

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

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ

КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ
АППАРАТУРИ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 О. М. Лисенко
(підпис) (прізвище, ініціали)

«21» червня 2023р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка"
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему Система керування роботом-пилососом

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-92

Хижняк Андрій Валерійович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник доц., к.т.н. В.М. Бондаренко
(посада, вчене звання, науковий ступінь, ініціали прізвище)


(підпис)

Рецензент доц. каф. АМЕС, доц. к.т.н., К.О.Трапезон
(посада, вчене звання, науковий ступінь, ініціали та прізвище)


(підпис)

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

Студент 
(підпис)

Київ 2023

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Факультет електроніки

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Рівень вищої освіти - перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри


(підпис)

О. М. Лисенко
(ініціали, прізвище)

«03» квітня 2023р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Хижняк Андрій Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Система керування роботом-пилососом
керівник проєкту Бондаренко Віктор Миколайович, доцент, к.т.н.
затверджені наказом по університету 2063-с від 30.05.2023р.
2. Термін подання студентом проєкту 10.06.2023р.
3. Вихідні дані до проєкту Система складається з наступних блоків: блоку керування, блоку навігації, блоку керування двигуном, блоку живлення, блоку управління, датчику вологості, блоку керування турбіною, блоку індикації.
4. Зміст пояснювальної записки:
 - аналіз технічного завдання;
 - розробка структурної схеми приладу та схеми електричної принципової;

- обґрунтування вибору елементної бази;
- обґрунтування вибору матеріалу друкованої плати;
- конструкторсько-технологічні та електричні розрахунки;
- проектування друкованого вузлу у САПР Altium Designer;
- розробка програмного забезпечення;
- висновки.

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

- схема електрична принципова;
- друкована плата;
- складальне креслення друкованої плати;
- презентація.

6. Дата видачі завдання 24.03.2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	24.03.23-30.03.23	виконано
2	Вибір елементної бази та друкованої плати	31.03.23-8.04.23	виконано
3	Схемотехнічне проектування	9.04.23-18.04.23	виконано
4	Виконання креслень схеми електричної принципової	19.04.23-25.04.23	виконано
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	26.04.23-3.05.23	виконано
6	Електричний розрахунок друкованої плати	4.05.23-11.05.23	виконано
7	Розрахунок віброміцності та надійності друкованої плати	9.05.23-13.05.23	виконано
8	Проектування у Altium Designer	12.05.23-18.05.23	виконано
9	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузлу	19.05.23-29.05.23	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	30.05.23-12.06.23	виконано

Студент  А.В. Хижняк
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник проекту  В.М. Бондаренко
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Роботу викладено на 85 сторінках, містить 5 розділів, 39 ілюстрацій, 14 таблиць та 15 джерел в переліку посилань.

Об'єктом розробки є система керування роботом пилососом. Метою роботи є створення системи керування роботом пилососом з подальшим її тестуванням на макеті повністю автономного пристрою з керованим двигуном і власною системою навігації.

У даному дипломному проекті проведено аналіз існуючих технологічних рішень, розроблено схему електричну принципову на основі мікроконтролера ATmega328p. Спроектовано друкований вузол та проведено конструкторські розрахунки включно з розрахунком надійності плати. Програму написано мовою програмування C++.

Ключові слова: робот пилосос, мікроконтролер, драйвер двигуна, система навігації.

ABSTRACT

The work is laid out on 85 pages, contains 5 chapters, 39 illustrations, 14 tables and 15 sources in the list of references.

The object of development is a robot vacuum cleaner control system. The purpose of the work is to create a control system for a robot vacuum cleaner, followed by its testing on a model of a fully autonomous device with a controlled engine and its own navigation system.

In this diploma project, an analysis of the existing technological solutions was carried out, an electrical principle scheme was developed based on the ATmega328p microcontroller. The printed unit was designed and the design calculations were carried out, including the calculation of the reliability of the board. The program is written in the C++ programming language.

Keywords: robot vacuum cleaner, microcontroller, engine driver, navigation system.

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: **Система керування роботом пилососом**

Київ – 2023

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	3
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ І ВИМОГИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ	6
1.1 Принцип роботи і варіанти реалізації робота пилососа.....	6
1.2 Аналіз готових технологічних рішень	9
1.3 Формування вимог до проектування.....	11
1.4 Завдання на проектування.....	12
Висновок до розділу 1.....	13
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ І СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ	14
2.1 Розробка структурної схеми пристрою.	14
2.2 Вибір елементів	16
2.3 Розробка схеми електричної принципової.....	29
Висновок до розділу 2.....	41
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА.....	42
3.1. Вибір та обґрунтування типу друкованої плати.....	42
3.2. Вибір та обґрунтування матеріалу друкованої плати	43
3.3. Вибір та обґрунтування класу точності друкованої плати	44
3.4. Вибір методу виготовлення друкованої плати	46

					ДК92.468332.001 ПЗ.				
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	Система керування роботом пилососом Пояснювальна записка		Літ.	Арк.	Арк.шіт
Розробив	А.В. Хижняк			0			1	85	
Перевірив	В.М. Бондаренко			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, КЕОА					
Реценз.									
Н. Конта.	О.І. Лисенко								
Затвердив	В.М. Бондаренко								

3.5 Проектування друкованої плати у програмному середовищі Altium Designer	47
Висновок до розділу 3	50
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ	51
4.1 Конструкторсько-технологічний розрахунок	51
4.2 Електричний розрахунок друкованої плати	57
4.3 Розрахунок основних показників надійності друкованого вузла	60
4.4 Розрахунок віброміцності друкованого вузла	63
Висновки до розділу 4	69
РОЗДІЛ 5. АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ ТА ОПИС ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	70
5.1 Алгоритм роботи програми	70
5.2 Опис програмного коду по блоках	72
5.3 Перевірка працездатності виробу	76
Висновок до розділу 5	77
ВИСНОВКИ	78
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	80
ДОДАТОК А Технічне завдання на проектування	
ДОДАТОК Б Текст програми мікроконтролера	

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ

БДП – багатошарова друкована плата

ДП – друкована плата

ДДП – двостороння друкована плата

САПР – система автоматизованого проектування

ТЗ – технічне завдання

УГП – умовно графічне позначення

ШИМ – широтно-імпульсна модуляція

AD – Altium Designer

IDE – integrated development environment

SLAM – simultaneous localization and mapping

UART – Universal Asynchronous Receiver Transmitter

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

Від початку розвитку технологій з'явилися пристрої, які полегшують життя та побут людини, одним з яких є робот пилосос. На ринку повноцінний робот пилосос з'явився на початку 2000-их, його випустила компанія iRobot. Після цього роботи пилососи стали дуже популярні, адже вони забезпечують прибирання в будинку без участі людини. Перші роботи пилососи мали просту систему навігації, вони хаотично їздили по кімнаті, поки не закінчиться заряд акумулятора. За таким принципом побудови системи навігації робот проїжджає по одному й тому ж місцю декілька разів, а деякі ділянки може оминати і прибирання буде неефективним. Далі роботи пилососи почали оснащувати складнішою системою навігації, такою як лідар, та камерами для повного сканування приміщення. Подібні системи мають вищу ефективність, однак потребують значно більших розрахункових можливостей і мають більшу вартість.

Метою даної роботи є створення системи керування роботом пилососом з подальшим її тестуванням на макеті повністю автономного пристрою з керованим двигуном і власною системою навігації. Пристрій оснащений системою сканування приміщення на базі ультразвукового дальноміра. Застосування дальноміра дає змогу пристрою аналізувати об'єкти попереду себе. Якщо об'єкт знаходиться збоку робота пилососа, то спрацьовує датчик удару. На кожному колесі встановлено датчик швидкості, за допомогою якого можна точно розрахувати кут на який повернувся робот пилосос. Також застосування цих датчиків дає змогу заміряти відстань, яку проїхав робот пилосос. Пристрій оснащений датчиком затоплення, що відрізняє його від сучасних аналогів.

Отже, завдання полягає у створенні системи керування роботом пилососом. Керований пристрій дає змогу тестувати на ньому різні нові датчики та функції. У процесі розробки проведено аналіз існуючих рішень, виділені ключові функції,

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

що мають бути реалізовані в системі. На базі проведеного аналізу створені структурна схема, схема електрична принципова та на її основі друкована плата. По завершенню схемотехнічного проектування проведені конструкторські розрахунки, які підтверджують правильність прийнятих конструкторських рішень.

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		5

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ І ВИМОГИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Принцип роботи і варіанти реалізації робота пилососа

Робот пилосос – це автономний пристрій, що призначений для очищення забруднень на підлозі будинку. Він працює на основі програмного забезпечення та оснащений різними датчиками. Основна перевага роботів пилососів полягає в тому, що вони зменшують необхідність ручного прибирання. Даний пристрій особливо корисний для людей із обмеженими фізичними можливостями.

Він здатний самостійно рухатися по підлозі та виявляти перешкоди за допомогою власної системи навігації. Виявивши перешкоду, він за раніше прописаним алгоритмом оминає її та продовжує рух. Роботи із складнішими системами навігації здатні аналізувати приміщення за допомогою спеціальних датчиків та скласти карту приміщення, також вони вміють самостійно повертатися на зарядну станцію. Сучасні роботи пилососи мають різні пристрої навігації, такі як лідар, камери, датчики відстані та інші. Розглянемо детальніше типи навігації роботів пилососів:

1. Навігація за алгоритмами.

Роботи пилососи, оснащені даним типом навігації, орієнтуються в просторі за завчасно прописаними алгоритмами. Для цього робот пилосос оснащений інфрачервоними датчиками та датчиками дотику. Робот рухається по вказаному алгоритму та якщо він помітить перешкоду або відчує її за допомогою датчиків дотику, то омине даний об'єкт. Всі дії даного робота пилососа підкорюються прописаним алгоритмам. Наприклад, якщо робот за допомогою датчиків «бачить», що він знаходиться в центрі кімнати, то він може почати рухатися по спіралі і таким чином ефективно здійснювати прибирання. Повертаються до зарядної станції роботи з даною системою навігації за допомогою

інфрачервоного датчика. Для цього робот пилосос повинен «побачити» безпосередньо зарядну станцію.

2. Навігація з гіроскопом.

Дані роботи пилососи незначно відрізняються від роботів пилососів з навігацією за алгоритмами. Завдяки гіроскопу, дані моделі можуть з високою точністю виконувати повороти на необхідний кут, на відміну від попередніх версій роботів.

3. Роботи з SLAM-навігацією.

Одночасна локалізація і картографування (англ. simultaneous localization and mapping - SLAM) – це метод, що використовується в мобільних автономних засобах для побудови карти в невідомому просторі з одночасним контролем поточного місця знаходження та пройденого шляху[1]. Суть даного метода полягає в тому, що під час початку прибирання пилосос запам'ятовує своє місцезнаходження (точку старту) та у виділений області пам'яті створює карту, по якій він рухається.

Такий чином, робот пилосос завжди «знає», де він знаходиться і запобігає повторення в маршруті, що дозволяє ефективніше виконувати прибирання. Такі роботи пилососи оснащені інфрачервоними датчиками на корпусі. Прикладом таких роботів пилососів є Okami T90 та нова модель Okami U80 Pet.

4. Навігація VSLAM з камерою.

Даний тип навігації подібний SLAM-навігації, однак робот пилосос вже оснащений камерою, яка може сканувати приміщення та запам'ятовувати розміщення об'єктів в кімнаті. В даному типі навігації також будується карта маршруту і додається можливість взаємодіяти з пристроєм за допомогою додатка; можна наприклад будувати стіни для обмеження руху робота по квартирі. Прикладом такого робота пилососа є Okami U90 Vision.

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

5. Лазерна навігація за допомогою лідара.

Дана система навігації вважається найсучаснішою для робототехніки. Зазвичай, лідар встановлений на незначному підвищенні в корпусі робота-пилососа для огляду на 360 градусів. Лідар являє собою високоточний лазер, невидимий для людей та тварин. За допомогою даного лазера сканується приміщення та будується детальна карта приміщення, після чого робот-пилосос створює маршрут для руху і починає прибирання. З даним типом навігації робот-пилосос може виконувати прибирання на будь-яких площах, оскільки якщо заряд батареї закінчився, то робот поїде на зарядну станцію, а після підзарядки продовжить виконувати прибирання. Також в роботі пилососі з даним типом навігації можна отримати точну карту будинку в додатку і вже потім можна взаємодіяти з нею, наприклад обрати зони де потрібно виконувати прибирання, або встановлювати загорождення і т. п. Дана система навігації використовується в роботі Okami U100 Laser [2].

Отже, роботи-пилососи оснащені різними системами навігації. Найновітнішими та найкращими є лазерна та навігація з камерою. Пристрої, оснащені такими системами навігації, з високою точністю аналізують кімнату та будують карту приміщення. Однак, це складна система сканування та аналізу відсканованого приміщення і для неї потрібні великі розрахункові можливості. Також потрібен значний об'єм пам'яті, щоб зберігати карту приміщення.

Для повноцінної роботи пилососу, окрім сканування об'єктів попереду нього, потрібно і слідкувати за підлогою. Адже робот повинен аналізувати і відстань до підлоги, щоб не впасти наприклад із високих сходинок та не пошкодити пристрій. Для цього на роботах-пилососах розмішують інфрачервоний датчик відстані, який в разі небезпеки не дає роботу пилососу упасти з висоти.

1.2 Аналіз готових технологічних рішень

Першим доступним роботом-пилососом був Roomba, випущений компанією iRobot у 2002 році. Наведемо основні характеристики даного пристрою. Даний робот-пилосос мав два режими роботи – Clean (прибирання) та Spot (прибирання зони). Система навігації даного пристрою складалася з інфрачервоних сенсорів, які виявляли перешкоду та стіни, що дозволяло уникати ударів. Однак, якщо зіткнення було, то він мав датчики дотику і корегував свій маршрут. Дана модель має вбудований таймер, який дає змогу користувачеві запрограмувати час прибирання. Для управління роботом-пилососом на корпусі знаходяться кнопки [3]. Перший робот-пилосос мав відносно нескладну систему навігації, однак він доволі ефективно виконував прибирання. Дана модель зображена на рисунку 1.1



Рисунок 1.1 – Перша модель робота-пилососа Roomba

Розглянемо сучаснішу модель робота-пилососа. Доволі популярними на ринку є роботи-пилососи компанії Xiaomi: розглянемо модель Robot Vacuum S10. Даний пристрій має лазерну систему навігації, завдяки чому може розпізнавати

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

контури та перешкоди приміщення і спланувати маршрут для прибирання. Даним роботом пилососом можна керувати з додатку, а зокрема є можливість встановити режими прибирання, планувати час прибирання та отримувати повідомлення про стан прибирання. Даний робот пилосос може працювати автономно протягом 150 хвилин, після чого їде на зарядну станцію, щоб після заряджання знов продовжити прибирання. Також він підтримує голосове керування сумісне з голосовими помічниками, такими як Google Assistant. Даний робот пилосос зображений на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Робот пилосос Xiaomi Robot Vacuum S10

Даний робот пилосос відрізняється більш інтелектуальним програмуванням і рухається зигзагами під час прибирання, як показано на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Траєкторія руху робота пилососа

1.3 Формування вимог до проектування

В результаті аналізу варіантів реалізації роботів пилососів сформовано вимоги для проектування системи керування власним пристроєм. Пристрій має власну систему навігації для того, щоб орієнтуватися у просторі, ємкий акумулятор, щоб забезпечити тривалий час роботи без підзарядки. На випадок ударів об об'єкти в кімнаті пристрій має датчики дотику. Метою розробки є створення системи керування тестовою платформою робота пилососа. На ринку існує багато моделей, однак вони не підходять для доопрацювання та модернізації, оскільки програмне забезпечення недоступне.

Система керування забезпечує базові функції робота пилососа з можливістю вносити конструкторські зміни в пристрій і тестувати їх. Проаналізувавши моделі пилососів, вирішено додати до пристрою датчик вологості, який буде спрацьовувати, коли пристрій потрапить в воду. Дана функція запобігає пошкодженню вологою самого робота пилососа та повідомить людину про небезпеку. Вся логіка роботи пристрою реалізована на мікроконтролері, що і виконує керування пристроєм. У пристрої передбачено легкий доступ до мікроконтролера.

Отже, для створення системи керування пристроєм виділимо наступні пункти технічного завдання:

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

- забезпечити власну систему орієнтування в просторі, щоб пристрій міг оминати об'єкти в кімнаті;
- наявність акумулятора, щоб забезпечити тривалий час автономної роботи;
- забезпечити заряджання акумулятора;
- зручний інтерфейс;
- наявність датчика вологості;
- забезпечити помітну для користувача індикацію спрацювання датчика вологості;
- розбірний корпус тестової платформи, для того, щоб була можливість просто дістатися до мікроконтролера та завантажити нову прошивку;
- невисока ціна, щоб забезпечити доступність.

1.4 Завдання на проектування

В ході проектування даного пристрою проект повинен відповідати наведеним вимогам. Проектування починається з формування технічного завдання і побудови структурної схеми, яка визначає функціонал. На основі структурної схеми проводиться аналіз та вибір елементної бази. Кожне прийняте рішення під час проектування необхідно обґрунтувати.

Після вибору елементної бази створюється схема електрична принципова. Всі проектування друкованого вузла повинні бути виконані з застосуванням сучасного САПР, такого як Altium Designer. Отримавши плату пристрою, виконуємо всі необхідні креслення, а саме: креслення друкованої плати, складальне креслення та специфікацію. Після чого виконуємо конструкторські розрахунки для того, щоб перевірити відповідність технічному завданню.

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

Розробка програмного забезпечення можлива з використанням відкритих проектів. Спроектowana система керує пристроєм у вигляді прототипу, де допускається використання готових модулів та плат для відлагодження функціоналу.

Висновок до розділу 1

В розділі 1 проведено огляд систем навігації роботів пилососів. Визначені характеристики, які повинен мати робот пилосос. Поставлено завдання на проектування, що полягає в розробці системи керування тестовою платформою робота пилососа, яка матиме базові функції з додаванням до даного пристрою датчика вологості і функції інформування людини про небезпеку. Визначені етапи проектування пристрою.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ І СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми

Структурна схема системи керування наведена на рисунку 2.1



Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування

Система керування складається з таких блоків:

- Блок керування пристроєм обробляє дані, отримані від блоку навігації та датчика вологи робота пилососа, та подає на драйвер двигуна чи блок індикації датчика вологи потрібні сигнали. На основі цих сигналів робот пилосос виконує рух по кімнаті і оминає об'єкти. В якості блоку керування використовуємо мікроконтролер.
- Драйвер двигуна – це модуль, вхід якого підключено до виходу мікроконтролера та до напруги живлення, а вихід до двигуна. Таким чином,

ми можемо невеликим струмом із мікроконтролера керувати двигуном, який споживає великий струм.

- Датчик вологи – це пристрій, який при потраплянні на його поверхню води подає на своєму виході сигнал, а мікроконтролер зчитує цей сигнал і виконує дії, прописані в програмі.
- Індикація датчика вологи інформує людину про те, що пристрій виявив воду і потрібно вжити заходів. В якості індикації може бути звуковий сигнал або світловий, тобто загориться або буде мигати світлодіод, також це може бути повідомлення, яке прийде на телефон.
- Блок навігації – це система орієнтації в просторі для робота пилососа. Як вже було зазначено в першому розділі, вона може складатися із лідара, камери, датчиків відстані, датчиків дотику та інших. Оскільки для використання лідара та камери потрібні великі обчислювальні можливості та складне програмне забезпечення, то для орієнтування у просторі ми зупинимося на датчиках відстані. Датчик відстані вимірює відстань до об'єктів попереду пристрою, а так як габарити робота будуть більшими, то доцільно буде встановити з боків пристрою датчики дотику. Дані датчики спрацьовують, коли пристрій ударається об перешкоду, наприклад ніжку стільця, і робот з легкістю омине дану перешкоду. Також пилосос повинен «розуміти» під час повороту, на який кут він повернувся, для цього потрібно на пристрій встановити гіроскоп, або відслідковувати кут повороту кожного колеса.
- Блок живлення являє собою акумулятор, роз'єм для підключення та високочастотний перетворювач напруги, який підвищує напругу для живлення блоку керування. Живлення до двигунів планується підключати до акумуляторів напряму без підвищення. Також невід'ємною частиною блока живлення є плата зарядки акумулятора.

- Блок управління включає в себе кнопку, за допомогою якої буде запускатися початок прибирання.
- Блок керування турбіною представляє із себе роз'єм, який підключено до драйверу керування роботом пилососом. До даного проекту не входить проектування драйверу керування турбіною пилососа, лише вивід роз'єму через який здійснюється ввімкнення двигуна.

2.2 Вибір елементів

Система курування має включати в себе такі складові:

- мікроконтролер для керування пристроєм;
- дальномір для детектування перешкод;
- роз'єм для підключення акумулятора та периферії пристрою;
- підвищуючий модуль, який повинен давати на виході 5В для живлення логіки;
- датчик дотику;
- гіроскоп або датчик, що дає змогу відслідковувати кут на який повернулося кожне колесо;
- датчик води або затоплення;
- індикація датчика затоплення;
- драйвер двигуна;
- елемент для тактування мікроконтролера;
- роз'єм для завантаження прошивки в мікроконтролер;
- акумулятор для забезпечення автономної роботи;
- забезпечення зарядки акумулятора;

Вибір резисторів

При виборі елементної бази потрібно відштовхуватися від такого параметру як компактність, адже робот пилосос повинен бути якомога меншим

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

та легшим, для цього компоненти повинні бути в SMD корпусі. Далі при виборі ми розглядаємо такі параметри як потужність, допуск, корпус в якому виконаний елемент, та номінал. Оскільки в схемі протікають невеликі струми, то ми обираємо резистор з розсіюваною потужністю 0,125 Вт та в корпусі 0805, значення допуску дорівнює 5%. Дані характеристики нас задовольняють і такі резистори виготовляє компанія Yageo.

Вибір конденсаторів

Для вибору конденсаторів ми враховуємо такі параметри: тип монтажу, тип конденсатора, допуск, робоча напруга, номінал та корпус. Як було вирішено раніше, компоненти будуть в SMD-корпусі. В даній схемі будемо використовувати як і керамічні, так і електrolітичні конденсатори.

При виборі керамічних конденсаторів прийнято рішення взяти їх в корпусі 0805. Номінальна напруга повинна бути 25 В, чого буде достатньо, так як реальна напруга в схемі близька до 5В і даний запас по напрузі дозволить збільшити час роботи схеми. Допуск по ємності візьмемо $\pm 10\%$, що буде достатнім значенням для даної схеми. Температурний коефіцієнт X7R, робоча температура лежить в діапазоні від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, що є задовільним, так як пристрій використовується у приміщенні і перегріватися він не повинен. Конденсатори з даними характеристиками виготовляє компанія Yageo.

Також для даного проекту потрібні конденсатори більшої ємності на лінії живлення, таким вимогам задовольняють лише електrolітичні конденсатори. Вони повинні мати допуск $\pm 20\%$, що буде достатнім, виходячи із даних вимог схеми. Робоча напруга 25 В, корпус – Radial, Can – SMD. Дані конденсатори виготовляє компанія Nichicon.

Вибір кварцового резонатора

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

В схемі передбачається кварцовий резонатор як джерело тактування мікроконтролера. Він повинен мати частоту 16 МГц та бути з SMD кріпленням. На ринку маємо резонатор J49SMH-A-G-G-K-16M0, що виготовляється компанією Jauch Quartz.

Вибір мікроконтролера

При виборі мікроконтролера слід враховувати декілька факторів, зокрема:

- Функціональні вимоги проекту, тобто потрібно визначити, які конкретні завдання повинен виконувати мікроконтролер у даному проекті. Наприклад, чи потрібно зчитувати дані з сенсорів, керувати моторами, працювати з протоколами комунікації, підтримувати бездротову передачу даних тощо.
- Ресурси мікроконтролера: потрібно зробити оцінку потреби проекту у ресурсах, таких як кількість входів/виходів (I/O), кількість аналогових входів, доступна пам'ять (програмна та оперативна), швидкість обробки даних, кількість таймерів та інші функціональні можливості.
- Вартість мікроконтролера, так як більш потужні мікроконтролери можуть бути дорожчими, тому слід враховувати при розробці і даний параметр.
- Розробницька підтримка: потрібно враховувати доступність документації, прикладних програм, бібліотек та інших ресурсів, які можуть допомогти при розробці проекту. Популярні мікроконтролери, такі як Arduino або Raspberry Pi, зазвичай мають велику спільноту розробників, що може полегшити розробку пристрою.

Обраний мікроконтролер повинен зчитувати дані із дальноміра, кнопок, які виконують роль датчика дотику, датчика води та швидкості. Отриману інформацію він аналізує та подає відповідний сигнал на драйвер двигуна та

індикацію датчика вологи. Для виконання даних дій не потрібно якихось особливих можливостей мікроконтролера. Підрахувавши всі входи та виходи, які повинні бути підключені до мікроконтролера, приходимо до висновку, що він повинен мати не менше 12 доступних портів, чотири, з яких повинні мати можливість подавати ШИМ-сигнал для керування двигунами.

Із доступних на ринку мікроконтролерів є Arduino, STM32, ESP32. Почнемо з ESP32: дані мікроконтролери мають доволі потужний процесор. Вони мають підтримку Wi-Fi та Bluetooth, частіше використовуються для пристроїв, де потрібний зв'язок з бездротовою мережею. Для нашого проекту використовувати даний мікроконтролер не є доцільним. Досить популярним серед розробників є мікроконтролери STM32 сімейства ARM Cortex-M. Вони мають високу швидкість обробки даних, багатий набір периферійних пристроїв та потужну розробницьку підтримку, включаючи інтегроване середовище розробки (IDE) та багато прикладних програм. Даний мікроконтролер задовольняє всі з потрібних вимог нашого проекту, однак в даному роботі пилососі не потрібно великих розрахункових потужностей та високої швидкості обробки даних, тому було вирішено обрати мікроконтролер Arduino на базі чіпа ATmega328p. Даний мікроконтролер має 23 порти входу/виходу, 3 таймера, 6 портів з підтримкою ШИМ, максимальну частоту роботи 20 МГц та 32 КБ пам'яті. Дані характеристики задовольняють вимоги проекту, тому було вирішено обрати даний мікроконтролер.

Вибір драйвера двигуна

При виборі драйвера для двигуна слід враховувати такий фактор як тип двигуна. Потрібно визначити, який саме двигун буде в пристрої, це може бути кроковий або двигун постійного струму. В нашому випадку ми будемо використовувати двигун постійного струму.

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

Важливим параметром є напруга та струм, за яких працює двигун. Для роботи пирососа використовуємо колекторний двигун [5] із робочою напругою 3-6 В та споживаним струмом 0,2 – 0,4 А, який зображений на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Колекторний двигун

Потрібно враховувати таку особливість як інтерфейс керування. Драйвер повинен керуватися цифровими виходами за допомогою ШИМ сигналу. Також, необхідно мати захист від перегріву, перенавантаження та короткого замикання. До вимог можна віднести габаритні розміри та необхідність встановлення радіатора.

Виходячи із перерахованих вимог, ми можемо виділити на ринку такі модулі, як драйвер двигуна 2-канальний Н-міст MX1508[6], L298N[7] та HG7881 на базі L9110S[8], модулі зображені на рисунках 2.3, 2.4, 2.5 відповідно.



Рисунок 2.3 – Драйвер двигуна MX1508

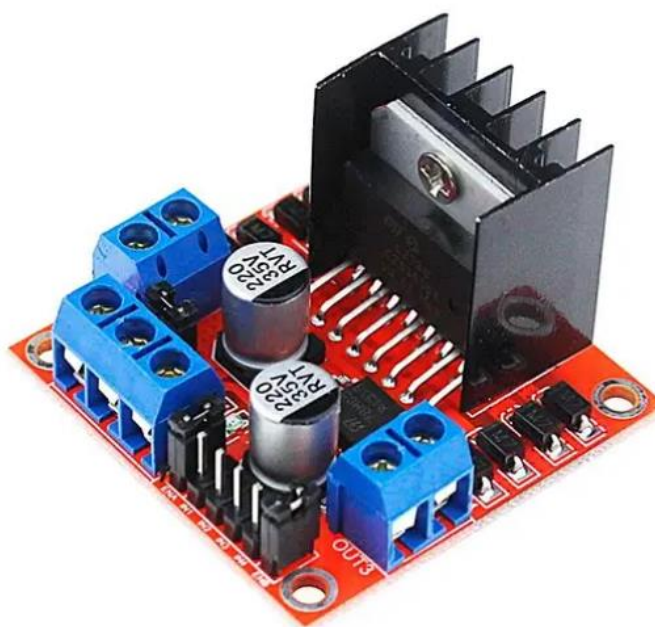


Рисунок 2.4 – Драйвер двигуна L298N

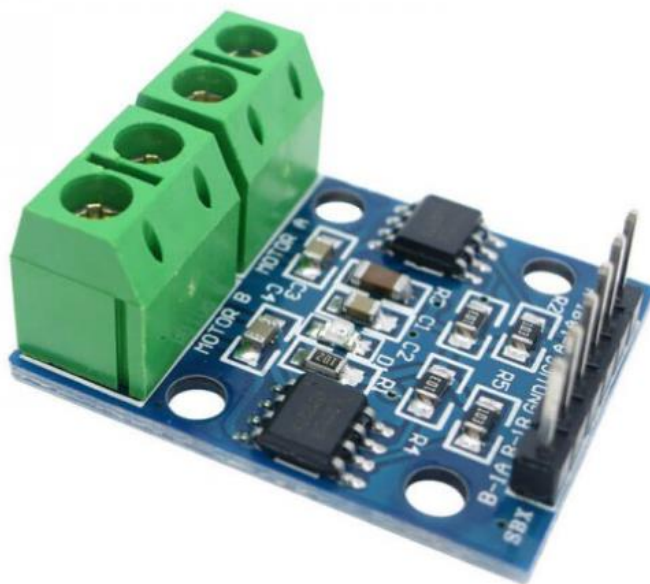


Рисунок 2.5 – Драйвер двигуна L9110S

Проведемо вибір елементів за такими параметрами як робочий струм, струм, який споживає мікросхема, та ціна. Сформуємо порівняльну матрицю $|Y|$ для даних модулів.

Таблиця 2.1 – Матриця параметрів модулів драйверів двигуна

Модуль	Параметри		
	Робочий струм, А	Струм, споживаний мікросхемою, мкА	Ціна, грн
MX1508	1,5	0,1	35
L298N	2	35000	78
L9110S	1,6	2	39
Коефіцієнт	0.5	0.2	0.3

Перетворимо дану матрицю, щоб більшому значенню параметра відповідала найкраща якість модуля. Для цього потрібно параметр, що не задовольняє цю умову, перерахувати за формулою:

$$Y_{ij} = \frac{1}{X_{ij}}$$

де $i = \overline{1, n}$ – кількість вибраних ІС,

$j = \overline{1, m}$ – кількість параметрів ІС.

Тоді матриця приведених параметрів $|Y|$ приймає вигляд:

Таблиця 2.2 – Перетворена матриця

Параметри		
Робочий струм, А	Струм, споживаний мікросхемою, мкА	Ціна, грн
1,5	10	0,0286
2	$2,86 \cdot 10^{-5}$	0,0128
1,6	0,5	0,0256

Далі матрицю $|Y|$ приведемо до матриці $|A|$ - нормованих параметрів.

Нормування параметрів виконуємо за наступною формулою:

$$a_{ij} = \frac{\underbrace{\max_j y_{ij}}_j - y_{ij}}{\underbrace{\max_j y_{ij}}_j}$$

де $\underbrace{\max_j y_{ij}}_j$ – максимальний елемент у стовпчику;

y_{ij} – поточне значення елемента у стовпчику $|Y|$.

Таблиця 2.3 – Перетворена матриця

Параметри		
Робочий струм, А	Струм споживаний мікросхемою, мкА	Ціна, грн
0,333333333	0	0
0	349999	1,228
0,25	19	0,114

Для узагальненого аналізу системи параметрів вводимо оцінюючу функцію

$$Q_i = \sum_{j=1}^m a_j b_j$$

де b_j – ваговий коефіцієнт

$$\sum_{j=1}^m b_j = 1$$

Таблиця 2.4 – Результуюча матриця

Параметри		
Робочий струм, А	Струм споживаний мікросхемою, мкА	Ціна, грн
0,166667	0	0
0	69999,8	0,368571
0,125	3,8	0,034286

Просумуємо отримані значення параметрів та порівняємо їх між собою.

Таблиця 2.5 – Результат обрахунків

Драйвер двигуна	Q
MX1508	0,166666667
L298N	70000,16857
L9110S	3,959285714

Чим менше отримане значення Q, тим краще драйвер двигуна. Виходячи із цього матричного аналізу, бачимо, що найкраще обрати модуль на базі MX1508. Даний модуль має достатній запас по потужності, має невеликі габаритні розміри, мікросхема споживає найменший струм та найдешевша. Також для даного модуля не потрібно використовувати додаткове охолодження, як для L298N. Даний драйвер двигуна має вбудовану схему термозахисту.

Вибір дальноміра

Дальномір використовуємо для навігації робота пирососа. Він повинен замірювати відстань до об'єктів в кімнаті, а отже повинен вимірювати відстань до 4 метрів. На ринку є інфрачервоні, ультразвукові та лазерні дальноміри. Інфрачервоний датчик відстані має діапазон вимірювання від 10 до 80 см, чого недостатньо, а отже даний датчик не підходить. Ультразвуковий дальномір може вимірювати відстань від 2 см до 400 см, чого достатньо, так як вимірювання відбувається у квартирі. Даний датчик має достатню точність для дальноміра. Розглянемо лазерний датчик відстані, він має діапазон вимірювання до 2 метрів, що значно менше від ультразвукового дальноміра. Даний модуль має точність до 1мм, однак в даному пристрої така висока точність не потрібна.

Отже, для вимірювання відстані обираємо ультразвуковий датчик відстані HC-SR04.

Вибір підвищуючого перетворювача напруги

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

При виборі DC-DC перетворювача слід врахувати такі фактори, як діапазон вхідної та вихідної напруги та струм, який споживає плата. Важливо, щоб підвищуючий перетворювач міг постачати достатній вихідний струм для живлення плати. Логіка плати має напругу живлення 5В, вхідна напруга постачається від акумулятора, який має напругу від 3.7 до 4.3В; струм, який споживає плата, не перевищує кількох сотень міліампер, так як двигуни живляться напряму від акумулятора. Для даних вимог ідеально підходить підвищуючий перетворювач DC-DC 5В 600 мА із діапазоном вхідної напруги 0,9 – 5 В на базі CE8301A[9].

Вибір модуля швидкості

При виборі модуля слід відштовхуватися від таких параметрів як робочий струм та напруга, так як живити його будемо напряму від мікроконтролера. Тобто даний модуль повинен живитися від 5В та мати невисоке споживання струму. Наступний параметр – це ширина просвіту між оптичною парою пристрою. Вимірювання швидкості проводиться за допомогою диска з прорізами, який має товщину 2,5 мм (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Диск з прорізами для оптичного енкодера

Для того, щоб модуль швидкості міг працювати, потрібно щоб диск без перешкод обертвся між оптичною парою модуля. У даному датчику маємо вбудовані інфрачервоний світлодіод і фототранзистор, що розташовані протилежно один одному. Коли в щілини між елементами з'являється об'єкт, здатний стримувати інфрачервоні випромінювання, сигнали від світлодіода перекриваються і транзистор закривається. Якщо транзистор закритий, тоді на виході механічні параметри перетворюються на цифрові сигнали.

Проаналізувавши дані вимоги, приходимо до висновку: обрати модуль FC-03. Даний модуль має зазор між оптичною парою 5 мм, що нас влаштовує, напруга живлення 5 В, робочий струм близько 1,5 мА. За допомогою цього датчика можна визначити частоту обертання. Для цього міститься об'єкт з отворами в щілину датчика. При обертах диска в прорізі проявляються отвори. Потім датчик перетворює чергування на імпульси, відповідно – імпульси на цифрові сигнали[10].

Вибір датчика вологи

В якості датчика затоплення використовуємо датчик рівня води. Даний датчик має вихід, який ми підключимо до аналогового входу мікроконтролера. Після того як на даний датчик потрапить волога, його контакти замкнуться і на вході мікроконтролера з'явиться напруга. Функціоналу даного датчика достатньо для того, щоб він виконував функцію датчика затоплення.

Вибір індикатора датчика вологи

В якості індикатора спрацювання датчика використовуємо світлодіод в DIP корпусі L53HD компанії ОТВ, щоб можна було його розташувати вище ніж плата. Також в якості індикатора використовуємо активний зумер, щоб пристрій мав і звукову індикацію.

Вибір роз'ємів для підключення периферії

Роз'єми потрібні для підключення двигунів, ультразвукового датчика відстані, оптичних датчиків відстані, батареї, датчика вологості та до драйвера керування турбіною. Будемо використовувати отвірний монтаж для кращої фіксації роз'єму на платі. Для проекту потрібно роз'єми на 2, 3, та 4 контакти. Оберемо роз'єм з маркуванням B2B-XH-A(LF)(SN) від виробника JST Sales America Inc. Для проекту ще потрібний роз'єм для завантаження програми в мікроконтролер та для заряджання акумулятора. Для цього зручно використовувати роз'єм USB type-C, так як він використовується в більшості приладів.

Вибір акумулятора та забезпечення його зарядки

В даному пристрої використовуємо літій-іонні акумулятори, так як вони мають декілька переваг. Зокрема, висока енергетична ємність, що означає, що вони можуть зберігати більше електроенергії на одиницю маси порівняно з іншими типами акумуляторів. Це робить їх ефективними для використання в портативних електронних пристроях. Літій-іонні акумулятори мають низький рівень саморозряду, що означає, що вони втрачають мало заряду під час зберігання. Це дозволяє тривалий час зберігати акумулятори без значної втрати заряду.

Відсутність "ефекту пам'яті": літій-іонні акумулятори не піддаються ефекту пам'яті, що означає, що їх можна заряджати частково, не чекаючи повного розряду. Це дозволяє зручно використовувати акумулятори в будь-який момент, не шкодуючи про негативні наслідки. Малі вага і розмір: літій-іонні акумулятори мають високу енергетичну щільність, тому вони займають мало місця і мають невелику вагу. Це робить їх ідеальними для застосування в портативних пристроях, де важливі компактність і низька вага. Літій-іонні акумулятори мають

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

вбудовані механізми захисту, такі як системи управління зарядом і розрядом, що зменшують ризик виникнення небезпечних ситуацій, таких як перезарядка, перенавантаження або коротке замикання. Це підвищує рівень безпеки використання літій-іонних акумуляторів. Літій-іонні акумулятори мають меншу втрату заряду при некористуванні порівняно з іншими типами акумуляторів. Це означає, що вони можуть зберігати заряд протягом тривалого періоду без необхідності постійного заряджання.

Враховуючи ці переваги, літій-іонні акумулятори доцільно використовувати в роботі пилососі. Вони забезпечують ефективну і довготривалу роботу, мають малу вагу та розмір, і враховують вимоги безпеки для користувача. Обираємо літій-іонний акумулятор в корпусі 18650 із ємністю 2000 мА/ч та робочою напругою в діапазоні від 2,8 до 4,2 В.

Далі потрібно забезпечити заряджання літій-іонного акумулятора, для цього потрібно подати струм рівний ємності акумулятора, в нашому випадку це 2 А, однак для того, щоб збільшити час життя акумулятора, прийнято рішення взяти половину від ємності і струм зарядки буде становити 1А. Проаналізувавши ринок, вирішено використовувати мікросхему TP4056 з тепловим захистом в корпусі SOP 8.

Отже, вирішено використовувати літій-іонний акумулятор 4,2 В з ємністю 2000 мАч та побудувати плату зарядки на базі мікросхеми TP4056.

2.3 Розробка схеми електричної принципової

Після вибору елементної бази переходимо до розробки схеми електричної принципової на основі структурної схеми системи керування.

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

Розробка блоку живлення пристрою

Пристрій має автономне живлення від акумулятора із напругою 2,8 – 4,2 В, на схемі рис. 2.8 позначено роз'єм, який безпосередньо і підключено до акумулятора. Оскільки логіка мікроконтролера та вся периферія пристрою працює від 5 В, то виникає необхідність застосування підвищуючого перетворювача напруги. Для чого вирішено використовувати схему на основі SE8301A, що має вихідний струм близько 600 мА. Для того, щоб підтвердити, що цієї потужності достатньо, проведемо розрахунок струму споживаного схемою. Для цього в таблицю 2.6 запишемо головні складові пристрою, що живляться напругу від мікроконтролера, та струм, який вони споживають. Додавши всі струми, отримаємо приблизне значення споживаного струму, так як не всі складові схеми враховуємо.

Таблиця 2.6 – Струм, споживаний елементами

Елемент	Кількість	Споживаний струм елементом, мА
HC SR04	1	8
FC-03	2	1.5
MX1508	1	0,2
ATmega328P	1	0,2
Датчик вологи	1	20
Світлодіоди	4	15

Продовження табл. 2.6

Зумер	1	32
Сумарно		123,4

Теоретичні розрахунки показали, що споживання схеми становить близько 123,4 мА. Для перевірки роботи пристрою зібрано тестовий макет на базі мікроконтролера Arduino Uno та вирішено виміряти реальне споживання струму пристроєм під час роботи. Провівши дані виміри, отримали, що плата споживає близько 80 мА. Виявилося, що реальний споживаний струм трішки менший за розрахований, це можна пояснити тим, що на тестовому макеті не горіли одночасно всі світлодіоди та активний зумер, а вони мають відносно інших елементів великий струм споживання, тому розрахунки можна вважати достовірними.

Виходячи із проведених розрахунків та реального виміряного струму, ми бачимо, що даного підвищуючого перетворювача буде більш ніж достатньо, так як ми маємо 10-кратний запас по струму. Схему даного перетворювача наведено на рис. 2.7.

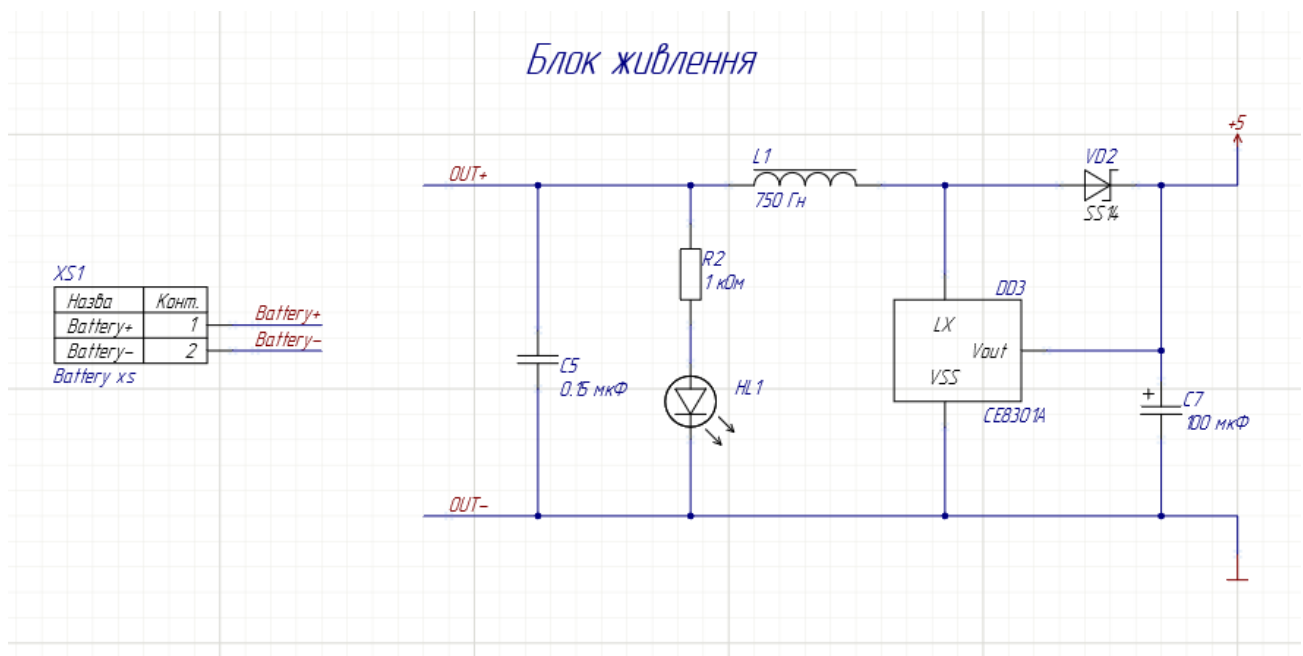


Рис. 2.7 – Схема блоку живлення

Вхід даного підвищуючого перетворювача напруги підключено не напряму до акумулятора, а через захист блоку зарядки для того, щоб запобігти короткому замиканню та виходу всієї плати із ладу. Вихід же перетворювача підключено до лінії живлення плати. Схема блоку живлення також включає літій-іонну батарею та роз'єм до неї.

Розробка блоку зарядки

Для блоку зарядки було обрано схему на основі TP4056 рис. 2.8.

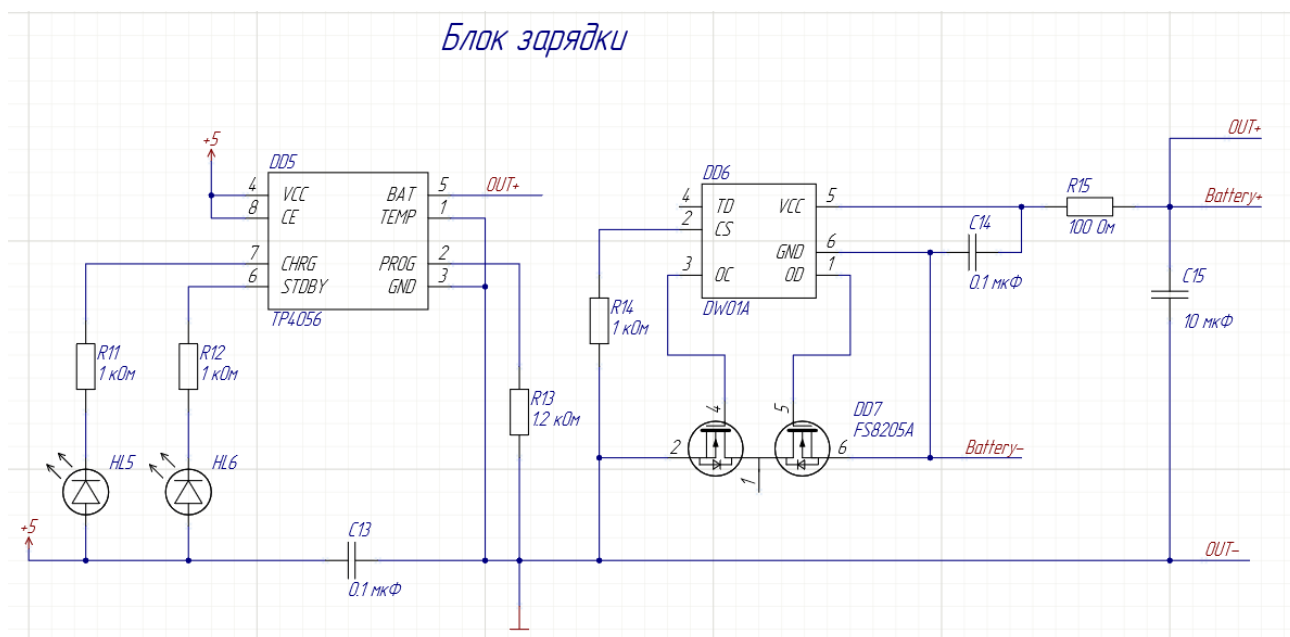


Рисунок 2.8 – Схема блоку зарядки

Дана схема містить ІС TP4056 – лінійний контролер заряду літій-іонних акумуляторів, струм заряду лежить в діапазоні від 50 до 1000 мА. Дана мікросхема має тепловий захист від короткого замикання. Регулюється струм заряду за допомогою зміни номіналу резистора R13, залежність опору резистора та струму зарядки наведено в таблиці 2.7. Виходячи з даної таблиці, нам потрібно встановити опір резистора R13 рівним 1.2 кОм, щоб струм зарядки був максимальним і рівним 1 А.

Таблиця 2.7 – Залежність опору та струму зарядки

Резистор (кОм)	Струм заряду (мА)
30	50
20	70
10	130

Продовження табл. 2.7

5	250
4	300
3	400
2	580
1.5	780
1.2	1000

Дана схема зарядки містить ще DW01A – це мікросхема захисту, що запобігає перезаряду та розряду акумулятора. До виходу даної ІС підключено FS8205A – це мікросхема, яка складається із двох н-канальних польових транзисторів, має малий опір та малий струм керування. Вона використовується для роздільного контролю заряду та розряду акумулятора.

Цикл зарядки розпочинається тим, що мікроконтролер подає на акумулятор напругу 2.8 В та встановлює струм близько 0,8 – 0,9 А. Далі напруга починає зростати до точки 4 В, після чого зростання стане більш пологим і перестане зростати, коли напруга досягне 4,2 В. Струм при цьому зросте до максимального 1 А та буде проводитися заряджання акумулятора. Після того як пройде близько 1 години від початку заряджання, струм почне зменшуватися та коли він буде меншим за 1/10 від максимального струму зарядки, то цикл зарядки завершується. Графік, що показує, як проводиться цикл зарядки мікросхемою TP4056, проілюстровано на рис. 2.9.

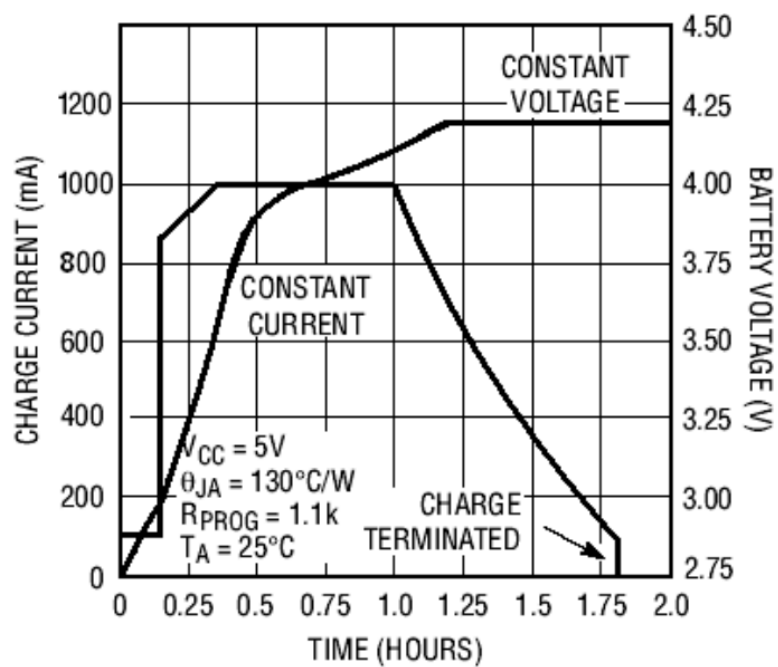


Рисунок 2.9 – Цикл зарядки акумулятора мікросхемою TP4056

Розробка блоку керування

Блок керування пристроєм складається із мікроконтролера ATmega328P (рис. 2.10).

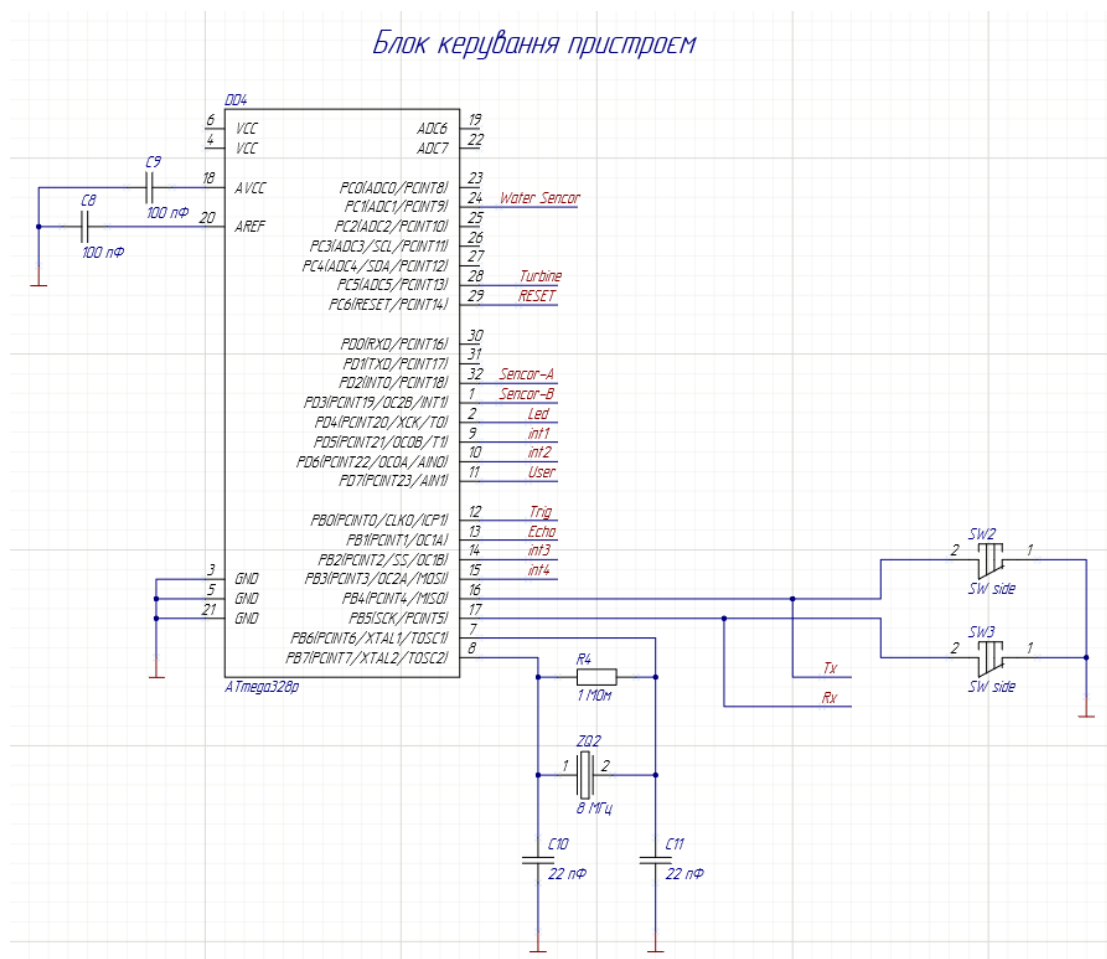


Рисунок 2.10 – Схема блоку керування роботом пилососом

Він має 32 8-ми бітних регістра загального призначення, 2 8-ми бітних таймера та один 16 бітний, 23 програмованих порти. Даний мікроконтролер працює від 5 В, тому вихід підвищуючого модуля підключено до лінії 5 В мікроконтролера. До виводів AVCC та AREF підключимо конденсатори номіналом 100 пФ для кращих шумових характеристик.

Для тактування мікроконтролера до портів PB6 та PB7 підключаємо кварцовий резонатор із частотою 16 МГц. До входів кристалу підключимо конденсатори із номіналом 22 пФ та паралельно резистор для роботи на частоті 16 МГц та для забезпечення стабільності.

Цифрові виходи мікроконтролера підключені до периферії пристрою, а зокрема до портів PB4 та PB5 підключені тактові кнопки, що виконують роль датчиків дотику. Дані виводи налаштовані на вхід та мають підв'язку до високого рівня. Кнопки підключені до землі та коли вони спрацьовують, то на цифрових входах формується низький рівень і мікроконтролер реагує на це та виконує необхідні дії.

Виводи PD5, PD6, PB2 і PB3 підключені до ЦАП та мають можливість подавати ШИМ сигнал, тому їх доцільно використати для драйвера двигуна, так як нам потрібно керувати швидкістю двигуна. Тому до даних портів підключаємо вхід драйвера двигуна. До виводів PB0 і PB1 підключаємо ультразвуковий дальномір. Даний пристрій буде знаходитися за межами плати, тому його підключаємо за допомогою роз'єму.

Порти PD2 та PD3 підключені до датчиків швидкості, тому їх налаштовано на вхід. Дані модулі також знаходяться за межами друкованої плати, тому виводи підключено до роз'ємів, а вони вже в свою чергу підключаються до оптичного датчика швидкості.

Далі потрібно підключити датчик затоплення та індикацію його спрацювання. Датчик вологи має аналоговий вихід, який ми відповідно підключаємо до входу мікроконтролера PC1. Коли на даному виводі мікроконтролера з'явиться сигнал, то мікроконтролер повинен зреагувати на це та подати на вивід PD4, що підключений до блоку індикації датчика вологи, відповідний сигнал.

Для керування турбіною двигуна робота пилососа підключимо до порту PC5 роз'єм, що буде підключатися до драйверу керування турбіною.

Для скидання мікроконтролера є порт PC6/RESER із активним низьким рівнем. Для того щоб мікроконтролер виконав перезавантаження, потрібно на цей вивід подати низький рівень, тому ми підключаємо до цього порту кнопку з прив'язкою до 5 В через резистор 10 кОм, а інший контакт кнопки – до землі. Аналогічним чином підключено кнопку до виводу PD7, яка використовується для ввімкнення процесу прибирання.

Для завантаження програми до мікроконтролера використовуємо мікросхему CH340G (рис. 2.11), виходи якої підключено до портів PB4 та PB5. До входів X1 та X0 підключений кварцовий резонатор для тактування мікросхеми із частотою 12 МГц. Для забезпечення стабільної роботи кристала, його контакти підключено до землі через конденсатори із ємністю 22 пФ.

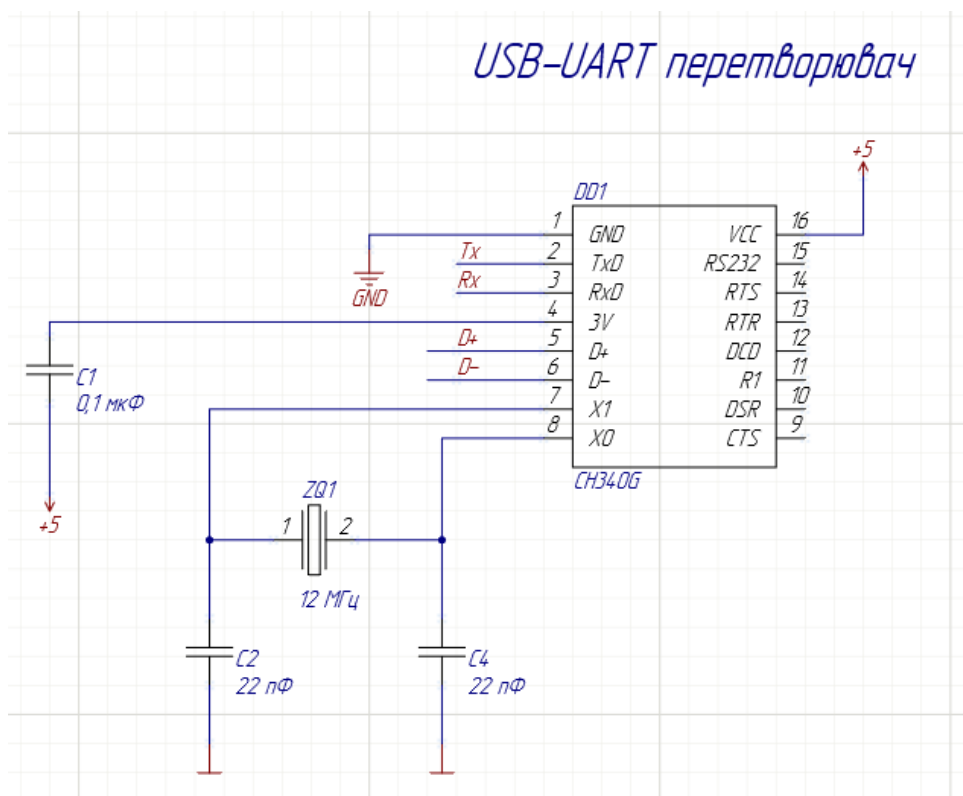


Рисунок 2.11 – Схема USB-UART перетворювача

Мікросхема представляє собою IC, що перетворює USB в послідовний UART інтерфейс. Входи D+ та D- підключені до відповідних інформаційних входів роз'єму USB Type C. Згідно з даташитом до IC CH340G[11] потрібно підключити 3.3 В до лінії 5 В через зовнішню розв'язувальну ємність (ємність 0.1 мкФ).

Розробка блоку індикації

Блок індикації включає в себе декілька світлодіодів та зумер. Світлодіод HL4 підключений до лінії живлення і є індикатором того, що пристрій увімкнено. HL2 та HL3 підключені до портів PB4 та PB5 відповідно та є індикаторами того, що є передача та прийом даних по лінії UART. До блоку індикації також входять зумер та світлодіод, які підключені до одного виходу та виконують роль індикації датчика затоплення.

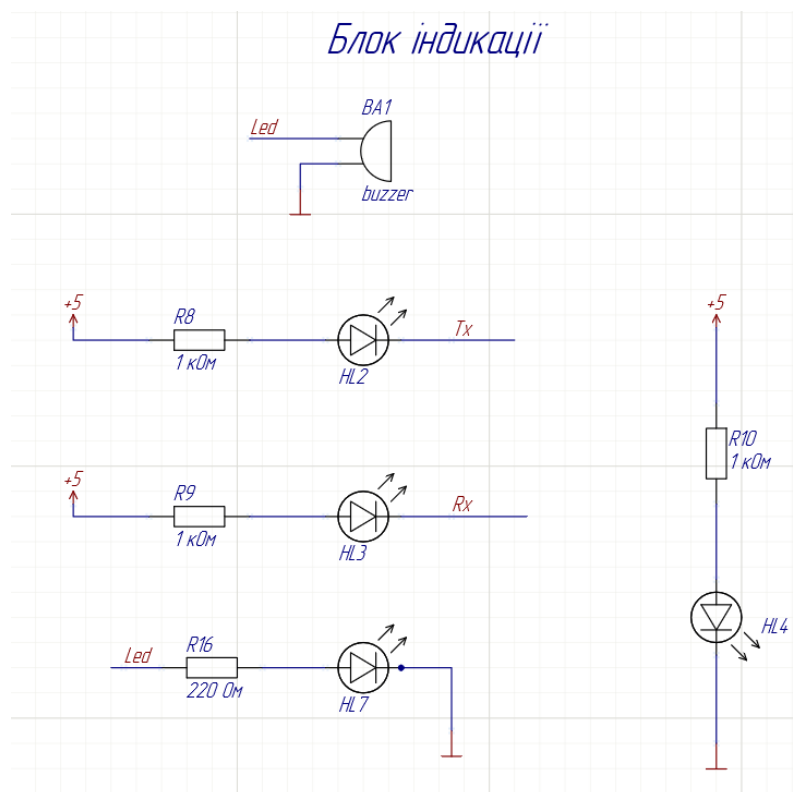


Рисунок 2.12 – Схема блоку індикації

Розробка блоку керування мотором

До цього блоку входить драйвер керування двигуном на основі MX1508 (рис. 2.13), що являє собою мікросхему, побудовану на н-канальних та р-канальних MOSFET транзисторах.

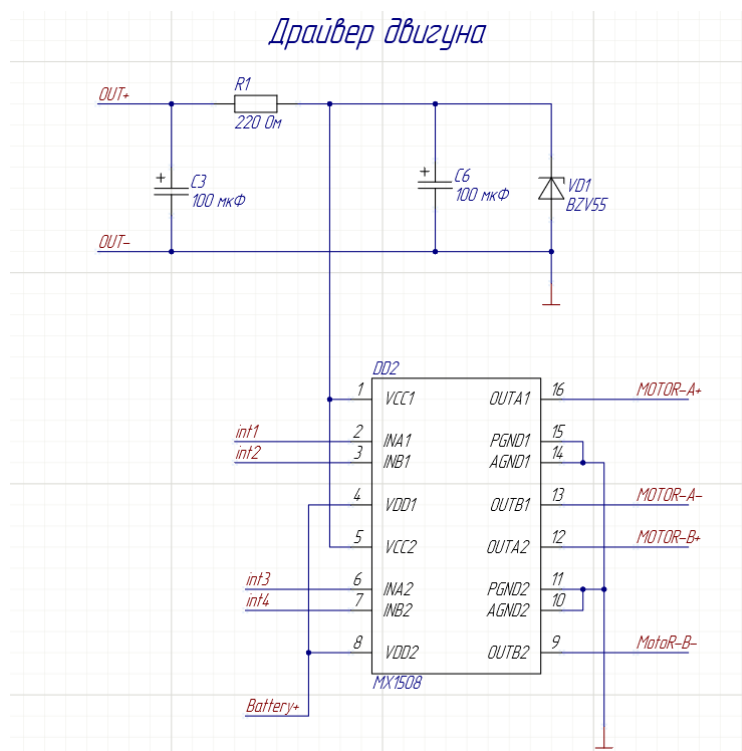


Рисунок 2.13 – Схема блоку керування двигуном

До його входів підключені виходи від мікроконтролера, за допомогою яких подаються сигнали для керування двигуном. Лінія живлення підключена до виходу захисту акумулятора, а не напряму до акумулятора для того, щоб захистити даний пристрій від короткого замикання або надмірного споживання струму. Також до лінії живлення підключені конденсатори, що повинні забезпечити стабільну напругу на двигунах. Також у дану схему підключений стабілітрон зворотнім зв'язком. Це зроблено для того, щоб стабілізувати напругу на даній мікросхемі. Для правильної роботи стабілітрона потрібно послідовно підключити до нього резистор із опором 220 Ом.

Висновок до розділу 2

Побудовано структурну схему пристрою та сформовано детальний опис, з яких елементів складається кожен блок. Блок схему побудовано за допомогою онлайн сервісу drawio. Вибрана елементна база системи керування. Під час вибору драйверу двигуна сформовано матрицю параметрів та на основі цих даних обрано найкращу реалізацію даного пристрою. Решту елементів обрано за допомогою звичайного аналізу, який в себе включав визначення критеріїв, за якими проводиться аналіз елементів та знаходиться елемент, який має найбільш підходящі параметри. Кожне прийняте рішення обґрунтоване.

На базі структурної схеми розроблена схема електрична принципова. Схема побудована за допомогою програмного забезпечення Altium Designer. Оскільки маємо схему електричну принципову, можемо перейти до наступного кроку – розроблення друкованої плати системи керування.

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

3.1. Вибір та обґрунтування типу друкованої плати

Друкована плата (ДП) – це діелектрична пластина, яка виготовляється із склотекстоліту, текстоліту тощо, на яку нанесено електричні провідники, контактні площини та інші компоненти, що використовуються для з'єднання електронних компонентів у пристрої. Вона є одним з основних елементів будь-якого електронного пристрою.

Існують такі типи друкованих плат:

- односторонні – ОДП,
- двосторонні – ДДП,
- багатошарові - БДП.

Односторонні друковані плати використовуються тільки для монтажу елементів з однієї сторони, де отвори не мають металевого покриття. Зазвичай цей тип плат використовується в аматорських або прототипних проектах.

Двосторонні плати можуть бути двох типів: без металізації і з металізацією наскрізних отворів. Двосторонні плати відрізняються наявністю другого шару, що покращує їх трасувальну здатність та можливість компонування елементів високою щільністю. Плати з металізацією наскрізних отворів мають високу трасувальну здатність, дозволяють розміщувати елементи з високою щільністю та мають підвищену механічну міцність.

Багатошарові друковані плати складаються зі спресованих шарів, що відокремлені ізоляційною основою. Існують дві основні групи багатошарових плат: з міжшаровими з'єднаннями, де шари з'єднані об'ємними елементами, такими як штирі, заклепки або перекриття, або за допомогою хіміко-гальванічної металізації; і без міжшарових з'єднань. На платі можуть бути наскрізні отвори,

ДК92.468332.001 ПЗ

Лист

42

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

які забезпечують електричний зв'язок між шарами, а також перехідні отвори, які забезпечують переходи між різними шарами.

Виходячи з нашого ТЗ та схеми електричної принципової, вибираємо двосторонню друковану плату із металізацією наскрізних отворів. Елементи розташовуємо із однієї сторони плати, так як плата не містить великих за розмірами елементів та немає необхідності робити монтаж елементів із двох сторін плати.

3.2. Вибір та обґрунтування матеріалу друкованої плати

При виборі матеріалу для друкованої плати враховуються різні фактори, включаючи вимоги до електричних характеристик, механічну міцність, теплопровідність, вартість і доступність. Правильний вибір матеріалів, технологічних процесів і елементної бази під час розробки сучасних друкованих плат має велике значення для досягнення високого рівня функціональності та надійності електронного пристрою загалом, при цьому зберігаючи раціональні економічні витрати на виробництво.

Виготовлена плата повинна мати декілька властивостей: високі електроізоляційні властивості, достатню механічну міцність, так як плата призначена для роботи пилососу, який повинен спокійно витримувати механічні навантаження. ДП має бути стійкою до кліматичних умов, зокрема вологи, температури, сонячних променів тощо. Виходячи з цих вимог нас задовольняє: склотекстоліт, фторопластова плівка та ін.

В даний час існує новий параметр, відомий як опірність займанню. Для цього параметра розроблені полімерні композиційні матеріали під назвою FR-1 ... FR-5, які відповідають різним класам точності. Наприклад, для вибору класу точності 4 використовується матеріал FR-4. Цей матеріал має товщину 1,5 мм і

складається з 8 шарів склотекстоліту. Використання матеріалу FR-4 дозволяє отримати отвори високої якості, що є важливим для монтажу елементів[12].

Отже, для реалізації друкованої плати було обрано сучасний матеріал з високими характеристиками - FR4-2-35-1,5. Цей матеріал є фольгованим склотекстолітом з підвищеною термостійкістю товщиною 1,5 мм і облицьований з обох сторін мідною електролітичною фольгою товщиною 35 мкм.

3.3. Вибір та обґрунтування класу точності друкованої плати

Точність виготовлення друкованої плати залежить від комплексу технологічних параметрів і має велике значення для основних характеристик елементів на платі. Особлива увага приділяється мінімальній ширині провідників, мінімальному зазору між елементами провідного малюнка і іншим параметрам.

Згідно з ГОСТ 23571-86, існує п'ять класів точності для друкованих плат. При проектуванні та розрахунку необхідно враховувати граничні значення елементів друкованого монтажу з урахуванням похибки їх виготовлення. Відповідні граничні значення елементів друкованого монтажу і допустимі похибки наведені в таблицях 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Граничні значення основних параметрів ДМ[12]

Параметр	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{\text{пр}}^r$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	l^r	0,45	0,25	0,15	0,10

Продовження табл. 3.1

Гарантований поясок, мм	$b_{\text{по}}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини плати, мм	$K_{\text{дт}}$	0,40	0,33	0,25	0,20

Таблиця 3.2 – Допустимі похибки виконання елементів ДМ[12]

Похибка	Позначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС	$\delta_{\text{сп}}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС	δ_o	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КС	$\delta_{\text{км}}$	0,015(0,05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{\text{фф}}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КС на фотошаблоні	$\delta_{\text{сш}}$	0,05

Для виготовлення друкованих плат п'ятого класу точності потрібно використовувати спеціалізоване високоточне обладнання, що не є доступним для кожного виробника.

Друковані плати четвертого класу виготовляються на високоточному обладнанні, але вимоги до матеріалів, обладнання і виробничих приміщень не такі високі, як у плат п'ятого класу.

Найпоширеніші друковані плати третього класу, оскільки вони забезпечують достатню щільність трасування і монтажу, а для їх виготовлення потрібне звичайне спеціалізоване обладнання.

Друковані плати другого і першого класів точності можна виготовляти на звичайному неспеціалізованому обладнанні. Вони мають меншу щільність монтажу і менші конструктивні параметри, і частіше використовуються в бюджетних пристроях[12].

Для даного завдання обираємо 4-ий клас точності, так як 3 класу точності буде недостатньо, оскільки в схемі майже всі елементи виконані в SMD корпусі та є елементи, що мають відстань між контактами 0,2 мм. 5 клас точності також забезпечує достатню точність, однак для нього потрібно високоточне обладнання та це значно ускладнює виготовленню плати. Отже, обираємо 4 клас, який забезпечує достатню щільність трасування.

3.4. Вибір методу виготовлення друкованої плати

Вибір методу виготовлення друкованої плати залежить від кількох факторів, включаючи складність схеми, кількість виробництва, доступність обладнання та фінансовий фактор. Існує декілька загальних методів, які можна використовувати для виготовлення плат.

Метод хімічного травлення, який поділяється на субтрактивний метод та комбінований. Субтрактивний метод передбачає використання діелектричної пластини, на яку з обох боків наклеєно тонкий шар металевої фольги, зазвичай використовують мідь. Після чого на плату наноситься фоточутливий лак, який чутливий до світла і здатний полімеризуватися під впливом ультрафіолетового світла. На фоточутливий лак накладається фотошаблон або маска, що містить зображення потрібних слідів міді. Після цього плата піддається експозиції, де УФ-світло пропускається через фотошаблон і полімеризує фоточутливий лак в місцях, де потрібні сліди міді. Далі виконується травлення – процес хімічного видалення неполімеризованого лаком шару міді. По завершенню цього процесу

на платі залишаються лише потрібні металеві доріжки. Існує ще комбінований метод, що включає в себе металізацію перехідних отворів[12].

Адитивний метод виготовлення друкованих плат відрізняється від субтрактного тим, що для виготовлення ДП береться пуста пластина діелектрика, на неї методом гальванічного осадження наносяться з'єднувальні провідники. Металізація перехідних та монтажних отворів відбувається за допомогою гальванічного осадження. Однак даний метод має свої недоліки, такі як обмеженість нанесення мідного шару через те, що він наноситься шляхом осадження та є високозатратним методом з точки зору матеріалів для виготовлення[12].

Проаналізувавши дані методи виготовлення ДП, прийнято рішення використати комбінований позитивний метод, що дозволить виготовити плату найменш затратним способом та є можливість серійного виготовлення плат, так як даний метод використовується на виробництві.

3.5 Проектування друкованої плати у програмному середовищі Altium Designer

Altium Designer (AD) є популярним і потужним програмним засобом для розробки електронних схем і друкованих плат. Він надає інтегроване середовище розробки, що включає в себе різноманітні інструменти для проектування, побудови схеми, симуляції, розміщення компонентів, трасування шляхів, верифікації та виготовлення плат.

В ході проектування друкованого вузла виконані наступні кроки:

- створення бібліотеки умовно-графічних позначень та посадкових місць компонентів;
- створення схеми електричної принципової;

- створення друкованого вузла;
- створення конструкторської документації, а зокрема: ЕЗ, ДП, СК та ПЕ.

AD має власну бібліотеку компонентів, однак вони виконані не за ГОСТ, тому ми створимо власну бібліотеку умовно-графічних позначень компонентів. Для цього створюємо інтегровану бібліотеку за допомогою інструменту Integrated Library, в яку додаємо УГП та посадкові місця.

Після того як створені бібліотеки, переходимо до листа, на якому будуємо нашу схему. Для цього на робочій області розміщуємо потрібні нам компоненти та за допомогою доступних інструментів з'єднуємо ці елементи.

Коли схема побудована та скомпільована, переходимо до створення друкованої плати. Для цього створюємо РСВ файл та перенесемо на нього наші посадкові місця, що були створені раніше. Далі розставляємо компоненти на платі відповідно до вимог та класу точності. Так як плата є системою керування роботом пилососом, то вона має бути округлої форми з однієї сторони та з цієї ж сторони повинен розміщатися роз'єм для завантаження коду або заряджання пристрою. Так як роботи пилососі на ринку мають діаметр близько 350 мм, то будуємо округлість з таким самим діаметром. Наша плата містить велику кількість роз'ємів і доцільно їх розмістити із протилежної сторони від округлої. Дане розміщення елементів буде зручним для розміщення інших частин робота пилососу. Після того як виконано розміщення, використовуємо автотрасування та виправляємо доріжки, які прокладені не по правилах. Для кріплення плати на ній зроблені отвори діаметром 3 мм по кутах, так як плата повинна мати надійне кріплення, щоб бути стійкою до різних механічних впливів. На рис. 3.1 та 3.2 наведено створену в програмному забезпеченні AD друковану плату.

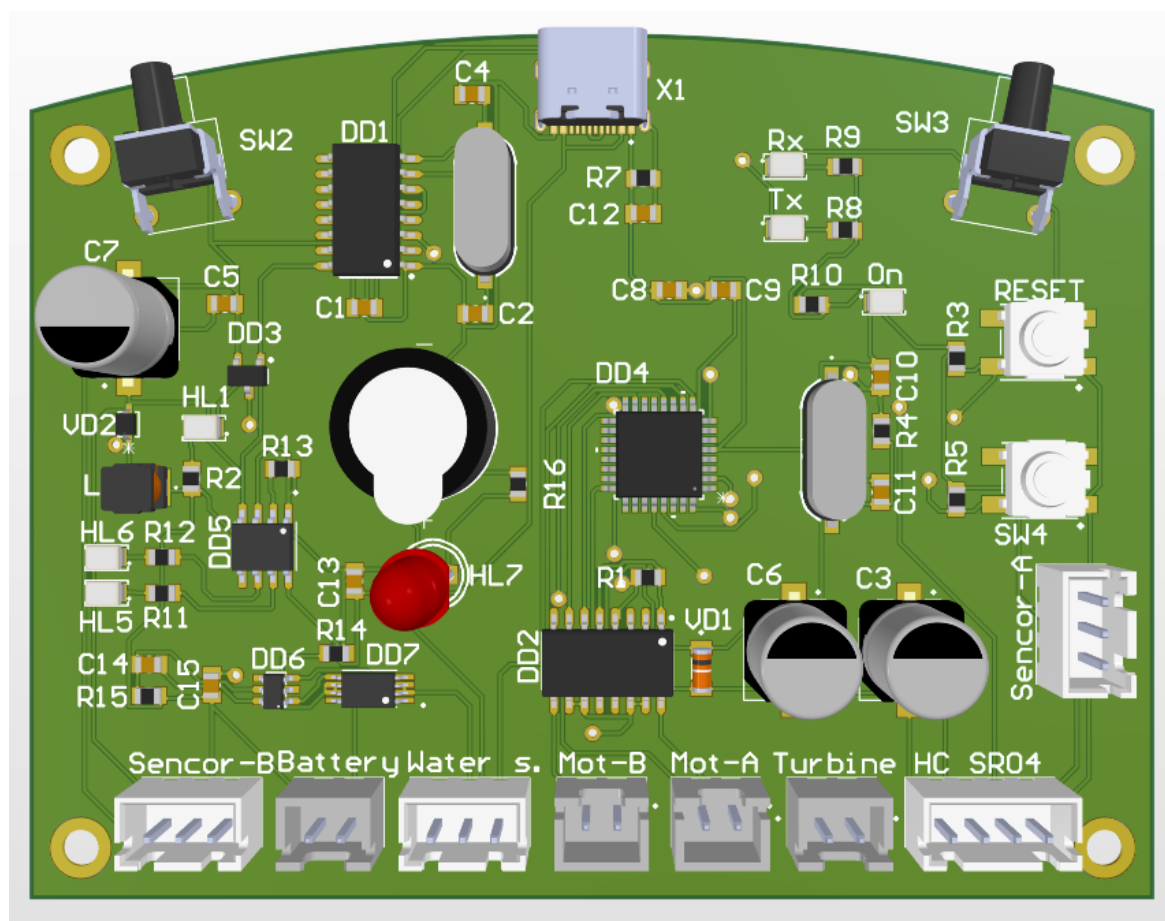


Рисунок 3.1 – Друкований вузол. Вигляд зверху

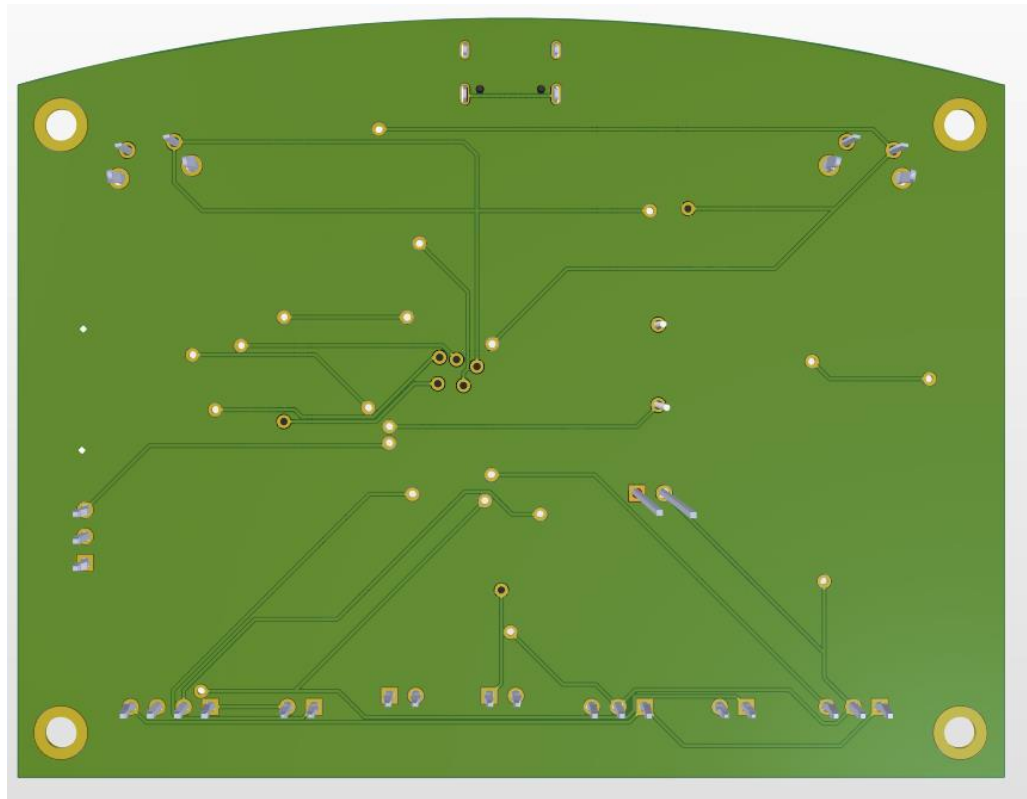


Рисунок 3.2 – Друкований вузол. Вигляд знизу

Висновок до розділу 3

В даному розділі описано створення друкованої плати. Для початку обрано тип друкованої плати, а саме двостороння із монтажем компонентів із однієї сторони. Після того як обраний тип плати, вибрано матеріал ДП. Вирішено використовувати склотекстоліт FR-4-2-35-1,5. Даний матеріал є найбільш поширеним у виготовленні плат, він має високу вогнестійкість та електричну ізоляційну здатність, стійкий до механічних впливів і має невисоку ціну. Наступним кроком обрано 4 клас точності для виготовлення ДП. Далі порівняно методи виготовлення друкованого вузла та обрано комбінований субстрактний позитивний. Обравши всі параметри, переходимо до проектування плати в програмному забезпеченні AD і в результаті отримуємо креслення друкованої плати, складальне креслення та специфікацію компонентів.

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ

4.1 Конструкторсько-технологічний розрахунок

Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та землі.

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму $b_{\min I}$ (мм) для ланцюгів живлення та «землі» визначається виразом 4.1:

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.1)$$

де $I_{\max}$ – максимально можливий струм в колі, А

$j_{\text{доп}}$ – допустима щільність струму для ДП, яка виготовлена комбінованим позитивним методом, $j_{\text{доп}} = 48 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$

$t_{\text{пров}}$ – товщина друкованого провідника, яка визначається виразом (4.2).

Друкований провідник виготовляється комбінованим позитивним методом.
Згідно методу виготовлення:

$$t_{\text{пров}} = h_{\phi} + h_{\text{ГМ}} + h_{\text{ХМ}}, \quad (4.2)$$

де h_{ϕ} – товщина фольги, $h_{\phi} = 0,035$ мм

$h_{\text{ГМ}}$ – товщина шару гальванічно осадженої міді, $h_{\text{ГМ}} = 0,055$ мм

$h_{\text{ХМ}}$ – товщина шару хімічно осадженої міді, $h_{\text{ХМ}} = 0,0065$ мм

$$t_{\text{пров}} = 0,035 + 0,055 + 0,0065 = 0,0965 \text{ мм}$$

Параметр $I_{\max}$ в виразі (4.1) визначається як сума струмів, які споживають усі активні елементи схеми. Значення струмів, які споживають активні елементи схеми, наведені у таблиці 4.1.

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51

Таблиця 4.1 – Струми, які споживають елементи схеми

Елемент	Кількість	Споживаний
HC SR04	1	8
FC-03	2	1.5
MX1508	1	600,2
ATmega328P	1	0,2
Датчик	1	20
Світлодіоди	4	15
Зумер	1	32
TP4056	1	1,2
DW01A	1	2,5
Сумарно		727,1

У результаті:

$$I_{max} = 727,1 \text{ мА}$$

Найбільше струму споживає драйвер двигуна, так як він виконує безпосередньо керування двигуном.

Тоді мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для кіл живлення та «землі» визначається наступним чином:

$$b_{\min I} = \frac{I_{max}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0,602}{48 \cdot 0,0965} = 0,155 \text{ мм}$$

Однак в даній формулі було враховано струми, які будуть протікати від батареї до драйверу та від драйверу до двигуна, що дорівнюють близько 600 мА. Тому потрібно дані доріжки побудувати більшої товщини, а зокрема такі, що

відповідає 3 класу точності – 0,25 мм. Решту доріжок можна будувати товщиною 0.115 мм.

Отримане значення мінімальної ширини провідника $b_{\min I} = 0,155$ мм входить в значення 3 класу точності ($b_{\text{пр}}^r = 0,25$ мм). Таким чином, оптимальна ширина провідника на постійному струмі для кіл живлення та «землі» дорівнює розрахованому значенню.

Визначимо мінімальну ширину провідника з урахуванням допустимого падіння на ньому напруги

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, визначається (4.3):

$$b_{\min U} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.3)$$

де ρ – питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом, $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

$L_{\text{пров}}$ – довжина найдовшого друкованого провідника ДП, $L_{\text{пров}} = 53$ мм

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику,
 $U_{\text{доп}} = 0,05 \times E_{\text{п}},$

$U_{\text{доп}} = 0,05 \times 5 = 0,25$ В

$L_{\text{пров}} = 0,53$ м

$$b_{\min U} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,727 \cdot 0,53}{0,25 \cdot 0,0965} = 0,0203 \text{ мм}$$

Отже, мінімальна ширина провідника з урахуванням падіння напруги на ньому рівна 0,02 мм.

Визначимо мінімальну ширину провідника

$$b_{min} = b_{пр}^r + 1,5h_{\phi} + 0,03, \quad (4.4)$$

де $b_{пр}^r$ – мінімальна ширина провідника, яку ми беремо з таблиці класів точності (табл. 3.1). Для четвертого класу точності друкованого монтажу $b_{пр}^r = 0,15$ мм.

І тепер можна розрахувати мінімальну ширину провідника:

$$b_{min} = b_{пр}^r + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 0,15 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,23 \text{ (мм)}$$

Визначимо максимальну ширину провідника

Для визначення максимальної ширини провідника потрібно додати до мінімальної ширини 0,02 мм.

$$b_{max} = b_{min} + 0,02 = 0,23 + 0,02 = 0,25 \text{ (мм)}.$$

Визначення номінального діаметру монтажного отвору

$$d \geq d_{вз} + \Delta d_{мо} + r, \quad (4.5)$$

де $d_{вз}$ – діаметр виводу елементів, для яких визначається діаметр монтажного отвору,

Δd – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО, $\Delta d_{мо} = 0,1$ мм

r – різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента, $r = 0,1 \dots 0,2$ мм

$$d \geq d_{вз} + \Delta d_{мо} + r = 0,5 + 0,1 + 0,2 = 0,8 \text{ (мм)}$$

Визначення діаметра контактної площини

$$D_{min} = D_{min1} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03, \quad (4.6)$$

де D_{min1} – мінімальний ефективний діаметр КМ, мм,

h_{ϕ} – товщина фольги, $h_{\phi} = 0,035$ мм. Коефіцієнт $1,5h_{\phi}$ враховує підтравлювання фольги друкованого провідника у ширину,

0,03 – КМ виготовлюють комбінованим позитивним методом.

$$D_{\min I} = 2 \cdot (b_{\text{по}} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{км}}), \quad (4.7)$$

де $d_{\max}$ – максимальний діаметр отвору в ДП, мм,

$b_{\text{по}}$ - ширина пояса КМ, $b_{\text{по}} = 0,05$ мм (табл. 3.1)

δ_o - похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, $\delta_o = 0,07$ мм (Табл. 3.2),

$\delta_{\text{км}}$ - похибка розташування центру КМ відносно вузла КС, $\delta_{\text{км}} = 0,05$ (табл.3.2).

Максимальний діаметр отвору ДП:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (4.8)$$

де d – номінальний діаметр МО, мм,

Δd – допуск на діаметр отвору, $\Delta d = 0,05$ мм

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) = 0,7 + 0,05 + 0,1 = 0,85 \text{ мм}$$

$$\begin{aligned} D_{\min I} &= 2 \cdot \left(b_{\text{по}} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{км}} \right) = 2 \cdot \left(0,05 + \frac{0,85}{2} + 0,07 + 0,05 \right) \\ &= 1,19 \text{ мм} \end{aligned}$$

$$D_{\min} = D_{\min I} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 1,19 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,27 \text{ мм}$$

Максимальний діаметр КМ:

$$D_{\max} = D_{\min} + 0,02 \quad (4.9)$$

$$D_{\max} = 1,27 + 0,02 = 1,29 \text{ мм}$$

Визначення мінімальної відстані між провідником та контактною площиною

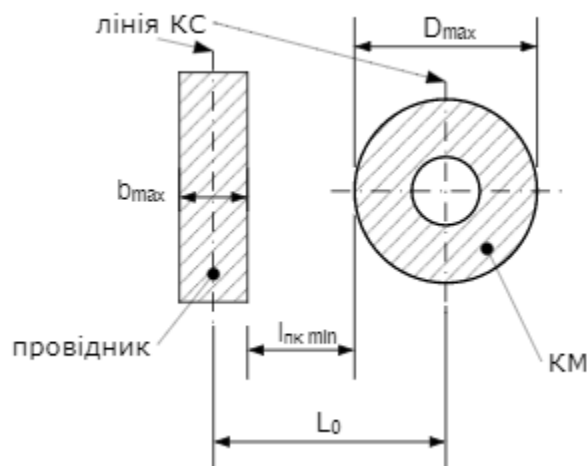


Рис. 4.1 – Відстань між провідником та контактом

$$l_{\text{ПКМ min}} = L_0 - \left(\frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{КМ}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{СП}} \right), \quad (4.10)$$

де L_0 – відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС, $L_0 = 1,25$ мм (найгірший випадок).

D_{max} – максимальний діаметр КП,

b_{max} – максимальна ширина провідника,

$\delta_{\text{КМ}}$ – похибка розташування центру КП відносно вузла КС, $\delta_{\text{КМ}} = 0,05$ (табл.3.2),

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

$$\begin{aligned} l_{\text{ПКМ min}} &= L_0 - \left(\frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{КМ}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{СП}} \right) = \\ &= 1,25 - \left(\frac{1,29}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,38 \text{ (мм)} \end{aligned}$$

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

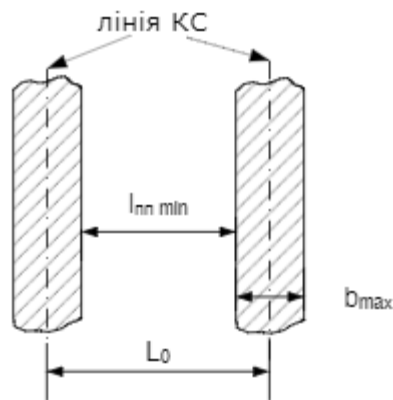


Рис. 4.2 – Відстань між провідниками

$$l_{пп \min} = L_0 - (b_{max} + 2 \cdot \delta_{сп}), \quad (4.11)$$

$$l_{пп \min} = L_0 - (b_{max} + 2 \cdot \delta_{сп}) = 1,25 - (0,25 + 2 \cdot 0,05) = 0,9 \text{ (мм)}$$

4.2 Електричний розрахунок друкованої плати

Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається:

$$U_{пад} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot l_{пр}}{b_{пр} \cdot t_{пр}}, \quad (4.12)$$

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

$l_{пр}$ – максимальна довжина друкованого провідника, $l_{пр} = 0,083 \text{ м}$.

$t_{\text{пр}}$ – товщина провідника, так як в АД виставлено максимальну ширину провідника 0,25, то візьмемо для розрахунків дану товщину. $t_{\text{пр}} = 0,25$

I_{max} – максимальний струм у провіднику, $I_{\text{max}} = 727 \text{ мА}$

$$U_{\text{пад}} = \frac{p \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,727 \cdot 0,083}{0,25 \cdot 0,0965} = 0,044 \text{ (В)}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5%(0,25 В) від напруги живлення ($U_{\text{ж}} = 5 \text{ В}$).

Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати

Потужність втрат визначається:

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg}\sigma, \quad (4.13)$$

де $f=1$, тому що розрахунок виконується на постійному струмі,

$\text{tg}\sigma$ – тангенс кута діелектричних втрат для матеріала ДП, $\text{tg}\sigma = 0,002$ для матеріалу FR4,

C – ємність ДП

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

де ε – діелектрична проникність, $\varepsilon = \text{FR4} = 4,5$

S_m – площа металізації, $S_m = 12023 \text{ мм}^2$

h – товщина ДП, мм

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 12023}{1,5} = 325 \text{ (пФ)}$$

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg}\sigma = 2 \cdot 3,14 \cdot 16 \cdot 10^6 \cdot 325 \cdot 10^{-12} \cdot 25 \cdot 0,002 = 1.6 \text{ (мВт)}$$

Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (4.14)$$

де S – відстань між двома паралельними провідниками, мм

$b_{\text{пр}}$ – ширина друкованого провідника, мм

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

$l_{\text{пр}}$ – довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, мм

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1} = 0,12 \cdot 4,5 \cdot 3 \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot 0,2}{0,25 + 0,0965} \right]^{-1} \\ = 26,2 \text{ (пФ)}$$

Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right), \quad (4.15)$$

де $l_{\text{пр}}$ – довжина перекриття паралельних провідників, $l_{\text{пр}}=5,6$ см

L_0 – відстань між осьовими лініями двох паралельних провідників, $L_0=0,15$ см

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right) = \\ = 0,02 \left(3,2 \cdot \lg \frac{\sqrt{3,2^2 - 0,0156} + 3,2}{0,125} - \sqrt{3,2^2 - 0,0156} + 3,2 \right) = 0,13 \text{ (нГн)}$$

4.3 Розрахунок основних показників надійності друкованого вузла

Надійність пристрою є важливим аспектом в електроніці. Вона визначається здатністю пристрою працювати безперебійно протягом тривалого періоду часу в умовах використання. Найбільш точна кількісна міра надійності кожного конструктивного елементу – це його індивідуальне напрацювання до моменту виникнення відмови.

Важлива характеристика надійності – середній час безвідмовної роботи, визначається:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} \quad (4.16)$$

Інтенсивність відмов ЕРЕ є їх вихідною характеристикою надійності, залежить від режиму роботи та ступеню тяжкості таких зовнішніх впливів, як температура, тепловий удар, вологість, вібрації і т.д.

Тоді можна записати

$$\lambda_{\text{е}} = \lambda_{\text{оє}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (4.17)$$

де $\lambda_{\text{оє}}$ – інтенсивність відмов елементу при нормальних умовах роботи (температура навколишнього середовища $T^{\circ}_{\text{окр.ср}} = 20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, відносна вологість $65 \pm 15\%$);

коефіцієнт електричного навантаження $K_n = 1$, $K_1, K_2, \dots, K_n$ – поправочні коефіцієнти, що враховують режими роботи та умови експлуатації.

Для врахування впливу режиму роботи на інтенсивність відмов ЕОА вводять коефіцієнт навантаження, що дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі:

$$K_n = \frac{H_{\text{роб}}}{H_{\text{ном}}} \quad (4.18)$$

Коефіцієнт навантаження для **резисторів** визначається потужністю, що розсіюється на ньому. Для того, щоб розрахувати значення коефіцієнту надійності, побудуємо таблицю, в якій наведені всі розраховані значення для резисторів

Таблиця 4.2 – Розрахунок коефіцієнту навантаження для резисторів

Позначення	Опір, кОм	Кількість, N	Коефіцієнт, K _{н.р}
R1, R2, R5, R6, R11, R12, R15	1	7	1,4
R3, R13	0,22	2	1,81
R4	1,2	1	0,167
R7	100	1	0,002
R8, R9	1000	2	0,0004
R10, R14	10	2	0,04

Розраховуємо одне із значень коефіцієнтів навантаження:

$$K_{н.р} = N * \frac{U^2}{R * P_{ном}} = N * \frac{U_{роб}^2}{R * P_{ном}} = \frac{2 * 5^2}{220 * 0,125} = 1,18,$$

де $U_{роб}^2 = 5 \text{ В}$ – напруга живлення (максимальна можлива на елементі)

$P_{ном} = 0,125 \text{ Вт}$ – потужність;

$R_{min} = 220 \text{ Ом}$ – опір резистора;

N – кількість резисторів із таким номіналом.

Для конденсаторів:

$$K_{н.с} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}},$$

$$K_{н.р} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} = \frac{5}{25} = 0,2,$$

де $U_{роб} = 5$ В – напруга живлення,

$U_{ном} = 25$ В – номінальна напруга пробою конденсатора.

Кварцовий резонатор: вибираємо K_n , рівний 0,8, оскільки даний елемент є критично важливим для функціонування мікроконтролера, тому необхідний певний запас по надійності.

Мікросхеми: вибираємо K_n рівний 1, оскільки мікросхеми вибрані такими, щоб забезпечувати повне функціонування схеми, припускаючи що всі мікросхеми працюють у відповідних режимах при струмах та напругах, що забезпечують стабільне функціонування їх протягом довгого часу як гарантує datasheet на кожну з мікросхем.

Для інших елементів значення коефіцієнту навантаження вибираємо рівним 1. Дані для розрахунку часу напрацювання до першої відмови занесені до таблиці 4.3. Кліматичне виконання приладу УХЛ1.1, що диктує максимальну температуру роботи в $+40^{\circ}\text{C}$, спираючись на цю інформацію обираємо ат. Даний друкований вузол відноситься до наземної рухомої електрорадіоапаратури, тому вибираємо $\alpha_e = 15$.

α_e – поправочний коефіцієнт на вплив зовнішніх впливів (для переносної апаратури $\alpha_e = 15$),

α_t – поправочний температурний коефіцієнт.

Показники інтенсивності відмов, що наведені в таблиці, дещо завищені, що дозволяє виконати розрахунок для «найгіршого випадку».

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов компонентів

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi}$$

Таблиця 4.3 – Вихідні дані для визначення λ_p

Компонент	N	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-6}, \text{ год}^{-1}$	K_n	a_t	a_e	$N \cdot \lambda_{0e} \cdot K_n \cdot a_t \cdot a_e \cdot 10^{-6}$
Резистори	15	0,044	0,23	0,2	15	0,46
Конденсатори керамічні	12	0,02	0,2	0,4	15	0,29
Конденсатори електролітичні	3	0,173	0,2	0,2	15	0,31
Кварцеві резонатори	2	0,03	0,8	1	15	0,72
Мікросхеми	7	0,025	1	1,2	15	3,15
Пайка виводу	231	0,000069	1	1	15	0,24
Металізовані отвори	72	0,000017	1	1	15	0,018
Плата друкована	1	0,01	1	1	15	0,15
Сумарна інтенсивність відмов друкованого вузлу						6,83

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \approx 6,83 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1},$$

де λ_{0e} – інтенсивність відмов елементу при нормальних умовах роботи (температура навколишнього середовища $T_{\text{окр.ср}}^{\circ} = 20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, відносна вологість $65 \pm 15\%$);

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{9,56 \cdot 10^{-6}} = 14641,2 \approx 14000 \text{ год}$$

Ймовірність безвідмовної роботи на протязі року:

$$P = e^{-\lambda_p t} = e^{-9,56 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} \approx 0,94$$

Ймовірність відмов на протязі року:

$$Q(t) = 1 - 0,94 = 0,06$$

Графіки ймовірностей відмов і безвідмовної роботи протягом експлуатації наведені на рис. 4.3

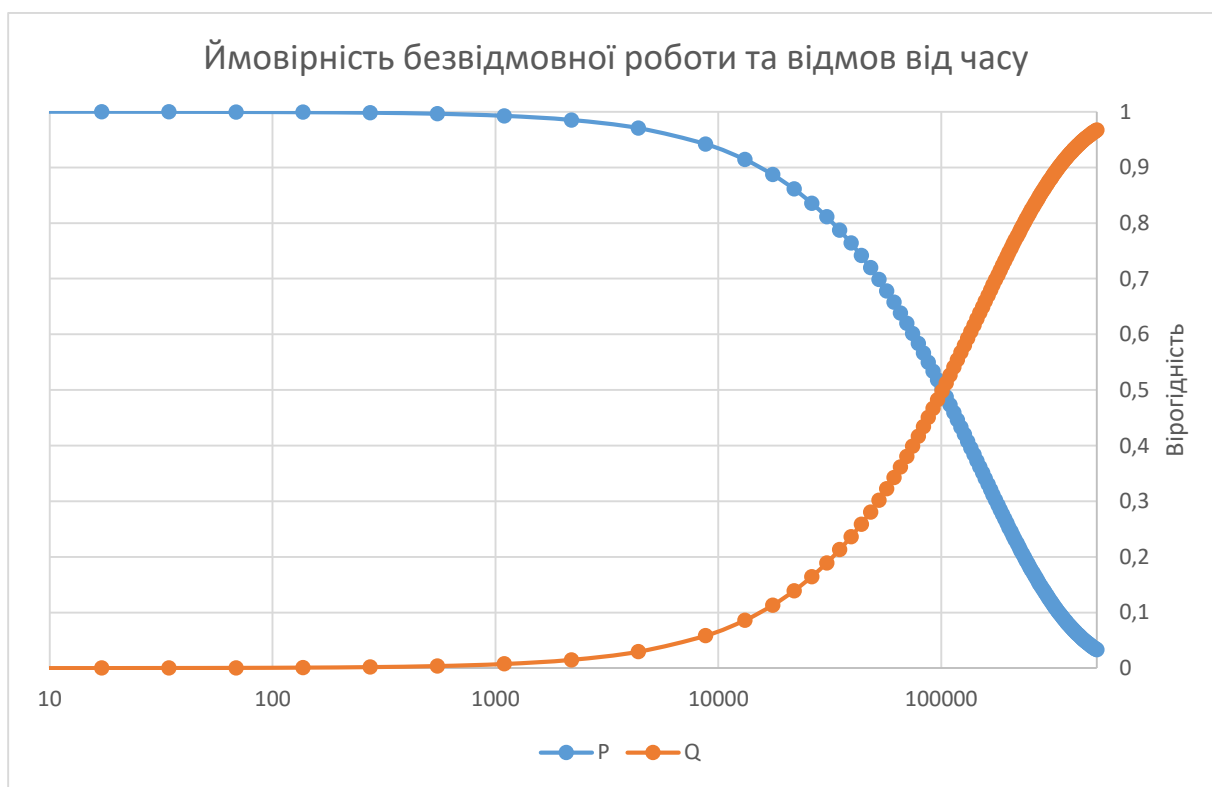


Рис. 4.3 – Графіки залежності ймовірності відмови

4.4 Розрахунок віброміцності друкованого вузла

Для розрахунку віброміцності друкованого вузла потрібно визначити масу всіх елементів та самої плати. Відповідно ці дані занесемо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Маса елементів

Елемент	Кількість	Маса	Сумарна маса
Конденсатори керамічні	12	0,034	0,408
Конденсатори електролітичні	3	0,025	0,75
Резистори	15	0,021	0,315
Мікросхема АТmega328P	1	2	2
Кварцовий резонатор	2	1	2
Діод	2	0,09	0,18
Світлодіоди	6	0,025	0,15
Світлодіод DIP	1	0,5	0,5
Роз'єми	8	2	16
Роз'єм USB	1	2	2
Мікросхема CH340G	1	2	2
Мікросхема TP4056	1	1	1
Мікросхема MX1508	1	2	2
Мікросхема CE8301A	1	0,2	0,2
Мікросхема DW01A	1	0,25	0,25
Мікросхема FS8205A	1	0,6	0,6
Котушка індуктивності	1	10	10
Зумер	1	5	5
Сума			44,603

Отримали, що маса всіх компонентів на платі має вагу 44,6 г.

Масу плати розраховуємо за наступною формулою:

$$m = \rho * S * h \quad (4.19)$$

де S – площа плати, см^2 ;

ρ – питома густина матеріалу, для FR-4 $\rho = 1,7 \text{ г/см}^3$.

Для того, щоб обрахувати площу плати, потрібно розділити її на дві частини: прямокутник та сегмент та додати їх. Площу сегмента знаходимо за формулою 4.20.

$$S = \frac{1}{2} R^2 \left(\frac{\pi \alpha}{180^\circ} - \sin \alpha \right), \quad (4.20)$$

де R – радіус круга;

α – радіус сегменту.

$$S = \frac{1}{2} 17,5^2 \left(\frac{\pi 30}{180^\circ} - \sin 30 \right) = 3,6 \text{ (см}^2\text{)}$$

Площа прямокутника рівна добутку сторін,

$$S = 9 \cdot 6,5 + 3,6 = 62,1 \text{ (см}^2\text{)}$$

$$m = 62,1 \cdot 0,15 \cdot 1,7 = 15,8 \text{ (г);}$$

Основні параметри склотекстоліту FR-4:

- гранична пластичність $\sigma_T = 410 \text{ МПа;}$
- модуль Юнга $E = 3,02 \cdot 10^{10} \text{ Па;}$
- коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,20;$
- показник затухання $\varepsilon = 0,06;$
- питома густина $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3;$
- питома щільність $v = 2,05 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3 ;$
- коефіцієнт запасу міцності $n = 2.$

Спирання на 4 сторони



$$\alpha = \pi^2 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right)$$

Спирання на 3 сторони



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

Спирання на 3 сторони



$$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{1 + 0,43 \cdot \frac{a^2}{b^2}}$$

Жорстке закріплення по 4 сторонам



$$\alpha = 22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,61 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}}$$

Рисунок 4.4 – Варіанти закріплення ДП

Обраний варіант закріплення – жорстке спирання на 4 сторони.

Розрахуємо коефіцієнт K_B :

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_e}{m_{\pi}}}}, \quad (4.21)$$

де m_{π} – маса плати, г; m_e – маса елементів, г.

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{44,6}{15,8}}} = 0,51;$$

Враховуючи обраний варіант закріплення плати, розрахуємо коефіцієнт α :

$$\alpha = 22,37 * \sqrt{1 + 0,61 * \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}}, \quad (4.22)$$

де a – довжина ДП, см; b – ширина ДП, см.

$$\alpha = 22,37 * \sqrt{1 + 0,61 * \frac{9^2}{6,5^2} + \frac{9^4}{6,5^4}} = 54,1;$$

Циліндрична жорсткість визначається за наступною формулою:

$$D = \frac{E \cdot \delta^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)}, \quad (4.23)$$

де E – модуль Юнга; δ – товщина плати, м; μ – коефіцієнт Пуассона.

$$D = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \cdot 0,0015^3}{12 \cdot (1 - 0,2^2)} = 8,85 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

Розрахуємо власну частоту коливань друкованої плати:

$$f = \frac{K_B \cdot \alpha}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{v \cdot \delta}}, \quad (4.24)$$

де g – гравітаційна стала; δ – товщина плати, м.

$$f = \frac{0,51 \cdot 54,1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,09^2} \cdot \sqrt{\frac{8,85 \cdot 9,81}{2,05 \cdot 10^4 \cdot 0,015}} = 288,2 \text{ (Гц)};$$

Розраховане значення перевищує 250 Гц, отже плата задовольняє всі умови по забезпеченню віброміцності, тому не потрібно застосовувати додаткових засобів по забезпеченню жорсткості кріплення.

Висновки до розділу 4

В даному розділі проведено конструкторські розрахунки, що повинні підтвердити правильність прийнятих конструкторських рішень. Зокрема, проведені конструкторсько-технологічний розрахунок, електричний розрахунок та надійність друкованої плати. Провівши дані розрахунки, отримали, що обраного 4 класу точності недостатньо для провідників живлення та землі, тому було прийнято рішення збільшити товщину провідників до 0.25 мм, а для решти компонентів. Електричний розрахунок показав, що плата має паразитну ємність, рівну 26,2 пФ та взаємну індуктивність двох паралельних провідників, рівну 0,13 нГн. Також розраховано падіння напруги на найдовшому провіднику і воно становить 0,044 В, що є в межах 5% і нас це задовольняє. Наступним кроком визначено надійність плати і отримано, що середній час напрацювання до відмови становить близько 14 тис. год і дане значення нас задовольняє. Висока надійність досягнута завдяки використанню інтегральних схем з малою інтенсивністю відмов. Побудовано графік залежності ймовірності відмов і безвідмовної роботи протягом експлуатації. Розрахована вібростійкість плати та отримане значення показує, що не потрібно забезпечувати додаткових кріплень.

					ДК92.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		69

РОЗДІЛ 5. АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ ТА ОПИС ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1 Алгоритм роботи програми

Даний пристрій повинен керувати двигуном за допомогою драйвера двигуна. Перед тим, як подати команду для управління мотором, потрібно визначити куди потрібно рухатися. Для цього в пристрої є система навігації, яка складається із ультразвукового дальноміра, що вимірює відстань до об'єктів спереду робота пілососа та кнопок, які знаходяться на корпусі пристрою і мають спрацьовувати, коли пристрій удариться об предмет, який не бачить дальномір. Також до навігації пристрою відносяться датчики швидкості, які дають можливість розуміти на який кут повернувся пристрій, та завдяки ним буде виконуватися синхронізація правого та лівого колеса. Для написання програми потрібно побудувати блок-схему алгоритму (рис. 5.1).

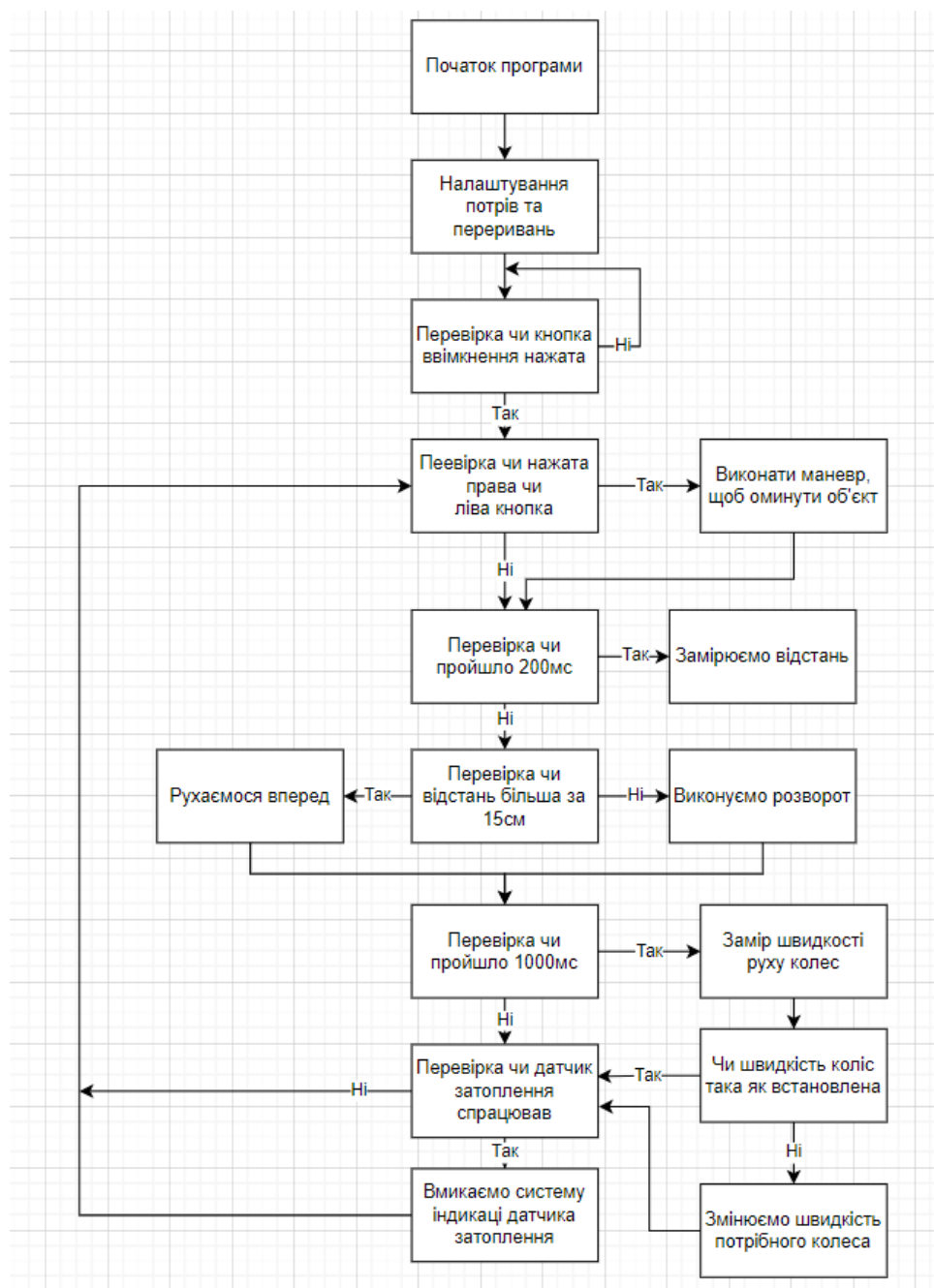


Рисунок 5.1 – Блок схема алгоритму

Згідно з даною блок-схемою, після початку роботи програми очікуємо на натискання кнопки, яка повинна запустити процес роботи програми. Далі виконуємо перевірку чи не натиснута ліва та права кнопка на корпусі робота пілососа, якщо кнопка натиснута, то виконуємо маневр і оминаємо об'єкт. Якщо кнопка не натиснута, то переходимо до наступної частини програми та перевіряємо чи пройшло 200 мс та виконуємо вимір відстані. Вимірявши

відстань, ми порівнюємо її із 15 см. Якщо виміряна відстань менша за 15 см, це свідчить про те, що попереду робота пилососа знаходиться об'єкт і ми виконуємо розворот на 180 градусів, а якщо відстань більша за вказану, то ми рухаємося вперед. Для того, щоб пристрій виконував рух по прямій лінії, додано функцію, яка проводить замір швидкості кожного двигуна та якщо вона відрізняється від потрібної, то змінюємо її. Далі мікроконтролер опитує чи не спрацював датчик затоплення і якщо він спрацював, подаємо періодичний сигнал на зумер і світлодіод та після переходимо в початок програми.

В мікроконтролері ATmega328P є можливість використання переривань на портах PD2 та PD3, тому було б доцільно використати ці переривання для того, щоб рахувати сигнали, які відправляє датчик швидкості на лівому та правому колесі. Під час переривань додаємо по одиниці до змінних, в яких зберігається значення кількості обертів колеса. На один оберт колеса мікроконтролер повинен отримати від датчика відстані 20 сигналів – це і використовуємо для того, щоб виконати поворот робота на потрібний кут.

5.2 Опис програмного коду по блоках

В попередньому пункті провели загальний опис того, як повинна працювати програма; перейдемо до більш детального пояснення основних блоків програми. Програма написана мовою C++ за допомогою Arduino IDE та з використанням стандартних функцій.

Налаштування портів та переривань наведено на рис. 5.2.

```
//налаштовуємо порти
pinMode(Trig, OUTPUT); // на вхід дальноміра
pinMode(Echo, INPUT); // на вихід дальноміра
pinMode(buttonLeftPin, INPUT_PULLUP); // ліва кнопка на корпусі, підтяжка до живлення
pinMode(buttonRightPin, INPUT_PULLUP); // права кнопка на корпусі
pinMode(motor1a, OUTPUT); // встановлюємо на вихід для драйвера двигуна
pinMode(motor2a, OUTPUT);
pinMode(motor1b, OUTPUT);
pinMode(motor2b, OUTPUT);
Serial.begin(9600);

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(speadSensorLeft), countPulseLeft, RISING);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(speadSensorRight), countPulseRight, RISING);
```

Рис. 5.2 – Налаштування портів та переривань

За допомогою даної функції pinMode() встановлюється порт або на ввід, або на вивід даних. На більш низькому рівні дана функція записує значення в регістр DDRx (Data Direction Register x – це назва регістру)[13], даний регістр наведений на рис. 5.3. Для того, щоб переривання спрацьовували по передньому фронту, в функції задано параметр RISING.

13.4.3 DDRB – The Port B Data Direction Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x04 (0x24)	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	DDRB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Рисунок 5.3 – Регістр направлення даних

Визначення відстані за допомогою ультразвукового дальноміра.

Для того щоб визначити відстань до об'єкта, потрібно на вхід Trig дальноміра подати високий рівень тривалістю 10 мкс. І між вимірюваннями бажано почекати не менше 50 мкс. Потім на виході Echo з'явиться логічна 1 на час пропорційний відстані до об'єкта. Часова діаграма роботи пристрою представлена на рис. 5.4 [14].

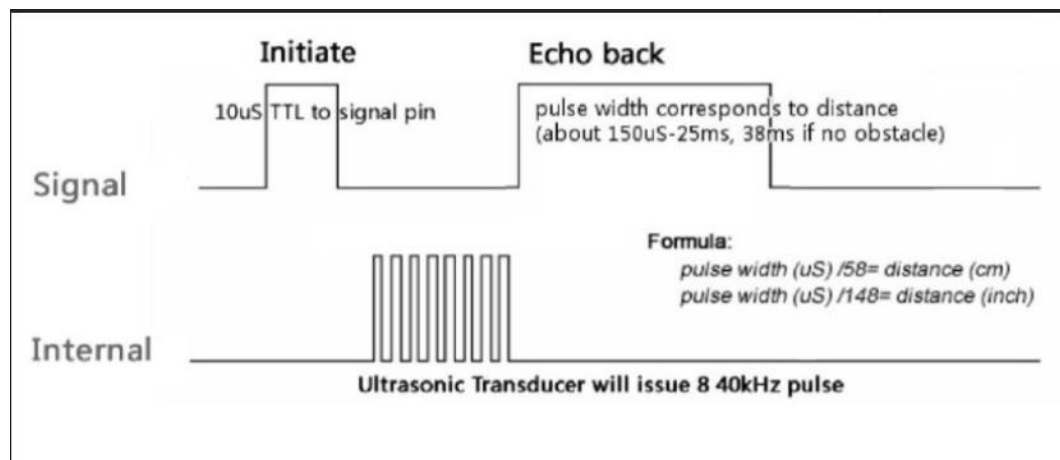


Рисунок 5.4 – Часові діаграми роботи HC SR04

Отримавши сигнал на вході, нам потрібно визначити тривалість даного сигналу і поділити дане значення на 58, щоб перевести в см, згідно з формулою 5.1.

$$d = t * V = \frac{t * 0,036 \frac{\text{см}}{\text{мкс}}}{2} \approx \frac{t}{58}, \quad (5.1)$$

де t – тривалість високого логічного рівня, V – швидкість розповсюдження звукової хвилі у повітрі.

За допомогою функцій Arduino виконуємо необхідні дії, програма наведена на рис. 5.5.

```
digitalWrite(Trig, HIGH);
delayMicroseconds(10); // 10 мікросекунд подаємо високий рівень
digitalWrite(Trig, LOW);
impulseTime = pulseIn(Echo, HIGH); // замірюємо довжину імпульса
distanceCantimetr = impulseTime / 58; // передодимо значення в сантиметри
timeDistanceMode = millis();
```

Рисунок 5.5 – Програма для визначення відстані

Встановлення високого або низького значення на порті відбувається за допомогою функції `DigitalWrite()`, дана функція записує 1 або 0 до регістру `PORTx`, де x потрібний порт. Для того щоб подати значення на вихід `Trig` на 10 мкс, використовуємо функцію `delayMicroseconds()`.

Обробка переривань

Переривання використовуються в нашому випадку для того, щоб не пропускати потрібні моменти часу через виконання програми, а саме обертання колеса. Після того, як на порті PD2 чи PD3 з'явиться 1, спрацює обробник переривань і викликається функція countPulseRight(), функції обробки переривань наведено на рис. 5.6.

```
void countPulseLeft() // лічильник лівого колеса
{
    pulseCountLeft++;
}

void countPulseRight() // лічильник правого колеса
{
    pulseCountRight++;
}
```

Рисунок 5.6 – Функція переривання

Дана функція повинна бути короткою для того щоб підчас виконання безпосередньо переривань, не пропустити іншу важливу подію. В цій функції ми додаємо 1 до змінної pulseCountRight і розуміємо, що колесо обернулося на 1/20 оберту. Аналогічне переривання для лівого колеса. Дану функцію оголошено як volatile для того щоб вказати компілятору, що функція може бути змінена за межами основної програми.

Керування драйвером двигуна

Для того щоб керувати двигуном, потрібно подати на вхід драйвера двигуна відповідні сигнали як у таблиці 5.1 [15].

Таблиця 5.1 – Керування двигуном

	Двигун 1		Двигун 2	
	IN1	IN2	IN3	IN4
Вперед	HIGH/PWM	LOW	HIGH/PWM	LOW

Продовження табл. 5.1

Назад	LOW/PWM	HIGH	LOW/PWM	HIGH
Холостий	LOW	LOW	LOW	LOW
Тормоз	HIGH	HIGH	HIGH	HIGH

Відповідно до даної таблиці, для руху робота пирососа вперед потрібно подати відповідні сигнали (рис.5.7).

```
void forward()
{
    digitalWrite(motor1a, LOW);
    analogWrite(motor2a, speedR);
    digitalWrite(motor1b, LOW);
    analogWrite(motor2b, speedL);
}
```

Рисунок 5.7 – Керування двигуном

Для того щоб двигун рухався не з максимальною швидкістю, а з потрібною, на вхід драйвера подаємо аналоговий сигнал потрібної величини. Для цього використовуємо функцію analogWrite().

Датчик затоплення

Датчик затоплення являє собою контакт, який підключено до аналогового входу мікроконтролера. Коли на даному вході з'явиться сигнал – це означає, що його контакти замкнулися через воду. Після чого подаємо сигнал на порт PD4 із частотою 1 с. До даного порту підключені світлодіод і зумер, що дозволить сповістити про небезпеку.

5.3 Перевірка працездатності виробу

Для перевірки роботи пристрою зібрано тестовий стенд (рис. 5.8) на основі Arduino Uno, так як даний мікроконтролер на базі ATmega328P. В якості двигунів використано двигуни 3-6 В із понижуючим редуктором. В якості платформи використано робо-платформу[16], що дозволило зручно зафіксувати мотор-колеса. Даний пристрій виконує рух по кімнаті та оминає об'єкти. Так як даний

пристрій не має корпусу, то сформовано ричаги, які натискають на кнопку під час ударів об предмети збоку.

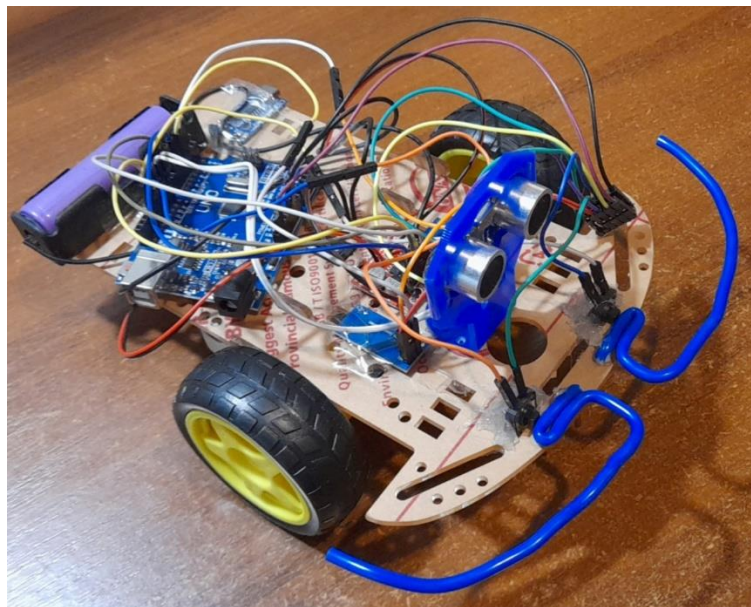


Рисунок 5.8 – Тестовий стенд робота пилососа

Висновок до розділу 5

В даному розділі наведено опис програмного коду для системи керування робота пилососа. Для демонстрації роботи програми побудовано блок-схему алгоритму та коротко пояснено принцип роботи. Створене програмне забезпечення мовою C в програмному середовищі ArduinoIDE. Створену систему керування перевірено на практиці на зібраному макеті. Пристрій виконує задані в технічному завданні функції.

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проєкті спроектовано систему керування роботом пилососом, яка забезпечує орієнтування в просторі та керування двигуном. Пристрій має датчик затоплення та систему індикації даного датчика, чим відрізняється від подібних пристроїв. Проєкт реалізовано на мікроконтролері ATmega328P. Створена система керування відповідає вимогам, поставленим у технічному завданні. Пристрій має власну систему навігації, забезпечено живлення від акумулятора, розроблено блок керування двигуном. Для попередження затоплення пристрій оснащений датчиком вологи та блоком індикації.

У першому розділі розглянуто принцип роботи робота пилососа, системи навігації, що застосовуються у сучасних пристроях. Проведено аналіз ринку та досліджено аналоги даного пристрою, після чого визначено функції системи керування роботом. Поставлено завдання створення системи керування з подальшою її перевіркою на тестовій платформі. Визначено етапи проєктування.

У другому розділі запропоновано структурну схему системи керування. На основі даної схеми сформовано перелік блоків, з яких складається система. Наступним кроком здійснено вибір елементної бази із детальним аналізом та побудовою матриці параметрів під час вибору драйвера двигуна. Розроблена схема електрична принципова із поясненням, яку функцію виконує кожна її складова. Сформовано креслення схеми електричної принципової ДК92.468332.001ЕЗ.

У третьому розділі виконано кроки проєктування друкованого вузла. Обрано двосторонній тип плати. В якості матеріалу для ДП використано текстоліт FR4, обрано клас точності 4. Для проєктування друкованого вузла створено бібліотеку умовно-графічних позначень та посадкових місць за

допомогою програмного забезпечення Altium Designer. Розроблено складальне креслення ДК92.750706.001СК та креслення друкованої плати ДК92.758725.001ДП.

У четвертому розділі представлено конструкторські розрахунки, що підтверджують правильність прийнятих конструкторських рішень. Виконані конструкторсько-технологічні розрахунки та електричний розрахунок. В результаті аналізу з'ясовано, що для провідників землі та живлення необхідно збільшити ширину до 0.25 мм. Розраховано надійність плати та отримано середній час напрацювання до відмови 14 тис. год, що показує високу надійність плати та правильність прийняття конструкторських рішень. Розрахунки віброміцності показали, що плата має надійне кріплення.

У п'ятому розділі дипломного проекту розроблено програмну частину на базі створеної блок-схеми алгоритму. Описано основні блоки програми, код якої написано мовою програмування C. Створено тестовий макет на основі Arduino Uno та підтверджено працездатність системи керування робота пилососа.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Slam навігація [електронний ресурс] – 2023 – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/SLAM>
2. Інформація про системи навігації [електронний ресурс] – 2023 – Режим доступу до ресурсу: <https://okami.group/all-about-navigation#:~:text>
3. Інформація про перший робот пилосос [електронний ресурс] – 2023 – Режим доступу до ресурсу: <https://robot-store.com.ua/istoriya-sozdaniya-robotov-pylesosov/>
4. Інформація про робот пилосос Xiaomi [електронний ресурс] – 2023 – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mi.com/ru/product/xiaomi-robot-vacuum-s10/>
5. Двигун постійного струму 3-6 В [електронний ресурс] – 2023 – Режим доступу до ресурсу: <https://myproject.com.ua/dvigun-motor-postijnogo-strumu-3-6v-ua>.
6. Характеристики MX1508 [електронний ресурс] – 2023 – Режим доступу до ресурсу: <https://evse.com.ua/ua/drajver-dvigatelya-2-kan-h-most-mx1508->
7. L298N [електронний ресурс] – 2023 – Режим доступу до ресурсу: <https://myproject.com.ua/l298n-drajver-dviguna-ua.html?gclid=>
8. L9110S [електронний ресурс] – 2023 – Режим доступу до ресурсу: <https://freedelivery.com.ua/ua-arduino>
9. Підвищуючий модуль DC-DC [електронний ресурс] – 2023 – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/prod3940>
10. FC04 [електронний ресурс] – 2023 – Режим доступу до ресурсу: <https://electronica.in.ua/ua>
11. Документація на CH340G [електронний ресурс] – 2023 – Режим доступу до ресурсу: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/1132602/WCH/CH340/127/2/CH340.html>

ДК92.468332.001 ПЗ

Лист

80

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

12. Фізико-теоретичні основи проєктування радіоелектронної апаратури.
[Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172
«Телекомунікації та радіотехніка» В. Г. Губар, І. О. Адаменко; КПІ ім.
Ігоря Сікорського. – Електронні текстові – Київ : КПІ ім. Ігоря
Сікорського, 2020. – 221 с. – Режим доступу до ресурсу:–
https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/34778/1/posibnik_gubar-adamenko-latest.pdf
13. Документація до мікроконтролера ATmega328p [електронний ресурс] –
2023 – Режим доступу до ресурсу:
https://ww1.microchip.com/ATmega328P_Datasheet.pdf
14. MX1508 [електронний ресурс] – 2023 – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.watelectronics.com/mx1508-dc-motor-driver/>
15. Принцип роботи робота пилососа [електронний ресурс] – 2023 – Режим
доступу до ресурсу: <https://controllerstech.com/hcsr04-ultrasonic-sensor-and-stm32/>
16. Робоча платформа [електронний ресурс] – 2023 – Режим доступу до
ресурсу: <https://arduino.ua/ru/prod228>

ДОДАТОК А

Технічне завдання на проектування

1. Найменування та галузь використання

Система керування роботом пилососом. Даний пристрій використовується у побуті для автоматичного прибирання бруду та пилу.

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» від 24.05.2023 р.

3. Мета і призначення розробки

Створення системи керування роботом пилососом з подальшим її тестуванням на макеті повністю автономного пристрою з керованим двигуном і власною системою навігації.

4. Технічні вимоги

4.1 Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється

Система керування складається із системи навігації, блоку обробки даних, блоку керування двигуном, автономного джерела живлення, блоку зарядки, датчика затоплення та блоку індикації. Для взаємодії мікроконтролера із периферією використовуються роз'єми.

4.2 Показники призначення

Пристрій повинен мати систему навігації, керувати двигуном, мати датчик затоплення та бути повністю автономним.

4.3 Вимоги до надійності

Середній час напрацювання на відмову не менше 10000 годин.

4.4 Вимоги до технологічності

Орієнтовані на передові прийоми виготовлення деталей і складання.

4.5 Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації

Для виготовлення системи передбачається застосування стандартних, уніфікованих деталей та виробів.

4.6 Вимоги безпеки обслуговування

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

4.7 Вимоги до складових частин виробу, сировини, вихідних і експлуатаційних матеріалів

Для виробництва використовувати матеріали імпортного виробництва, або їх аналоги вітчизняного виробництва.

4.8 Умови експлуатації

Кліматичне виконання УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150-69.

4.9 Вимоги до транспортування і зберігання

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Зберігати в опалювальних та вентильованих складах, сховищах з кондиціонуванням повітря, розташованих в будь-яких макрокліматичних районах, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря +5...+40С, відносна вологість повітря 60% при 20°С (середньорічне значення), атмосферний тиск 84...106 кПа.

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

5. Результати роботи

Результати даної роботи можуть бути використані як вихідна документація для створення прототипу пристрою, його програмування, налагодження й подальшого впровадження в серійне виробництво.

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

6. Робота повинна містити в собі документи

- пояснювальну записку (формату А4, до 90 аркушів);
- схему електричну принципову та перелік елементів (формату А1, А1 відповідно) ;
- складальне креслення плати та специфікацію (формату А1, А4 відповідно);
- креслення друкованої плати (формату А1);
- додатки (формату А4).

7. 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.

8. Економічні показники

В умовах даного проекту не розглядаються.

9. Етапи розробки

п/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту
	Аналіз технічного завдання	24.03.23-30.03.23
	Вибір елементної бази та друкованої плати	31.03.23-8.04.23
	Схемотехнічне проектування	9.04.23-18.04.23
	Виконання креслень схеми електричної принципової	19.04.23-25.04.23
	Конструкторсько-технологічні розрахунки	26.04.23-3.05.23
	Електричний розрахунок друкованої плати	4.05.23-8.05.23
	Розрахунок віброміцності та надійності друкованої плати	9.05.23-13.05.23
	Проектування у Altium Designer	14.05.23-18.05.23
	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	19.05.23-29.05.23
0	Оформлення пояснювальної записки	30.05.23-12.06.23

ДОДАТОК Б

Текст програми мікроконтролера

```
#define Trig 8
#define Echo 9
#define motor1a 5 // R motor
#define motor2a 6
#define motor1b 10 // L motor
#define motor2b 11
#define buttonLeftPin 12 // Порт кнопки, яка повинна спрацювати при ударі лівої частини
#define buttonRightPin 13 // Порт кнопки, яка повинна спрацювати при ударі правої частини
#define speedSensorLeft 2 // Порт лічильника імпульсів лівого колеса
#define speedSensorRight 3 // Порт лічильника імпульсів правого колеса

int speedR = 165;
int speedL = 127;
int state_motor = 1;
int way = 1; // змінна, яка показує в яку сторону потрібно повертати для розворота ( 1 - вліво, 2 - вправо)
int impulseTime; // час імпульса на дальномірі
int distanceCantimetr = 30; // відстань до об'єкта в сантиметрах
volatile int pulseCountLeft = 0; // змінна в якій лічильник записує кількість імпульсів на лівом колесі
volatile int pulseCountRight = 0; // правого колеса
unsigned long currentTime = 0;
unsigned long timeDistanceMode = 0; // змінна для в якій зберігається поточний час програми для дальноміра
float rpmL = 0.0; // швидкість лівого колеса
float rpmR = 0.0; // швидкість лівого колеса
float t, n1, n2 = 0;
float rpm = 32;
```

```

void setup()
{
    //налаштовуємо порти
    pinMode(Trig, OUTPUT); // на вхід дальноміра
    pinMode(Echo, INPUT); // на вихід дальноміра
    pinMode(buttonLeftPin, INPUT_PULLUP); // ліва кнопка на корпусі, підтяжка до
ЖИВЛЕННЯ
    pinMode(buttonRightPin, INPUT_PULLUP); // права кнопка на корпусі
    pinMode(motor1a, OUTPUT); // встановлюємо на вихід для драйвера двигуна
    pinMode(motor2a, OUTPUT);
    pinMode(motor1b, OUTPUT);
    pinMode(motor2b, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);

    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(speadSensorLeft), countPulseLeft, RISING);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(speadSensorRight), countPulseRight, RISING);

}

void loop()
{
    if (digitalRead(buttonLeftPin) == LOW)
    {
        shockLeftButton();
    }

    if (digitalRead(buttonRightPin) == LOW)
    {
        shockRightButton();
    }
}

```

```
}
```

```
if (millis() > timeDistanceMode + 200) // проводимо замір кожні 200 мілісекунд
```

```
{
```

```
    distanceMeas();
```

```
}
```

```
if (millis() > currentTime + 1000) // замір швидкості
```

```
{
```

```
    speedMode;
```

```
}
```

```
if (distanceCantimetr > 15) // якщо відстані більша за 15см
```

```
{
```

```
    forward();
```

```
}
```

```
else // якщо відстані менше рівна 15см
```

```
{
```

```
    stopmode();
```

```
    delay(400);
```

```
    backward();
```

```
    stopmode();
```

```
    delay(400);
```

```
    if (way == 1) // розворот наліво
```

```
{
```

```
    reversalL();
```

```

    }

    else if (way == 2) // поворот направо
    {
        reversalR();
    }
    pulseCountRight = 0;
    pulseCountLeft = 0;

}

}

void forward()
{
    digitalWrite(motor1a, LOW);
    analogWrite(motor2a, speedR);
    digitalWrite(motor1b, LOW);
    analogWrite(motor2b, speedL);
}

void backward()
{
    pulseCountLeft = 0;
    while (pulseCountLeft < 10)
    {
        analogWrite(motor1a, speedR);
        digitalWrite(motor2a, LOW);
        analogWrite(motor1b, speedL);
        digitalWrite(motor2b, LOW);
    }
}

```

```
}  
}
```

```
void stopmode()  
{  
    digitalWrite(motor1a, LOW);  
    digitalWrite(motor2a, LOW);  
    digitalWrite(motor1b, LOW);  
    digitalWrite(motor2b, LOW);  
}
```

```
void shockLeftButton()  
{  
    backward();  
    stopmode();  
    delay(200);  
    turnRight();  
    stopmode();  
    distanceMeas();  
    if (distanceCantimetr > 15)  
    {  
        pulseCountLeft = 0;  
        while (pulseCountLeft < 10)  
        {  
            forward();  
        }  
    }
```

```
    turnLeft();  
    stopmode();  
    delay(100);  
    pulseCountLeft = 0;
```

```

while (pulseCountLeft < 10)
{
    forward();
}
turnLeft();
stopmode();
distanceMeas();
if (distanceCantimetr > 15)
{
    pulseCountLeft = 0;
    while (pulseCountLeft < 10)
    {
        forward();
    }

    turnRight();
    stopmode();
    delay(100);
}

}
}

```

```

void shockRightButton()
{
    backward();
    stopmode();
    delay(200);
    turnLeft();
    stopmode();
}

```

```

distanceMeas();
if (distanceCantimetr > 15)
{
    pulseCountRight = 0;
    while (pulseCountLeft < 10)
    {
        forward();
    }

    turnRight();
    stopmode();
    delay(100);
    pulseCountRigt = 0;
    while (pulseCountRight < 10)
    {
        forward();
    }
    turnRight();
    stopmode();
    distanceMeas();
    if (distanceCantimetr > 15)
    {
        pulseCountRight = 0;
        while (pulseCountRight < 10)
        {
            forward();
        }
        turnLeft();
        stopmode();
        delay(100);
    }
}

```

```
}  
}
```

```
void turnLeft() // поворот наліво на 45
```

```
{  
    pulseCountRight = 0;  
    while (pulseCountLeft < 10)  
    {  
        digitalWrite(motor1a, LOW);  
        analogWrite(motor2a, speedR);  
        digitalWrite(motor1b, LOW);  
        digitalWrite(motor2b, LOW);  
    }  
    pulseCountRight = 0;  
}
```

```
void turnRight() // поворот направо на 45
```

```
{  
    pulseCountLeft = 0;  
    while (pulseCountLeft < 10)  
    {  
        digitalWrite(motor1a, LOW);  
        digitalWrite(motor2a, LOW);  
        digitalWrite(motor1b, LOW);  
        analogWrite(motor2b, speedL);  
    }  
    pulseCountLeft = 0;  
}
```

```
void distanceMeas()
{
    digitalWrite(Trig, HIGH);
    delayMicroseconds(10); // 10 мікросекунд подаємо високий рівень
    digitalWrite(Trig, LOW);
    impulseTime = pulseIn(Echo, HIGH); // замірюємо довжину імпульса
    distanceCantimetr = impulseTime / 58; // передодимо значення в сантиметри
    timeDistanceMode = millis();
}
```

```
void countPulseLeft() // лічильник лівого колеса
{
    pulseCountLeft++;
    // Serial.print("L - ");
    // Serial.println(pulseCountLeft);

}
```

```
void countPulseRight() // лічильник правого колеса
{
    pulseCountRight++;
    // Serial.print("R - ");
    // Serial.println(pulseCountRight);

}
```

```
void speedMode() // функція заміру швидкості колеса та їх синхронізація при русі
вперед
{
    t = (millis() - currentTime);
    n1 = pulseCountLeft;
    n2 = pulseCountRight;
```

rpmL = (n1 / t) * 1000; // Обчислюємо швидкість в км/год (припускаємо, що один імпульс відповідає 2.25 км/год)

rpmR = (n2 / t) * 1000;

if (rpmL > rpm)

{

speedL--;

}

else if (rpmL < rpm)

{

speedL++;

}

if (rpmR > rpm)

{

speedR--;

}

else if (rpmR < rpm)

{

speedR++;

}

/*

Serial.print(" t - ");

Serial.print(t);

Serial.print(" N - ");

Serial.print(n1);

Serial.print(" SpeedL: ");

Serial.print(rpmL);

Serial.println(" km/h");

Serial.print(" t - ");

```

    Serial.print(t);
    Serial.print(" N - ");
    Serial.print(n2);
    Serial.print(" SpeedR: ");
    Serial.print(rpmR);
    Serial.println(" km/h");

    */

    pulseCountLeft = 0;
    pulseCountRight = 0;
    currentTime = millis();
}

void reversalL()
{
    pulseCountRight = 0;
    while (pulseCountRight < 40)
    {
        //turnLeft;
        digitalWrite(motor1a, LOW);
        analogWrite(motor2a, speedR);
        digitalWrite(motor1b, LOW);
        digitalWrite(motor2b, LOW);

    }
    way = 2;
    stopmode();
    delay(400);
}

void reversalR()

```

```
{  
  pulseCountLeft = 0;  
  while (pulseCountLeft < 40)  
  {  
    //turnRight;  
    digitalWrite(motor1a, LOW);  
    digitalWrite(motor2a, LOW);  
    digitalWrite(motor1b, LOW);  
    analogWrite(motor2b, speedL);  
  
  }  
  way = 1;  
  stopmode();  
  delay(400);  
}
```