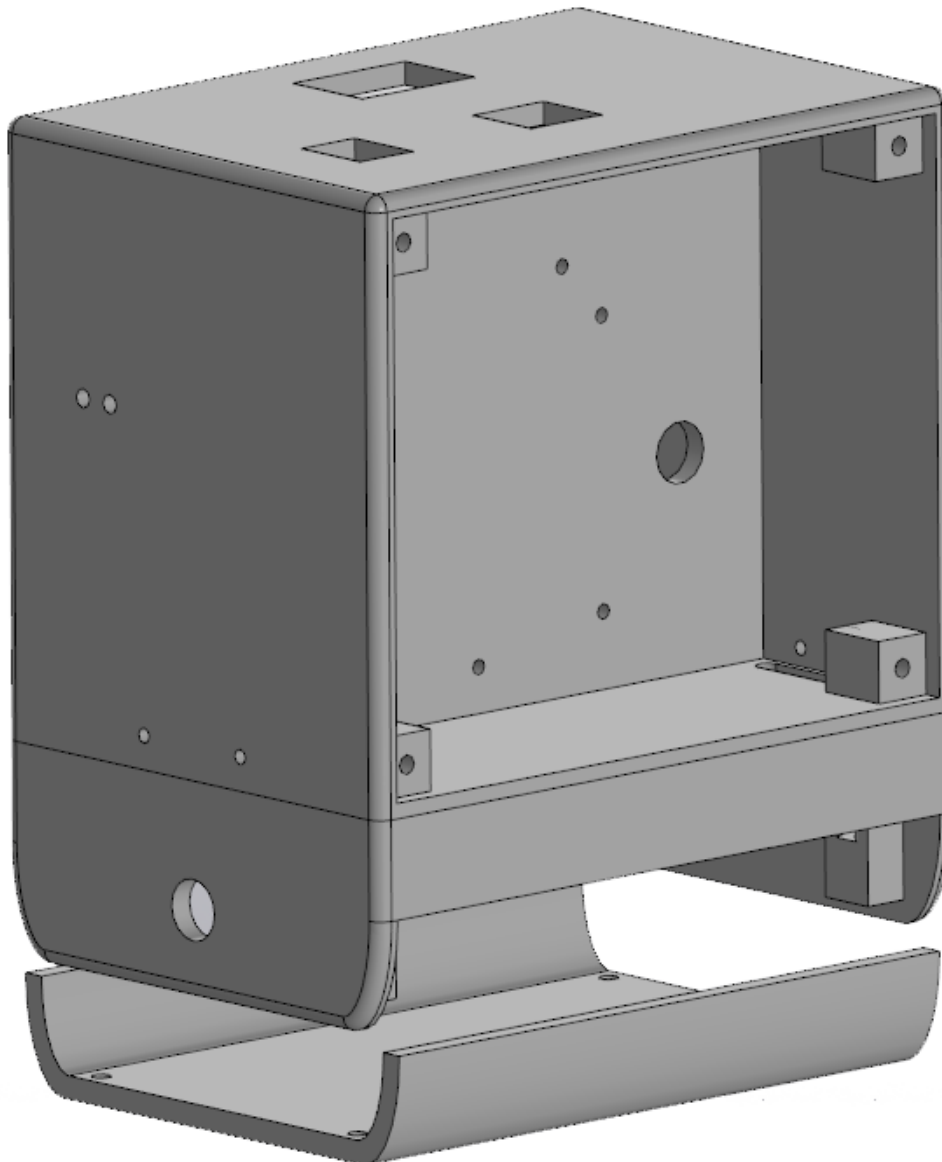


Рисунок 2.13 – 3D-модуль зібраного корпусу робота

Щоб захистити електричні компоненти від зовнішніх впливів, обидва боки корпусу закриті прозорими пластиковими пластинами і скріплені болтами. Прозорий пластик був обраний для того, щоб можна було детально розглянути використовувані електричні ланцюги і комутацію проводів робота.

2.5 Висновки

У цьому розділі було створено схеми автоматики та комутації для двоколісного самобалансованого робота. Було проаналізовано та обрано компоненти, необхідні для успішної реалізації проєкту. Крім того, було розроблено тривимірну модель тулуба, яку буде роздруковано та використано в проєкті. Для захисту електричних компонентів від зовнішніх впливів було обрано прозору пластикову пластину, яка закриває корпус і кріпиться болтами. Прозорий матеріал був обраний для того, щоб користувач міг детально розглянути внутрішні електричні ланцюги і комутаційні рішення робота.

3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ САМОБАЛАНСУЮЧОГО РОБОТА

3.1 Дослідження двоколісного самобалансуючого робота як об'єкту математичного моделювання.

Фізична основа самобалансованого робота добре визначається аналогією з перевернутим маятником. Зазвичай система моделюється як нерухомий жорсткий стрижень, прикріплений без тертя до жорсткого візка, що рухається в одному напрямку. Для простоти колісна база робота розглядається як візок, що ковзає без тертя по поверхні [2].

Цю модель можна знайти в підручнику MathWorks з перевернутих маятників. Спрощена версія цієї моделі показана на рис. 3.1.

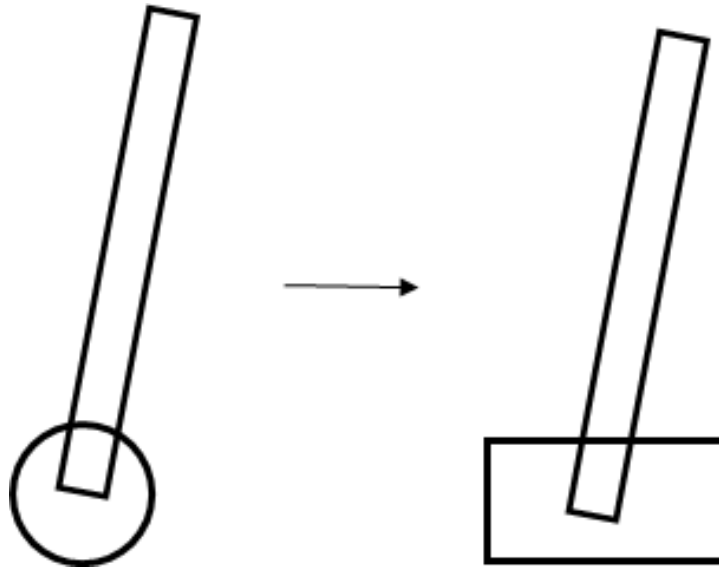


Рисунок 3.1 – Вигляд спрощеної моделі перевернутого маятника

Для зручності рух перевернутого маятника обмежується одним ступенем свободи - кутом θ , який змінюється в площині xy . Це показано на рис. 3.2.

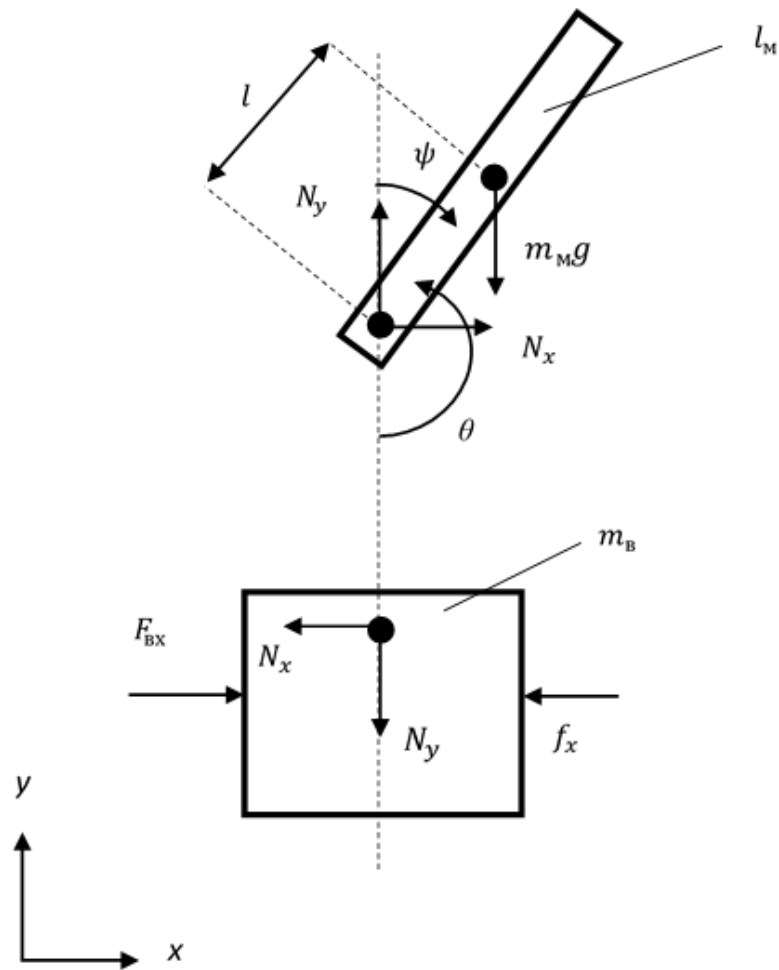


Рисунок 3.2 - Представлення фізичних сил, що діють на спрощену модель перевернутого маятника.

На рис.3.2 вказано:

F_x - прикладена сила;

M_b - маса візка;

f_x - коефіцієнт тертя;

N_x - сила опору в напрямі x між візком та маятником;

N_y - сила опору в напрямі y ;

m_m - маса маятника;

l - відстань до центру мас маятника;

θ - вертикальна вісь і кут між візком і маятником.

3.2 Управління перевернутим маятником

Єдине рівняння, необхідне для опису руху візка, - це рівняння, що об'єднує всі сили в напрямку x . Це рівняння виражено в рівнянні (3.1).

$$F_{\text{BX}} = m_{\text{B}} \cdot x'' + f \cdot x' + N_x \quad (3.1)$$

де, F_{BX} – прикладена сила, m_{B} – маса візка, f_x – коефіцієнт тертя, а N_x – сила опору в напрямку x між візком і маятником.

Суму сил, що діють на маятник у напрямку x , показано у рівнянні (3.2).

$$N_x = m_{\text{M}} \cdot x'' + m_{\text{M}} \cdot l \cdot \cos(\theta) - m_{\text{M}} \cdot l \cdot (\theta')^2 \cdot \sin(\theta), \quad (3.2)$$

де, m_{M} — вага маятника; l — відстань до центру маса маятника; θ - це кут між віссю ординат та маятником.

Суму всіх сил, перпендикулярних до маятника, представлено у рівнянні (3.3).

$$\begin{aligned} N_y \cdot \sin(\theta) + N_x \cdot \cos(\theta) - m_{\text{M}} \cdot g \cdot \sin(\theta) = \\ = m_{\text{M}} \cdot l \cdot \theta'' + m_{\text{M}} \cdot x'' \cdot \cos(\theta), \end{aligned} \quad (3.3)$$

де, N_y — сила в напрямку y ; g — прискорення вільного падіння. Узагальнення крутних моментів, що діє на центр маятника, представлено у рівнянні (3.4).

$$-N_y \cdot \sin(\theta) - N_x \cdot l \cdot \cos(\theta) = I_{\text{M}} \cdot \theta'' \quad (3.4)$$

На основі рівнянь (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) та фізичних сил, представлених на рисунку 3.2. було отримано узагальнені динамічні рівняння (3.5) та (3.6).

$$\begin{aligned} F_{\text{BX}} = (m_{\text{B}} + m_{\text{M}}) \cdot x'' + f \cdot x' + \\ + m_{\text{M}} \cdot l \cdot \theta'' \cdot \cos(\theta) - m_{\text{M}} \cdot l \cdot (\theta')^2 \cdot \sin(\theta) \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$(I_{\text{M}} + m_{\text{M}} \cdot l^2) \cdot \theta'' + m_{\text{M}} \cdot g \cdot l \cdot \sin(\theta) = -m_{\text{M}} \cdot l \cdot x'' \cdot \cos(\theta), \quad (3.6)$$

де, m_{B} і m_{M} – вага візка і маятника відповідно; l – відстань до центру мас маятника; θ – кут між маятником і віссю ординат; f – коефіцієнт тертя.

3.3 Виведення математичної моделі самобаласуючого робота

Рівняння (3.5) і (3.6) необхідні для знаходження передавальної функції для положення x і кута відхилення ψ . Щоб обчислити передавальну функцію, ці рівняння необхідно лінеаризувати. Відповідна точка рівноваги визначається, коли маятник перебуває у вертикальному положенні, а кут відхилення вважається малим. Нелінійні рівняння (3.5) і (3.6) використовують для апроксимації малих відхилень, що представлені рівняннями (3.7), (3.8) і (3.9).

$$\cos(\theta) = \cos(\pi + \psi) \approx -1 \quad (3.7)$$

$$\sin(\theta) = \sin(\pi + \psi) \approx -\psi \quad (3.8)$$

$$(\theta')^2 = (\psi')^2 \approx 0 \quad (3.9)$$

Лінеаризація (3.7), (3.8) і (3.9) за допомогою (3.5) і (3.6) приводить до наближених лінійних рівнянь (3.10) і (3.11), де $F_{\text{вх}}$ було замінено на більше загальне контрольне зусилля $u_{\text{вх}}$.

$$(I_M + m_M \cdot l^2) \cdot \psi'' - m_M \cdot g \cdot l \cdot \psi = m_M \cdot x'' \quad (3.10)$$

$$u_{\text{вх}} = (m_B + m_M) \cdot x'' + f \cdot x' - m_M \cdot l \cdot \psi'' \quad (3.11)$$

Щоб отримати передавальну функцію, до рівнянь (3.10) і (3.11) застосовується перетворення Лапласа. Це призводить до рівнянь (3.12) і (3.13), де перетворення Лапласа позначено великими літерами.

$$(I_M + m_M \cdot l^2) \cdot \psi(s) \cdot s^2 - m_M \cdot g \cdot l \cdot \psi \cdot (s) = m_M \cdot l \cdot X(s) \cdot s^2 \quad (3.12)$$

$$U_{\text{вх}} = (m_B + m_M) \cdot X(s) \cdot s^2 + fX(s) \cdot s - m_M \cdot l \cdot \psi(s) \cdot s^2 \quad (3.13)$$

Оскільки передавальна функція являє собою зв'язок між одним входом і одним виходом, для отримання її вираження необхідно видалити $X(s)$ з рівняння (3.12). Це призводить до рівняння (3.14).

$$X(s) = \left[\frac{I_M + m_M \cdot l^2}{m_M \cdot l^2} - \frac{g}{s^2} \right] \cdot \psi(s) \quad (3.14)$$

Результатом підстановки (3.14) у (3.13) є рівняння (3.15)

$$U_{\text{вх}}(s) = (m_B + m_M) \cdot \left[\frac{I_M + m_M \cdot l^2}{m_M \cdot l^2} - \frac{g}{s^2} \right] \cdot \psi(s) \cdot s^2 +$$

$$+ f \cdot \left[\frac{I_M + m_M \cdot l^2}{m_M \cdot l^2} - \frac{g}{s^2} \right] \cdot \psi(s) \cdot s - m_M \cdot l \cdot \psi(s) \cdot s^2 \quad (3.15)$$

Переписавши рівняння (3.15), в результаті отримаємо функцію передачі як відношення між $\Psi(s)$ і $U_{\text{вх}}(s)$, це вказано в (3.16).

$$\psi(s) = \frac{\frac{m_M \cdot l}{q} \cdot s}{s^3 + \frac{f \cdot (I_M + m_M \cdot l^2)}{q} \cdot s^2 - \frac{(I_M + m_M) \cdot m_M \cdot g \cdot l}{q} \cdot s - \frac{f \cdot m_M \cdot g \cdot l}{q}} \cdot U_{\text{вх}}(s), \quad (3.16)$$

де:

$$q = [(m_B + m_M) \cdot (I_M + m_M \cdot l^2) - (m_M \cdot l)^2] \quad (3.17)$$

Передавальна функція, яка описує позицію візка $X(s)$, вказано у рівнянні (3.18).

$$\psi(s) = \frac{\frac{(I_M + m_M \cdot l^2) \cdot s^2 - m_M \cdot g \cdot l}{q}}{s^4 + \frac{f \cdot (I_M + m_M \cdot l^2)}{q} \cdot s^3 - \frac{(m_B + m_M) \cdot m_M \cdot g \cdot l}{q} \cdot s^2 - \frac{f \cdot m_M \cdot g \cdot l}{q} \cdot s} \cdot U_{\text{вх}}(s) \quad (3.18)$$

де: ψ - відхилення кута маятника; X - позиція візка по осі абсцис. $F_{\text{вх}}$ з формули (3.5) було замінено на більш загальне зусилля керування $U_{\text{вх}}$.

Великі літри позначають перетворення з часової області в подання рівняння за Лапасом. За всіх позитивних значень параметрів l , I_M , m_B , m_M і g можна дійти висновку, що сама система нестійка, тому що має полюс у правій півплощині, як показано на графіку нулів і полюсів на рис. 3.3.

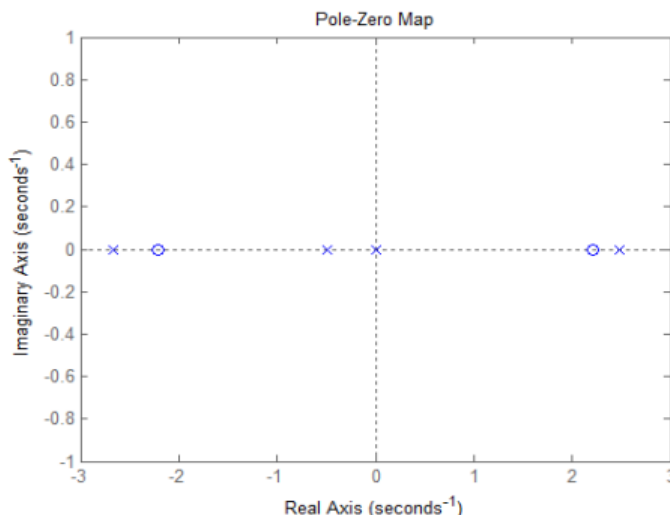


Рисунок 3.3 - Графік нулів і полюсів системи перевернутого маятника

Таке розташування нулів і полюсів цілком розумне, оскільки перевернуті маятники інтуїтивно нестійкі.

Диференціальні рівняння лінеаризовані, і систему можна також виразити у вигляді простору станів із параметрами x' , x'' , ψ' , ψ'' [2]. Подання системи в просторі станів дається рівнянням (3.19).

$$\begin{bmatrix} x' \\ x'' \\ \psi' \\ \psi'' \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} x \\ x' \\ \psi \\ \psi' \end{bmatrix} + B \cdot u_{\text{BX}} \quad (3.19)$$

$$y = C \cdot u_{\text{BX}} \quad (3.20)$$

Де u_{BX} – сила керування в часовій області. У формулах (3.21), (3.22) і (3.23) задано параметри станів A , B і C .

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{f \cdot (I_M + m_M \cdot l^2)}{I_M \cdot (m_B + m_M) \cdot m_M \cdot m_B \cdot l^2} & \frac{(m_M)^2 \cdot g \cdot l^2}{I_M \cdot (m_B + m_M) \cdot m_M \cdot m_B \cdot l^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{-m_M \cdot l \cdot f}{I_M \cdot (m_B + m_M) \cdot m_M \cdot m_B \cdot l^2} & \frac{m_M \cdot g \cdot l \cdot (m_B + m_M)}{I_M \cdot (m_B + m_M) \cdot m_M \cdot m_B \cdot l^2} & 0 \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{I_M + m_M \cdot l^2}{I_M \cdot (m_B + m_M) \cdot m_M \cdot m_B \cdot l^2} \\ 0 \\ \frac{m_M \cdot l}{I_M \cdot (m_B + m_M) \cdot m_M \cdot m_B \cdot l^2} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Якщо детермінант матриці $S \neq 0$, ранг матриці відповідає порядку системи, це свідчить про те що система повністю керована. Матрицю представлено у формулі (3.24)

$$S = [B \quad AB \quad A^2B \quad A^3B] \quad (3.24)$$

Таким чином, система є спостережуваною, якщо матриця O має повний ранг, де O визначається як:

$$O = \begin{pmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ CA^3 \end{pmatrix} \quad (3.25)$$

Ранги S і O підтверджують, що система керована і спостережувана за будь-яких позитивних значень l , I_{pend} , m_{cart} , m_{pend} і g . Існує кілька способів керування такою системою, особливо якщо не враховується положення x . Одним із можливих способів керування є використання ПД-регулятора [2]. Таким чином, два стани, якими необхідно керувати, - це відхилення кута ψ і положення x . Дотримуючись принципу Глада і Люна [2], можна використовувати каскадний ПД-регулятор.

Іншою можливістю є керування в просторі станів. Якщо стан системи відомий, то вибір внутрішніх сигналів може бути заснований на стані системи, що призводить до використання зворотного зв'язку в просторі станів. Опис простору станів містить інформацію про поведінку системи в минулому, сьогодні та майбутньому згідно з методологією Глада і Люна [2].

Статичні самобалансуючого робота показано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1- Статичні характеристики робота-балансир

Параметр	Значення
m_B	0,558 кг
m_M	1,267 кг
I_M	0,055 кг·м ²
l	0.159 м

Якщо ввести статичні характеристики в модель MATLAB, то параметри стану будуть такими:

$$\begin{pmatrix} x' \\ x'' \\ \psi' \\ \psi'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -0,007 & 3,363 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -0,017 & 30,47 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ x' \\ \psi \\ \psi' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0,763 \\ 0 \\ 1,704 \end{pmatrix} \cdot u_{\text{вх.}} \quad (3.26)$$

$$y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ x' \\ \psi \\ \psi' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot u_{\text{вх.}} \quad (3.27)$$

3.4 Динамічні характеристики

Перехідна характеристика отриманої моделі показана на рисунку 3.4. З аналізу форми перехідного відгуку можна зробити висновок, що система нестійка, оскільки не досягає усталеного значення. Такої характерної форми слід було очікувати, оскільки вона відображає фізичну поведінку перевернутого маятника (а відтак робота-балансувальника), який не може залишатися в рівновазі без додаткового керуючого впливу.

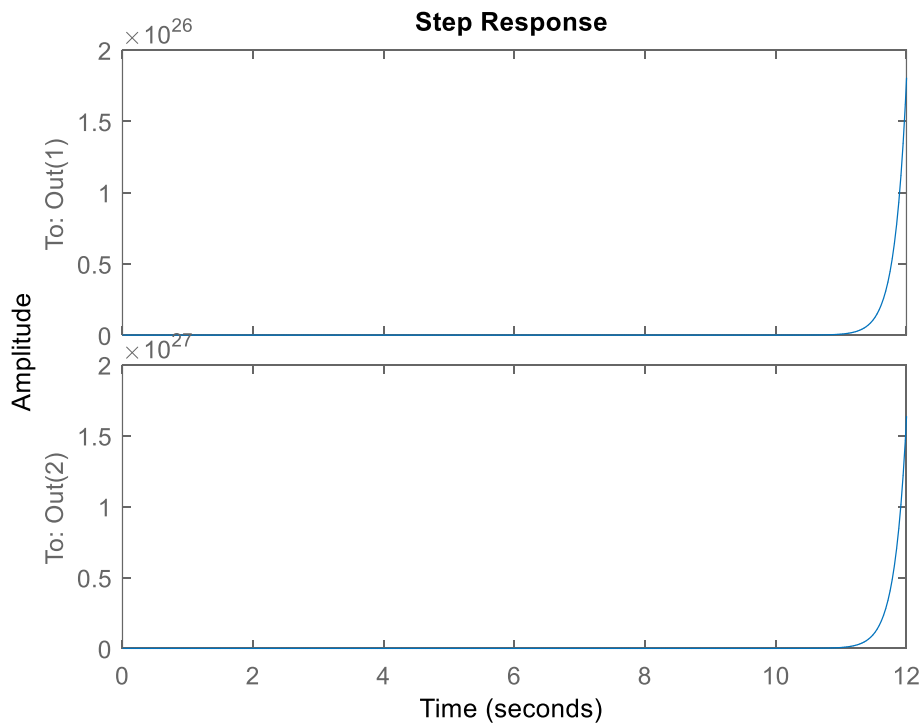


Рисунок 3.4 – Перехідна характеристика робота-балансира

Імпульсну характеристику моделі зображено на рис. 3.5.

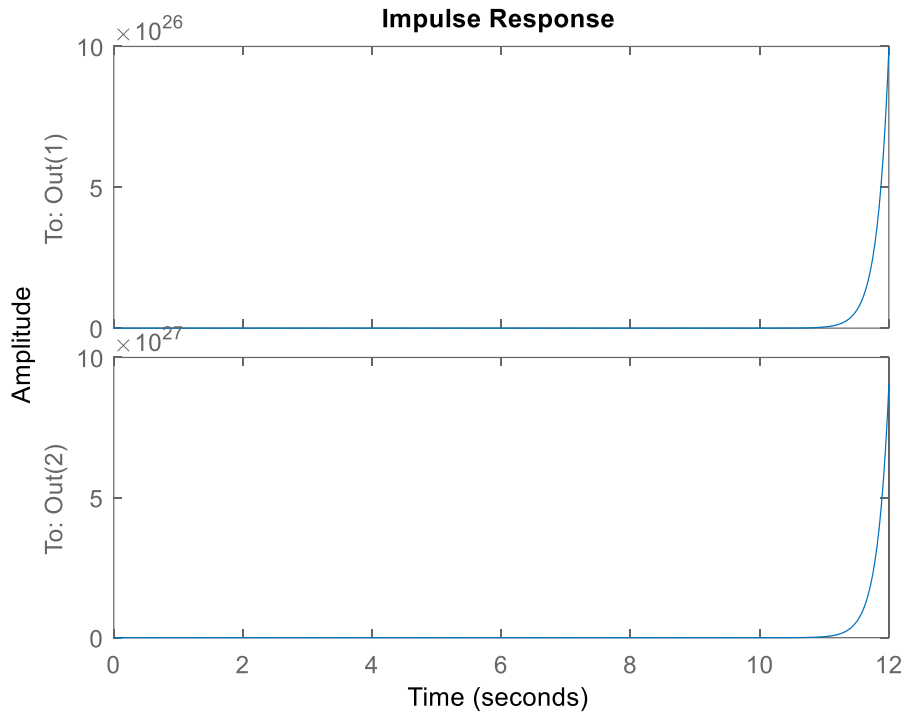


Рисунок 3.5 – Імпульсна характеристика моделі

Логарифмічну амплітудно-фазову частотну характеристику вказано на рис. 3.6.

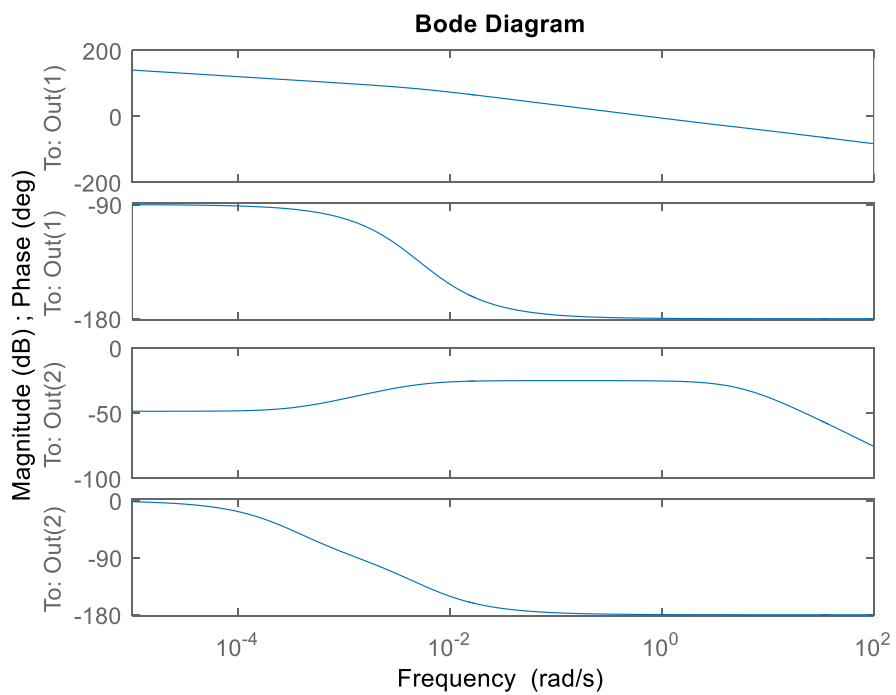


Рисунок 3.6 – ЛАФХЧ моделі

3.5 Висновок

У цьому розділі аналізуються фізичні властивості перевернутого маятника і виводиться динамічне рівняння. Це рівняння лінеаризується, і перетворення Лапласа застосовується до лінеаризованого рівняння для отримання передавальної функції для двох входів. Систему також представлено в просторі станів. Побудовано графіки перехідної характеристики, імпульсної характеристики та логарифмічної амплітудно-фазо-частотної характеристики. З аналізу форми перехідної характеристики та положення полюсів і нулів можна зробити висновок, що система нестабільна.

4. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

4.1 Синтез системи керування за допомогою ПІД-регулятора

Для синтезу системи керування використовували програму Matlab.

Як контролер було обрано ПІД-регулятор, оскільки він простий у налаштуванні і підходить для цього проекту; на основі результатів налаштування ПІД-регулятора в майбутньому будуть використовуватися складніші контролери[6].

Систему керування із замкнутим контуром і ПІД-регулятором було створено за допомогою розширення Simulink. Систему керування показано на рис. 4.1 [4].

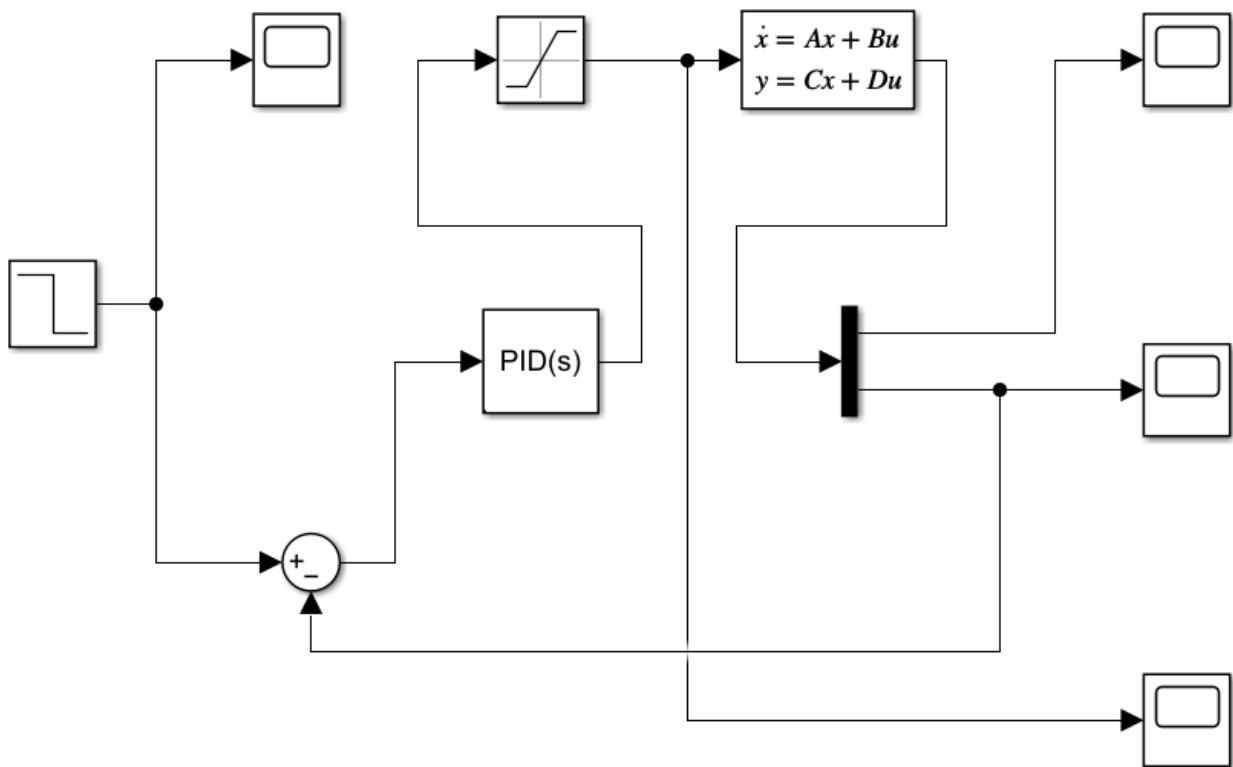


Рисунок 4.1 – Замкнута система керування з ПІД-регулятором

Оскільки керувальний вплив системи не може бути нескінченним і обмежений технічними можливостями, зокрема, потужністю двигуна, у систему керування було введено блоки насичення для обмеження керувального впливу. Одиницею вимірювання керуючого впливу є ньютон.

Для визначення порога точності було проведено автоналаштування регулятора за допомогою інструменту PidTune в Matlab. Результати налаштування показано на рис. 4.2.

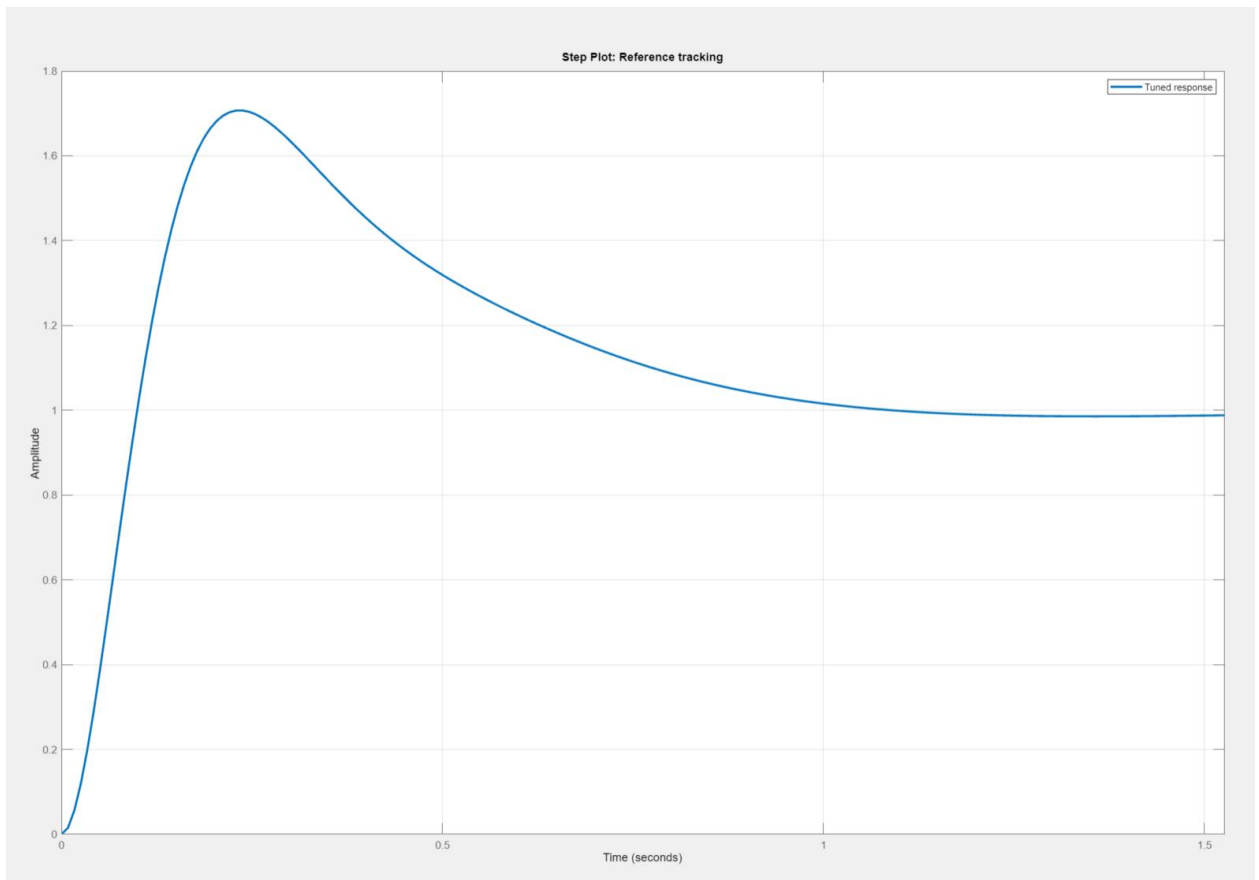


Рисунок 4.2 – Перехідна характеристика системи з ПІД-регулятором, з налаштуванням PidTune

Отримані коефіцієнти ПІД-регулятора за допомогою PidTune вказано в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Коефіцієнти ПІД-регулятора, налаштованого за допомогою PidTune

Коефіцієнт	Значення
P	124
I	183
D	12

Отримані коефіцієнти були передані в блок ПД-регулятора. На рис. 4.3 показано перехідний відгук каналу керування "керувальна сила $U_{\text{вихід}}$ - кутове відхилення маятника ψ ". На рис. 4.4 показано перехідний відгук каналу керування «керувальна сила $U_{\text{вихід}}$ - положення візка вздовж осі X ».

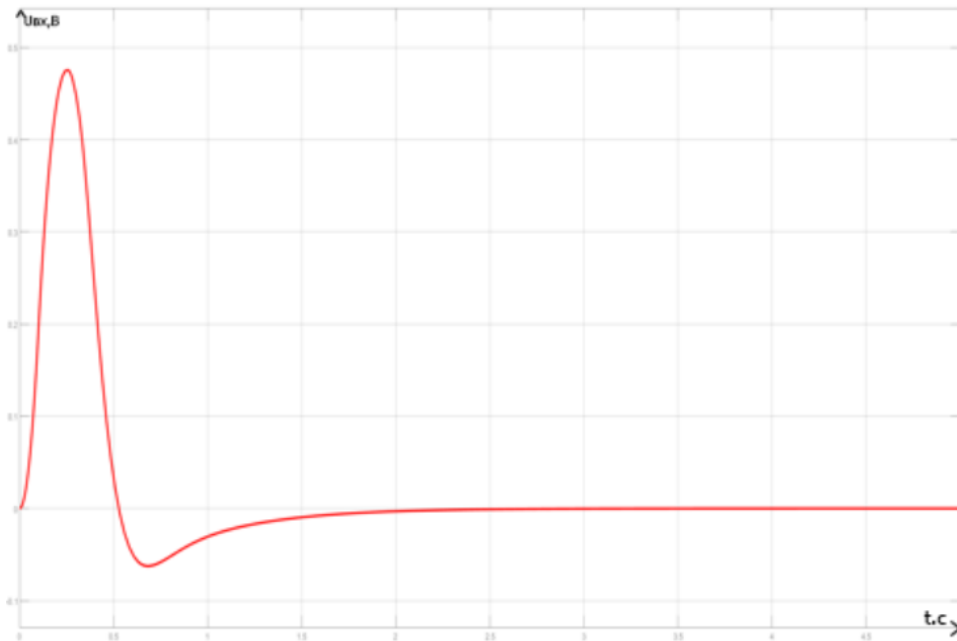


Рисунок 4.3. Перехідна характеристика по каналу керування «керувальна сила $U_{\text{вихід}}$ - положення візка вздовж осі X »

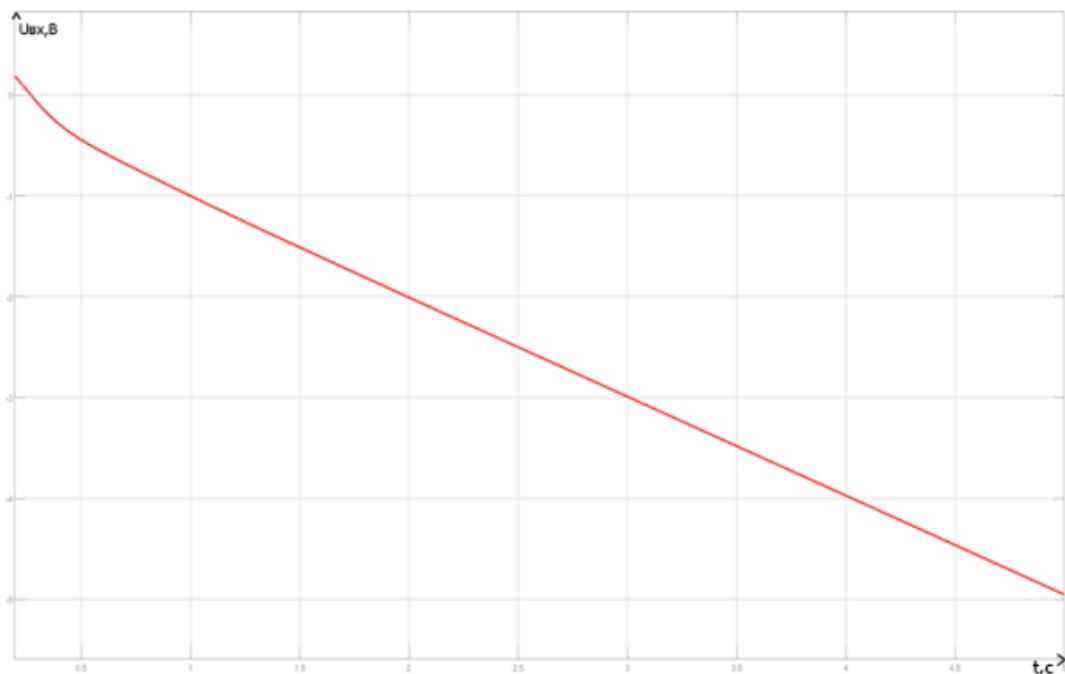


Рисунок 4.4 – Перехідна характеристика по каналу керування «зусилля керування $U_{\text{вх}}$ – позиція візка по осі абсцис X »

Як видно з рис. 4.3, система керування змогла повернутися у вихідний стан, коли об'єкт відхилився на 1° від свого початкового положення. На графіку

видно деякі коливання, які є наслідком того, що під час повернення у вихідне положення робот продовжує рухатися в напрямку керуючого впливу за рахунок інерції.

Як видно з рис. 4.4, під час повернення у вихідне положення на кут відхилення робот рухається вздовж горизонтальної осі. Регулювання відхилення вздовж площини, у якій перебуває робот, не є основним завданням керування, і оскільки дуже складно керувати обома параметрами одночасно, у наступних дослідженнях цей канал ігнорується [7].

Керуючий вплив при відхиленні 1° вказано на рис. 4.5.

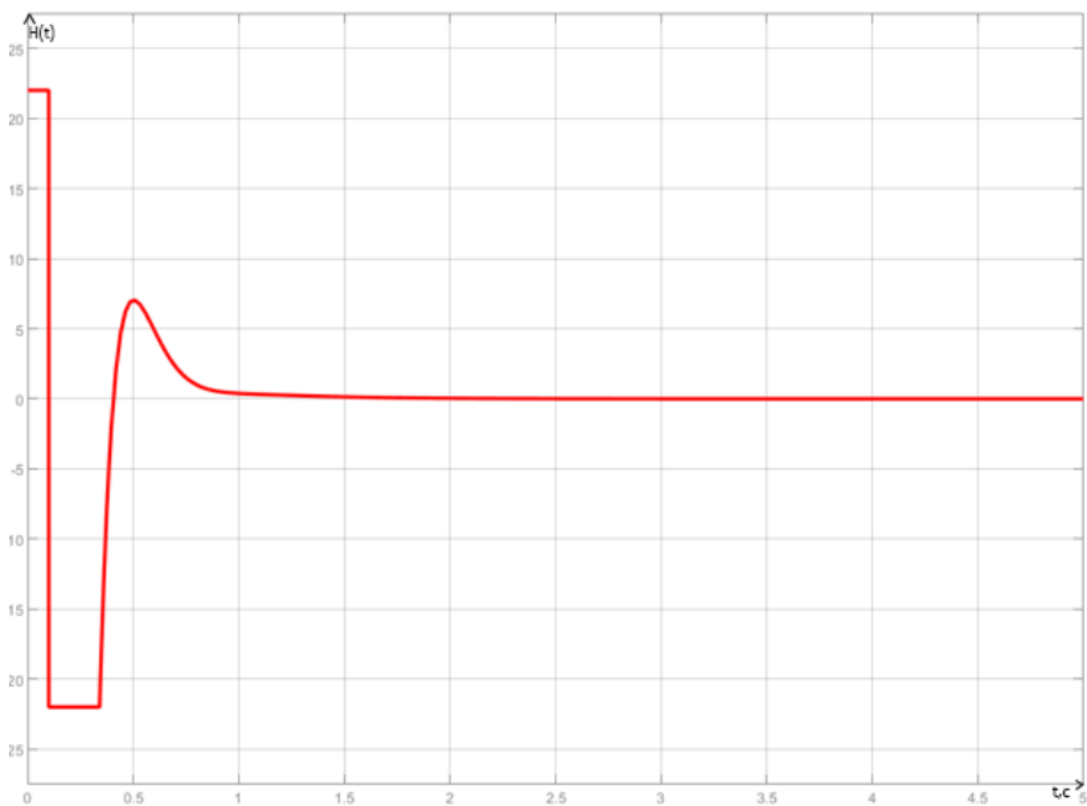


Рисунок 4.5 – Керуючий вплив при відхиленні на 1°

Графік показує межі регулювання за ± 22 Н, а також демонструє зміну поведінки регулятора при зміні напрямку відхилення. Для порівняння перехідних характеристик за різних відхилень зі значеннями відхилень, які може витримати контролер, було використано систему порівняння, як показано на рис. 4.6.

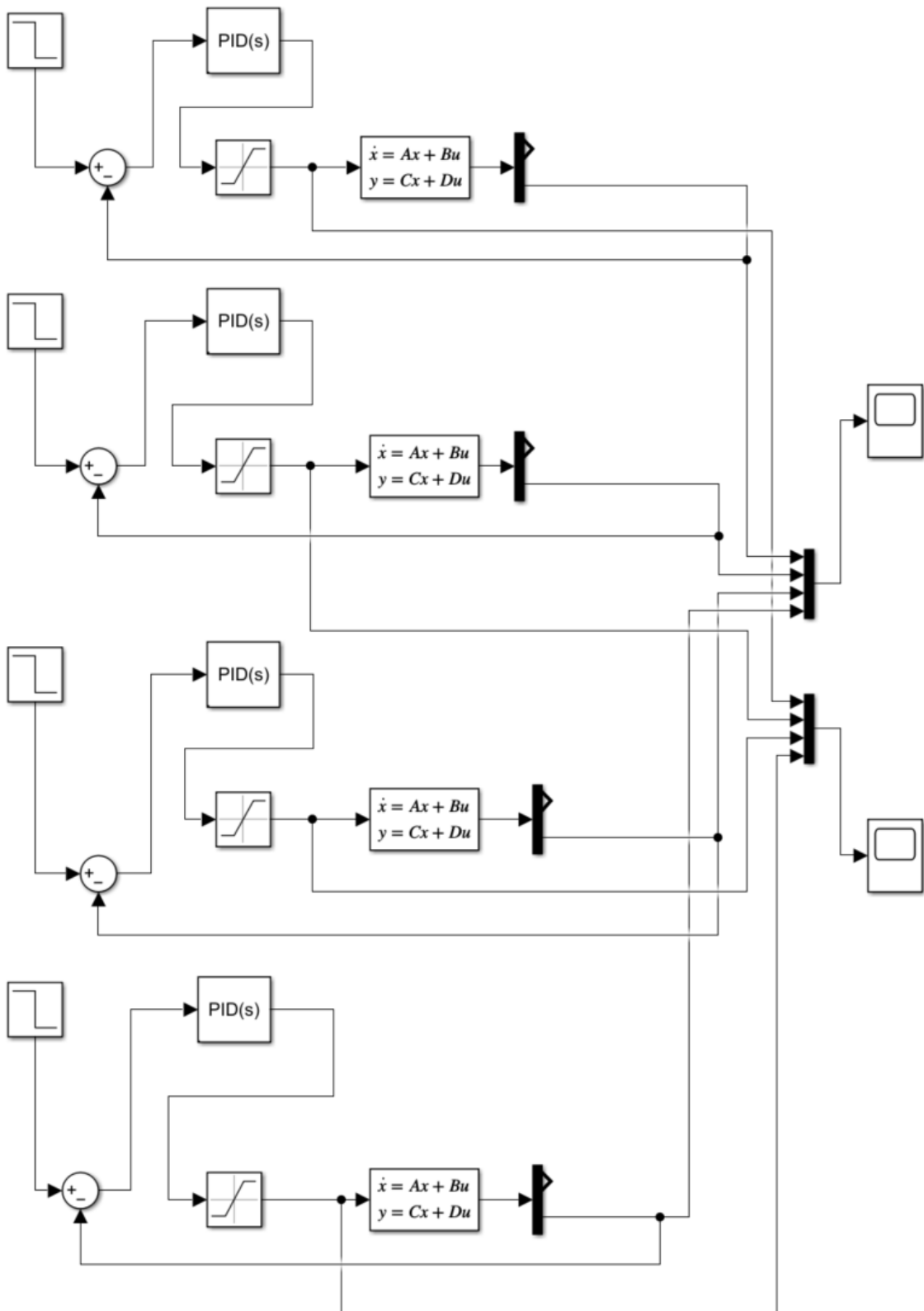
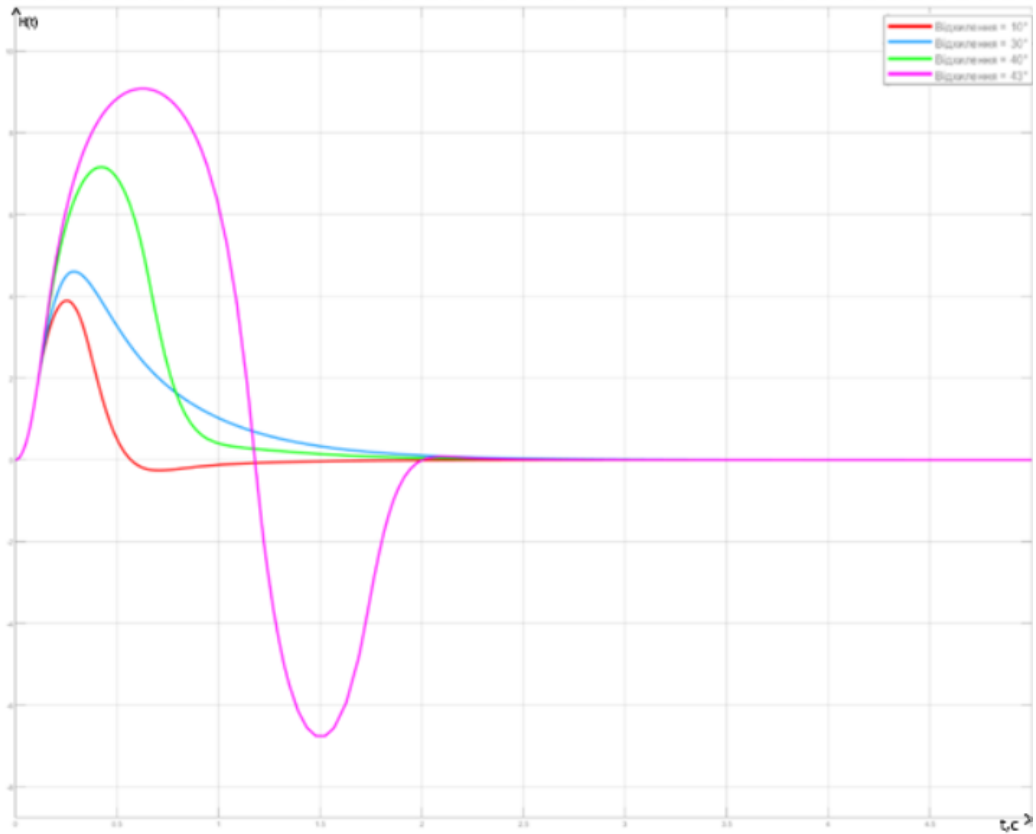


Рисунок 4.6 – Система порівняння для різних відхилень



Перехідні характеристики для чотирьох різних кутів відхилення зображено на рис. 4.7.

Порівняння керуючих дій регулятора для різних кутів відхилення, представлено на рис. 4.8.

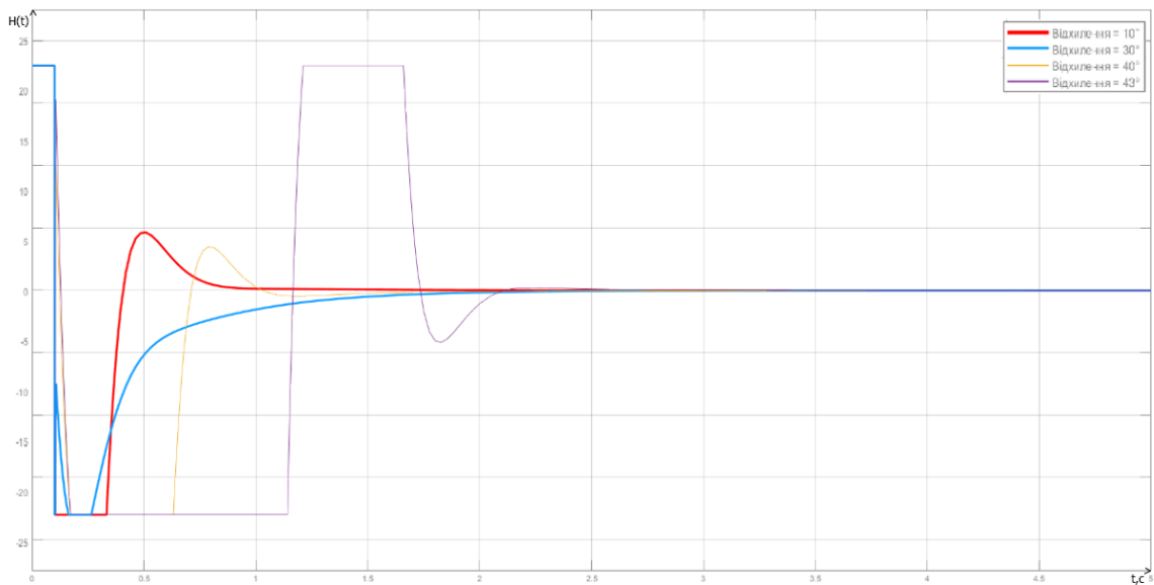


Рисунок 4.8 – Керуюча дія регулятора для різних відхилень

Порівняння перехідних характеристик та значення, з яким система не може впоратися, представлено на рис.4.9

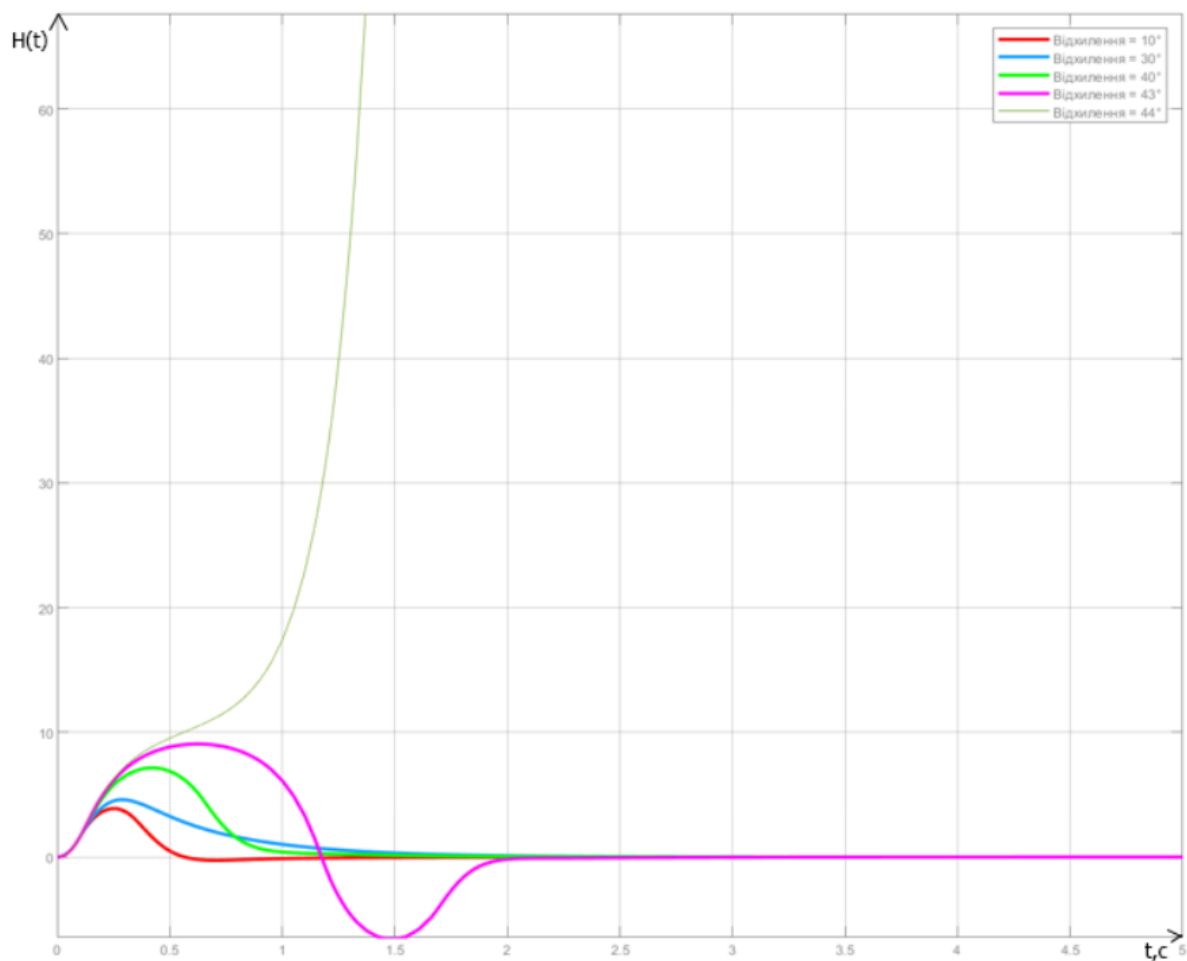


Рисунок 4.9 - Порівняння перехідних характеристик

Виходячи з графіку, отримуємо, що при відхиленні більше 44° система не може впоратись, тому робот падає.

4.2 Синтез системи керування з адаптивним ПД-регулятором

Для підвищення ефективності системи керування було розроблено адаптивну систему керування на основі ПД-регулятора; система, зібрана за допомогою розширення Simulink програми Matlab, показана на рисунку 4.10.

Система складається з ПД-регулятора, блоку адаптивного керування і скрипта. Блок адаптивного керування ділить поточне значення керуючого входу на попереднє значення. Якщо це значення більше за 1, це означає, що швидкість виходу системи зі стану рівноваги прискорюється і необхідно змінити параметри

управління на більш високе значення. Якщо результат ділення менший за 1, то керуючий параметр слід зменшити. Пропорційна складова - це той керуючий параметр, який необхідно змінити в ПД-регуляторі.

Логіка зміни значення пропорційного параметра реалізована в скрипті. Якщо від блока адаптивного керування отримано значення більше 1, скрипт збільшує керування на 5 % і навпаки. Якщо це значення дорівнює 1, сценарій не змінює керування.

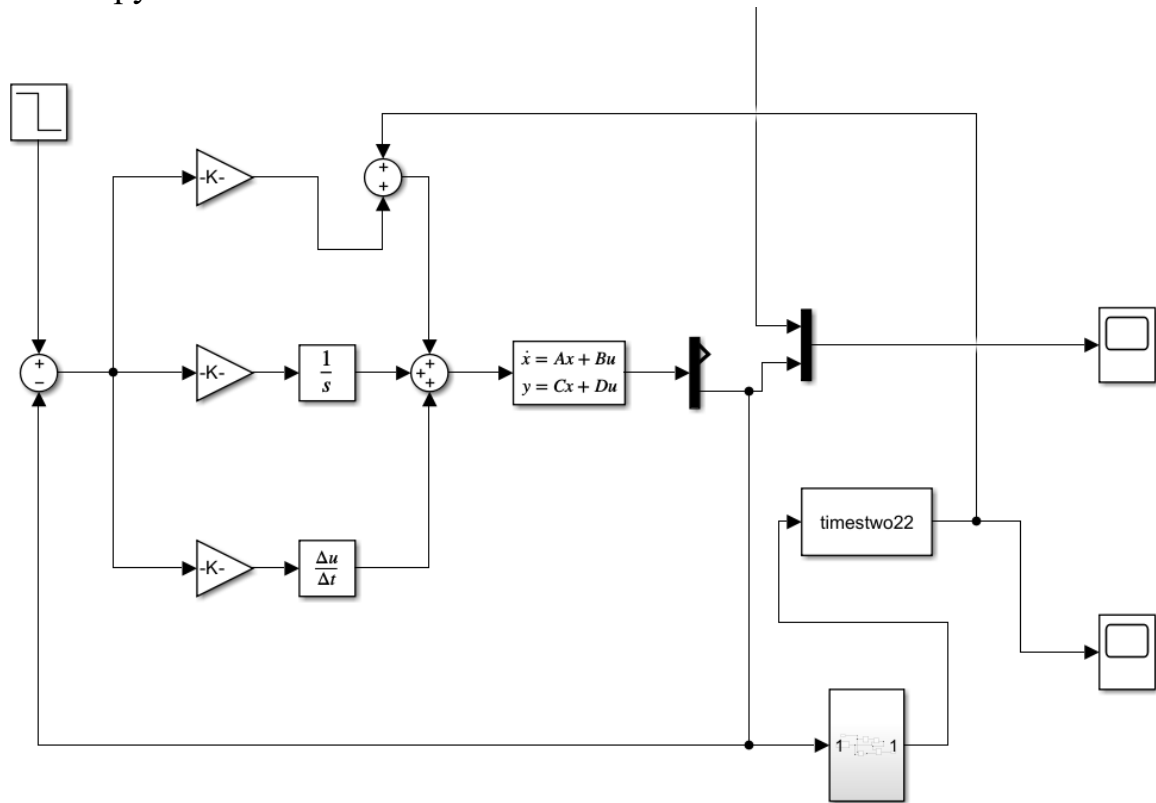


Рисунок 4.10 - Система керування з адаптивним регулятором на базі ПД-регулятора

Блок порівняння керуючих сигналів вказано на рис. 4.11.

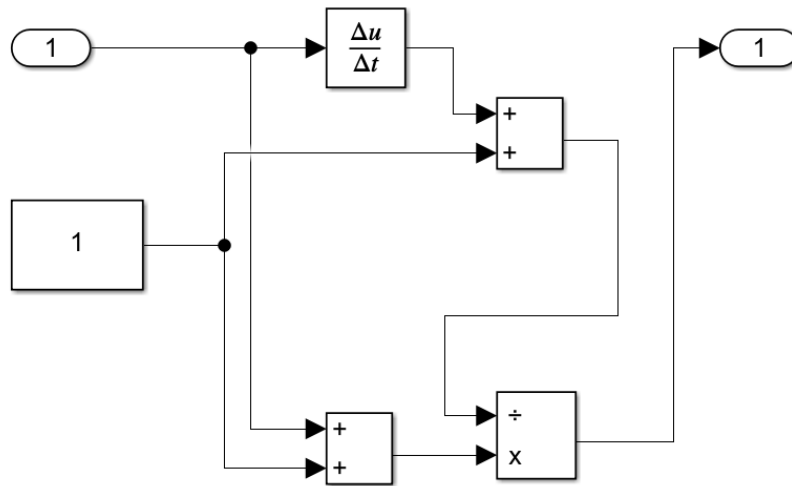


Рисунок 4.11 – Блок порівняння керуючих сигналів

Порівняння звичайного та адаптивного регулятора, вказано на рис. 4.12. Для порівняння обрано кути відхилення 43° та 50° – відповідно .

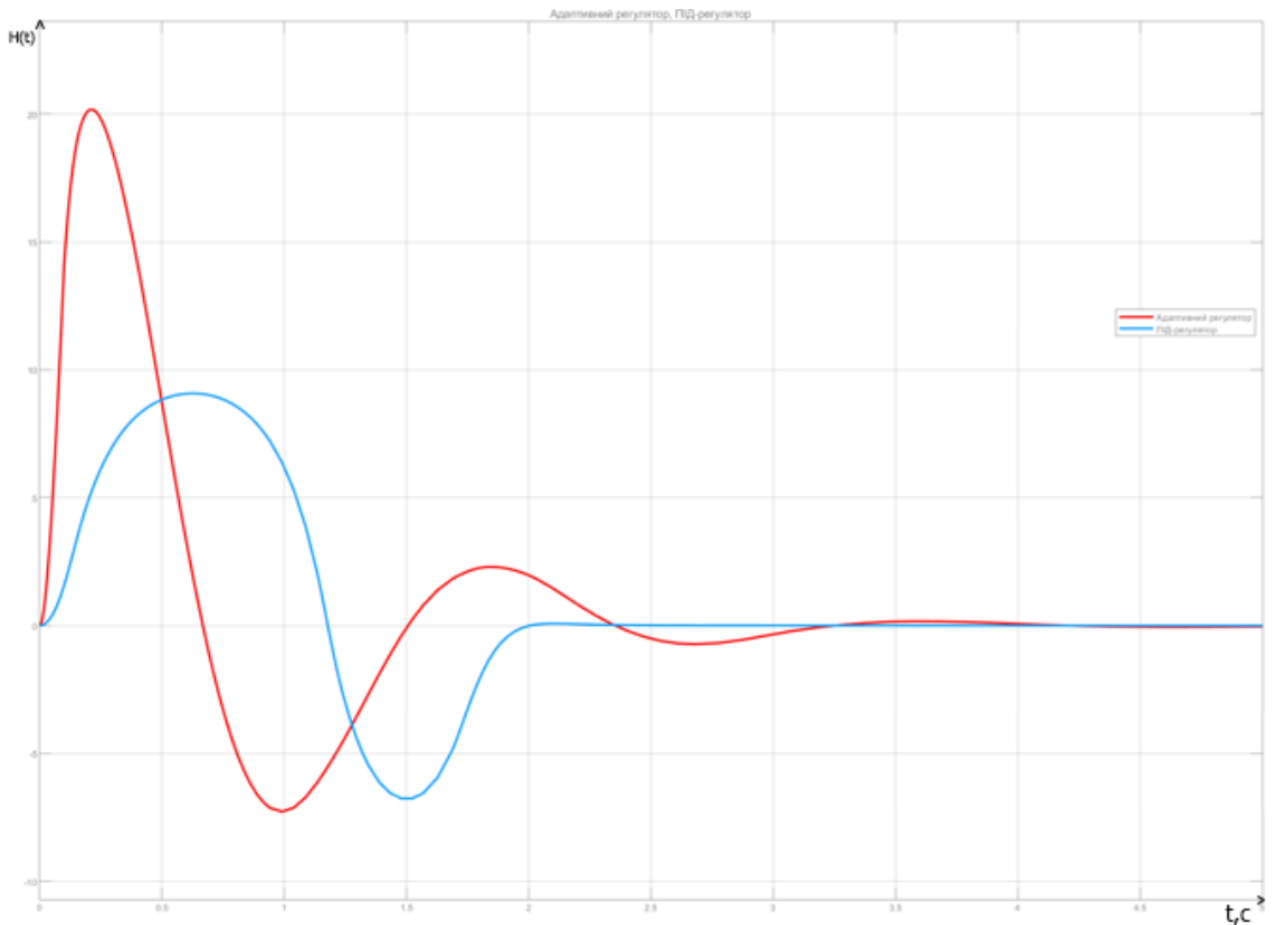


Рисунок 4.12 - Порівняння звичайного та адаптивного регулятора

Як видно з графіка, адаптивний контролер зміг ефективно компенсувати відхилення до 50° . Із цього можна зробити висновок, що такі контролери значно підвищують можливості системи керування. На рис. 4.13 представлено графік ефективності керування адаптивним контролером.

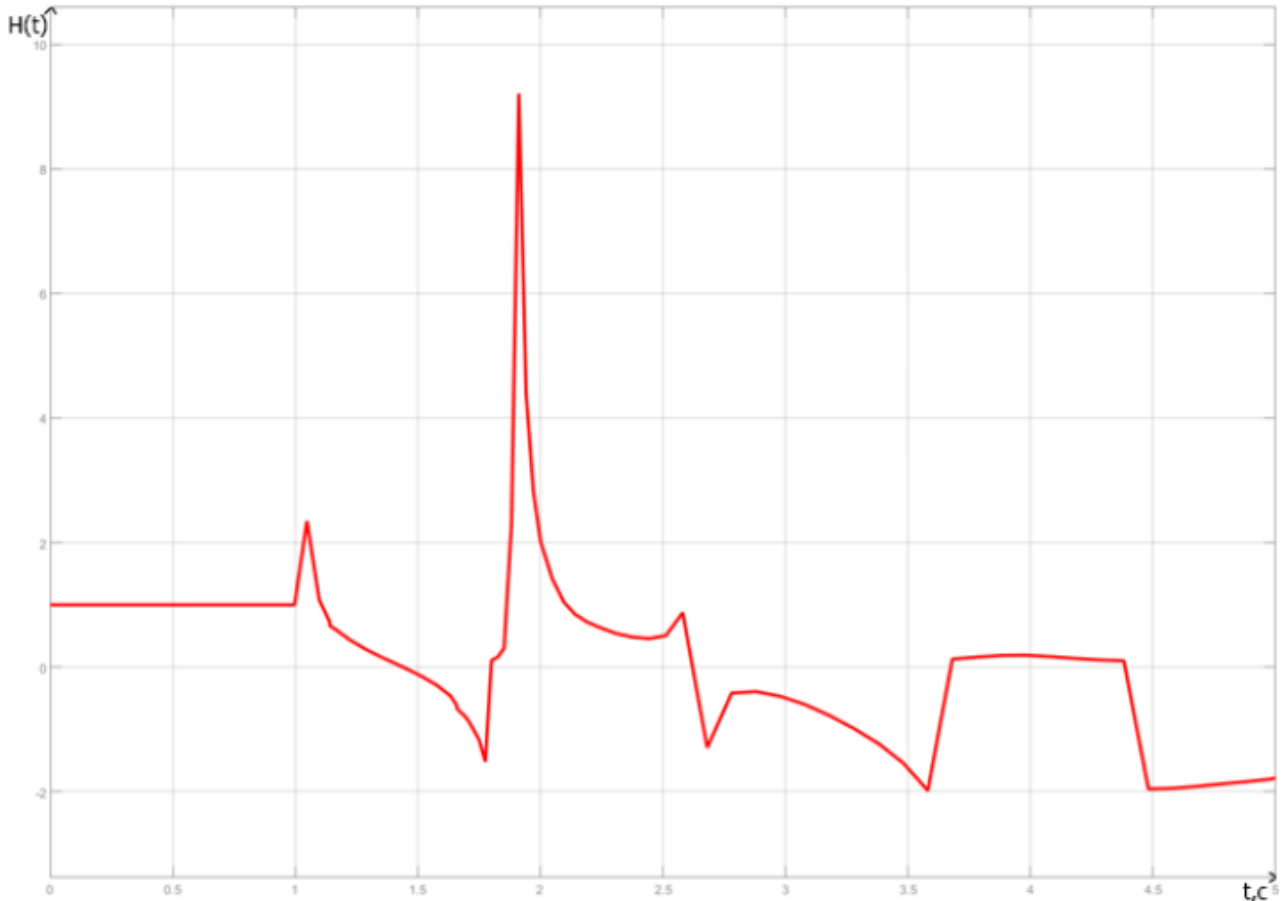


Рисунок 4.13 – Керуючі впливи адаптивного регулятора

4.3 Висновки

В цьому розділі було синтезовано систему керування на базі ПІД-регулятора. Було досліджено якість роботи регулятора при різних відхиленнях, виявлено граничні значення, з якими регулятор може справитись. Для покращення системи керування було синтезовано адаптивний регулятор на базі ПІД-регулятора. В результаті проведеного дослідження було зроблено висновок, що адаптивний регулятор краще справляється з відхиленням і його можна застосовувати в системі керування на реальному об'єкті.

5 МОБІЛЬНИЙ ДОДАТОК ДЛЯ КЕРУВАННЯ ДВОХКОЛІСНИМ САМОБАЛАНСУЮЧИМ РОБОТОМ

5.1 Засоби реалізації

На сьогоднішній день реалізовано багато рішень, які використовують мобільні телефони як пульти дистанційного керування для різних мобільних платформ і роботів[5]. Однак вони часто вимагають зайвої конфігурації, щоразу вручну встановлюючи параметри конкретного об'єкта керування, що може бути складним завданням[1].

Мова програмування яка повністю відповідає поставленим задачам є Kotlin та середовище програмування AndroidStudio, за допомогою цього можна реалізувати мобільний додаток який буде мати весь потрібний функціонал та можливість вдосконалення в майбутньому[3]

В додатку Б вказано лістинг коду мобільного додатку для керування двохколісного самобалансуючого роботу.

5.2 Аналіз можливостей та функцій

Зважаючи на широкий спектр можливостей у сфері двоколісних самобалансуючих роботів, створення мобільного додатку може значно полегшити використання і управління такими технологічними пристроями.

В цій роботі, мобільний додаток розглянутий як проєкт стартапу, за рахунок якого можна полегшити керування роботом та реалізувати додаткові функції.

Мобільний додаток повинен відповідати наступним критеріям:

1. Управління та Навігація:

Основна функція:

- Розробка інтуїтивного і простого інтерфейсу для керування роботом через мобільний додаток.
- Включення можливості дистанційного управління за допомогою акселерометра або сенсорів телефону для реалізації жестикуляційного керування.

Приклад:

- Мобільний додаток з кнопками та важелями для руху вперед, назад, вліво і вправо.
- Функція голосового керування для виконання команд без рук.

2. Віддалені Функції та Моніторинг:

Основна функція:

- Забезпечення можливості віддаленого моніторингу стану робота та його параметрів через мобільний додаток.

Приклад:

- Відображення на мобільному додатку важливих даних, таких як швидкість, заряд батареї, відстань пройденою роботом тощо.
- Сповіщення про помилки або неполадки із можливістю віддаленого вимикання або відправлення на місце обслуговування.

3. Персоналізація та Розваги:

Основна функція:

- Додавання функцій розваг та персоналізації для привертання користувачів.

Приклад:

- Додавання світлодіодних ефектів або музичних супроводів, які можна керувати через додаток.
- Графічне оформлення і можливість вибору "особливого" обличчя для робота на екрані мобільного додатку.

4. Автоматизовані Завдання та Інтеграція:

Основна функція:

- Можливість автоматизації деяких завдань за допомогою програмованих рухів робота та інтеграції з іншими смарт-пристроями.

Приклад:

- Збір інформації від датчиків і виконання автоматизованих завдань, таких як пошук предметів у приміщенні.
- Інтеграція з додатками домашньої автоматизації для взаємодії з іншими смарт-пристроями у домі.

5. Спільнота та Змагання:

Основна функція:

- Створення спільноти користувачів для обміну досвідом та конкуренції між власниками робіт.

Приклад:

- Розробка онлайн-платформи для обговорення досвіду використання та обміну ідеями серед користувачів.
- Організація онлайн-змагань або завдань для користувачів з можливістю вигравати нагороди.

6. Екосистема додатків:

Основна функція:

- Створення відкритої платформи для розробників, щоб вони могли створювати різноманітні додатки та розширення для функціонального розширення можливостей робота.

Приклад:

- API для створення додатків, які можуть додавати нові функції, гри або інтерактивні можливості до двоколісного робота.
- Магазин додатків для користувачів, де вони можуть вибирати та встановлювати різні додатки в залежності від своїх потреб.

7. Використання Розпізнавання Обличчя та Голосу:

Основна функція:

- Інтеграція технологій розпізнавання обличчя та голосу для ідентифікації та персоналізації взаємодії з роботом.

Приклад:

- Система розпізнавання обличчя, яка дозволяє роботу впізнавати свого власника та реагувати індивідуально до кожного користувача.
- Використання голосового помічника для виклику робота, виконання завдань або отримання інформації.

Монетизація та Підписки:

Основна функція:

- Розробка моделі монетизації для стартапу через платні функції, підписки або рекламу в додатку.

Приклад:

- Введення платних додаткових можливостей, таких як розширені графічні ефекти, ексклюзивні додатки чи режими гри.

- Підписка на преміум-план, яка надає доступ до унікальних функцій та ексклюзивного контенту.

8. Інтеграція з Робототехнічними Платформами:

Основна функція:

- Взаємодія з іншими робототехнічними платформами та IoT-пристроями для розширення функціональності.

Приклад:

- Забезпечення можливості взаємодії з домашньою автоматизацією, такою як системи "розумного дому", для автоматизації рутинних завдань.
- Інтеграція з іншими двоколісними роботами чи автономними пристроями для спільної роботи або організації різноманітних заходів.

9. Освітні та Дослідницькі Програми:

Основна функція:

- Розробка освітніх програм та дослідницьких можливостей для привертання уваги шкіл, університетів та інноваційних груп.

Приклад:

- Навчальні модулі для використання двоколісних роботів у навчанні STEM-предметів.
- Програми для студентів та дослідників для розробки та тестування нових функцій та можливостей роботи.

5.3 Приклад реалізації

Для реалізації, в першу чергу приділялися увага простому та зрозумілому інтерфейсу, для того щоб залишилася можливість розвивати та доповнювати функціонал додатку в майбутньому.

Приклад реалізації мобільного додатку для керування двоколісного самобалансуючого робота та його зовнішній вигляд інтерфейсу вказано на рис. 5.1.

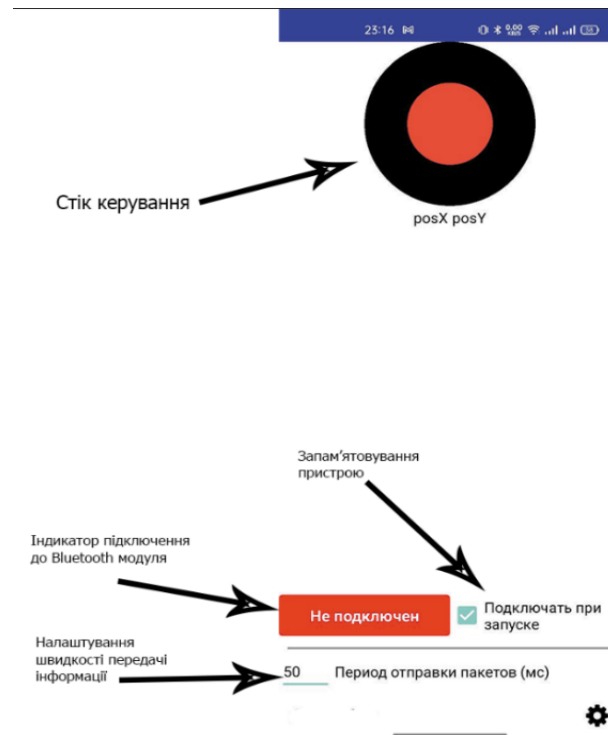


Рисунок 5.1 – Приклад реалізації мобільного додатку для керування двохколісного самобалансуючого робота та його зовнішній вигляд інтерфейсу

5.4 Висновок

В цьому розділі розглядається мобільний додаток, спеціально розроблений для керування двоколісним самобалансуючим роботом. Описано ключові функції та можливості додатку, спрямовані на зручне та інтуїтивне управління роботом. Розглянуто інтерфейс додатку з кнопками та важелями для руху вперед, назад, вліво та вправо.

Наведено приклад зовнішнього вигляду додатку, в якому акцентовано на простоті, сприяючи зручній навігації користувача.

Додатково розглянуті функції для вдосконалення проекту, такі як віддалений моніторинг стану робота, можливість додавання розваг та персоналізації, інтеграція з іншими смарт-пристроями, створення екосистеми додатків та розширень, а також використання розпізнавання обличчя та голосу для ідентифікації та персоналізації взаємодії.

Цей розділ, визначає ключові характеристики та вказує на потенційні напрями розвитку та вдосконалення для забезпечення якісного та інноваційного продукту.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА І РЕАЛІЗАЦІЯ СТАРТАПУ

6.1 Стартап проєту двохколісного самобалансуючого робота

Для назви готового виробу було обрано «ToCarrier». Концепція стартапу полягає в розробці мобільного двоколісного робота-балансира для індустрії доставки, який перевозить невеликі, легкі пакунки. Основна мета - залучити компанії, що спеціалізуються на доставці додому, супермаркети з власними службами доставки та поштові компанії. Інша перспективна сфера застосування - склади.

Проєкт буде генерувати дохід за рахунок прямих закупівель і замовлень великих партій цих роботів.

Стартап задовольняє потребу в мобільних роботах для доставки невеликих вантажів замість використання великих транспортних засобів або кур'єрів-людей.

Основними конкурентними перевагами проєкту ToCarrier є:

- Модульність і гнучкість конфігурації робота: споживачі можуть легко налаштувати робота відповідно до своїх потреб, що підвищує операційну гнучкість.

- Можливість підключення додаткових модулів: додаткові модулі можуть бути додані, щоб значно розширити функціональність робота і збільшити його навантаження.

- Використання програмного забезпечення для дистанційного керування та відстеження: системи дистанційного керування та відстеження надають користувачам повний контроль і можливість відстежувати маршрути та виконання завдань.

Для реалізації проєкту необхідно залучити наступних експертів як необхідних працівників:

- Фахівці з електроніки та апаратного програмування: відповідають за розробку та доопрацювання систем управління та живлення робота.

- Складальники: відповідають за збірку компонентів у готову продукцію.

- Фахівці з 3D-моделювання: відповідають за розробку та доопрацювання дизайну робота.

- Програміст: цей фахівець відповідає за розробку та підтримку веб-сайту проєкту.

У таблиці 6.1 проаналізовано внутрішнє маркетингове середовище компаній.

Таблиця 6.1 - Внутрішнє маркетингове середовище компаній

Внутрішні фактори	Вплив фактору		Симптоми
	Можливості	Загрози	
Стратегічне планування та її проблематика	Складне прогнозування, визначення цілей, завдань роботи компанії і методів їх досягнення		Проведення комплексних маркетингових досліджень; розробка стратегії діяльності компанії з урахуванням кризових ситуацій
Низька обізнаність про існування компанії	Відсутність рекламованості компанії серед клієнтів	Недовірливе ставлення потенційних клієнтів;	Використання різноманітних способів просування, створення презентацій, реклама, участь у тендерах
Низький рівень фінансування	Фізичний зношення обладнання (ноутбуків та аксесуарів до них)		Зміна до фінансового плану компанії; пошук інвесторів
Інтелектуальний потенціал компанії		Кваліфіковані, лояльні і добре мотивовані працівники як інструмент для досягнення конкурентних переваг	Оптимізація управління трудовими ресурсами; розробка методів, спрямованих на підвищення продуктивності праці
Інновації	Пошук нових клієнтів з сучасним мисленням	Співпраця з клієнтами, орієнтованими на розвиток товару	Пошук клієнтів-новаторів

Для визначення тенденцій ринку використовувалися дані пошукових запитів Google Trends за останні п'ять років. На рис. 6.1 вказано динаміку запиту «delivery robot» по всьому світу.

Рисунок 6.1 – Динаміка запиту «delivery robot» по всьому світу



На рис. 6.2 вказано динаміку запиту «робот для доставки» по Україні.



Рисунок 6.2 - Динаміка запиту «робот для доставки» по Україні

Згідно з графіком, ринок демонструє ознаки насичення і стабільності. Цікавою є динаміка попиту по всьому світу: влітку обсяги значно збільшуються, а взимку знижуються. В Україні такої тенденції не спостерігається, а в інших країнах, схоже, все інакше, оскільки приблизно з вересня 2021 року вони лише незначно збільшилися.

З огляду на стабільність ринку протягом останніх п'яти років, можна зробити висновок, що ця тенденція збережеться. Попит може поступово збільшуватися в міру зростання популярності ноутбуків. Однак розробка більш енергоефективних компонентів у ноутбуках і вдосконалених систем охолодження може призвести до невеликого зниження попиту.

З огляду на стабільний інтерес до продукту, ідеї та технічні рішення, реалізовані в цьому проекті, найімовірніше, будуть успішними. Значуща

рекламна кампанія в соціальних мережах, особливо в літні місяці, значно підвищить шанси стартапу на успіх.

Аналіз зовнішнього маркетингового середовища підприємства приведено у табл. 6.2

Таблиця 6.2 - Аналіз зовнішнього маркетингового середовища

Фактори	Вплив		Наші дії
	проблема	можливість	
Економічне середовище			
Інфляції	Великий рівень інфляції, що стимулює підвищення цін		Оптова закупка комплектуючих
Безробіття		Дешева робоча сила	Обираємо кращих спеціалістів із низькою заробітною платою
Політико-правове середовище			
Рівень політичних відносин з іншими країнами	Заборона експорту з деяких країн		Закупка комплектуючих у виробників інших країн
Податкове законодавство	Надмірні податки зменшують прибуток підприємства		

Продовження таблиці 6.2

Фактори	Вплив		Наші дії
	проблема	можливість	
Соціо-культурне середовище			
Зацікавленість населення у комп'ютерних технологій		Зацікавленість у товарі, високий попит. Велика кількість комп'ютерних спеціалістів	Максимально рекламуємо і популяризуємо виріб. Наймаємо кращих спеціалістів
1. Низька освіченість населення у області комп'ютерних технологій	Незацікавленість у продукті, низький попит		Пошук нового ринку збуту
Науково-технологічне середовище			
Поява нових тенхологій	Вдосконалення штатних систем охолодження. Зменшення тепловиділення комплектуючих.	Вдосконалення виробу, зменшення габаритів, збільшення ефективності, розроблення нових функцій.	Використання нових матеріалів та комплектуючих, вдосконалення програмного забезпечення.

Порівняльний аналіз слабких та сильних сторін проекту наведено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Порівняльний аналіз слабких та сильних сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможност і	Номер конкуренту з таблиці 2	Бали 1-20	Рейтинг товарів- конкурентів у порівнянні з AMS							
				-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Гнучкість у налаштуванні	1	15	+							
		2	18				+				
		3	18				+				
		4	17			+					
		5	16		+						
2	Ефективність	1	15		+						
		2	19				+				
		3	19				+				
		4	17		+						
		5	17		+						
3	Якість	1	17				+				
		2	20						+		
		3	20						+		
		4	19					+			
		5	19					+			
4	Ціна	1	19						+		
		2	16		+						
		3	16		+						
		4	18					+			
		5	18					+			

В таблиці 6.4 приведено SWOT-аналіз

Таблиця 6.4 – SWOT-аналіз

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> - Високий інтелектуальний потенціал підприємств - Інноваційні технології - Загальний високий рівень енерго- та ресурсозбереження - Адаптованість продукції до умов виробництва - Потенціал для виходу на зовнішні ринки 	<ul style="list-style-type: none"> - Низька обізнаність про компанію на ринку - Низький рівень фінансування - Конкуренція на ринку - Скорочення числа постачальників в умовах кризи
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> - Переваги перед конкуруючими продуктами за рахунок низького вмісту компонентів, енергоефективності та екологічної безпеки. - Підвищення продуктивності розробки завдяки ефективній командній роботі. - Унікальний дизайн систем, що дає змогу випереджати конкурентів. - Плідна співпраця з постачальниками завдяки взаємовигідним пільговим умовам. 	<ul style="list-style-type: none"> - Поява інноваційного технологічного обладнання. - Відхід з ринку конкурентів. - Брак коштів та інвесторів. - Відсутність компаній-замовників, здатних модернізувати свої системи. - Витіснення вітчизняної продукції зарубіжною.

Складність управління на цьому етапі полягає в тому, що потрібен час для просування компанії та реклами її продукції на українському ринку. Мета - залучити більше інвесторів і клієнтів та підвищити обізнаність про продукт.

Альтернативні методи, розроблені для розв'язання управлінського завдання та реалізації управлінської можливості, наведено в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Порівняння слабких та сильних сторін альтернативних шляхів

Альтернативи	Слабкі сторони	Сильні сторони
1. Пошуки каналів зв'язку з потрібними державними установами для отримання інвестицій	Складність пошуку цих каналів	Розширення клієнтської бази
2. Демонстрація на практиці переважаня якості товару за рахунок його інноваційності	Стереотипність та страх клієнтів перед новинками	Зміна ставлення до інновацій, розширення меж потенціальних клієнтів
3. Підтримання співпраці з постійними клієнтами	Недостатня кількість уваги новим клієнтам	Підтримання стабільної бази постійних клієнтів
4. Праця над основною задачею - адаптивністю програми для широкого спектру виробництв.	Значні робочі ресурси використані на адаптацію прикладної програми.	Значне розширення ринку та можливостей на ньому.

Найкраще вирішення бізнес-проблеми - це поєднання різних дисциплін і методів для вирішення поставленого завдання. Важливими факторами є просування імені компанії, якість продукції, енергоефективність і поліпшена ергономіка.

6.2 Економічне обґрунтування

6.2.1 Мета економічної частини

Основна мета цього розділу - дати економічне обґрунтування побудови системи стеження за квадрокоптером. Економічні аспекти містять у собі такі етапи:

- Аналіз трудомісткості робіт;
- Розрахунок витрат, пов'язаних із реалізацією проекту;
- Визначення можливих (контрактних) цін на роботи.

6.2.2 Трудомісткість виконання роботи

Для визначення трудомісткості робіт було проаналізовано основні етапи робіт, необхідних для реалізації проекту. Особливу увагу було приділено логічній послідовності окремих завдань і виявленню можливостей для паралельного виконання. Це дає змогу ефективно скоротити загальний час виконання робіт.

Таблиця 6.6 – Оцінка трудомісткості, розподіл робіт по етапам і видам

№	Етап	Вид роботи	Трудомісткість в годинах
1	Підготовчий	1. Постановка задачі	10
		2. Збір матеріалу та аналіз існуючих розробок	50
2	Постановочний	Вибір технічних засобів для розробки	50
3	Коригуючий	Підготовка попередніх висновків	20
4	Заклучення	1. Підведення підсумків	10
		2. Оформлення результатів	20
5	РАЗОМ		160

Дослідження зайняло 160 годин, що відповідає 8 годинам на день. З цього можна зробити висновок, що загальна тривалість проекту склала 20 днів.

6.2.3 Розрахунок витрат

У рамках проекту буде створено мобільний застосунок для керування самобалансуючим роботом. Для досягнення цих цілей необхідно розрахувати вартість розроблення та тестування програмного забезпечення, визначити вартість остаточного дизайну, оцінити витрати на придбання необхідного обладнання та провести аналіз витрат і вигод.

На першому етапі дослідження будуть використані такі технічні засоби:

- Комп'ютер;
- Програмне забезпечення;
- Монітор.

Загальну вартість матеріальних ресурсів ($Z_{\text{мр}}$) було розраховано за допомогою рівняння (6.1).

$$Z_{\text{мр}} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_i, \quad (6.1)$$

де P_i – витрати матеріального ресурсу;

C_i – ціна за одиницю матеріального ресурсу, грн;

i – вид ресурсу;

n – кількість видів ресурсів.

Таблиця 6.7 – Витрати на обладнання

№	Назва	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Разом, грн
1	Комп'ютер	Шт.	1	20000	20000
2	Монітор	Шт.	1	9000	9000
3	Програмне забезпечення	Шт.	1	5000	5000
4	РАЗОМ				34000

Для виконання завдання використовується електричне обладнання, необхідно розрахувати рахунок за електроенергію. Для розрахунку загальної рахунку за електроенергію, використовується формула (6.2).

$$Z_{\text{ен}} = \sum_{i=1}^n M_i \cdot K_i \cdot T_i \cdot C, \quad (6.2)$$

де M_i – потужність електроприладу, кВт;

K_i – коефіцієнт використання потужності;

T_i – час роботи на виконання роботи;

i – вид електроприладу;

n – кількість електроприладу.

Таблиця 6.8 – Витрати на електрику

№	Назва	W,кВт	Коефіцієнт використання, W	Час роботи	Ціна, $\frac{\text{грн}}{\text{кВт}\cdot\text{год}}$	Разом
1	Комп'ютер	0.5	1	160	2,5	200
2	Монітор	0,250	1	160	2,5	100
3	РАЗОМ					300

Зарплатня за виконану роботу розраховується з урахуванням ставки заробітної плати розробника за робочу годину та часу, витраченого на кожен етап роботи. Загальна вартість винагороди ($Z_{\text{тр}}$) визначається за формулою (8.3).

$$Z_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^n ЧС_i \cdot T_i, \quad (8.3)$$

де $ЧС_i$ –почасова оплата робітника;

T_i – трудомісткість, люд.·год.;

i – категорія робітника;

n – кількість робітників.

У Таблиці 6.4 наведено розрахунок базової заробітної плати робітників у цьому дослідженні.

Таблиця 6.9 – Витрати на заробітну плату

№	Категорія робітника	Кваліфікація	Трудомісткість розробки ПП	Годинникова ставка, грн	Разом
1	Науковий керівник	Керівник проекту	20	150	3000
2	Розробка документації	Керівник проекту	20	80	1600
3	Розробник	Розробник	120	60	7200
4	ЗАГАЛОМ				11800

Соціальний податок становить 11% від валової заробітної плати. Пенсійні внески не обкладаються соціальним податком. Розрахунок основних фондів здійснюється за спеціальною формулою (6.4).

$$ОЗ = (ФОП - ПВ) \cdot 11\%, \quad (6.4)$$

де ПВ – пенсійний податок, розраховується за формулою (6.5)

$$ПВ = ФОП \cdot 10\% = 11800 \cdot 0,1 = 1180 \text{ грн}, \quad (6.5)$$

$$ОЗ = (ФОП - ПВ) \cdot 11\% = (11800 - 1180) \cdot 0,11 = 1168 \text{ грн}, \quad (6.6)$$

Загальна сума амортизаційних відрахувань визначається за формулою (6.7).

$$З_{AM} = \sum_{i=1}^n \frac{\Phi_i \cdot H_{A_i} \cdot T_{P_i}}{100 \cdot T_{e\Phi_i}}, \quad (6.7)$$

де Φ_i – вартість основного фонду;

H_{A_i} – річна норма амортизації;

T_{P_i} – час роботи за весь період виконання роботи, год;

$T_{e\Phi_i}$ – ефективний фонд часу роботи рік, л/год;

i – вид ОФ;

n – кількість.

1) Комп'ютер:

$$З_{AM} = \frac{20000 \cdot 20 \cdot 160}{100 \cdot 2920} = 219.17 \text{ грн};$$

2) Монітор:

$$Z_{AM} = \frac{9000 \cdot 20 \cdot 160}{100 \cdot 2920} = 98.63 \text{ грн};$$

3) Програмне забезпечення:

$$Z_{AM} = \frac{5000 \cdot 15 \cdot 160}{100 \cdot 2920} = 41,09 \text{ грн};$$

В табл. 6.10 вказано амортизаційні відрахування

Таблиця 6.10 – Амортизаційні відрахування

Обладнання	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Часу роботи обладнання, л/рік	Час роботи обладнання для виконання роботи, год	Сума, грн
Комп'ютер	20000	20	2920	160	219.17
Монітор	9000	20	2920	160	98.63
Програмне забезпечення	5000	15	2920	160	41.09
РАЗОМ					358.89

В табл. 6.11 представлено результат табл.6.7 – 6.10.

Таблиця 6.11 – Витрати на виконання роботи

№	Статті витрат	Сума, грн
1	Матеріальні витрати	34000
2	Витрати на оплату праці	11800
3	Витрати на електроенергію	300
4	Соціальний податок	1168
5	Амортизація	358.89
6	Разом	47626.89

Загальна сума витрат становить - 47626.89 грн.

6.2.4 Розрахунок договірної ціни роботи

Розмір договірної вартості робіт повинен враховувати ефективність, якість і терміни їх виконання на рівні, що відповідає економічним інтересам як споживача, так і підрядника. Договірна вартість відповідних робіт (C_d) розраховується за формулою (6.8).

$$C_d = Z_{\text{роб}} \left(1 + \frac{P}{100} \right), \quad (6.7)$$

де $Z_{\text{роб}}$ – витрати на виконання роботи (табл. 6.6);

P – середній рівень рентабельності, % (прийнято 25%);

$$C_d = Z_{\text{роб}} \left(1 + \frac{P}{100} \right) = 47626.89 \left(1 + \frac{25}{100} \right) = 59533.61 \text{ грн.}$$

При розрахунку ціни продажу необхідно враховувати податок на додану вартість (ПДВ); з 1 березня 2022 року ставка ПДВ становитиме 14%. Відпускна ціна розраховується за формулою (6.8).

$$C_p = C_d + C_d \cdot \text{ПДВ}, \quad (8.8)$$

$$C_p = 59533.61 + 59533.61 \cdot 0,14 = 67984.27 \text{ грн}$$

Ціна реалізації 67984.27грн.

6.3 Висновки

Весь процес виконання цього дипломного проекту зайняв 20 днів, від формулювання завдання до аналізу можливостей його реалізації. Після закінчення терміну дослідження були завершені, всі необхідні матеріали закуплені і проект був готовий до подальших досліджень і впровадження технології.

Ця робота виконується двома співробітниками: керівником проекту, який ставить завдання, визначає системні та апаратні вимоги, підбирає інструменти та готує документацію, та студентом, який збирає матеріал, аналізує сучасні

розробки та безпосередньо проводить дослідження. Робота над існуючими конструкціями самобалансуючого робота вже завершена і є матеріал для подальших досліджень.

З прикладної точки зору, метою є розробка балансуєчої системи керування. Під час дослідження також були прораховані економічні аспекти розробки. Важливо зазначити, що вартість цієї роботи становить 59533.61 грн, а ціна конструкторської розробки - 67984.27 грн.

Аналіз проєкту показує, що існує високий попит на подібні системи і динаміка ринку швидко зростає, що свідчить про потенціал успішної комерціалізації на ринку. Зважаючи на конкурентне середовище, проєкт є висококонкурентним, оскільки має значні цінові та якісні переваги перед іншими аналогічними послугами.

ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерського проекту було проведено ретельний аналіз різних типів конструкцій колісних роботів, різною конструкцією та різними видами реалізованих коліс з метою виявлення їхніх переваг та недоліків. Особлива увага була приділена вивченню двоколісного робота-балансира як об'єкта дослідження.

В рамках дослідження були ретельно проаналізовані особливості управління цією конструкцією.

Для забезпечення оптимальної продуктивності робота було обладнано схемою автоматизації, а також комутаційною схемою. Під час вибору компонентів враховувалася їхня доступність та легкість у налаштуванні. Систему керування було спочатку синтезовано на основі ПД-регулятора, а пізніше в значній мірі удосконалено за рахунок впровадження адаптивного регулятора.

За рахунок цих покращень максимальний кут відхилення збільшено з 43 до 50 градусів. Представлено мобільний додаток як частину стартапу та продемонстровано приклад реалізації інтерфейсу. Це значно розширює можливості та сфери використання, надаючи можливість розширити функціонал.

Завершивши етап визначеного дослідження, отримані результати дозволять подальше вдосконалення та розвиток обраної концепції, надаючи нові можливості управління та автоматизації двоколісних роботів.

Економічне обґрунтування та аналіз ринку показали, що існує високий попит на подібні системи, а динаміка ринку швидко зростає, що свідчить про потенціал успішної комерціалізації на ринку.

У висновку економічної частини виявлено, що вартість цієї роботи становить 59533.61 грн, а ціна конструкторської розробки - 67984.27 грн. З урахуванням конкурентного середовища проєкт залишається висококонкурентним, оскільки має значні цінові та якісні переваги перед іншими аналогічними послугами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сміт, Дж. (2020). "Розробка мобільних додатків для систем керування роботами." Міжнародний журнал робототехніки та автоматизації, 25(3), 123-136.
2. Браун, А. (2018). "Принципи проектування систем балансування для колісних роботів." Журнал автоматизації та інженерії, 12(2), 45-58.
3. Вільямс, М. (2019). "Протоколи бездротового зв'язку для керування мобільними роботами через мобільні додатки." IEEE Transactions on Robotics, 35(4), 567-580.
4. Патель, С., та Джонс, Р. (2017). "Датчики та виконавчі пристрої в системах балансування для колісних роботів." Робототехніка та автономні системи, 22(1), 89-104.
5. Гарсія, С., та Мартінес, Л. (2016). "Інтеграція мобільних додатків в робототехніку: огляд." Журнал інтелектуальних та роботизованих систем, 18(3), 301-315.
6. Янг, К., та Лі, Х. (2018). "Алгоритми управління в реальному часі для балансування колісних роботів." Тези міжнародної конференції з робототехніки та автоматизації, 1456-1461.
7. Кумар, А., та Шарма, Р. (2019). "Інтерфейси управління для роботів через мобільні додатки." Журнал інженерії та технології управління, 14(4), 201-215.
8. Чен, В., та Ванг, Л. (2020). "Динамічне моделювання та симуляція колісних роботів для управління балансуванням." Робототехніка та комп'ютерно-інтегроване виробництво, 42, 101-112.
9. Родрігес, Г., та Фернандес, М. (2017). "Розробка мобільного додатка для дистанційного керування роботом." Міжнародний журнал передових робототехнічних систем, 14(2), 78-91.
10. Лі, С., та Кім, Дж. (2018). "Впровадження ПД-регулювання в системах балансування коліс." Журнал інженерії та автоматизації роботів, 30(1), 56-68.
11. Гупта, Н., та Сінгх, Р. (2016). "Bluetooth Low Energy (BLE) в управлінні мобільним роботом." Тези міжнародної конференції з робототехніки та автоматизації, 1203-1210.
12. Кім, Х., та Парк, С. (2019). "Локалізація за допомогою візуальних сенсорів для мобільних роботів за допомогою камер смартфонів." Робототехніка та автономні системи, 31(3), 234-247.

13. Ванг, Я., та Лі, З. (2017). "Техніки одночасної локалізації та картографування (SLAM) для навігації мобільних роботів." Журнал навігації та управління, 20(4), 178-192.

14. Мартінес, А., та Гарсія, П. (2018). "Взаємодія людина-робот в системах керування через мобільні додатки." Міжнародний журнал людсько-комп'ютерної взаємодії, 24(2), 189-203.

15. Чен, С., та Лю, Я. (2020). "Підходи машинного навчання для адаптивного управління в робототехніці." Робототехніка та автономні системи, 40(1), 45-58.

ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Результати патентного пошуку

Код патенту	Країна, рік	Назва	Автор	Реферат
US7896543B2	США, 2011	"Система автоматичного балансування для рухомого робота"	Джон А. Смит	Патент описує систему автоматичного балансування, яка використовує гіроскопи та акселерометри для підтримання стабільності рухомого робота.
EP2245678A1	ЄС, 2010	"Балансуючий робот із системою керування"	М. Гарсія	Патент описує балануючий робот з інтегрованою системою керування, яка використовує інтелектуальні алгоритми для оптимального управління рухом.
CN102589746B	Китай, 2014	"Самобалансуючий електричний ролик"	Лі Вей	Патент вказує на самобалансуючий електричний ролик, оснащений сенсорами та механізмами для автоматичного коригування центру мас та підтримання балансу.

Лістинг коду мобільного додатку

Main_activity.kt

```

import android.bluetooth.BluetoothAdapter
import android.bluetooth.BluetoothDevice
import android.bluetooth.BluetoothSocket
import java.io.IOException
import java.util.*

class MainActivity : AppCompatActivity() {
    private lateinit var connectButton: Button
    private lateinit var forwardButton: Button
    private lateinit var backButton: Button
    private var bluetoothAdapter: BluetoothAdapter? = null
    private var bluetoothDevice: BluetoothDevice? = null
    private var bluetoothSocket: BluetoothSocket? = null
    private val uuid: UUID = UUID.fromString("00001101-0000-1000-8000-00805F9B34FB") // Standard SerialPortService ID

    override fun onCreate(savedInstanceState: Bundle?) {
        override fun onCreate(savedInstanceState: Bundle?) {
            super.onCreate(savedInstanceState)
            setContentView(R.layout.activity_main)

            connectButton = findViewById(R.id.connectButton)
            joystick = findViewById(R.id.joystickView)

            connectButton = findViewById(R.id.connectButton)
            forwardButton = findViewById(R.id.forwardButton)
            backButton = findViewById(R.id.backButton)

            bluetoothAdapter = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter()
            connectButton.setOnClickListener { connectToRobot() }
            forwardButton.setOnClickListener { sendCommand("forward") }
            backButton.setOnClickListener { sendCommand("back") }
        }

        private fun connectToRobot() {
            // Replace with your robot's Bluetooth address
            bluetoothDevice =
                bluetoothAdapter?.getRemoteDevice("00:00:00:00:00:00")
            bluetoothSocket =
                bluetoothDevice?.createRfcommSocketToServiceRecord(uuid)
            bluetoothAdapter?.cancelDiscovery()
            try {
                bluetoothSocket?.connect()
                Toast.makeText(this, "Connected to robot",
                    Toast.LENGTH_SHORT).show()
            } catch (e: IOException) {

```

```

        e.printStackTrace()
        Toast.makeText(this, "Connection failed",
Toast.LENGTH_SHORT).show()
    }
}

private fun sendCommand(command: String) {
    try {
        if (bluetoothSocket != null) {

bluetoothSocket!!.outputStream.write(command.toByteArray())
        }
    } catch (e: IOException) {
        e.printStackTrace()
    }
}
}
}

```

Activity_main.xml

```

<RelativeLayout xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    xmlns:tools="http://schemas.android.com/tools"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="match_parent"
    tools:context=".MainActivity">

    <Button
        android:id="@+id/connectButton"
        android:layout_width="wrap_content"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:text="Connect Bluetooth"
        android:layout_alignParentTop="true"
        android:layout_centerHorizontal="true" />

    <com.controlwear.virtual.joystick.android.JoystickView
        android:id="@+id/joystickView"
        android:layout_width="300dp"
        android:layout_height="300dp"
        android:layout_centerInParent="true" />

```

**Презентація до дипломного проекту магістра
на тему:**

**Розробка і дослідження системи
балансування колісного робота із керуванням
через мобільний додаток**

Здобувач: Шульга Андрій Володимирович Гр.362

Спеціальність: 151 "Автоматизація та комп'ютерно- інтегровані
технології"

Освітня програма: « Інженерія мобільних додатків »

Керівник: к.т.н., доц. каф.301 Немшилов Ю.О.

Дата захисту: ___ січня 2024 р.

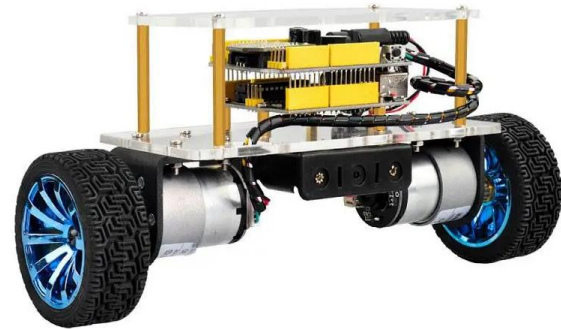
МЕТА РОБОТИ:

Основні переваги:

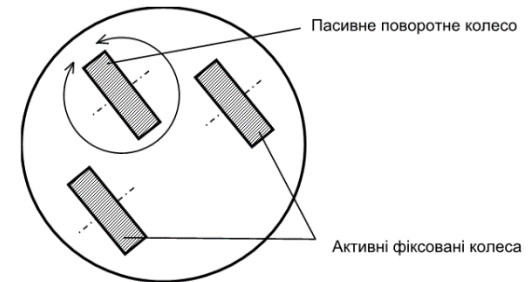
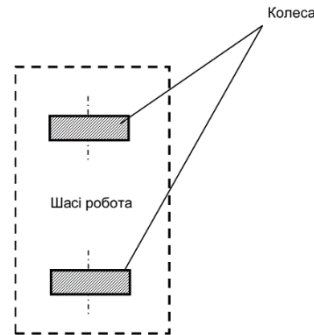
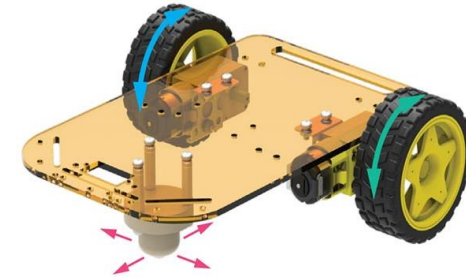
- Швидкість та Ефективність
- Точність та Спроможність до Повторюваних Завдань
- Безпека в Небезпечних Умовах
- Автоматизація та Зменшення Помилки
- Можливість Роботи в 24/7 Режимі

Види роботів:

- Промислові Роботи:
- Медичні Роботи:
- Соціальні Роботи:
- Роботи для досліджень океану
- Самохідні



ПЕРЕДПРОЕКТНИЙ АНАЛІЗ

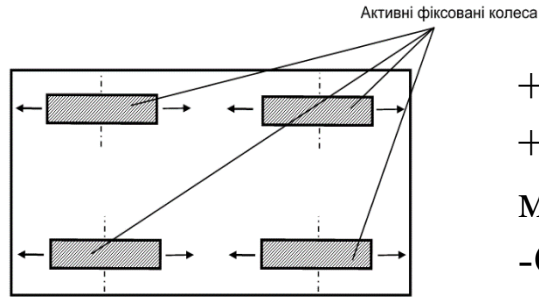


- нестійкий
- без динамічного контролю
- постійно потрібно підтримувати

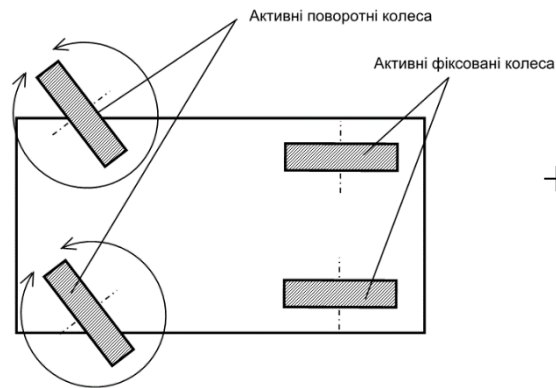
- більш мобільні,
- здатність обертатися в обмеженому просторі

- проста структура
- статична стійкість
- простота розроблення і низька вартість виробництва порівняно з іншими колісними роботами

ПЕРЕДПРОЕКТНИЙ АНАЛІЗ



- + більш стійка, ніж триколісний робот,
- + більше місця для додаткових механізмів
- Складність керування



- + легке керування
- складніший обчислювальний процес



АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ БАЛАНСУВАННЯ

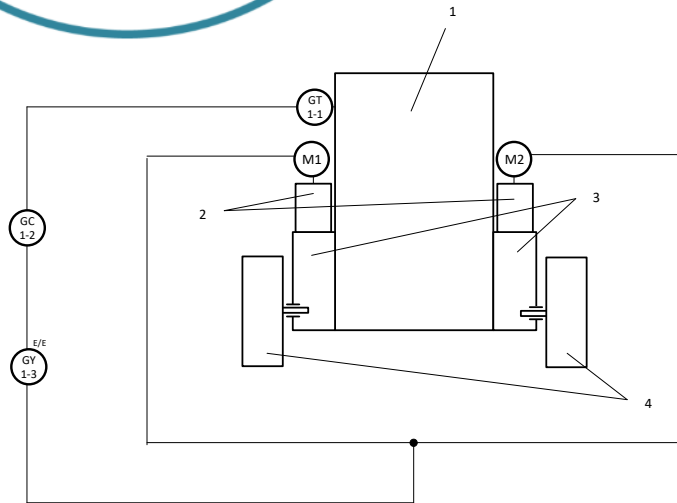
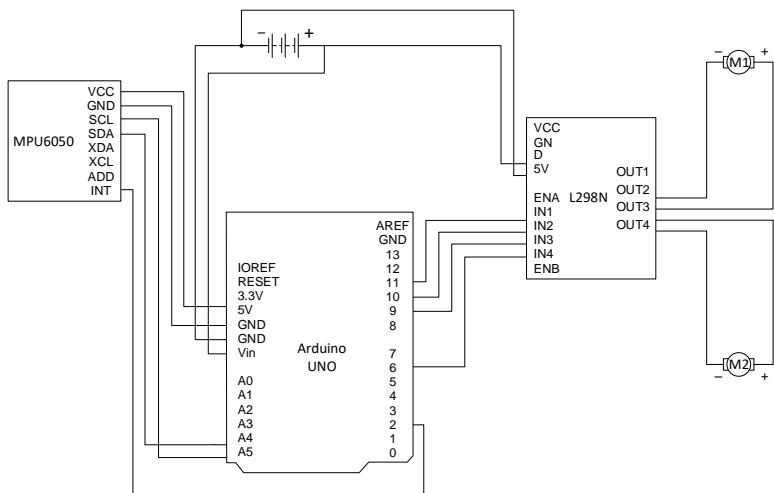


Схема автоматизації балансування

- 1 – корпус;
- 2 – двигуни;
- 3 – редуктори;
- 4 – колеса.

(1-1) трьохосний акселерометр-гіроскоп;
 (1-2) – мікроконтролер;
 (1-3) – електричний перетворювач для забезпечення керування двигунами;
 M1, M2 – електромотори, які слугують виконавчим механізмом.



Комутаційна схема самобалансуючого робота

- 1 – Arduino UNO
- 2 - MPU 6050
- 3 – L298N
- M1,M2 - Двигуни

MPU6050	Контакт Arduino
Vcc	+5V
Ground	Gnd
SCL	A5

L298N	Контакт Arduino
IN1	D6
IN2	D9
IN3	D10
IN4	D11

Вибір технічних засобів для реалізації системи керування



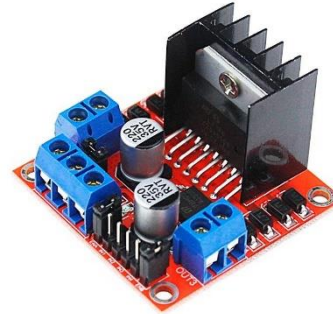
MPU6050

- комунікаційна шина I2C
- живлення від 3 до 5 В
- вбудований 16-бітний АЦП;
- вбудована платформа управління даними (DMP)
- можливість підключення до інших пристроїв;
- налаштована адреса I2C;
- вбудований датчик температури.



Arduino Uno

- мікропроцесор ATmega 328
- тактова процесора до 16 МГц;
- флеш-пам'ять 32кб
- 2кб статичної пам'яті
- EEPROM
- USART
- ATmega 12U2



L298N

- висока робоча напруга до 46 В;
- миттєвий пік струму до 3А;
- постійний робочий струм може досягати 2А;
- номінальна потужність 25 Вт;

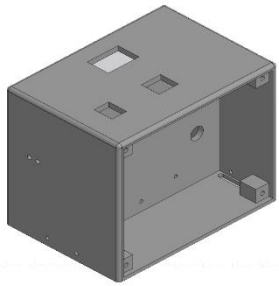


Двигун Geared DC Motor Yellow

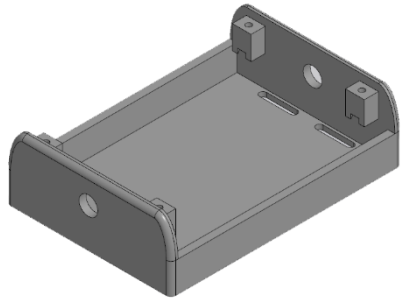
- робоча напруга 3..12 В;
- максимальний крутний момент 800 г*см;
- швидкість без навантаження: 90±10 об/хв;
- Коефіцієнт редукції: 1:48
- Струм без навантаження: 190 мА (макс. 250 мА)



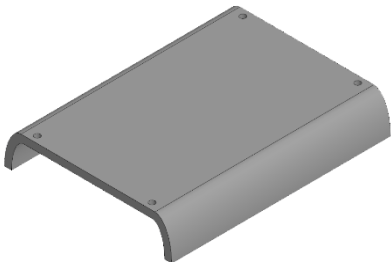
Розробка корпусу



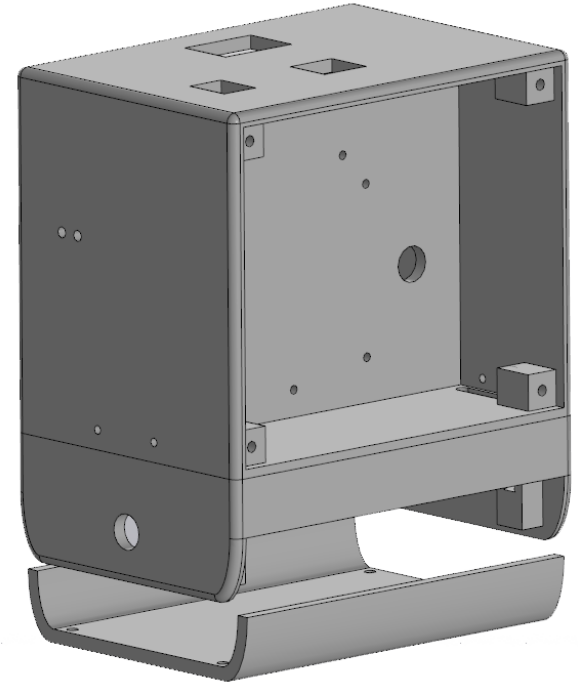
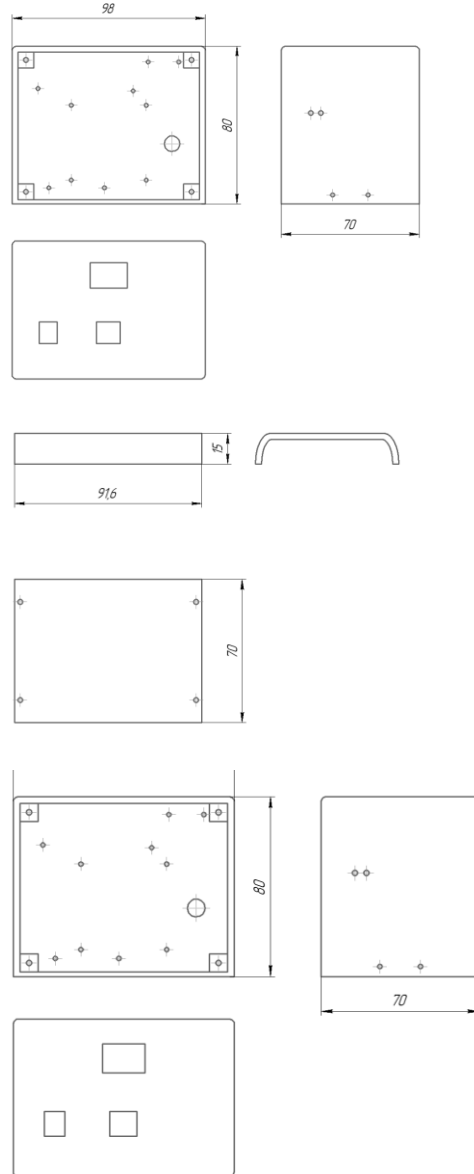
3D-модель основного корпусу



3D-модель корпусу для акумуляторів



3D-модель кришки корпусу для акумуляторів

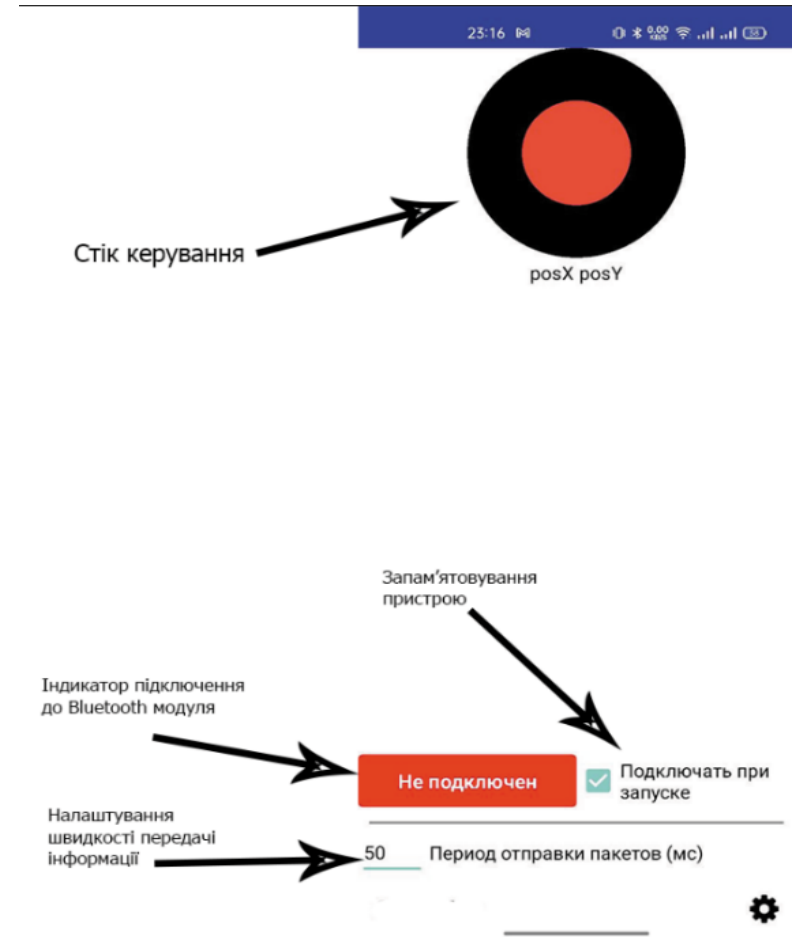


3D-модель зібраного корпусу

Мобільний додаток

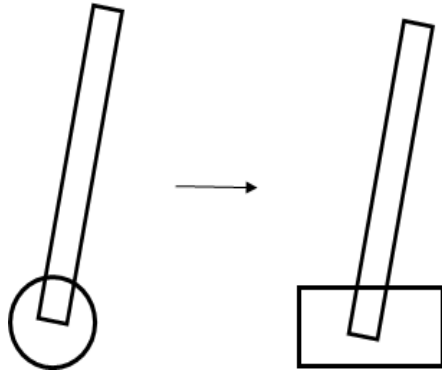
Мобільний додаток повинен відповідати наступним критеріям:

- Управління та Навігація
- Віддалені Функції та Моніторинг
- Персоналізація та Розваги
- Автоматизовані Завдання та Інтеграція
- Екосистема додатків
- Освітні та Дослідницькі Програми
- Інтеграція з Робототехнічними Платформами



Приклад реалізації мобільного додатку

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ САМОБАЛАНСУЮЧОГО РОБОТА



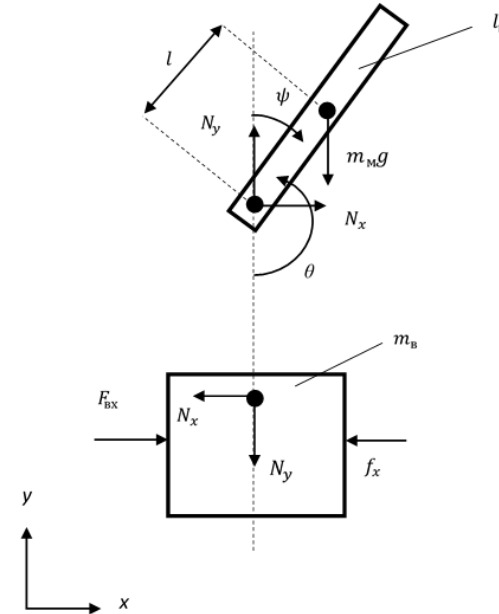
Вигляд спрощеної моделі перевернутого маятника

$$F_{\text{вх}} = m_{\text{в}} \cdot x'' + f \cdot x' + N_x$$

Рівняння, що об'єднує всі сили в напрямку x

$$N_x = m_{\text{м}} \cdot x'' + m_{\text{м}} \cdot l \cdot \cos(\theta) - m_{\text{м}} \cdot l \cdot (\theta')^2 \cdot \sin(\theta),$$

Суму сил, що діють на маятник у напрямку x

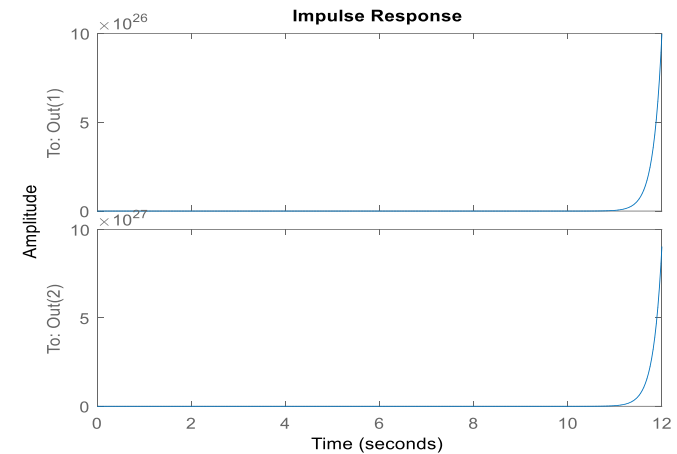
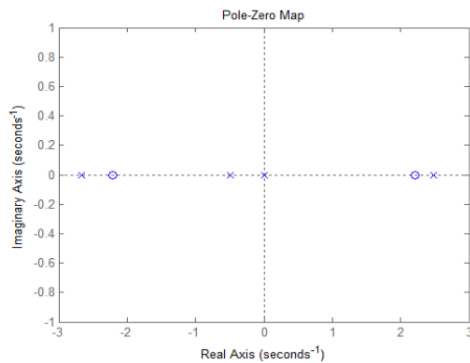


Представлення фізичних сил, що діють на спрощену модель перевернутого маятника

$$\psi(s) = \frac{(I_{\text{м}} + m_{\text{м}} \cdot l^2) \cdot s^2 - m_{\text{м}} \cdot g \cdot l}{s^4 + \frac{f \cdot (I_{\text{м}} + m_{\text{м}} \cdot l^2)}{q} \cdot s^3 - \frac{(m_{\text{в}} + m_{\text{м}}) \cdot m_{\text{м}} \cdot g \cdot l}{q} \cdot s^2 - \frac{f \cdot m_{\text{м}} \cdot g \cdot l}{q} \cdot s} \cdot U_{\text{вх}}(s)$$

Передавальна функція, яка описує позицію візка $X(s)$

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ САМОБАЛАНСУЮЧОГО РОБОТА



Графік нулів і полюсів системи перевернутого маятник

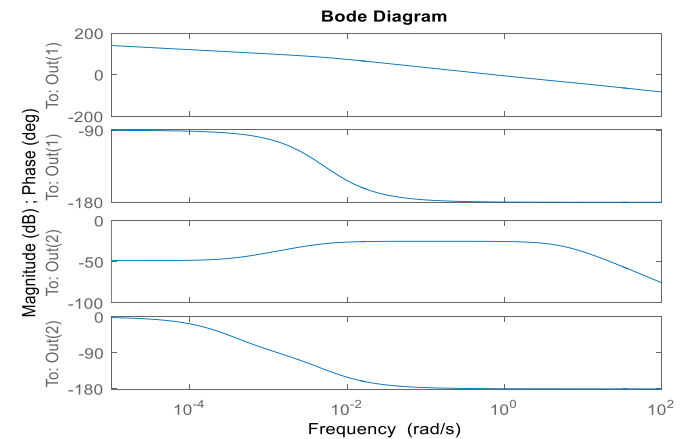
Параметр	Значення
m_B	0,558 кг
m_M	1,267 кг
I_M	0,055 кг·м²
l	0.159 м

Статичні характеристики робота-балансир

$$\begin{bmatrix} x' \\ x'' \\ \psi' \\ \psi'' \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} x \\ x' \\ \psi \\ \psi' \end{bmatrix} + B \cdot u_{BX}$$

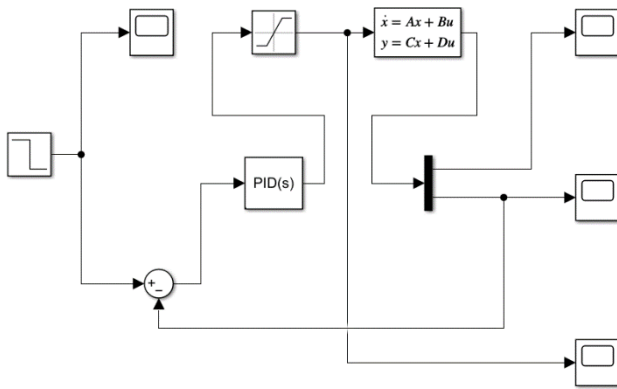
$$y = C \cdot u_{BX}$$

Імпульсна характеристика моделі

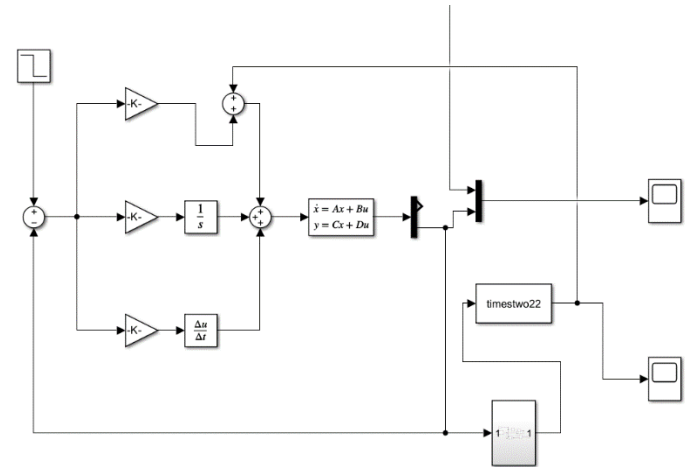


Подання системи в просторі станів дається рівнянням

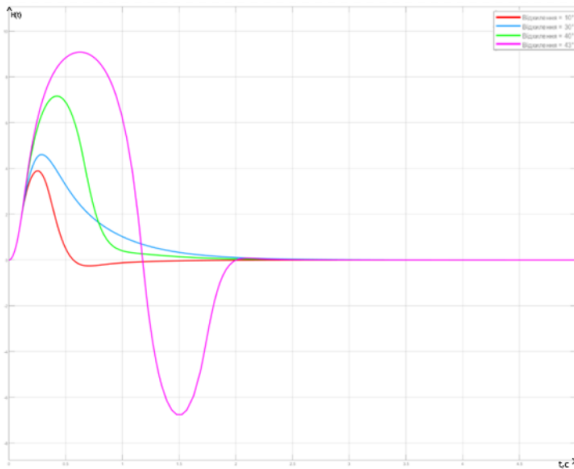
СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ



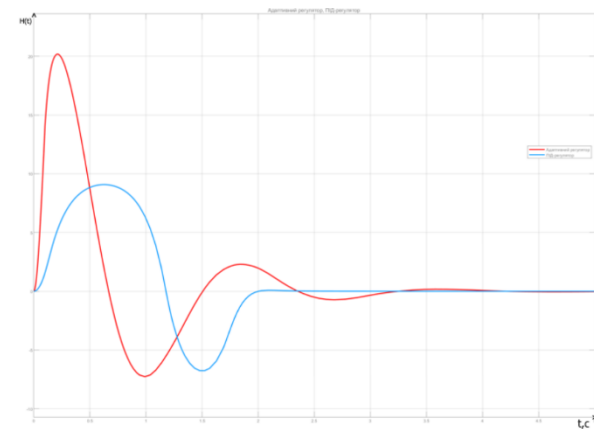
Замкнута система керування з ПІД-регулятором



Система керування з адаптивним регулятором на базі ПІД-регулятора



Перехідні характеристики для чотирьох різних кутів відхилення зображено



Порівняння звичайного та адаптивного регулятора

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ !