

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

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

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

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра**

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

на тему Система керування периферією

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-51
Леонов Дмитро Владиславович
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник проф. Редько І.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

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

_____ (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ - 2019 року

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

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

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Леонову Дмитру Владиславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Блок керування периферією по мережі Wi-Fi
керівник проекту Редько Ігор Володимирович, професор
затверджені наказом по університету від 27.05.2019 року №1405-с
2. Термін подання студентом проекту 12 червня 2019 року
3. Вихідні дані до проекту Пристрій являє собою моноблочну конструкцію, кліматичне виконання УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150-69. Пристрій повинен забезпечувати з'єднання по мережі Wi-Fi, прийняття інформаційних сигналів, їх обробку та застосовувати можливості доступної периферії відносно прийнятих команд.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

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

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

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

6. Дата видачі завдання 12.03.19

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання Дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	16.03.19-26.03.19	виконано
2	Вибір елементної бази та друкованої плати	26.03.19-02.04.19	виконано
3	Схемотехнічне проектування	02.04.19-09.04.19	виконано
4	Виконання креслень схеми електричної принципової	09.04.19-23.04.19	виконано
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	23.04.19-30.04.19	виконано
6	Електричний розрахунок друкованої плати	30.04.19-07.05.19	виконано
7	Розрахунок віброміцності друкованої плати	07.05.19-14.05.19	виконано
8	Проектування у Altium Designer	14.05.19-21.05.19	виконано
9	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	21.05.19-28.05.19	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	28.05.19-12.06.2019	Виконано

Студент _____
(підпис)

Керівник проекту _____
(підпис)

Леонов Д.В.
(прізвище та ініціали)

Редько І.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Роботу викладено на 55 сторінках, вона містить 5 розділів, 19 ілюстрацій, 7 таблиць та 18 джерел в переліку посилань.

Об'єктом розробки стала система керування периферією по мережі Wi-Fi.

Предмет роботи – канал зв'язку по мережі Wi-Fi між приладом та керуючим терміналом, реалізація керування зовнішньою периферією, що представлена 4 моторами постійного струму, звуковим модулем та залишити можливість підключення додаткових пристроїв.

Метою даної роботи є розробка такого пристрою, що буде керувати підключеною до нього периферією на великих відстанях через мережу Wi-Fi, а саме: чотирма двигунами постійного струму, звуковим модулем, та пристроями, що підтримують інтерфейси I2C та SPI. Пристрій працює на базі контролера STM32F407VET6.

У першому розділі сформовано уявлення про конструктивні та структурні рішення, характеристики та параметри розроблюваного пристрою керування периферією.

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

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

У четвертому розділі виконано розрахунки, що підтверджують працездатність схеми.

У п'ятому розділі розроблено програмне забезпечення (ПЗ) для керування периферією по мережі Wi-Fi.

ABSTRACT

The work is presented on 55 pages, it contains 5 sections, 19 illustrations, 7 tables and 18 sources in the list of references.

The object of development was the network peripheral management system Wi-Fi.

The subject of the work is to establish a communication channel over the Wi-Fi network between the device and the control terminal, the implementation of control of the external peripheral, represented by 4 DC motors, the audio module and leave the possibility of connecting additional devices.

The purpose of this work is to develop a device that will control the peripheral connected to it over long distances through the Wi-Fi network, namely: four DC motors, a sound module, and devices supporting the I2C and SPI interfaces. The device operates on the basis of the controller STM32F407VET6. In the first section formed the idea of constructive and structural solutions, characteristics and parameters of the developed peripheral control device.

In the second section the structural scheme, the circuit diagram of electrical principles, the calculation of the circuit of the electric principle, which confirms the correctness of the circuit design is developed.

In the third section, the analysis of classes of accuracy, types and materials of the DP.

In the fourth section, the calculations, which confirm the efficiency of the scheme, are performed.

In the fifth section, software is developed for controlling the periphery over the Wi-Fi network.

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: **Система керування периферією**

Київ – 2019 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів	3
ВСТУП	4
Розділ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	6
1.1. Аналіз периферії та адаптивності системи.....	6
1.2. Обґрунтування елементної бази.....	8
Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ.....	11
2.1. Розробка структурної схеми та принцип роботи модулю.....	11
2.2. Розробка схеми електричної принципової.....	13
Розділ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ.....	20
3.1. Вибір типу, матеріалу друкованих плат.....	20
3.2. Вибір класу точності.....	21
3.3. Вибір методу виготовлення ДП.....	22
3.4. Розміщення компонентів та розводка ДП.....	23
3.5. Розробка блока керування у Altium Designer.....	24
Розділ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ.....	28
4.1. Виконання конструкторсько-технологічного розрахунку елементів ДМ.....	28
4.2. Електричний розрахунок ДП.....	33
4.3. Розрахунок надійності ДВ.....	35
4.4. Розрахунок віброміцності ДП.....	40
Розділ 5. ПРОГРАМУВАННЯ ПРИСТРОЮ.....	44
5.1. Робота драйвера моторів L298P.....	44

<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
<i>Розробив</i>		<i>Леонав Д.В.</i>		
<i>Перевірів</i>		<i>Дячук О.В.</i>		
<i>Реценз.</i>				
<i>Н. Контр.</i>		<i>Лисенко О.І.</i>		
<i>Затвердив</i>		<i>Редько І.В.</i>		
<i>Система керування периферією.</i>				
<i>Пояснювальна записка</i>				
		<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркцифр</i>
		1	1	55
<i>НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського», ФЕЛ, гр. ДК-41</i>				

5.2	Робота звукового модуля.....	45
5.3	Робота контролера Wi-Fi	48
	ВИСНОВКИ.....	55
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	52
	Додаток А Технічне завдання на проектування	
	Додаток Б Лістинг програмного коду	
	Додаток В Плата. Специфікація	
	Додаток Г Система керування периферією. Перелік елементів	
	Додаток Д Акт впровадження у виробництво	

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

МК – мікроконтролер

ДП – друкована плата

ДМ – друкований монтаж

ДВ – друкований вузол

КЕ – конструктивні елементи

ПК – персональний комп'ютер

ПМ – посадкове місце

ШИМ, PWM – широтно-імпульсна модуляція

PLL – Phaze-locked loop

САПР – система автоматизованого проектування.

УГП – умовно-графічне позначення

ПЗ – програмне забезпечення

КП – керування периферією

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

Необхідність перебування оператора в безпосередній близькості до об'єкту керування (промисловий верстак, принтери 3Д друку, автоматизовані лінії збору приладів і т.д.), обумовлена обмеженням можливостей сучасної апаратури, або недостатнім радіусом бездротового керування та необхідністю забезпечувати візуальний контроль приладів, що не можливо виконати на великих відстанях, або без передачі візуальної інформації оператору. Це може приводити до підвищення рівня небезпеки життя працівника та ускладнення його роботи. До того ж, щоб керувати складними пристроями, потрібно налагодити управління великою кількістю різноманітних контролерів, що ще більше ускладнює роботу оператора та підприємства в цілому.

Із існуючих приладів можна відмітити універсальний прибор УС-2.15М, що призначений для керування електродвигунами та має можливість зміни режиму керування ними. Його недоліками є відсутність бездротового інтерфейсу керування та невеликий клас завдань, що може вирішувати пристрій. Можна розглянути пристрій SS-8839-02, що представляє собою реле кероване по мережі Wi-Fi, у ньому вирішується проблема керування, проте великою проблемою є те, що він має один керуючий вихід з двома станами: працює або не працює.

Жоден з вищезазначених приладів не здатен вирішити проблему необхідності перебування оператора поряд з об'єктом керування, тому рішенням цієї задачі може бути прилад, що поєднує в собі можливість керувати достатньою кількістю периферії, та мати доступ до мережі віддаленого доступу для управління пристроями та можливості спостереження за ними. Цей прилад може бути частиною системи, що в загальному являє собою множину взаємопов'язаних блоків, які утворюють одне ціле, взаємодіють між собою і мають за мету керування зовнішньою периферією. Множина блоків складається з блоку управління, виконавчого блоку та блоку підключеної периферії, що показані на Рисунку 1.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

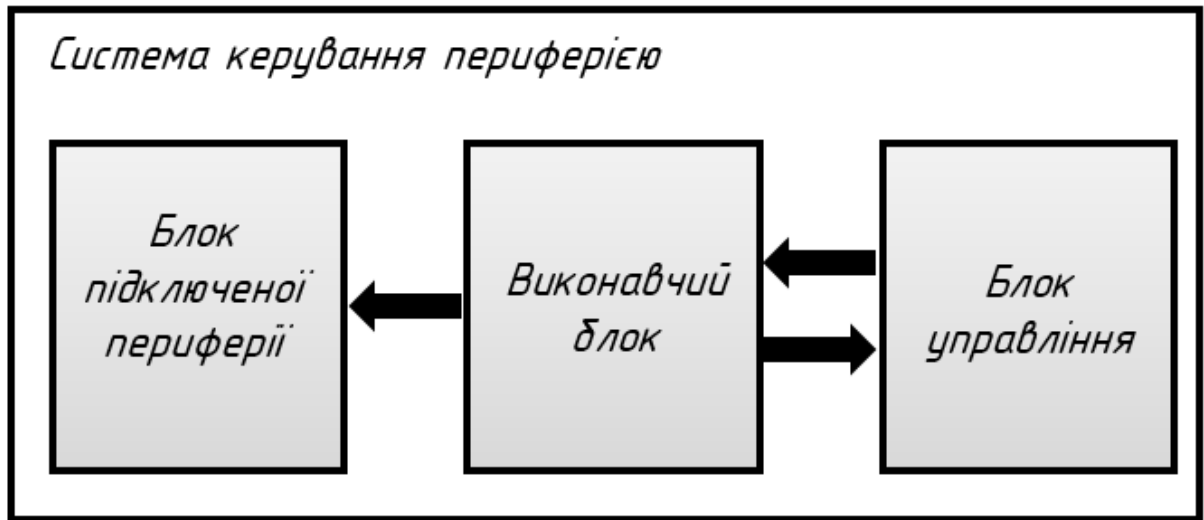


Рисунок 1. Система керування периферією

Блок управління являє собою керуючий термінал, що надсилає керуючі команди. Виконавчий блок – контролер, що приймає команди, реагує на них та керує блоком підключеної периферії. Контролери периферії призначенні для зручного керування різними типами двигунів, пристроями індикації та звуковими модулями. Контролер повинен приймати команди по доступному інтерфейсу та відповідно реагувати на них. Система керування периферією орієнтована на підтримку вирішення однотипних завдань та подальшого модифікування для розширення можливостей. В залежності від прийнятої інструкції, система КП використовує доступну периферію для вирішення поставленої задачі.

Система дозволяє використовувати двигуни, звукові модулі та інші прилади на великих відстанях від оператора. Якщо розглядати задачу керування багатьма модулями через окремо виділені інтерфейси керування для кожного приладу, то підвищується складність управління модулями. Тому доцільно створити пристрій, що дозволяє керувати багатьма модулями та керується через один інтерфейс. Можливість керувати багатьма видами периферії дозволяє вирішувати широкий клас завдань, що робить систему в цьому плані адаптивною.

Важливою рисою створюваної системи є те, що вона орієнтована на управління не одним периферійним пристроєм, а на доволі широкий їх

спектр. Керування системою відбувається через мережу Wi-Fi з керуючого терміналу, шляхом надсилання пакету інструкцій, відповідно до яких вже сам контролер використовує інтерфейси модулів, чим полегшується робота оператора.

Метою даного проекту є розроблення адаптивної системи управління периферією - підключеними модулями за допомогою мережі Wi-Fi та з можливістю подальшої модифікації пристрою. Перш за все, для вирішення поставленої задачі у роботі розглянуто існуючі методи управління периферією, покладені в основу даної апаратури. Прилад, що розробляється, має приймати дані з керуючого терміналу, що знаходиться на великій відстані, у вигляді пакету інструкцій, обробляти інформацію про периферію, номер команди, корисні дані та інформувати про стан виконання.

Адаптивність системи забезпечує вирішення великого спектру завдань використанням одного приладу. Оператор, за допомогою спеціально розроблених команд виконує керування системою. Послідовність таких команд може розглядатись, як найпростіша програма. У подальшому планується розвинути на базі елементарних операцій повноцінну Basic-подібну мову програмування.

Запропонований пристрій можна назвати універсальним – тому, що вирішується не одна задача, а цілий клас (універсальність розглядається, як універсальність у класі однотипних задач). Заздалегідь знаючи, яким буде мікроконтролер, обирається елементна база та схемотехнічне рішення.

У роботі розглянуто створення принципової схеми, вибір елементної бази, вибір друкованого вузла, розрахунки, що підтверджують правильність конструктивних рішень, проектування друкованої плати у Altium Designer, створення програми для мікроконтролера STM32F407VGT6.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Розділ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1. Аналіз периферії та роботи Wi-Fi

Принцип дії багатьох приладів, машин і механізмів ґрунтується на перетворенні електричної енергії в механічну. Пристрій, який для цього призначений, називають електричним приводом. В електро-механічних приладах таким приводом є електричні двигуни. Вони мають переваги над іншими двигунами, наприклад внутрішнього згорання: вони не потребують для своєї роботи затрат природних ресурсів (вугілля, нафти, газу, води), не викидають у навколишнє середовище пилю, газу, диму, отже, не забруднюють довкілля, простіші в обслуговуванні й ремонті. Залежно від будови, принципу дії та призначення електричні двигуни класифікують за джерелом споживаного струму (постійного чи змінного, однофазного чи трифазного), за споживаною потужністю: великою або малою. За умовами застосування електродвигуни бувають спеціального та універсального призначення.

Великого поширення набуло використання універсальних колекторних електродвигунів. Універсальними їх називають тому, що вони можуть працювати як від мережі змінного, так і постійного струму. Вони дають також можливість плавно змінювати швидкість обертання приводу - його валу, який приводить у рух виконавчий механізм. Цього вимагає, наприклад, електричний привід швейної машини, шуруповерта, електродриля, побутової техніки якими, за необхідності, можна змінювати швидкість виконання робіт.[2]

Саме через це - двигуни є важливою периферією, тому керування ними реалізовано у проекті. Задля оптимальної роботи та універсальності потрібне забезпечення управління не менш ніж двома моторами постійного струму, що дозволяє побудову великого спектру механізмів: від рухомої платформи, до промислового маніпулятора. Найбільш цікавими є мотори малої потужності, що дозволяє використання з акумуляторними джерелами живлення та не накладає великих обмежень на проектування керуючого пристрою.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Одним із основних методів передачі інформації є звук. Передача звукових хвиль має наступні проблеми:

- Контроль гучності відтворення
- Підтримка достатньої якості передачі інформації
- Дотримання умов якісного розповсюдження звукових хвиль

Людське вухо сприймає звукові хвилі з частотою від 16 до 20 000 Гц. Занадто голосні вібрації можуть спричинити травмування слухового апарату, тому звук повинен не перевищувати 80 дБ. Для забезпечення звучання використовується електродинамічний гучномовець – це пристрій, який перетворює електричний сигнал в механічні коливання за допомогою переміщення котушки зі струмом у магнітному полі.

Передача інформації може відбуватись і через радіоканал частотою 2.4 ГГц. Технологія передачі даних використовує стандарт IEEE 802.11b (швидкість передачі інформації до 11 Мбіт/с).

Wi-Fi має такі переваги:

- Дозволяє розвернути мережу без прокладки кабелю, що може зменшити вартість розгортання або розширення мережі. Місця, де не можна прокласти кабель, наприклад, поза приміщеннями і в будівлях, що мають історичну цінність, можуть обслуговуватися безпроводними мережами.
- Дозволяє мати доступ до мережі мобільним пристроям.
- Wi-Fi-пристрої широко поширені на ринку. Гарантується сумісність устаткування завдяки обов'язковій сертифікації устаткування з логотипом Wi-Fi.
- Випромінювання від Wi-Fi-пристроїв у момент передачі даних на два порядки (у 100 разів) менше, ніж біля стільникового телефону.
- Wi-Fi — це набір глобальних стандартів. На відміну від стільникових телефонів, Wi-Fi-устаткування може працювати в різних країнах по всьому світу.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Широкий перелік доступної периферії дозволяє адаптувати систему майже під будь-яку задачу. Для більшої адаптивності, використовуються три найбільш поширені інтерфейси для керування додатковою периферією та 8 універсальних контактів вводу/виводу. З інтерфейсів представлені:

- I2C для підключення до 127 додаткових пристроїв, що підтримують даний інтерфейс
- SPI для високошвидкісних пристроїв та периферії, що підтримує даний інтерфейс
- DCMІ для підключення камер з CMOS сенсором

Пристрій відкритий для подальшої модифікації шляхом додавання периферії за допомогою наявних інтерфейсів.

1.2. Обґрунтування елементної бази

На пристрій поступає напруга номіналом 12 В, яка надходить з акумуляторного джерела живлення, або будь-якого іншого джерела напруги. Внутрішні компоненти плати споживають напругу номіналом 5 В та 3.3 В, тому потрібно перетворити вхідну напругу. Для цього використовуються стабілізатори напруги. Для перетворення напруги з 12 В у 5 В обирається мікросхема AMS1117-5.0 у якої вихідне значення напруги фіксоване і становить 5 В [8]. Вихідний струм мікросхеми становить 1А. Для перетворення напруги з 12 В у 3 В обирається мікросхема AMS1117-3.0, що має такий самий вихідний струм, що дозволяє жити мікроконтролер та підключати додаткову периферію.

Основним компонентом системи є мікроконтролер STM32F407VGT6 [4] фірми STMicroelectronics на базі архітектури Cortex-M4. Для вирішення задачі керування чотирьома моторами, звуковим модулем, Wi-Fi модемом та доступом до вільних інтерфейсів SPI, UART та I2C для можливості підключення зовнішніх пристроїв даної мікросхеми достатньо. Мікроконтролер виготовлений у корпусі LQFP, що має 100 контактів, з яких

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

доступно 82 контактів вводу/виводу доступних користувачу. Контролер підтримує наступні інтерфейси зв'язку:

- Три інтерфейси I2C
- Чотири інтерфейси USART
- Три інтерфейси SPI
- Паралельний інтерфейс камери

Для управління електродвигунами потрібно застосувати H-міст для зміни напрямку обертання валу та мати змогу керувати його швидкістю. Мікросхема повинна витримувати струм до 3 А на один канал, що є робочим для двигуна. Саме тому були обрані дві мікросхеми L298P у корпусі POWERSOT з 20 контактами, що можуть керувати двома електродвигунами кожна та забезпечити робочий струм двигунів. Дана мікросхема реалізує два H-мости на кристалі з можливістю керування швидкістю обертання валу за допомогою ШИМ-сигналу [3].

Відтворення звуку відбувається через цифро-аналоговий перетворювач, що відтворює записаний на SD-карту трек. Для виводу звуку на динамік, потрібно підсилити сигнал. Усі ці можливості наявні в пристрої DFPlayer mini[5] фірми DFRobot. Пристрій керується через інтерфейс USART, має вбудований підсилювач сигналу та підтримку SD-карт. Саме тому цей пристрій ідеально підходить для задачі відтворення звуку.

Для передачі команд та інформаційних пакетів потрібно використовувати захищений радіоканал частотою 2,4 ГГц для досягнення великої дальності роботи пристрою. Для цієї задачі підходять технології Bluetooth та Wi-Fi, розглянемо обидві. Bluetooth – це захищений радіоканал, передача даних через який можлива у форматі «Точка-Точка» на відстані 10 м. Wi-Fi також захищений радіоканал, який працює по стандарту IEEE 802.11b, його перевагами є підвищена дальність роботи, шифрування даних

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

та можливість побудови мереж пристроїв або робота у форматі «Точка-Точка», з недоліків можливо виокремити потребу у додатковому обладнанні, доступу до інтернету для побудови мереж та керуванні пристроєм на великих відстанях. З вищезазначеного зроблено висновок, що буде використовуватись технологія Wi-Fi. Передачу даних через мережу буде виконувати модуль ESP8266-12F фірми Espressif [5].

Згідно ГОСТ 12.2.007-75, якщо напруга живлення більше 42 В, то роз'єм, який є джерелом, повинен бути типу «гніздо», а роз'єм, який є приймачем живлення повинен бути типу «вилка». В даному пристрої напруга живлення менше 42 В, тому немає різниці якого типу встановлювати роз'єми.

Всі типи роз'ємів, розташування сигналів та живлення на контактах узгоджується з приймаючим або передаючим пристроєм заздалегідь.

Висновок до розділу:

Пристрій, що проектується повинен керувати чотирма двигунами, модулем відтворення звуку та Wi-Fi модулем. Двигуни мають працювати за заданим законом руху, звуковий модуль відтворювати записаний на SD-карті трек, Wi-Fi модуль – приймати та передавати інформаційні пакети. Досліджено варіанти передачі даних на великих відстанях за допомогою радіоканалу. Зроблено висновок, що за критеріями дальності роботи та захищеності найкраще підходить технологія Wi-Fi. Вибір елементної бази виявився вдалим, в результаті чого стає можливим подальше проектування пристрою. У сучасних запропонованих варіантів керування периферією є недолік в тому, що вони вимагають збільшення керуючих інтерфейсів та ускладнення управління з головного терміналу. Виходячи з цього прийнято рішення розробити особливий блок керування периферією, що керується по мережі Wi-Fi. Вибір елементної бази виявився вдалим, в результаті чого стає можливим подальше проектування пристрою.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1. Розробка структурної схеми та принцип роботи модулю

Структура блока керування і його взаємозв'язок з периферією та керуючим терміналом зображена на Рисунку 2.1.

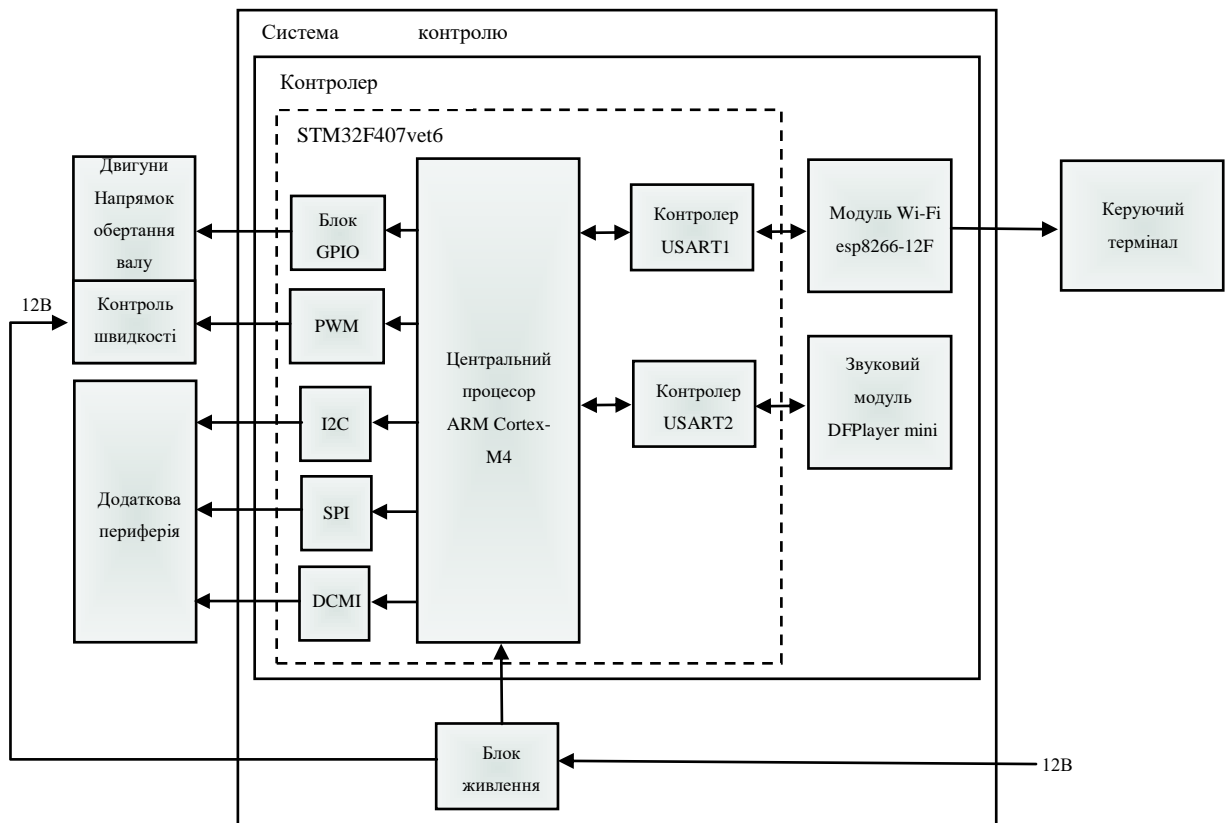


Рисунок 2.1 - Структура блока керування.

Блок керування складається з:

- Контролер, до складу якої входить ядро ARM Cortex-M4, з наявними блоками GPIO, I2C, DCMI, SPI, USART1 та USART2;
- Модуль Wi-Fi ESP8266-12F;
- Звуковий модуль DFPlayer mini;
- Драйвери моторів постійного струму;
- Блок живлення;
- Роз'єми для підключення додаткової периферії
- Керуючий термінал.

Блок призначений для адаптивного контролю периферії, що може бути до нього підключена, а саме: двигунами, з можливістю керування швидкістю та напрямом обертання, звуковим модулем та іншими приладами, що можуть бути підключені за допомогою доступних інтерфейсів.

Управління системою виконується через керуючий термінал засобами спеціальних команд, що передаються контролеру на подальшу обробку. Зв'язок між терміналом та системою забезпечує модуль ESP8266-12F, що приймає команди від оператора та відправляє йому інформацію про стан виконання завдання. Керування модулем виконується через інтерфейс USART1 на швидкості 115200 бод. В схемі керування електродвигунами використовується драйвер моторів L298P, що підключений до виводів GPIO мікроконтролера які керують напрямом обертання валу та формують ШИМ сигнал для керування швидкістю двигуна. Контролер приймає команду, в якій зазначено напрям обертання та швидкість двигуна. Також до мікроконтролера підключений звуковий модуль DFPlayer mini, керування яким виконується через інтерфейс USART2 на швидкості 9600 бод. Номер треку, що буде відтворюватись обирає оператор шляхом відправлення спеціалізованої команди по мережі Wi-Fi. Функціонально, система керування периферією являє собою зручний комутатор великого спектру обладнання з можливістю зворотного зв'язку відповідно до заданого режиму роботи. Інформація про стан системи і виконання поставленого завдання надсилається на керуючий термінал.

Контроль додаткової периферії за допомогою найпоширеніших інтерфейсів має змогу керувати наступними пристроями:

- Акселерометрами через шину I2C
- Модулями пам'яті через інтерфейс I2C
- Пристроями з інтерфейсом SPI
- Датчики температури, тиску та ін.
- Цифрові CMOS камери через інтерфейс DCMI.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

2.2. Розробка схеми електричної принципової

У дипломному проекті розглядається розробка друкованого вузла, який називається «Система контролю периферії».

Схема контролера живиться від 12В постійної напруги живлення. Напруга живлення номіналами 12 В поступає з роз'єму XS1.

Для забезпечення напругою номіналами 3,3 В, 5 В, розроблена схема перетворення вхідної напруги. Для формування напруги 5 В, 3,3 В використовується мікросхема AMS1117. Її підключення обрано згідно рекомендаціям технічної документації на дану мікросхему [8]. На вході живлення мікросхеми додається електролітичний конденсатор номіналом не менше ніж 10мкФ. Паралельно йому додано ще один конденсатор номіналом 0,1 мкФ. Таке рішення прийнято з загального досвіду, де якомога ближче до контакту мікросхеми ставиться керамічний конденсатор вказаного вище номіналу для зменшення впливу паразитних шумів на живлення схеми. Для забезпечення надійності згідно технічної документації [8] потрібно додати шунтуючий конденсатор номіналом 220 пФ. Мікросхема працює в постійному режимі і має великий модельний ряд. Використовуємо мікросхеми AMS1117-33 для формування напруги 3,3 В та мікросхему AMS1117-5 для напруги 5 В відповідно. Схема їх підключення та номінали конденсаторів обрано згідно технічної документації [8].

Для перевірки роботи напруги на початковому етапі налагодження плати, спочатку контролер не впаюється, а після перевірки правильного перетворення напруги, встановлюється тим самим з'єднуючи перетворювачі напруги з усією іншою схемою.

Основною складовою схеми є мікроконтролер STM32F407VET6 фірми STMicroelectronics [4]. Контролер живиться напругою номіналом 3.3 В. Усі сигнали до мікроконтролера, крім тактуючих, подаються на стандартні контакти вводу/виводу мікросхеми. Між контактами живлення розміщуються

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

сім конденсаторів ємністю 0,2 мкФ. Таке розміщення рекомендує виробник у документації на мікроконтролер. Це робиться для попередження імпульсів та шумів в ланцюгах живлення.

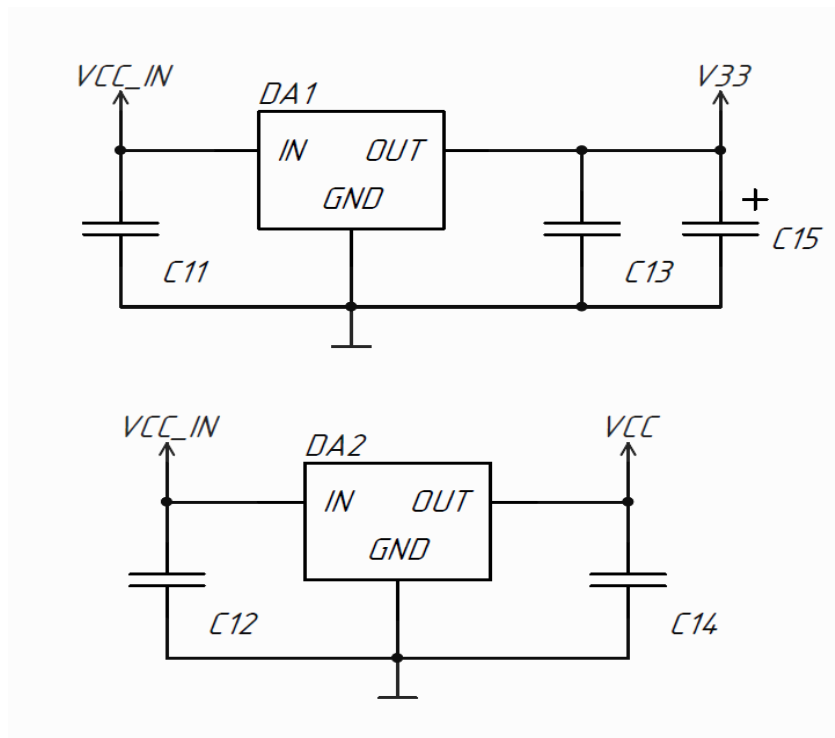


Рисунок 2.2 - Схема перетворення вхідної напруги.

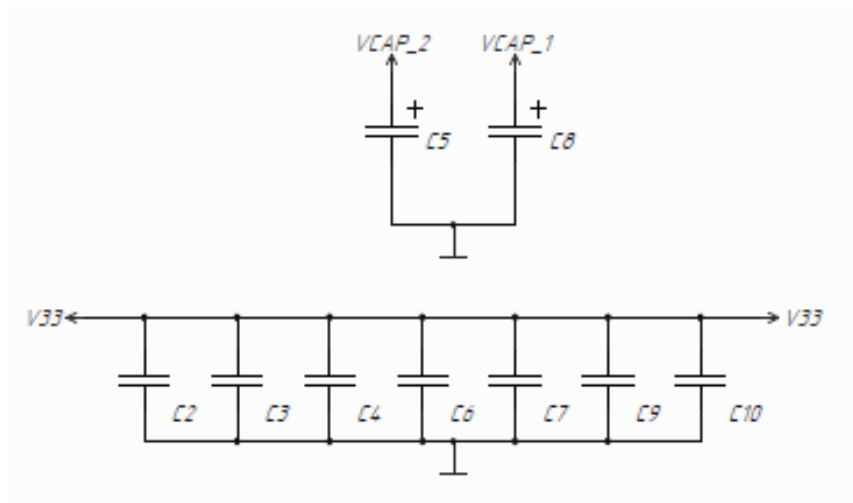


Рисунок 2.3 – Конденсатори між виводами мікросхеми STM32F407VET6 для вирівнювання напруги живлення [4].

Коли конденсатор ставиться біля контакту живлення будь-якої мікросхеми, то шлях провідника між контактом мікросхеми та конденсатором має свою паразитну індуктивність та опір, може створитись фільтр, який при високих частотах негативно впливає на роботу мікросхеми. В деяких випадках запобіжні конденсатори необхідно ставити на сам контакт мікросхеми. Але для даного пристрою такі вимоги не критичні, тому конденсатори розташовано лише близько до контактів мікросхеми.

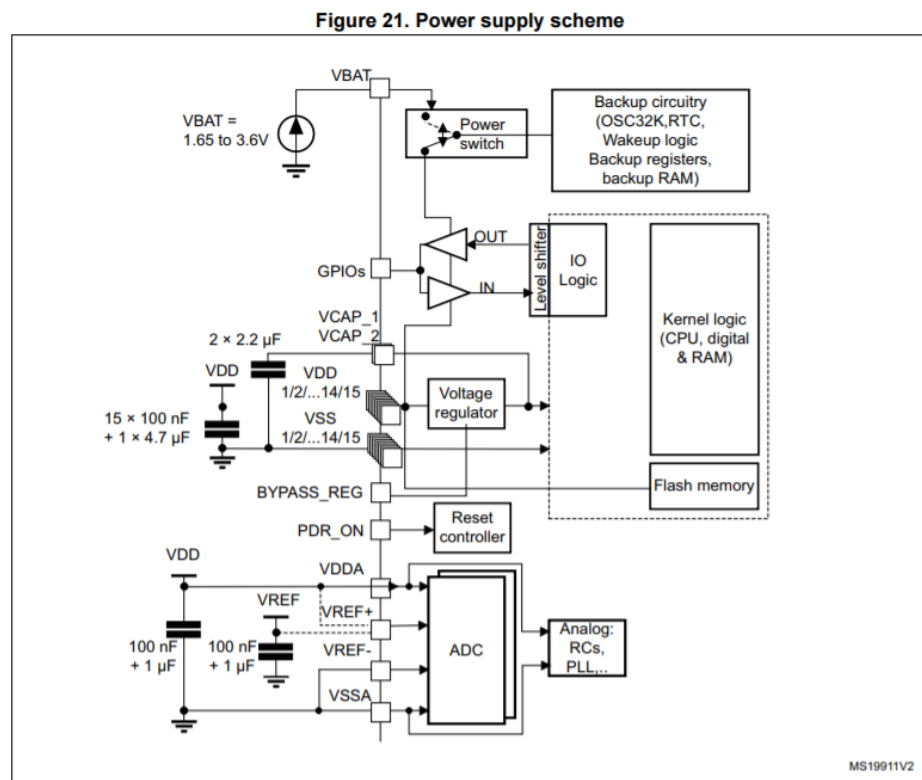


Рисунок 2.4 - Схема живлення мікроконтролера[4].

Для тактування мікроконтролера на схемі передбачений кварцовий резонатор, що працює на частоті 8 МГц. Це зроблено для більшої точності, стабільності роботи системи та зменшенню втрат важливих даних при передачі. Для того щоб забезпечити навантаження коливального контуру, до кварца підключають два конденсатори 20 пФ, ємність взята з документації на мікроконтролер [4], вони забезпечують стійкий старт коливань та генерацію частоти на одній гармоніці.

Напряму до контролера під'єднується звуковий модуль DFPlayer mini, уся потрібна обв'язка для роботи з модулем уже передбачена [6]. Тому підключення відбувається напряму до мікроконтролера. Логіка мікросхеми живиться від напруги 5 В.

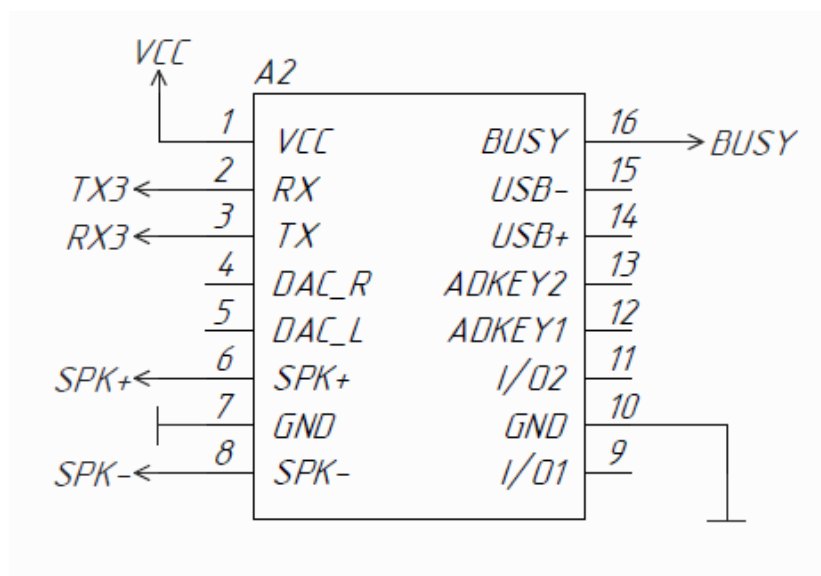


Рисунок 2.5 – Схема підключення звукового модуля [6].

З контролером з'єднується Wi-Fi модуль ESP8266-12F. Так як між ними проходить обмін даними на великій частоті, потрібно розмістити модуль як найближче до мікроконтролера, тим самим зменшуючи паразитні шумові перешкоди. Для правильної роботи, вивід RESET потрібно підтягнути до напруги 3,3 В, щоб уникнути небажаних перезавантажень модуля. На модулі передбачений вивід дозволу роботи, його теж треба підтягнути до напруги 3,3В. Антена вбудована в пристрій, тому не розглядаємо умови правильної передачі даних по радіоканалу.

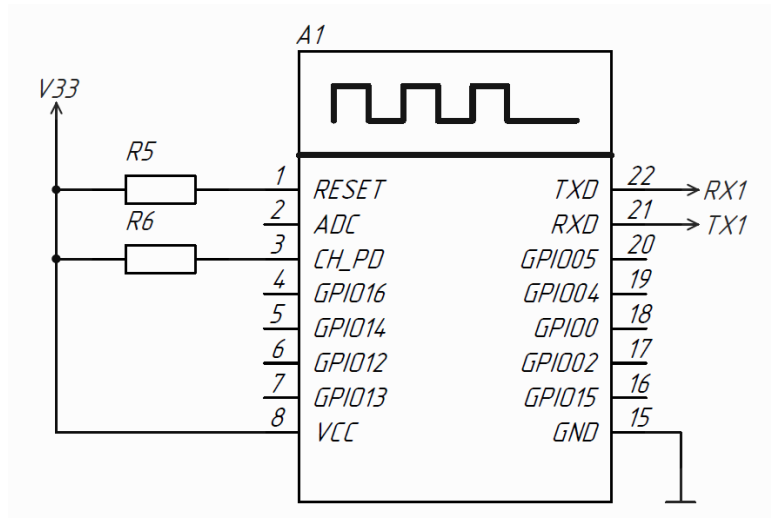


Рисунок 2.6 - Схема підключення модуля esp8266-12F [5].

Мікросхема драйверу керування електродвигунами підключена до виводів контролера, які керують напрямом та швидкістю обертання валу. Логіка мікросхеми живиться від напруги 5 В.

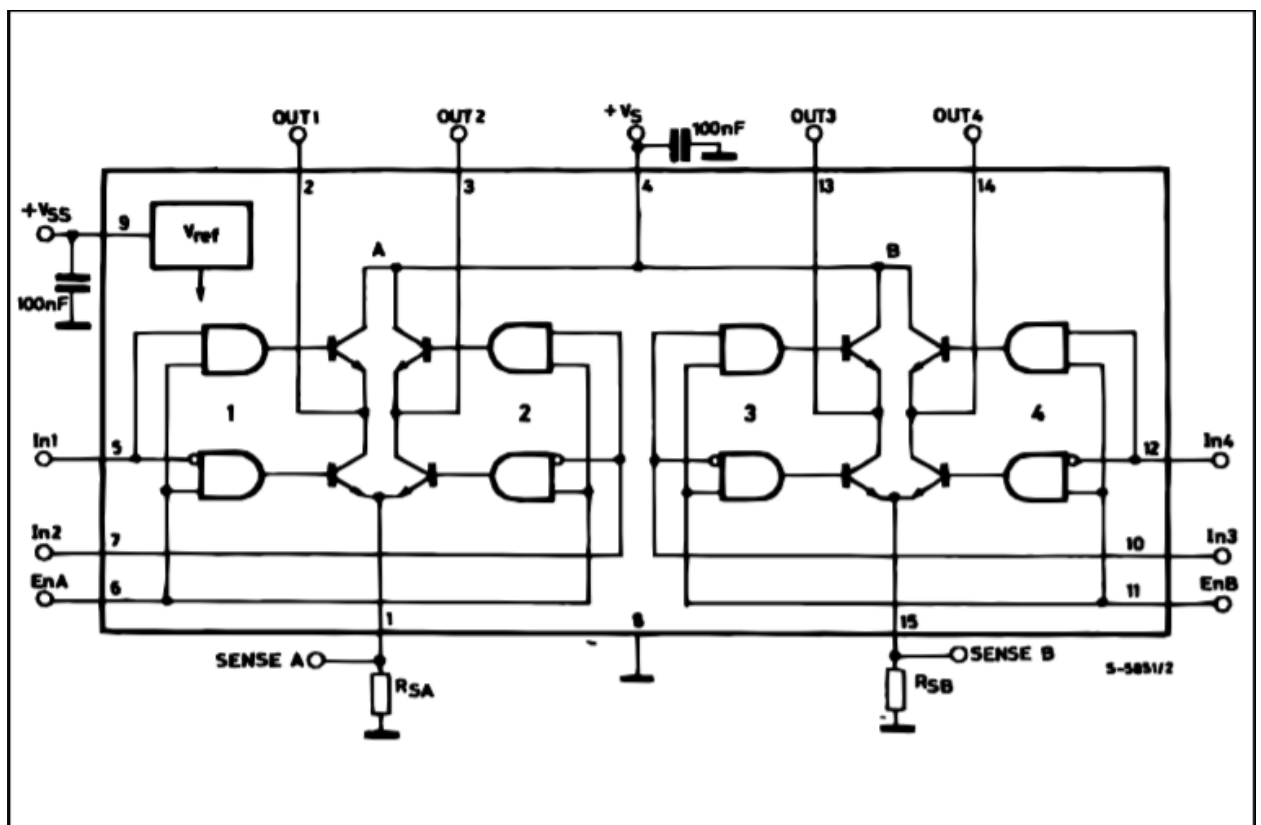


Рисунок 2.7 Будова мікросхеми драйверу моторів L298P [7].

Двигуни потребують для роботі великого струму, в нашому випадку, до 3 А, тому на виходи схеми підключаємо захисні діоди, що підвищить надійність схеми. Також доступна можливість обмежити вихідний струм мікросхеми при потребі підключивши до відповідних контактів резистори, або вимірювати його. Так як робота з даною мікросхемою не передбачує потреби у швидкодії, то розміщення драйверу можливе без спеціальних умов [7].

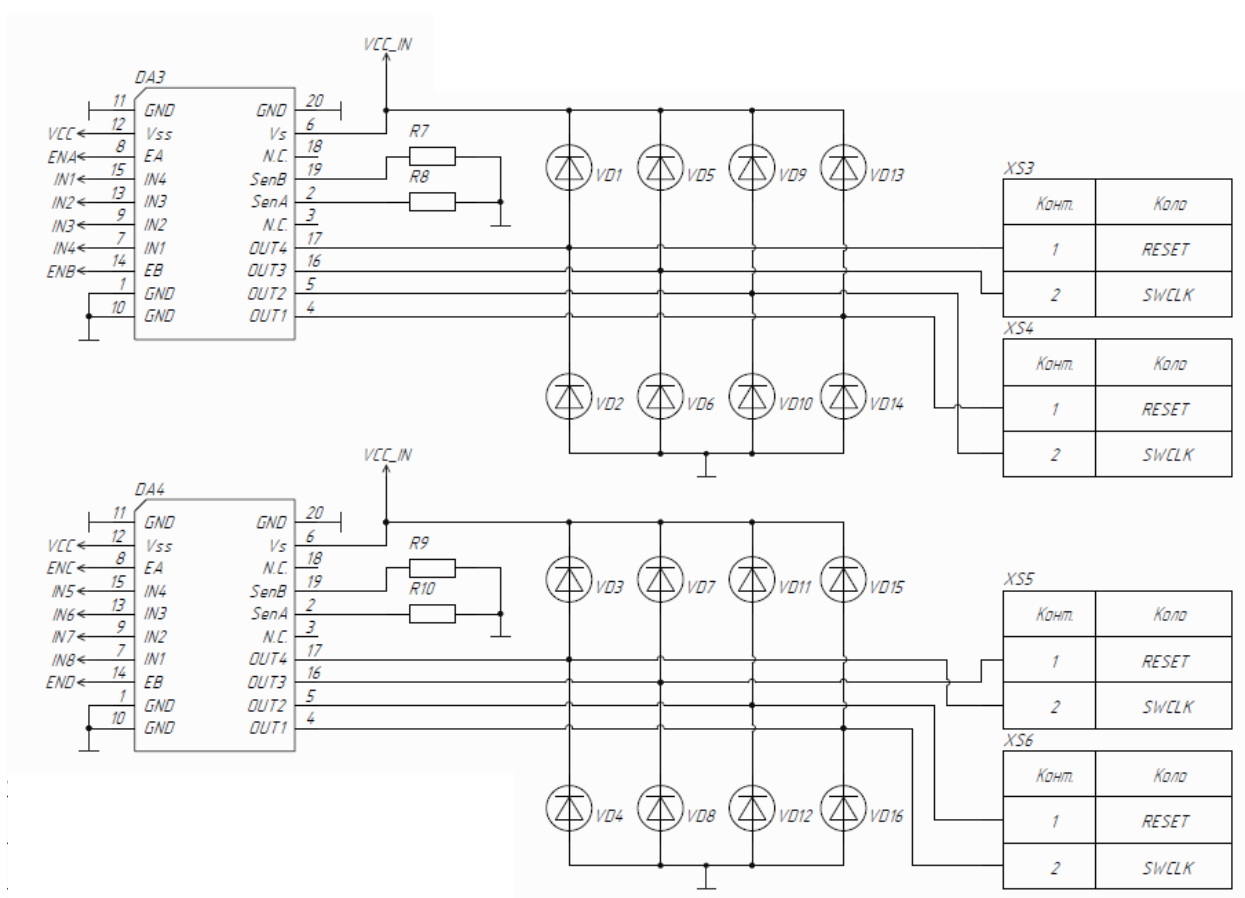


Рисунок 2.8 - Схема підключення драйверів моторів L298P.

Проте, через мікросхему протікає великий струм, що призводить до виділення тепла та нагрівання плати і компонентів навколо драйверу. Через це мікросхему потрібно встановлювати якомога далі від чутливих до температури елементів таких як мікроконтролер, або Wi-Fi модуль.

Роз'єми KF301-2P КК з'єднують схему з основним живленням, контактами двигунів та гучномовцем потужністю 3 Вт. Схема може

споживати великий струм, тому роз'єми повинні витримувати велику потужність. Саме тому було використано клеми для підключення живлення 12 В, контактів моторів та гучномовця. Для з'єднання з інтерфейсами використано роз'єми PLS. У випадку з інтерфейсом I2C контакти SDA та SCL підтягнуті до 3,3 В резисторами 10 кОм, це умова стабільної роботи інтерфейсу.

Висновок до розділу:

На основі поставленого технічного завдання була розроблена структурна схема пристрою. Схема містить в собі усі структурні зв'язки блока керування з пристроєм, який контролюється, а також з іншими платами та елементами, необхідними для управління периферією та обробки даних з керуючого терміналу. Була виконана перевірка, чи задовольняє дана структурна схема усі вимоги до здійснення керування та слідкування за двигунами, звуковим модулем та успішної передачі даних через радіоканал мережі Wi-Fi. Обравши елементну базу та спираючись на структурну схему, була спроектована схема електрична принципова. При проектуванні схеми електричної принципової окремі каскади будувалися згідно рекомендації технічних документацій до мікросхем для найбільш коректної роботи. Виходячи з власного досвіду, до всіх контактів живлення додавалися запобіжні конденсатори 0,1 мкФ. У інформаційних ланцюгах, які виходять з контактів STM32F407VET6 додавалися резистори номіналом не більше 100 Ом для створення спеціальної затримки сигналів. Тому дана затримка дещо вповільнює наростання фронтів. В даному розділі було спроектовано схему адаптивного ядра для майбутньої модифікації його програмним забезпеченням та додаванням периферії через наявні інтерфейси. Мікроконтролер та наявна периферія дозволяють адаптувати пристрій до великого спектру завдань.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Розділ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ

3.1. Вибір типу, матеріалу друкованих плат

Для виготовлення пристрою було прийнято рішення про виготовлення 2-шарової друкованої плати. Таке рішення прийнято через певну кількість причин:

- Провідники живлення та сигнальні провідники мають знаходитись якомога далі одні від одних для зменшення електромагнітних завад, паразитних ємностей, індуктивностей. Для нейтралізації цих чинників було обрано рішення розмістити якомога більше сигнальних провідників на одній половині верхнього шару ДП, а усі провідники живлення на іншій половині верхнього шару. Нижній шар відведено майже повністю для землі. Таким чином нижній шар виступає «екраном» між різними типами провідників. Усі провідники, які не була змога розмістити на верхньому шарі, розміщувались на нижньому, але все одно окремо від провідників живлення.
- При використанні 2-шарової ДП відбувається оптимізація розміщення друкованих вузлів. Також такий підхід не дозволяє створювати на шарі землі критично важливі окремі ділянки землі, які потім з'єднуються з загальному землею, тому потрібно оптимізувати розміщення компонентів та полігонів землі для стабільної роботи.
- Сучасні можливості у відношенні ціна/технологія дозволяють використовувати двошарові ДП за дуже низькою ціною, що оптимізує витрати на розробку та тестування пристрою.

Виготовлення плати виконується на китайському підприємстві «PCBway». Плата буде виготовлятися з матеріалу FR4-2-35-1,5. Даний матеріал є фольгованим склотекстолітом з підвищеною нагрівостійкістю, товщиною 1,5, мм, облицьований з двох зовнішніх та двох внутрішніх сторін мідною електролітичною фольгою товщиною 35 мкм.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

3.2. Вибір класу точності

Згідно ГОСТ 23571-86, існує 5 класів точності ДП (Таблиця 3.1). Клас точності повинен виходити з технології виробництва та застосованих компонентів. Підприємство «PCBway» має можливість виготовляти ДП до 5 класу точності включно.

Таблиця 3.1 - Номінальні значення основних розмірів для класу точності.

Условное обозначение	Номинальное значение основных размеров для класса точности				
	1	2	3	4	5
b, [мм]	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
S, [мм]	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
b _{по} , [мм]	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025
K _{дт}	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2

В Таблиці 3.1 параметр b, [мм] - ширина друкованого провідника; S, [мм] – відстань між краями сусідніх елементів; b_{по}, [мм] - гарантований поясок; K_{дт} - відношення номінального значення діаметра найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати.

В умовах даного проекту 5 клас точності критично не потрібен. Даний пристрій має фіксовані габаритні розміри, які визначались виходячи з габаритних розмірів корпусу. Тому аналізуючи їх, надається можливість працювати на великій площині плати. Саме тому, мінімальна товщина провідників була обрана не 0,1 мм, що є мінімальним значенням для 5 класу точності, а 0,15 мм. Товщина плати складає 1,5 мм. Діаметр усіх перехідних отворів складає 0,75 мм. Виходячи з цього, відношення мінімального діаметра металізованого отвору до товщини плати складає 0,5. Товщина гарантованого пояску складає 0,225 мм, що майже в 10 раз більше за мінімальне значення 5 класу точності. Виходячи з усіх названих показників є можливість обрати 3 клас точності. Але відстань між краями сусідніх елементів не дозволяє використовувати цей клас. Мікросхеми, які були обрані, виготовляються в корпусі, для якого розрахована відстань між контактними майданчиками становить 0,2 мм. Тому необхідно

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

використовувати 4 клас точності. Так як параметри, наведені в Таблиці 3.1 є мінімальними, не має необхідності змінювати товщину провідників та діаметр перехідних отворів.

В результаті обрано 4 клас точності. Даний клас передбачає проведення провідників між контактними площадками SMD резисторів. Але дана можливість не використовувалась: простору ДП достатньо для проведення провідників без їх транзитного розміщення під компонентами.

3.3 Вибір методу виготовлення ДП

Підприємство «PCBway» виготовляє ДП комбінованим позитивним методом.

Комбіновані методи засновані на виготовленні ДП з фольгованих матеріалів. Провідники отримують хімічним методом, а металізацію отворів - хімічним або електрохімічним осадженням. Сутність комбінованих методів полягає в отриманні друкованих провідників шляхом травлення фольгованого діелектрика і металізації отворів електрохімічним способом. У позитивному методі травлення рисунку відбувається після металізації отворів, а для з'єднання металізованих отворів використовується ще не витравлена фольга, спочатку присутня на поверхні заготовки. Експонування рисунку схеми проводиться з фото позитиву. Після експонування проводиться свердління і металізація отворів. Потім рисунок схеми і металевий шар в отворах захищаються шаром гальванічного срібла або іншого металу, стійкого до рідини для травлення міді, після чого проводиться травлення незахищеної міді.

Переваги комбінованого позитивного методу:

- виключається можливість зриву контактних майданчиків під час свердління отворів;

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

- не потрібно застосування спеціальних контактуючих пристосувань при металізації отворів;
- знижується шкідливий вплив хімічних розчинів на ізоляційну основу і на міцність зчеплення фольги з основою плати.

3.4. Розміщення компонентів та розводка ДП

Розміщення компонентів було розпочато з розміщення на спеціально відведені для цього місця деяких компонентів. Габаритні розміри плати та кріпильні отвори на початок розміщення та створення друкованої плати були вже відомі.

Компонентами, які були першими розміщені на платі, є XS2, XS3, XS4, XS5 та XS6. Виходячи з того, що вони є з'єднувальними елементами між пристроєм та зовнішніми блоками, у них заздалегідь було визначено розміщення та контактні майданчики. Також відносно визначеним місцем розміщення є місце для елемента XS1. На даний роз'єм поступає 12 В напруги від блоку живлення, що знаходиться в блоці керування біля плати керування. Тому їх зв'язок необхідно зробити максимально коротким. Біля роз'єму XS2 розташовуємо модуль відтворення звуку. Для зменшення перешкод та спотворення звуку розміщуємо модуль як найближче. Біля роз'ємів XS3 та XS4 розташовуємо захисні діоди VD1, VD2, VD5, VD6, VD9, VD10, VD13, VD14 для захисту мікросхеми драйвера моторів DA3. Нижню половину плати виділяємо на силову частину, через яку буде проходити більша частина струму, тому саме тут будуть розташовані органи керування високо струмовим навантаженням. Цю частину потрібно розташувати якомога далі від мікроконтролера та засобів зв'язку через надмірне тепловиділення. Одразу біля захисних діодів розміщуємо драйвер моторів DA3, підключаємо до нього обмежуючі струм резистори R7 та R8. Дзеркально розташовуємо елементи VD3, VD4, VD7, VD8, VD11, VD12, VD15, VD15, DA4 та обмежуючі резистори R9, R10 біля роз'ємів XS5 та XS6. В цій же частині ДП розміщуємо мікросхеми стабілізації напруги DA1 та

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

DA2 з фільтруючими конденсаторами C11, C12, C13, C14, C15. Мікросхеми розташовуємо біля роз'єму XS1 в нижній частині плати для того, щоб сформувати усі необхідні номінали напруги. Була обрана область на ДП, де немає сигнальних провідників. В тій області відбувається перетворення напруги 12 В на інші напруги, і звідти ті напруги поширюються вже на 2 шари ДП для живлення інших компонентів.

Основна мікросхема STM32F407VET6 розташувалась всередині ДП. При виводі провідників з неї була обрана стратегія розташовування компонентів, які з'єднуються цими провідниками з мікроконтролером, на тій стороні, з якої провідники виходять. Також усі інші роз'єми розташувалися з 2 сторін по краям для більшої зручності.

Для зменшення негативних спотворень сигналу та шумів модуль передачі даних по радіоканалу A1 розміщуємо біля мікроконтролера за принципом якомога коротших сигнальних провідників та у верхній частині ДП, для мінімізації впливу радіочастотних хвиль на інші компоненти.

Усі інші компоненти розташовувались на вільних місцях ДП. Усі конденсатори було розташовано якомога ближче до контактів мікросхем. Конденсатори запобігали проходженню шумів до контакту мікросхем.

Уся розводка ДП виконувалась повністю вручну, з урахуванням всіх вище сказаних умов, без застосування автоматичної розводки у САПР.

3.5 Розробка блока керування у Altium Designer

Altium Designer - комплексна система автоматизованого проектування (САПР) електронних модулів на базі друкованих плат, яка дозволяє виконувати повний спектр проектних завдань, від концепції функціонування до випуску повного комплексу конструкторських і виробничих даних для випуску готової продукції електронних модулів.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Програма AD надає великі можливості для розробки електронних пристроїв. Під час написання дипломного проекту були розглянуті такі можливості програми:

- самостійне створення бібліотеки компонентів (додавання УГП і посадкового місця);
- створення принципової електричної схеми;
- трасування друкованої плати (ручне або автотрасування).

PCB Project – це набір документів, необхідний для виготовлення друкованої плати, данні котрої призначені для рішення однієї конструктивно-закінченої задачі. Документи представляють собою файли різних типів, котрі можуть додаватися в проект. Редагування документів виконується редактором, причому назва редактора співпадає з типом документу.

AD має готові бібліотеки компонентів. Але використання цих бібліотек є в загальному випадку неоптимальним у зв'язку з деякими недоліками:

- УГП компонентів не відповідає ГОСТ;
- Дана бібліотека містить в собі обмежену елементну базу відомих виробників.

Тому для оптимальної, правильної роботи в проектуванні друкованого вузла створюється бібліотека компонентів і моделі у відповідності до усіх вимог.

УГП і посадкові місця компонентів формуються у редакторі бібліотек (Library Editor). В середовищі AD є чотири типи бібліотек: символів, моделей, інтегровані бібліотеки, бази даних.

В кожному редакторі AD є свій набір інструментів і панелей для роботи. Основна панель, з якої виконується робота в редакторі схем є панель Libraries. AD ділить об'єкти, котрі є на полі електричної схеми на графічні та електричні.

До графічних відносять:

- Лінія;

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

- Дуга, еліптична дуга;
- Сплайн-лінія;
- Еліпс, окружність;
- Прямокутник, округлений прямокутник;
- Многокутник;
- Графік;
- Секторна діаграма.

До електричних об'єктів відносять:

- Лінії електричного зв'язку;
- Схемні компоненти;
- Лінії групового зв'язку у виді джгута;
- Лінії групового зв'язку;
- Ідентифікатори електричних кіл.

Процедура формування схеми насправді проста, і в загальному випадку представляє собою послідовне розміщення і з'єднання на листі електричних і графічних об'єктів.

Створення файлу плати може бути виконано вручну, а також за допомогою майстра PCB Board Wizard, котрий по послідовним етапам опитує інформацію про ДП, яка потім виражається у виді конструктивних правил і параметрів проектування. Під розробкою конструктивних параметрів розуміється етап розробки ДП від створення файлу плати до розміщення компонентів, котрі складаються з чотирьох кроків: формування контуру для ДП, описання стека слоїв, установки кріпильних отворів і визначення заборонених зон для трасування.

В AD задача інтерактивного трасування вирішується інструментом автотрасування, який знаходиться в меню AutoRoute. Автоматичне трасування окремих елементів дає не дуже задовільний результат, так як немає можливості налаштування її алгоритму, який може бути вказаний тільки для трасування всієї плати.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Висновок до розділу:

В даному розділі обиралась ДП, на якій надалі будуть розміщуватись елементи. Виробництво плати виконується на підприємстві «PCBway». «PCBway» виготовляє свої плати на матеріалі FR-4, що є надійним та поширеним матеріалом, комбінованим позитивним методом. В цьому випадку опис та аналіз методів та матеріалу відбувався виходячи з можливостей та технологій підприємства а не навпаки. Розміри та форма ДП, розміщення роз'ємів, які з'єднують блок керування з зовнішніми пристроями, були оптимально розташовані для розміщення платі у вже готовому корпусі.

Виходячи з початкових умов, розташування компонентів відбувалось послідовно. STM32F407VET6 також першою розташувалась всередині ДП для подальшого розташування зв'язаних компонентів з нею навколо неї. ДП має 2 шари. Основна кількість сигнальних провідників розташована на верхньому шарі, в той час як провідники живлення розташовувались також на верхньому шарі та нижньому. Другий шар майже повністю виступає як загальна земля пристрою. Це виконано для екранування провідників живлення. Мікросхеми перетворення живлення розташувались в стороні від сигнальних провідників.

Усі запобіжні конденсатори було вирішено розміщувати на верхньому шарі через перехідний отвір до контактів живлення. Розміщення самих елементів виконувалось за алгоритмом якомога меншої довжини та максимально прямого розміщення провідників між контролером та з'єднаних з ним компонентів. Уся розводка ДП виконувалась повністю вручну, з урахуванням всіх вище сказаних умов, без застосування автоматичної розводки у САПР. Зроблено висновок, що фінальне розміщення компонентів та трасування є вдалим.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Розділ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ

4.1 Виконання конструкторсько-технологічного розрахунку елементів ДМ

4.1.1. 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 ланцюгу, А

$j_{\text{доп}}$ – допустима щільність струму для ДП, яка виготовлена

комбінованим позитивним методом, $j_{\text{доп}} = 48 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ (за ОСТ 4.010.022–85)

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

Друкований провідник виготовлюється 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 шара гальванічно осадженої міді, $h_{\text{ГМ}} = 0,055$ мм

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

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

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

У результаті:

$$I_{\max} = 240 + 20 + 170 + 4000 = 4430 \text{ (мА)}$$

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

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{4,43}{48 \cdot 0,0965} = 0,95 \text{ (мм)}$$

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Таблиця 4.1 - Струми, які споживають елементи схеми.

ІС	Кількість ІС	$I_{\text{спож}}$, мА
STM32F407VET6	1	240
DFPlayer mini	1	20
ESP8266-12F	1	170
L298P	2	4000

Отримане значення мінімальної ширини провідника $b_{\text{minI}} = 0,95$ мм не входить в значення обраного 4 класу точності ($b_{\text{пр}}^r = 0,15$ мм). Таким чином, оптимальна ширина провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та «землі» дорівнює розрахованому значенню.

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

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

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

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, +3,3 В, $L_{\text{пров}} = 414$ мм.

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

$U_{\text{доп}} = 0,05 \times 12 = 0,6$ В

$L_{\text{пров}} = 0,414$ м

$$b_{\text{min } U} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0,0175 \cdot 4,43 \cdot 0,414}{0,0965 \cdot 0,6} = 0,554 \text{ (мм)}$$

4.1.3. Визначення номінального діаметру монтажного отвору.

$$d \geq d_{вз} + \Delta d_{МО} + r, \quad (4.4)$$

де $d_{вз}$ – діаметр виводу елементів, для якого 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

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

4.1.4. Визначення діаметра контактної площини.

$$D_{min} = D_{min1} + 1,5 \cdot h_{ф} + 0,03, \quad (4.5)$$

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

$h_{ф}$ – товщина фольги, $h_{ф} = 0,035$ мм. Коефіцієнт $1,5h_{ф}$ враховує підтравлювання фольги друкованого провідника у ширину, $0,03$ – КМ виготовлюють комбінованим позитивним методом.

$$D_{min I} = 2 \cdot (b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км}), \quad (4.6)$$

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

$b_{по}$ - ширина пояса КМ, $b_{по} = 0,05$ мм (Таблиця 3.1),

δ_o - похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, $\delta_o = 0,07$ мм

$\delta_{км}$ - похибка розташування центру КМ відносно вузла КС, $\delta_{км} = 0,05$

Максимальний діаметр отвору ДП:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) \quad (4.7)$$

де d – номінальний діаметр МО, мм,

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

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

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

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

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

Максимальний діаметр КМ:

$$D_{\max} = D_{\min} + 0,02 \text{ (мм)} \quad (4.8)$$

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

4.1.5. Визначення мінімальної ширини провідника.

$$b_{\min} = b_{\text{пр}}^{\Gamma} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03, \quad (4.9)$$

де $b_{\text{пр}}^{\Gamma}$ – мінімальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів точності (Таблиця 3.1). Для 4-го класу точності ДМ $b_{\text{пр}}^{\Gamma} = 0,15 \text{ мм}$

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

Максимальна ширина провідника:

$$b_{\max} = b_{\min} + 0,02 \text{ (мм)} \quad (4.10)$$

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

4.1.6. Визначення мінімальної відстані між провідником та контактною площиною.

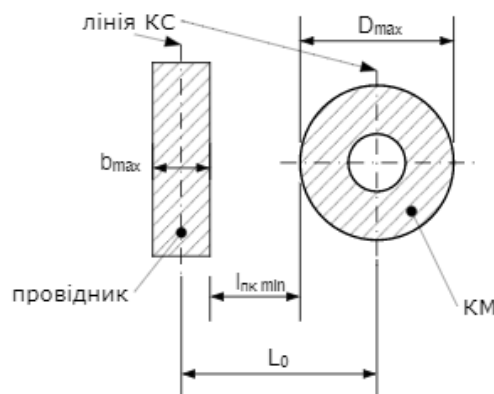


Рисунок 4.1 – мінімальна відстань між провідником і контактною площиною.

$$l_{ПКМ min} = L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right) \quad (4.11)$$

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,

$\delta_{км}$ - похибка розташування центра КП відносно вузла КС, $\delta_{км}=0,05$

$\delta_{сп}$ - похибка, яка враховує зміщення провідника, $\delta_{сп}=0,05$ мм

$$l_{ПКМ min} = L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right)$$

$$= 1,25 - \left(\frac{1,29}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,38 \text{ (мм)}$$

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

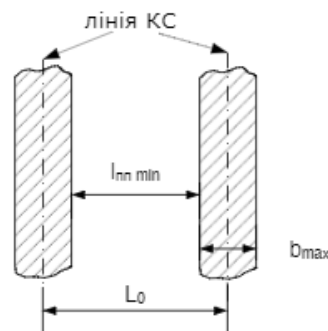


Рисунок 4.2 – мінімальна відстань між двома сусідніми провідниками

$$l_{ПП min} = L_0 - (b_{max} + 2 \cdot \delta_{сп}) \quad (4.12)$$

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

4.1.8. Визначення мінімальної відстані між двох контактних площин.

$$l_{min км км} = L_{01} - (D_{max} + 2 \cdot \delta_{км}) \quad (4.13)$$

де L_{01} - відстань між центрами сусідніх КП, $L_{01}=2,5$ мм.

$$l_{min км км} = L_{01} - (D_{max} + 2 \cdot \delta_{км}) = 2,5 - (1,29 + 2 \cdot 0,05)$$

$$= 1,11 \text{ (мм)}$$

Отримане значення задовольняє 4й клас точності.

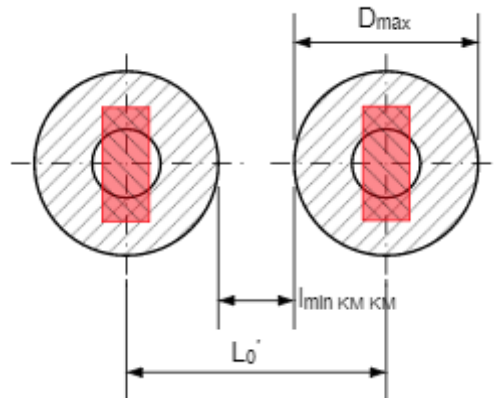


Рисунок 4.3 – мінімальна відстань між двома контактними площинами.

4.2. Електричний розрахунок друкованої плати

Розрахунок виконується за умов, що плата виготовлена комбінованим методом, згідно ГОСТ Р 50621-93.

4.2.1 Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику.

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається:

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} \quad (4.14)$$

де ρ - питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП,

$$\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$l_{\text{пр}}$ – максимальна довжина друкованого провідника, $l_{\text{пр}} = 0,574 \text{ м}$.

$t_{\text{пр}}$ - товщина провідника, $t_{\text{пр}} = 0,0965 \text{ мм}$

I_{max} – максимальний струм у провіднику, $I_{\text{max}} = 410 \text{ мА}$

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,41 \cdot 0,574}{0,25 \cdot 0,0965} = 0,17 \text{ (В)}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5% від напруги живлення ($U_{\text{ж}} = 12 \text{ В}$).

4.2.2 Визначення потужності втрат друкованої плати.

Потужність втрат визначається:

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot tg\sigma \quad (4.15)$$

де $f=8 \cdot 10^6$, тому що розрахунок виконується для кварцового генератора;

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

C – ємність ДП

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} \quad (4.16)$$

де ε – діелектрична проникність, $\varepsilon = 4,5$ для FR4

S_m - площа металізації, $S_m = 552,96 \text{ мм}^2$

h - товщина ДП, мм

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 552,96}{1,5} = 14,9 \text{ (нФ)}$$

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot tg\sigma = 2 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 14,9 \cdot 10^{-3} \cdot 144 \cdot 0,002 = 0,2 \text{ (Вт)}$$

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

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1} \quad (4.17)$$

де S – відстань між двома паралельними провідниками, $S=0,2$ мм;

$b_{\text{пр}}$ - ширина друкованого провідника, 0,25 мм;

$t_{\text{пр}}$ - товщина друкованого провідника, 0,0965 мм;

$l_{\text{пр}}$ - довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, 40мм;

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1} = 0,12 \cdot 4,5 \cdot 40 \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot 0,2}{0,25 + 0,0965} \right]^{-1} = 15 \text{ (пФ)}$$

4.2.4 Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини.

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} l_g \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2 + l_{\text{пр}}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2 + l_{\text{пр}}} \right) \quad (4.18)$$

де $l_{\text{пр}}$ – довжина перекриття паралельних провідників, $l_{\text{пр}}=4$ см;

L_0 -відстань між осьовими лініями двох паралельних провідників, $L_0=0,125$ см;

$$\begin{aligned} M &= 0,02 \left(l_{\text{пр}} l_g \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2 + l_{\text{пр}}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2 + l_{\text{пр}}} \right) = \\ &= 0,02 \left(4 \cdot l_g \frac{\sqrt{16 - 0,0156 + 4}}{0,125} - \sqrt{16 - 0,0156 + 4} \right) = 0,144 \text{ (нГн)} \end{aligned}$$

4.3 Розрахунок надійності друкованого вузла

Найбільш точна кількісна міра надійності кожного конструктивного елементу – його індивідуальне напрацювання до моменту виникнення відмови.

Важлива характеристика надійності - середній час безвідмовної роботи визначається:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}, \quad (4.19)$$

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:

$$\lambda_e = \lambda_{\text{ое}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (4.20)$$

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

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

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

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

$$K_H = \frac{H_{\text{роб}}}{H_{\text{ном}}}, \quad (4.21)$$

Коефіцієнт навантаження для резисторів

$$K_{H.p} = \frac{P_{\text{роб}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R \cdot P_{\text{ном}}}, \quad (4.22)$$

для конденсаторів

$$K_{H.c} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (4.23)$$

Розраховуємо коефіцієнти навантаження:

Резистори

$$U_{\text{раб}}^2 = 25 \text{ В},$$

$$P_{\text{ном}} = 0,125 \text{ Вт}$$

Результати розрахунку представлені в Таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Коефіцієнти навантаження резисторів.

Номер	Опис	Коефіцієнт
R1	R-0805 0,125 Вт 4,7 кОм 1% Yageo	0,04
R2	R-0805 0,125 Вт 1 кОм 1% Yageo	0,2
R3	R-0603 0,125 Вт 10 кОм 1% Yageo	0,02
R4-R10	R-0603 0,125 Вт 1 кОм 1% Yageo	0,2

Конденсатори:

$$U_{\text{ном}} = 50 \text{ В}$$

$$U_{\text{роб}} = 5 \text{ В}$$

Результати розрахунків наведені в Таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. – Коефіцієнт навантаження конденсаторів.

Номер	Опис	Коеф.
C1	Туре-с 50 В 10 мкФ 5% X7R Yageo	0.1
C2	C-0805 50 В 100 нФ 5% X7R Yageo	
C3	C-0805 50 В 100 нФ 5% X7R Yageo	
C4	C-0805 50 В 100 нФ 5% X7R Yageo	
C5	Туре-с 50 В 10 мкФ 5% X7R Yageo	
C6,C7	C-0805 50 В 100 нФ 5% X7R Yageo	
C8	Туре-с 50 В 10 мкФ 5% X7R Yageo	
C9-C14	C-0805 50 В 100 нФ 5% X7R Yageo	
C15	Туре-с 50 В 10 мкФ 5% X7R Yageo	
C16	C-0603 50 В 20 пФ 5% X7R Yageo	
C17	C-0603 50 В 20 пФ 5% X7R Yageo	

Необхідно визначити результуючу інтенсивність відмов друкованого вузлу блока системи керування периферією.

Друкований вузол відноситься до наземної апаратури, експлуатується при $T_p = 25^\circ \text{C}$, інші умови експлуатації нормальні.

Вихідні дані для розрахунку – схема принципова, перелік елементів, часова діаграма та інтенсивність відмов “компонентів надійності” від температурних впливів.

По картам робочих режимів необхідно визначити коефіцієнти навантаження, температурні коефіцієнти ІС та інших ЕРЕ, підрахувати кількість всіх елементів.

Вихідні дані для визначення λ_p зведені до Таблиці.4.4.

Таблиця 4.4. – Карта робочих режимів елементів.

Компонент	N	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-8},$ год ⁻¹	K_H	a_t	a_e	$N \cdot \lambda_{0e} \cdot$ $K_H \cdot a_t \cdot a_e \cdot 10^{-8}$
Конденсатор	17	2	0,1	0,4	20	27.2
Резистор						
R1	1	4	0,04	0,15	20	0,48
R2	1	4	0.2	0,15	20	2.4
R3	1	4	0,02	0,15	20	0,24
R4-R10	7	4	0,2	0,15	20	16.8
Кварцовий генератор	1	4,6	0,8	1	20	73,6
ІС	7	1,17	1	1	20	163.8
Друкована плата	2	10	1	1	20	400
Контакт роз'єма	44	2	1	1	20	1760
Пайка виводів	291	0,05	1	1	20	291
Перехідні отвори	153	0,0375	1	1	20	114,75
	Сумарна інтенсивність відмов друкованого вузла					2850,27

В Таблиці 4.4:

a_e – поправочний коефіцієнт на вплив зовнішніх впливів (згідно [17], для переносної апаратури $a_e = 20$),

a_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:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi}, \quad (4.24)$$
$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \approx 2850,27 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$$

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{2850,27 \cdot 10^{-8}} \approx 35084 \text{ (год)}$$

Ймовірність безвідмовної роботи на протязі року:

$$P = e^{-\lambda_p t} = e^{-2850,27 \cdot 10^{-8} \cdot 8760} \approx 0,78$$

Ймовірність відмов на протязі року:

$$Q(t) = 1 - 0,78 = 0,22$$

Графік залежності безвідмовної роботи ДВ та ймовірність відмов ДВ від часу представлені на наступному графіку (Рисунок 4.4)

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

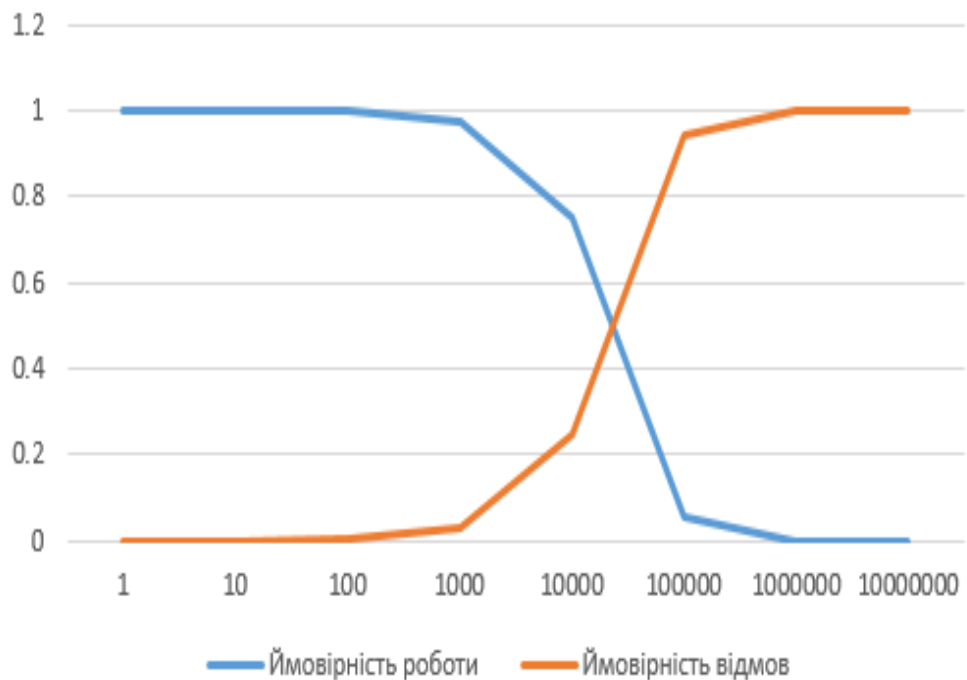


Рисунок 4.4 - Графік залежності безвідмовної роботи і ймовірності відказу ДВ від часу.

Отримане значення напрацювання на відмову відповідає технічному завданню. З одного боку це за умови безперервної роботи, що на практиці для даного приладу не завжди можливо. З іншої сторони в цих теоретичних розрахунках не враховані такі фактори як старіння приладу, його знос і т.д..

4.4 Розрахунок віброміцності друкованого вузла.

Таблиця 4.5 - Маса елементів друкованої плати

Елемент	Позначення	К-ть	Маса, г	Загальна маса,г
Конденсатори	0603-X7R	2	0,02	0,04
	0805-X7R	11	0,04	0,44
	Type C-X7R	4	0.06	0.4
Мікросхеми	STM32F407VET6	1	0.08	0.08
	DFPlayer mini	1	2.9	2.9
	ESP8266-12F	1	2	2
	L298P	2	0.12	0.24
	AMS1117	2	0.07	0.14
Резистори	SMD 0,125 Вт 0805	10	0,07	0,70
Роз'єми	PLS-3	1	0.12	0.12
	PLS-4	1	0.16	0.16
	PLS-8	1	0.32	0.32
	PLS-10	1	0,4	0,4
	PLS-18	2	0.72	1.44
	KF301-2P KK	6	0.2	1.2
Загальна маса елементів, г				10.54

Визначимо віброміцність друкованої плати із склотекстоліту розміром $a*b*\delta=100*85*1,5\text{мм}$.

Вага елементів на платі 10,54г. Візьмемо вагу елементів з деяким запасом, так, що вона складатиме 15г. Параметри склотекстоліту : модуль Юнга $E = 3,02 \cdot 10^{10}$ Па, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,22$, показник затухання $\varepsilon = 0,06$, питома вага 2050 кг/м^3 , питома щільність $\nu = 2,05 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$. Коефіцієнт перенавантаження $n = 8$, коефіцієнт запасу міцності $n_1 = 2$.

Варіанти закріплення друкованих плат:

Спирання на 4 сторони



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

Спирання на 3 сторони



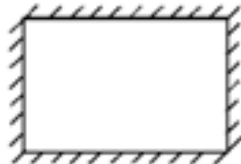
$$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{0,43 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}}$$

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 4.2. Варіанти закріплення друкованої плати

Обраний тип закріплення – спирання на 4 сторони.

Розрахунки:

Визначимо масу друкованої плати і елементів:

$$m_n = a \cdot b \cdot \delta \cdot \rho = 0,1 \cdot 0,085 \cdot 0,0015 \cdot 2025 = 0,02581 (\text{кг}) = 25,81 (\text{г})$$

$$m_s = 15 (\text{г})$$

Визначимо коефіцієнт K_B :

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_s}{m_n}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{15}{25,81}}} = 0,92$$

Визначення коефіцієнт α , враховуючи вибраний тип закріплення:

$$\alpha = \pi^2 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) = \pi^2 \cdot \left(1 + \frac{0,1^2}{0,085^2}\right) = 23,46$$

Визначимо циліндричну жорсткість D :

$$D = \frac{E \cdot \delta^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \cdot 0,0015^3}{12 \cdot (1 - 0,22^2)} = 8,9 \text{ (Н*м)}$$

Визначимо власну частоту коливань друкованої плати:

$$f_c = \frac{K_B \cdot \alpha}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{\nu \cdot \delta}} = \frac{0,92 \cdot 23,46}{2 \cdot \pi \cdot 0,1^2} \cdot \sqrt{\frac{8,9 \cdot 9,81}{2,05 \cdot 10^4 \cdot 0,0015}} \approx 465,8 \text{ (Гц)}$$

$f_c > 250$ Гц, тобто конструкція забезпечує жорсткість.

Висновок до розділу:

В даному розділі виконались розрахунки, які повинні підтвердити коректність конструктивних елементів друкованої плати, правильність обраного класу точності.

Пристрій не вимагає певних специфічних умов виготовлення плати. Габарити плати та конструктивне розміщення елементів дозволяють застосовувати 3 клас точності. Але посадкові місця деяких компонентів, таких як STM32F407VET6 мають відстань між контактними майданчиками 0,2 мм, що не дозволяє використовувати 3 клас точності, оскільки він запроваджує мінімальну відстань 0,25 мм. З цих міркувань був обраний 4 клас точності. Тому всі розрахунки ширини, діаметру доріжок, контактних площадок мають бути менші або такого значення, які подані для 4 класу. Розрахункові значення отримано більші, але тільки для деяких провідників живлення. Усі інші провідники мають ширину, що підпадає під 4 клас точності.

Отримано значення падіння напруги на найдовшому провіднику 0,17 В. Воно знаходиться дуже далеко від межі, що дорівнює 5% від напруги

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

живлення. Потужність втрат дорівнює 0,2 Вт. Це незначна величина. Паразитна ємність (15 пФ) та індуктивність (0,144 нГн) не впливають на роботу друкованого вузлу.

Було отримано значення напрацювання на відмову, яке відповідає технічному завданню. В результаті було розраховано, що пристрій може працювати 35084 годин, але даний результат було отримано без урахування таких факторів, як раптові відмови, старіння приладу, його знос і т.д.

За умов, що блок керування використовуватиметься тільки в лабораторних умовах, цього значення буде достатньо, адже досягти такої кількості годин можливо за умови безперервної роботи, що на практиці для даного приладу не є можливо.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Розділ 5. ПРОГРАМУВАННЯ ВІРТУАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

5.1. Робота драйвера моторів L298P.

Мікросхема L298P отримує команди з контактів вводу/виводу мікроконтролера на керуючі виводи. Цими виводами є контакти драйверу ENA, IN1, IN2, IN3, IN4, ENB. Задача драйвера – формувати постійну напругу потрібної полярності для обертання валу електродвигуна та керування його швидкістю та напрямом.

Принцип роботи драйвера та його структура зображені на Рисунку 5.1.

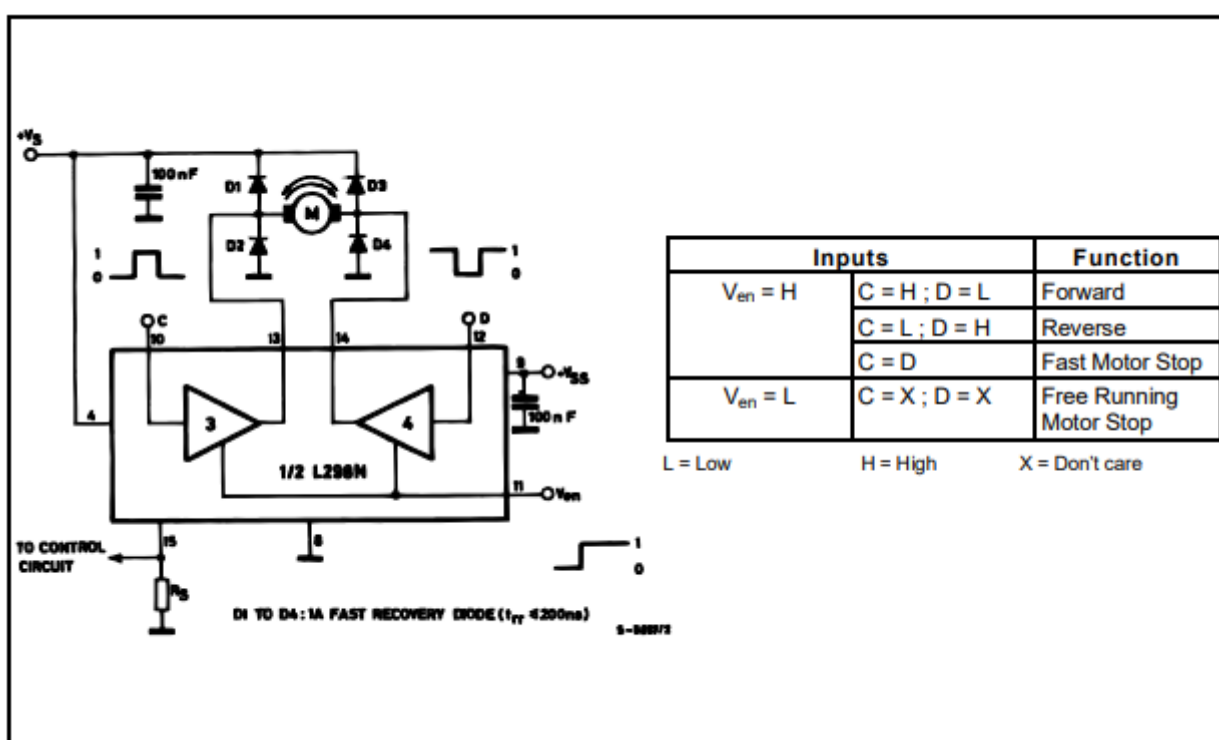


Рисунок 5.1 - Принцип роботи драйвера L298P для одного двигуна.

Для керування напрямом обертання двигуна використовуються контакти IN1, IN2 для першого двигуна та IN3, IN4 для другого двигуна. Контакти ENA та ENB використовуються для дозволу роботи двигуна, це можливо використати для керування швидкістю двигуна формуванням ШИМ сигналу на цих контактах. ШИМ сигнал буде формуватися за допомогою таймера мікроконтролера STM32F407VET6 на контактах, що підключені до виводів дозволу роботи двигунів.

5.2. Робота звукового модуля.

Звуковий модуль DFPlayer mini відтворює записаний на карту пам'яті трек через вбудований підсилювач на 3 Вт гучномовець. Керування виконується через інтерфейс USART шляхом надсилання пакетів даних. Швидкість роботи становить 9600 бод, чого достатньо для швидкої роботи модуля. Формат керуючої команди зображені на Рисунку 5.2.

Format	SS	VER	Len	CMD	Feedback	para1	para2	checksum	SO
	\$S		Start byte 0x7E						Each command feedback begin with \$, that is 0x7E
	VER		Version						Version Information
	Len		the number of bytes after "Len"						Checksums are not counted
	CMD		Commands						Indicate the specific operations, such as play / pause, etc.
	Feedback		Command feedback						If need for feedback, 1: feedback, 0: no feedback
	para1		Parameter 1						Query high data byte
	para2		Parameter 2						Query low data byte
	checksum		Checksum						Accumulation and verification [not include start bit \$]
	SO		End bit						End bit 0xEF

For example, if we specify play NORFLASH, you need to send: 7E FF 06 09 00 00 04 FF DD EF
Data length is 6, which are 6 bytes [FF 06 09 00 00 04]. Not counting the start, end, and verification.

Рисунок 5.2. – Формат керуючої команди звукового модуля

Для правильної роботи модуля, треки та теки в яких вони знаходяться повинні бути правильно названі. Приклад наявний в документації на пристрій, що зображений на Рисунку 5.3.

Figure 3.1 folder name

Figure 3.2 file name

Рисунок 5.3. – Правильні назви для файлів на карті пам'яті звукового модуля

Звуковий модуль буде керуватись інтерфейсом USART2 контролера. Цей інтерфейс середньої швидкості, проте його досить для роботи з модулем.

5.3 Робота контролера Wi-Fi.

Контролер Wi-Fi ESP8266-12F основна частина системи контролю периферії. Він приймає команди з керуючого терміналу та передає оператору важливу інформацію. Модуль побудований на 32 бітному енергоефективному мікроконтролері, що можна перепрограмувати під поставлену задачу. В початковому стані, в контролері записана прошивка, що дозволяє керувати їм через інтерфейс USART за допомогою AT-команд. В цьому режимі модулем потрібно керувати зовнішнім процесором, що і реалізовано в системі керування периферією. Доступні інтерфейси та характеристики модуля показані на Рисунку 5.4.

WiFi Parameters	Certificates	FCC/CE/ROSH
	WiFi Protocols	802.11 b/g/n
	Frequency Range	2.4GHz-2.5GHz (2400M-2483.5M)
Hardware Parameters	Peripheral Bus	UART/HSPI/I2C/I2S/Ir Remote Control GPIO/PWM
	Operating Voltage	3.0~3.6V
	Operating Current	Average value: 80mA
	Operating Temperature Range	-40°~125°
	Ambient Temperature Range	Normal temperature
	Package Size	16mm*24mm*3mm
	External Interface	N/A

Рисунок 5.4. – Характеристики модуля та доступні інтерфейси

Для керування модулем ESP8266-12F буде використовуватись високошвидкісний інтерфейс USART1 контролера STM32F407VET6, що зможе передавати інформаційні пакети на високій швидкості. Для цього використовуються AT-команди. Щоб налаштувати передачу даних потрібно запустити сервер на модулі, налаштувати режим передачі, обрати тип з'єднання та кількість підключених пристроїв. Максимально можлива кількість байт у пакеті обмежена 2048. Це треба передбачити при розробці програмного забезпечення.

Приклад керуючих AT-команд наведено в таблиці 5.1

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Таблица 5.1.

#	Команда	Описание
1	AT	Просто тестовая команда, при нормальном состоянии модуль ответит ОК
2	AT+RST	Перезагрузка модуля, после введения команды выдаст лог перезагрузки в конце и ответ ready
3	AT+GMR	Проверка версии прошивки модуля, ответом будет версия и ответ ОК
4	AT+CWMODE=<режим>	Задать режим работы модуля mode: 1 - клиент, 2 - точка доступа, 3 - совмещенный режим, ответ ОК
5	AT+CWLAP	Получить список точек доступа, к которым можно подключиться, ответ список точек и ОК
6	AT+CWJAP=<имя>,<пароль>	Присоединиться к точке доступа, задав ее имя и пароль, ответ ОК
7	AT+CWQAP	Отключиться от точки доступа, ответ ОК
8	AT+CWSAP=<имя>,<пароль>,<канал>,<шифрование>	Установить точку доступа самого модуля, задав ее параметры, ответ ОК
9	AT+CWLIF	Получить список присоединенных устройств
10	AT+CIPSTATUS	Получить текущий статус TCP соединения
11	AT+CIPSTART Для одного соединения (+CIPMUX=0): AT+CIPSTART=<тип>,<адрес>,<порт> Для мульти соединения (+CIPMUX=1): AT+CIPSTART=<айди>,<тип>,<адрес>,<порт>	Соединение TCP/UDP <айди>— идентификатор соединения <тип>— тип соединения: TCP или UDP <адрес>— адрес IP или URL <порт>— порт
12	AT+CIPMODE= <режим>	Установить режим передачи: <режим>= 0 — not data mode (сервер может отправлять данные клиенту и может принимать данные от клиента) <режим>= 1 — data mode (сервер не может отправлять данные клиенту, но может принимать данные от клиента)
13	AT+CIPSEND Для одного соединения (+CIPMUX=0): AT+CIPSEND=<длина> Для мульти соединения (+CIPMUX=1): AT+CIPSTART=<айди>,<длина>	Отправить данные <айди>— идентификатор соединения <длина>— количество отправляемых данных Передаваемые данные отправляются после ответа модулем символа > , после ввода команды
14	AT+CIPCLOSE Для одного соединения (+CIPMUX=0): AT+CIPCLOSE Для мульти соединения (+CIPMUX=1): AT+CIPCLOSE=<айди>	Закрыть соединение. Параметр для мультипоточного режима <айди>— идентификатор соединения. Ответом модуля должно быть ОК и unlink
15	AT+CIFSR	Получить IP модуля
16	AT+CIPMUX= <режим>	Задать количество соединений, <режим>=0 для одного соединения, <режим>=1 для мультипоточного соединения (до четырех подключений)
1	AT+CIPSERVER= <режим>, <порт>	Поднять порт. <режим>- режим скрытности (0

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ДК51.468333.001 ПЗ

Арк.

49

7		- скрыт, 1 - открыт), <порт> - порт
1 8	AT+CIPSTO=<время>	Установить время одного соединения на сервере
1 9	AT+CIOBAUD=<скорость>	Для версий прошивки от 0.92 можно задать скорость UART
2 0	Прием информации	<p>Данные принимаются с преамбулой +IPD, после которой следует информация о принятых данных, а потом сама информация</p> <p>Для одного соединения (+CIPMUX=0): +IPD,<длина>:<передаваемая информация></p> <p>Для мульти соединения (+CIPMUX=1): +IPD,<айди>,<длина>:<передаваемая информация></p> <p>Пример: +IPD,0,1:x - принят 1 байт информации</p>

Модуль передає інформацію про виконання AT-команди у відповідь на неї, тому важливо розглянути приклад того, як працює модуль з керуючим терміналом напряму, щоб можна було скоригувати програмне забезпечення мікроконтролера максимально ефективно. Контролер Wi-Fi може працювати як клієнт так і як точку доступу, тобто можна напряму підключитися до нього керуючим терміналом, або підключити модуль до доступної мережі Wi-Fi і передавати дані через мережу інтернет. Приклад роботи модуля наведений на Рисунку 5.5.

```

COM7 115200 bps, 8N1, no handshake
AT+CWJAP="ByFly","██████████"
AT+CWJAP="ByFly","██████████"

OK
AT+CIPMODE=0
AT+CIPMODE=0

OK
AT+CIPMUX=1
AT+CIPMUX=1

OK
AT+CIPSTART=0,"TCP","192.168.1.4",8888
AT+CIPSTART=0,"TCP","192.168.1.4",8888

OK
Linked

+IPD,0,2:24
OK

+IPD,0,2:24
OK

```

Рисунок 5.5. – Приклад роботи модуля Wi-Fi

Висновок до розділу:

Побудова програмного коду для програмування мікросхем відбувалось у середовищі Keil for ARM. Написання програмного коду складалось з двох частин:

- конфігурація мікросхем через центральний мікроконтролер;
- обробка даних з мікросхем та виведення керуючих сигналів.

Конфігурація виконувалась згідно конфігураційним векторним діаграмам, які описані в технічній документації.

Побудова синтезованих компонентів на мові C мала за основу принцип роботи кінцевих автоматів.

Зараз пристрій знаходиться на етапі налагодження на підприємстві.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті розроблено схемотехнічне рішення, друкований вузол, програмне забезпечення системи керування периферією. Даний пристрій має наступні технічні характеристики, які відповідають вимогам технічного завдання:

Інтерфейс зв'язку з системою	Відправлення команд через мережу Wi-Fi. Отримання інформації через мережу Wi-Fi.
Габаритні розміри	100x85 см.
Маса	46г.
Живлення	12 В.
Режими роботи	Основний (керування та інформування); налаштування.

В ході обґрунтування даного рішення виконані наступні етапи:

1. В першому розділі зроблено пошук існуючих рішень керування периферією. Отримано інформацію про те, що більшість запропонованих рішень є або застарілими, або вимагають постійне підключення до ПК, що не є можливим в лабораторних умовах. Це дозволило сформувавши уявлення про конструктивні та структурні рішення, характеристики та параметри розробляемого блока керування периферією.

2. Розроблено структурну схему, схему електричну принципову. Розрахунок схеми електричної принципової підтверджує правильність схемотехнічного рішення. Отримана схема є доступною для розуміння роботи пристрою, відповідає ГОСТ, побудована згідно рекомендаціям технічної документації на елементи. Це дає змогу швидко та доступно зрозуміти принцип роботи пристрою, окремих його каскадів.

3. Зроблено аналіз класів точності, типів та матеріалів ДП. Обрано 2-шарову плату з FR-4, за 4 класом точності. Розглянуто розміщення компонентів на ДП та проектування у Altium Designer. Розроблена плата має високу щільність монтажу, підвищену надійність, високу механічну міцність кріплення, та відповідає вимогам ТЗ.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

4. Виконано розрахунки, що підтверджують працездатність схеми, а саме:

- конструкторсько-технологічний розрахунок, який підтвердив правильність вибору 4-го класу точності;

- електричний розрахунок друкованої плати, підтвердив оптимальний вибір трасування провідників. Оскільки, потужність втрат на постійному струмі 26,95 нВт, падіння напруги 0,17 В, паразитна ємність 15 пФ, паразитна індуктивність 0,144 нГн – ці значення не впливають на роботу ДВ;

- розрахунок надійності ДВ. Отримане значення середнього часу напрацювання на відмову 35084 год задовольняє вимоги технічного завдання (10000 год);

- розрахунок віброміцності ДП. Отримане значення власної частоти коливань ДП становить 465,8 Гц, тобто конструкція забезпечує необхідну жорсткість.

5. Розроблено програмне забезпечення (ПЗ) для керування периферією по мережі Wi-Fi. Пристрій працює в двох режимах:

- режим конфігурації, в якому центральний процесор програмує інші мікросхеми для режиму роботи;

- режим роботи, в якому центральний процесор отримує дані з керуючого терміналу, та генерує керуючі сигнали до периферії.

Це дає змогу керувати наявною периферією в лабораторних умовах згідно ТЗ. Дане рішення дозволяє змінювати в майбутньому програмну частину для зміни режимів роботи без зміни апаратної частини.

6. Розроблена конструкторська документація на систему керування периферією.

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

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. — М.: Высшая школа,
2. Каган В.Г. Электроприводы с предельным быстродействием для систем воспроизведения движений – М.: Энергия, 1975.
3. STM32F407 Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps793.pdf>
4. ESP8266 Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps62003.pdf>
5. DFplayer mini Device Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: https://www.altera.com/content/dam/altera-www/global/en_US/pdfs/literature/hb/cyc3/cyc3_ciii52001.pdf
6. L298P Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: https://www.altera.com/en_US/pdfs/literature/hb/cfg/cyc_c51014.pdf
7. AMS1117 Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: https://www.encoder-technology.com/images/product_specifications/fa-solver.pdf
8. Савельев А. Я., Овчинников В.А. Конструирование ЭВМ и систем: Учебник для техн. вузов по спец. «Электрон. выч. маш.» - М.: Высш. шк., 1984.-248 с.
9. Лак УР-231 Техническое описание [электронный ресурс] – режим доступа: https://spb-orion.ru/_src/Catalog.Item/1291_file/лак%20ур%20231.pdf

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

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

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ГОСТ 23571-86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Основные параметры конструкции.

ГОСТ 23752-79 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Общие технические условия.

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

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

ДСТУ 2646-94 ПЛАТИ ДРУКОВАНІ Терміни та визначення

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

ОСТ 4.010.022 – 85 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Методы конструирования и расчета

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Додаток А

Технічне завдання на проектування

1. Найменування та галузь використання

Система керування периферією. Використовується в автоматизації промислової електроніки та виконання однотипних завдань керування доступною периферією.

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ «КПІ» №.1405-с від 27.05.2019 р.

3. Мета і призначення розробки

Блок керування призначений для використання в складі стенду повної перевірки якості виготовлення і працездатності прямих приводів гіростабілізованих платформ в процесі виробництва.

4. Джерело розробки

Управління системою виконується через керуючий термінал засобами спеціальних команд, що передаються контролеру на подальшу обробку. Зв'язок між терміналом та системою забезпечує модуль ESP8266-12F, що приймає команди від оператора та відправляє йому інформацію про стан виконання завдання. Керування модулем виконується через інтерфейс USART1 на швидкості 115200 бод. В схемі керування електродвигунами використовується драйвер моторів L298P, що підключений до виводів GPIO мікроконтролера які керують напрямом обертання валу та формують ШИМ сигнал для керування швидкістю двигуна. Контролер приймає команду, в якій зазначено напрям обертання та швидкість двигуна. Також до мікроконтролера підключений звуковий модуль DFPlayer mini, керування яким виконується через інтерфейс USART2 на швидкості 9600 бод. Номер треку, що буде відтворюватись обирає оператор шляхом відправлення спеціалізованої команди по мережі Wi-Fi. Функціонально, система керування

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

периферією являє собою зручний комутатор великого спектру обладнання з можливістю зворотного зв'язку відповідно до заданого режиму роботи.

4.1. Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється.

Блок керування складається з:

- Контролер, до складу якої входить ядро ARM Cortex-M4, з наявними блоками GPIO, I2C, DCMI, SPI, USART1 та USART2;
- Модуль Wi-Fi ESP8266-12F;
- Звуковий модуль DFPlayer mini;
- Драйвери моторів постійного струму;
- Блок живлення;
- Роз'єми для підключення додаткової периферії
- Керуючий термінал.

4.2. Вимоги до надійності.

Середній час напрацювання на відмову повинен бути на менше 15000 год.

4.3. Вимоги до технологічності.

Орієнтовані на передові прийоми розробки виготовлення на підприємствах України.

4.4. Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації.

Для виготовлення пристрою застосувати стандартні, уніфіковані деталі та вироби.

4.5. Вимоги безпеки обслуговування.

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

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

Для виробництва пристрою повинні використовуватися матеріали імпортного виробництва, які можливо купити та замінити в Україні, або власна елементна база, яка розробляється в Україні.

4.7. Умови експлуатації.

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Кліматичне виконання модулю керування УХЛ.4.2 згідно ГОСТ 15150-69. Для експлуатації в лабораторних, капітальних житлових та інших подібного типу приміщеннях.

4.8. Вимоги до транспортування і зберігання.

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Зберігати в зачинених, опалювальних та вентиляваних приміщеннях, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря +5...+40⁰С, відносна вологість повітря 60% при 20⁰С (середньорічне значення), атмосферний тиск 84...106кПа.

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

4.9. Додаткові технічні вимоги.

Технічні характеристики:

Принцип дії	
Інтерфейс зв'язку з системою	Відправлення команд через мережу Wi-Fi. Отримання інформації через мережу Wi-Fi.
Габаритні розміри	100x85 см.
Маса	46г.
Живлення	12 В.
Режими роботи	Основний (керування та інформування); налаштування.

5. Результати роботи

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

5.2. 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 80 аркушів)
- Схема електрична принципова та перелік елементів (формату А2 та А4 відповідно)

- Складальні креслення та специфікації (формату А1, А4 відповідно)
- Креслення друкованих плат (формату А2)
- Додатки (формату А1-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	Час виконання етапів проекту
1	Аналіз технічного завдання	16.03.19-26.03.19
2	Вибір елементної бази та друкованої плати	26.03.19-02.04.19
3	Схемо-технічне проектування	02.04.19-09.04.19
4	Виконання креслення схеми електричної принципової	09.04.19-23.04.19
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	23.04.19-30.04.19
6	Електричний розрахунок друкованої плати	30.04.19-07.05.19
7	Розрахунок віброміцності ДП	07.05.19-14.05.19
8	Проектування у Altium Designer	14.05.19-21.05.19
9	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	21.05.19-28.05.19
10	Оформлення пояснювальної записки	28.05.19-12.06.2019

Додаток Б

```
#define F_CPU 8000000UL
#define TimerTick F_CPU/1000-1
#define BAUD 115200
#define BAUD3 9600
#define MYUBRR (F_CPU+BAUD/2)/BAUD
#define MYUBRR3 (F_CPU+BAUD3/2)/BAUD
#define N_DATA 7

#include "stm32f4xx.h"

volatile int t_ms = 0; // Глобальна змінна для рахування часу в мілісекундах
volatile char bt_data; // Дані з ЮАРТу
volatile char wifi_data_stack[N_DATA];
volatile uint8_t PC = 0;

void preset(void); // Функція ініціалізації контролера
void USART1_init(uint32_t UBRR); // Функція ініціалізації USART
void USART1_transmit(char data);
char USART1_recive(void);
void USART1_string(char str[]);
void USART3_init(uint32_t UBRR); // Функція ініціалізації USART
void USART3_transmit(char data);
void USART3_string(char str[]);
void esp8266_init(void);
void esp8266_transmit(void);
void MP3_start_trek(char number);
void mp3_initSD(void);

int main()
{
    preset();
    USART1_init(MYUBRR);
    USART3_init(MYUBRR3);
    esp8266_init();
}
```

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

```

mp3_initSD();

while(1)
{
    if((wifi_data_stack[0] == 0xEF)&&(wifi_data_stack[6] == 0xFF))
    {
        switch (wifi_data_stack[1])
        {
            case (0xC1):
                MP3_start_trek(wifi_data_stack[3]);
                break;
            case (0xC2):
                esp8266_transmit();
                break;
        }
    }
}

void preset(){
    RCC->CR |= RCC_CR_HSEON;
    while((RCC->CR & RCC_CR_HSERDY) == 0) {}
    RCC->CFGR &= ~RCC_CFGR_SW;    //clear SW bits
    RCC->CFGR |= RCC_CFGR_SW_HSE;
    RCC->AHB1ENR |= RCC_AHB1ENR_GPIOAEN
                                     | RCC_AHB1ENR_GPIOBEN
                                     | RCC_AHB1ENR_GPIOCEN
                                     | RCC_AHB1ENR_GPIODEN;

    RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_SYSCFGEN;
    GPIOA->MODER |= (55 <<GPIO_MODER_MODE0_Pos);
    /*
    SYSCFG->EXTICR[3] |= SYSCFG_EXTICR4_EXTI13_PC;
    EXTI->IMR |= EXTI_IMR_IM13;
    EXTI->EMR |= EXTI_EMR_EM13;
    EXTI->RTSR |= EXTI_RTISR_TR13;
    */

    SysTick->LOAD= TimerTick;
}

```

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

```

SysTick->VAL = TimerTick;

SysTick->CTRL      =      SysTick_CTRL_CLKSOURCE_Msk |
                        SysTick_CTRL_TICKINT_Msk   |
                        SysTick_CTRL_ENABLE_Msk;

//USART1_init(MYUBRR);

/* Керування NVIC (Nested Vectored Interrupt Controller) */
NVIC_SetPriority(SysTick_IRQn, 0);
//NVIC_SetPriority(EXTI15_10_IRQn, 2); // встановити пріоритет 2 для IRQ0
NVIC_SetPriority(USART1_IRQn, 1);
//NVIC_ClearPendingIRQ(EXTI15_10_IRQn); // скинути очікує переривання
IRQ0

NVIC_EnableIRQ(USART1_IRQn);
NVIC_EnableIRQ(SysTick_IRQn);
//NVIC_EnableIRQ(EXTI15_10_IRQn); // дозволити переривання IRQ0
NVIC_EnableIRQ(ADC_IRQn);
__enable_irq();
}

void USART1_init(uint32_t UBRR) {
    RCC->AHB1ENR |= RCC_AHB1ENR_GPIOAEN; // Дозволяємо тактування порту А
    RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_USART1EN;

// Дозволяємо тактування інтерфейсу UART1
    GPIOA->MODER |= GPIO_MODER_MODE9_1
                | GPIO_MODER_MODE10_1;
// Сконфігуруємо виводи PA9 та PA10
    GPIOA->MODER &= ~(GPIO_MODER_MODE9_0
                    | GPIO_MODER_MODE10_0);

    GPIOA->OTYPER &= ~GPIO_OTYPER_OT9;
    GPIOA->OTYPER |= GPIO_OTYPER_OT10;

    GPIOA->OSPEEDR &= ~(GPIO_OSPEEDER_OSPEEDR9 | GPIO_OSPEEDER_OSPEEDR10);
    GPIOA->OSPEEDR |= (GPIO_OSPEEDER_OSPEEDR9_1 | GPIO_OSPEEDER_OSPEEDR10_1);
    GPIOA->AFR[1] |= (7 << GPIO_AFRH_AFSEL9_Pos)
                   | (7 << GPIO_AFRH_AFSEL10_Pos); //
    Обираємо функцію UART

    USART1->BRR = UBRR;
        // Регістр задавання швидкості

    USART1->CR1 |= USART_CR1_UE | USART_CR1_TE | USART_CR1_RE

```

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

```

// USART1 ON, TX ON, RX ON
                | USART_CR1_RXNEIE;
                // RXNE Int ON
    }

void USART1_transmit(char data){
    while (!(USART1->SR & USART_SR_TC));
    USART1->DR = data;
}

void USART1_string( char str[]){
    int i =0;
    while (str[i] != '\0')
    {
        USART1_transmit(str[i]);
        i++;
    }
}

void USART1_IRQHandler(void){
    if( USART1->SR & USART_SR_RXNE)
    {
        USART1->SR &= ~USART_SR_RXNE;
        bt_data = USART1->DR; // Зчитування даних з регістру даних USART
    }
}

void USART3_init(uint32_t UBRR){
    RCC->AHB1ENR |= RCC_AHB1ENR_GPIOBEN; // Дозволяємо тактування порту B
    RCC->APB1ENR |= RCC_APB1ENR_USART3EN;
    // Дозволяємо тактування інтерфейсу USART3
    GPIOB->MODER |= GPIO_MODER_MODE10_1
                | GPIO_MODER_MODE11_1;
    // Сконфігуруємо виводи PA9 та PA10
    GPIOB->MODER &= ~(GPIO_MODER_MODE10_0
// на роботу в альтернативній функції
                | GPIO_MODER_MODE11_0);
    GPIOB->OTYPER &= ~GPIO_OTYPER_OT10;
    GPIOB->OTYPER |= GPIO_OTYPER_OT11;
    GPIOB->OSPEEDR&=~(GPIO_OSPEEDER_OSPEEDR10|GPIO_OSPEEDER_OSPEEDR11);

```

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

```

    GPIOB->OSPEEDR|= (GPIO_OSPEEDER_OSPEEDR10_1|GPIO_OSPEEDER_OSPEEDR11_1);
    GPIOB->AFR[1] |= (7<<GPIO_AFRH_AFSEL10_Pos)
        | (7<<GPIO_AFRH_AFSEL11_Pos);
// Обираємо функцію UART
    USART3->BRR = UBRR;
        // Регістр задавання швидкості
    USART3->CR1 |= USART_CR1_UE | USART_CR1_TE | USART_CR1_RE
// USART3 ON, TX ON, RX ON
        | USART_CR1_RXNEIE;

// RXNE Int ON
}
void USART3_transmit(char data){
    while (!(USART3->SR & USART_SR_TC));
    USART3->DR = data;
}
void USART3_string( char str[]){
    int i =0;
    while (str[i] != '\0')
    {
        USART3_transmit(str[i]);
        i++;
    }
}
void SysTick_Handler(void){
    t_ms ++;
}
void delay_ms(int ms){
    SysTick->VAL = 0;
    t_ms = 0;
    while (t_ms < ms) {;}
}
void esp8266_init(void){
    USART1_string("AT+CIPMOD=0\r\n");
    delay_ms(500);
    USART1_string("AT+CIPMUX=1\r\n");
    delay_ms(500);
}

```

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

```

    USART1_string("AT+CIPSERVER=1,8888\r\n");
    delay_ms(500);
}
void esp8266_transmit(void){
    USART1_string("AT+CIPSEND=0,4\r\n");
    delay_ms(500);
    USART1_string("OK\r\n");
}
void MP3_start_trek(char number){
    USART3_transmit(0x7E);
    USART3_transmit(0xFF);
    USART3_transmit(0x06);
    USART3_transmit(0x03);
    USART3_transmit(0x00);
    USART3_transmit(0x00);
    USART3_transmit(number);
    USART3_transmit(0xFE);
    USART3_transmit(0xF8 - number);
    USART3_transmit(0xEF);
}
void mp3_initSD(void){
    USART3_transmit(0x7E);
    USART3_transmit(0xFF);
    USART3_transmit(0x06);
    USART3_transmit(0x09);
    USART3_transmit(0x00);
    USART3_transmit(0x00);
    USART3_transmit(0x02);
    USART3_transmit(0xFF);
    USART3_transmit(0xF0);
    USART3_transmit(0xEF);
}
//

```

					<i>ДК51.468333.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65