

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Ігоря Сікорського»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ
АПАРАТУРИ**

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
Лисенко О.М.
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ” _____ 20__ р.

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності 6.050902 РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему Система керування рухомими об'єктами

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-52

Лисенко Андрій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доц. Лебедев Д.Ю.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ - 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
Факультет електроніки
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр
Спеціальність 6.050902 РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Лисенко О.М.
(підпис) (прізвище ініціали)

« _____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Лисенка Андрія Сергійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Система керування рухомими об'єктами
керівник проекту Лебедев Денис Юрійович, доцент
затвержені наказом по університету від 27.05.2019 року №1405-с
2. Термін подання студентом проекту 11 червня 2019 року
3. Вихідні дані до проекту Пристрій являє собою систему з кількох блоків, кліматичне виконання УХЛ 3 по ГОСТ 15150-69. Управління засобом має здійснюватися за допомогою персонального комп'ютера, або іншого пристрою з технологією Bluetooth. Пристрій повинен самостійно переслідувати попереду рухомий об'єкт по прямій лінії, або пересуватися за допомогою оператора, який керує цим пристроєм.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- аналіз технічного завдання;
- огляд існуючих засобів керування, патентний пошук;
- обґрунтування вибору елементної бази та друкованої плати;
- розробка схеми електричної принципової;
- розміщення компонентів на друкованій платі блоку керування системою;
- конструкторсько-технологічні розрахунки;
- електричний розрахунок друкованої плати блоку керування системою;
- розрахунок надійності друкованої плати блоку керування системою;
- розрахунок віброміцності друкованої плати блоку керування системою;
- проектування у Altium Designer;
- написання програми для керування;
- висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):

- схема електрична принципова системи керування;
- друкована плата блоку керування системою;
- складальне креслення друкованої плати блоку керування системою.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 16.03.19

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання Дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	16.03.19-26.03.19	виконано
2	Вибір елементної бази та друкованої плати	26.03.19-02.04.19	виконано
3	Схемотехнічне проектування	02.04.19-09.04.19	виконано
4	Виконання креслень схеми електричної принципової	09.04.19-23.04.19	виконано
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	23.04.19-30.04.19	виконано
6	Електричний розрахунок друкованої плати	30.04.19-07.05.19	виконано
7	Розрахунок віброміцності друкованої плати	07.05.19-14.05.19	виконано
8	Проектування у Altium Designer	14.05.19-21.05.19	виконано
9	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	21.05.19-28.05.19	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	28.05.19-11.06.2019	Виконано

Студент _____ Лисенко А. С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____ Лебедев Д.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Роботу викладено на 71 сторінках, вона містить 5 розділів, 24 ілюстрацій, 7 таблиць та 20 джерел в переліку посилань.

Об'єктом розробки стала система керування рухомими об'єктами.

Предмет роботи – спосіб самостійного переслідування рухомого об'єкту попереду з використанням інтелектуальної технології адаптивний круїз-контроль.

Метою даної роботи є розробка системи керування рухомими об'єктами з технологією адаптивного круїз контролю, яку б могла встановити звичайна людина без особливих навичок і належних умінь в свій автомобіль. Однак, перед основною розробкою виникла необхідність спроектувати алгоритм роботи системи на прототипі.

У першому розділі зроблено пошук існуючих патентних рішень системи адаптивного круїз контролю, сформовано уявлення про конструктивні та структурні рішення, характеристики та параметри розробляємої системи керування рухомими об'єктами.

У другому розділі розроблено структурну схему, схему електричну принципову, розрахунок схеми електричної принципової, який підтверджує правильність схемотехнічного рішення.

У третьому розділі зроблено аналіз класів точності, типів та матеріалів ДП.

У четвертому розділі виконано розрахунки, що підтверджують працездатність схеми.

У п'ятому розділі проведено симуляцію роботи системи адаптивного круїз контролю. Описано алгоритм програмування мікроконтролера та проектування системи у ПО LabVIEW.

Ключові слова: Інтелектуальна система керування, адаптивний круїз-контроль, експериментальне моделювання.

ABSTRACT

The work is presented on 71 pages, it contains 5 sections, 24 illustrations, 7 tables and 20 sources in the list of references.

System for controlling movable objects became the object of the study.

The subject of the work is a method for autonomous following a moving object in front, using intelligent adaptive cruise control technology.

The purpose of this work is to develop a system for controlling movable objects with adaptive cruise control technology, which could be installed by an ordinary person without special skills and proper proficiency in the car. However, before the main development it became necessary to design an algorithm for the operation of the system on the prototype.

The first chapter was searched for existing patent solutions of the adaptive cruise control system, formed a notions of constructive and structural solutions, performances and parameters of the developed system for controlling movable objects.

In the second chapter was developed the structural scheme, the electric schematic diagram and its calculation, confirming the correctness of the circuit design solution.

In the third chapter was made an analysis of the accuracy classes, types and materials of the printed circuit board.

In the fourth chapter was accomplished calculations, confirming the serviceability of the circuit and design solution.

In the fifth chapter was simulated function of the adaptive cruise control system and described a microcontroller-programming algorithm, as well as LabVIEW design algorithm.

Keywords: Intelligent control, adaptive cruise control, test simulation.

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: **Система керування рухомими об'єктами**

Київ – 2019 року

Зміст

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів	3
Вступ.....	4
Розділ 1. ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	6
1.1 Загальний огляд об'єкту дослідження.....	6
1.2 Виділення проблеми та визначення предмета дослідження.....	8
1.3 Огляд варіантів існуючих реалізацій для вирішення проблеми.....	9
Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ	12
2.1 Загальні відомості про прототип.....	12
2.2 Опис, аналіз та розрахунок схеми електричної принципової.....	14
Розділ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ	26
3.1 Вибір матеріалу і типу друкованої плати.....	27
3.2 Вибір класу точності	29
3.3 Вибір методу виготовлення друкованої плати	30
3.4 Розміщення компонентів та трасування ДП.....	31
3.5 Методика проектування друкованого вузлу в середовищі Altium Designer	33
Розділ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ.....	36
4.1 Виконання конструкторсько-технологічного розрахунку елементів друкованого монтажу	36
4.2 Електричний розрахунок ДП.....	43
4.3 Розрахунок основних показників надійності.....	46

<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Лисенко А.С.</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Ярошенко М.О</i>		
<i>Реценз.</i>				
<i>Н. Контр.</i>		<i>Лисенко О.І.</i>		
<i>Затв.</i>		<i>Лебедев Д.Ю.</i>		
<i>Система керування рухомими об'єктами. Пояснювальна записка</i>				
		<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрцшів</i>
			1	
<i>КПІ ім. І.Сікорського, ФЕЛ, гр. ДК-52</i>				

4.4	Розрахунок віброміцності друкованої плати.....	51
Розділ 5. ПРОГРАМУВАННЯ ВІРТУАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ.....		56
5.1	Алгоритм роботи системи адаптивного круїз-контролю та симуляція у Simulink.	56
5.2	Алгоритм роботи програми мікроконтролера.....	60
5.3	Побудова проекту у LabVIEW.....	63
Висновки		67
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....		69
Додаток А Технічне завдання на проектування		
Додаток Б Лістинг програмного коду		
Додаток В Плата. Специфікація		
Додаток Г Система керування рухомими об'єктами. Перелік елементів		

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

МК – мікроконтролер

ДП – друкована плата

ДМ – друкований монтаж

ДВ – друкований вузол

ПК – персональний комп'ютер

КМ – контактний майданчик

ШИМ, PWM – широтно-імпульсна модуляція

ESC – Electronic Speed Controller

BEC – Battery Eliminator Circuit

САПР – система автоматизованого проектування.

УГП – умовно-графічне позначення

ACC – Адаптивний круїз контроль

HVPP – High-Voltage/Parallel Programming

LDO – Low dropout

UART – універсальний асинхронний інтерфейс

ESR – Еквівалентний Послідовний Опір

ESL – Еквівалентна Послідовна Індуктивність

SMD – Компонент з поверхневим монтажем

AD – Altium Designer

IC, IMC – інтегральна мікросхема

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

Вступ

У наш час більшість автовиробників розробляють систему автономного керування для наземного транспорту. Через це, сучасні автомобілі наділені різноманітними технологіями, які допомагають людині управляти машиною і відчувати себе впевнено на дорозі. Але, все ж таки більшість існуючих автомобілів в світі не володіють такими властивостями через свою простоту і дешевизну. Однак, існує можливість удосконалити ці автомобілі за допомогою зовнішнього обладнання. Зміна швидкості, можлива завдяки установці подібного пристрою між блоком керування автомобілем і педаллю газу. При зміні положення педалі, на блок управління надходить різна напруга в певному діапазоні. За допомогою подібного пристрою можна посилати "уявну" напругу на блок управління, тим самим регулювати швидкість.

Використання подібних системи інтелектуального управління транспортного засобу використовується в автомобільній промисловості. Організація охорони здоров'я занепокоєна несконцентрованим водінням і, як наслідок, дуже частими аваріями на дорогах. Автовиробники зацікавлені в розробці інтелектуальних систем, які допомагали б водієві уникнути аварійних випадків. Однією з таких технологій є адаптивний круїз-контроль, який дозволяє водіям бути менш напруженим під час водіння і менше втомлюватися від монотонної роботи.

Одним з можливих недоліків цих технологій – це неможливість встановити їх власноруч без втручання самих автовиробників, так як їхні послуги можуть виявитися або дорогою модифікацією, або, для деяких транспортних засобів, дані комплектації зовсім відсутні.

Метою даного дипломного проекту є розроблення системи керування рухомими об'єктами з функцією адаптивного круїз-контролю. Однак, перед створенням такого пристрою необхідно змоделювати роботу механізму адаптивного круїз-контролю на прототипі. В якості макету буде використовуватися модифікована правдоподібна електрична модель

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

автомобіля з ремінним, постійним повним приводом, рухомим рульовим керуванням і гідравлічною підвіскою. Так як АСС обмежується стеженням за автомобілем, який їде попереду не звертаючи на сусідні смуги, то буде достатньо одного ультразвукового сенсора, завдяки якому буде враховуватися відстань.

Система, що розробляється має керувати макетним зразком за допомогою бездротової технології Bluetooth та обмінюватися даними з ПК. В якості середовища керування макетом використовується програмне забезпечення LabVIEW.

Отже треба обрати елементу базу, що задовольняють вимогам проекту. Розробити електричну принципову схему та спроектувати друковану плату в середовищі Altium Designer. Підтвердити правильність конструкторських рішень за допомогою розрахунків. Описати алгоритм роботи АСС у вигляді програмного коду для мікроконтролера. За допомогою програмного забезпечення LabView збирати і обробляти дані з датчиків, а також керувати макетом.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Розділ 1. ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Загальний огляд об'єкту дослідження

Більшість нещасних автомобільних випадків на дорогах відбуваються через помилки водія. Результати дослідження всесвітньої організації охорони здоров'я вказують на те, що з кожним роком кількість нещасних випадків щодо чисельності населення світу і кількості автотранспорту зменшилося [1]. Це пов'язано з розробкою додаткових функціональних можливостей в області безпеки автомобілебудування. На сьогодні існує безліч таких систем, які полегшують процес керування. Більшість цих систем спрямовані на те, щоб звільнити водія від монотонної та виснажливої роботи. Зараз опишемо кілька основних систем, які найбільш часто зустрічаються у сучасному автомобілі.

Система автоматичного екстреного гальмування (AES – Automatic Emergency Braking). Завдяки цій системі машина автоматично загальмує при виявленні потенційного зіткнення, якщо водій, з якоїсь причини, не зміг вчасно зреагувати.

Система контролю положення автомобіля щодо дорожньої розмітки та система допомоги руху вздовж дорожньої смуги. Дані дві системи спрямовані на утримання водія в своїй смугі. Основна їх відмінність полягає в тому, що перша система тільки попереджає про перетин лінії звуковим сигналом або вібрацією керма та сидіння. Друга система автоматично повертає водія в його смугу, якщо той покидає її.

Виявлення об'єктів поза зоною видимості водія. Система виявляє об'єкти, які знаходяться в сліпій зоні для водія і попереджає його світловими або звуковими сигналами.

Система автоматичної підтримки швидкості руху (CC – Cruise Control). Дає можливість підтримувати швидкість автомобіля заданої користувачем.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Адаптивний круїз-контроль (ACC – Adaptive Cruise Control). Модифікація звичайного круїз-контролю з можливістю переслідування автомобіля, який рухається попереду і утримування безпечної дистанції.

Основним об'єктом дослідження буде система адаптивного круїз-контролю. Система ACC має 4 режими руху по дорозі, які контролюють автомобіль таким чином, щоб він не відставав і уникав зіткнення з авто попереду. На рисунку 1.1.1 наочно зображено 4 стани руху по дорозі із системою адаптивного круїз контролю.

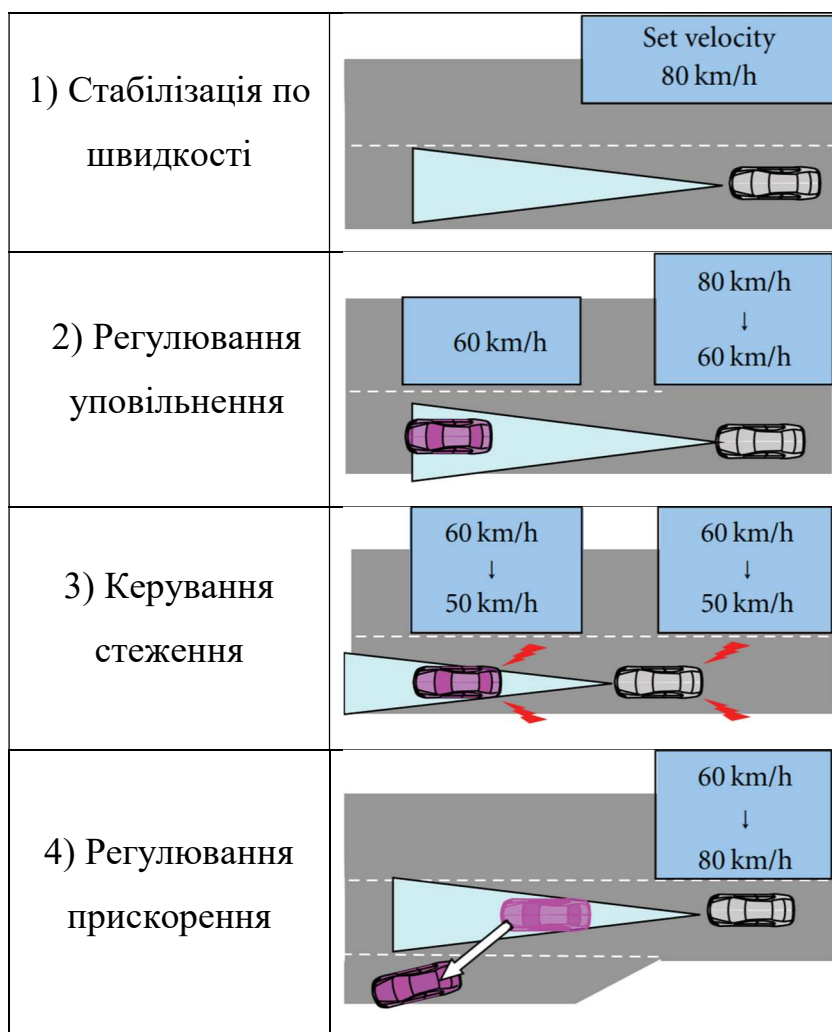


Рис.1.1.1 – Режими ACC [2]

1. Стабілізація по швидкості. Якщо транспортний засіб попереду відсутній, або поза зоною видимості датчиків, встановлюється безпечна постійна швидкість, якої дотримується автомобіль.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК52.468992.001 ПЗ

Арк.

7

2. Регулювання уповільнення. Якщо транспортний засіб рухається повільніше, система починає скидати швидкість за допомогою регулювання газу до встановлення безпечної відстані. Якщо цього уповільнення недостатньо, система використовує додаткове гальмо.
3. Керування стеження. Якщо транспортний засіб переслідує автомобіль попереду, то система управляє регулюванням швидкості і гальмуванням так, щоб інтервал часу між транспортними засобами був часом, який було встановлено водієм. Час відповідає відстані між транспортними засобами, пропорційно до швидкості руху автомобіля з АСС.
4. Регулювання прискорення. Якщо транспортний засіб попереду змінило смугу, або, з якоїсь іншої причини, датчики не можуть виявити його попереду, система відновлює швидкість до заданої водієм.

1.2 Виділення проблеми та визначення предмета дослідження

До популярних причин аварій, які залежать від водія відноситься несконцентроване водіння. Наприклад, їжа за кермом, використання телефону, галасливі пасажери. Перевищення швидкості – це третина всіх нещасних інцидентів, які відбуваються на дорогах. Стомлене водіння при тривалій відсутності сну і, як результат, виляння по дорозі не дотримуючись розмітки. Також, варто не забувати про реакцію людини, яка поступається комп'ютерному управлінню. Все це – причини розробки інтелектуальних систем, які допомагають водієві в умовно небезпечних ситуаціях. Звичайно, при даних обставинах бажано не починати рух взагалі, або якомога швидше його закінчити, але завдяки цим технологіям вдасться хоча б убезпечити водіння. Крім підвищення безпеки, автоматизація транспортних засобів знижує витрату палива і підвищує загальну пропускну здатність автомагістралі.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1.3 Огляд варіантів існуючих реалізацій для вирішення проблеми

Розробка адаптивного круїз контролю та інших вищезазначених систем почалася з найбільшого проекту в області машинобудування Прометеус (1986-1994), який був направлений на дослідження безпілотних автомобілів. У цьому проекті взяли участь європейські виробники транспортних засобів і університети. Після цієї науково-дослідної роботи компанія Mitsubishi у 1995 році запустила в продаж перший автомобіль з вбудованим адаптивним круїз контролем. Для точного збору і обробки прецизійної інформації, вони використовували системи з коштовними оптичними датчиками: радари, лідари. Також, варто відзначити, що дана система дозволяла використовувати АСС при швидкості не менше 30 км/год і була неактуальною на дорогах міста, де велике скупчення транспорту.

Наступний етап розвитку АСС – це інтелектуальний круїз контроль (ІСС – Intelligent Cruise Control) з системою Stop&Go [3], яка виправляла недолік попереднього круїз-контролю і давала можливість застосовувати круїз контроль до 30 км/год. Stop&Go дозволяв орієнтуватися на міських вулицях і гальмувати або прискорюватися в повільному потоці машин.

Зараз систему АСС використовують більшість таких автовиробників як:

- BMW – **Active Cruise Control**
- Mercedes-Benz – **DISTRONIC (DISTRONIC PLUS)**
- Mitsubishi – **PREVIEW DISTANCE CONTROL**
- Volkswagen, Audi, Honda – **Adaptive Cruise Control**

З'являються системи що складаються із камер, радарів, ультразвукових і лазерних датчиків (Рис.1.3.1). Таке велике розмаїття датчиків не дарма використовується в адаптивному круїз контролі. Наприклад лазерний датчик, або лідар визначає відстань до об'єкта, який рухається вдалині, і корисний на шосейних магістралях, де швидкість автомобілю перевищує 30 км/год. В той час, як ультразвукові датчики краще працюють поблизу і використовуються в

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

межах міста, де велика вірогідність заторів. Радари – є щось середнім між лідаром і ультразвуковим сенсором і набагато краще справляються з завадами при непогодних умовах. Зараз існують системи з корекцією по навігаційним супутникам, які здатні передбачати поведінку автомобіля і реагувати на неї.

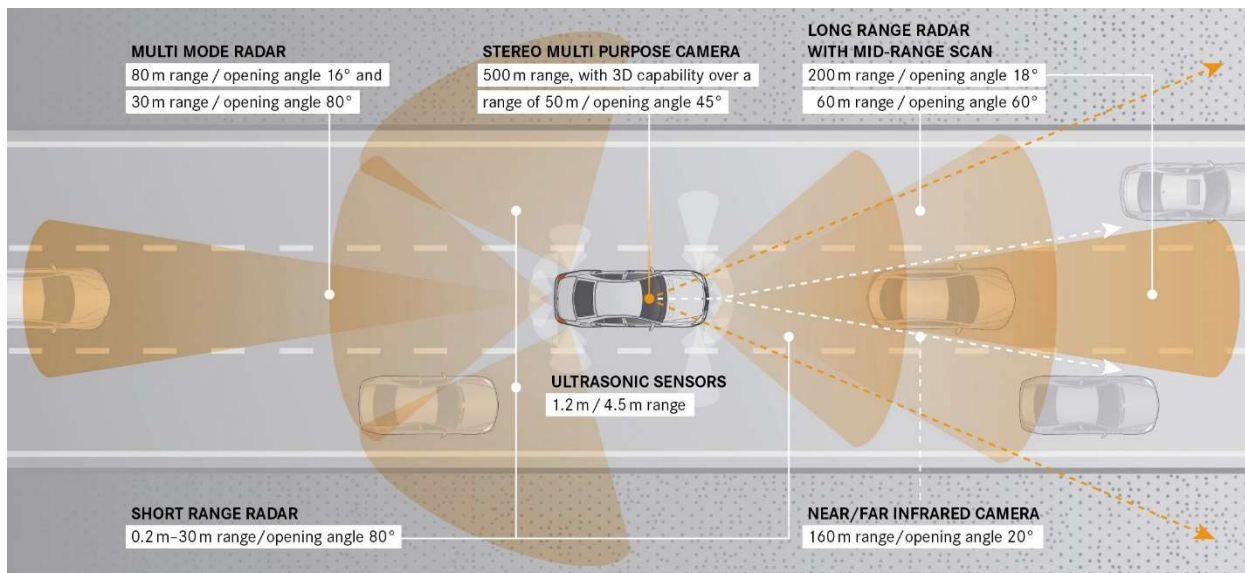


Рис.1.3.1 – Різноманіття датчиків у сучасному автомобілі. [4]

Висновки до розділу:

Проаналізувавши сучасні системи АСС, можна зробити висновок, що всі вони використовують високоякісне, коштовне обладнання для відстеження ситуації на дорозі. Однак, даний функціонал, або вже вбудований в автомобіль і не потребує покращення, або набувається за додаткову плату у вигляді покращеної комплектації. На ринку немає рішень, які дозволяли б автовласникам самостійно встановлювати системи інтелектуального керування в свій транспортний засіб без додаткових витрат грошей та часу. Основна ідея полягає в проектуванні такого пристрою, яку можливо встановити без додаткових засобів і навичок.

Ретельно розглянувши джерела і розібравши систему управління адаптивного круїз-контролю, було прийнято рішення сконструювати прототип для апробації цієї системи. Так як прототип має невеликі розміри, то

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

системи повинна використовувати датчики малого радіусу для визначення відстані між об'єктами, а саме ультразвукові.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

В даному розділі, детальніше опишемо принципи роботи кожного модулю прототипу. Макет складається з п'яти основних блоків:

- Блок живлення
- Блок керування транспортним засобом
- Блок обробки інформації
- Блок передачі і отримання інформації
- Блок вимірювання відстані

Кожний блок опишемо більш докладніше в наступних підрозділах. Схема загального вигляду модуля зображена на рис. 2

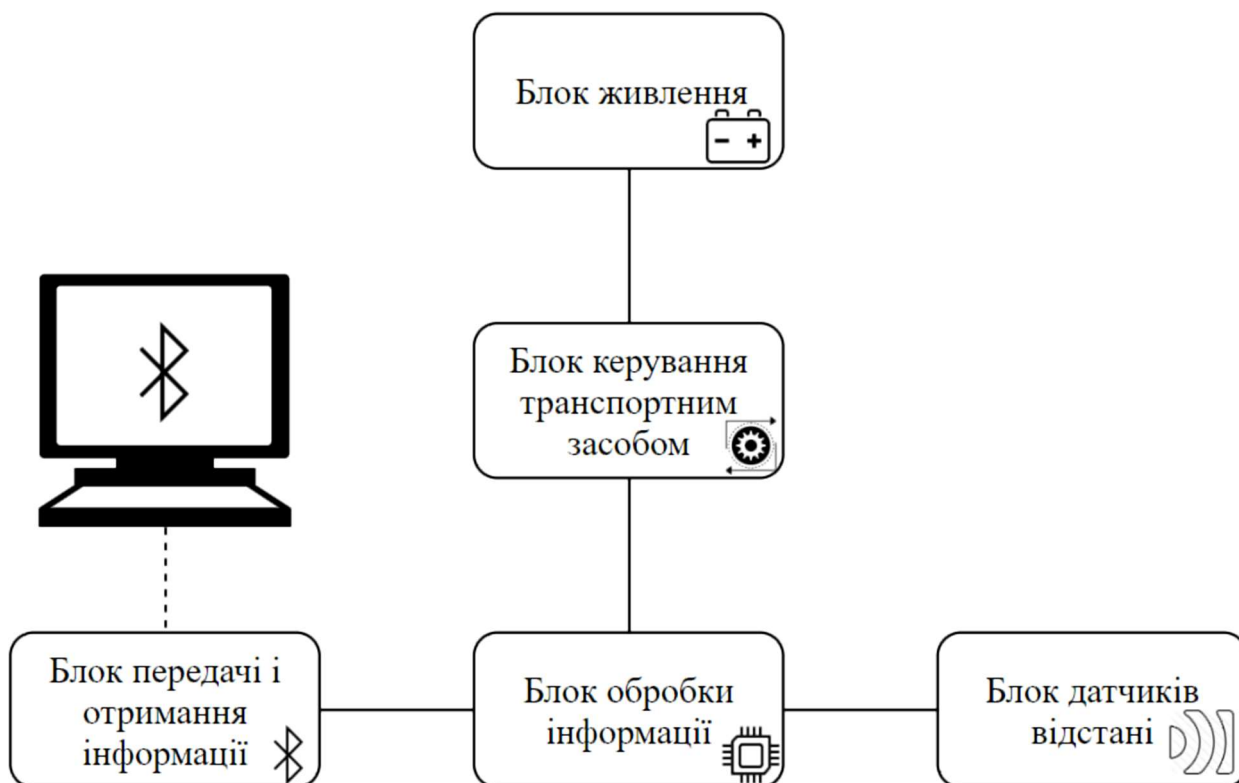


Рис.2 – Зв'язок блоків модулю.

2.1 Загальні відомості про прототип.

Блок керування транспортним засобом живиться за допомогою нікель-метал-гідридного (NiMH) акумулятора ємністю 4200 mAh і напругою 7,2 В.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК52.468992.001 ПЗ

Арк.

12

Блок керування складається з кількох складових компонентів. По-перше, колекторний електродвигун постійного струму з діапазоном напруги 7,2 - 8,4 В, який буде приводити в рух транспортний засіб. Для контролювання швидкості обертання і напрямку руху двигуна використовується електронний регулятор швидкості (ESC – Electronic Speed Controller) з можливістю прямого і зворотного ходу, а також системою гальмування. ESC має вбудований стабілізований перетворювач напруги (BEC – Battery Eliminator Circuit) до 6 В для безпечного живлення інших модулів. Ще один елемент блоку управління – це сервопривід, для повороту коліс автомобіля. На рис.2.1.1 умовно зображено зв'язок складових елементів блоку керування транспортним засобом. Акумулятор живить регулятор швидкості, а той, в свою чергу, керує швидкістю двигуна та подає стабілізовану знижену напругу на сервопривід.

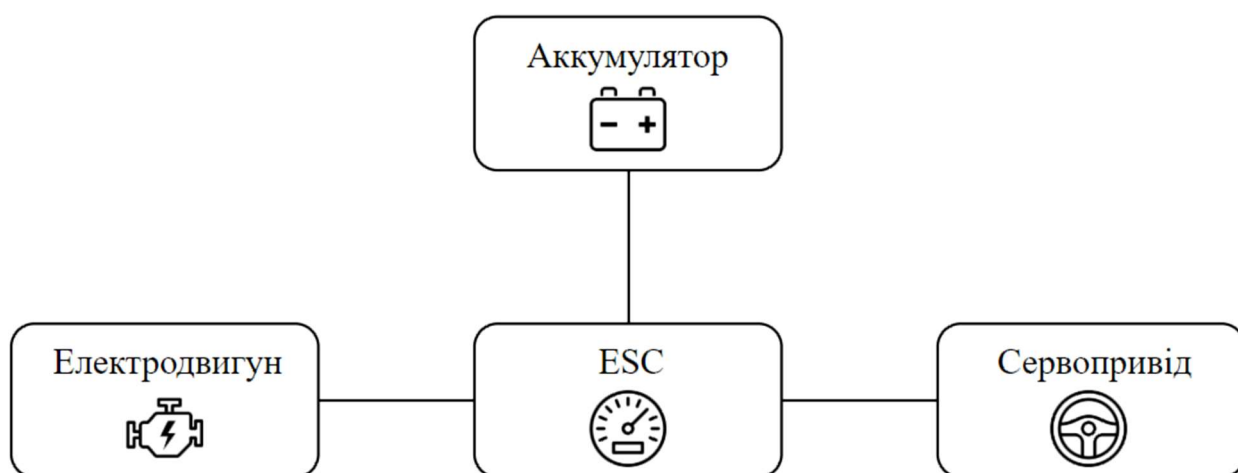


Рис.2.1.1 – Зв'язок модулів в блоці керування

Модель працює в двох станах: звичайне дистанційне керування автомобілем від комп'ютера або іншого пристрою і дистанційне керування, але з включеною функцією адаптивного круїз-контролю. Мікроконтролер, в залежності від команд, що надходять з комп'ютера, або іншого пристрою, повинен подавати сигнали на регулятор ходу для управління швидкістю, та на сервопривід для управління поворотом коліс. Якщо мова йде про керування автомобілем з включеним круїз-контролем, то МК повинен обробляти

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

інформацію, що надходить з датчика відстані та відповідно коригувати швидкість руху.

На даний момент на ринку інтернет речей присутні три найпопулярніших стандарти бездротових мереж: Bluetooth, WiFi та ZigBee. Якщо вибирати з цих трьох протоколів, то самим оптимальним для нашої задачі буде Bluetooth. WI-Fi має велику пропускну здатність, але в нашому випадку не важлива кількість даних, тим більше для підтримки працездатності, потрібні досить великі обчислювальні ресурси і велика споживана потужність. ZigBee є відмінним аналогом Bluetooth, в аспекті радіусу дії навіть краще, але завдяки своїй величезній базі пристроїв, що підтримують Bluetooth, Zigbee йому все ж таки поступається. Завдяки своїй поширеності Bluetooth має величезні переваги для людино-машинного інтерфейсу. В силу малої потужності передавача, стандарт фактично не схильний до сторонніх завад.

Для вимірювання відстані до транспортного засобу, що їде попереду використовуємо ультразвуковий датчик. Решта існуючих рішень на ринку не задовольняють потребам даного проекту, тому що вони дуже дорогі і призначені для обробки дальньої відстані. Ультразвукові сенсори мають достатній радіус (~5 м) для визначення об'єкта. В силу їх дешевизни, в подальшому можна використовувати систему з кількох датчиків для більш якісного розпізнання навколишнього середовища. Через велику кількість матеріалу, який описує роботу з ультразвуковими датчиками, це ідеальний варіант для прототипування моделі.

2.2 Опис, аналіз та розрахунок схеми електричної принципової.

Для початку розглянемо елементи, які встановлені на друковану плату, а потім перейдемо до зовнішніх блоків схеми. Основним елементом даної схеми є мікроконтролер, який виконує інструкції програми. У нашому випадку

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

використовуємо мікроконтролер ATmega328P – це 8-бітовий пристрій сімейства AVR [5].

Atmega328P має три типи пам'яті:

- 32 КВ енергонезалежної **Flash** пам'яті для зберігання програми.
- 2 КВ енергозалежної **SRAM** пам'яті для зберігання змінних, використовуваних додатком під час його роботи.
- 1 КВ енергонезалежної **EEPROM** пам'яті для зберігання даних, які повинні бути доступні навіть після вимикання плати.

Дозволена напруга живлення мікроконтролера лежить в межах 1,8 – 5,5 В, однак для досягнення максимальної тактової частоти необхідно не менше 4,5 В.

Atmega328P має всього 28 контактів вводу, виводу і живлення. Більшість виводів можна використовувати в різних режимах, в залежності від їх налаштування. Це дозволяє спроектувати більш оптимальний дизайн, тому що один контакт дозволяє досягти кількох функціональних можливостей. Розглянемо основні виводи які використовуються в проекті (Рис.2.2.1).

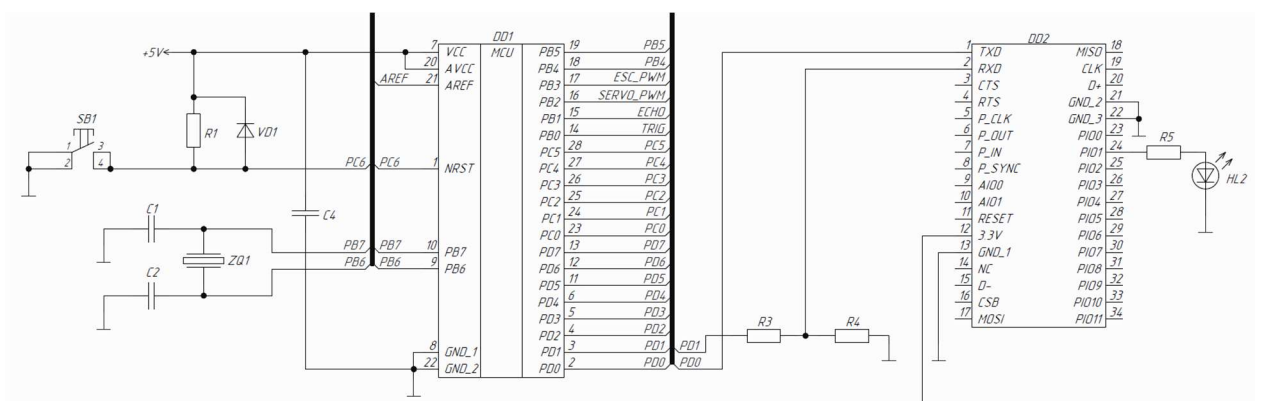


Рис.2.2.1 – Фрагмент принципової схеми з МК.

Контакт скидання NRST підключений через навантажувальний резистор R1 до живлення для запобігання випадкового скидання. Згідно [6]: рекомендоване значення навантажувального резистора становить 4,7 кОм або більше при використанні STK®600 для програмування. Для правильної

роботи DebugWIRE навантаження повинно бути не менше 10 кОм. Отже використовуємо резистор 10 кОм. Паралельно резистору R1 можна побачити діод VD1. Призначення цього діода, також можна побачити в цьому додатку: якщо не використовується HVPP (High-Voltage/Parallel Programming), рекомендується додати захисний діод від електростатичного розряду від RESET до Vcc.

Контакти PB2 та PB3 використовуються в режимі ШІМ, для керування швидкістю основного електромотора і кутом повороту сервоприводу. МК ATmega328P підтримує 8-бітну ШІМ, що дозволяє вибрати значення від 0 до 255. Контакти PB0, PB1 використовуються для виводів ультразвукового датчика, про роботу якого буде описано нижче.

Між контактами землі і живлення можна побачити конденсатор C4, який фільтрує шуми від живлення. У таких випадках використовуються низькоімпедансні конденсатори, які дозволяють прокласти для високочастотного шумового сигналу шлях до землі. Типове значення для таких конденсаторів 100 нФ.

Керамічний резонатор [8] підключений до контактів XTAL1 і XTAL2. Дуже важливо підключити зовнішні конденсатори відповідно до вимог використовуваного резонатора. У разі недостатнього ємнісного навантаження, резонатор не зможе забезпечити стабільну генерацію коливань і в разі перевищення ємнісного навантаження, коливання можуть початися мимоволі через залежність рівня збудження від навантаження. Для коректного визначення ємності рекомендується використовувати наступну формулу [6]:

$$C_e = 2C_L - C_i - C_S, \quad (2.2.1)$$

де C_e – зовнішня ємність, що необхідна резонатору.

C_L – навантажувальна ємність, що зазначена виробником резонатора.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

C_i – ємність XTAL виводів мікроконтролера (зазначено в документації до МК).

C_S – загальна паразитна ємність для одного контакту (від 5 пФ до 10 пФ).

Також в документації на мікроконтролер вказані приблизні значення ємності в залежності від частоти резонатора (Рис.2.2.2).

Frequency Range (MHz)	Recommended Range for Capacitors C1 and C2 (pF)	CKSEL3...1 ⁽¹⁾
0.4 - 0.9	–	100 ⁽²⁾
0.9 - 3.0	12 - 22	101
3.0 - 8.0	12 - 22	110
8.0 - 16.0	12 - 22	111

Рис.2.2.2 – Рекомендований діапазон ємності конденсаторів.[5]

Для резонатора з частотою 16 МГц і ємністю навантаження в 16 пФ, Atmel рекомендує ємність від 12 пФ до 22 пФ. Для більш точного значення скористаємося формулою (2.2.1):

$$C_e = 2 * 16 - 4,4 - 10 = 17,6 \text{ (пФ)}$$

Округлимо отримане значення до найближчого цілого і отримаємо оптимальне значення ємності в 18 пФ.

Для обміну даними з зовнішніми пристроями використовуються контакти RX і TX, які підтримують послідовний інтерфейс передачі даних UART. Контакт RX використовується для отримання даних, а контакт TX – для відправки даних. Тобто, для коректного обміну даними Bluetooth модулю з мікроконтролером треба підключити контакт RX Bluetooth модулю з контактом TX мікроконтролера і, відповідно, контакт TX з контактом RX. Також на схемі можна побачити два резистора (R3, R4), що утворюють подільник напруги. На інформаційний контакт входу (RX) Bluetooth модуля рекомендується подавати напругу 3,3 В [9], коли вивід TX в Atmega328P працює на 5 В.

Щоб не викликати несправності в роботі потрібно знизити напругу. Таким чином, для отримання 3,3 В треба розрахувати номінал резисторів так, щоб відношення $\frac{R_4}{R_4+R_3}$ дорівнювало $2/3$, бо $5 \cdot \frac{2}{3} = 3,3$ В. Використовуючи резистори номіналом $R_4 = 20$ кОм, $R_3 = 10$ кОм, ми досягаємо потрібного значення. У разі зворотної передачі даних від модуля до МК не потрібно додаткових налаштувань, так як вихід TX Bluetooth безпосередньо має 3,3 В. Модуль живиться від джерела напруги в 3,3 В. Оранжевий світлодіод (HL2) [10], який підключений через резистор (R5) загоряється при роботі модулю. Номінал резистора було розраховано наступним чином:

Розрахуємо напругу на резисторі:

$$U_{\text{рез}} = U_{\text{vcc}} - U_f, \quad (2.2.2)$$

де U_{vcc} – напруга живлення, В;

U_f – напруга падіння на світлодіоді, В.

Отже,

$$U_{\text{рез}} = 3,3 - 1,8 = 1,5 \text{ (В)}$$

Для розрахунку номіналу резистору скористаємося законом Ома:

$$R = \frac{U_{\text{рез}}}{I_F} \quad (2.2.3)$$

де $U_{\text{рез}}$ – напруга на резисторі, В;

I_F – номінальний струм світлодіоду, А.

Отже,

$$R = \frac{1,5}{0,002} = 750 \text{ (Ом)}$$

Мікроконтролер живиться від джерела напруги в 5 В. Регулятор напруги DA1 перетворює вхідну напругу від регулятора швидкості до стабілізованих 5 В. Регулятор напруги DA2 перетворює вхідну напругу в 3,3 В для живлення

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Bluetooth модуля. Обидва регулятори є LDO (Low dropout), що означає, що вони можуть стабілізувати напругу, навіть якщо вхідна напруга близька до вихідної (Рис.2.2.3) [11-12].

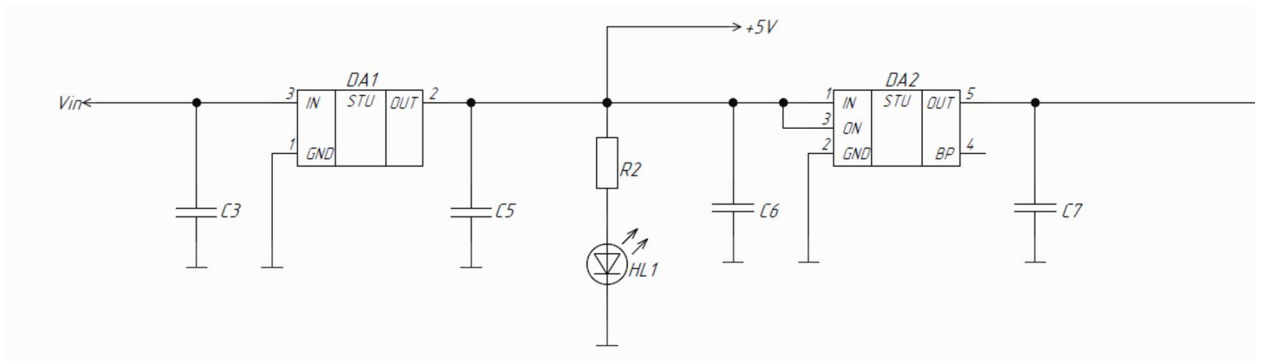


Рис.2.2.3 – Фрагмент принципової схеми силової частини.

На входах і виходах стабілізаторів стоять згладжувальні керамічні конденсатори (C3, C5, C6, C7). Вони дозволяють позбутися зайвих шумів, які проникли від регулятора швидкості і мають менші значення паразитних параметрів ESR і ESL за електролітичні. Так як напруга на виході ESC є вже стабілізованою, то в алюмінієвих електролітичних конденсаторах немає сенсу, тому що вони мають великі розміри і гірші показники паразитних параметрів.

Зелений світлодіод (HL1) [13], який підключений через резистор (R2) загоряється при роботі пристрою. Резистор було розраховано за формулами 2.2.2 та 2.2.3.

$$U_{\text{рез}} = 5 - 1,7 = 3,3 \text{ (В)}$$

$$R = \frac{3,3}{0,002} = 1650 \text{ (Ом)}$$

Отже R2 має номінал 1,65 кОм.

Зовнішні блоки системи. Електронний регулятор ходу

Перейдемо до огляду зовнішніх блоків. Почнемо з блоку керування транспортним засобом, а саме електронного регулятора ходу та електромотору. Розглянемо більш детально як керувати швидкістю мотора за

допомогою ШІМ. Щоб керувати швидкістю двигуна постійного струму, необхідно змінювати вхідну напругу. Широтно-імпульсна модуляція – це метод регулювання напруги шляхом високошвидкісного включення і відключення живлення, створюючи при цьому короткі імпульси. Напруга залежить від скважності сигналу або зворотній їй величині – коефіцієнту заповнення. Коефіцієнт заповнення – це відношення тривалості імпульсів до загального періоду імпульсного сигналу. На рис.2.2.2 зображено приклад ШІМ з коефіцієнтом заповнення 25%. Для розрахунку коефіцієнту заповнення у відсотках використовують наступну формулу [7]:

$$D = \frac{PW}{T} * 100, \quad (2.2.4)$$

де PW – ширина імпульсу;

T – загальний період сигналу.

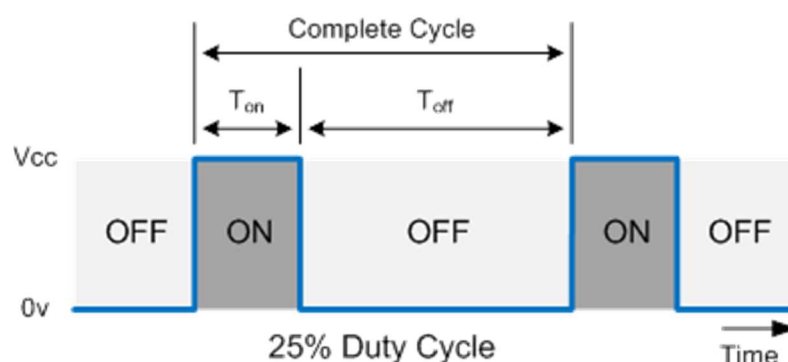


Рис.2.2.4 – Приклад ШІМ

ESC має сім виводів, з яких 2 контакти для живлення самого регулятора (IN+ IN-), 2 контакти для живлення електромотору (OUT+ OUT-) і роз'єм для мікроконтролера з набором трьох контактів: сигнальна лінія для ШІМ (CH.1) живлення для МК 6 В (CH.2) і земля [14]. Така функція ESC називається Battery Eliminator Circuit (BEC). По суті, це понижуючий стабілізатор напруги, який буде зменшувати напругу основної батареї до 6 В. BEC усуває необхідність в окремій батареї для мікроконтролера та сервоприводу. Таким

чином, використовуючи ATmega328P, ми повинні згенерувати ШІМ-сигнал, і в залежності від тривалості імпульсів, ESC буде приводити двигун в дію від мінімального до максимального числа оборотів в хвилину.

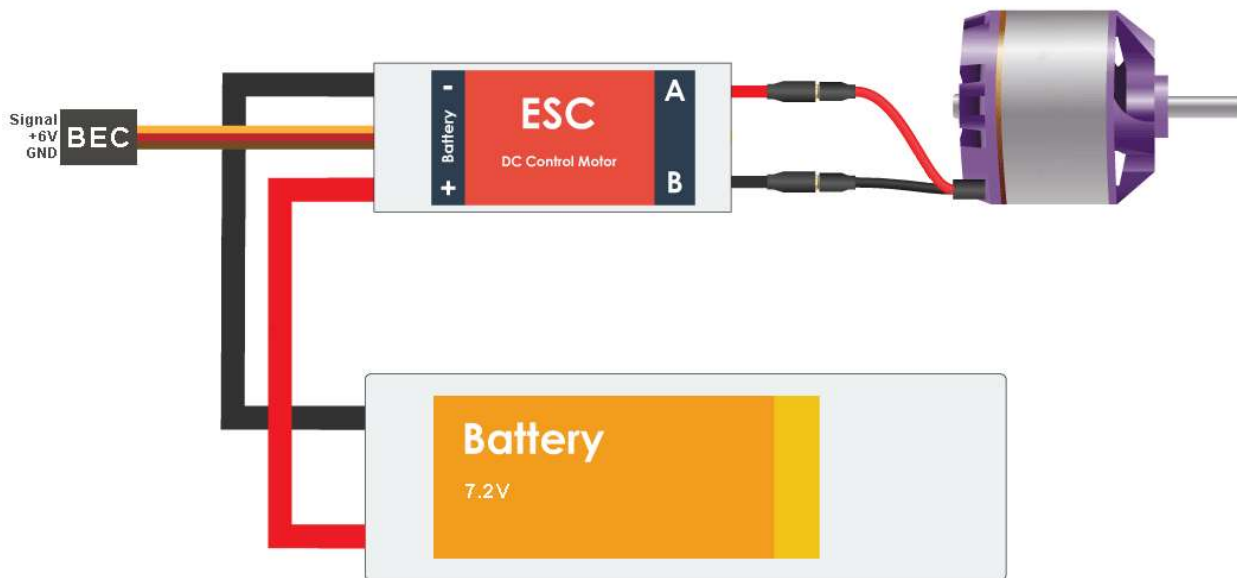


Рис.2.2.5 – Схематичне зображення використання ESC

Ще одна особливість конкретного ESC – це підтримка реверсу, тобто зворотного ходу мотора. Це досягається завдяки зміні полярності лінії живлення мотора, по суті зсув фази на 180°. Схемотехніка пристроїв які змінюють полярність реалізується на ключових елементах, які можуть бути виконані на польових або біполярних транзисторах, а також існує мікросхеми, які використовують комплементарні пари транзисторів. Схема пристрою нагадує латинську букву "H" в якій попарно розташовані 4 ключа ліворуч і праворуч (Рис.2.2.6).

Суть роботи пристрою полягає в попарному перемиканні ключів, тим самим змінюючи полярність сигналу що надходить до мотору. У таблиці нижче наведено різний стан мотора в залежності від стану ключів.

Таблиця.2.2.1 – Стан мотору в залежності від стану перемикачів.

S1	S2	S3	S4	Результат
1	0	0	1	Мотор крутиться вправо

Продовження таблиці 2.2.1

S1	S2	S3	S4	Результат
0	1	1	0	Мотор крутиться вліво
0	0	0	0	Вільне обертання мотору
0	1	0	1	Гальмування
1	0	1	0	Гальмування
1	1	0	0	Коротке замикання джерела живлення
0	0	1	1	Коротке замикання джерела живлення

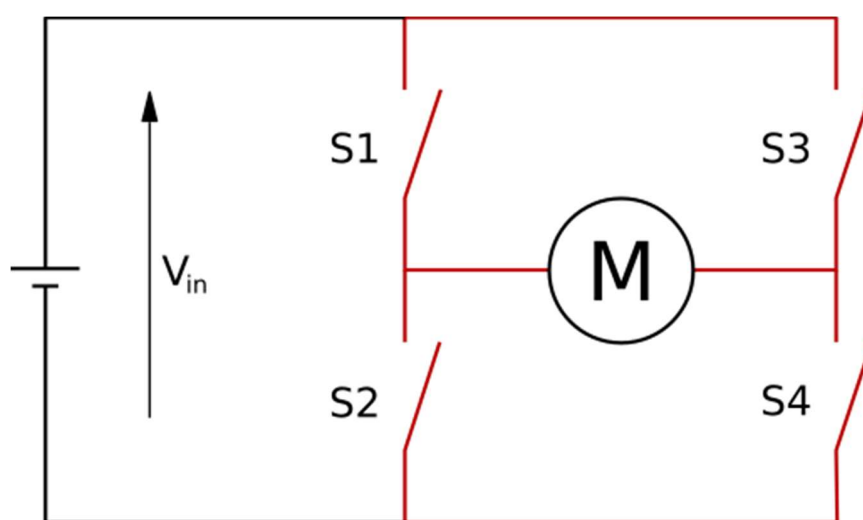


Рис.2.2.6 – Схема "Н" мосту.

Сервопривід

Наступним зовнішнім елементом блоку управління розглянемо сервопривід. Сервопривід – це пристрій, який дозволяє точно контролювати кут повороту свого валу. На Рис.2.2.7 зображено його чотири основні компоненти: двигун постійного струму, редуктор, потенціометр і ланцюг управління.

По суті, сервомотор – це замкнута система зі зворотним зв'язком по положенню ротора (Рис.2.2.8). У ролі датчика положення виступає потенціометр, або високоточний датчик в більш дорогих системах. Цей датчик

відправляє фактичне положення ротору в центр помилок, де воно порівнюється з необхідним положенням. Ланцюг управління передає відповідний сигнал до мотору і той коректує положення ротору.

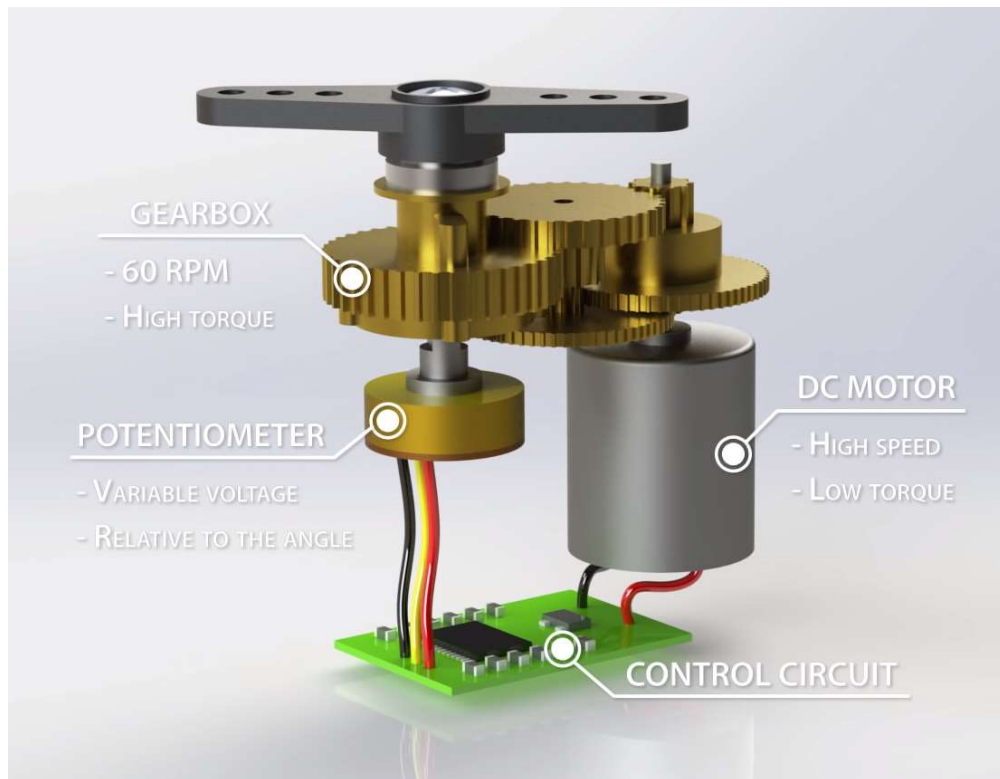


Рис.2.2.7 – Будова сервоприводу.

Потенціометр, підключений до валу, обертається разом з ротором і змінює напругу. У ланцюзі управління ця напруга порівнюється з напругою, яка надходить від сигнальної лінії МК. Завдяки вищерозглянутому Н-мосту (Рис.2.2.6), мотор може рухатися в обох напрямках, поки обидва сигнали не зрівняються і розбіжність не дорівнюватиме нулю.

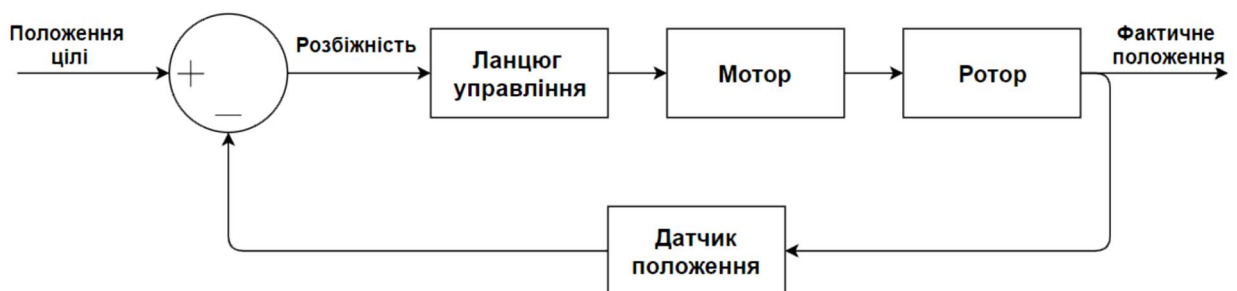


Рис.2.2.8 – Замкнута система сервоприводу.

Сигнал відправлений до ланцюгу управління генерується також за допомогою ШІМ. Кутове положення ротору визначається шириною імпульсу. Зазвичай положенню в 0° відповідає імпульс тривалістю 1 мс, для 90° – 1,5 мс і для 180° – 2 мс.

Датчик відстані

Розберемо роботу ультразвукового датчика відстані. Прилад має передавач, який відправляє звукові імпульси і приймач, який отримує відлуння відбитого сигналу. За тривалістю часу поширення відправленого і відбитого сигналу можна розрахувати відстань до об'єкту, враховуючи швидкість звукової хвилі в просторі.

Даний модуль має чотири контакти: VCC, GND, Trig та Echo. Контакти VCC та GND використовуються для живлення пристрою та землі. На контакт Trig подається імпульс рівний 10 мкс згенерований за допомогою ШІМ від мікроконтролера. Модуль генерує вісім імпульсів з частотою 40 кГц і встановлює високий рівень на контакті Echo. Після приходу відлуння, контакт Echo скидається до низько рівня (Рис.2.2.9). Знаючи цей час можна розрахувати відстань до об'єкту за формулою [15]:

$$S = V_{зв} * \frac{t_{Echo}}{2}, \quad (2.2.5)$$

де S – відстань до об'єкту, м;

$V_{зв}$ – швидкість звуку в повітрі, м/с;

t_{Echo} – час тривалості імпульсу, с.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

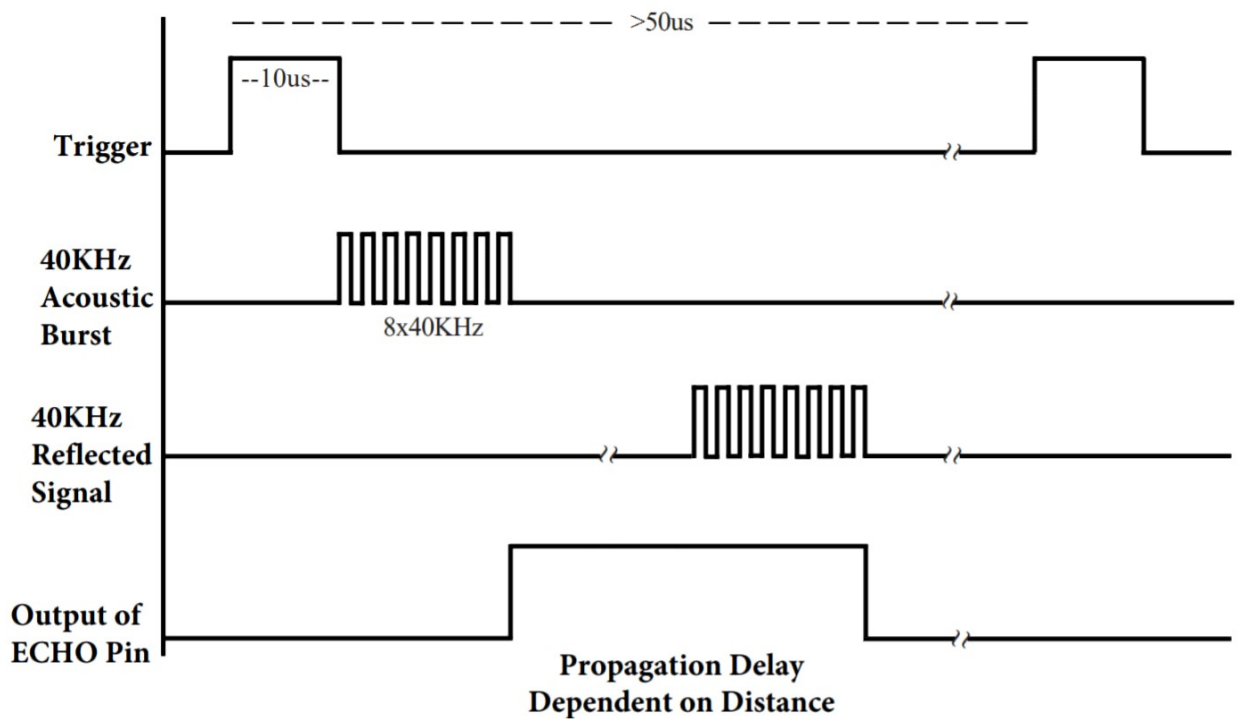


Рис.2.2.9 – Часова діаграма ультразвукового модулю.

Висновки до розділу:

У цьому розділі розглянуто загальну конструкцію системи управління рухомими об'єктами. Система складається з п'яти основних модулів які пов'язані між собою. Модуль керування транспортним засобом складається з трьох підмодулей. Кожен модуль – це окрема плата, або пристрій, опис і схемотехніка яких, були детально розглянуті і описані. На основі загальної структурної схеми пристрою була спроектована принципова схема. На основі проведених розрахунків, були обрані оптимальні номінали деяких елементів. Крім того, використання кожного елемента було детально описано та обґрунтовано. Для резонатора було розраховано рекомендоване значення ємностей конденсаторів (18 пФ) з урахуванням ємностей навантаження самого кристала, а також ємностей виводів МК і доріжок на ДП.

Розділ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ

В даному розділі буде розглянуто проектування друкованої плати. Щоб пристрій працював без проблем, необхідно враховувати велику кількість критеріїв, як механічних так і електричних. Основні несправності в роботі можуть виникати через безвідповідальне розведення ДП і не врахування паразитних параметрів провідників. Перед тим як починати проектувати ДП необхідно провести аналіз схеми і визначити кілька аспектів, які можуть вплинути на роботу пристрою. Наприклад: кліматичні, теплові, механічні, місце встановлення ДП, вплив інших зовнішніх факторів. До окремої групи можна віднести електричні чинники, до яких відносяться паразитні ємності і індуктивності, окрему увагу варто приділити високочастотним частинам схеми, аналоговим і силовим.

Необхідно розглянути критерій, що стосується розведення друкованої плати. Приділимо увагу основним чотирьом конструкторським факторам, які необхідно враховувати при розробці ДП. До них відносяться:

- Габаритний фактор ДП
- Фактор точності ДП
- Критерій матеріалу ДП
- Кількість шарів ДП

Важливу роль варто приділити розміщенню компонентів по простору друкованого вузла, так як деякі елементи схеми попросту не будуть працювати, якщо їх розмістити в неправильному місці. Як і у випадку з трасуванням, розташування компонентів проводиться з урахуванням багатьох конструктивно-технологічних факторів:

- Якомога менша сумарна довжина з'єднань.
- Близьке розташування елементів з великою кількістю зв'язків між собою.
- Щільність компоновання елементів.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

3.1 Вибір матеріалу і типу друкованої плати

В нашому випадку, розміри друкованої плати диктуються розмірами вільного місця на прототипі пристрою. Конструкція дозволяє розмістити ДП поруч з акумулятором. Однак, це місце обмежується стінками корпусу відстань між якими 45 мм в ширину і 140 мм в довжину. Тобто ДП не повинна перевищувати цього розміру. З метою спрощеного виготовлення плати будемо використовувати прямокутну форму. Для уніфікації розмірів, сторони плати повинні бути кратні 2,5 мм при довжині до 100 мм. Оберемо оптимальний варіант з прийнятним позиціонуванням компонентів 62,5 мм x 40 мм. Внаслідок малогабаритної ДП, ймовірність деформацій зводиться до мінімуму, а вібростійкість до максимуму, що було підтверджено розрахунком в 4 розділі. ДП малих розмірів мають перевагу перед великогабаритними не тільки при механічному впливі, але і в ремонтпридатності.

Після визначення розмірів ДП перейдемо до матеріалу основи. Для нашого випадку діелектрик повинен мати не тільки хороші електроізоляційні властивості, але і в зв'язку з вимогами експлуатації, міцність. Так як транспортний засіб має невелику масу і розвиває немаленьку швидкість, то є ймовірність тряскої їзди і вібрацій. З огляду на це варто вибрати вібростійкий матеріал. G-10 один з варіантів з міцним складом скловолокна, проте в силу свого малого коефіцієнта гігроскопічності і не вогнестійкості його замінив FR-4. FR-4 є поширеним і універсальним матеріалом на основі склотканини з епоксидною смолою і хорошим відношенням міцності і ваги. До того ж цей матеріал має практично нульовий коефіцієнт гігроскопічності, тобто його високі механічні і електроізоляційні властивості зберігаються в сухих і вологих умовах.

Вибір матеріалу FR-4 дозволяє нам спроектувати друковану плату з двома провідними шарами. Двосторонні друковані плати забезпечують не тільки високу щільність компонування і трасування, але і дозволяють виділити

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

окремий шар під полігони землі, які дають ряд конструктивно-технологічних і електричних переваг.

У проекті відсутня потреба в строго певній товщині, а також відсутні високочастотні вузли, в яких необхідно дотримуватися певного значення діелектричної проникності матеріалів. З цієї причини, використовуємо поширені параметри, які рекомендують фірми виробників. А саме:

- Товщина діелектрику – 1,5 мм
- Товщина металізованого шару – 35 мкм

При виборі товщини металізованого шару треба враховувати максимальну величину струмів, що протікають по поверхні. Хоча в схемі не присутні потужноструміві ділянки схеми, все одно не бажано вибирати тонкий шар фольги.

При збиранні компонентів на друкованій платі необхідно враховувати їх тип розміщення. В основному існує два методи збірки, які поділяються на кілька підтипів. Перший тип дозволяє монтувати компоненти тільки на одну сторону плати, а другий на обидві. З огляду на кількість елементів і розміри нашої плати, можна зробити висновок, що оптимальним буде розміщення тільки з одного боку, і в двосторонньому монтажі немає потреби, адже це збільшує складність і вартість процесу. До кожного типу розміщення стоїть один з шести класів, який визначає технологію монтажу [16]. Так як в нашому проекті використовуються монтовані в отвори і поверхнево-монтовані елементи без спеціальної компоновки, то вибираємо змішаний **тип С**. Він забезпечує оптимальну трасувальну здатність та надійність з'єднань, через що є дуже популярним.

Після вибору матеріалу і типу розміщення, а також аналізу габаритних критеріїв, маємо наступний кінцевий вигляд найменувань:

- Найменування матеріалу ДП: FR4-2-35-1,5 мм.
- Класифікація типу збірки: IPC Type 1С.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

3.2 Вибір класу точності

Клас точності визначається вітчизняним стандартом ГОСТ 23751-86. Перші два класи не відрізняються своєю точністю і використовуються для односторонніх ДП. Плюси цих класів в тому, що вони не вимагають спеціального обладнання та виготовлення таких плат дешеві та прості.

Четвертий і п'ятий класи вимагають високоточного обладнання та використовується для монтажу многовыводних SMD компонентів в корпусах BGA. Крім того, процес виробництва ДП повинен проходити в особливо чистих кімнатах з додатковим кондиціонуванням повітря і підтриманням постійного певного температурно-вологісного режиму.

Третій клас точності можна вважати золотою серединою, так як для нього не потрібно спеціального устаткування і матеріалів, дотримання чистоти приміщення і температурних параметрів менш суворі ніж в класах вище. В той же час, клас забезпечує доцільну щільність монтажу та ширину друкованих провідників для нашого пристрою. Крім конструкторських рішень, був проведений розрахунок по максимальному струму для визначення мінімальної ширини провідника і результати підтвердили використання третього класу ($b_{minI} = 0,05$ мм). В таблиці нижче зазначені основні значення основних параметрів для класів точності.

Таблиця 3.2.1 – Граничні значення основних параметрів ДМ

Параметр	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$B_{пр}^Г$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	$L^Г$	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	$B_{п}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	$K_{дт}$	0.40	0,33	0,25	0,20

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК52.468992.001 ПЗ

Арк.

29

3.3 Вибір методу виготовлення друкованої плати

Існує безліч різних методів виготовлення друкованої плати. Однак основні можна розбити на три групи. Способи в яких доріжки наносяться на поверхню діелектрика називаються адитивними. Протилежність адитивних методів – це субтрактивні, в яких майбутні доріжки, навпаки, захищають від травлення мідної фольги. Кожен з цих методів поділяється на різні технології. У випадку з субтрактивними методами застосовують негативний, позитивний і тентінг процеси. Адитивні методи поділяються на процеси нанесення струмопровідного покриття: хімічні і хіміко-гальванічні.

Ще один спосіб виготовлення ДП полуадитивний, або комбінований. Це об'єднання субтрактивного і адитивного методів. Як і в субстрактивному процесі, в комбінованому використовуються фольговані діелектрики. А формування рисунку провідників відбувається по адитивній технології, шляхом гальванічного осадження міді з застосуванням фотошаблонів. У нашому проекті буде використовуватися саме цей метод. Внаслідок того, що металізований шар на всіх етапах виробництва захищає діелектрик від небажаного впливу технологічних розчинів, досягається висока довговічність ізоляції.

Перед завершенням створення ДП, плату покривають фінішним покриттям – гарячим лудінням або імерсійним нанесенням. Фінальні покриття повинні забезпечувати хорошу пайкуватість і зберігати ці властивості якомога довше для надійного монтажу елементів на платі. На ринку присутня велика різноманітність покриттів, що мають різноманітні вимоги вартості, змочуваності, довготривалості і т. д. Найрозповсюдженою технологією нанесення є HAL або HASL (Hot Air Leveling або Hot Air Solder Leveling). Плату покривають припоєм на основі сплаву олово-свинець і повітряним потоком гарячого повітря прибирають надлишки і вирівнюють його. Використовуємо для фінішного покриття доступний і поширений припій ПОС-61. У нього хороші показники адгезії і інші технічні характеристики. Цей

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

же припій будемо використовувати для пайки вивідних компонентів через отвори, так як його співвідношення температури плавлення до міцності найбільш оптимальна. Для пайки SMD компонентів будемо використовувати паяльну пасту MECHANIC XG-Z40, так як вона зручна у використанні і має гарні характеристики.

Після монтажу компонентів плати необхідно покрити діелектричним лаком. Він використовується для захисту ДП від зовнішніх впливів і запобігає швидкого окислення провідників в небажаних середовищах. Завдяки захисній плівці можна уникнути струмів витоків, короткого замикання і ефекту коронування. Для нашої ДП будемо використовувати PLASTIK 70. Він відрізняється своїми хорошими показниками діелектричної характеристики та має водовідштовхувальні властивості з гарною адгезією. Також він дозволяє здійснювати пайку елементів через лак без виділення токсичних газів

3.4 Розміщення компонентів та трасування ДП

Розміщення і трасування – дуже важливі процеси проектування ДП. Через неправильне розташування компонентів, у схемі можуть виникати проблеми, або навіть, повна відсутність працездатності. Існує кілька основних критеріїв, яких необхідно дотримуватися при розміщенні компонентів:

- конструкторсько-технологічні: слід враховувати габарити самої плати і розміри корпусів компонентів.
- електромагнітна сумісність: слід враховувати паразитні зв'язки між елементами.
- температурні: слід враховувати теплоємність елементів, яка позначається на якості пайки. Елементи, які сильно нагріваються не повинні впливати на близькі до них компоненти.

Обраний клас точності (3 клас) і тип розташування (IPC Type 1C) дозволяє нам розмістити всі компоненти на одній стороні ДП. Це дозволить

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

зменшити складність процесу виготовлення плати та полегшити її перевірку, тим самим знизити витрати на виробництво.

Звичайно ж рекомендується розміщувати компоненти якомога ближче один до одного, так як загальна довжина провідників скорочується і негативні, паразитні ефекти зменшуються. Однак дуже близьке розташування також небажано через погіршення ремонтпридатності виробу, оптичного аналізу компонентів і з'єднань, теплових характеристик. Обраний клас точності регламентує нам мінімальну відстань між елементами друкованого монтажу в 0,25 мм.

Першим елементом який буде розташований на друкованому просторі плати повинен мати найбільшу кількість зв'язків. Очевидно, що цим компонентом є мікроконтролер АТmega328Р і буде доречним розташувати його в середині плати. Таке розташування забезпечує максимально короткі зв'язки з більшістю елементів. За рахунок оптимального розподілу маси по площі плати, забезпечується додаткова віброміцність і захист від перегинів. На краю плати розташовуються контактні роз'єми під зовнішні модулі. З протилежного боку розташовується Bluetooth модуль, який являє собою друковану плату з вбудованою антеною. Решта маловивідних компонентів розташовуються поблизу мікроконтролера між роз'ємами і Bluetooth модулем. Така конструкція забезпечую оптимальне навантаження на кожну ділянку монтажного простору і сприятливо впливає на його стійкість.

Блокувальний конденсатор розташовано якомога ближче до виводів мікросхеми, щоб мінімізувати індуктивність провідників. З тієї ж причини, максимально близько встановлюємо резонатор.

При розведенні друкованої плати треба враховувати паразитні параметри ємності і індуктивності провідників. У нашому проекті відсутні високочастотні блоки (використовується готовий Bluetooth модуль), аналогові і силові частини (ДП живиться від стабілізованого джерела), що трохи

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

полегшує процес розведення, але все одно важливо дотримуватися норм трасування.

У розділі 3.2 ми визначили клас точності (3 клас) і відповідно ширину провідників (0,25 мм). Однак це мінімально-допустима ширина і не завжди є кращим рішенням, з багатьох причин. Широкі провідники мають кілька переваг перед вузькими. По-перше, менше падіння напруги, тому що більший перетин провідника, який дає менший опір та індуктивність. По-друге механічна міцність широкого провідника більше вузького. Отже сигнальні провідники будуть шириною в 0,4 мм, а провідники живлення і землі – 0,6 мм.

Нижній шар плати було повністю виділено під окремий полігон землі. Це дозволить знизити паразитну індуктивність і отримати додаткову завадостійкість. Завдяки великій площі землі поліпшується стабільність роботи пристрою. Однак місце антени Bluetooth модуля варто обмежити від заливки, щоб уникнути його екранування. Щоб уникнути небажаних кутів більше 90° були використані полігони живлення. Завдяки полігонам живлення були усунені кути, які могли б привести до нерівномірного розподілу струму.

3.5 Методика проектування друкованого вузлу в середовищі Altium Designer

Спочатку використання AD ми ознайомились із інтерфейсом та виконали початкові налаштування схемного редактора. Після всіх налаштувань було створено бібліотеку умовно-графічних позначень, які б відповідали дійсним ГОСТам, ДСТУ та ЄСКД. Для кожного елементу було додано атрибути з інформацією про компонент, які були використані в подальшому, для генерації переліку елементів та специфікації. Кожен елемент бібліотеки має коректне позначення, яке відповідає ГОСТу 2.710-81, опис компонента, атрибути, коректні піни та умовне-графічне позначення відповідно до ГОСТу.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Після створення бібліотек умовно-графічних позначень, були створені бібліотеки посадових місць, які використовувалися для складального креслення та тривимірної моделі. Тривимірні моделі компонентів та контакти майданчики були створені за допомогою інструмента **IPC Footprint Wizard**. Габаритні розміри та розміри контактних майданчиків були взяті з «Datasheet» відповідного компоненту. Деякі компоненти були завантажені з інтернету на певних сайтах, які надають відкритий доступ до 3D моделей і бібліотеки контактних майданчиків.

Після створення всіх бібліотек, була створена принципова схема з врахуванням всіх стандартів (розташування буквено-цифрового позначення компонентів, відстань між компонентами, та ін.). На основі принципової схеми були сформовані перелік елементів та специфікація.

Створення друкованої плати почалось з налаштування параметрів для трасування плати (ширина провідників, розмір перехідних отворів, відстань між компонентами та ін.) згідно розрахованих значень (див. Розділ 4) для 3 класу точності. Наступним кроком було налаштування параметрів друкованої плати: товщина, матеріал основи діелектрика і товщина фольгування шару.

Розміщення компонентів відбувалося згідно умов, які були зазначені у попередньому розділі. Трасування для даного проекту було виконано вручну за допомогою (**Interactively Route Connections**). Під час проведення траси використовувалися «гарячі» клавіші «+», «-» для переходу на нижній шар, а також клавіша «3» для зміни ширини провідника. За допомогою інструменту **Polygon Pour** були створені полігони землі та живлення. Інструментом **Polygon Pour Cutout** була відокремлена площа полігону землі під Bluetooth модулем. За допомогою **DRC** були перевірені обмеження які накладалися на проектування ДП і вона буде функціонувати належним чином.

За допомогою **Gerber Files** було визначено площу металізації для розрахунку потужності втрат друкованої плати.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Після створення всіх креслень у AD вони були експортовані у середовище AutoCAD для створення принципового креслення друкованої плати та складального креслення.

Висновки до розділу:

В даному розділі були обрані оптимальні габаритні розміри ДП, які дозволяють розмістити її в корпусі прототипу. Розміри забезпечують відмінну вібростійкість і опір до різноманітних деформацій.

Матеріал основи FR-4 забезпечує хороші технічні та електричні характеристики, а також є дуже популярним і доступним варіантом для виготовлення ДП. FR-4 дозволяє спроектувати двосторонню ДП, що дає можливість виділити один з шарів під полігон землі. Це посилить корисне екранування від перешкод, а також стабільність роботи пристрою. Варіант розміщення компонентів тільки на одній стороні плати з використанням елементів, як поверхневого монтажу, так і монтажу через отвори. Тобто **IPC Type 1C**.

Обраний, 3 клас точності є оптимальним в нашому випадку, так як дозволяє досягти компактного розміщення елементів і оптимальної ширини провідників. При цьому обраний клас не потребує спеціалізованого дорогого обладнання і особливих умов виробництва, що дозволяє знизити витрати на виготовлення ДП.

Завдяки використанню комбінованого методу виготовлення ДП, досягається додатковий захист діелектрика і як результат – довговічність ізоляції.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Розділ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ

4.1 Виконання конструкторсько-технологічного розрахунку елементів друкованого монтажу

В даному розділі будуть проведені розрахунки, які обґрунтовують вибір класу точності. При обчисленні будуть використовуватися граничні значення параметрів ДМ для певного класу, які були наведені в таблиці 3.2.1 попереднього розділу, а також похибки виконання технологічного процесу виготовлення ДП (Табл. 4.1.1), які виникають на підприємствах в залежності від обладнання.

Таблиця 4.1.1 – Допустимі похибки виконання елементів ДМ

Похибка	Позначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС	$\delta_{сп}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС	δ_o	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КС	$\delta_{км}$	0,05
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{фф}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КС на фотошаблоні	$\delta_{фш}$	0,05

1. Визначення мінімальної ширини друкованого провідника за постійним струмом для живлення та землі.

Мінімальна ширина друкованого провідника за постійним струмом $b_{min I}$ (мм) для живлення та землі визначаємо за виразом:

$$b_{min I} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t_{пров}}, \quad (4.1.1)$$

де I_{max} – максимально можливий струм, А

$j_{\text{доп}}$ – допустима щільність струму для ДП, що виготовлені комбінованим позитивним методом, $j_{\text{доп}} = 48 \text{ А/мм}^2$ (за ОСТ 4.010.022–85).

$t_{\text{пров}}$ – товщина друкованого провідника, мм.

Друкована плата виготовлена комбінованим позитивним методом, отже товщина провідника це сума гальванічно та хімічно осадженої міді. Вираз визначення товщини наведено нижче:

$$t_{\text{пров}} = h_{\text{ф}} + h_{\text{ТМ}} + h_{\text{ХМ}}, \quad (4.1.2)$$

де $h_{\text{ф}}$ – товщина фольги, яка залежить від матеріалу друкованої плати;

$h_{\text{ТМ}}$ – товщина шару гальванічно осадженої міді;

$h_{\text{ХМ}}$ – товщина шару хімічно осадженої міді.

Тобто, у нашому випадку для матеріалу ДП FR4-2-1,5 мм значення параметрів набувають наступного вигляду:

$$h_{\text{ф}} = 0,035 \text{ (мм)}, h_{\text{ТМ}} = 0,055 \text{ (мм)}, h_{\text{ХМ}} = 0,0065 \text{ (мм)},$$

отже

$$t_{\text{пров}} = 0,035 + 0,055 + 0,007 = 0,097 \text{ (мм)}$$

Параметр I_{max} – це максимально можливий струм найбільш споживаючих компонентів і розраховується за наступною формулою:

$$I_{\text{спож}} = I_{\text{CC}} + (N * I_{\text{OL}}) + I_{\text{IL}}, \quad (4.1.3)$$

де I_{CC} – вхідний струм живлення;

N – кількість виводів, що використовуються;

I_{OL} – типовий струм виходу;

I_{IL} – струм витоку на вході.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Так як значення I_{IL} набагато менше (~ 1 мкА), за значення типового струму виходу і струму живлення то знехтуємо ним. Отже формула буде мати наступний вигляд:

$$I = I_{CC} + (N \cdot I_{OL}) \quad (4.1.4)$$

Таблиця 4.1.2 – Струм споживання для використовуваних ІС

ІС	I_{CC} , мА	I_{OL} , мА	N	$I_{спож}$, мА
Atmega328P	9,2	20	9	$9,2 + (9 \times 20) = 189,2$
НС-06	20	8	3	$20 + (3 \times 8) = 44$

Отже

$$I_{max} = 189,2 + 44 = 233,2 \text{ (мА)}$$

Тоді мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для живлення та “землі” визначається наступним чином:

$$b_{min I} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t_{пров}} = \frac{233,2 \cdot 10^{-3}}{48 \cdot 0,097} = 0,05 \text{ (мм)}$$

Отримане значення мінімальної ширини провідника менше за 0,25 мм, отже обраний клас відповідає 3 класу точності.

3. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння на ньому напруги.

За допомогою виразу наведеного нижче розрахуємо мінімальну ширину траси з урахуванням допустимого падіння напруги на ній:

$$b_{min U} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{U_{доп} \cdot t_{пров}}, \quad (4.1.5)$$

де ρ – питомий опір траси на ДП, $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

$L_{\text{пров}}$ – довжина самої довшої траси на ДП, $L_{\text{пров}} = 0,104$ м.

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику, $U_{\text{доп}} = 5\% \cdot E_{\text{п}}$

$$U_{\text{доп}} = 0,05 \cdot 5 = 0,25 \text{ (В)}$$

Отримуємо:

$$b_{\min U} = \frac{0,0175 \cdot 253,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,104}{0,25 \cdot 0,097} = 1,90 \cdot 10^{-2} \text{ (мм)}$$

4. Визначення номінального діаметру монтажного отвору

Номінальний діаметр монтажного отвору визначається за виразом:

$$d_{MO} \geq d_{\text{ве}} + 2(h_0 + \Delta) + \delta_o, \quad (4.1.6)$$

де $d_{\text{ве}}$ – діаметр виводу елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору ($d_{\text{ве}} = 0,5$ мм);

Δ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру монтажного отвору ($\Delta = 0,2$ мм);

h_0 – товщина осадженої міді.

δ_o – похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, $\delta_o = 0,07$ мм (табл. 4.1.1);

$$h_0 = h_{\text{тм}} + h_{\text{хм}} = 0,055 \text{ мм} + 0,0065 \text{ мм} = 0,062 \text{ (мм)}$$

$$d_{MO} = 0,5 + 2 \cdot (0,2 + 0,062) + 0,07 = 1,1 \text{ (мм)}$$

5. Визначення діаметру контактного майданчику монтажного отвору

Мінімальний діаметр контактної майданчика з урахуванням похибки та підтравлювання фольги визначається за виразом:

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$d_{\text{КП}} = 2 \cdot \left(b_{\text{по}} + \frac{d_{\text{МО}}}{2} \right) + \delta_{\text{КМ}} + \delta_{\text{ФФ}} + 1,5h_{\text{ф}}, \quad (4.1.7)$$

де $b_{\text{по}}$ – гарантований поясок контактного майданчика, $b_{\text{по}} = 0,1$ мм (табл. 3.2.1);

$d_{\text{МО}}$ – номінальний діаметр монтажного отвору $d_{\text{МО}} = 1,1$ мм;

$\delta_{\text{КМ}}$ – похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС, $\delta_{\text{КМ}} = 0,05$ мм (табл. 4.1.1).

$\delta_{\text{ФФ}}$ – похибка фотокопії та фотошаблону, $\delta_{\text{ФФ}} = 0,06$ мм (табл. 4.1.1);

$h_{\text{ф}}$ – товщина фольги, $h_{\text{ф}} = 0,035$ мм;

δ_{o} – похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, $\delta_{\text{o}} = 0,07$ мм (табл. 4.1.1);

$$d_{\text{КП}} = 2 \cdot \left(0,1 + \frac{1,1}{2} \right) + 0,05 + 0,06 + 1,5 \cdot 0,035 = 1,46 \text{ (мм)}$$

Отже максимальний діаметр КМ монтажного отвору:

$$D_{\text{max}} = d_{\text{КП}} + 0,02 \quad (4.1.8)$$

$$D_{\text{max}} = 1,46 + 0,02 = 1,48 \text{ (мм)}$$

6. Визначення максимальної ширини провідників

Визначимо номінальну ширину провідника враховуючи підтравлювання та зчеплення з основою:

$$b_{\text{min}} = b_{\text{пр}}^{\Gamma} + 1,5h_{\text{ф}} + \delta_{\text{ФФ}} + \delta_{\text{СП}}, \quad (4.1.9)$$

де $b_{\text{пр}}^{\Gamma}$ – мінімальна ширина провідника, яка відповідає таблиці класів точності (таблиця 3.2.1). Для третього класу точності ДМ $b_{\text{пр}}^{\Gamma} = 0,25$ мм.

$h_{\text{ф}}$ – товщина фольги, $h_{\text{ф}} = 0,035$ мм;

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\delta_{\text{ФФ}}$ – похибка фотокопії та фотошаблону, $\delta_{\text{ФФ}} = 0,06$ мм (табл. 4.1.1);

$\delta_{\text{СП}}$ – зміщення провідників відносно ліній КС, $\delta_{\text{СП}} = 0,05$ мм (табл. 4.1.1);

$$b_{\text{min}} = 0,25 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,06 + 0,05 = 0,41 \text{ (мм)}$$

Враховуючи граничне відхилення, номінальна ширина провідника:

$$b_{\text{max}} = b_{\text{min}} + |\delta_T|, \quad (4.1.10)$$

де δ_T – граничне відхилення ширини провідника, $\delta_T = 0,01$ мм для комбінованого позитивного методу ДДП.

$$b_{\text{max}} = 0,41 + 0,01 = 0,42 \text{ (мм)}$$

7. Визначення мінімальної відстані між провідником та контактним майданчиком або монтажним отвором.

$$l_{\text{ПКМ min}} = L_0 - \left(\frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{КМ}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{СП}} \right), \quad (4.1.11)$$

де L_0 – відстань між центрами отвору або контактним майданчиком та друкованого провідника, $L_0 = 1,25$ мм;

D_{max} – максимальний діаметр майданчику або отвору, $D_{\text{max}} = 1,48$ мм;

b_{max} – максимальна ширина провідника, $b_{\text{max}} = 0,42$ мм;

$\delta_{\text{КМ}}$ – похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС, $\delta_{\text{КМ}} = 0,05$ мм;

$\delta_{\text{СП}}$ – похибка, що враховує зміщення провідника, $\delta_{\text{СП}} = 0,05$ мм;

Отже:

$$l_{\text{ПКМ min}} = 1,25 - \left(\frac{1,48}{2} + 0,05 + \frac{0,42}{2} + 0,05 \right) = 0,2 \text{ (мм)}$$

8. Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників)

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$l_{\text{ПП min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2\delta_{\text{СП}}), \quad (4.1.12)$$

де L_0 – відстань між центрами друкованих провідників, $L_0 = 1,25$ мм;

b_{max} – максимальна ширина провідника, $b_{\text{max}} = 0,42$ мм;

$\delta_{\text{СП}}$ – похибка, що враховує зміщення провідника, $\delta_{\text{СП}} = 0,05$ мм.

$$l_{\text{ПП mi}} = 1,25 - (0,42 + 2 \cdot 0,05) = 0,73 \text{ (мм)}$$

9. Визначення мінімальної відстані між двома контактними майданчиками

$$l_{\text{minKM KM}} = L_0' - (D_{\text{max}} + 2\delta_{\text{KM}}), \quad (4.1.13)$$

де L_0' – відстань між центрами сусідніх КМ, $L_0' = 2,5$.

D_{max} – максимальний діаметр майданчику або отвору, $D_{\text{max}} = 1,48$ мм (див. 4.1.4);

δ_{KM} – похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС, $\delta_{\text{KM}} = 0,05$ мм;

$$l_{\text{minKM KM}} = 2,5 - (1,48 + 2 \cdot 0,05) = 0,92 \text{ (мм)}$$

Щоб провести провідник між двома КМ, треба щоб максимальна ширина провідника $b_{\text{max}} = 0,42$ мм не перевищувала мінімальну відстань між провідником та контактним майданчиком $l_{\text{ПКМ min}} = 0,2$ мм та проміжком між двома монтажними отворами з максимальним діаметром:

$$l_d = L_0' - D_{\text{max}} \quad (4.1.14)$$

$$l_d = 2,5 \text{ мм} - 1,48 \text{ мм} = 1,02 \text{ (мм)}$$

$$b_{\text{max}} < l_d - 2 \cdot l_{\text{ПКМ min}} \quad (4.1.15)$$

$$0,42 < 1,02 - 2 \cdot 0,2 = 0,62$$

Отримане значення вказує на те, що між контактними майданчиками і монтажними отворами можливо провести один провідник, враховуючи третій клас точності.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Електричний розрахунок ДП

В даному розділі буде проведений електричний розрахунок друкованої плати. Такі паразитні параметри, як індуктивність і ємність може небажано вплинути на роботу пристрою. Крім паразитних параметрів буде розраховано максимально можливе падіння напруги на провіднику, яке може приводити до неадекватної поведінки компонентів. Необхідно щоб ці значення не перевищували допустимі межі, інакше помилкових спрацьовувань дискретних можна не уникнути.

1. Визначення падіння напруги на самому довгому друкованому провіднику

Падіння напруги визначається за наступною формулою:

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot L_{\text{пров}}}{b_{\text{max}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.2.1)$$

де ρ – питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

I_{max} – струм в провіднику, $I_{\text{max}} = 0,233 \text{ А}$;

$L_{\text{пров}}$ – максимальна довжина друкованого провідника, $L_{\text{пров}} = 0,104 \text{ м}$;

b_{max} – максимальна товщина провідника, $b_{\text{max}} = 0,42 \text{ мм}$;

$t_{\text{пров}}$ – товщина провідника виготовленого комбінованим позитивним методом, $t_{\text{пров}} = 0,097 \text{ мм}$.

$$U_{\text{пад}} = \frac{0,0175 \cdot 233 \cdot 10^{-3} \cdot 0,104}{0,42 \cdot 0,097} = 10,4 \text{ (мВ)}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5% від напруги живлення ($U_{\text{жив}} = 5 \text{ В}$). Допустиме падіння напруги на друкованому провіднику, $U_{\text{доп}} = 0,25 \text{ В}$.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

2. Визначимо потужність втрат двосторонньої друкованої плати.

Потужність втрат визначається за наступною формулою:

$$P_{\text{пот}} = 2\pi f \cdot C \cdot U_{\text{жив}}^2 \cdot \text{tg } \sigma, \quad (4.2.2)$$

де $f = 1$ Гц, тому що розрахунок ведеться на постійному струмі;

C – ємність друкованої плати;

$U_{\text{жив}}$ – напруга живлення, $U_{\text{жив}} = 5$ В;

$\text{tg } \sigma$ – тангенс кута діелектричних втрат для матеріалу друкованої плати та шару лаку;

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h}, \quad (4.2.3)$$

де ε – діелектрична проникність для матеріалу друкованої плати та шару лаку;

S_m – площа металізації визначається за допомогою інструментів САПР «Altium Designer», $S_m = 2502$ мм².

h – товщина друкованої плати, мм.

$$\text{tg } \sigma = \frac{\varepsilon_{\text{лаку}} \cdot h_{\text{ДП}} \cdot \text{tg } \sigma_{\text{ДП}} + 2 \cdot \varepsilon_{\text{ДП}} \cdot h_{\text{лаку}} \cdot \text{tg } \sigma_{\text{лаку}}}{2 \cdot \varepsilon_{\text{ДП}} \cdot h_{\text{лаку}} + \varepsilon_{\text{лаку}} \cdot h_{\text{ДП}}}, \quad (4.2.4)$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\text{лаку}} \cdot \varepsilon_{\text{ДП}} \cdot (h_{\text{ДП}} + 2 \cdot h_{\text{лаку}})}{2 \cdot \varepsilon_{\text{ДП}} \cdot h_{\text{лаку}} + \varepsilon_{\text{лаку}} \cdot h_{\text{ДП}}} \quad (4.2.5)$$

де $\varepsilon_{\text{лаку}}$ – діелектрична проникність для шару лаку, $\varepsilon_{\text{лаку}} = 3$;

$\varepsilon_{\text{ДП}}$ – діелектрична проникність для ДП, $\varepsilon_{\text{ДП}} = 4,5$;

$\text{tg } \sigma_{\text{лаку}}$ – тангенс кута діелектричних втрат для лаку, $\text{tg } \sigma_{\text{лаку}} = 0,01$;

$\text{tg } \sigma_{\text{ДП}}$ – тангенс кута діелектричних втрат для матеріалу ДП, $\text{tg } \sigma_{\text{ДП}} = 0,002$;

$h_{\text{лаку}}$ – товщина шару лаку, $h_{\text{лаку}} = 2,5 \cdot 10^{-6}$ м;

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$h_{\text{ДП}}$ – товщина основи ДП, $h_{\text{ДП}} = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м;

$$\operatorname{tg} \sigma = \frac{3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,002 + 2 \cdot 4,5 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,01}{2 \cdot 4,5 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} = 0,002$$

$$\varepsilon = \frac{3 \cdot 4,5 \cdot (1,5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6})}{2 \cdot 4,5 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} = 4,49$$

Отже підставляємо отриманні значення для розрахунку ємності:

$$C = \frac{0,009 \cdot 4,49 \cdot 2502}{1,5} = 67,4 \text{ (мкФ)}$$

та потужності втрат ДП:

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 67,4 \cdot 10^{-6} \cdot 5^2 \cdot 0,002 = 21,2 \text{ (мкВт)}$$

3. Визначимо ємність між двома сусідніми провідниками

Значення ємності між провідниками, що розташовані на одній стороні друкованої плати та мають однакову ширину:

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \left[\lg \frac{2 \cdot l_{\text{ПП min}}}{b_{\text{max}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (4.2.6)$$

де $l_{\text{ПП min}}$ – відстань між двома паралельними провідниками, $l_{\text{ПП min}} = 0,73$ мм

b_{max} – ширина друкованого провідника, $b_{\text{max}} = 0,42$ мм

$t_{\text{пр}}$ – товщина друкованого провідника, $t_{\text{пр}} = 0,097$ мм

$l_{\text{пр}}$ – довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, з Altium Designer максимальна довжина $l_{\text{пр}} = 23$ мм

$$C = 0,12 \cdot 4,49 \cdot 23 \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot 0,73}{0,42 + 0,097} \right]^{-1} = 27,48 \text{ (пФ)}$$

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

4. Взаємна індуктивність двох паралельних друкованих провідників однакової довжини:

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + L_0 \right), \quad (4.2.7)$$

де, $l_{\text{пр}}$ – довжина перекриття паралельних провідників, $l_{\text{пр}} = 23$ см

L_0 – відстань між вісьовими лініями двох паралельних провідників, $L_0 = 0,125$ см

$$M = 0,02 \cdot \left(2,3 \lg \frac{\sqrt{5,29+0,0156}+2,3}{0,125} - \sqrt{5,29 + 0,0156} + 0,125 \right) = 0,0285 \text{ (нГн)}$$

4.3 Розрахунок основних показників надійності

Надійність пристрою залежить від ряду факторів, що включають до себе вібрації і удари, вологість і температуру повітря, тиск, радіацію і інші чинники. Звичайно ж, крім кліматичних факторів на роботу пристрою, в першу чергу, впливають технічні характеристики пристрою, технологія виробництва і якість вихідних матеріалів і комплектуючих.

Існуючі методи визначення надійності будуються на визначенні ймовірності безвідмовної роботи компонентів $P(t)$ і напрацювання до першої відмови $T_{\text{ср}}$. Залежно від кількості і повноти врахованих факторів, досягається найбільш точна модель надійності пристрою. Для академічних цілей буде враховано першочергові чинники.

По-перше, довідниковий коефіцієнт інтенсивності відмов елементу при нормальних умовах роботи λ_0 . Крім цього вводять параметр, який показує реальний рівень безвідмовності елементів [17]:

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$K_H = \frac{N_{роб}}{N_{ном}}, \quad (4.3.1)$$

де $N_{роб}$ – навантаження елемента в робочому режимі;

$N_{ном}$ – навантаження елемента в номінальному режимі.

В якості електричного навантаження вибирають ті, які найбільше впливають на безвідмовність. В таблиці 4.3.1 вказані використовувані характеристики для компонентів друкованого вузла.

Таблиця 4.3.1 – Характеристики які використовуються для K_H

Компоненти	Характеристика навантаження
Конденсатори	Напруга
Резистори	Розсіювана потужність
Діоди	Середній прямий струм та зворотна напруга
Світлодіоди	Середній прямий струм
Перемикачі та роз'єми	Протікаючий струм

Для ІМС поняття характеристики навантаження не застосовується, так як кожна ІС включає в себе певну кількість елементів і відрізняється різною конструктивно-технологічною особливістю виготовлення. Отже для ІМС та інших елементів, які не ввійшли в таблицю, будемо використовувати максимально можливе значення рівне $K_H = 1$.

Крім вищенаведених характеристик, будуть використовуватися поправочні коефіцієнти. Поправочний коефіцієнт, щодо зовнішніх механічних впливів (вібрації, удари, прискорення) поділяються на сфери застосування пристрою. Для нашого випадку, найближчою сферою з наведених у [17] є автомобільна з коефіцієнтом $a_e = 50$. Ще один поправочний коефіцієнт a_t враховує температурні чинники. Для кожного елемента ці дані відрізняються

і будуть враховані в подальших розрахунках. Поправочний температурний коефіцієнт визначаємо по діаграмам з [17]. Для академічних цілей буде достатньо цих факторів.

Розглянемо розрахунок коефіцієнту навантаження для деяких елементів. Для спрощення розглядатимемо лише найгірші випадки.

Конденстори. Для конденсаторів коефіцієнт навантаження визначається по напрузі.

Для керамічних конденсаторів:

$$K_H = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}} \quad (4.3.2)$$

$$K_H = \frac{5}{25} = 0,2$$

Резистори. Для резисторів K_H визначається за потужністю. Розглянемо резистор з найменшим номінальним опором в приладі (560 Ом) як найгірший випадок:

$$K_H = \frac{U^2}{R * P_{\text{ном}}} \quad (4.3.3)$$

$$K_H = \frac{5^2}{560 * 0,125} = 0,357$$

Діоди та світлодіод. Розрахуємо K_H для діодів за зворотною напругою та прямим струмом.

Для діоду CD1206-S01575:

$$K_H = \frac{U_{\text{роб}} \cdot I_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}} \cdot I_{\text{ном}}} \quad (4.3.4)$$

$$K_H = \frac{5 \cdot 20}{100 \cdot 150} = 0,007$$

Для світлодіодів:

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$K_H = \frac{I_{\text{роб}}}{I_{\text{НОМ}}} \quad (4.3.5)$$

$$K_H = \frac{20}{30} = 0,67$$

Перемикачі та роз'єми. Визначаємо коефіцієнт навантаження, як відношення фактичного струму, що проходить через контакти до максимально допустимого.

Для кнопки (див. 4.3.5):

$$K_H = \frac{20}{50} = 0,4$$

Для роз'ємів (див. 4.3.5):

$$K_H = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{3} = 0,007$$

Інші елементи. Для усіх інших елементів оберемо $K_H = 1$.

Визначмо результуючу інтенсивність відмов друкованого вузлу. Друкований вузол відноситься до наземної апаратури, експлуатується при максимальній температурі в +45 °С за УХЛ 3. Інші умови експлуатації нормальні. Вихідні дані для визначення λ_p зведені до таблиці 4.3.2:

Таблиця 4.3.2 – Вихідні дані для визначення λ_p

Найменування	N	Інтенсивність відмов $\lambda_0, * 10^{-7}$	K_n	a_t	a_e	$N\lambda_0 K_n a_t a_e * 10^{-7}$
Конденсатори керамічні	7	0,02	0,2	0,15	50	0,21
Резистори	5	0,017	0,357	0,8	50	1,21
Діоди	1	0,01	0,007	1	50	0,0035
Мікросхеми	4	0,23	1	2,5	50	115
Перемикачі кнопкові	1	0,16	0,4	1	50	3,2
Світлодіод	2	0,002	0,67	0,6	50	0,08
Світлодіод	2	0,002	0,67	0,6	50	0,08
Резонатор	1	0,04	1	1	50	2
Роз'єми	4	0,041	0,007	1	50	0,057

Продовження таблиці 4.3.2

Найменування	N	Інтенсивність відмов $\lambda_{0,*} \cdot 10^{-7}$	K_n	a_t	a_e	$N\lambda_0 K_n a_t a_e * 10^{-7}$
Пайка виводів	73	0,00069	1	1	50	2,52
Отвори	55	0,00017	1	1	50	0,47
ДП	2	1	1	1	50	100
Сумарна інтенсивність відмов друкованого вузла $\lambda_p \cdot 10^{-7}$						224,75

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивностей відмов компонентів:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \quad (4.3.6)$$

$$\lambda_p = 0,21 + 1,21 + 0,0035 + 115 + 3,2 + 0,08 + 2 + 0,057 + 2,52 + 0,47 + 100 = 224,75 \cdot 10^{-7}$$

Тоді середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} \quad (4.3.7)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{224,75 \cdot 10^{-7}} = 44493 \text{ (год)}$$

Ймовірність безвідмовної роботи протягом року (8760 год):

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (4.3.8)$$

$$P(t) = e^{-224,75 \cdot 10^{-7} \cdot 8760} = 0,821$$

Ймовірність відмови протягом року:

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (4.3.9)$$

$$Q(t) = 1 - 0,821 = 0,179$$

Визначмо ресурс нашого виробу:

$$P(t) = Q(t) = 0,5 = e^{-\lambda t} \quad (4.3.10)$$

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$P(t) = Q(t) = 0,5 = e^{-224,75 \cdot 10^{-7} \cdot t}, \text{ звідки}$$

$$t = 30840 \text{ (год)}$$

Графіки ймовірностей відмов і безвідмовної роботи протягом експлуатації наведені на Рис.4.3.1.

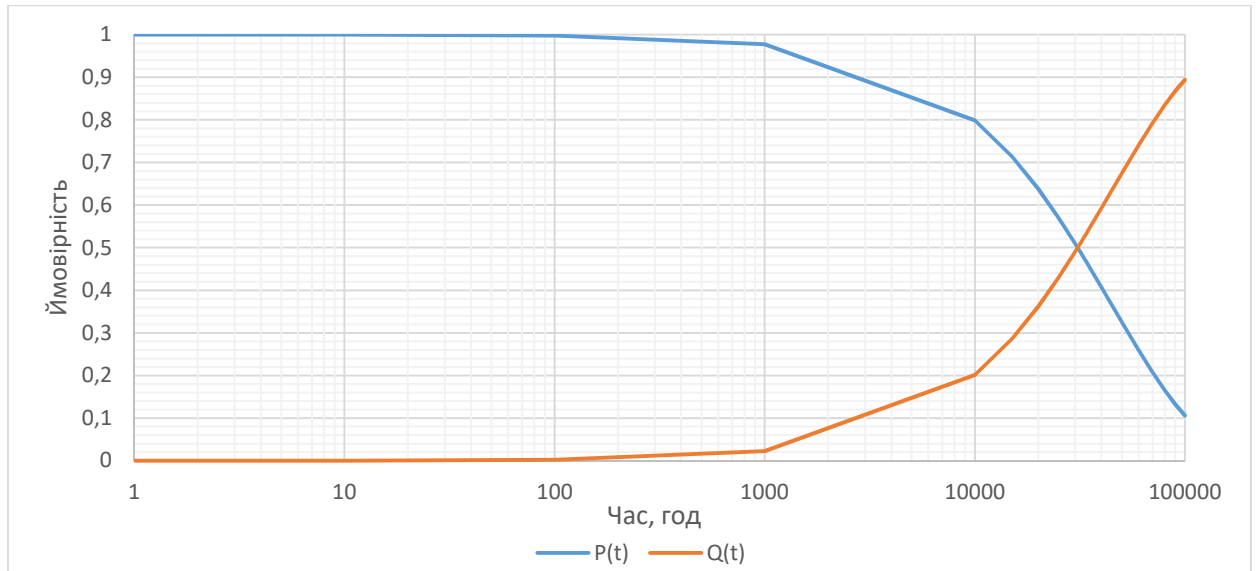


Рисунок 4.3.1 – Ймовірність відмовної і безвідмовної роботи

4.4 Розрахунок віброміцності друкованої плати

Одним з важливих параметрів, який варто враховувати при проектуванні друкованого вузла, є віброміцність. Існує безліч джерел вібрацій, які можуть вплинути на термін служби пристрою. До зовнішніх вібрацій можна віднести, як відносно малі непомітні для людини джерела, наприклад коливання ґрунту від транспорту, що проходить поруч або дія вітру, так і більш сильні впливи, які можуть привести до руйнівних наслідків. До внутрішніх варто віднести роботу мотору і транспортні вібрації, які виникають при пересуванні по дорозі.

Для того щоб перевірити друковану плату, як вона буде вести себе при певних вібраціях буде проведено розрахунок, який показує її стійкість до коливань. Для того щоб визначити, як плата буде себе поводити при впливі вібрації, проведемо розрахунок, що показує її стійкість до коливань.

Спочатку необхідно розрахувати масу елементів на платі і саму плату.
Дані наведені в таблиці 4.4.1.

Таблиця 4.4.1 – Маса елементів друкованої плати

Елемент	Позначення	К-ть	Маса, г	Загальна маса, г
Конденсатори керамічні	0805 25 В, 50 В	7	0,0055	0,0385
Резистори	0805 0.125 Вт	5	0,028	0,14
Діод	CD1206-S01575	1	0,035	0,035
Мікросхеми	ATMEGA328P-PU	1	4,19	4,19
	NCP1117DT50G	1	0,35	0,35
	LP2985-33DBVR	1	0,039	0,039
	BLUETOOTH-SERIAL-HC-06	1	1	1
Перемикачі кнопкові	1825910-6	1	0,4	0,4
Світлодіоди	LG L29K-G2J1-24-Z	2	0,002	0,004
	LO L296-Q2S1-24-Z			
Роз'єми	M20-7820446CON	1	0,364	0,364
	68000-103HLF	2	0,15	0,3
	4828-3004-CP	1	1,2	1,2
Резонатор	ABM7-16.000MHZ-D2Y-T	1	0,06	0,06
Загальна маса елементів m_E , г				8,12

Наведемо необхідні дані для подальших обчислювань:

- Закріплення плати – спирання на 3 сторони;
- Розміри ДП – $62,5 \times 40 \times 1,5$ мм;

Матеріал плати – **склотекстоліт** має наступні параметри [18]:

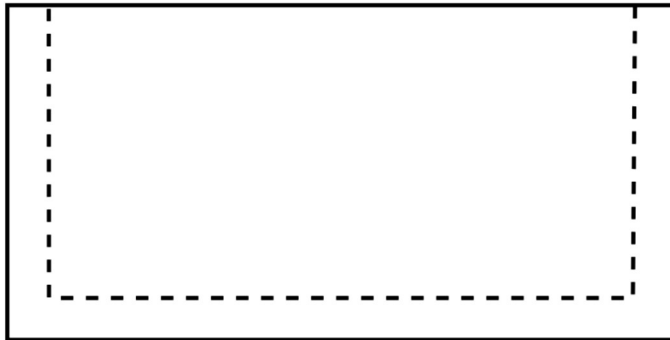
- часовий опір $\sigma_T = 105$ МПа;
- модуль Юнга $E = 2,4 \cdot 10^{10}$ Па;
- коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,22$;
- показник згасання $\varepsilon = 0,06$;
- густина $\rho = 2,05 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 2050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
- питома густина $\nu = 2,05 \cdot 10^4$ Н/м³;
- коефіцієнт запасу міцності $n_1 = 2$;

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

- коефіцієнт перенавантаження $n = 8$;

Частота вібрацій 5 – 300 Гц з шагом 5 Гц

Використовуються наступний варіант закріплення (Рис.4.4.1) та відповідна формула розрахунку коефіцієнту α [18]:



$$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{0,43 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}} \quad (4.4.1)$$

Рис.4.1.1 – Закріплення ДП на 3 сторони

Перейдемо безпосередньо до розрахунків:

1. Вираховуємо масу плати:

$$m_{\Pi} = V \cdot \rho = a \cdot b \cdot \delta \cdot \rho \quad (4.4.2)$$

$$m_{\Pi} = 6,25 \cdot 4 \cdot 0,15 \cdot 2,05 = 7,69 \text{ (г)}$$

2. Визначаємо коефіцієнт K_B :

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_E}{m_{\Pi}}}} \quad (4.4.3)$$

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{8,12}{7,69}}} = 0,697$$

3. Визначаємо коефіцієнт α , враховуючи закріплення ДП (див. 4.4.1):

$$\alpha = 3,14^2 \cdot \sqrt{0,43 \cdot \frac{0,0625^2}{0,04^2} + \frac{0,0625^4}{0,04^4}} = 26,13$$

4. Визначаємо циліндричну жорсткість D :

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$D = \frac{E \cdot \delta^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \quad (4.4.4)$$

$$D = \frac{2,4 \cdot 10^{10} \cdot 0,0015^3}{12 \cdot (1 - 0,22^2)} = 7,093 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

5. Визначаємо власну частоту коливань друкованої плати f_c :

$$f_c = \frac{K_B \cdot \alpha}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{\nu \cdot \delta}} \quad (4.4.5)$$

$$f_c = \frac{0,697 \cdot 26,13}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0625^2} \cdot \sqrt{\frac{7,093 \cdot 9,81}{2,05 \cdot 10^4 \cdot 0,0015}} \approx 1116,24 \text{ (Гц)}$$

При $f_c > 250$ Гц конструкцію можна вважати абсолютно жорсткою.

6. Визначаємо амплітуду вібрацій на власній частоті ДП:

$$A = \frac{0,25 \cdot n}{f_c^2} \quad (4.4.6)$$

$$A = \frac{0,25 \cdot 10}{1116,24^2} = 2,006 \cdot 10^{-6} \text{ (м)} = 0,002006 \text{ (мм)}$$

$0,002006 \text{ мм} < \frac{1}{5} \delta$, отже ДП не потребує додаткових засобів підвищення вібростійкості.

Висновки до розділу:

В даному розділі були проведені конструкторсько-технологічні розрахунки монтажу, які вказують на достовірність конструкторського рішення і підтверджують вибір таких основних параметрів як:

- Мінімальна ширина провідника – 0,05 мм, що менше обраного класу точності
- Максимальна ширина провідників – 0,42 мм, що відповідає початковому вибору.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

- Мінімальна відстань між провідниками – 0,73 мм.

Окрім конструкторсько-технологічного розрахунку, проведено електричний розрахунок ДП, який показав можливе падіння напруги та інші паразитні параметри. Напруга падіння (10,4 мВ) не перевищує допустимих 5% від напруги живлення, що є відмінним результатом. Потужність втрат обраховувалася на постійному струмі і з урахуванням матеріалу і товщини лаку ДП та має значення всього 21,2 мкВт. Паразитна ємність та індуктивність між двома найдовшими провідниками дорівнюють 27,48 пФ та 0,0285 нГн.

При розрахунку основних показників надійності враховувалися коефіцієнти інтенсивності відмов та навантаження, а також поправочні коефіцієнти зовнішніх механічних і температурних впливів. Отже середній час напрацювання до першої відмови дорівнює 44493 год \approx 5 років, та ресурс нашого виробу 30840 год \approx 3,5 років.

Розрахунок віброміцності с закріпленням плати на 3 сторони показав, що власна частота коливань (1116,24 Гц) перевищує 250 Гц, тобто конструкцію можна вважати надійною і жорсткою, а амплітуда вібрацій не перевищує одну п'яту товщини ДП, що вказує на відсутність необхідності підвищення вібростійкості.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Розділ 5. ПРОГРАМУВАННЯ ВІРТУАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

5.1 Алгоритм роботи системи адаптивного круїз-контролю та симуляція у Simulink.

Система адаптивного круїз контролю працює в двох режимах:

- Контроль швидкості: Автомобіль із екіпірованою системою адаптивного круїз контролю (ACC авто) рухається зі встановленою водієм швидкістю.
- Контроль відстані: ACC авто підтримує безпечну відстань від автомобіля попереду.

Одним з найважливіших параметрів ACC – це підтримання безпечної дистанції, так званої політики постійного тимчасового інтервалу (STG – Constant Time-Gap). Вираз, який найбільш часто використовується для визначення безпечної мінімальної відстані виглядає наступним чином [19]:

$$S = T_g \cdot V_{ACC} + \delta, \quad (5.1.1)$$

де T_g – проміжок часу, встановлений користувачем, с;

V_{ACC} – швидкість ACC авто, м/с;

δ – відстань між двома транспортними засобами в стані спокою (зазвичай довжина автомобіля), м.

Система ACC вирішує який режим використовувати в залежності від даних, які приходять з датчиків відстані в реальному часі. При недостатньо близькій відстані система збільшує швидкість автомобіля, щоб скоротити проміжок. І навпаки, система активує режим гальмування, при критично близькій дистанції.

За допомогою вбудованого в Matlab пакета Simulink змодельована модель поведінки ACC авто і направляючого автомобіля. Блок системи адаптивного круїз-контролю імітує систему ACC, яка відстежує задану

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

швидкість і підтримує безпечну відстань від ведучого транспортного засобу, регулюючи прискорення автомобіля. Блок обчислює оптимальні дії керування, одночасно задовольняючи обмеженням безпечної відстані, швидкості і прискорення, використовуючи модель прогнозування управління (MPC). Для реалістичного прискорення та уповільнення руху, швидкість направляючого автомобіля змінюється за синусоїдальним законом. Динаміка прискорення і швидкості моделюється за допомогою передавальної функції [20]:

$$G(s) = \frac{1}{s(0,5s + 1)} \quad (5.1.2)$$

Загальна модель поведінки АСС авто і направляючого автомобіля зображена на рисунку 5.1.1.

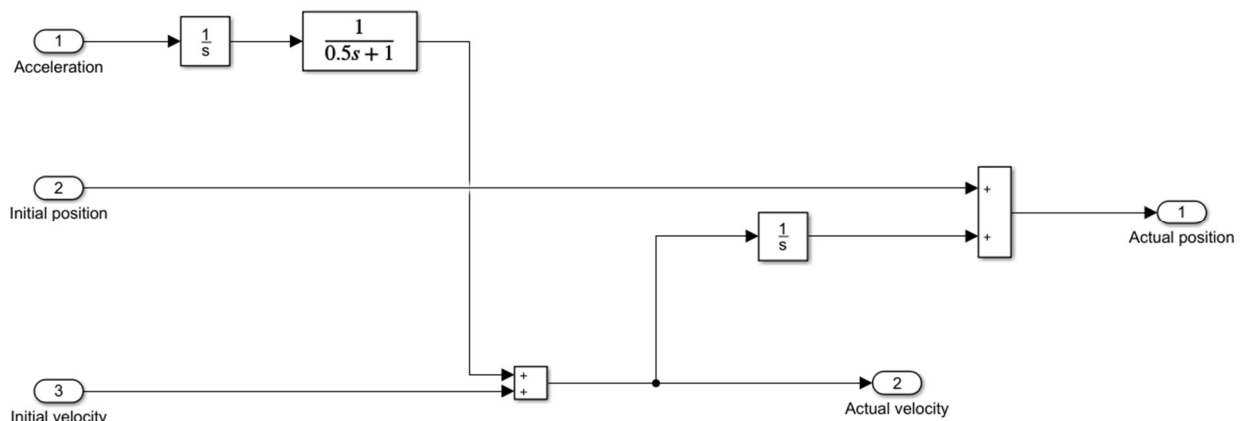


Рис.5.1.1 – Схема моделі поведінки авто

Вхідні сигнали моделі:

- Acceleration – прискорення автомобіля.
- Initial position – початкове положення авто в координатній площині.
- Initial velocity – початкова швидкість автомобіля.

На виході моделі отримуємо фактичну позицію та швидкість.

Загальна діаграма всієї системи зображена на рис.5.1.2. Вона складається з двох основних блоків. Блок симуляції поведінки направляючого автомобіля (Lead Car) і блок поведінки автомобіля з адаптивним круїз контролем (ACC Car).

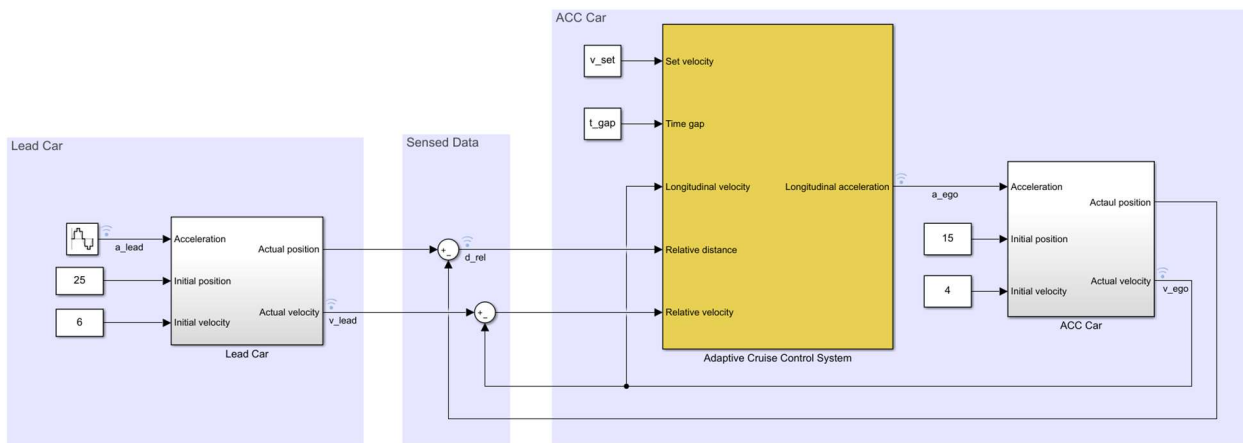


Рис.5.1.2 – Модель симуляції АСС

Блок адаптивної системи круїз-контролю є початково інтегрованим в Simulink та має декілька параметрів які необхідно налаштувати для нашого випадку.

По-перше, блок має 5 основних входів:

- Set velocity – Установка постійної швидкості авто, яку необхідно підтримувати при відсутності направляючого, м/с;
- Time gap – Безпечний проміжок часу між автомобілями, с;
- Longitudinal velocity – Швидкість авто, м/с;
- Relative distance – Відстань між автомобілями, м;
- Relative velocity – Різниця в швидкості між автомобілями, м/с.

Крім зовнішніх входів блок має внутрішні налаштування (Рис.5.1.3):

Основні параметри які були змінені для симуляції нашої моделі:

- Initial condition for longitudinal velocity – Цей параметр використовується для налаштування початкових умов моделі.

- Default spacing – відстань між двома транспортними засобами в стані спокою.
- Maximum velocity – Максимальна швидкість авто.

Решту параметрів залишаємо за замовчуванням

Adaptive cruise control (ACC) system (mask) (link)

Track a set velocity and maintain a safe distance from a lead vehicle by adjusting the longitudinal acceleration of the ego vehicle.

Parameters Block

Ego Vehicle Model

Linear model from longitudinal acceleration to longitudinal velocity

Initial condition for longitudinal velocity (m/s)

Default spacing (m) Maximum velocity (m/s)

Adaptive Cruise Controller Constraints

Minimum longitudinal acceleration (m/s²) Use external source

Maximum longitudinal acceleration (m/s²) Use external source

Model Predictive Controller Settings

Sample time (s)

Prediction horizon (steps)

Controller Behavior

0.0 1.0

More robust More aggressive

Рис.5.1.3 – Внутрішні налаштування блоку АСС

Після проведення симуляції отримуємо наступний результат

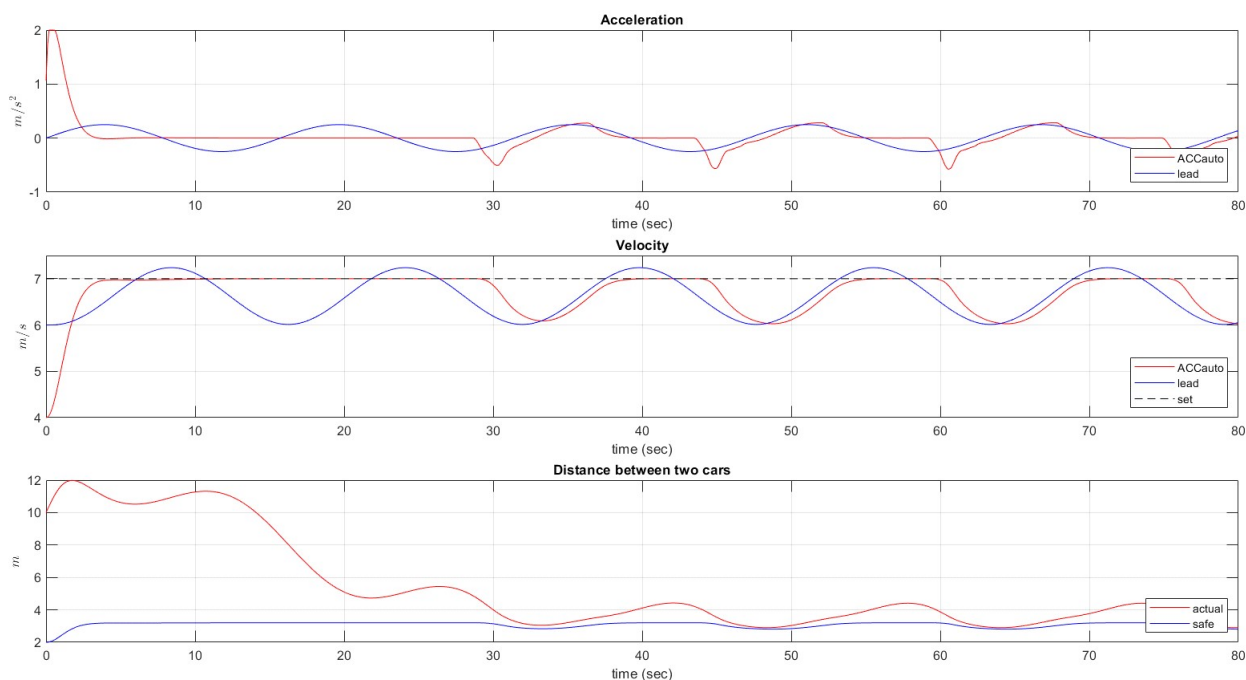


Рис.5.1.4 – Результат моделювання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК52.468992.001 ПЗ

Арк.

59

З результату моделювання (Рис.5.1.4) можна побачити, як в перші секунди АСС авто починає прискорюватися до швидкості користувача ($v_{set} = 7$ м/с). На третьому графіку **Distance between two cars** можна бачити скорочення дистанції між автомобілями перші 30 секунд. На 28 секунд відстань скоротилася до критичної і система активувала режим гальмування для віддалення від цілі та знизилася свою швидкість до 6 м/с. Після 33 секунд машина починає прискорюватися, так як проміжок почав збільшуватися. Після 38 с автомобіль рухається без прискорення і уповільнення, поки відстань знову не почне зменшуватися і авто, відповідно, почне гальмувати. Після 43 с послідовність прискорень і уповільнень повторюється.

5.2 Алгоритм роботи програми мікроконтролера

У нашому випадку, основне завдання мікроконтролера – це управління швидкістю і рульовим керуванням посилаючи відповідну ШІМ на вхід мотору та сервоприводу транспортного засобу, а також обраховувати відстань з ультразвукового сенсору. Крім цього, за допомогою Bluetooth модуля відбувається обмін даними з ПК. Керування автомобілем здійснюється відправленням строкових повідомлень через Bluetooth. Синтаксис повідомлень виглядає наступним чином:

"x,y\n",

де x – швидкість в діапазоні від 0 до 100, цілими числами в форматі ASCII. Значення рівне 50 вважається зупинкою, $x > 50$ – рух вперед, $x < 50$ – рух назад.

y – рульове керування в діапазоні від 0 до 100, цілими числами в форматі ASCII. Значення рівне 50 вважається прямим, $y > 50$ – рух направо, $y < 50$ – рух наліво.

\n – керуючий символ для переводу рядка на одну позицію вниз (позначення кінця рядка).

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

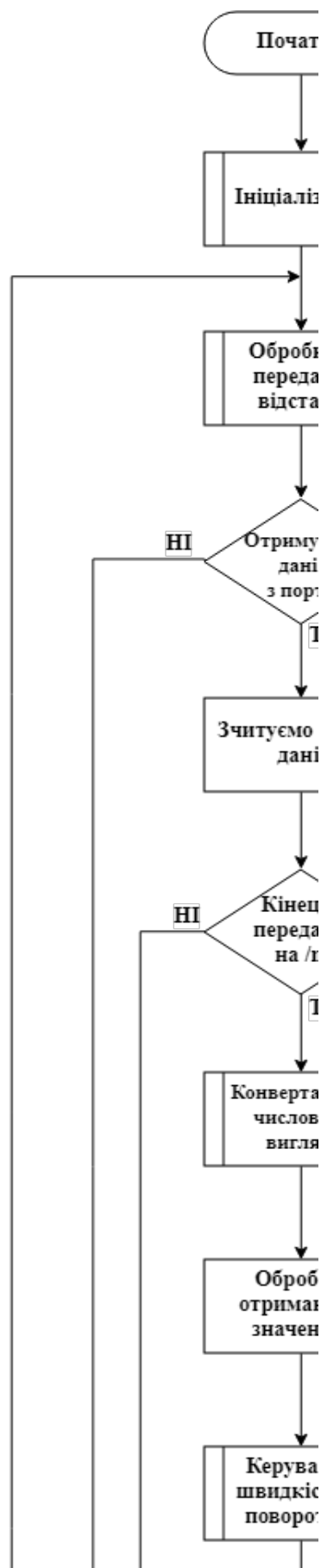


Рис.5.2.1 – Алгоритм обміну даними

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК52.468992.001 ПЗ

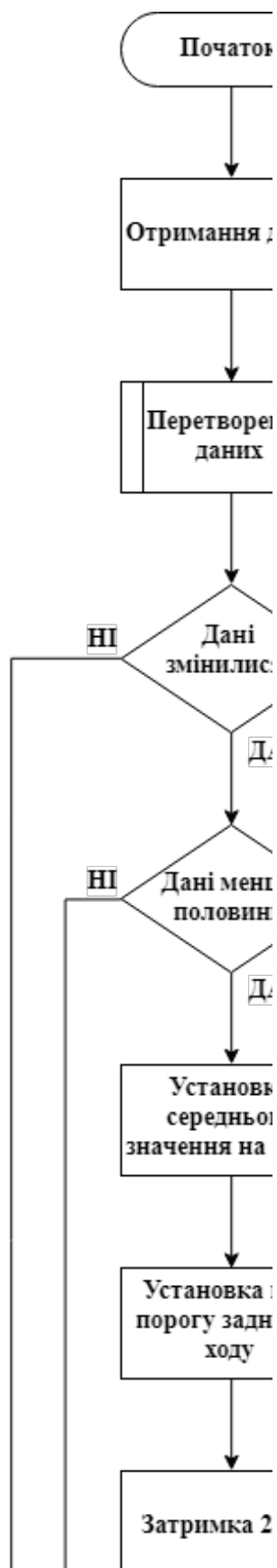


Рис.5.2.2 – Алгоритм роботи електродвигуна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК52.468992.001 ПЗ

Арк.

62



Рис.5.2.3 – Алгоритм роботи ультразвукового датчику

На блок-діаграмах вище зображені умовні алгоритми роботи основних функцій програми мікроконтролера.

5.3 Побудова проекту у LabVIEW

Керування макетом і алгоритм роботи системи АСС спроектований в програмному забезпеченні LabVIEW. Основним інструментом для комунікації з Bluetooth модулем є палітри VISA (Virtual Instrument Software Architecture).

Вони дозволяють встановлювати зв'язок із пристроями, які підключені через послідовний порт, використовуючи стандартні функції LabVIEW.

Повний вигляд всієї блок-діаграми головної програми та передньої панелі користувача зображено на рисунку 5.3.1 та рисунку 5.3.2 відповідно.

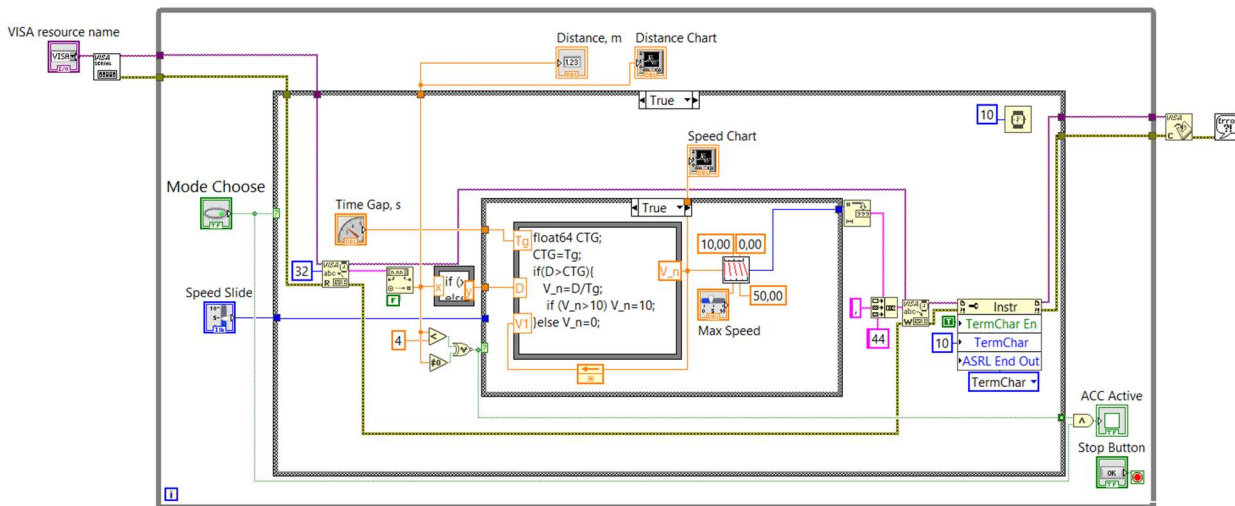


Рис.5.3.1 – Головна блок діаграма

Overview: Demonstrates the operation of controlling movable objects with ACC system.

Instructions:

1. Run the VI.
2. Select mode of the movement with the '**Mode choose**' button. Modes are responsible for the operation of the ACC system.

Modes:

- '1' Manual control of the steering and the velocity using the '**Speed Slide**' and '**Steering Slide**'.
- '2' Automatic movement using ACC system and adjustable speed controlled by '**Time Gap**' knob or '**Speed Slide**' for the common Cruise Control.

3. The upper graph shows the dependence of the distance to the object in time. The lower graph shows the dependence of the object's velocity in time.
4. Click '**Stop**' button to stop the VI.

Рис.5.3.2 – Панель користувача

Для керування режимом роботи системи використовується структура Case з двома випадками, яка контролюється кнопкою Mode Choose з панелі користувача. Case Structure управляє виконанням одного з двох або більше фрагментів коду і при виборі по умові аналогічна оператору if-then-else текстових мов.

У першому випадку швидкість та кут повороту задається мануально з передньої панелі користувача. Серводвигун повертається на певне значення, яке задане повзунком Steering Slide, а швидкість – Speed Slide (Рис.5.3.3).

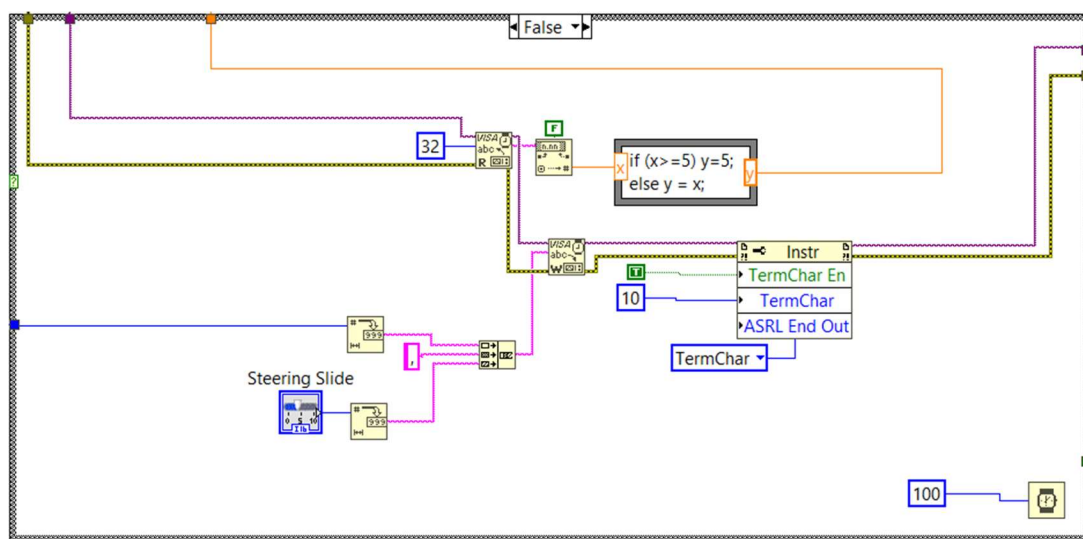


Рис.5.3.3 – Перший випадок Case структури

За допомогою палітри VISA Write здійснюється запис даних в послідовний порт. На вхід палітри надходить об'єднаний рядок, який складається зі значення швидкості і кута повороту. На виході VISA Write встановлений, так званий Property node, який задає параметри кінця рядка. Десяткове число 10 відповідає переведенню рядка, тобто символу '\n'. Отже повідомлення виглядає як "x,y\n".

За автоматичне керування швидкістю відповідає другий випадок Case структури в головній програмі (Рис.5.3.1). При відсутності об'єкта в радіусі більше ніж п'ять метрів, система працює в режимі звичайного круїз контролю без стеження за автомобілем. При виявленні об'єкта попереду, система починає збирати дані з ультразвукового датчика відстані та використовувати

їх для забезпечення безпечної відстані. Користувач вибирає бажану відстань до об'єкта в межах 0-2 с, за допомогою ручки Time Gap. Система стежить за безпечною дистанцією і підлаштовує швидкість руху під транспорт попереду. При перевищенні допустимого значення безпечної відстані, система знижує швидкість до відновлення безпечного проміжку. Отримане значення швидкості перетворюється в формат, який розуміє прототип. В цьому режимі активні два графіка які показують зміну відстані до об'єкта попереду, а також зміну швидкості прототипу.

Висновки до розділу:

У цьому розділі описано роботу системи адаптивного круїз контролю та симуляція у розширенні MatLab – Simulink. Симуляція показала як поведе себе прототип при зміні швидкості направляючого транспорту і відстані між об'єктами. Алгоритм побудови графіку в засобі MatLab наведено в Додатку Б.

Також було описано, як відбувається передача команд з ПК на прототип і в якому вигляді ці команди відправляються ("x, y\n"). Блок-схеми показують алгоритм роботи основних функцій програми мікроконтролера. Лістинг алгоритму програми МК наведено у Додатку Б.

Описана робота графічного коду в LabVIEW. Алгоритм роботи системи адаптивного круїз контролю, а також ручне управління прототипом було спроектовано саме в цьому програмному забезпеченні.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Висновки

В даному дипломному проєкті розроблено систему управління рухомими об'єктами з інтелектуальної функцією адаптивного круїз-контролю. В ході виконання роботи були спроектовані такі елементи: загальна структурна і принципова схема всього прототипу пристрою. Друкована плата основного модулю, який керує усіма зовнішніми пристроями і дозволяє обмінюватися даними через ПК. Проведені розрахунки, які підтверджують оптимальність прийнятих конструкторських рішень. А також розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера та ПК, щоб дистанційно керувати пристроєм.

У першому розділі проведено глибокий аналіз існуючих варіантів реалізації і патентних рішень. Пошук показав, що на ринку відсутні подібні системи АСС, які можна було б встановити без допомоги кваліфікованих фахівців, або компаній виробників автомобілів. І було прийнято рішення розробити дешеву систему, яку б могла встановити звичайна людина без особливих навичок і належних умінь. Однак, перед основною розробкою виникла необхідність перевірити алгоритм роботи АСС, що і стало приводом розробки даного проєкту.

У другому розділі описано загальні відомості про прототип, спроектована структурна схема, а також пояснення використання тих, чи інших компонентів. Проведено розрахунки основних елементів і номіналів. Врешті, спроектовано принципову схему всього прототипу і описано участь кожного елемента в цій схемі.

У третьому розділі вся увага приділялася проектуванню друкованого вузлу. Габаритні розміри, які є оптимальними для нашої конструкції (62,5 x 40 мм). Вибір матеріалу основи друкованої плати (FR-4) і метод виробництва (комбінований), який відповідає технічним умовам. Клас точності (3 клас) вибирався по мінімальній відстані між контактними майданчиками елементів, і конструкторським розрахунком друкованого монтажу. З урахуванням класу

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

точності і обраним методом розміщення елементів (IPC Type 1C), проводилось трасування друкованого вузла в САПР Altium Designer.

У четвертому розділі проведено кілька розрахунків, які доводять правильність конструкторського рішення. Перший, конструктивно-технологічний розрахунок, підтверджує обраний клас точності. Другий, електричний розрахунок друкованої плати, враховує можливі паразитні параметри, падіння напруги і втрати на провідниках обраного класу. За допомогою третього розрахунку надійності, ми визначили ймовірний ресурс роботи (30840 год) і час роботи до першої відмови пристрою (44493 год). Четвертий розрахунок віброміцності вказує на те, що друкована плата є абсолютно жорсткої до впливу коливань і амплітуда вібрацій набагато менше критичного значення.

У п'ятому розділі описано роботу системи адаптивного круїз-контролю та проведено симуляцію з урахуванням габаритних розмірів і можливістю прискорення або уповільнення прототипу. Наведені блок-схеми описують роботу алгоритму програми мікроконтролера, а також спосіб обміну даними з ПК. Обробка отриманих даних, а також алгоритм АСС здійснюється за допомогою LabVIEW і робота графічного коду докладно описана в п'ятому розділі.

Проект виконано в повному обсязі та розрахунки, моделювання і симуляція підтверджують працездатність пристрою та задовольняють вимогам ТЗ.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Global status report on road safety 2018 [Електронний ресурс] // © World Health Organization. – 2018. – Режим доступу: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/276462/9789241565684-eng.pdf>
2. Improvement of Adaptive Cruise Control Performance [Електронний ресурс] / Shigeharu Miyata, Takashi Nakagami, Sei Kobayashi та ін. // Hindawi Publishing Corporation. – 2010. – Режим доступу: <https://pdfs.semanticscholar.org/3429/ae6e80881e8cb1701a5515d6f92a37b10710.pdf>
3. ACC+Stop&Go Maneuvers With Throttleand Brake Fuzzy Control [Електронний ресурс] / José E. Naranjo, Carlos González, Ricardo García, Teresa de Pedro // IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS. – 2006. – Режим доступу: https://www.academia.edu/4962548/ACC_Stop_and_go_maneuvers_with_throttle_and_brake_fuzzy_control
4. TNO: veiligheidsinflatie door zelfdenkende voertuigen [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу: <http://www.verkeerskunde.nl/tno-veiligheidsinflatie-door-zelfdenkende.30898.lynkx>
5. ATmega328P Datasheet [Електронний ресурс] // Atmel Corporation. – 2015. – Режим доступу: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
6. AVR® Microcontroller Hardware Design Considerations [Електронний ресурс] // Microchip Technology Inc. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/AN2519-AVR-Microcontroller-Hardware-Design-Considerations-00002519B.pdf>
7. Cox J. Fundamentals of Linear Electronics: Integrated and Discrete (2 ed.) / J. Cox, L. Chartrand. // Nonsinusoidal oscillators.. – 2002. – С. 511–584.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

8. ABM7-16.000MHZ-D2Y-T Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: <https://abracon.com/Resonators/abm7.pdf>
9. BLUETOOTH-SERIAL-HC-06 Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: <https://ru.mouser.com/datasheet/2/306/hc06-1324356.pdf>
10. LO L296-Q2S1-24-Z Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: <https://dammedia.osram.info/media/resource/hires/osram-dam-2493870/LO%20L296.pdf>
11. NCP1117DT50G Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/NCP1117-D.PDF>
12. LP2985-33DBVR Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lp2985.pdf>
13. LG L29K-G2J1-24-Z Datasheet [электронный ресурс] – <https://dammedia.osram.info/media/resource/hires/osram-dam-2493945/LG%20L29K.pdf>
14. TEU-105BK Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: <https://d1hu0eys0tj9xi.cloudfront.net/media/files/45055ml-915-d428.pdf>
15. HC-SR04 Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>
16. SURFACE MOUNT COUNCIL STATUS OF THE TECHNOLOGY INDUSTRY ACTIVITIES AND ACTION PLAN [Электронный ресурс] // Status and Action Plan. – 1999. – Режим доступа до ресурсу: https://www.ipc.org/4.0_Knowledge/4.1_Standards/smcstatus.pdf – С. 6–7.
17. Савельев Л. Я. Конструирование ЭВМ и систем: Учебник для техн. вузов по спец. «Электрон. выч. маш.» / Л. Я. Савельев, В. Л. Овчинников. – Москва: Высшая школа, 1984. – 248 с. – с.68 – 71.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Эмн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

18. Ненашев А. П. Конструирование радиоэлектронных средств: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов. / А. П. Ненашев. – Москва: Высшая школа, 1990. – 432 с.: ил.

19. Rupesh Kakade. Adaptive Cruise Control System: Design and Implementation [Электронный ресурс] / Rupesh Kakade. – 2006. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/238711813_Adaptive_Cruise_Control_System_Design_and_Implementation

20. Adaptive Cruise Control System Using Model Predictive Control [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/mpc/ug/adaptive-cruise-control-using-model-predictive-controller.html>

ГОСТ 12.2.007-75 Система стандартов безопасности труда ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ Общие требования безопасности

ГОСТ 15150-69 МАШИНЫ, ПРИБОРЫ И ДРУГИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 23571-86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Основные параметры конструкции.

ГОСТ 23752-79 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Общие технические условия.

ГОСТ 29137-91 ФОРМОВКА ВЫВОДОВ И УСТАНОВКА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ НА ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ Общие требования и нормы конструирования.

ГОСТ Р 50621-93 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ ОДНО- И ДВУСТОРОННИЕ С НЕМЕТАЛЛИЗИРОВАННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ Общие технические требования

ДСТУ 3008:2015 ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ Структура та правила оформлювання

ДСТУ 2646-94 ПЛАТИ ДРУКОВАНІ Терміни та визначення

ОСТ 4.010.022 – 85 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Методы конструирования и расчета

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Додаток А

Технічне завдання на проектування

1. Найменування та галузь використання

Система керування рухомими об'єктами. Використовується в якості прототипу для апробації системи адаптивного-круїз контролю в реальних умовах.

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проект згідно наказу по КПІ ім. І.Сікорського №.1405-с від 27.05.2019 р.

3. Мета і призначення розробки

Система керування призначена для обробки алгоритму функції адаптивного круїз-контролю для подальшого використання даної технології в реальних умовах.

4. Джерело розробки

Транспортні засоби без встановлених систем інтелектуального управління, зокрема адаптивного круїз-контролю.

5. Технічні вимоги

5.1 Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється.

Система керування рухомими об'єктами складається з:

- Акумулятора;
- Мікроконтролера;
- Блоку керування транспортного засобу;
- Ультразвукового датчику відстані;
- Bluetooth модулю;
- Перетворювачі напруги.

Блок керування транспортного засобу складається з:

- Регулятора швидкості електромотору;

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

- Електромотору;
- Сервоприводу.

Показники призначення.

Система повинна забезпечувати ручне керування транспортного засобу за допомогою пристроїв з технологією Bluetooth, а також автоматизоване керування з використанням системи адаптивного круїз-контролю.

Система повинна визначати відстань до об'єкту, який рухається попереду та розраховувати безпечну дистанцію, яку необхідно дотримуватися. Система повинна стежити за швидкістю транспортного засобу і підлаштовувати її для комфортного слідкування за об'єктом попереду.

5.2 Вимоги до надійності.

Середній час напрацювання на відмову повинен бути на менше 10000 год.

5.3 Вимоги до технологічності.

Орієнтовані на передові прийоми розробки виготовлення на підприємствах України.

5.4 Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації.

Для виготовлення пристрою застосувати стандартні, уніфіковані деталі та вироби.

5.5 Вимоги безпеки обслуговування.

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги ГОСТ 12.2.007-75.

5.6 Вимоги до складових частин виробу, сировини, вихідних й експлуатаційних матеріалів.

Для виробництва пристрою повинні використовуватися матеріали імпортного виробництва, які можливо купити або замінити в Україні.

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

5.7 Умови експлуатації.

Кліматичне виконання модулю керування УХЛ.3 згідно ГОСТ 15150-69. Для експлуатації в закритих приміщеннях без регулювання температурних умов з природною вентиляцією (температура практично не відрізняється від вуличної, нема бризок і струменів води, незначна кількість пилу);

5.8 Вимоги до транспортування і зберігання.

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Зберігати в зачинених, опалювальних та вентильованих приміщеннях, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря $+5...+40^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря 60% при 20°C (середньорічне значення), атмосферний тиск $84...106\text{кПа}$.

Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним видами транспорту в спеціальній транспортній тарі.

5.9 Додаткові технічні вимоги.

Технічні характеристики:

Інтерфейс зв'язку з системою	Індикація та задання режиму роботи, відстані, швидкості здійснюється через ПК.
Габаритні розміри друкованої плати	62,5 x 40 мм
Маса друкованої плати	Не більше 20 г
Живлення	5 В \pm 5%; 6 В \pm 5%; 7,2 В \pm 5%
Режими роботи	Основний (ручне керування); автоматичне керування із технологією адаптивного круїз-контролю.

6. Результати роботи

6.1 Результати даної роботи можуть бути використані як вихідна документація по створенню прототипу пристрою, його програмування, налагодження;

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

6.2 Дана робота (звітна документація) після виконання надається на кафедру КЕОА для подальшого захисту й зберігання як навчальної документації.

7. Робота повинна містити в собі документи

- Пояснювальну записку (формату А4, до 80 аркушів)
- Схема електрична принципова та переліки елементів (формату А1, А4 відповідно)
- Складальні креслення та специфікації (формату А1, А4 відповідно)
- Креслення друкованих плат (формату А1)
- Додатки (формату А4)

8. Порядок розгляду й приймання роботи

Порядок розгляду й приймання роботи на загальних умовах, прийнятих на кафедрі КЕОА. Рецензування й прийняття роботи комісією на загальних умовах. У процесі виконання роботи проміжні звіти надаються комісії не рідше 1 раз у тиждень на загальних умовах.

9. Економічні показники

В умовах даного проекту не розглядаються.

10. Етапи розробки

№ п/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Час виконання етапів проекту
1	Аналіз технічного завдання	16.03.19-26.03.19
2	Вибір елементної бази та друкованої плати	26.03.19-02.04.19
3	Схемо-технічне проектування	02.04.19-09.04.19
4	Виконання креслення схеми електричної принципової	09.04.19-23.04.19
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	23.04.19-30.04.19
6	Електричний розрахунок друкованої плати	30.04.19-07.05.19

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

№ п/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Час виконання етапів проекту
7	Розрахунок віброміцності ДП	07.05.19-14.05.19
8	Проектування у Altium Designer	14.05.19-21.05.19
9	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	21.05.19-28.05.19
10	Оформлення пояснювальної записки	28.05.19-12.06.19

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Додаток Б

Головна програма Atmega328P:

```
#include <Servo.h>

#define ESC_center 95
#define ESC_backward_threshold 100
#define ESC_toggle_delay 20
#define pin_ECHO 9
#define pin_TRIG 8
#define MAX_DISTANCE 300

Servo speed_servo;
Servo steer_servo;

float new_speed;
float new_steer;
float prev_steer;
//String str;
char input_buffer[50];
int index = 0;
boolean line_read;
long duration, cm;

void setAndSend( int deg, int delay_val=0 ){
  //Serial.println( "Sent:"+String(deg) );
  speed_servo.write( deg );
  delay( delay_val );
}

void setESC_by_position( int esc_position ){
  static int current_position = ESC_center;
  if ( current_position == esc_position ){
    //Serial.println( "No speed change!" );
    return;
  }
}
```

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

```

    }
    //Serial.println( "Setting speed:"+String(esc_position) );
    // Position logic
    // When changing from forward to backwards, need to send two
    positions
    if ( current_position < 98 && esc_position >= 98 ){
        //Serial.println( "Changing from forward to backwards!" );
        setAndSend( ESC_center, ESC_toggle_delay );
        setAndSend( ESC_backward_threshold, ESC_toggle_delay );
        setAndSend( ESC_center, ESC_toggle_delay );
    }
    current_position = esc_position;
    setAndSend( esc_position );
}

void setESC_speed( float esc_speed ){
    int pos = map( esc_speed*100, 100, -100, 15, 175 );
    //Serial.println( "Mapped position: "+String(pos) );
    setESC_by_position( pos );
}

float GetDistance(){
    digitalWrite(pin_TRIG, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(pin_TRIG, LOW);

    //get the result
    long echotime = pulseIn(pin_ECHO, HIGH);
    float distance = 0.0000005*((float)echotime*340.0);
    Serial.print(String(distance)+'\n');
}

void setup()
{

```

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Эмн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

```

Serial.begin(9600); // Open hw serial connection with the
bluetooth module and stablish speed

delay(10);
index = 0;
//Serial.println( "Attaching ESC" );
speed_servo.attach(11);
Serial.println( "Attached" );
delay(10);
setESC_speed( 0 );
steer_servo.attach(10);
prev_steer = 90;
steer_servo.write(prev_steer);

pinMode(pin_TRIG, OUTPUT);
pinMode(pin_ECHO, INPUT);
}

void loop()
{
while(Serial.available())
{
// Input messages coming from the serial connection consist in
// "<x>,<y>\n" strings where:
// <x> is speed with a value from 0 to 100 with 50 meaning
"stopped", y>50 = forward, y<50 = backwards
// <y> is the steering with a value from 0 to 100 with 50
meaning "straight", x<50 = left, x>50 = right

input_buffer[index] = Serial.read();
if (input_buffer[index] == '\n') {
input_buffer[index] = '\0';

GetDistance();

index = 0;
}
}
}

```

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
ЭМН.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

```

char* separator = strchr(input_buffer, ',');
*separator = 0;
new_speed = atoi( input_buffer );
new_steer = atoi( ++separator );

setESC_speed( (new_speed-50)/50. );
new_steer = 1.8 * (100-new_steer); // Invert and scale
to degrees
if ( abs( new_steer - prev_steer ) > 1 ){
    prev_steer = new_steer;
    steer_servo.write( prev_steer );
}
}else{
    index++;
}
}
delay(5);
}

```

Алгоритм побудови графіку в засобі MatLab:

```

function ACC(logsout,D_default,t_gap,v_set)
%% Get the data from simulation
a_ego = logsout.getElement('a_ego');% acceleration of ego car
v_ego = logsout.getElement('v_ego');% velocity of ego car
a_lead = logsout.getElement('a_lead'); % acceleration of lead car
v_lead = logsout.getElement('v_lead'); % velocity of lead car
d_rel = logsout.getElement('d_rel'); % actual distance
d_safe = D_default + t_gap*v_ego.Values.Data; % desired distance

%% Plot the results
figure()

% acceleration
subplot(3,1,1)

```

					<i>ДК52.468992.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

```

plot(a_ego.Values.time,a_ego.Values.Data,'r',...
      a_lead.Values.time,a_lead.Values.Data,'b')
grid on
%ylim([-1.1,1.1])
legend('ACCauto','lead','location','SouthEast')
title('Acceleration')
xlabel('time (sec)')
ylabel('$m/s^2$', 'Interpreter', 'latex')

% velocity
subplot(3,1,2)
plot(v_ego.Values.time,v_ego.Values.Data,'r',...
      v_lead.Values.time,v_lead.Values.Data,'b',...
      v_lead.Values.time,v_set*ones(length(v_lead.Values.time),1),'k--
      ')
grid on
ylim([4,7.5])
legend('ACCauto','lead','set','location','SouthEast')
title('Velocity')
xlabel('time (sec)')
ylabel('$m/s$', 'Interpreter', 'latex')

% distance
subplot(3,1,3)
plot(d_rel.Values.time,d_rel.Values.Data,'r',...
      d_rel.Values.time,d_safe,'b')
grid on
legend('actual','safe','location','SouthEast')
title('Distance between two cars')
xlabel('time (sec)')
ylabel('$m$', 'Interpreter', 'latex')

```